

В.А. Павлов

**ИНТЕРФЕЙСЫ
ПЕРИФЕРИЙНЫХ
УСТРОЙСТВ**

Учебное пособие для вузов

*Рекомендовано УМО вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 230101
«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»*

Саров
2010

УДК 681.3.06(07)
ББК 32.973
П12

Павлов, Виктор Александрович

П12 Интерфейсы периферийных устройств : учеб. пособие для вузов / В. А. Павлов. — Саров, 2010. — 374 с.: ил.
ISBN 978-5-7493-1557-8

В учебном пособии обозначена предметная область дисциплины «Интерфейсы периферийных устройств», сформулирован краткий тезаурус этой предметной области и определены подсистемы электронных вычислительных машин (ЭВМ), относящиеся к этой предметной области, рассмотрены основные компоненты системы ввода-вывода ЭВМ, обеспечивающие центральной части ЭВМ (хосту) общение с объектами внешнего мира. Особое внимание уделено системе аппаратных интерфейсов коммуникационной среды персональных ЭВМ (ПЭВМ), обеспечивающей взаимодействие хоста с остальными компонентами ПЭВМ и посредством периферийных устройств – с объектами внешнего мира.

УДК 681.3.06(07)
ББК 32.973

ISBN 978-5-7493-1557-8

© Павлов В.А., 2010

Предисловие

Периферийные устройства (ПУ) являются самой внешней, периферийной частью электронных вычислительных машин (ЭВМ) и входят в состав ее системы ввода-вывода (СВВ). ПУ посредством системы внутренних интерфейсов коммуникационной среды СВВ ЭВМ и внешних интерфейсов ввода-вывода обеспечивают центральной части ЭВМ (хосту) взаимодействие с объектами внешнего мира.

Учебное пособие построено так, что в нем в той или иной мере нашли отражение все основные компоненты СВВ РС-совместимых персональных компьютеров (ПК). Акцент сделан на рассмотрении системы аппаратных интерфейсов СВВ ПК. В учебном пособии не рассматриваются вопросы, связанные с принципами и методами разработки СВВ, интерфейсов и ПУ.

Учебное пособие включает в себя введение, три части, разбитые на главы, список используемых в пособии терминов и сокращений, алфавитный указатель и список литературы. Во *Введении* означена предметная область курса «Интерфейсы периферийных устройств», сформулирован краткий базовый тезаурус этой предметной области и определены подсистемы ЭВМ, относящиеся к этой предметной области. **Дальнейшее изложение содержательной части дисциплины ведется в главах в соответствии с определенной во Введении концепцией и является одним из возможных вариантов ее конкретной реализации, определяемой конкретными уровнями детализации и обобщений аспектов, связанных с понятиями «интерфейс» и «периферийные устройства».**

Первая Часть посвящена рассмотрению вопросов, связанных с составом, структурой и организацией СВВ и содержит три главы:

В *Главе 1* рассматриваются общие вопросы, связанные с факторами, влияющими на состав и структуру СВВ и основные функции СВВ.

Глава 2 посвящена логической организации СВВ различных классов ЭВМ. В ней рассмотрена организация СВВ некоторых первых отечественных ЭВМ общего назначения, мини- и микро-ЭВМ и особенности организации ввода-вывода в современных РС-совместимых ПК.

В *Главе 3* рассмотрены общие вопросы организации интерфейсов СВВ.

Вторая Часть посвящена внутренним интерфейсам ввода-вывода (ИВВ) РС-совместимых персональных компьютеров и содержит три главы:

В *Главе 4* рассмотрены основные ИВВ системного уровня РС-совместимых ПК: ISA, EISA, PC-104, VLB, PCI, PCI-X, PCI Express, AGP, LPC.

В *Главе 5* рассмотрены малые ИВВ РС-совместимых ПК (интерфейс НГМД, интерфейсы жестких дисков ST-506/412 и ESDI, интерфейсы видеомониторов, интерфейсы звуковых адаптеров и интерфейс игровых устройств – GAME-порт).

Глава 6 посвящена рассмотрению периферийных ИВВ РС-совместимых ПК: специализированных (интерфейс MIDI, интерфейсы клавиатуры и PS/2 Mouse, интерфейсы накопителей внешней памяти IDI – ATA/ATAPI и SATA); беспроводных (IrDA, Bluetooth) и универсальных (LPT-порт, COM-порт, USB, Fire Wire, SCSI, Fibre Channel).

Третья Часть посвящена рассмотрению внешних ИВВ и содержит пять глав:

В *Главе 7* кратко рассмотрены подсистемы СВВ, в рамках которых функционируют соответствующие внешние ИВВ: подсистема связи с объектами управления; подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам; подсистема взаимодействия с пользователем и подсистема внешней памяти.

В *Главе 8* рассмотрены вопросы, связанные с организацией внешних ИВВ системы связи с объектами управления. В частности в ней рассмотрена подсистема ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, интерфейс IEEE-488 (GPIB) и интерфейсы системы КАМАК.

В *Главе 9* рассмотрены средства и правила подключения ПК к вычислительным сетям и объединения ЭВМ в многомашинные вычислительные комплексы и кластеры.

В *Главе 10* рассмотрены основные подсистемы системы взаимодействия с пользователем: подсистема ввода-вывода визуальной информации; подсистема ввода-вывода звуковой информации; устройства непосредственного механического и осязательного (тактильного) взаимодействия.

В *Главе 11* кратко рассмотрена подсистема внешней памяти РС-совместимых ПК.

Список используемых в пособии *терминов и сокращений* содержит ссылки на контекст, в рамках которого формулировались понятия терминов и сокращения, и дополняет приведенный во Введении базовый тезаурус предметной области дисциплины «Интерфейсы периферийных устройств».

Достаточно подробный *алфавитный указатель* значительно облегчает навигацию по содержательной части учебного пособия.

В виду ограниченности объема учебного пособия в нем мало внимания уделено рассмотрению вопросов, связанных со структурной и функциональной организацией и регистровой архитектурой (программной моделью) адаптеров и контроллеров системы ввода-вывода РС-совместимых ПК и вопросам их поддержки на уровне базовой системы ввода-вывода (BIOS) ПК. В учебном процессе Саровского физико-технического института (в настоящее время СарФТИ НИЯУ МИФИ) дисциплина «Интерфейсы периферийных устройств» является составной частью цикла «Система ввода-вывода ПК», в который, в рамках дисциплин специализации, входит дисциплина «Адаптеры и контроллеры ЭВМ» в которой рассматриваются все эти вопросы. Для информационно-методической поддержки цикла «Система ввода-вывода ПК» в СарФТИ выпущен ряд учебно-методических и учебно-справочных пособий с достаточно подробным изложением широкого спектра материалов предметной области цикла, а также ряд практикумов [64].

В основу учебного пособия положен опыт преподавания специальных дисциплин «Периферийные устройства ЭВМ», «Интерфейсы периферийных устройств» и дисциплины специализации «Адаптеры и контроллеры ЭВМ» в Саровском физико-техническом институте в рамках специальности 230101 - «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».

Автор

Введение

Дисциплина "Интерфейсы периферийных устройств" изучается в рамках специальных дисциплин основной образовательной программы подготовки дипломированных специалистов направления 654600 - "Информатика и вычислительная техника" по специальности 230101 - "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети". Предметная область дисциплины весьма обширна и ее границы "сходу" трудно оценить. Поэтому для детализации этой предметной области необходимо определиться в используемой в ней терминологии и понятиях, т.е. составить начальный тезаурус этой предметной области. В нашем случае необходимо определиться, какую часть более общих понятий, представленных в названии специальности 230101 - "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети", составляют понятия, представленные в названии спецкурса "Интерфейсы периферийных устройств".

В названии специальности присутствуют четыре понятия из области понятий "*вычислительная техника*": "*вычислительные машины*" (ВМ); "*вычислительные комплексы*"; "*вычислительные системы*" (ВС); "*вычислительные сети*". Само понятие "**вычислительная техника**" (ВТ) (computer science) трактуется как: - совокупность научных дисциплин и отраслей техники, специализирующихся на обработке *данных*, осуществляемой с помощью средств автоматизации (СТ ИСО 2382/1-84) [2].

С точки зрения *системотехники* (**системотехника** - теория и практика разработки и эксплуатации технических и организационных систем на основе *системного подхода* [3]; **системный подход** (system approach) - комплексное взаимосвязанное последовательное рассмотрение всех факторов, путей и методов решения задачи в конкретных условиях [3]) из первых трех понятий, присутствующих в названии специальности, наиболее общим является понятие "*Вычислительная система*".

Действительно, одно из принятых определений "**вычислительная система** - совокупность ЭВМ и ее программного обеспечения, предназначенных для организации вычислительного процесса" [3] содержит понятие ЭВМ как составной части ВС. Аналогично, определение "**цифровой вычислительный комплекс** (вычислительный комплекс) (computer complex) - часть цифровой вычислительной системы, представляющая ее технические средства, имеющая в своем составе более одной центральной части и предназначенная для обработки данных под управлением программ, находящихся в памяти" (ГОСТ 15971-84) [2], указывает на то, что и понятие "*вычислительный комплекс*" является составной частью понятия "*вычислительная система*". Такие ВС, для уточнения, называют **многомашинными (мультикомпьютерными) вычислительными системами** или **многомашинными системами** [2], [3]. Понятие "*вычислительная сеть*" базируется на трех предыдущих понятиях и включает их в себя как составные элементы. Например, определение "**вычислительная сеть** (сеть ЭВМ) (computer network) - сеть передачи данных, в одном или нескольких узлах которой размещены ЭВМ" [3] включает в себя, как элемент, понятие "ЭВМ". Определение "**вычислительная сеть** (computer network) - взаимосвязанная совокупность территориально распределенных систем обработки данных, средств и (или) систем связи и передачи данных, обеспечивающая пользователям дистанционный доступ к ее ресурсам и коллективное использование этих ресурсов (ГОСТ 22402-88)" [2] включает в себя понятие "*система обработки данных*" (СОД). Как правило, базовым элементом СОД является ВС. В общем случае можно и вычислительную сеть рассматривать как разновидность ВС и определять ее как "**сетевая вычислительная система**".

В связи с выше изложенным, остановимся на более подробном рассмотрении понятия "*вычислительная система*".

В общем случае под *системой* понимают совокупность связанных *элементов*, объединенных в одно целое для достижения одной цели [7]. Элемент, как неделимый объект вводится по соглашению с целью дать ответ на определенные вопросы. Изменение вопросов может

потребовать разложения элементов на составляющие части или объединения нескольких элементов в один.

Для искусственных (инженерных) систем из области вычислительной техники определение *системы* можно дать в следующей формулировке: **система** - это совокупность методов, процедур, программ и технических средств, объединенная определенными взаимоотношениями с целью выполнения определенной функции [2]. Как правило, искусственные системы описывают путем определения их *функций* и *структур*.

Функция системы - это правило получения результатов, предписанных целью (назначением) системы [7]. Это правило формулируется безотносительно к структуре системы и ее устройству. Функции системы могут описываться с разной степенью детализации. Для описания функций систем используются теории множеств, алгоритмов, случайных процессов, информации и т.д. Функционировать - значит реализовывать функцию, т.е. получать результаты, предписанные назначением системы.

Структура системы - это фиксированная совокупность элементов (объектов) и связей между ними [7]. Математическая форма отображения структур - это граф: элементы системы представляются вершинами графа, а связи - дугами (ребрами) графа. Инженерной формой изображения структур систем являются схемы. В схемах элементы и связи обозначаются любыми фигурами, удобными для инженерных применений.

Обычно одной и той же цели можно достичь различными *способами*, исходя из различных принципов *организации* системы. Под *организацией* можно понимать *модель*, на основе которой могут строиться многие конкретные системы [7]. *Организация* - понятие более высокого ранга, чем *функция* и *структура*. Если речь идет о *способе* порождения функций, достаточных для достижения определенной цели (получения определенных результатов), то используется термин *функциональная организация*. Если же речь идет о наборе элементов и способе их соединения в структуру, обеспечивающую реализацию функций определенного класса, то используется термин *структурная организация*. Определяя некоторый способ *функциональной организации*, можно выявить класс функций, присущих системам определенного назначения (безотносительно к средствам, необходимым для реализации этих функций), а, определяя способ *структурной организации*, можно выявить правило построения структур, реализующих некоторый класс функций, т.е. отвечающих некоторому назначению.

Используя понятия *функции* и *структуры*, можно определить понятия *анализа* и *синтеза* систем.

Анализ - это процесс определения свойств, присущих системе [7]. Типичная задача: известны функции и характеристики элементов системы и структура системы; необходимо определить функции или характеристики, присущие системе.

Синтез - это процесс порождения функций и структур, необходимых и достаточных для получения определенных результатов [7]. Определяя функции, реализуемые системой, определяют некоторую абстрактную систему, о которой известно только то, что она будет делать. Поэтому этап синтеза функций называют *абстрактным синтезом*, а этап порождения структуры, реализующей заданные функции, - *структурным синтезом*.

В системотехнике широко используется *моделирование* - процесс представления объекта исследований адекватной ему моделью и проведения экспериментов с моделью с целью получения информации об объекте исследования [7]. Моделирование позволяет исследовать такие объекты, прямой эксперимент с которыми трудновыполним, экономически не выгоден или вообще не возможен. Под *моделью* понимают физическую или абстрактную систему, *адекватно* представляющую собой объект исследования. *Адекватность* модели предполагает воспроизведение моделью с необходимой полнотой всех свойств объекта, существенных для целей данного исследования.

Можно выделить следующие разновидности моделей.

Физическая модель - совокупность материальных объектов [7]. Для их построения используют различные свойства материальных объектов, причем природа применяемых в модели материальных элементов необязательно та же, что и в исследуемом объекте. Пример физической модели - макет.

Абстрактная модель - это описание объекта исследования на некотором языке [7]. Например: словесные описания, чертежи, схемы, графики, таблицы, программы, математические описания. Компонентами абстрактной модели являются понятия, а не физические элементы.

Концептуальная модель - это абстрактная модель, выявляющая причинно-следственные связи, присущие исследуемому объекту и существенные в рамках определенного исследования [7]. Один и тот же объект может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от цели исследования (быстродействие, надежность и т.д.).

Математическая модель - это абстрактная модель, представленная на языке математических отношений [7]. Она имеет форму функциональных зависимостей между параметрами, учитываемыми соответствующей концептуальной моделью. Эти зависимости конкретизируют причинно-следственные связи, выявленные в концептуальной модели, и характеризуют их количественно.

В литературе и толковых словарях приводится ряд непротиворечивых определений понятия "*вычислительная система*". В них обязательно присутствует программный элемент. Аппаратные элементы присутствуют в виде технических средств вычислительной техники с различной структурой:

- совокупность взаимодействующих процессоров или вычислительных машин и периферийного оборудования [4], [6];
- одна или несколько ЭВМ [7];
- ЭВМ [3];
- технические средства [2].

Целевая функция вычислительной системы определяется различными непротиворечивыми формулировками:

- для совместного выполнения информационно-вычислительных процессов [6];
- для организации вычислительного процесса [3];
- для подготовки и решения задач пользователя [4];
- для обеспечения вычислительных работ [2];
- для обеспечения выполнения возложенных на систему функций [7].

Используя выше приведенные примеры можно сформулировать относительно общее определение в следующем виде: **вычислительная система** - это совокупность *программных и технических* средств обеспечивающая выполнение возложенных на систему функций. Требования к техническим средствам и ограничения на возлагаемые на систему функции определяются тем, что ВС реализует основные целевые функции программно с помощью технических средств, способных выполнять эти программы.

К **программным** средствам ВС относится *системное* и *прикладное* программное обеспечение (ПО). **Прикладное** программное обеспечение предназначено для решения определенных проблемных задач пользователей. Прикладные программы выполняются под управлением системного ПО и пользуются его сервисом для выполнения операций ввода-вывода. **Системное** ПО предназначено для повышения эффективности создания прикладных программ и их

реализации на технических средствах ВС, а также для предоставления пользователю определенных услуг по работе с ресурсами ВС. В системном ПО можно выделить четыре группы взаимосвязанных программных средств: *операционные системы, сервисные программы, инструментальные программные средства и программы диагностики, тестирования и наладки* технических средств ВС [6].

Центральное место в структуре системного ПО занимает *операционная система*. По определению ГОСТ 15971-84 "**операционная система (ОС)** (operating system) - система программ, предназначенная для обеспечения определенного уровня эффективности цифровой вычислительной системы за счет автоматизированного управления ее работой и предоставляемого пользователям набора услуг". Программные компоненты ОС обеспечивают управление вычислениями и реализуют такие функции, как планирование и распределение ресурсов, управление вводом-выводом информации, управление данными [11]. Любая ОС имеет средства приспособления к классам решаемых пользователем задач и к конфигурации средств, включаемых в ВС.

Для нашей предметной области, в рамках программных средств ОС, особое место занимают *драйверы устройств* ВС. **Драйвер устройства** (device driver) - программа, управляющая работой устройства; драйвер обычно является зависящим от устройства интерфейсом между данным устройством и общими, не зависящими от устройства программами ввода-вывода в операционной системе; драйвер обрабатывает прерывания устройства, поддерживает очередь запросов и преобразует запросы в команды управления устройством [2]. Наличие драйверов позволяет программно взаимодействовать с устройствами ЭВМ, не зная их сложную и постоянно меняющуюся с развитием технических средств ВС регистровую архитектуру (программную модель).

Сервисные программы расширяют возможность ОС посредством предоставления пользователю и его программам набора дополнительных услуг [12].

Инструментальные средства (трансляторы, загрузчики, текстовые редакторы, средства отладки) предназначены для эффективной разработки и отладки программ.

Программы диагностики, тестирования и наладки облегчают тестирование оборудования и поиск неисправностей.

Особое место в системном ПО персональных ЭВМ (персональных компьютеров – ПК; *Personal Computer* - PC) занимают *программно-информационные средства базовой системы ввода-вывода - BIOS* (Basic Input-Output System). Они хранятся в постоянной (энергонезависимой) памяти ROM BIOS (ПЗУ базовой системы ввода-вывода), устанавливаемой на системной (материнской) плате и ряде устройств расширения и являются неотъемлемой частью ПК. К **программным средствам BIOS** относятся программы начальной инициализации и тестирования, конфигурирования и распределения системных ресурсов, начальный загрузчик, обработчики прерываний и драйверы (сервисы) стандартных системных устройств и подсистем и ряд других программных модулей. К **информационным средствам BIOS** можно отнести таблицы системных констант, используемых при инициализации, тестировании и конфигурировании устройств, при программном переключении режимов работы подсистем, при форматировании носителей внешней памяти, знакогенераторы и т. д. BIOS можно назвать "врожденным интеллектом" ПК без которого он представляет собой просто "железо".

Как правило, **технические средства** ВС представлены *вычислительными машинами (ВМ)*. В литературе и толковых словарях можно встретить различные формулировки понятия ВМ [2 - 7]. В нашем случае можно выбрать следующее достаточно общее определение: **вычислительная машина** - это комплекс технических средств, имеющих общее управление, предназначенный для автоматической обработки информации по заданной программе [5].

По способу представления обрабатываемой информации можно выделить три основных разновидности ВМ:

- цифровые вычислительные машины (ЦВМ);
- аналоговые вычислительные машины (АВМ);
- гибридные (аналого-цифровые) вычислительные машины.

В ЦВМ информация представляется и обрабатывается в цифровой кодированной форме, а в АВМ - в аналоговой (непрерывной) форме. В гибридных ВМ часть устройств обрабатывает информацию в аналоговой форме, а другая - в цифровой.

По элементной базе можно выделить электронные (ЭВМ) и "не электронные" ВМ (механические, электромеханические, пневматические и т.п.). Аппаратура цифровых ЭВМ (ЦЭВМ или ЭЦВМ) изготавливается на базе цифровых электронных схем, а аппаратура аналоговых ЭВМ - в основном на аналоговых.

В рамках данного учебного пособия мы будем рассматривать вопросы, связанные с организацией вычислительных систем, выполненных только на базе *цифровых электронных вычислительных машин*. Поэтому в дальнейшем под понятиями "машина", "вычислительная машина" (ВМ), и "электронная вычислительная машина" (ЭВМ) мы будем понимать **ЦЭВМ**, а под понятием "вычислительная система" будем понимать ВС, выполненную на базе одной ЦЭВМ. Если ВС будет выполнена на базе нескольких взаимосвязанных ЭВМ (вычислительный комплекс или кластер), то такую ВС для уточнения будем называть **многомашинной вычислительной системой**.

Существует большое разнообразие ЭВМ и ВС, отличающихся своей организацией и структурой. Для определения их отличительных особенностей вводят понятие **архитектура**, которая в нашей предметной области в общем случае рассматривается как "*концепция взаимосвязи элементов сложной структуры, включающей компоненты логической, физической и программной структур*" [3] (концепция – система взглядов на то или иное явление). Ниже приведены формулировки понятий архитектуры ВС и ЭВМ:

- **Архитектура вычислительной системы** (computing architecture) - общая логическая организация цифровой вычислительной системы, определяющая процесс обработки *данных* в конкретной вычислительной системе и включающая методы кодирования *данных*, состав, назначение, принципы взаимодействия технических средств и программного обеспечения [2], [3]. В этом определении понятие **данные** (data) рассматривается как: - "*информация, представленная в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека*" (ГОСТ 15971-84) [2], [3].
- **Архитектура ЭВМ** (computer architecture) - совокупность основных устройств, узлов и блоков ЭВМ, а также структура основных управляющих и информационных связей между ними, обеспечивающая выполнение заданных функций [3].

Основные архитектурные особенности различных типов ЭВМ содержатся, как правило, в используемых принципах организации их центральных (обрабатывающих) частей, включающих в себя процессор и память. Большинство ЭВМ отвечают концепции архитектуры фон-Неймана. **Фон-неймановская архитектура** (von Neumann architecture) - организация ЭВМ, при которой вычислительная машина состоит из двух основных частей - линейно-адресуемой памяти, слова которой хранят команды и элементы данных, и процессора, выполняющего эти команды [3]. К не фон-неймановским ЭВМ можно отнести, например, потоковые и редуционные машины: **потоковая машина** (dataflow machine) - машина, в которой выполнение примитивных операций инициируется наличием операндов [3]; **редуционная машина** (reduction machine) - машина, вычисляющая арифметические выражения путем последовательного сокращения всех составляющих их подвыражений до тех пор, пока не останутся просто значения данных [3]. Более подробные описания различных архитектур ЭВМ можно найти в [4].

Хотя для нашей предметной области это не принципиально, в дальнейшем мы будем подразумевать, что ЭВМ имеет фон-неймановскую архитектуру и относится, как правило, к классу **персональных ЭВМ (ПЭВМ)** (персональный компьютер - **ПК**).

Основываясь на приведенных определениях понятия ЭВМ, на информации, представленной в учебной, справочной и технической литературе по тематике вычислительной техники, и исходя из общих соображений можно сформулировать следующий перечень основных функциональных элементов ЭВМ:

- один или несколько взаимосвязанных *центральных процессоров*;
- *основная (центральная) память*;
- *периферийные (внешние) устройства*;
- вспомогательные блоки (устройства);
- аппаратные внутренние коммуникационные средства (аппаратные средства внутренней коммуникационной среды ЭВМ).

Рассмотрим назначение этих элементов.

Процессор (processor) - устройство или функциональная часть цифровой вычислительной системы, предназначенная для интерпретации *программы* (ГОСТ 15971-84) [2], [3]. Согласно стандарту ISO 2382/1-84 программа для такого процессора - это "упорядоченная последовательность *команд*, подлежащая обработке". В результате выполнения программы реализуется определенный *алгоритм* - "конечный набор предписаний, определяющий решение задачи посредством конечного количества операций" (ISO 2382/1-84) [2], [4].

В нашем случае используется уточненное понятие: **центральный процессор (ЦП)** (central processor) - процессор, выполняющий в данной цифровой вычислительной системе основные функции по обработке *данных* и управлению работой других частей этой системы (ГОСТ 15971-84) [2]. В упрощенном виде центральный процессор состоит из арифметико-логического устройства (АЛУ), устройства управления (УУ) и набора универсальных и специализированных регистров, используемых для временного хранения команд, обрабатываемых данных и т.п. Данные и команды в ЦП поступают 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 ЭВМ. Обработка данных в ЦП осуществляется выполнением последовательности *команд*, предписывающих порядок передачи сигналов между его определенными узлами. Эта последовательность команд, или *программа*, составляется в соответствии с определенными условиями, понятными ЭВМ, т.е. на **внутреннем машинном языке**. В набор команд, выполняемых ЦП, обязательно входят команды обмена данными с другими устройствами ЭВМ.

Часто используется понятие **микропроцессор** (microprocessor) - большая интегральная схема, выполняющая функции центрального процессора [3], и **центральный процессорный элемент** (central processing unit (CPU)) - центральное обрабатывающее устройство.

Несколько взаимосвязанных центральных процессоров используются в ЭВМ, на базе которых строятся многопроцессорные (мультипроцессорные) системы (multiprocessing system). **Многопроцессорная система** - вычислительная система, имеющая два или более взаимосвязанных процессора, использующих общую память и управляемых единой операционной системой или обслуживающая единый поток заданий [3]. Такие системы также называют *симметричными мультипроцессорными вычислительными системами*, а взаимосвязанные между собой процессоры - **симметричными мультипроцессорами** (symmetric multiprocessor (SMP)) [4], [9]. В SMP-системах процессоры, как правило, симметричны (равноправны) не только по отношению к общей памяти, но и к коммуникационной среде ЭВМ и периферийным устройствам (каналам ввода-вывода).

Память (memory, storage) - функциональная часть ЭВМ, предназначенная для приема, хранения и выдачи *данных*; различают внутреннюю (*оперативную, основную*) и внешнюю память [3].

Оперативная (главная) память (main storage) - программно адресуемая *память*, быстродействие которой соизмеримо с быстродействием центрального процессора; *данные* в оперативной памяти доступны машинным командам для непосредственных ссылок по адресу или для обработки [3]. В ЭВМ фон-неймановской архитектуры *данные*, хранимые в оперативной памяти, могут представлять собой как цифровые (как правило, двоичные) коды величин или символов, предназначенных для обработки в ЦП, так и коды и операнды команд программ, под управлением которых осуществляется эта обработка. Оперативная память включает *основную память* и *регистровую память*.

Основная память (ОП) (main storage) - *оперативная память* в аспекте ее основного назначения: хранения исполняемых в данный момент программ и оперативно необходимых для этого *данных* [3]. Аппаратно она представлена *оперативным запоминающим устройством* (ОЗУ), *постоянными запоминающими устройствами* (ПЗУ) и *разделяемой памятью*.

Оперативное запоминающее устройство (Аббр.: ОЗУ, син.: запоминающее устройство с произвольным доступом, запоминающее устройство с произвольной выборкой, запоминающее устройство с непосредственным доступом; англ.: random access memory, RAM, random access storage, direct access memory) - запоминающее устройство, непосредственно связанное с центральным процессором и предназначенное для *данных*, оперативно участвующих в выполнении арифметико-логических операций (ГОСТ 22492-82) [2]. ОЗУ выполняет функции приема, хранения и выдачи *данных*. **Постоянное запоминающее устройство** (ПЗУ) (read only memory, ROM) - запоминающее устройство, непосредственно связанное с центральным процессором и предназначенное для *данных*, оперативно участвующих в выполнении арифметико-логической операций (ГОСТ 22492-82) [2]. ПЗУ предназначено только для хранения и выдачи *данных*. **Разделяемая память** (совместно используемая память) (shared storage) - память, для которой предусмотрены средства, обеспечивающие возможность ее одновременного использования двумя или более процессорами [2].

Регистровая память представлена внутренними регистрами центрального процессора и регистрами контроллеров (адаптеров) периферийных, вспомогательных и коммуникационных устройств. Большинство из них непосредственно доступно процессору по умолчанию или по их адресам. **Регистр** (register) рассматривается, как ячейка памяти или специальное устройство емкостью в одно слово, используемое для временного хранения *данных* в ходе выполнения программы.

К внутренней памяти можно также отнести *кэш-память* и *буферную память*.

Кэш-память (cache memory) - сверхоперативная память (СОЗУ), является буфером между относительно медленным ОЗУ и высокопроизводительными процессорами. Кэш-память не адресуема процессорами и потому "прозрачна" для них. Она хранит копии блоков *данных* тех областей ОЗУ, к которым происходили последние обращения, и вероятное последующее обращение к ним будет обслужено кэш-памятью гораздо быстрее, чем оперативной памятью.

Буферная память обычно представлена буферными запоминающими устройствами (БЗУ) контроллеров (адаптеров) периферийных, вспомогательных и коммуникационных устройств ЭВМ. Буферизация устройств позволяет обмениваться с ними блоками *данных* на максимально доступной скорости, обеспечиваемой *коммуникационной средой* ЭВМ.

Внешняя память (external storage) - средства памяти на сменных *носителях* (МД, ГМД, МЛ и т.п.), предназначенные для длительного хранения больших массивов *данных* [3]. Такую память можно отнести к внешней памяти архивного уровня. К внешней памяти относятся также средства памяти на несменных носителях типа "винчестер", *накопители* на флэш-памяти и т. п. Они выполняются в виде устройств, содержащих носитель информации, сред-

ства чтения и записи данных на носитель, управляющее устройство (контроллер) и средства подключения их к *интерфейсам ввода-вывода* коммуникационной среды ВС. Аппаратным аналогом понятия *внешняя память* является понятие **внешнее запоминающее устройство (ВЗУ)** (external storage device) - запоминающее устройство, подключаемое к центральной части вычислительной системы и предназначенное для хранения большого объема данных (ГОСТ 25492-82) [2]. Данные, находящиеся во внешней памяти, становятся доступны процессору посредством *операций (процедур) ввода*. **Операция ввода** (input operation) - совокупность действий ЭВМ по передаче данных из внешней памяти или периферийного устройства в основную память [3]. Во внешней памяти данные располагаются в виде блоков (например, секторов) и минимальный объем данных, участвующих при выполнении операций обмена между основной и внешней памятью определяется размером этих блоков. Следовательно, для того, чтобы процессору стало доступно какое-то слово во внешней памяти необходимо в основную память загрузить весь блок данных, который содержит это слово.

Периферийные (внешние) устройства. В литературе и толковых словарях приводятся различные трактовки понятия периферийные (внешние) устройства. Одни из них основываются на том, что эти устройства не входят в состав центральной части ЭВМ или ВС [3], [8], что вытекает из следующих ниже определений:

- **Центральная часть вычислительной системы** (main frame) - часть технических средств цифровой вычислительной системы, в состав которой входят объединенные единым управлением центральный процессор, основная память, *каналы ввода-вывода*, необходимые для выполнения программы после ее ввода (ГОСТ 15971-84) [2], [10]. В дальнейшем иногда будем применять синоним - **хост** (host) вычислительной системы, т.е. "хозяин" вычислительной системы, иногда - **мейнфрейм** (для больших ЭВМ).
- **Канал ввода-вывода** (input-output channel) - канал передачи данных между основной памятью и периферийными устройствами [2]; устройство, обеспечивающее пересылку данных между основной памятью и периферийными устройствами [18].

В других же формулировках делается акцент на основную функцию периферийных устройств - обеспечение непосредственного взаимодействия ВС с объектами внешнего мира [1], [4], [6]. В дальнейшем мы будем придерживаться следующей уточненной формулировки: **периферийные устройства (ПУ)** - это устройства ЭВМ, не входящие в состав центральной части ВС и предназначенные для взаимодействия ВС с объектами внешнего мира. Под **объектами внешнего мира** будем подразумевать *пользователей, другие ЭВМ (ВС), объекты управления, коммуникационные среды вычислительных сетей и носители информации устройств внешней памяти*.

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) и т.п. При взаимодействии ВС с объектами внешнего мира можно выделить ряд процессов: процессы преобразования способов представления информации (звуковые колебания воздушной среды - в аналоговые электрические сигналы; механическое перемещение - в прерывистый поток световых сигналов с последующим их преобразованием в поток дискретных электрических сигналов и т.д.); процессы кодирования (замена аналогового сигнала - потоком его кодированных дискретных эквивалентов; замена алфавитно-цифровых символов их кодовыми эквивалентами и т.п.); процессы преобразования формы представления кодированной информации (замена комбинации магнитных отпечатков на поверхности магнитных дисков на комбинацию высоких и низких электрических потенциалов, параллельное и последовательное представление передаваемых данных и т.п.); процессы передачи данных между ОЗУ и ПУ и др. Функции автоматического преобразования форм представления данных, их кодирование и преобразование

способов представления информации выполняются, как правило, ПУ под управлением их контроллеров.

Под **вспомогательными блоками (устройствами)** будем понимать устройства ЭВМ не входящие в состав устройств центральной части ВС, в состав периферийных устройств и в состав коммуникационных средств ЭВМ. К ним, например, можно отнести устройства подсистемы питания, подсистемы энергосбережения, устройства службы времени и т.п.

Аппаратные внутренние коммуникационные средства (технические средства внутренней коммуникационной среды ЭВМ) обеспечивают обмен сигналами, данными и сообщениями между всеми блоками и устройствами ЭВМ.

Под термином **сигнал** (signal) будем понимать "физический процесс или явление, несущий сообщение (информацию) о событии, состоянии объекта наблюдения либо передающий команды управления" [2].

Под термином **данные** часто понимают сведения, представленные в формализованном виде [1]. Формализация данных осуществляется с помощью *квантов информации*. **Квантами информации** в ЭВМ являются *биты, байты и машинные слова*, которые могут быть обработаны аппаратными средствами ВМ под управлением одной команды. **Бит** (bit) - минимальная единица количества информации в ЭВМ, равная одному двоичному разряду [3]. **Байт** (byte) - наименьшая адресуемая единица данных или памяти ЭВМ, равная 8 битам [3]. **Машинное слово** (computer word) - последовательность битов или знаков (байтов), трактуемая в процессе обмена или обработки как единый элемент данных [2].

Сообщением будем называть произвольное количество информации с явно или неявно указанным началом и концом и предназначенное для передачи. [1]. В рамках ВС рассматриваются в основном **дискретные сообщения** - сообщения, в которых данные представлены конечным числом квантов информации в виде последовательности кодов *символов*. Набор символов, с помощью которых может быть составлено произвольное сообщение, называется **алфавитом**; а полное число символов - **мощностью алфавита**. Как правило, *символ* кодируется двоичными кодовыми комбинациями размером в один байт, следовательно, мощность такого алфавита составляет 256 символов. Соответствие символов и их двоичных кодовых комбинаций (код) задается с помощью **кодовой таблицы**. Наиболее распространены двоичный и двоично-десятичный числовые коды и алфавитно-цифровые ISO 8859-5 (кодовая таблица ПК), КОИ-8, КОИ-7 и др. Использование того или иного кода определяется классом решаемых задач и особенностями периферийного оборудования.

Понятие **коммуникационной среды ЭВМ** можно ввести по аналогии с понятиями:

- **Коммуникационная среда** (communication environment) - совокупность технических и программных средств системы передачи данных [3] или *коммуникационной системы*.
- **Коммуникационная система** (communication system) - система, выполняющая вспомогательные функции, связанные с передачей информации между другими системами [2].

Согласно этих определений под **коммуникационной подсистемой ВС** будем понимать подсистему, выполняющую вспомогательные функции, связанные с передачей информации между различными компонентами (подсистемами) ВС (ЭВМ), под **коммуникационной средой ВС** будем понимать совокупность технических и программных средств коммуникационной подсистемы ВС, а под **коммуникационной средой ЭВМ** будем понимать технические средства коммуникационной среды ВС т.е. **аппаратные (технические) коммуникационные средства**. Технические средства коммуникационной среды ВС обеспечивают передачу сигналов и совместно с программными средствами участвуют в организации и работе *логических каналов обмена* данными и сообщениями между устройствами ВС, включая *логические каналы ввода-вывода*. В общем случае понятие **канал** (channel) можно рассматривать как: - часть коммуникационной системы, связывающая

между собой источник и приемник сообщений [3]. Канал обеспечивает распространение сигналов от источника к приемнику сообщений. Сообщение понятие логического уровня и формируется из символов, которые кодируются, как правило, байтами, состоящими из битов. В физической среде сообщения передаются с помощью сигналов, в которых на физическом уровне кодируются значения битов и байтов, из которых состоит сообщение. Следовательно, для организации канала требуется обеспечить как логическое, так и физическое соединение источника и приемника сообщений. В коммуникационной среде ЭВМ все устройства имеют прямые или транзитные физические соединения между собой. Следовательно, задачей логического соединения является обеспечение связи, в этой общей среде передачи сигналов, только между источником и приемником сообщений. Понятие **логический канал обмена** подчеркивает тот факт, что он формируется на логическом (канальном) уровне в рамках общей физической среды передачи сигналов. Понятие **логический канал ввода-вывода** указывает на то, что он формируется в рамках устройств коммуникационной среды ЭВМ, участвующих в обеспечении обмена между ОЗУ и ПУ ЭВМ.

Будем считать, что к **аппаратным (техническим) коммуникационным средствам** относятся *контроллеры, аппаратные интерфейсы и адаптеры*. Они входят в состав *коммуникационной среды* вычислительной системы.

Термин **контроллер** (controller) является англоязычным и под ним, как правило, понимают *устройство управления* [10]. Для определения понятия *контроллер* в нашей предметной области за основу возьмем ниже следующую формулировку. **Контроллер** - *специализированный процессор*, предназначенный для управления внешними устройствами - накопителями, дисплеями, принтерами. Наличие контроллера освобождает центральный процессор от выполнения этих функций [3]. В формулировке под **специализированным процессором** понимают "процессор, добавляемый в ЭВМ для оперативного решения определенного класса задач" [3]. Определение контроллера как процессорного элемента подчеркивает, что он выполняет свои функции (решает свои задачи) под управлением команд (сигналов, кодов, сообщений), поступающих к нему от ЦП и (или) других компонентов ВС. Учитывая, что в рамках ВС необходимо управлять не только ПУ, но и другими ее аппаратными средствами, освобождая ЦП от выполнения этих функций, можно дать определение понятия *контроллер* в следующем виде. **Контроллер** - *специализированный процессор, предназначенный для управления периферийным устройством или другим компонентом вычислительной системы и освобождающий центральный процессор и (или) процессор другого активного устройства от выполнения этих функций*. Контроллер, как правило, в своем составе имеет устройство управления, функциональные устройства и средства подключения к линиям аппаратных интерфейсов.

В относительно простой и прозрачной коммуникационной среде персонального компьютера IBM PC/AT можно, по ряду классификационных признаков, выделить несколько типов контроллеров.

1. Контроллеры с "жесткой" логикой управления реализацией функций. Не имеют программно-доступных регистров, т.е. "прозрачны" для ЦП. Режимы работы задаются подачей потенциалов высокого или низкого уровней на соответствующие входы контроллеров. Команды поступают в виде отдельных сигналов или их комбинаций на управляющие входы контроллеров. (Пример: контроллер системного интерфейса (системной шины), (системный контроллер) i82288).
2. Контроллеры с "жесткой" логикой управления реализацией функций. Имеют программно-доступные регистры. Режимы работы задаются программно, записью инструкций режимов в соответствующие адресуемые ЦП регистры (программируемые контроллеры). Команды физического уровня поступают на управляющие входы контроллера в виде отдельных сигналов или их комбинаций. Возможные операнды команд физического уровня поступают со стороны интерфейсов коммуникационной среды по шинам данных

и (или) адреса. (Пример: контроллер СОМ-порта i8250). Операнды команд, поступающих по шине данных, могут представлять собой одно или много байтовые команды логического уровня, которые должен выполнить контроллер (контроллер прерываний i8259А, контроллер накопителя на гибком магнитном диске i8272 и т.п.).

3. Контроллеры с внутренней программной логикой управления реализацией функций, выполняемые, как правило, на базе универсальных однокристальных микро-ЭВМ (микроконтроллеров). Остальные классификационные признаки соответствуют контроллерам второго типа (пример: контроллер адаптера клавиатуры i8042).
4. Контроллеры некоторых периферийных устройств (например, принтеров) выполнены в виде микропроцессорных систем со своими специализированными программными средствами, позволяющими программно реализовывать основные и дополнительные функции ПУ. Они, как правило, не имеют программно адресуемых хостом регистров, но поддерживают взаимодействие с хостом через *порты ввода-вывода адаптеров периферийных интерфейсов ввода-вывода* с использованием протоколов физического и канального уровней. Переключение широкого спектра их режимов работы может осуществляться хостом программно посылкой набора символов командных последовательностей (ESC - последовательностей для матричных, струйных и лазерных принтеров, AT-командами - для модемов). Некоторые лазерные принтеры могут поддерживать выполнение командных последовательностей (программ), написанных на высокоуровневых языках описания страниц, например PostScript.

В контроллерах второго, третьего, а иногда и четвертого типа обмен данными с программно доступными функциональными регистрами (портами) осуществляется через *логические каналы обмена* данными хоста по их адресам. Эти каналы формируются между ЦП и портом во время выполнения ЦП команд ввода-вывода.

В рамках ВС под **интерфейсом** (interface) будем понимать: "совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие устройств цифровой вычислительной системы и (или) программ" (ГОСТ 15971-84) [2]. В более широком смысле можно придерживаться определения: **интерфейс** - совокупность унифицированных технических и программных средств, используемых для сопряжения устройств в вычислительной системе или сопряжения между системами [3]. **Аппаратным интерфейсом** принято называть совокупность правил унифицированного взаимодействия между отдельными устройствами, а также совокупность *аппаратных, программных и конструктивных средств*, необходимых для реализации этих правил [1]. Составной частью понятия "аппаратный интерфейс" может служить термин "интерфейс физический", который определяет совокупность электрических, механических и функциональных характеристик средств, реализующих взаимодействие [18]. Иногда из понятия "физический интерфейс" могут вычленить понятие "электрический интерфейс" [8]. Как правило, в рамках коммуникационной среды ВС используется широкий набор аппаратных интерфейсов различных типов и рангов. Взаимодействие между устройствами осуществляется через линии интерфейса с помощью сигналов. К линиям интерфейса может подключаться два, или более устройств.

К **правилам взаимодействия** аппаратного интерфейса можно отнести сигнальный *протокол* взаимодействия через линии интерфейса (*протокол физического уровня*). В общем случае под **протоколом** можно понимать совокупность правил и соглашений, определяющих работу функциональных устройств и процедур в процессе взаимодействия (связи). При взаимодействии вычислительной системы с объектами внешнего мира могут использоваться протоколы нескольких уровней, число которых может достигать семи [41, 42]. Как правило, в рамках коммуникационной среды ВС взаимодействия между устройствами ВС могут быть регламентированы протоколами двух нижних уровней: протоколами *физического* и *логического (канального) уровней*. **Протокол физического уровня** (physical protocol) - протокол, регламентирующий механические, электрические, функциональные и процедур-

ные характеристики интерфейса между вычислительной машиной и средой передачи сигналов [2]. Протокол физического уровня призван обеспечить передачу сигналов между взаимодействующими устройствами. **Протокол канального уровня** (data link protocol) - протокол взаимосвязи, регламентирующий установление, поддержание, разъединение информационного логического канала [2] (логического канала обмена). Протокол канального уровня призван обеспечить передачу сообщений между взаимодействующими объектами канального (логического уровня) устройств. Эти определения можно распространить и на интерфейсы коммуникационной среды ВС. В аппаратных интерфейсах взаимодействие осуществляется с помощью сигналов, передаваемых, как правило, посредством электрических (или оптических) цепей, называемых **линиями интерфейса**. Совокупность линий, сгруппированных по функциональному назначению, принято называть **шиной интерфейса**: **шина интерфейса** - все линии, входящие в состав интерфейса; **шина адреса** - совокупность адресных линий; **шина данных** - линии передачи данных; **шина управления** - совокупность линий, по которым передаются управляющие сигналы, сигналы состояния и пр.; и т.п. К линиям интерфейса подключаются приемники и (или) передатчики сигналов, управление которыми осуществляется устройствами управления (**контроллерами**) интерфейса согласно правилам протокола физического уровня. Как правило, управление циклами обмена по линиям интерфейса осуществляет **ведущий контроллер (хост-контроллер интерфейса)**, другие же (ведомые) просто поддерживают обмен, следуя правилам протокола интерфейса. Когда к линиям интерфейса подключено несколько контроллеров, способных выполнять функции ведущего контроллера, то их доступ к управлению интерфейсом осуществляется по определенным правилам с помощью запросов и (или) системы арбитража. Ведущий контроллер осуществляет управление интерфейсом по заданию процессора активного устройства, получившего право на управление обменом, самостоятельно или при участии этого процессора (например, ЦП). Ведомые контроллеры поддерживают протокол интерфейса своими средствами самостоятельно, или при участии компонентов устройств, в состав которых они входят. *Линии, приемники, передатчики и контроллеры интерфейсов относятся к аппаратным средствам аппаратных интерфейсов.*

В совокупности аппаратных интерфейсов ВС можно выделить две группы: *внешние интерфейсы* и *внутренние интерфейсы*. **Внешний интерфейс** (front-end interface) - средства и правила взаимодействия подсистемы с внешними объектами (пользователем, вычислительной сетью) в отличие от ее взаимодействия с остальными компонентами системы [3]. Периферийные устройства ВС являются теми подсистемами, которые через внешние интерфейсы взаимодействуют с внешним миром и должны иметь вместе с контроллером ПУ и хостом средства поддержания взаимодействия с объектами внешнего мира на физическом и канальном (логическом) уровне. На физическом уровне взаимодействие осуществляется потоками электрических, оптических, акустических сигналов и электромагнитными волнами, которые несут потоки квантов информации в закодированном виде. ПУ должны иметь средства для кодирования и генерации соответствующих сигналов при выводе квантов информации, и средства восприятия сигналов и их декодирования при их вводе. При вводе и выводе информации могут использоваться промежуточные носители внешнего физического представления квантов информации (графическое изображение символов и рисунков на бумаге или на экране монитора, магнитные или оптические отпечатки на носителях внешней памяти, символы на клавишах клавиатуры и т.п.). На логическом (канальном) уровне взаимодействие осуществляются квантами информации внешнего мира. Внешний мир в качестве информационных квантов использует, как правило, *файлы, записи, поля и символы* (информация на носителях внешней памяти, пакеты, передаваемые по коммуникационным системам вычислительных сетей, текстовая информация на бумажных носителях и экранах видеомониторов, воспроизводимый и воспринимаемый звук и т.п.). **Файл** (file) - набор данных на логическом уровне рассмотрения [2]. Файл, как правило, состоит из *записей*. **Запись** (record) - единица обмена данными между программой и внешней памятью [3] и, на логическом уровне, с другими объектами внешнего мира. Запись, как правило, содержит

поля. **Поле** (field) - часть записи, имеющая функционально самостоятельное значение и обрабатываемая в программе как отдельный элемент данных [3]. Поле, как правило, состоит из *символов*. **Символ** (character, symbol)- знак, единица алфавита [3], кодируется, как правило, байтом. В этом случае байт образует неделимую для обработки совокупность двоичных разрядов.

Внутренний интерфейс (back-end interface) - интерфейс с внутренним компонентом системы [3]. Среди внутренних интерфейсов можно отдельно выделить *малые интерфейсы и интерфейсы ввода-вывода*. **Малый интерфейс** - интерфейс, используемый для подключения однотипных устройств к общему устройству управления [3]. **Интерфейс ввода-вывода** (input-output interface) - стандартное сопряжение устройств управления внешними (периферийными) устройствами и каналов ввода-вывода [3]. Эти понятия были введены для ЭВМ общего назначения типа IBM 360/370 (ЕС-ЭВМ). В этих ЭВМ под каналом понимался процессор ввода-вывода, управляющий интерфейсом ввода-вывода. Контроллеры (адаптеры) ПУ подключались к каналу через интерфейс ввода-вывода, а через малый интерфейс - к ПУ. Периферийные устройства представляли собой относительно простые исполнительные электромеханические устройства с простой электроникой, реализующей их локальные функции (например, дисковод накопителя на магнитных дисках, приводы накопителей на магнитных лентах, видеомонитор, консольное устройство ввода-вывода, модем и т.п.). Управление работой ПУ через линии малого интерфейса осуществляли или контроллеры ПУ (контроллеры накопителей на магнитных дисках и лентах), или (для относительно простых устройств типа консольного устройства ввода-вывода, модема и т. п.) центральный процессор. Во втором случае ЦП управлял линиями малого интерфейса и получал информацию о состоянии устройств и данные через программно доступные регистры (порты) ввода-вывода (порт данных, порт управления, порт состояния и т. д.).

В архитектуре современных ПК в общем случае можно выделить следующую иерархию интерфейсов ввода-вывода.

1. **Интерфейсы ввода-вывода системного уровня (ИВВ хоста или системные ИВВ)**. Это интерфейсы, обеспечивающие подключение устройств к центральной части ЭВМ (хосту ЭВМ) на системном уровне, т.е. организация обмена по этим интерфейсам осуществляется с использованием системных ресурсов (каналов прямого доступа к памяти (КПДП), линий запросов аппаратных прерываний, адресного пространства ввода-вывода и основной памяти). Эти интерфейсы участвуют в организации логических каналов ввода-вывода хоста, которые обеспечивают обмен данными между ЦП, ОП и портами ввода-вывода. Эти интерфейсы более других соответствуют исходному понятию интерфейса ввода-вывода. В ПК ИВВ хоста представлены как *шины расширения* (интерфейсы расширения системы, интерфейсы расширения системного уровня или просто интерфейсы системного уровня). В рамках микро-ЭВМ синонимом понятию шины расширения может являться *магистраль системы* (system bus) - универсальная шина соединения периферийных устройств с процессором и запоминающим устройством, используемая в микро-ЭВМ.[2]. Понятие *магистраль* может трактоваться следующим образом: устройство связи процессора и оперативной памяти с устройствами управления вводом-выводом [3]; совокупность линий и шин интерфейса, обеспечивающих его функционирование [18]. Синонимом магистрали может являться термин "общая шина" (common bus) - универсальная шина соединения периферийных устройств с процессором и запоминающим устройством [2].
2. **Периферийные интерфейсы ввода-вывода (периферийные ИВВ)**. Эти интерфейсы позволяют осуществлять обмен между портами ввода-вывода устройств (хост-адаптеров этих интерфейсов), подключенных к ИВВ хоста, и контроллерами ПУ. Эти интерфейсы и контроллеры ПУ, как правило, не используют системные ресурсы для реализации этого обмена.

3. **Малые интерфейсы ввода-вывода (малые ИВВ).** Они обеспечивают взаимодействие контроллера ПУ с исполнительным устройством ПУ. Они соответствуют понятию "малые интерфейсы".
4. **Внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ).** Они обеспечивают обмен информацией между исполнительными устройствами ПУ и объектами внешнего мира или промежуточными носителями информации внешнего мира и соответствуют исходному понятию "внешние интерфейсы".

Итак, устройство управления ПУ (контроллер ПУ) и исполнительное устройство ПУ взаимодействуют между собой через линии *малого ИВВ*. Конструктивно контроллер ПУ и исполнительное устройство ПУ могут быть выполнены в виде единого устройства (принтер, внешний модем, клавиатура), или в виде отдельных устройств, соединяемых между собой *интерфейсными кабелями малого интерфейса* (НГМД - контроллер НГМД, видеомонитор - видеоадаптер). Во втором случае один контроллер ПУ может управлять несколькими однотипными исполнительными устройствами (например, приводами (дисковыми) НГМД).

Устройство управления ПУ подключается к центральной части ЭВМ (к хосту) через *периферийный ИВВ* посредством *адаптера (хост-адаптер, адаптер ПУ)* который с одной стороны подключается к шинам *ИВВ хоста (шины расширения - expansion bus [8], [15])*, а с другой - к линиям (шине) *периферийного ИВВ*. При подключении к хосту на стадии конфигурирования *хост-адаптеру* выделяются системные ресурсы, необходимые для организации логических каналов обмена в разделяемой коммуникационной среде хоста (базовые адреса ввода-вывода, линии запросов прерывания, каналы прямого доступа к памяти, базовые адреса разделяемой памяти и т.п.). Как правило, *хост-адаптер* содержит один или несколько (*контроллеров*), реализующих функции подключения к аппаратному интерфейсу расширения системы (ИВВ хоста) и взаимодействия с логическими каналами обмена, функции преобразования способов представления данных, функции управления передачами данных по периферийному ИВВ и пр. В состав контроллеров могут входить функциональные регистры, часть из которых могут быть непосредственно программно доступны со стороны центрального процессора (регистры данных, управления, состояния и т.п.). За каждым таким регистром закреплен уникальный адрес, привязанный к базовому адресу ввода-вывода контроллера (хост-адаптера). Эти программно доступные регистры являются конечными точками логических каналов обмена хоста, формируемых в коммуникационной среде центральной части ЭВМ при выполнении хостом команд обмена или операций ввода-вывода по их адресам. Эти регистры называют **портами (port)** [3]. Программно доступный регистр, через который производится транзитный обмен данными между логическим каналом обмена хоста и устройством, подключенным к периферийному ИВВ, называется **портом ввода-вывода**, а соответствующий логический канал - **логическим программным каналом ввода-вывода хоста**. Со стороны периферийных устройств **порт (канал памяти)** - это *точка подключения* периферийных устройств к ЭВМ, имеющая уникальный адрес в системе адресации ЭВМ [2], а **порт ввода-вывода (input-output port)** - *средство для подключения* периферийных устройств к ЭВМ [2]. Есть еще много непротиворечивых определений понятия *порт* (см. [2], [3], [8], [14], [15]).

Если в коммуникационной среде хоста организуется канал прямого доступа к памяти (ПДП), то порт (регистр) ввода-вывода хост-адаптера, участвующего в обмене между периферийным ИВВ и ИВВ хоста выбирается не программным обращением по его адресу, а соответствующей линией ИВВ хоста, управляемой контроллером ПДП (КПДП). В этом случае в процессе обмена по логическому каналу ПДП контроллер ПДП будет генерировать на линиях ИВВ хоста только адреса ячеек ОП и командные сигналы. Аналогично действует и хост-адаптер, функционирующий в режиме Bus Master.

Хост-адаптеры многих периферийных ИВВ (адаптеры ПУ) располагаются на материнских платах ПК и подключаются непосредственно к шинам ИВВ хоста, а другие могут подключаться к материнским платам через слоты ИВВ хоста в виде устройств расширения. (Под **слотом** (slot) понимают специальный разъем ("целевого" типа) в компьютере, куда вставляется печатная плата устройства [15]). В этих случаях на материнских платах и устройствах расширения имеются специальные разъемы для подключения ПУ через кабели периферийных ИВВ. Таким способом к адаптерам могут подключаться только те ПУ, у которых их контроллеры располагаются в едином корпусе с исполнительными устройствами ПУ. Некоторые адаптеры совмещены с контроллерами ПУ в едином блоке (адаптер гибких дисков, видеоадаптер). В этом случае периферийный ИВВ формируется внутри этого блока, а исполнительное устройство ПУ подключается к этому блоку через кабель соответствующего *малого ИВВ* и этот интерфейс, в данном случае, рассматривается как интерфейс подключения таких ПУ. Есть периферийные устройства, у которых и адаптер и контроллер и исполнительное устройство выполнены в едином конструктиве (сетевой адаптер, внутренний модем). В этом случае оно подключается непосредственно к слоту шины *интерфейса расширения системы* (ИВВ хоста) и этот интерфейс является интерфейсом подключения таких ПУ. Наконец есть ПУ, которые реализованы на материнской плате и подключаются непосредственно к шинам системного ИВВ. Они имеют единственный тип разъемов - разъемы *внешнего ИВВ* (интегрированные сетевые адаптеры и модемы).

В мини-ЭВМ и ранних микро-ЭВМ использовались текстовые и графические дисплеи. Эти ПУ состояли из трех отдельных блоков: устройства управления (УУ), видеомонитора и клавиатуры. В УУ находились контроллеры видеомонитора и клавиатуры. УУ подключалось к блоку хост-адаптера через кабель параллельного или последовательного периферийного ИВВ, а видеомонитор и клавиатура подключались к УУ через кабели своих малых интерфейсов.

В литературе часто в рамках аппаратных интерфейсов вместо понятия "интерфейс" применяют понятие "шина". Это, в какой-то степени, отражает суть аппаратного интерфейса. По линиям интерфейса, сгруппированным в шины, передаются физические сигналы, несущие информацию и позволяющие обмениваться этой информацией устройствам ВС. Однако понятие "интерфейс" более общее и включает в себя понятие "шина".

Адаптер (adapter) - устройство сопряжения между собой устройств с различным способом представления данных либо устройств, использующих различные виды *унифицированных сопряжений* [2], [3]. **Сопряжение** - синоним интерфейса. Под *унифицированным сопряжением* понимается **стандартный интерфейс** (standard interface) - унифицированный интерфейс, используемый для стандартного подключения внешних устройств к каналам ввода-вывода; средство сопряжения двух систем или их частей, в котором все параметры отвечают предварительным соглашениям и широко используются в других устройствах [3].

В коммуникационной среде ВС к адаптерам можно отнести любое устройство, включенное между шинами ее унифицированных интерфейсов. Помимо этого, формально, к адаптерам можно отнести ПУ. ПУ обеспечивают взаимодействие центральной части ВС, в которой используется свой внутренний способ представления информации, и объектами внешнего мира, оперирующими информацией, представленной в удобной им форме. Примером простого адаптера может служить устройство, преобразующее сигналы, передаваемые по линиям интерфейсов, из одного вида в другой, например, сигналы высокого и низкого уровней напряжения, используемые в одном интерфейсе, в соответствующие сигналы тока или световые сигналы, используемые в других интерфейсах. Такие устройства называют также *конверторами*. (**Конвертор** (converter) - устройство ЭВМ, преобразующее сигналы одного вида в сигналы другого вида [3]).

В общем случае для выполнения своих функций адаптеры ВС должны иметь в своем составе средства для их подключения к линиям интерфейсов (к среде передачи интерфейсов), сред-

ства для поддержания протоколов обмена, и средства для преобразования форм и способов представления данных, их кодирования и декодирования. Как правило, адаптеры ВС выполняются на базе одного или нескольких специализированных и (или) универсальных контроллеров и (или) микропроцессоров и (или) микропроцессорных систем и вспомогательных устройств. Например, в относительно простом персональном компьютере IBM PC/AT адаптер, включенный между шинами локального (L) и системного (S) интерфейсов, выполнен на базе системного контроллера, двунаправленных шинных формирователей и фиксаторов адресов. При этом системный контроллер одновременно выполняет функции управления обменом по шинам интерфейса S (функции контроллера интерфейса) и функции управления обменом между шинами L и S интерфейсов (функции адаптера).

Аналогично, контроллер хост-адаптера интерфейса клавиатуры, выполненный на базе универсального микроконтроллера, поддерживает функции управления обменом между своим буферным регистром данных и клавиатурой в последовательном формате по линиям интерфейса подключения клавиатуры (периферийного ИВВ). А с другой стороны, он обеспечивает обмен данными между клавиатурой, использующей последовательный интерфейс и процессором, подключенным к шинам параллельного интерфейса, т. е. выполняет функции адаптера. Следует отметить, что контроллер хост-адаптера интерфейса клавиатуры взаимодействует с клавиатурой только на уровне физического протокола (на уровне сигналов), а при его взаимодействии с процессором используются протоколы как физического, так и канального уровней. В связи с буферизацией передаваемых через адаптер клавиатуры данных процессы обмена по линиям интерфейса клавиатуры (периферийного ИВВ) и по шинам интерфейса расширения системы (ИВВ хоста) могут быть значительно разнесены во времени.

Другим примером может служить хост-адаптер шины (периферийного ИВВ) USB (Universal Serial Bus - универсальная последовательная шина). Хост-адаптер USB выполнен на базе хост-контроллера USB и корневого хаба USB. Он обеспечивает связь шины USB и периферийных устройств, подключенных к ней, с ядром (центральной частью - хостом) компьютера (ЭВМ). Уточнение хост (хозяин) у адаптера определяет тот факт, что через этот адаптер к шине USB подключается единственный компьютер (хост) в системе устройств шины USB. Все другие устройства USB подключаются к интерфейсу USB через обычные USB адаптеры, как правило, встраиваемые в эти устройства. Уточнение хост в контроллере USB определяет тот факт, что хост-контроллер USB является "хозяином - хостом" шины ИВВ USB, т.е. управляет всеми обменами по этой шине. С другой стороны, хост - контроллер совместно с корневым хабом является посредником между устройствами USB и хостом компьютера, выполняя функции адаптера этих устройств (адаптера, включенного между шиной ИВВ хоста и шиной периферийного ИВВ USB).

В рамках рассмотренных основных функциональных элементов ЭВМ и их компонентов можно выделить несколько функциональных подсистем ЭВМ с конкретными средствами реализации их функций.

Центральная часть ЭВМ – хост ЭВМ. В ее состав входят: центральный процессор, оперативная память и *внутренняя коммуникационная среда хоста*, позволяющая обмениваться информацией между центральным процессором, основной памятью и адресуемыми оперативно доступными регистрами (портами) вспомогательных, коммуникационных устройств и адаптеров (контроллеров) периферийных интерфейсов ввода-вывода (адаптерами ПУ). В состав технических средств этой коммуникационной среды входят интерфейсы подключения ЦП, оперативного ЗУ, интерфейсы расширения системы (ИВВ хоста), адаптеры, включенные между шинами этих интерфейсов, кэш-память и ее контроллер, контроллеры интерфейсов, памяти и адаптеров, контроллеры аппаратных прерываний, системные контроллеры прямого доступа к памяти и т.д. В рамках этой коммуникационной среды программными средствами формируются логические каналы обмена и ввода-вывода, оканчивающиеся регистрами - портами. Управление передачами данных по каналам обмена осуществляется ЦП програм-

мно (программные каналы). В рамках логических каналов ввода-вывода управление обменом может осуществляться или ЦП (программный ввод-вывод), или специальными аппаратными средствами без участия ЦП (ввод-вывод в режиме прямого доступа к памяти - ПДП (direct memory access - DMA)). Если во внутренней коммуникационной среде хоста предусмотрены дополнительные аппаратно-программные средства в виде *процессоров ввода-вывода (процессор ввода-вывода (ПВВ) (input-output processor) - специализированный процессор, предназначенный для ввода и вывода потока данных и распределения данных между отдельными процессами [2]), то организация логических каналов ввода-вывода и управление обменом по ним осуществляется ПВВ по специальным запросам от ЦП (ввод-вывод через ПВВ). Как правило, ПВВ могут осуществлять управление обменом по формируемым ими каналам своими программно-аппаратными средствами или с привлечением аппаратных средств прямого доступа к памяти. ПВВ иногда называют каналами ввода-вывода (КВВ) [1], [4].*

Периферийная часть ЭВМ. Она включает в себя:

- периферийные устройства с различной степенью конструктивной интеграции:
 - ПУ, конструктивно выполненные на системных (материнских) платах ПК и непосредственно подключенные к шинам ИВВ системного уровня (ИВВ хоста);
 - ПУ, конструктивно выполненные в одном блоке, который подключается к шинам ИВВ системного уровня через их слоты расширения;
 - ПУ, состоящие из двух отдельных блоков: блока адаптера и совмещенного с ним контроллера ПУ, подключаемого непосредственно к шинам ИВВ хоста, или через их слоты расширения; исполнительного блока ПУ, подключаемого к первому блоку кабелем малого ИВВ;
 - ПУ, с совмещенными в одном корпусе контроллером ПУ и исполнительным блоком, подключаемые к хосту через периферийный ИВВ и его хост-адаптер;
 - ПУ, состоящее из трех отдельных блоков: блока адаптера, блока контроллера ПУ и блока исполнительного устройства ПУ. Первый и второй блоки соединяются кабелем периферийного ИВВ, а второй и третий взаимодействуют через кабель малого ИВВ.
- Вспомогательные устройства с их контроллерами и адаптерами, располагаются, как правило, на материнской плате. Подключаются к шинам ИВВ системного уровня и (или) к вспомогательным интерфейсам.
- Малые ИВВ, периферийные ИВВ, средства расширения периферийных ИВВ (хабы, коммутаторы, кабели и т.п.), хост-адаптеры периферийных ИВВ, подключаемые к ИВВ хоста, и адаптеры ПУ, подключаемые к шинам периферийных ИВВ.

Периферийная и внутренняя части ЭВМ взаимодействуют между собой через порты. Поскольку, как правило, компоненты этих двух частей ВС функционируют относительно независимо друг от друга, то синхронизация их взаимодействия осуществляется или по опросу центральной части или по запросам периферийной части на обслуживание обмена в режиме прерываний (программный обмен) или в режиме прямого доступа к памяти (ПДП). В последнем случае прямой доступ к ОЗУ хоста осуществляется или общими системными средствами ПДП, или средствами ПДП хост-адаптеров периферийных ИВВ, которые, как правило, работают в режиме *busmastering*. **Bus Master (busmastering)** - монопольный режим работы с шиной интерфейса расширения системы. В этом режиме определенное устройство (bus master) может дать команду другим устройствам прекратить работу с шиной [14], [15].

Внешняя часть ЭВМ. Она представлена компонентами исполнительных устройств ПУ, реализующих под управлением контроллеров ПУ функции контроллеров и адаптеров внешних интерфейсов (внешних ИВВ).

В рамках ВС выполнение взаимодействия с объектами внешнего мира возложено на *подсистему ввода-вывода* (в дальнейшем *система ввода-вывода ВС*) [1], [16].

Под **подсистемой (системой) ввода-вывода вычислительной системы (СВВ ВС)** будем понимать совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих обмен информацией между ОЗУ и объектами внешнего мира. К аппаратным средствам СВВ ВС будем относить центральный процессор (или процессор ввода-вывода, если он присутствует в ВС), аппаратные средства *коммуникационной среды СВВ ВС*, периферийные устройства и технические средства внешних интерфейсов. Коммуникационная среда СВВ ВС является частью коммуникационной среды ВС и обеспечивает, под управлением и участии ЦП или ПВВ, организацию логических каналов ввода-вывода в коммуникационной среде хоста и передачу данных между портами ввода-вывода и контроллерами ПУ и (или) исполнительными устройствами ПУ в рамках периферийной части ЭВМ. К программным средствам СВВ будем относить средства операционных систем, обеспечивающие логическую организацию ввода-вывода и средства BIOS.

Под **подсистемой (системой) ввода-вывода ЭВМ (СВВ ЭВМ)** (компьютера, ПК) будем понимать аппаратные (технические) средства СВВ ВС. К ним относятся аппаратные средства *внутренней коммуникационной среды хоста*, участвующие в организации логических каналов ввода-вывода, аппаратные средства периферийной части ЭВМ, за исключением вспомогательных устройств, а также аппаратные средства внешней части ЭВМ.

Под **подсистемой (системой) ввода-вывода центральной части (хоста) ВС (СВВ хоста ВС)** будем понимать совокупность программных и аппаратных (технических) средств, обеспечивающих обмен данными между ОЗУ и портами устройств, подключенных к ИВВ хоста. Ее функции распространяются не только на организацию обмена с объектами внешнего мира через логические каналы ввода-вывода, порты ввода-вывода, периферийную и внешнюю части ЭВМ, но и на организацию обмена между ЦП и портами устройств ЭВМ непосредственно не участвующих в работе каналов ввода-вывода, а выполняющими определенные внутрисистемные функции.

Под **СВВ хоста ЭВМ** будем понимать аппаратные (технические) средства СВВ хоста ВС, которые включают в себя все средства *внутренней коммуникационной среды хоста*.

Основываясь на проведенном анализе структурных компонентов основных функциональных элементов ЭВМ, как аппаратной платформы ВС, можно выделить те элементы ЭВМ или их компоненты, которые можно отнести к **предметной области дисциплины "Интерфейсы периферийных устройств"**. К этим элементам и компонентам можно отнести:

- интерфейсы расширения системы (ИВВ хоста), входящие в состав устройств центральной части ЭВМ;
- устройства и интерфейсы периферийной части ЭВМ, за исключением вспомогательных устройств и интерфейсов;
- устройства и интерфейсы внешней части ЭВМ.

С точки зрения организации ввода-вывода в ВС к предметной области курса можно отнести вопросы, связанные:

- с организацией подсистемы (системы) ввода-вывода ВС, ЭВМ, хоста;
- с организацией ИВВ хоста, периферийных, малых и внешних ИВВ;
- с принципами работы контроллеров и адаптеров периферийной части ЭВМ и принципами работы исполнительных устройств ПУ.

Очерченный круг предметной области дисциплины "Интерфейсы периферийных устройств" показывает, что все ее аппаратные и программные компоненты связаны с организацией обмена информацией между ВС и объектами внешнего мира в рамках СВВ ВС и ее подсистем.

темы СВВ ЭВМ. Причем в рамках СВВ ЭВМ основная часть предметной области сосредоточена в периферийной и внешней частях ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Как формулируется понятие «Вычислительная техника»?
2. Почему понятие «Вычислительная система» является более общим понятием, чем «Вычислительная машина» и «Вычислительный комплекс»?
3. Как можно сформулировать понятие «Вычислительная сеть»?
4. Как можно сформулировать понятие «Система» в предметной области искусственных (инженерных) систем?
5. Что понимается под функцией и структурой системы?
6. Раскройте содержание понятий «структурная и функциональная организация» системы.
7. Что можно понимать под анализом и синтезом систем?
8. Что понимается под моделью системы, какие разновидности моделей можно выделить?
9. Сформулируйте относительно общее определение понятия «Вычислительная система».
10. Что понимается под прикладным и системным программным обеспечением ВС?
11. Сформулируйте относительно общее определение понятия «Вычислительная машина». Какие разновидности ВМ можно выделить?
12. Что мы будем понимать под аббревиатурами ВМ (ЭВМ) и ВС в предметной области дисциплины «Интерфейсы периферийных устройств»?
13. Сформулируйте определения понятий «Архитектура», «Архитектура вычислительной системы» и «Архитектура ЭВМ».
14. Охарактеризуйте особенности ВМ фон-неймановской, потоковой и редукционной архитектур.
15. Перечислите основные функциональные элементы ЭВМ.
16. Раскройте содержание понятий «Процессор» и «Центральный процессор».
17. Охарактеризуйте понятие «Память» и ее разновидности – внутреннюю и внешнюю.
18. Что понимается под оперативной и основной памятью?
19. Раскройте содержание понятия «Периферийные устройства».
20. Что понимается под вспомогательными блоками (устройствами) ЭВМ?
21. Что обеспечивают аппаратные (технические) средства коммуникационной среды ЭВМ? Что понимается под сигналами, данными и сообщениями?
22. Раскройте содержание понятия «Коммуникационная среда ЭВМ».
23. Что понимается под каналом, логическим каналом обмена и логическим каналом ввода-вывода?
24. Что относится к аппаратным (техническим) коммуникационным средствам ЭВМ?
25. Охарактеризуйте понятие «Контроллер» в рамках предметной области дисциплины «Интерфейсы периферийных устройств».
26. Какие типы контроллеров можно выделить в рамках коммуникационной среды ПК типа IBM PC/AT.
27. Охарактеризуйте понятие «Интерфейс» в рамках коммуникационной среды ВС. Что понимается под аппаратным интерфейсом?
28. Охарактеризуйте связанные с интерфейсом понятия: протокол, линия, шина, контроллер.
29. Охарактеризуйте понятия «Внешний интерфейс».
30. Охарактеризуйте понятия: «Внутренний интерфейс», «Малый интерфейс» и «Интерфейс ввода-вывода».
31. Какие разновидности интерфейсов ввода-вывода можно выделить в рамках архитектуры современных ПК?
32. Для чего и как используются малые и периферийные ИВВ?
33. Охарактеризуйте различные трактовки понятия «Порт».
34. Охарактеризуйте понятие «Адаптер» и другие, связанные с ним понятия.

35. Опишите примеры использования адаптеров в РС-совместимых ПК.
36. Чем отличается хост-контроллер USB от хост-адаптера USB?
37. Охарактеризуйте понятие «Центральная часть ЭВМ – хост ЭВМ».
38. Охарактеризуйте понятие «Периферийная часть ЭВМ».
39. Охарактеризуйте понятие «Внешняя часть ЭВМ».
40. Охарактеризуйте понятие «Подсистема (система) ввода-вывода ВС» (СВВ ВС).
41. Охарактеризуйте понятие «Подсистема (система) ввода-вывода ЭВМ» (СВВ ЭВМ).
42. Охарактеризуйте понятие «Подсистема (система) ввода-вывода центральной части (хоста) ВС» (СВВ хоста ВС).
43. Охарактеризуйте понятие «Подсистема (система) ввода-вывода центральной части (хоста) ЭВМ» (СВВ хоста ЭВМ).
44. Охарактеризуйте предметную область дисциплины «Интерфейсы периферийных устройств».

ЧАСТЬ I. Состав, структура и организация системы ввода-вывода

Глава 1.

Состав и структура системы ввода-вывода

1.1. Системы ввода-вывода

Во Введение были сформулированы понятия: *система ввода-вывода ВС (СВВ ВС)* как совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих обмен информацией между ОЗУ и объектами внешнего мира (пользователями, другими ЭВМ, объектами управления, коммуникационной средой сетей и носителями внешней памяти); *система ввода-вывода ЭВМ (СВВ ЭВМ)* как технические (аппаратные) средства СВВ ВС; *система ввода-вывода центральной части (хоста) ВС* как совокупность программных и аппаратных (технических) средств, обеспечивающих обмен данными между ОЗУ и портами устройств, подключенных к ИВВ хоста и *система ввода-вывода хоста ЭВМ* как аппаратные (технические) средства СВВ хоста ВС.

Набор функций системы ввода-вывода (СВВ) ВС практически не зависит от типа ЭВМ, однако их конкретное распределение между различными аппаратными и программными компонентами СВВ ВС в значительной мере определяется решаемыми ВС классами задач, назначением ЭВМ, условиями и режимами использования, ее архитектурой, характеристиками производительности, набором периферийных устройств и т.д. Распределение функций, при выполнении операций ввода-вывода, называется *структурной организацией* СВВ ВС.

1.2. Решаемые классы задач и их требования к средствам СВВ

Все многообразие задач, решаемых ВС, 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 сообще-

ний содержит большое число символов. Задачи обработки данных требуют разнообразных ПУ для ввода-вывода информации в виде текста, графиков и речи, внешней памяти для хранения больших объемов справочной информации, а также средств подключения к вычислительным сетям и телекоммуникационным системам.

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)*.

1.3. 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 и разъемных соединений, а также за счет модификации программ управления аппаратными модулями. Концепция переменного состава оборудования требует *стандартизации* аппаратных модулей, 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 аппаратно-совместимых модулей и обеспечивает при этом *информационную и программную совместимость*. *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, дать возможность отображать и документировать ход процесса управления и т.д.

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, ПК) предназначены для работы с одним пользователем в режиме индивидуального доступа. Этот класс охватывает широкий круг ПК, от стационарных (настольных) и до карманных ПК. СВВ персональных ЭВМ отличаются сравнительной простотой организации, наличием широкого спектра дешевых ПУ, среди которых наиболее распространены клавиатуры и манипуляторы для ввода информации, устройства отображения для вывода, устройства внешней памяти на магнитных и оптических дисках, устройства печати (матричные, струйные, лазерные и т.д.). ПК оборудуются средствами подключения к

глобальным, локальным и домашним сетям, поддерживают интерфейсы ввода-вывода USB, SCSI и т.д. Они ориентированы на непрофессионального, в области ВТ, пользователя. Поэтому одно из основных требований к их СВВ заключается в организации наиболее естественного общения - в форме диалога, посредством текстовых сообщений, графики, речи.

Управляющие микро-ЭВМ ориентированы на работу в реальном масштабе времени по управлению объектами и технологическими процессами. СВВ управляющих микро-ЭВМ 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 устройства ввода-вывода (УВВ) дискретных сигналов, входящие в состав устройств связи с объектом (УСО). Кроме того, управляющие микро-ЭВМ часто объединяют с другими ЭВМ в многомашинные вычислительные комплексы (ВК) и системы (ВС) посредством различных устройств сопряжения, включая локальные сети. Конструктивно микро-ЭВМ часто выполняют в виде модулей, встраиваемых в системы управления. Управляющие микро-ЭВМ часто называют промышленными микро-ЭВМ (микрокомпьютерами).

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 микропроцессорных (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, печатающие устройства (ПЧУ), внешние запоминающие устройства (ВЗУ) большой емкости, а также устройства сопряжения с каналами связи для организации дистанционного доступа. В дальнейшем развитии мини-ЭВМ по своей производительности стали незначительно отличаться от больших ЭВМ общего назначения. Широкая номенклатура периферии дополнилась блоками межпроцессорной связи, что позволило создавать системы с изменяемой структурой. Появились даже суперминикомпьютеры. Родоначальником современных мини-ЭВМ можно считать компьютер PDP-11 фирмы DEC (США). Он явился прообразом отечественных мини-ЭВМ СМ 3, СМ-1420 и т.п. К относительно современным миникомпьютерам фирмы DEC можно отнести VAX - 8250, 8820; а к суперминикомпьютерам VAX-9410, 9430. Среди прочих миникомпьютеров можно отметить: однопроцессорные IBM 4381 и HP 9000; многопроцессорные Wang VS 7320 и AT&T 3B 4000; суперминикомпьютеры HS 4000. Число процессоров у миникомпьютеров может достигать 32 и более, а число каналов ввода-вывода – 64 и более.

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. В последнее время центральные части (мэйнфреймы - mainframe) современных ЭВМ общего назначения (большие ЭВМ) совместно с сетевыми коммуникационными системами используются в качестве больших серверов вычислительных сетей. Родоначальником таких ЭВМ являются машины фирмы IBM (США). Модели IBM 360 и IBM 370 с их архитектурой

и программным обеспечением были взяты за основу отечественных ЭВМ этого класса (ЕС ЭВМ). К настоящему времени за рубежом выпускается уже пятое поколение таких ЭВМ. Мейнфреймы обладают большой надежностью (наработка на отказ составляет более 12 лет). По данным экспертов на них сейчас находится около 70% "компьютерной" информации, только в США установлены сотни тысяч мейнфреймов.

Супер-ЭВМ по существу представляют собой высокопроизводительные проблемно-ориентированные ВС, предназначенные для выполнения достаточно узкого класса задач. В зависимости от класса решаемых задач супер-ЭВМ, быстродействие которых в настоящее время достигает сотен и тысяч миллиардов операций с плавающей запятой в секунду (GFLOPS), могут комплектоваться различными, порой очень сложными и дорогими ПУ. При создании супер-ЭВМ основной задачей является достижение максимального быстродействия. Чтобы разгрузить центральную часть супер-ЭВМ от участия в выполнении операций ввода-вывода, часто организацию и управление этими операциями возлагают на дополнительные ЭВМ общего назначения. Супер-ЭВМ представляют собой высоко параллельные (массово параллельные) многопроцессорные вычислительные системы. Например, ещё в 1998 году японская фирма NEC (Nippon Electric Company) создала суперкомпьютер SX-5, содержащий 512 процессоров и имеющий производительность 4 TFLOPS. Его система ввода-вывода обеспечивала общую скорость передачи данных 32 Тбайт/с. Есть проекты, предусматривающие использование до нескольких миллионов процессоров.

1.4. Классификация и характеристики периферийных устройств

Как было определено во введении, под периферийными устройствами мы понимаем устройства ЭВМ не входящие в состав ее центральной части и непосредственно взаимодействующие с объектами внешнего мира через внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ).

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 и ряду других параметров.

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 и дискретных сигналов, внешней памяти, устройства систем межмашинных связей и подключения к вычислительным сетям. 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 систем подготовки данных (СПД) и непосредственно не связанные с ЭВМ. Каждая из перечисленных функциональных групп включает в себя широкую номенклатуру ПУ, различающихся характеристиками, параметрами и принципами действия.

На структурную организацию СВВ влияние оказывают быстродействие ПУ и способ его использования. Возможны два способа использования: 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 печатающее устройство (ПчУ), то печать результатов от различных задач не должна перемежаться. Такое ПУ может быть отнесено к устройствам коллективного пользования, логически закрепляемым на время выполнения за одной программой (спулинг (spooling)). В отличие от ПчУ дисплей (терминал) 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 одновременное использование их несколькими программами.

У УВв можно выделить следующие характерные этапы работы:

- подготовка кванта информации в ПУ,
- 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.

У УВыв этапы их работы располагаются в ином порядке:

- ожидание ЦУ готовности ПУ к приему данных;
- передача подготовленного ЦУ кванта данных в регистр данных ПУ;
- преобразование кванта данных из внутреннего формата ВС в квант информации, используемый объектом внешнего мира и выдача его через внешний интерфейс.

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 десятки и сотни символов в секунду. В эту группу входят УВв непосредственной связи с пользователем - клавиатуры, манипуляторы, ПчУ последовательного типа и т.п. Для ПУ этой группы характерным квантом информации является символ, кодируемый в виде байта;
- Среднескоростные, быстродействие которых может достигать десятков и сотен тысяч символов в секунду. К ним относят параллельные и постраничные ПчУ различных типов, графопостроители, УСО, устройства отображения (УО), работающие в текстовом режиме, аппаратуру передачи данных (АПД) (модемы), накопители на гибких магнитных дисках (НГМД), стримеры и т.д. За один цикл может быть подготовлен квант информации из одного байта или группы байт;
- Высокоскоростные, быстродействие которых измеряется единицами и десятками Мбайт/с. Наиболее характерными представителями этой группы ПУ являются некоторые внешние запоминающие устройства (ВЗУ) на магнитных и оптических дисках, сетевые адаптеры, системы графического взаимодействия с пользователем и др. 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 100 Мбайт/с. К числу таких ПУ можно отнести современные ВЗУ на ЖМД типа "Винчестер", сетевые адаптеры Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet и т.п.

Эти границы условны и изменяются с развитием элементной базы и технологий.

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 запоминающее устройство (БЗУ) относительно небольшого объема, позволяющее в определенных рамках 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 разделить на синхронные и асинхронные, буферизованные и не буферизованные, с байтовой или блоковой организацией.

Для персональных компьютеров дополнительно по способу подключения ПУ к ИВВ системного уровня (к хосту) можно выделить четыре типа ПУ:

1. **Интегрированные ПУ**, располагающиеся на системных платах и подключающиеся через чипсет (системную логику) непосредственно к шине ИВВ хоста (сетевой адаптер).
2. **Внутренние ПУ**, подключающиеся к слотам расширения ИВВ хоста (внутренний модем, сетевой адаптер).
3. **Встраиваемые ПУ**, располагающиеся в корпусе системного блока ПК и подключающиеся к хосту через кабели и разъемы малых или периферийных ИВВ и их адаптеры (приводы НГМД, CD и DVD, винчестеры и т.п.).
4. **Внешние ПУ**, располагающиеся в виде отдельных устройств вне системного блока ПК и подключающиеся к хосту аналогично ПУ третьего типа (видеомониторы, принтеры, сканеры, клавиатуры и т.д.).

1.5. Функции системы ввода-вывода и ее структура

1.5.1. Назначение СВВ

Задача СВВ (ее внутренней части – СВВ хоста) состоит в организации и управлении процессом передачи информации от устройств ввода (УВв) в ОП (ОЗУ) ЭВМ при вводе и в обратном направлении (в устройства вывода – УВыв) при выводе, т.е. в выполнении операций ввода-вывода. В общем случае УВв и УВыв будем называть устройствами ввода-вывода (УВВ). При этом под УВВ будем понимать совокупность устройств, находящихся между интерфейсом ввода-вывода центральной части ЭВМ (ИВВ системного уровня) и внешними интерфейсами ввода-вывода (внешними ИВВ), т. е., в общем случае, понятие УВВ более общее, чем понятие ПУ. Только для интегрированных и внутренних ПУ эти понятия идентичны. СВВ хоста и УВВ являются составной частью СВВ ВС. В дальнейших рассуждениях мы будем пользоваться в основном понятием ПУ имея ввиду возможные различные варианты реализации ПУ и определяя из контекста, какой вариант исполнения ПУ имеется ввиду. Понятием УВВ будем иногда пользоваться для подчеркивания того, что это ПУ подключается непосредственно к шине ИВВ системного уровня.

1.5.2. Основные функции СВВ и способы их реализации

С точки зрения СВВ хоста ВС любое УВВ представляет собой генератор или потребитель 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.

Длительность интервалов формирования последовательности квантов информации в таком генераторе и его кванты данных могут существенно отличаться от длительности интервалов

обработки и квантов в центральных устройствах машины. Поэтому *основные функции СВВ ВС (СВВ хоста плюс УВВ)* можно сформулировать следующим образом:

- преобразование квантов (или форматов) информации, принимаемых от внешних ИВВ или объектов внешнего мира 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 *Ген А* оперативной памяти (A_i), формируемых синхронно для каждого генерируемого в УВВ кванта данных (D_i). *Ген Д* и *Ген А* связаны с регистрами данных $P_2Д$ и адреса $P_2А$ в ОП машины;

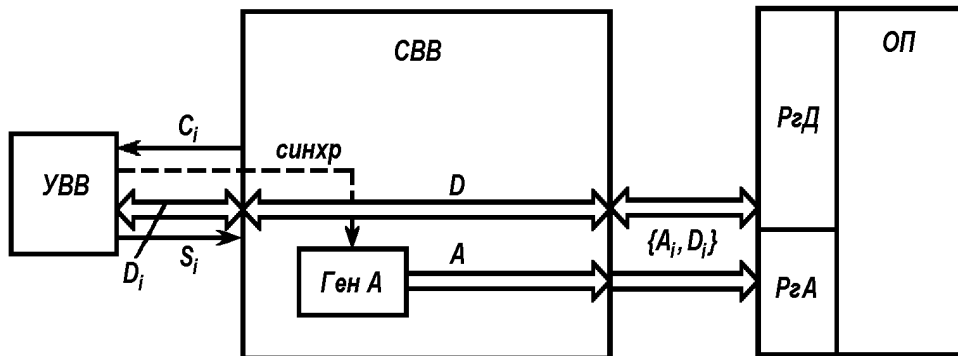


Рис. 1.1. Схема потоков информации между СВВ хоста, ОП и УВВ.

- формирование управляющих сигналов (C_i) для работы УВВ в различных режимах, задание типа выполняемой операции в УВВ и т.д.;
- получение и обработка сигналов (S_i), характеризующих состояние УВВ, 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 УВВ, согласование скоростей их работы.

Простейшая реализация перечисленных функций возможна при *центрально-синхронном принципе управления*. В этом случае синхронизация всех устройств ЭВМ осуществляется от единого центрального УУ, а все передачи данных от УВВ или к нему производятся через АЛУ. Структура ЭВМ с центрально-синхронным принципом управления показана на рис. 1.2.

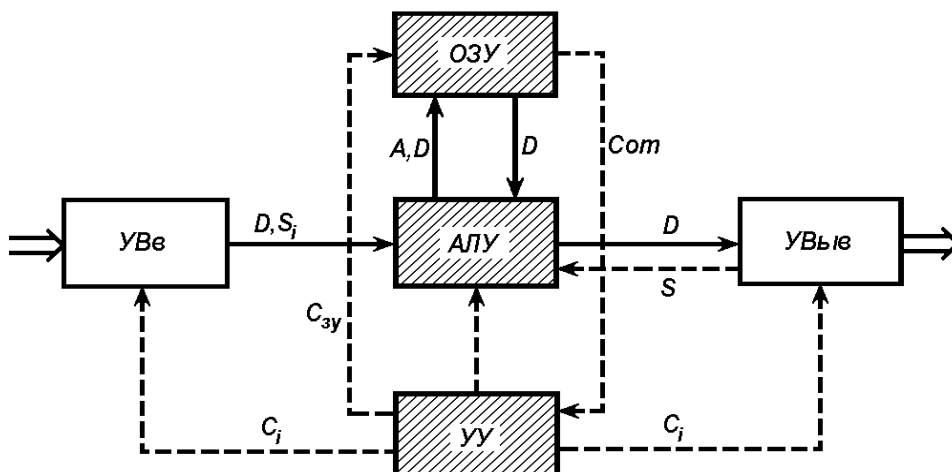


Рис. 1.2. Структура ЭВМ с центрально-синхронным принципом управления

Обрабатывающая (центральная) часть машины выделена штриховкой, сплошными линиями

показаны связи для передачи данных и адресов; штриховыми - связи для управляющих сигналов и команд (*Com*). 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 определяется быстродействием самого медленного устройства (как правило, исполнительного устройства ПУ) и существенно превышает длительность операции обработки и передачи данных. 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. Этот принцип используется в некоторых простых однокристальных микро-ЭВМ (микроконтроллерах), например в i8042.

Улучшить производительность ЭВМ можно за счет организации параллельного выполнения операций обработки и ввода-вывода. При наличии средств автономного управления работой УВВ (контроллера ПУ) непосредственное участие центральных устройств в обмене информацией с УВВ может ограничиваться тактом обмена с УВВ (контроллером 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 УВВ 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 прерывания процессору и ЦП приостанавливает выполнение текущей программы для получения подготовленного кванта. Параллельная работа ПУ и ЦП осуществляется в тактах подготовки кванта информации в ПУ.

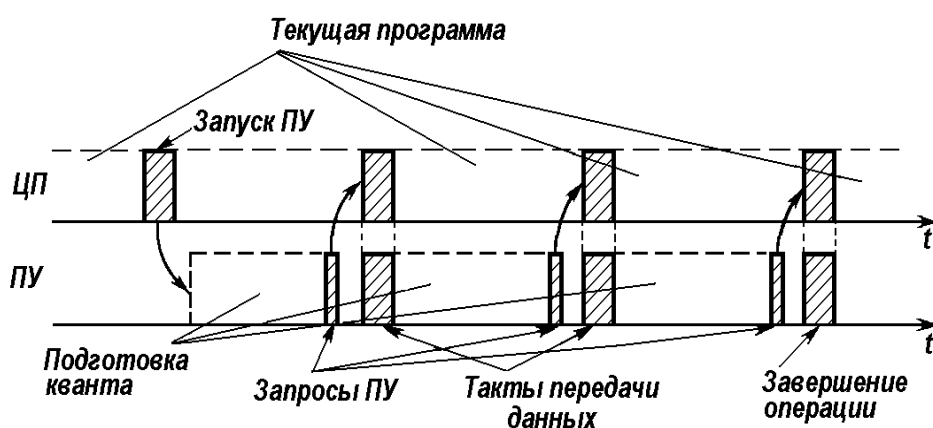


Рис. 1.3. Временная диаграмма параллельной работы ЦП и ПУ.

Во время тактов передачи центральные и периферийные устройства используются совместно, поэтому в эти моменты для организации обмена необходимо синхронизировать их работу. С этой целью для синхронизации начала обмена используются **прерывания**, а в процессе обмена могут использоваться как **прерывания**, так и **приостановки**. 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 перекрытии, 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 $ЦУ$ (контроллерами $ПУ$);
- в ЭВМ должны быть предусмотрены средства 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 увеличить коэффициент перекрытия.

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 $ОЗУ$, тем самым обмен происходит, минуя $АЛУ$. Управление работой $ПУ$, формирование текущих адресов и запросов к памяти осуществляется посредством специальных схем управления - канала ввода-вывода ($КВВ$), выполняемого, как правило, на базе процессора ввода-вывода ($ПВВ$). Взаимодействие $КВВ$ с $ЦП$ реализуется через систему прерываний и приостановок.

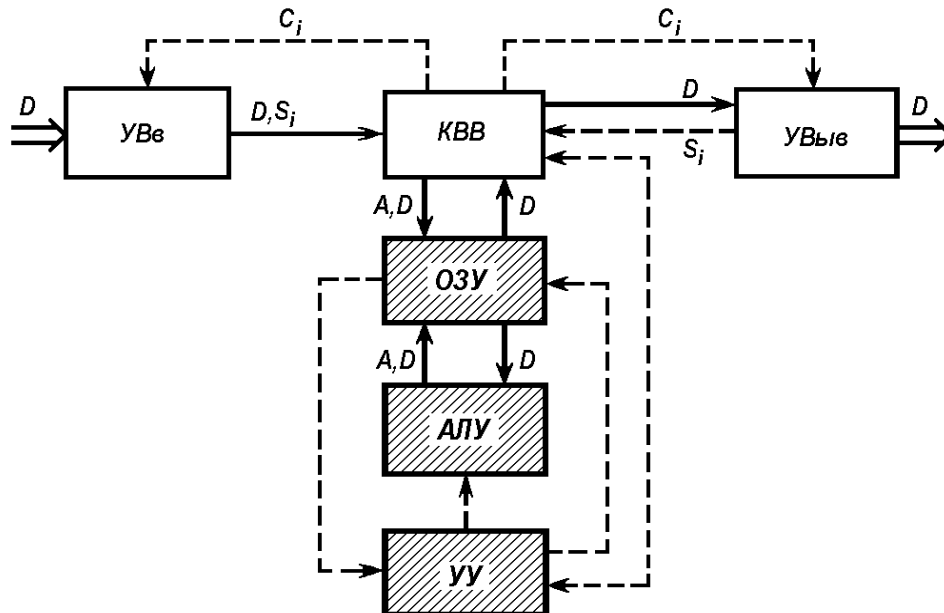


Рис. 1.4. Структура ЭВМ с асинхронным параллельным выполнением операций обработки и ввода-вывода

1.5.3. Средства совмещения операций обработки и ввода-вывода

Основными средствами, позволяющими совместить операции обработки и ввода-вывода, являются *прерывания и приостановки*. Эти средства обеспечивают возможность взаимодей-

ствия асинхронно протекающих процессов. Помимо средств прерывания и приостановок 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 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 ($\tau_{ож}$) 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 программы обработки прерывания (τ_3); собственно выполнения программы обработки прерывания ($\tau_{пп}$); восстановления состояния прерванной программы и возврата к ее выполнению ($\tau_в$). Интервалы τ_3 и $\tau_в$ 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.

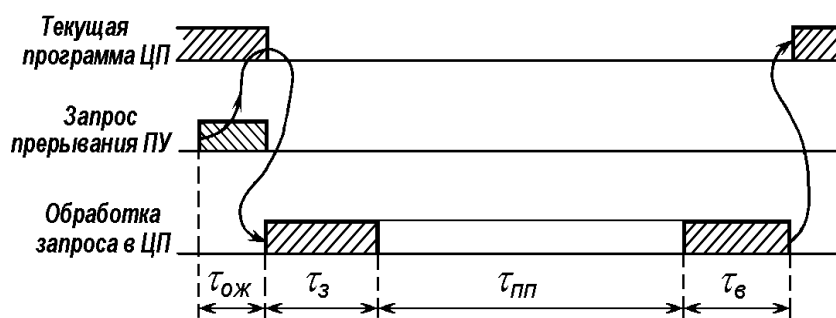


Рис. 1.5. Процесс прерывания

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 обработки (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 век-

торная 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-, микро-ЭВМ и в ПК.

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_u , 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. Если обращение процессора к ОЗУ произошло в момент времени t_1 , но ОЗУ занято выполнением записи-чтения данных от другого источника (например, от ПВВ), то работа ЦП приостанавливается на время τ до момента t_2 освобождения ОЗУ. Во время приостановки, максимальная длительность которой составляет $\tau \leq T_u$, ЦП никаких действий не выполняет. Приостановки, называемые

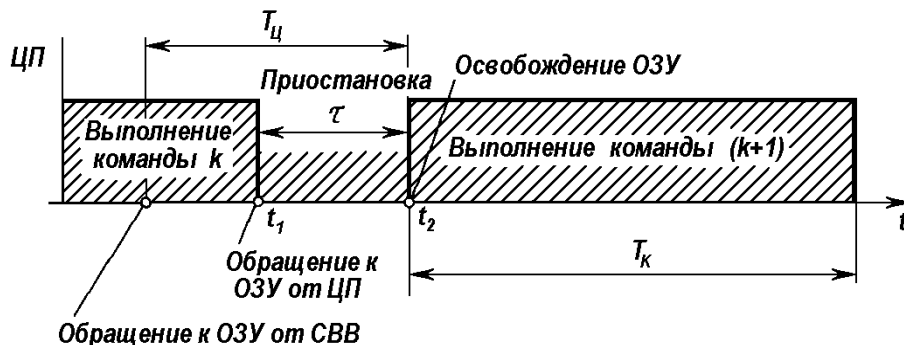


Рис. 1.6. Процесс приостановки работы ЦП

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_u 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 не получении ответа за установленный интервал запрос снимается, а запрашиваемая система (или устройство) считается неспособной выполнить запрос. Принцип таймаута используется на всех уровнях СВВ.

Большинство перечисленных функций СВВ по согласованию скоростей, обеспечению синхронизации автономно работающих устройств, формированию адресов, преобразованию форматов и т.д. может выполняться каналом ввода-вывода.

1.6. 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 (включая логический канал ввода-вывода между ОП и портом ввода-вывода через который ведется обмен с 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 интерфейсов) в соответствии с определенными правилами обмена сигналами.

Основные функции КВВ можно разбить на три группы:

В первую группу входят функции по установлению логической связи между ПУ и ОП, т.е. по образованию «логического канала» для передачи данных.

Вторая группа функций КВВ связана с непосредственной передачей данных между ПУ и ОП по установленному логическому каналу.

Третья группа функций связана с завершением обмена и разрушением «логического канала».

Перечисленные функции КВВ реализуются различными сочетаниями аппаратных и программных средств.

Программные каналы ввода-вывода. Если все функции управления обменом осуществляются средствами управления интерфейса 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. Несовмещенный режим используется в сравнительно редких случаях, преимущественно для простейших управляющих микро-ЭВМ, 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 и использованием блочных команд обмена.

Каналы прямого доступа 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 канала производится только в начале и конце операции. Управление же передачей каждого кванта данных по каналу не требует вмешательства со стороны ЦП. Этот способ организации КВВ характерен для мини-, микро-ЭВМ и ПК при подключении внешних запоминающих устройств (ВЗУ) и других быстродействующих устройств.

Во втором случае функции КВВ выполняются специально выделенной аппаратурой, работающей под управлением собственных программных средств. Такие каналы, как правило, реа-

лизуются на базе **процессора ввода-вывода (ПВВ)**. ПВВ является подчиненным специализированным процессором, работа которого инициируется посредством ЦП. ПВВ используют в высокопроизводительных ЭВМ (мощных мини-ЭВМ, ЭВМ общего назначения и супер-ЭВМ).

Применение **блочных команд** обмена позволяет одной командой организовать работу ЦП по передаче блока данных между ОП и ПУ. При подготовке к выполнению блочной команды в регистры ЦП заносится информация об адресе порта ввода-вывода, через который будет осуществляться обмен между ПУ и ЦП, о числе циклов обмена, о начальном адресе блока ОП, с которым будет вестись обмен. Сам обмен может осуществляться через регистр-аккумулятор ЦП (РгД), или непосредственно между портом ввода-вывода и ОП. При использовании блочных команд ЦП не может заниматься обработкой, поскольку несколько его регистров заняты обслуживанием обмена.

У КВВ принято выделять две основные характеристики:

- номинальную пропускную способность $V_{КВВ}$, 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 N_{\max} , т.е. наибольшее число ПУ, которые может обслуживать КВВ, не вызывая потери информации и снижения скорости их работы.

Первая характеристика определяет возможности работы КВВ с быстродействующими блочными устройствами в селективном режиме, когда все ресурсы каналаобразующего оборудования заняты обслуживанием одного устройства в течение всего времени его активности (селективный КВВ). Вторая характеристика определяет возможности работы КВВ с относительно медленными устройствами в мультиплексном режиме, когда каналаобразующее оборудование в режиме разделения времени обеспечивает обмен с несколькими устройствами по соответствующим логическим каналам ввода-вывода.

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, адаптеры, 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.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под СВВ ВС, СВВ ЭВМ, СВВ хоста ВС и СВВ хоста ЭВМ?
2. Охарактеризуйте классы задач, решаемых ВС и их требования к средствам СВВ.
3. Охарактеризуйте принципы построения ВС на базе семейства ЭВМ с переменным составом оборудования.
4. Дайте краткую характеристику различным классам ЭВМ.
5. Охарактеризуйте приведенную классификацию периферийных устройств.
6. Перечислите основные функции СВВ хоста ВС.
7. Как реализуются функции СВВ на базе системы с центрально-синхронным принципом управления?
8. Как реализуются функции СВВ на базе системы с асинхронным параллельным выполнением операций обработки и ввода-вывода?
9. Охарактеризуйте средства совмещения операций обработки и ввода-вывода.
10. Дайте определение каналу ввода-вывода? Какими средствами он может быть реализован?
11. Назовите основные характеристики КВВ?

12. Охарактеризуйте программные каналы ввода-вывода и каналы прямого доступа к памяти.

Более подробные сведения по функциям систем ввода-вывода, об их структурах и каналах ввода-вывода можно найти в [1], [18] и в Интернет, например:

<http://www.intuit.ru/department/hardware/ibmarcz/6/4.html>;

<http://www.osp.ru/os/1999/01/179638/>.

В данном разделе использованы материалы из [1] [12].

Глава 2.

Логическая организация системы ввода-вывода

2.1. Логическая структура СВВ

При построении ЭВМ в виде систем с переменным составом оборудования и разработке семейств ЭВМ одно из основных требований заключается в поддержании единства **логической структуры СВВ** в пределах каждого семейства. Организацию логической структуры СВВ (*логическую организацию СВВ*) определяют *форматы управляющей информации и способы ее передачи между компонентами СВВ, взаимосвязь программных средств при операциях обмена, структура и организация каналов ввода-вывода*.

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 печатающего устройства (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 центрального процессора (ЦП)*, однако без дополнительной системы команд КВВ. Вся управляющая информация компонентам СВВ передается посредством этих команд. Такую организацию имеют некоторые мини-, микро-ЭВМ и РС-совместимые персональные ЭВМ (персональные компьютеры (ПК), 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 применяется в некоторых мини-, микро-ЭВМ и ПК.

В современных РС-совместимый ПК может одновременно поддерживаться ввод-вывод командами второго и третьего класса.

В качестве примеров рассмотрим логическую организацию СВВ ЭВМ общего назначения (ЕС ЭВМ), мини- и микро ЭВМ (типа СМ ЭВМ) и особенности организации ввода-вывода в ПК (РС- совместимые ПК).

2.2. Логическая организация систем ввода-вывода ЭВМ общего назначения

2.2.1. Элементы иерархии СВВ ЭВМ общего назначения

В ЭВМ общего назначения с отдельными интерфейсами памяти и ввода-вывода (см. рис. 3.1) 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.

2.2.2. 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 инициирования 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 СВВ, т.е. способность или неспособность выполнить требуемую

операцию, а также позволяющую возобновить операцию после устранения причин, вызвавших ее остановку.

2.2.3. Совокупное состояние СВВ

Совокупное состояние СВВ определяется состоянием всех участвующих в операции ввода-вывода 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.

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 инициирования ввода-вывода и передает ее в соответствующий ПВВ. Если данный ПВВ способен ее принять, то команда ввода-вывода помещается в нем в регистр команд (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, то и 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 в регистре управляющего слова (РгУС) в блоке центрального управления. Адрес ПУ передается в блок управления интерфейсом (БУИ) для реализации процедуры начальной выборки. ПУ отвечает о своем состоянии байтом состояния, который заносится в регистр состояния (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 (ИВВ хоста). 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 в 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 регистра адреса 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 ком-

понентов 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 вычислительные 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 программы (методы) доступа (ПД), супервизор (или монитор ПМ) и ряд других программных модулей. Взаимодействие программных модулей ОС осуществляется посредством макрокоманд (рис. 2.1). 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.

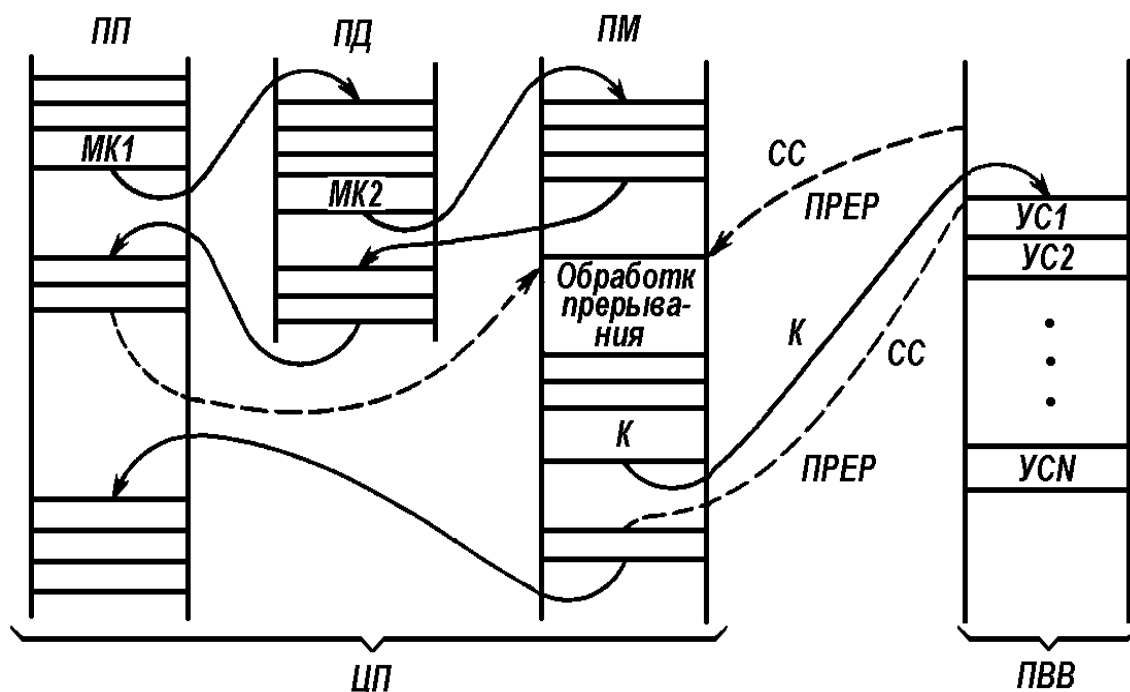


Рис. 2.1 Взаимодействие программных модулей ОС.

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.

2. 3. Логическая организация СВВ в мини- микро-ЭВМ и ПК

2.3.1. Особенности организации СВВ мини- микро-ЭВМ и ПК.

В мини- микро-ЭВМ и ПК у которых ввод-вывод организуется на базе интерфейса ввода-вывода системного уровня (см. рис. 3.2 и 3.3) встречается программная организация ввода-вывода 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 в общем случае адрес ПУ, адрес контроллера ПУ, адреса порта ввода-вывода адаптера, через который подключается контроллер ПУ или ПУ к шинам ИВВ системного уровня, адрес текущей ячейки ОП или описание области ОП, приказ ПУ, режим и направление обмена и т.д. При наличии специальных команд ввода-вывода в интерфейсе ввода-вывода хоста 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». Иногда используются отдельные команды «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 регистрами контроллеров ПУ непосредственно или через порты ввода-вывода адаптеров периферийных ИВВ.

При организации СВВ *без специальных команд ввода-вывода* в системе команд каждое ПУ для СВВ представляет собой совокупность адресуемых регистров, закрепленных за ПУ. Адреса этих регистров и ячеек ОП образуют общее адресное пространство, что позволяет для обращения к регистрам 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. Каждому ПУ отводится 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.

Следует отметить (см. введение), что в данном тексте под ПУ понимается, как правило, контроллер ПУ, и упоминающиеся регистры находятся или в контроллере ПУ, или в адаптере, через который контроллер ПУ посредством периферийного ИВВ подключается к шине ИВВ системного уровня. Если ПУ представляет собой простое исполнительное устройство, работающее под непосредственным управлением ЦП (контроллером ПУ является ЦП) через линии малого ИВВ, то упоминающиеся регистры находятся в адаптере малого ИВВ

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. В связи с этим непосредственное программирование операций ввода-вывода в рамках прикладных программ вызвало бы значительные трудности, поэтому операционные системы мини-ЭВМ, ПК и большинства микро-ЭВМ 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. 2.2).

Программа пользователя (*ПП*) обычно использует логические имена *ПУ*. 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 программе-монитору (*ПМ*), который анализирует возможность выполнения этой операции, т.е. проверяет наличие соответствующего *БУД*, и ставит запрос в очередь. 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 вводом-выводом.

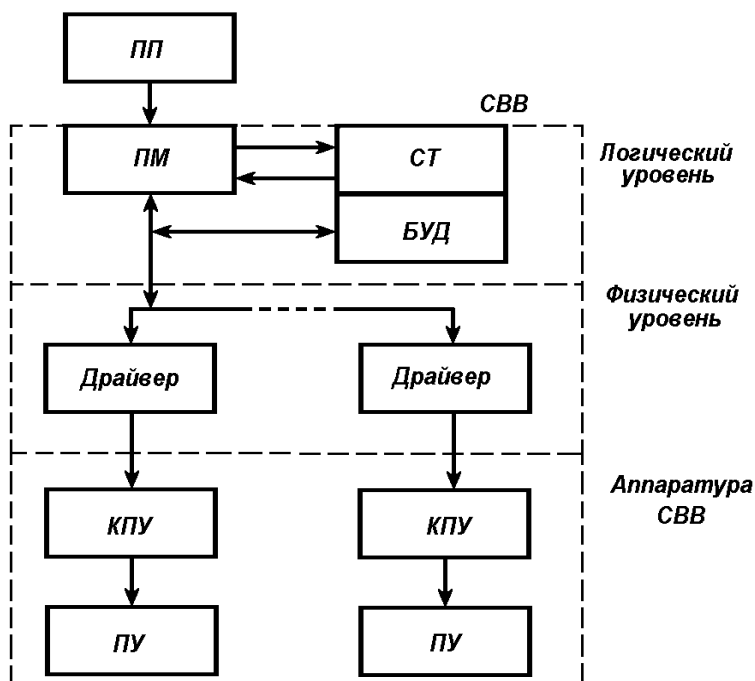


Рис. 2.2 Логическая организация СВВ мини- и микро-ЭВМ.

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.

2.3.2. Способы организации обмена в мини-, микро-ЭВМ и ПК

В мини-, микро-ЭВМ и в ПК используется три способа организации обмена: *программный несовмещенный ввод-вывод, программный ввод-вывод с прерыванием программы, ввод-вывод через канал прямого доступа к памяти.*

Программный несовмещенный ввод-вывод. Он характеризуется тем, что обращение к ПУ осуществляется только в моменты времени, определяемые программой ЦП. Часто все действия по управлению обменом реализуются командами прикладной программы (ПП) (рис. 2.3). Синхронизация ЦП и ПУ достигается организацией программного ожидания момента готовности ПУ. С этой целью в $P_2КС$ 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 $P_2КС$ позволяет получить и затем проанализировать состояние ПУ. Если ПУ не готово, то организуется ожидание путем повторения команды чтения $P_2КС$. Если содержимое $P_2КС$ свидетельствует о готовности ПУ, то производится чтение содержимого $P_2Д$ и одновременно сбрасывается признак готовности в $P_2КС$. Затем осуществляется возврат управления ПП. Установку признака готовности в $P_2КС$ производит ПУ. Этим достигается синхронизация ПУ и ЦП.

Операция вывода реализуется аналогично - вначале анализируется готовность ПУ принять данные (по значению признака в $P_2КС$), а затем по команде записи данные передаются в $P_2Д$; одновременно с записью данных в $P_2Д$ производится сброс признака готовности в $P_2КС$. Признак готовности вновь устанавливается ПУ, как только оно будет готово принять очередной квант данных.

Программный ввод-вывод с прерываниями программы Программный ввод-вывод с прерываниями программы является основным способом организации ввода-вывода в мини-, микро-ЭВМ и ПК для ПУ малого и среднего быстродействия. Для синхронизации процессов в ЦП и ПУ используется механизм прерываний, а управление передачами данных и управляющей информацией 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. 2.4) производится анализ запроса прерываний, а при его наличии проверяется - разрешено ли данное прерывание. При наличии разрешенного прерывания ЦП иницирует 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.

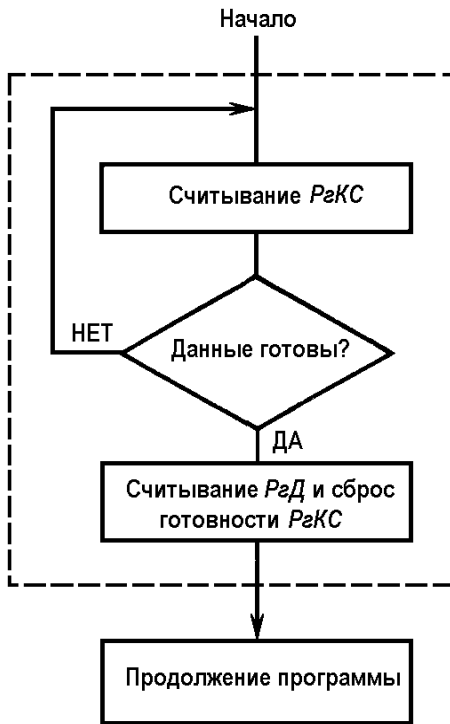


Рис. 2.3. Алгоритм несовмещенного ввода-вывода

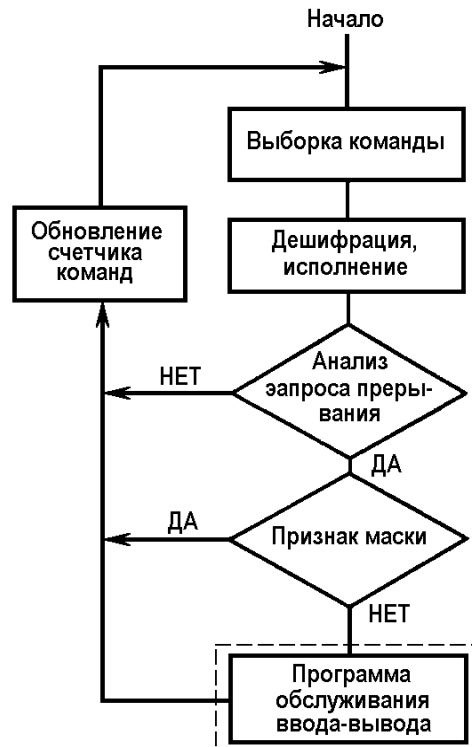


Рис. 2.4. Алгоритм выполнения команды процессором, поддерживающим ввод-вывод с прерыванием

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.

Как уже упоминалось в разделе 1.5.2, 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 микро-ЭВМ и ПК 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, как правило, 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 быстродействующих ПУ.

Ввод-вывод через канал прямого доступа в память. Прямой доступ к памяти используется для быстродействующих ПУ при передаче данных между ОП и ПУ блоками; это позволяет значительно сократить число прерываний. ПУ, в частности ВЗУ, подключается к ОП через канал прямого доступа к памяти, управление передачей данных по которому осуществляет контроллер прямого доступа к памяти (КПДП). Основные функции КПДП заключаются в выработке текущего адреса ОП в процессе обмена, а также в управлении передачами через интерфейс (ИВВ хоста), проверке правильности передаваемых данных и определении момента завершения передачи блока. Отметим, что для работы КПДП должна быть выполнена программа-драйвер, в результате которой загружаются регистры управ-

ления, регистр адреса (P_gA) и счетчик данных (C_d) КППД. Выполнение этой программы инициируется по прерыванию. После начальной загрузки регистров КППД ПУ выполняет автономную подготовку данных; по завершении подготовки формируется сигнал запроса прямого доступа. В результате управление интерфейсом передается КППД. Обработка завершения операции осуществляется программным путем, для чего формируется соответствующий запрос прерывания и управление передается драйверу. Таким образом, КППД 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 (busmasterig) обычно выше, чем у стандартных каналов ПДП (DMA). Прогрессивные режимы DMA обеспечивают более высокие скорости обмена.

2.3.3. Контроллеры (адаптеры) ввода-вывода

В реальных ЭВМ подключение ПУ к интерфейсу системного уровня (интерфейс ввода-вывода хоста (ИВВ хоста)) осуществляется не непосредственно, а с помощью специального контроллера, как показано на рис.2.2. В терминологии универсальных машин третьего поколения и первых мини-ЭВМ такие контроллеры назывались контроллерами периферийных устройств (КПУ), в терминологии микро-ЭВМ первых поколений они назывались контроллерами ввода-вывода. Такой контроллер ввода-вывода осуществляет функции преобразования последовательности сигналов ИВВ хоста в последовательности сигналов малого, или периферийного ИВВ (то есть выполняет функции адаптера) и за счет стандартизации этих интерфейсов позволяет использовать одни и те же ПУ в различных моделях микро-ЭВМ и ПК. Необходимые регистры ПУ физически располагаются в таких контроллерах. При подключении к одному контроллеру нескольких ПУ обслуживание производится поочередно, и на контроллер возлагаются дополнительные функции по мультиплексированию. В современной терминологии 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)*). Такой контроллер (адаптер), как правило, состоит из трех частей: интерфейсная часть, обеспечивающая подключение к шине ИВВ хоста; интерфейсная часть, обеспечивающая подключение к линиям малого или периферийного ИВВ; функциональная часть, обеспечивающая согласование протоколов этих интерфейсов и ряд других функций.

На рис. 2.5 приведена структурная схема простого контроллера ввода-вывода (адаптера), где регистр команды (P_gK) служит для приема по шине данных ИВВ хоста управляющей информации для ПУ; регистр состояния P_gC - для получения информации о состоянии ПУ и передачи ее в ЦП через шину данных ИВВ хоста; селектор адреса (CA) - для выбора адресуемого регистра. Адресуемым регистрам присваиваются последовательные адреса из области адресов ПУ, 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 переключателей. При передаче адреса по системному интерфейсу (ИВВ хоста) 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 ИВВ хоста служат регистры ввода $P_gD(Вв)$ и вывода $P_gD(Выв)$. В состав схем контроллера входят также усилители приемники ($ПРМ$) и передатчики ($ПРД$).

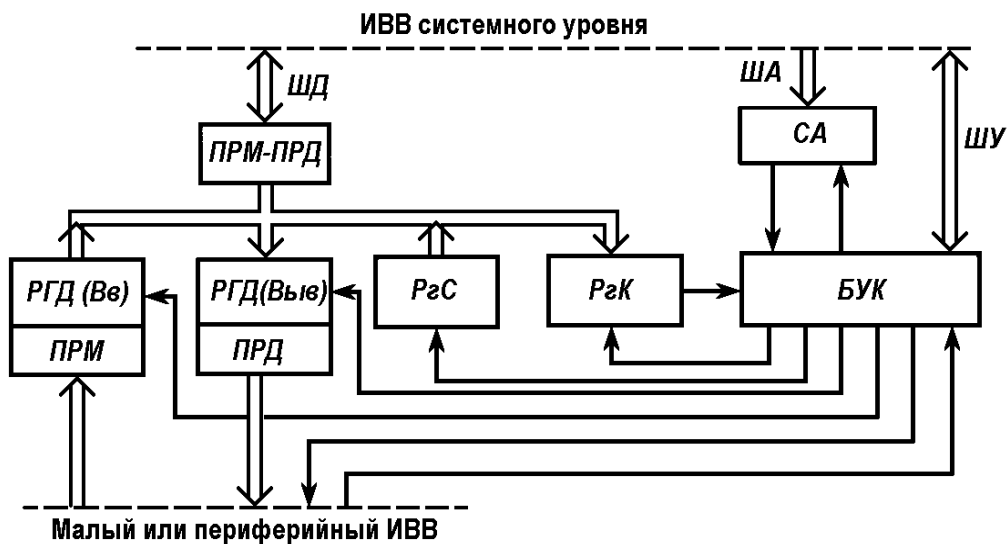


Рис. 2.5 Структурная схема простого контроллера ввода-вывода

При организации совмещенного ввода-вывода с прерываниями сигналы прерывания формируются контроллером на основании изменения содержимого определенных разрядов регистра состояния P_2C . Если контроллер использует системные каналы прямого доступа, то он формирует сигнал запроса прямого доступа также на основании изменения содержимого определенных разрядов регистра состояния P_2C , а сигнал подтверждения ПДП использует вместо сигнала селектора адреса.

В случае если контроллер предназначен для организации обмена в режиме прямого доступа в память, (например, для микро-ЭВМ «Электроника - 60», или контроллер с функциями busmastering для IBM PC/AT) его структура значительно усложняется (рис. 2.6). При этом в его состав входит несколько регистров управления, в частности регистры команд (P_2K), состояния ПУ (P_2C), счета слов или длины блока (C_4D), текущего адреса ОП (P_2A), управления поиском (в случае НМД).

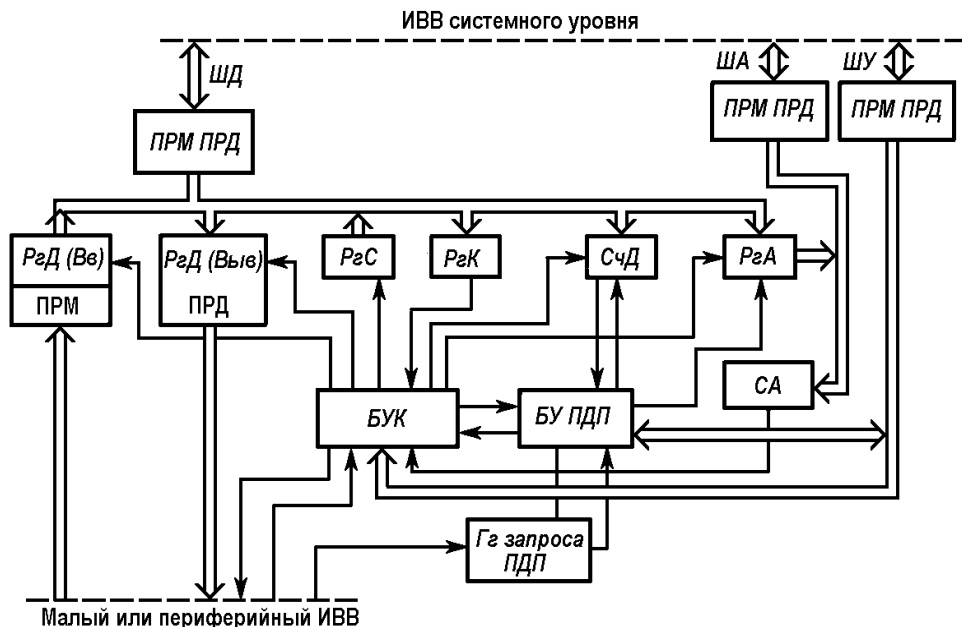


Рис. 2.6. Контроллер ввода-вывода, поддерживающий и реализующий режим ПДП.

Кроме того, такой контроллер включает в себя один или два регистра данных - для ввода-вывода. Дополнительно на таких контроллерах может размещаться буферная память, например, буферы FIFO (первый вошел - первый вышел), включенные последовательно с регистрами данных ввода и вывода. Всем перечисленным регистрам присвоены адреса в

адресном пространстве ввода-вывода, поэтому каждому контроллеру соответствует последовательность адресов, число которых, как правило, равно числу адресуемых регистров в нем. 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 на шине ИВВ хоста при передаче данных между ПУ и ОП.

В ПК, микро-ЭВМ и микропроцессорных системах адресуемые регистры данных, команд и состояния с необходимыми схемами управления называют *портами*. Соответственно различают *порты ввода* ($R_{гДВв}$), *вывода* ($R_{гДВыв}$), *управления* ($R_{гУ}$) и *состояния* ($R_{гС}$). 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).

В УАПП (рис. 2.7) принимаемые по шине ИВВ хоста данные через $R_{гД}$ ($В_{ыв}$) заносятся в регистр сдвига $R_{гСдв}$, в котором параллельный код преобразуется в последовательный. Это преобразование осуществляется посредством сигналов от генератора $ГСИ1$, запускаемого после загрузки $R_{гСдв}$ 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 синхронизацию приема последовательного кода из линии. С помощью $R_{гСдв}$ этот код преобразуется в параллельный и передается в $R_{гД}$ ($В_{в}$), при этом устраняются разряды обрамления. Координация действий в УАПП и ЦП по обмену символами осуществляется посредством прерываний с использованием $R_{гК}$ и $R_{гС}$, как описано выше. Регистр $R_{гК}$ позволяет программно задавать скорость передачи, число стоповых бит (1 или 2), способ контроля.

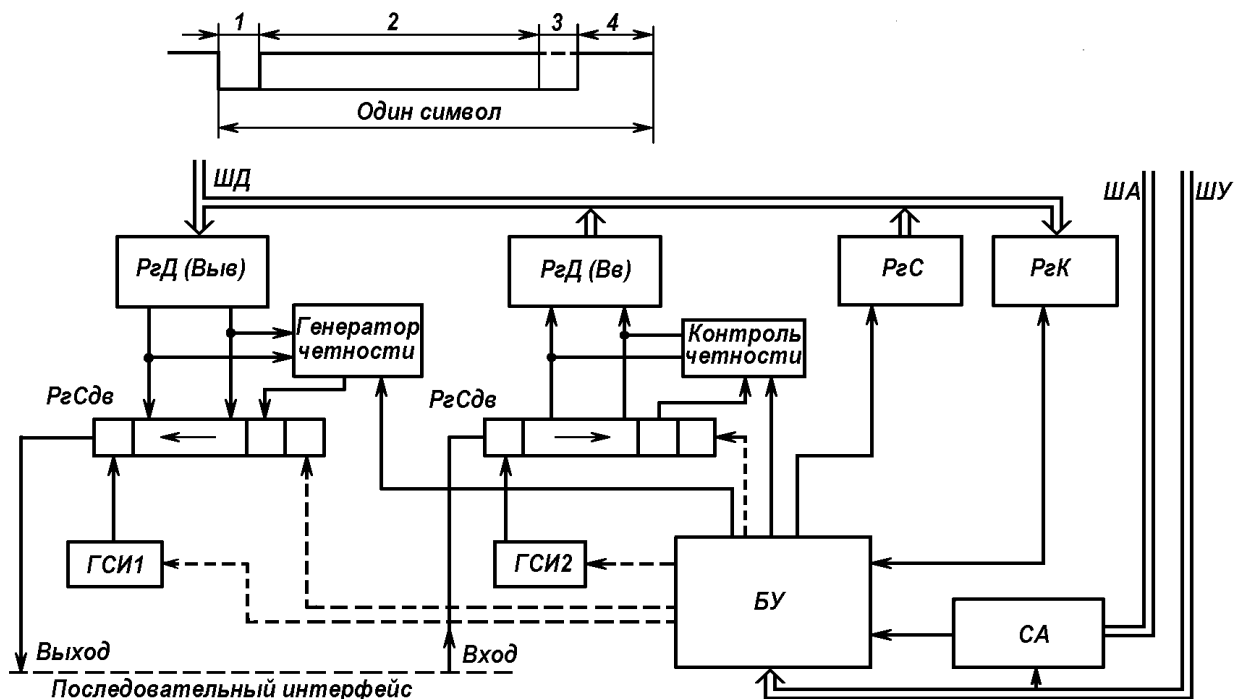


Рис. 2.7 Структурная схема УАПП.

В УСПП синхронизация в рамках малого интерфейса 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.

Некоторые микропроцессорные комплекты включали в себя комбинированные синхронно-асинхронные приемопередатчики (УСАПП).

2.4. Особенности организации ввода-вывода в ПК

2.4.1. Общие замечания по организации ввода-вывода в современных ПК

СВВ современных РС-совместимых персональных компьютеров является достаточно сложной и многоуровневой системой. Это связано как с постоянно растущими требованиями обеспечения высокой производительности обмена между основной памятью ПК и устройствами СВВ и внешнего мира, так и с требованиями обеспечения совместимости с СВВ ПК предыдущих поколений. В ПК для изоляции операционной системы и прикладных программ от специфических особенностей конкретной аппаратуры СВВ используется программно-информационные средства базовой системы ввода-вывода (BIOS). BIOS размещается в микросхемах энергонезависимой памяти, расположенных на системной плате. На картах (устройствах) расширения могут находиться дополнительные модули BIOS, поддерживающие функционирование этих устройств.

2.4.2. Взаимодействие программ с периферийными устройствами

Аппаратура СВВ ПК может подключаться к интерфейсам системного уровня (ИВВ хоста) и к периферийным или малым ИВВ.

Абстрагируясь от конкретной реализации подключения на системном уровне, можно говорить о логическом системном интерфейсе современного РС-совместимого ПК (логический ИВВ хоста, логический ИВВ системного уровня). Этот интерфейс обладает следующими базовыми свойствами:

- интерфейс обеспечивает транзакции (групповые операции) обращения к пространствам памяти и ввода-вывода;
- в транзакциях фигурируют физические адреса пространств памяти и ввода-вывода;
- адресные пространства памяти и ввода-вывода являются «плоскими» - адрес выражается одним числом в диапазоне, определенном принятой разрядностью адресации, то есть любой адрес может принадлежать регистру (ячейке памяти) только одного устройства (или системной (основной) памяти, включающей ОЗУ и энергонезависимую память);
- транзакции могут инициироваться как центральным процессором (процессорами), так и активными устройствами (мастерами шины интерфейса);
- все адресуемые элементы безусловно доступны центральному процессору; на адресуемость элементов со стороны мастеров шин могут накладываться специфические ограничения;
- устройства, подключенные к ИВВ хоста, могут посылать процессору (процессорам) запросы аппаратных прерываний в виде сигналов по линиям запросов и в виде сообщений-запросов.

Взаимодействие программ с *устройствами, подключенными к ИВВ хоста*, возможно следующими способами:

- через регистры устройств (порты), отображенные на пространства памяти или ввода-вывода;

- через области адресов памяти, принадлежащей устройству (физически расположенной на контроллере или адаптере устройства);
- через регистры конфигурационного пространства;
- через области системного ОЗУ, доступные активным устройствам-мастерам шины (обмен с использованием ПДП (DMA));
- через аппаратные прерывания, инициируемые устройствами по доступным им линиям запросов прерывания или через специальные сообщения - прерывания (MSI - Message Signaled Interrupts).

Современные устройства СВВ ПК для размещения своих регистров (портов) в основном используют пространство памяти, поскольку оно достаточно велико и спецификации некоторых ИВВ хоста позволяют перемещать занимаемые области в любую часть пространства. Пространство ввода-вывода используется реже: оно имеет незначительные размеры, к тому же «перегорожено» регистрами традиционных устройств и их псевдонимами, порожденными неполным использованием шины адреса в ИВВ хоста ISA (Industry Standard Architecture).

С устройствами, подключенными к интерфейсам периферийного уровня (*периферийные ИВВ*), взаимодействие возможно только через хост-адаптеры, подключенные к интерфейсу системного уровня (ИВВ хоста). При этом способы взаимодействия с устройствами определяются контроллером периферийного ИВВ, входящего в состав хост-адаптера и интерфейсных блоков, входящих в состав ПУ, подключаемых к шине данного периферийного ИВВ.

Программное обеспечение компьютера состоит из ряда компонентов: прикладного ПО, драйверов устройств, системных драйверов, динамически компокуемых модулей, BIOS. Эти компоненты имеют различные возможности взаимодействия с устройствами, а состав используемых компонентов зависит от операционной системы.

Как у мини- и микро-ЭВМ, у ПК имеются три способа взаимодействия программ, выполняемых центральным процессором (хост-программ), с периферийными устройствами: программный обмен; прямой доступ к памяти; прерывания.

В компьютерных системах с «интеллектуальной» системой ввода-вывода (Intelligent Input/Output, I²O), как и у ЭВМ общего назначения, помимо центрального процессора имеется *процессор ввода-вывода* (Input/Output Processor, IOP). Этот процессор обычно имеет сокращенную систему команд, ориентированную на задачи управления вводом-выводом. В круг этих задач входит пересылка блоков данных, подсчет четности, преобразование форматов данных. Процессор ввода-вывода может работать как в общем адресном пространстве, так и иметь свое обособленное адресное пространство для управляемой подсистемы ввода-вывода. Взаимодействие процессора ввода-вывода со своими устройствами ведется теми же тремя основными способами, что были описаны ранее.

В рядовых ПК обычно ограничиваются *прямым управлением шиной* (bus mastering), которое позволяет контроллерам ПУ (или хост-адаптерам периферийных ИВВ) самим обращаться к системным ресурсам, выполняя необходимые обмены данными и управляющей информацией. Для этого контроллер ПУ (или контроллер хост-адаптера) должен временно взять на себя роль инициатора транзакций в среде передачи ИВВ хоста, связывающего его с центром (главным образом, с памятью). Поскольку традиционно этот ИВВ хоста является шинным (магистральным), такой активный контроллер называют *мастером шины* (bus master), даже если он подключается к двухточечному ИВВ хоста. Чаще всего прямое управление шиной ИВВ требуется для прямого доступа к ОЗУ. Прямое управление шиной может использоваться и для передачи сообщений сигнализации прерываний (MSI). В новых версиях ИВВ хоста ПК появилась возможность *однорангового взаимодействия устройств* (без участия процессора) - *обмена сообщениями*. При этом в адресации сообщений не фигурируют адреса пространства памяти или ввода-вывода - сообщения адресуются по *идентификатору*

устройства (Device Identified Messages, DIM).

Архитектурный облик PC-совместимых компьютеров определяется свойствами используемых в них процессоров семейства x86. Современные процессоры x86, работающие в защищенном режиме, имеют довольно сложные механизмы виртуализации памяти, ввода-вывода и прерываний, из-за которых приходится различать физические и логические пространства (адреса памяти и ввода-вывода) и события (операции ввода-вывода, прерывания).

Физический адрес ячейки памяти или порта ввода-вывода - это адрес, формируемый на интерфейсах коммуникационной среды хоста для обращения к данной ячейке или порту (регистру). *Логический адрес* - это тот адрес, который формируется исполняемой программой (по замыслу программиста) для доступа к требуемой ячейке или порту. Логический адрес в процессорах x86 состоит из двух компонентов: селектора сегмента и смещения внутри сегмента; из этих компонентов формируется *линейный адрес* - целое беззнаковое число. В большинстве современных ОС используется *плоская модель памяти*, в которой все доступные сегменты отображены на одно и то же адресное пространство. При этом программа не оперирует селекторами; программист адресует структуры данных в памяти по *линейным адресам* (для современных процессоров и приложений - 32-разрядным). *Физический адрес* формируется из логического с помощью блока страничной переадресации; трансляция адресов выполняется на страничном базисе, популярный размер страницы - 4 Кбайт. Благодаря страничной переадресации реализуется виртуальная память с подкачкой страниц. Переадресация выполняется на основе таблиц, формируемых в памяти операционной системой. Непрерывная область виртуальной памяти в общем случае представляется произвольно расположенными страницами физической памяти.

Физическая операция ввода-вывода или обращения к памяти - это процесс (шинный цикл), во время которого генерируются электрические сигналы на линиях интерфейсов, обеспечивающих доступ к данной ячейке (порту). *Логическая операция* - это исполнение программной инструкции (команды) обращения к интересующей ячейке или порту. Логическая операция не всегда порождает ожидаемую физическую операцию: при определенных условиях она может блокироваться средствами защиты процессора, вызывая даже принудительное завершение программы, или же эмулироваться, создавая иллюзию физического исполнения.

2.4.3. Системный модуль ROM BIOS

Системный модуль ROM BIOS (System ROM BIOS) обеспечивает программно-информационную поддержку стандартных устройств ПК, конфигурирование аппаратных средств, их диагностику и вызов загрузчика операционной системы. Системный модуль ROM BIOS в значительной степени привязан к конкретной реализации системной платы ПК, поскольку именно ему приходится программировать все микросхемы чипсета системной платы. По функциональному назначению программные модули BIOS разделяются на следующие группы:

- инициализация и начальное тестирование аппаратных средств - программный модуль POST;
- настройка и конфигурирование аппаратных средств и системных ресурсов - модуль BIOS Setup;
- автоматическое распределение системных ресурсов - модуль PnP BIOS;
- идентификация и конфигурирование устройств PCI - модуль PCI BIOS;
- начальная загрузка (первый этап загрузки операционной системы) - модуль Bootstrap Loader;
- обслуживание аппаратных прерываний от системных устройств (таймера, клавиатуры, дисков) - модули BIOS Hardware Interrupts;

- обработка базовых функций программных обращений (сервисов) к системным устройствам - модули ROM BIOS Services;
- поддержка удаленного управления конфигурированием - модуль DMI BIOS;
- поддержка управления энергопотреблением и автоматического конфигурирования - модули APM и ACPI BIOS.

Все эти программные модули BIOS хранятся в микросхемах ПЗУ или флэш-памяти на системной плате и частично на устройствах расширения. Большинство функций сервисных модулей выполняется в 16-битном режиме, хотя некоторые новые функции могут иметь и альтернативные вызовы для 32-битного исполнения. Системный модуль BIOS должен обслуживать все компоненты, установленные на системной плате и частично компоненты устройств расширения.

Области данных ROM BIOS – BDA. Помимо векторов прерываний BIOS в оперативной памяти имеет свою область данных - *BIOS data area*, начинающуюся с адреса 400h (сразу за таблицей векторов прерываний). Этот адрес в сегментной модели адресации реального режима может быть представлен как 0000:0400h или 0040:0000h, что указывает на один и тот же физический адрес. В этой области в процессе выполнения POST формируются таблицы параметров устройств, определенных при их инициализации (базовые адреса портов, значения их тайм-аутов и т.п.), формируется буфер клавиатуры и т.д. В области памяти BIOS имеется несколько стандартно расположенных ячеек, а также фиксированные точки входа в процедуры BIOS. Положение этих точек искусственно удерживается на тех же местах, где они были при рождении PC, но пользоваться ими как интерфейсом не рекомендуется. Вызов процедур по этим точкам позволяет обойти все перехваты векторов прерывания, в том числе и вирусные. BIOS может также использовать и расширенную область данных (Extended BIOS Data Area, *EBDA*), которая обычно располагается под верхней границей (640 Кбайт) стандартной памяти.

Контрольные вопросы

1. Что определяет логическую организацию СВВ?
2. На какие три класса можно разделить ЭВМ с точки зрения программной организации ввода-вывода?
3. В чем заключается особенность логической организации СВВ в ЭВМ общего назначения?
4. Охарактеризуйте иерархию команд СВВ ЭВМ общего назначения.
5. Опишите упрощенную схему взаимодействия компонентов СВВ с помощью команд ЦП, управляющих слов ПВВ, приказов ПУ, байтов и слов состояния.
6. Для чего используется код операции УС в ПВВ?
7. Чем осуществляется управление работой ПВВ?
8. Как организуется ввод-вывод в СВВ микро-ЭВМ со специальными командами ввода-вывода?
9. Как организуется ввод-вывод в СВВ микро-ЭВМ без специальных команд ввода-вывода?
10. Как организуется ввод-вывод в микро-ЭВМ в рамках операционных систем?
11. Как организуется программный несовмещенный ввод-вывод?
12. Как организуется программный ввод-вывод с прерываниями программы?
13. Как организуется ввод-вывод через канал прямого доступа в память?
14. Что понимается под контроллером ввода-вывода?
15. Опишите контроллер ввода-вывода, представленный на рис. 2.5.
16. Опишите контроллер ввода-вывода, представленный на рис. 2.6.
17. Опишите особенности контроллера ввода-вывода, представленного на рис. 2.7.

18. Какими свойствами обладает ИВВ системного уровня современного ПК?
19. Что понимается под *прямым управлением шиной* (bus mastering)?
20. Что понимается под одноранговым взаимодействием устройств в рамках ИВВ хоста?
21. Что понимается под физическим и логическим адресом ячейки памяти или порта ввода-вывода?
22. Что понимается под логической и физической операцией ввода-вывода?
23. Охарактеризуйте функциональное назначение программных модулей BIOS современных ПК.
24. Охарактеризуйте BDA.

Логическая организация СВВ в универсальных и мини-ЭВМ более подробно изложена в [1, 16,]. Более подробную информацию об особенностях организации ввода-вывода в PC-совместимых компьютерах можно найти в [8], [21]. Информацию о системном модуле BIOS, его прерываниях, сервисах, расширениях и дополнениях можно найти в [8], [21], [32], [33] и др.

В этой главе использованы материалы из [1], [8], [16], [21], [32].

Глава 3.

Интерфейсы системы ввода-вывода

3.1. Понятие «интерфейс»

Как упоминалось во Введении, в рамках ВС под **интерфейсом** (interface) будем понимать: "совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие устройств цифровой вычислительной системы и (или) программ" (ГОСТ 15971-84) [2]. Из этого определения видно, что в рамках ВС могут организовываться межпрограммные интерфейсы (например, интерфейсы между программными модулями, реализующими функции протоколов соседних уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем), интерфейсы между программными и аппаратными средствами (например, программного модуля драйвера устройства с самим устройством) и, наконец, интерфейсы между аппаратными средствами ВС (аппаратные интерфейсы). В более широком смысле для аппаратных интерфейсов можно придерживаться определения: **интерфейс** - совокупность унифицированных технических и программных средств, используемых для сопряжения устройств в вычислительной системе или сопряжения между системами [3]. Конкретно под **аппаратным интерфейсом** можно понимать совокупность правил унифицированного взаимодействия между отдельными устройствами, а также совокупность *аппаратных, программных и конструктивных средств*, необходимых для реализации этих правил [1]. Составной частью понятия "аппаратный интерфейс" может служить термин "интерфейс физический", который определяет совокупность электрических, механических и функциональных характеристик средств, реализующих взаимодействие [18]. Иногда из понятия "физический интерфейс" могут вычленить понятие "электрический интерфейс" [8]. Как правило, в рамках коммуникационной среды ВС используется широкий набор аппаратных интерфейсов различных типов и рангов. Взаимодействие между устройствами осуществляется через линии интерфейса с помощью сигналов. К линиям интерфейса может подключаться два, или более устройств.

К **правилам взаимодействия** аппаратного интерфейса можно отнести сигнальный *протокол* взаимодействия через линии интерфейса (*протокол физического уровня*). В общем случае под **протоколом** можно понимать совокупность правил и соглашений, определяющих работу функциональных устройств и процедур в процессе взаимодействия (связи). При взаимодействии вычислительной системы с объектами внешнего мира могут использоваться протоколы нескольких уровней, число которых может достигать семи [41, 42]. Как правило, в рамках коммуникационной среды ВС взаимодействия между устройствами ВС могут быть регламентированы протоколами двух нижних уровней: протоколами *физического* и *логического (канального) уровня*. **Протокол физического уровня** (physical protocol) - протокол, регламентирующий механические, электрические, функциональные и процедурные характеристики интерфейса между вычислительной машиной и средой передачи сигналов [2]. Протокол физического уровня призван обеспечить передачу сигналов между взаимодействующими устройствами. **Протокол канального уровня** (data link protocol) - протокол взаимодействия, регламентирующий установление, поддержание, разъединение информационного логического канала [2] (логического канала обмена). Протокол канального уровня призван обеспечить передачу сообщений между взаимодействующими объектами канального (логического) уровня устройств. Эти определения можно распространить и на интерфейсы коммуникационной среды ВС. В аппаратных интерфейсах взаимодействие осуществляется с помощью сигналов, передаваемых, как правило, посредством электрических (или оптических) цепей, называемых **линиями интерфейса**. Совокупность линий, сгруппированных по функциональному назначению, принято называть **шиной** интерфейса: **шина интерфейса** - все линии, входящие в состав интерфейса; **шина адреса** - совокупность адресных линий;

шина данных - линии передачи данных; **шина управления** - совокупность линий, по которым передаются управляющие сигналы, сигналы состояния и пр.; и т.п. К линиям интерфейса подключаются приемники и (или) передатчики сигналов, управление которыми осуществляется устройствами управления (*контроллерами*) интерфейса согласно правилам протокола физического уровня. Как правило, управление циклами обмена по линиям интерфейса осуществляет **ведущий контроллер (хост-контроллер интерфейса)**, другие же (ведомые) просто поддерживают обмен, следуя правилам протокола интерфейса. Когда к линиям интерфейса подключено несколько контроллеров, способных выполнять функции ведущего контроллера, то их доступ к управлению интерфейсом осуществляется по определенным правилам с помощью запросов и (или) системы арбитража. Ведущий контроллер осуществляет управление интерфейсом по заданию процессора активного устройства, получившего право на управление обменом, самостоятельно или при участии этого процессора (например, ЦП). Ведомые контроллеры поддерживают протокол интерфейса своими средствами самостоятельно, или при участии компонентов устройств, в состав которых они входят. *Линии, приемники, передатчики и контроллеры интерфейсов относятся к **аппаратным средствам аппаратных интерфейсов**.*

В дальнейшем мы будем рассматривать в основном *аппаратные интерфейсы*.

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 устройств расширения и ПУ, отличающихся назначением, быстродействием, принципами действия.

В рамках системы ввода-вывода ЭВМ можно выделить аппаратные интерфейсы, используемые для обеспечения процессов ввода-вывода и обмена информацией между центральной частью ЭВМ и объектами внешнего мира, которые можно определить как **интерфейсы ввода-вывода**.

В архитектуре современных ПК в общем случае можно выделить следующую иерархию *интерфейсов ввода-вывода*.

1. **Интерфейсы ввода-вывода системного уровня (ИВВ хоста или системные ИВВ).** Это интерфейсы, обеспечивающие подключение устройств к центральной части ЭВМ (хосту ЭВМ) на системном уровне, т.е. организация обмена по этим интерфейсам осуществляется с использованием системных ресурсов (каналов прямого доступа к памяти (КПДП), линий запросов аппаратных прерываний, адресного пространства ввода-вывода и основной памяти). Эти интерфейсы участвуют в организации логических каналов ввода-вывода хоста, которые обеспечивают обмен данными между ЦП, ОП и портами ввода-вывода. К шинам ИВВ системного уровня могут непосредственно подключаться интегрированные ПУ, а через слоты (разъемы) расширения этих ИВВ – внутренние ПУ (см. раздел 1.4).
2. **Периферийные интерфейсы ввода-вывода (периферийные ИВВ).** Эти интерфейсы позволяют осуществлять обмен между портами ввода-вывода устройств (хост-адаптеров этих интерфейсов), подключенных к ИВВ хоста, и ПУ (контроллерами ПУ). Эти интерфейсы и контроллеры ПУ, как правило, не используют системные ресурсы для реализации этого обмена. Стандартные периферийные ИВВ позволяют подключать удаленные от системной платы ПК встраиваемые и внешние ПУ.
3. **Малые интерфейсы ввода-вывода (малые ИВВ).** Они обеспечивают взаимодействие контроллера ПУ с ПУ (исполнительным устройством ПУ). Стандартные малые ИВВ позволяют подключать удаленные от системной платы ПК встраиваемые и внешние ПУ.

4. **Внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ).** Они обеспечивают обмен информацией между ПУ (исполнительными устройствами ПУ) и объектами внешнего мира или промежуточными носителями информации внешнего мира.

ИВВ первого, второго и третьего типа будем относить к **внутренним интерфейсам ввода-вывода**. Следует отметить, что периферийные и малые ИВВ относятся к промежуточным интерфейсам и в явном стандартном виде могут отсутствовать при организации взаимодействия хоста ПК с объектами внешнего мира через интегрированные и внутренние ПУ, поскольку в данном случае они встроены в конструктивы этих ПУ.

Во Введении приводится более подробная информация о понятии «**Интерфейс**» и связанных с ним понятиях и терминах.

3.2. Понятие аппаратного 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, волновое сопротивление, 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.

Единый стандартный интерфейс не смог бы обеспечить эффективную работу разнообразных устройств, используемых на различных уровнях иерархии СВВ ЭВМ. 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. 3.1 и 3.2 показаны интерфейсы для универсальных машин ЕС ЭВМ и минимашин 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 интерфейсами хоста, отражающими особенности конкретной модели и, как правило, не унифицируются. *Интерфейсы ввода-вывода* (ИВВ хоста) (*И3*) обеспечивают обмен между ПВВ и контроллерами ПУ (КПУ); они стандартизуются, что дает возможность использовать одинаковые контроллеры и ПУ в различных моделях ЭВМ одного ряда. *Интерфейсы И4* образуют группу так называемых *малых интерфейсов* (малых ИВВ), посредством которых собственно ПУ (или его исполнительный модуль) сопрягается с его 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*.

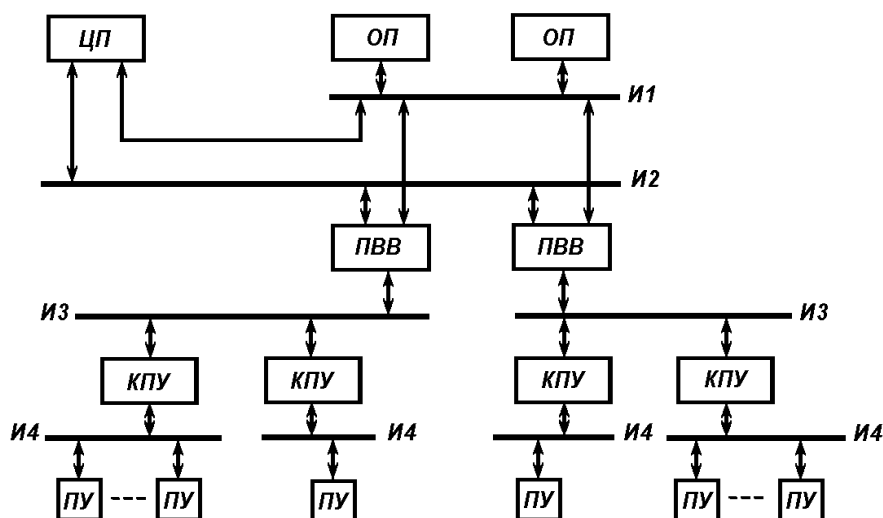


Рис. 3.1. Система интерфейсов ЕС ЭВМ.

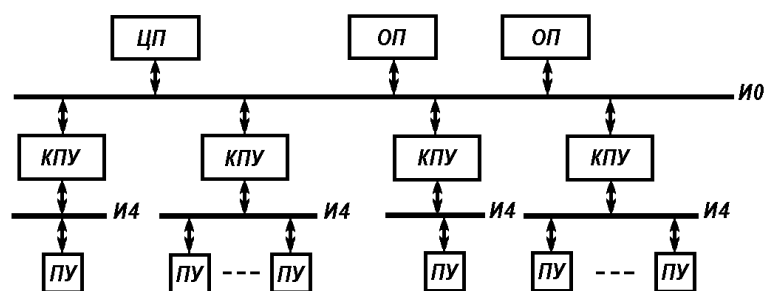


Рис. 3. 2. Система интерфейсов мини- и микро-ЭВМ.

Для мини- и микро-ЭВМ характерно (рис. 3.2) наличие интерфейса I_0 , посредством которого связаны между собой ЦП, ОП и контроллеры. Этот интерфейс принято называть *системным* (или *объединенным*), он унифицирован для всего семейства ЭВМ. Этот интерфейс можно отнести к ИВВ хоста. Контроллеры в мини- и микро-ЭВМ достаточно просты, так как управление обменом между ПУ и ОП осуществляется в значительной мере программным путем. Это позволяет для семейств ЭВМ с различными интерфейсами I_0 использовать одинаковые ПУ (но с разными контроллерами).

У персональных ЭВМ также имеется система внутренних и внешних интерфейсов ввода-вывода. На рис. 3.3 приведена структура аппаратных ИВВ, а также основных компонентов ПК типа IBM PC/AT, включая адаптеры, контроллеры и ПУ.

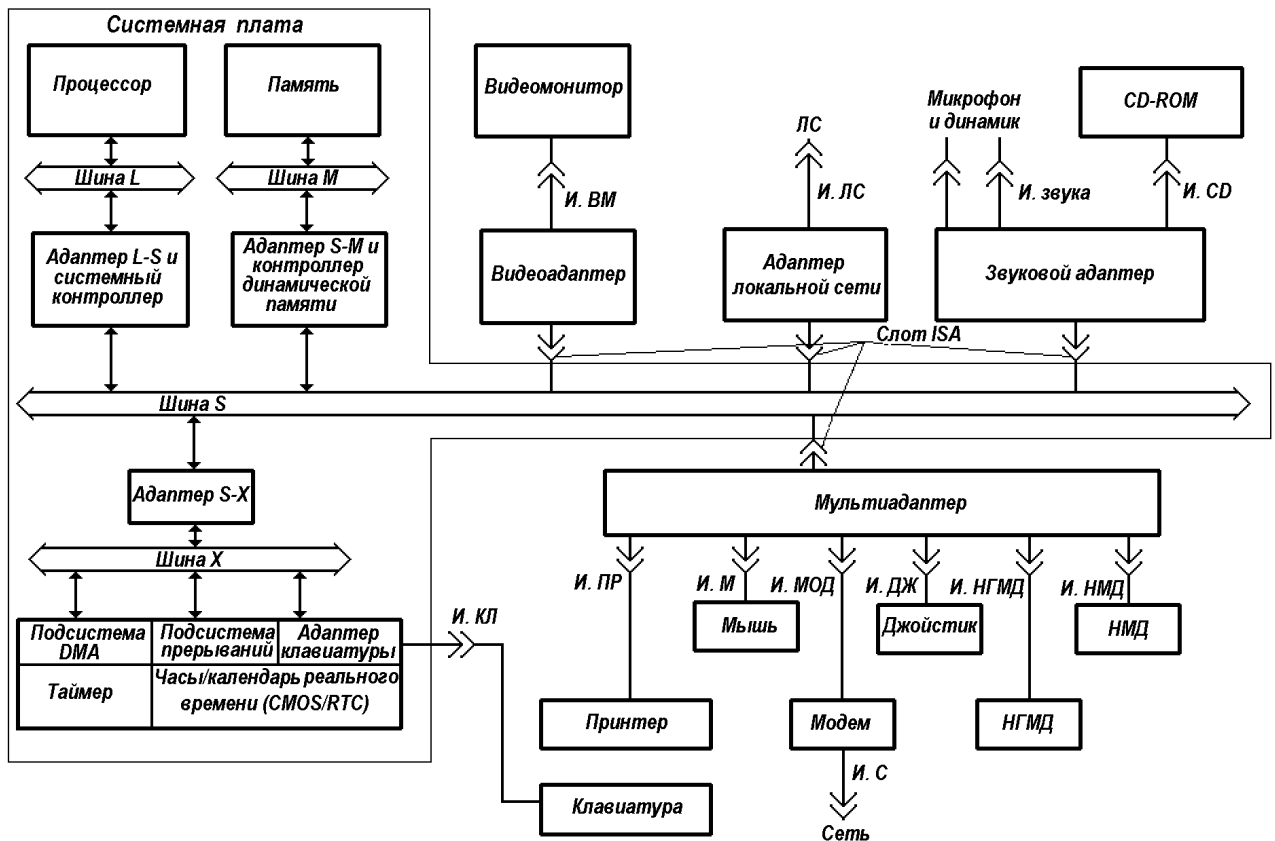


Рис.3.3. Структура интерфейсов ПЭВМ IBM PC/AT.

Системный интерфейс (шина S) - интерфейс расширения системы (ИВВ хоста) стандартизуется в рамках ряда ПК типа IBM PC/AT (ISA, EISA, MCA и др.) и аналогичен по назначению интерфейсам I_0 мини- и микро-ЭВМ. При реализации программного обмена управление циклами передачи по шинам интерфейса S осуществляется системным контроллером, входящим в состав *адаптера L-S*. Он реализует свои функции по запросу от ЦП. В режиме прямого доступа к памяти циклами передачи по шинам интерфейса S управляет контроллер прямого доступа к памяти (КПДП) *подсистемы DMA* (DMA - Direct Mammary Access). Управлять передачами по шинам интерфейса S могут также устройства расширения, подключаемые к слотам расширения интерфейса S и поддерживающие режим *Bus Master (busmastering)*.

Локальный интерфейс (шина L) относится к внутренним интерфейсам хоста и полностью сориентирован на интерфейс ввода-вывода центрального процессора (i80286). Контроллер этого интерфейса находится в ЦП.

Интерфейс памяти (шина M) относится к внутренним интерфейсам хоста. Его функционирование определяется особенностями взаимодействия с элементами динамической памяти, скомпонованными в модули памяти (SIMM, RIMM, DIP). Управление интерфейсом

осуществляется контроллером динамической памяти, который реализует также функции *адаптера S-M*. Рабочие циклы этого контроллера инициируются командными сигналами, поступающими с шины управления интерфейса *S*.

Интерфейс периферийных БИС (шина X) (ИВВ хоста) служит для организации взаимодействия ЦП с восьмиразрядными программируемыми БИС (большими интегральными схемами), на базе которых реализуется ряд подсистем ПК (подсистема аппаратных прерываний, подсистема прямого доступа к памяти, подсистемы часов реального времени и программируемого таймера). К этому ИВВ хоста подключается также адаптер клавиатуры (хост-адаптер периферийного ИВВ клавиатуры). Циклы обмена в рамках этого интерфейса инициируются процессами обмена по шинам интерфейса *S*. В режиме прямого доступа к памяти КППД выставляет через *шину X* два младших байта адреса ячеек памяти, с которыми ведется обмен в режиме ПДП, и командные сигналы обращения к памяти и портам ввода-вывода. *Адаптер S-X*, включенный между шинами интерфейсов *S* и *X*, реализует в основном буферизацию обмена между шинами интерфейсов и согласование обмена между 16-разрядной шиной данных SD и 8-разрядной шиной данных XD.

На рис. 3.3 представлены также периферийные, малые и внешние ИВВ.

К периферийным ИВВ относятся:

- Последовательный, двунаправленный, асинхронный, двухточечный интерфейс клавиатуры (*И. КЛ*). Кабель интерфейса подключается к разъему адаптера клавиатуры, расположенному на системной (материнской) плате ПК. Циклами передачи по линиям интерфейса может управлять как контроллер адаптера клавиатуры (хост-адаптер интерфейса клавиатуры), так и контроллер клавиатуры, расположенный в корпусе клавиатуры. Однако синхронизацию передачи каждой посылки от клавиатуры или в клавиатуру осуществляет контроллер клавиатуры.
- Параллельный, однонаправленный, асинхронный, двухточечный интерфейс принтера (*И. ПП*) (как правило интерфейс Centronics). Кабель интерфейса подключается к разъему параллельного порта ПК - LPT-порта (Line PrinTer port - порт подключения последовательного принтера). Хост-адаптер *И. ПП* располагается на мультиадаптере, подключенном как устройство расширения к слоту расширения интерфейса *S* (ИВВ хоста типа ISA - Industry Standard Architecture). Функции хост-контроллера интерфейса, в части реализации протокола обмена, выполняет ЦП.
- Последовательный, двухканальный, асинхронный, двухточечный интерфейс модема (*И. МОД*). Кабель интерфейса подключается к разъему последовательного асинхронного порта ПК - COM-порта (Communication port - коммуникационный порт). COM-порт поддерживает интерфейс RS-232C. Хост-адаптер интерфейса располагается на мультиадаптере. Часть функций контроллера интерфейса, в части реализации протокола обмена, выполняет ЦП.
- Последовательный, двухканальный, асинхронный, двухточечный интерфейс манипулятора мышь (*И. М*). Кабель интерфейса подключается к разъему COM-порта. Манипулятором используется только входной канал порта.
- Параллельный, двунаправленный, трех точечный, синхронный интерфейс подключения накопителей на жестких магнитных дисках (НМД), у которых их контроллер находится в корпусе накопителя (*И. НМД*). Кабель интерфейса, выполненный в стандарте интерфейса ATA (AT Attachment for Disk Drives) или IDE (Integrated Drive Electronics), подключается к соответствующему разъему, расположенному на мультиадаптере, где располагается хост-адаптер интерфейса. К кабелю может подключаться два накопителя.
- Параллельный, двунаправленный, трех точечный, синхронный интерфейс подключения дисководов компакт-дисков (CD-ROM - Compact Dick типа Read Only Mammagy), у которых их контроллер находится в корпусе дисковода (*И. CD*). Дисковод, как правило,

подключается по тому же интерфейсу, что и НМД, однако протокол обмена дополнен возможностями обмена пакетами управляющей информации (спецификация ATAPI - ATA Package Interface).

К **малым ИВВ** относятся:

- Интерфейс подключения манипуляторов типа джойстик (*И. ДЖ*). Это специализированный интерфейс, позволяющий контроллеру игрового порта (джойстика) контролировать состояние четырех контактных датчиков и четырех переменных сопротивлений (резисторов), расположенных в двух джойстиках. Контроллер, адаптер и разъем игрового порта располагаются на мультиадаптере. Адаптер джойстика содержит преобразователи аналогового кода (АЦП), преобразующие величину сопротивления переменных резисторов во временную задержку появления сигнала окончания преобразования. На основании измерения величины этой задержки драйвер джойстика, или прикладная программа формирует эквивалентный цифровой код.
- Двухканальный, последовательный, трех точечный, асинхронный интерфейс подключения приводов (дисководов) накопителей на сменных гибких магнитных дисках (*И. НГМД*). Плоский кабель интерфейса позволяет подключать два дисковод (трехдюймового и (или) пятидюймового). Контроллер интерфейса (контроллер накопителя на гибких магнитных дисках - КНГМД), выполняющий и функции хост-адаптера, располагается на мультиадаптере.
- Последовательный, однонаправленный, синхронный интерфейс подключения видеомонитора (*И. ВМ*). Кабель интерфейса подключается к разъему, расположенному на модуле видеоадаптера. Видеоадаптер содержит несколько контроллеров, формирующих видео и синхронизирующую информацию, поступающую затем в видеомонитор по кабелю интерфейса. Видеоадаптер подключается как устройство расширения к слоту расширения ИВВ хоста S.
- Интерфейс ввода-вывода звуковой информации (*И. Звука*). По линиям интерфейса принимаются аналоговые сигналы от микрофона или от других источников аналоговых электрических сигналов, и выдаются аналоговые электрические сигналы на динамик, звуковые колонки или другие устройства. Звуковой адаптер содержит АЦП входных аналоговых сигналов и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), преобразующий последовательность цифровых кодов в соответствующий их значениям аналоговый выходной сигнал.

К аппаратным **внешним ИВВ** относятся:

- Интерфейс подключения модема к абонентской линии коммутируемой телефонной сети (*И. С*).
- Интерфейс подключения к коммуникационной среде локальной сети (*И. ЛС*).

Следует отметить, что такие ПУ, как видеомонитор, принтер, клавиатура, манипуляторы, мышь и джойстик имеют средства, относящиеся к внешним ИВВ, обеспечивающим взаимодействие ПК с пользователем, а приводы (дисководы) НМД, НГМД и CD-ROM имеют средства реализации внешнего интерфейса взаимодействия ПК с соответствующими носителями информации (носителями внешней памяти).

С появлением первого процессора с 32-разрядной архитектурой для его поддержки был разработан 32-разрядный ИВВ хоста стандарта EISA (Enhanced Industry Standard Architecture - расширенная архитектура промышленного стандарта ISA). Однако этот интерфейс не получил широкого распространения поскольку его пропускная способность ограничивалась 33 Мбайтами в секунду.

С появлением процессора i80486 появилась потребность в резком повышении пропускной способности ИВВ хоста. Для этих целей был разработан интерфейс расширения системы

VLB (VESA Local Bus - локальная шина, разработанная ассоциацией стандартов по видеoeлектронике). Однако этот ИВВ хоста являлся дополнением к слоту шины интерфейса *ISA/EISA*, ориентировался только на ИВВ процессора *i80486* и использовался в основном для графических видеоадаптеров и адаптеров дисковых накопителей. Принципиальная привязка к ИВВ процессора 486 не обеспечила ему долгого существования. С процессорами *i80486* появился и другой скоростной ИВВ хоста - *PCI* (шина *PCI*) (*Peripheral Component Interconnect*). Его шина явилась новым «этажом» в архитектуре ПК, к которому подключаются шины ИВВ хоста типа *ISA/EISA*. Интерфейс *PCI* укрепил свои позиции и являлся основным ИВВ хоста для компьютеров с процессорами 4, 5 и 6 поколений. Более того, он использовался и в компьютерах других платформ. Развитием ИВВ хоста *PCI*, нацеленным на дальнейшее повышение производительности обмена, явился порт *AGP* - *Accelerated Graphics Port* (скоростной ИВВ хоста специально предназначенный для подключения мощных графических видеоадаптеров). ИВВ хоста *AGP*, в отличие от *PCI*, относится к радиальным двухточечным. Он имеет только один слот к которому подключается только одно устройство. Местоположение шин этих ИВВ хоста в архитектуре персонального компьютера иллюстрирует рис. 3.4.

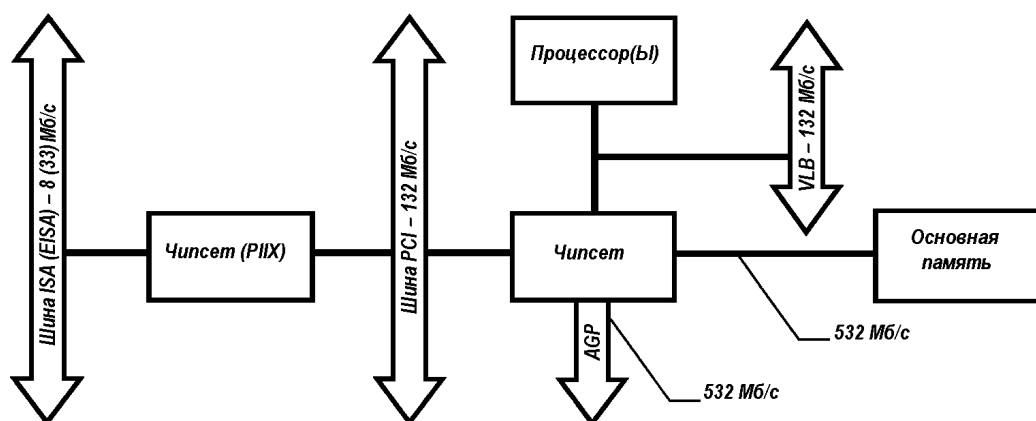


Рис. 3.4. Шины расширения (шины ИВВ хоста) в архитектуре ПК; чипсет - это специализированный набор микросхем системной логики, который выполняет функции основного связующего звена между всеми компонентами системной платы ПК.

В рамках дальнейшего развития внутренних компонентов хоста ПК (процессоров, памяти, чипсетов, внутренних интерфейсов и ИВВ хоста) менялась архитектура системных плат ПК (шинно-мостовая, хабовая, гипертранспортная). Параллельно стали появляться новые периферийные ИВВ (*USB* (*Universal Serial Bus*), *FireWire*, *Bluetooth* и т.д.), дополнения к прежним стандартам *SCSI* (*Small Computer System Interface*), *ATA*, *Fibre Channel* и пр. Развивалась также система внешних интерфейсов, как в части интерфейсов локальных сетей, так и приборных внешних интерфейсов типа *GPIB* (*General Purpose Interface Bus* - интерфейсная шина общего назначения).

Шинно-мостовая архитектура. В шинно-мостовой архитектуре имеется центральная магистральная шина ИВВ хоста, к которой остальные компоненты, подключенные к шинам других внутренних интерфейсов, подключаются через микросхемы чипсета, называемые мостами ("северный" и "южный" мосты).

Традиционно части чипсета, располагающиеся между ЦП, ОП и центральной магистральной шиной ИВВ хоста называют «северными» (*north*), а остальные элементы чипсета – «южными». Понятие моста (*bridge*) используется в перечне компонентов коммуникационной среды локальных вычислительных сетей (ЛВС). Мосты применяются для объединения сегментов ЛВС с шиной топологией подключения устройств так, чтобы их внутренний поток сообщений (трафик) в рамках каждого сегмента не выходил за их пределы и не влиял на трафик соседних сегментов. Мост пропускает только межсегментный трафик и выполняет свои функции, как на физическом, так и на канальном уровне. На физическом уровне он

поддерживает протоколы физического уровня всех подключенных к нему интерфейсов, а на канальном уровне реализует методы доступа к передающей среде интерфейсов и логически разделяет трафик, проходящий через него, между подключенными к нему шинами интерфейсов. Выполнение мостом логических функций вносит заметные задержки в распространение сообщений (особенно коротких), снижая эффективную пропускную способность логических каналов обмена. С точки зрения компонентов коммуникационной среды ПК мосты выполняют функции мультиадаптеров. Для этого в них имеются контроллеры всех подключаемых интерфейсов (ведомые, ведущие или универсальные) и общее устройство управления внутренней коммуникационной средой моста (централизованное или распределенное), осуществляющее арбитраж и логическое соединение контроллеров (адаптеров) интерфейсов, участвующих в передаче сообщений по логическим каналам обмена.

В шинно-мостовой архитектуре в роли центральной магистрали сначала выступала шина интерфейса (E)ISA, затем ее сменила шина интерфейса PCI. Шина PCI в роли главной магистрали удержалась недолго: видеоадаптерам с 3D-акселератором ее пропускной способности, разделяемой между всеми устройствами, оказалось недостаточно. Тогда и появился дополнительный ИВВ хоста - порт AGP как выделенный мощный интерфейс между графическим акселератором, памятью и процессором. В данном контексте под термином "порот" следует понимать всю совокупность средств, используемую для подключения устройства расширения т. е. ИВВ. Задачи северного моста усложнились: контроллеру памяти приходится работать уже на три фронта - ему посылают запросы процессор(ы), мастера шины PCI (и ISA, но тоже через PCI) и порт AGP. Пропускная способность AGP в режиме 2x/4x/8x составляет 533/1066/2133 Мбайт/с, так что интерфейс PCI по производительности стал уже второстепенным. Однако в шинно-мостовой архитектуре он сохраняет свою роль магистрали подключения всех периферийных устройств (кроме графических видеоадаптеров). Шинно-мостовая архитектура чипсетов просуществовала долгое время и пережила много поколений процессоров (от 2-го до 7-го).

В качестве примера на рис. 3.5 приведена шинно-мостовая архитектура системной платы, разработанной на базе элементов чипсета AMD 760. В чипсете AMD 760 микросхема AMD-762 выполняет функции северного моста. К нему через ИВВ ЦП FSB (Front Side Bus - шина переднего плана) подключаются центральные процессоры (CPU) а через шину интерфейса памяти - основная память типа DDR SDRAM (Dual Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory - синхронная динамическая память с произвольным доступом и двойной скоростью передачи данных). К AMD 760 подключаются также шины ИВВ хоста типа AGP и PCI 66 МГц. Мост содержит контроллеры AGP, PCI и интерфейса динамической памяти, а также адаптер подключения к шинам FSB (Front Side Bus – шина интерфейса подключения процессора).

Функции южного моста в чипсете AMD 760 выполняет микросхема AMD-768. В ней находится адаптер подключения к шине ИВВ хоста PCI 66 МГц с поддержкой функции Bus Master, контроллер цифрового интерфейса аудиокодека AC'97 (AC Link), контроллеры ИВВ хоста LPC и PCI, хост-адаптеры периферийных ИВВ USB и ATA. В ней также реализована поддержка дополнительного внутреннего последовательного интерфейса SMBus (System Management Bus) и интерфейса взаимодействия усовершенствованных программируемых контроллеров прерываний APIC (Advanced Programmable Interruption Controller).

С появлением скоростных периферийных (USB 2., ATA Ultra DMA Mode 5, SCSI Fast 160 и др.) и внешних ИВВ (Gigabit Ethernet и др.), подключенных к южному мосту, даже центральный магистральный интерфейс PCI 66 МГц стал узким местом в обслуживании трафика между центральной частью ПК и устройствами, подключенным к его слотам и к южному мосту.

Хабовая архитектура. Ответом на увеличение доли скоростных периферийных и внешних ИВВ стал переход на *хабовую архитектуру чипсета*. Понятие хаб, как и мост, используется

в перечне компонентов коммуникационной среды ЛВС с шинно-радиальной топологией подключения устройств (например Ethernet). Хаб имеет несколько "портов" для подключения устройств или шин. В данном контексте термин "порт" следует понимать как адаптер, подключенный между внутренней средой передачи сигналов хаба и линиями подключенного к нему интерфейса или контроллером подключенного к нему устройства. Внутри хаба реализуется коллапсированная (стянутая в "точку") общая шина передачи сигналов (общая среда передачи сигналов). Все сигналы, поступающие в эту среду, сразу же становятся доступны всем портам и устройствам, подключенным к ней. Хаб выполняет свои функции на физическом уровне, обеспечивая ретрансляцию сигналов между всеми своими портами. В каждый момент времени только один порт может выдавать сигналы в общую внутреннюю среду передачи сигналов хаба, а все остальные могут только принимать эти сигналы. Хабы могут объединять свои внутренние среды передачи сигналов между собой через линии высокопроизводительных радиальных интерфейсов, распространяя доступ передаваемых сигналов всем портам подсоединяемых хабов. Каждый порт хаба поддерживает протокол доступа к разделяемой среде передачи сигналов хабов и может иметь свою буферную память.

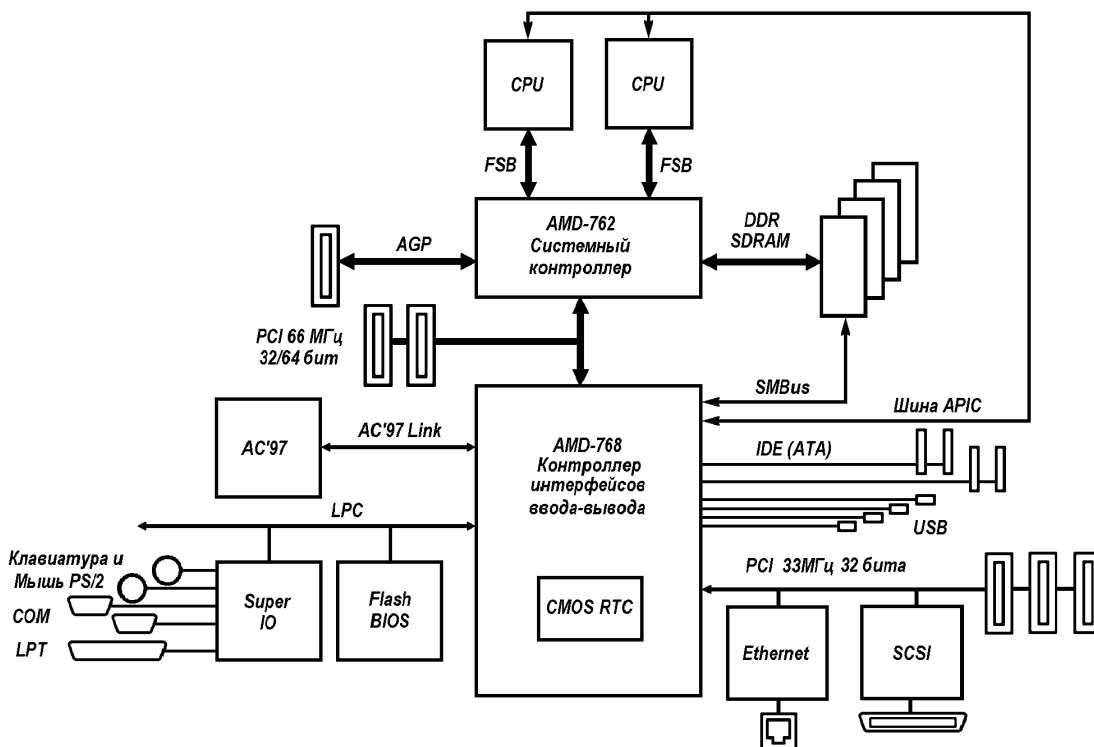


Рис. 3.5. Шинно-мостовая архитектура на примере AMD-760

Как и мосты, хабы могут делиться на северные и южные. Северный хаб чипсета выполняет те же функции, что и северный мост шинно-мостовой архитектуры: он связывает шины интерфейсов процессора, памяти и порта AGP. Однако на южной стороне этого хаба находится уже не шина интерфейса PCI, а высокопроизводительный интерфейс связи с южным хабом (рис. 3.6). Пропускная способность этого интерфейса составляет 266 Мбайт/с и выше, в зависимости от чипсета. Если чипсет имеет интегрированную графику, то в северный хаб входит и графический процессор видеоадаптера со всеми своими интерфейсами и компонентами, и на выходе хаба будет формироваться только малый ИВВ подключения видеомониторов (VGA - аналоговый дисплейный интерфейс (RGB Analog) и (или) цифрового интерфейса типа DVI - Digital Visual Interface).

С появлением PCI-E (PCI Express - новая архитектура соединения компонентов) архитектура системных плат не слишком изменилась: северный хаб (мост) вместо порта AGP теперь стал поддерживать высокопроизводительный PCI-E (8x или 16x) порт, а то и пару портов, для подключения графических видеоадаптеров. Маломощные (1x) порты PCI-E могут предоставляться как северным, так и южным хабом. Южный хаб обеспечивает также работу несколь-

ких портов SATA (Serial ATA - последовательный интерфейс ATA) с производительностью 150 Мбайт/с на порт.

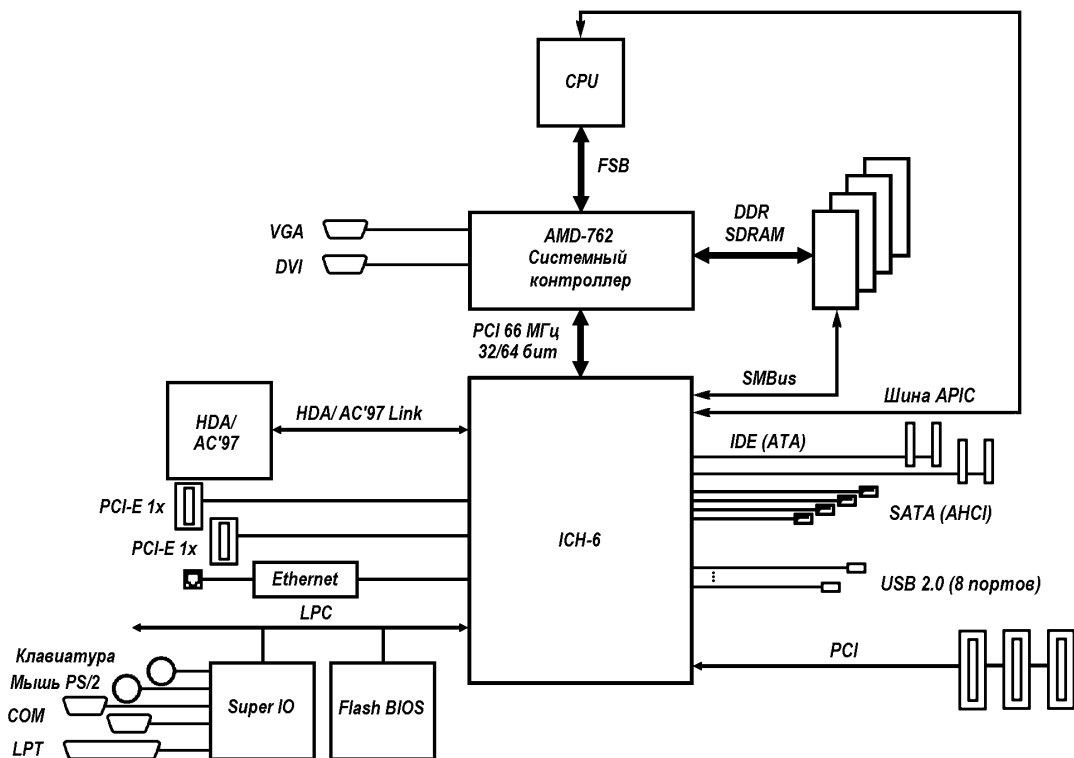


Рис. 3.6. Хабовая архитектура на примере чипсета Intel с ICH-6

Архитектура Hyper Transport. Технология (архитектура) Hyper Transport (HT) задумывалась как альтернатива шинно-мостовой архитектуре системных плат. Основная идея HT - замена шинного соединения компонентов системной платы ПК системой двухточечных встречно-направленных соединений. При этом достижима более высокая тактовая частота, что обеспечивает их более высокую (по сравнению с магистралью) пропускную способность. Структурная схема компьютера архитектуры HT приведена на рис. 3.7.

Главный мост (*Host Bridge*) обеспечивает связь HT с ядром - процессором и памятью. Контроллеры ИВВ системного уровня и периферийных ИВВ, требующих высокой пропускной способности, реализуются в виде *HT-туннелей*. В архитектуре предусматривается и мостовая связь с шиной PCI.

По топологическим свойствам различают несколько типов устройств HT:

- Туннель (tunnel) - устройство с двумя интерфейсами HT; такие устройства могут собираться в цепочку (daisy chain), образующую логическую шину. Цепочка подключается к хосту (процессору с главным мостом), отвечающему за конфигурирование всех устройств и управляющему работой HT.
- Мост (bridge) - устройство, соединяющее одну шину логически первичного интерфейса (подключенную к хосту) с одной или несколькими шинами (цепочками) логически вторичных интерфейсов. Мост имеет набор регистров, информация которых позволяет управлять распространением транзакций между этими шинами (аналогично мосту PCI).
- Коммутатор (switch) - устройство с несколькими интерфейсами HT, по структуре аналогичное нескольким мостам PCI, подключенным к одной (внутренней) шине.
- Тупик, или пещера (cave) - устройство с одним интерфейсом HT.
- Хост (host) - это «хозяин шины», представленный ядром и главным мостом и выполняющий функции конфигурирования (аналогично и совместимо с PCI).

Основной вариант топологии - цепочка устройств-туннелей, подключенная верхним концом

к хосту. Каждый интерфейс HT состоит из двух независимых частей: передатчика и приемника. Каждому устройству при конфигурировании выделяются свои области в адресном пространстве. В цепочке устройства-туннели транслируют пакеты сверху вниз (нисходящий трафик) и снизу вверх (восходящий). Если в нисходящем управляющем пакете устройство обнаруживает свой адрес, оно «понимает», что обращаются к нему, и принимает соответствующую информацию (управляющие пакеты и данные). Восходящий трафик туннель транслирует «вслепую». На полученные запросы устройство отвечает посылкой пакетов вверх, включая их в транслируемый восходящий трафик. Таким образом обеспечивается программное взаимодействие процессора с устройствами. Собственные запросы на доступ к памяти устройство посылает тоже вверх, как и запросы (обращения) к другим устройствам (независимо от положения целевого устройства - выше или ниже в цепочке). Доставку пакета адресату обеспечивает главный мост: он разворачивает пакет, принятый из цепочки (адресованный не к ОЗУ), и посылает его вниз - так организуется одноранговое взаимодействие. На пакет, адресованный к ОЗУ, главный мост организует ответ от контроллера памяти, обеспечивая таким образом прямой доступ к памяти. Возможны и более сложные топологии, например дерево (с коммутаторами), позволяющее подключать больше типовых устройств.

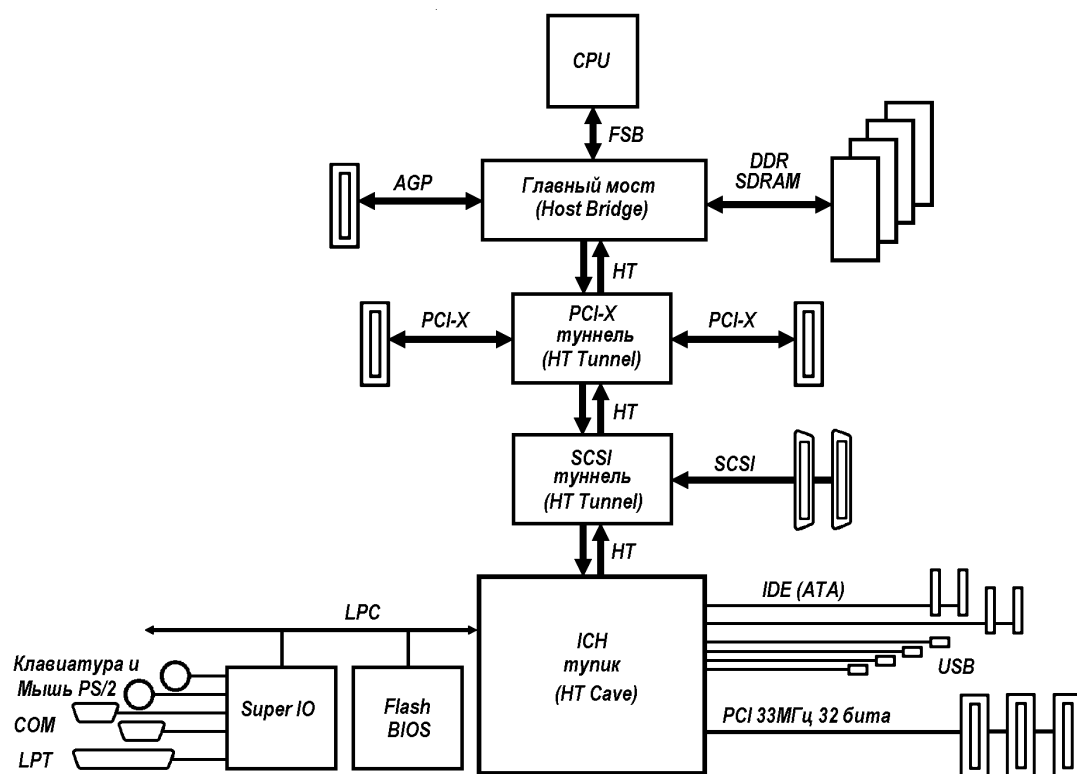


Рис. 3.7. Архитектура Hyper Transport

Устройство HT может выступать в роли инициатора или/и целевого устройства транзакций (групповых операций). Архитектура HT обеспечивает все типы транзакций процессоров и устройств PCI, PCI-X и AGP, используемые в PC.

Дальнейшее развитие хабовой архитектуры и архитектуры HT шло по пути интеграции компонентов северного хаба и главного моста в микро архитектуру процессорного чипа. Сначала на кристалл процессора перенесли контроллеры динамической памяти, а в составе северного хаба оставили несколько портов PCI Express: 1x16 и 2x8 (например: процессоры Intel Core i7 с северным хабом ЮН X58). В этой архитектуре процессор и северный хаб соединялись скоростным двухточечным дуплексным интерфейсом QPI – Quick Path Interconnect (25,6 GB/s) а обмен между северным и южным хабами осуществлялся через последовательный дуплексный интерфейс DMI – Digital (Direct) Media Interface (2 GB/s). С технической точки зрения QPI представляет собой два 20-битных соединения, ориентированных на

передачу данных в прямом и обратном направлении а DMI является разновидностью PCI Express.

Позже, например, в рамках микро архитектуры Intel Core i5 на кристалл процессора были перенесены все остальные компоненты северного хаба и, как отдельный компонент чипсета, северный хаб исчез. Процессор стал непосредственно подключаться к южному хабу (например, к PCH Intel P55) через DMI.

Итак, аппаратные интерфейсы присутствуют на всех уровнях иерархии коммуникационной среды ВС, выполняя свои функции по обеспечению передачи сигналов, данных и сообщений между устройствами ВС и при взаимодействии с внешними объектами.

Характеристики интерфейсов. Аппаратные 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, которые определяют и определяются *организацией интерфейсов*.

3.3. Организация интерфейсов

3.3.1. Классификационные признаки

Организация интерфейсов определяется, в основном, способами передачи информации (параллельной или последовательной, асинхронной или синхронной), соединением устройств и используемыми линиями. Для характеристики организации конкретного интерфейса может быть использована многоуровневая функциональная классификация, предлагаемая в [66]. К примеру, в ней предлагается десять функциональных уровней, каждый из которых может содержать от трех до пяти и более функциональных признаков. Такой способ позволяет даже при трех признаках на уровень охарактеризовать 54 756 конкретных реализаций интерфейсов.

3.3.2. Последовательная и параллельная передача информации

Цифровые сообщения могут передаваться в последовательной, параллельно-последовательной, последовательно-параллельной и параллельно-параллельной форме; соответственно интерфейсы принято делить на *последовательные*, *параллельные* (*параллельно-последовательные*), *последовательно-параллельные* и *параллельно-параллельные* [66].

В *последовательном интерфейсе* передача данных осуществляется побитно всего по одной линии, хотя общее число линий может быть и больше. В этом случае по дополнительным линиям передаются сигналы синхронизации управления и состояния, например, в RS 232C (COM-порт).

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 одному байту 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 задержек сигналов, передаваемых по разным линиям $Л1 - Лm$. Это означает, что одновременно выданные передатчиком *ПРД* сигналы на линии $Л1 - Лm$ воспринимаются приемником *ПРМ* не одновременно, а в интервале (t_1, t_2) (см. рис. 3.8, а и б).

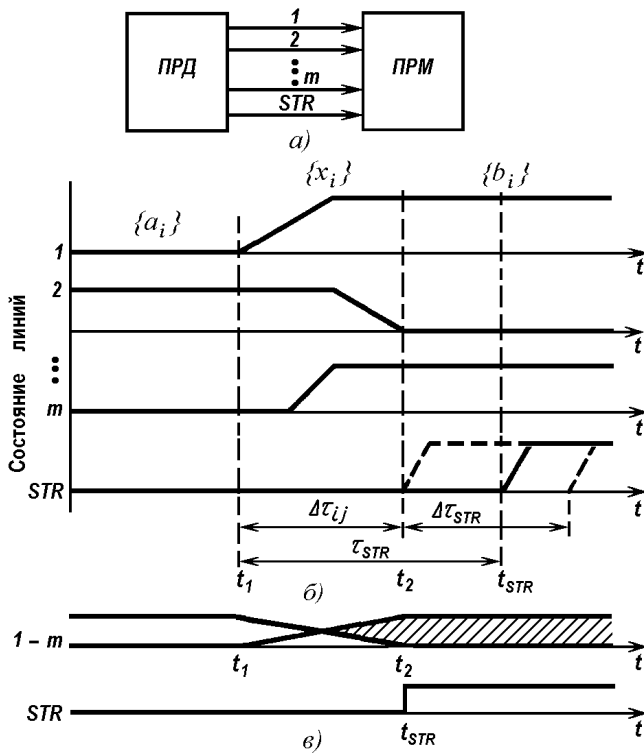


Рис. 3.8. Передача данных в параллельном интерфейсе.

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 $Л1 - Лm$.

$$t_{str} > 2 \max(\Delta\tau_{i,j}) = 2 \max|t_i - t_j|,$$

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; $\Delta\tau_{i,j}$ - возможный разброс моментов поступления сигналов по линиям $Л1 - Лm$, а $\Delta\tau_{str}$ - по линии строба.

Для уменьшения влияния перекося в интерфейсах шириной в несколько байт передача каждого байта строится по отдельным линиям (параллельно-параллельный интерфейс), например, в EISA, PCI и др.

В *последовательно-параллельном интерфейсе* байты передаются в последовательном формате параллельно по нескольким линиям, например в PCI-E x16. Синхронизация передачи по каждой линии осуществляется самостоятельно, но в едином темпе.

3.3.3. 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 основной его части. Приемник ПРМ независимо или с помощью поступающих от передатчика управляющих сигналов обеспечивает прием квантов в темпе их выдачи.

Для реализации одного из способов синхронного режима передачи в относительно медленных последовательных интерфейсах 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. 3.9,а. Постоянство интервалов передачи (и приема) символов обеспечивается синхронно работающими независимыми генераторами в передатчике и приемнике, которые обладают высокой стабильностью частоты. При условии отсутствия данных для передачи (процессор не успел подготовить очередные данные для передачи) передатчик должен вставить в последовательность передаваемых байт дополнительные символы *SYN*, поддерживая тем самым синхронизацию работы генератора передатчика и приемника в паузах передачи сообщения.

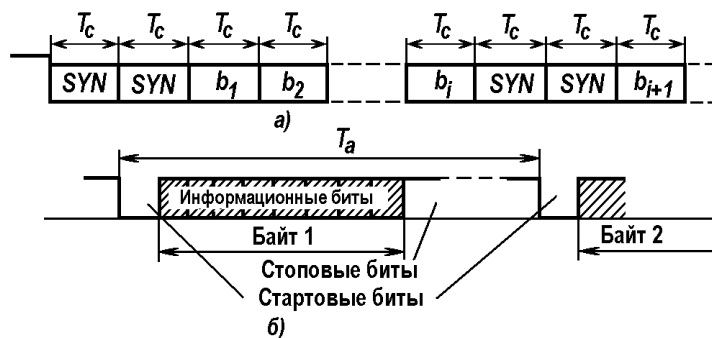


Рис. 3.9. Пример синхронной и асинхронной передачи.

При высоких скоростях передачи синхронизация генератора приемника производится посредством использования самосинхронизирующего кодирования передаваемых данных (например, манчестерского кода). В этом случае подстройка частоты генератора приемника производится по фронтам сигналов, передающих данные. При отсутствии данных для передачи, передатчик передает в линию специальные коды синхронизации, которые приемник не воспринимает как данные а только использует их для поддержания синхронизации своего генератора с генератором передатчика.

Если при последовательной передаче используются дополнительные линии интерфейса, то синхронизация передатчика и приемника поддерживается сигналами синхронизации, передаваемыми по линиям управления от передатчика к приемнику, что позволяет пользоваться только одним общим генератором синхронизации. Аналогично с помощью сигнала синхронизации реализуется синхронная передача в параллельном интерфейсе. Если к синхронному

интерфейсу с выделенной линией синхронизации подключаются несколько устройств с различным быстродействием, то для согласования их работы используется дополнительная линия по которой медленные устройства выставляют хосту интерфейса сигнал задержки цикла обмена на несколько периодов сигналов синхронизации. Цикл обмена в этом случае заканчивается после снятия устройством этого сигнала.

Передачу называют **асинхронной**, если синхронизация передатчика и приемника осуществляется при передаче каждого кванта информации. Интервал между передачей квантов непостоянен. В относительно медленных последовательных асинхронных интерфейсах каждый передаваемый байт «обрамляется» стартовыми и стоповыми сигналами, как показано на рис. 3.9, 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. В скоростных асинхронных последовательных интерфейсах, например во внешнем ИВВ подключения к ЛВС типа Ethernet (10Base 2), квантом передаваемой информации является сообщение (кадр) длиной в несколько сотен и более байт. Каждый кадр начинается с поля преамбулы, несущей синхронизирующую информацию. При "манчестерском" самосинхронизирующем кодировании эта информация представляется в линии прямоугольными сигналами (меандром) с частотой 5 МГц. При получении этих сигналов приемник сетевого устройства (например, сетевого адаптера) включает свой генератор, настраивает его по частоте и фазе "меандра" и после окончания поля преамбулы начинает принимать информационные биты кадра. Синхронизация генератора передатчика и приемника при этом поддерживается синхронизирующей информацией, содержащейся в кодах принимаемых данных. После окончания приема кадра, во время паузы между кадрами, генератор приемника выключается и ожидает поступления очередной преамбулы очередного кадра. Длительность паузы между кадрами носит случайный характер, но ограничена по величине снизу (примерно 9 мкс).

При параллельных интерфейсах режим асинхронной передачи обычно реализуется по схеме «запрос-ответ», рис. 3.10,а. Такой режим иногда называют аperiодическим, подчеркивая тот факт, что ответ на посылаемый запрос не может длиться более наперед установленного времени, хотя время между законченными циклами «зпрос-ответ» в асинхронных интерфейсах может быть любым, но не менее полного аperiодического цикла «запрос-ответ».

В интерфейсе, работающем по схеме «запрос-ответ» приемник *ПРМ*, получив сигнал по линии строга и зафиксировав байт сообщения по линиям *Л1 - Лм*, формирует ответный сигнал-квитанцию *РСП*, пересылаемый в передатчик *ПРД*; такую передачу называют *передачей с квитированием*. Сигнал *РСП* является разрешением передатчику перевести линии *Л1 - Лм* и линию стробирования в исходное состояние, после чего приемник *ПРМ* также сбрасывает сигнал *РСП*. Сброс сигнала *РСП* служит для передатчика разрешением на передачу очередного байта. Затраты времени на асинхронную передачу *T_a* составляют, при $\tau_{ПРД} = \tau_{ПРМ} = \tau$, величину:

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

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

Для увеличения пропускной способности асинхронного интерфейса можно реализовать «ускоренную» передачу с двумя линиями стробирования (*STR1* и *STR2*) и квитирования (*РСП1* и *РСП2*), рис. 3.10,б. Передача информационных сигналов по линиям *Л1 - Лм* производится почти в два раза чаще; безразличное состояние линий *Л1—Лм* отсутствует, а выдача квантов информации стробируется разными сигналами *STR1* и *STR2*. Интервал *T_a* между выдачей квантов информации составит $T_a = 2(\tau_{\text{Л}} + \tau)$. 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 квитации. Выявление подобных ситуаций основывается на измерении интервала времени, в течение которого передатчик гарантированно должен получить сигнал-квитацию. 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.

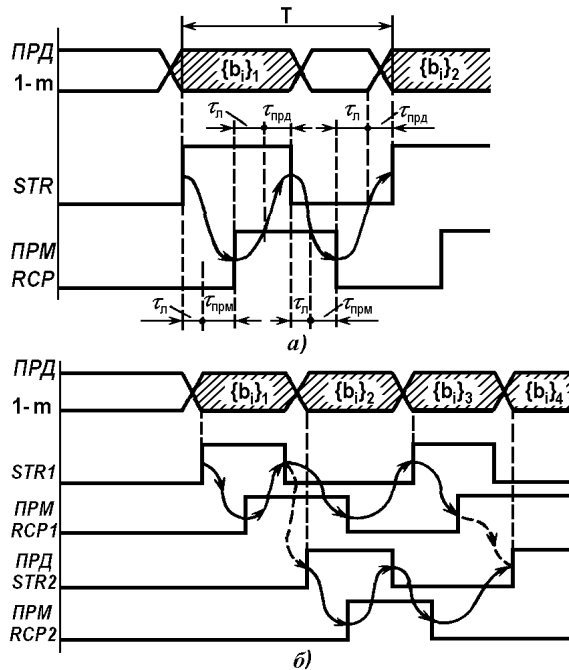


Рис. 3.10. Передача по схеме «запрос-ответ».

3.3.4. 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 или широковещательный 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 можно выделить *радиальный, магистральный, цепочный и комбинированный интерфейсы*.

Радиальный интерфейс. Центральное устройство $У_ц$ соединено с подчиненными устройствами $У_1, \dots, У_n$ посредством индивидуальных линий, монополюно принадлежащих каждому из них, рис. 3.11. Управление интерфейсом полностью сосредоточено в устройстве $У_ц$. При необходимости передать или получить квант информации от $У_i$ по инициативе центрального устройства $У_ц$ в регистр P_2A заносится адрес устройства $У_i$ и в соответствии с ним переключатель K соединяет линии $Л_ц$ с линиями $Л_i$.

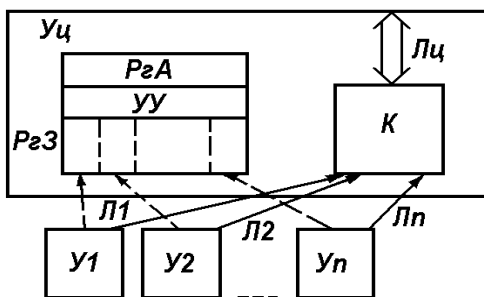


Рис. 3.11. Радиальный интерфейс.

При этом устройства $У_ц$ и $У_i$ соединяются между собой, а все остальные устройства отключаются и в обмене участия не принимают. Если инициатива обмена исходит от периферийного устройства $У_i$, то оно передает сигнал по своей линии запроса (на рисунке показаны штриховыми), который поступает в i -й разряд регистра запроса $P_2З$. Как только $У_ц$ освобождается от предыдущего обмена, его устройство управления интерфейсом $УУ$ последовательно опрашивает разряды регистра $P_2З$ и посредством переключателя K соединяет линии $Л_ц$ с соответствующими линиями $Л_i$ устройства $У_i$. Порядок опроса разрядов $P_2З$ определяет приоритет обслуживания устройств $У_i$.

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 отдавали предпочтение при необходимости подключения к ЭВМ достаточно простых ПУ, например, устройств технологической автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры.

Магистральный интерфейс. Центральное устройство $У_ц$ соединено с подчиненными устройствами $У_1, \dots, У_n$ посредством единой магистрали (общей шины), используемой ими на

основе разделения времени (рис. 3.12). Сигнал на любой линии магистрали физически доступен каждому устройству, поэтому для организации обмена между устройством $U_{\text{ц}}$ и одним из подчиненных устройств необходимо логически отключить все остальные. Всем устройствам U_i , подключенным к магистрали, присвоены адреса (номера), которые фиксируются в виде собственного адреса устройства на специальных регистрах, размещенных во всех U_i . Адреса устройств одной магистрали не повторяются; запись адреса в регистр устройства U_i производится при подключении его к магистрали.

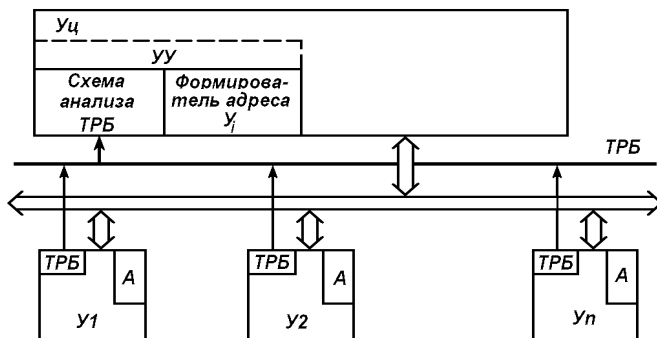


Рис. 3.12. Магистральный интерфейс.

Предположим, что обмен производится по инициативе устройства $U_{\text{ц}}$. Тогда оно производит цикл адресации, заключающийся в передаче адреса запрашиваемого устройства по магистрали. Адрес поступает во все устройства U_i , где производится сравнение переданного адреса с собственным адресом. Однако совпадение собственного и запрашиваемого адреса произойдет в одном устройстве. При этом устройство U_i устанавливает сигнал готовности к приему информации от $U_{\text{ц}}$ или запрашиваемую информацию для $U_{\text{ц}}$ на линии магистрали.

Если обмен в интерфейсе производится по инициативе подчиненного устройства U_i , то вначале исключается возможность использования магистрали любым другим устройством. С этой целью в магистрали предусматривают специальную линию запросов (на рис. 3.12 линия ТРБ), на которую любое устройство U_i независимо от других может выставлять сигнал запроса (или требования ТРБ). Сигнал запроса означает для $U_{\text{ц}}$, что на магистрали имеется одно или несколько устройств U_i , запрашивающих обмен. Обнаружив сигнал запроса (эту функцию выполняет схема анализа ТРБ), устройство $U_{\text{ц}}$ должно дать разрешение на занятие магистрали только одному из запрашивающих устройств U_i для выполнения обмена данными. Для этого проводится опрос устройств U_i , т.е. устройство $U_{\text{ц}}$ 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 $U_{\text{ц}}$, 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 обмена данными.

При магистральном способе подключения управление интерфейсом распределено между центральным устройством $U_{\text{ц}}$, 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 $U_{\text{ц}}$ 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. 3.13).

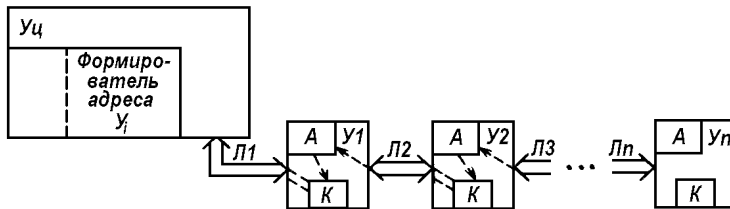


Рис. 3.13. Цепочный интерфейс.

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 K соединяет линии $Л1$ с линиями $Л2$. Таким образом адрес запрашиваемого устройства попадает в U_2 и процедура повторяется. Если значения адресов совпали, то коммутатор K 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 $Л3$. Затем устройство U_2 передает свой адрес по линии $Л2$. Этот адрес либо передается устройством U_1 на линии $Л1$, если U_1 не ведет обмена, для чего коммутатор K в U_1 подключает линии $Л2$ к линиям $Л1$; 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, как правило, 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. 3.14 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 .

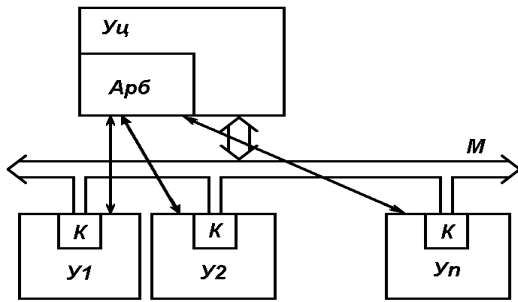


Рис. 3.14. Магистрально-радиальный интерфейс.

Магистрально-цепочная структура представлена на (рис. 3.15).

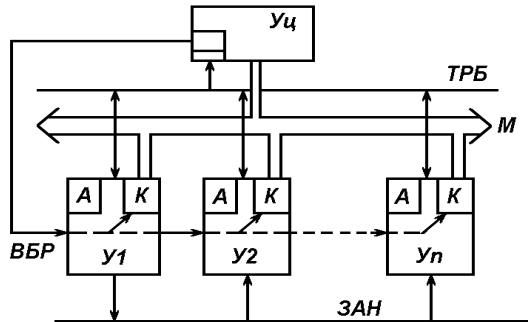


Рис. 3.15. Магистрально-цепочный интерфейс.

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 $У1, \dots, Уn$ 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. 3.15.

Если инициируется обмен со стороны устройств $У1, \dots, Уn$, то каждое из них может выставить сигнал запроса на линию ТРБ. Получив этот сигнал, устройство $Уц$ с целью селекции запрашивающего устройства начинает процедуру опроса, т.е. выдает сигнал на линию ВБР. Сигнал ВБР поступает на устройство $У1$. В случае, если обмен инициирован устройством $У1$, т.е. сигнал ТРБ сформирован в $У1$, линии магистрали посредством коммутатора К подключаются к $У1$, устройство формирует сигнал ЗАН, а сигнал ВБР на следующее устройство $У2$ не передает. Если сигнал ТРБ был сформирован каким-либо другим устройством, то устройство $У1$ передает сигнал ВБР по цепочной линии на устройство $У2$, где производится такой же анализ. Таким образом, последовательный анализ наличия запроса на обмен в каждом из устройств $У1, \dots, Уn$ позволяет выделить одно из них, обладающее наибольшим приоритетом среди всех устройств, инициирующих обмен. Для своей идентификации устройство $Уi$ 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.

На практике используются и другие реализации комбинированных интерфейсов.

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 близкой к скорости 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 на выходе.

Между центральным и периферийным устройствами необходимо передавать информацию различных типов: *адреса, собственно данные, управляющую информацию и др.* 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 или кодов. Сигналы идентификации одновременно могут выполнять функции строба при параллельной передаче данных. Дополнительное число линий идентификации невелико.

3.4. 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. 3.16.

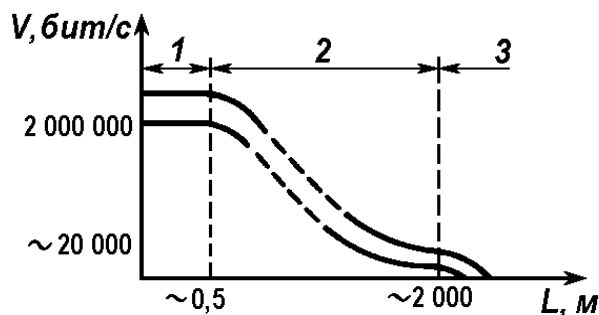


Рис. 3.16. Зависимость скорости передачи от длины линии.

Каждое конкретное положение кривой зависит от среды интерфейса, т.е. от физических принципов передачи сигналов (электрический или оптический); типа кабеля (коаксиальный, плоский, скрученная пара (витая пара) и т.п.), или типа световода (оптоволоконного кабеля); характеристик приемопередатчиков или преобразователей сигналов; наличия шумов и помех и т.п.

При малых длинах линий (участок 1) максимально допустимая скорость передачи в основном определяется задержками и искажениями сигналов в приемопередающих и преобразующих устройствах. Для средних длин линий (участок кривых 2) характерно падение скорости пропорционально увеличению длины линии. В проводных линиях это связано с увеличением емкостной нагрузки на передатчики, ростом амплитуды помех от воздействия сиг-

налов, проходящих по соседним линиям, уменьшения амплитуды полезного сигнала из-за увеличения сопротивления линии. В оптоволоконных линиях это связано с увеличением затухания из-за потерь света и «размывания» световых импульсов в многомодовых оптоволоконных линиях. 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. 3.17,а.

Влияние от соседних линий и внешних помех отражается эквивалентным генератором E_n . Кроме того, при значительных длинах линии L , а также при использовании приемником ПРМ и передатчиком ПРД различных источников питания между точками «земля» передатчика (а) и «земля» приемника (б) 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. 3.17,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 0,8 В. Это ограничивает допустимый уровень помех величиной 0,4 В. Дальнейшее уменьшение зоны перехода недопустимо из-за увеличения вероятности неправильного распознавания «0» и «1».

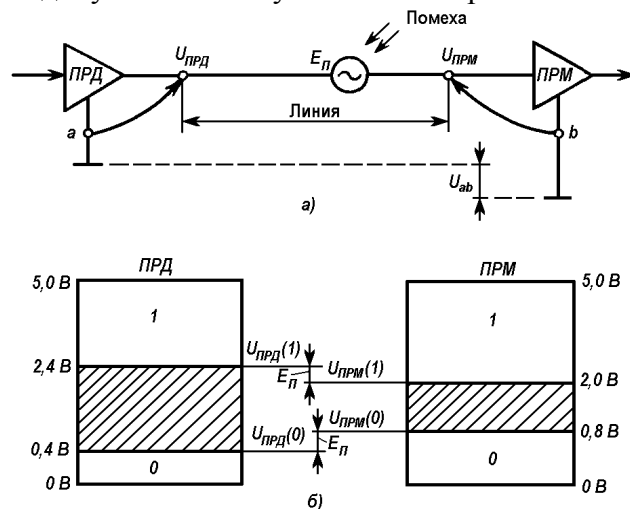


Рис. 3.17. Эквивалентная схема однонаправленной электрической линии и пороговые уровни TTL.

Можно улучшить условия приема, увеличив зону перехода в передатчике, для этого передатчик и приемник должны осуществлять преобразование уровней сигналов. На рис. 3.18 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 (± 2 В).

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. 3.19,а) или балансного (парафазного) усилителя в передатчике и дифференциального усилителя в приемнике (рис. 3.19,б).

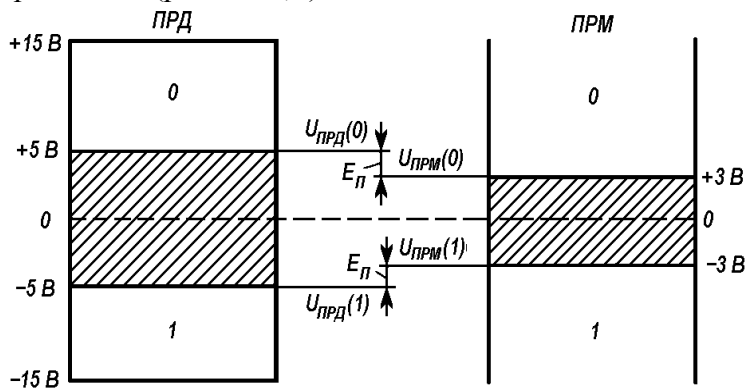


Рис. 3.18. Уровни передачи и приема по рекомендации МККТТ V28.

В схеме, приведенной на рис. 3.19,а, на вход усилителя-приемника подаются потенциалы $U_1 = U_{ПРД} + E_П$ и $U_2 = E_П$ (так как проводники линии расположены близко друг к другу, то действие помех на них можно считать одинаковым). Дифференциальный сигнал на входе приемника $U_{ПРМ} = (U_1 - U_2) = U_{ПРД}$, 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 a и b (U_{ab}) не должна превышать допустимого для данного типа усилителя значения.

От последнего недостатка свободна схема (рис.3.19,б), использующая балансный усилитель-передатчик, формирующий на выходах (a) и (b) напряжения U_a и U_b :

- при передаче нуля $U_a(0) = -U_{ПРД}$; $U_b(0) = +U_{ПРД}$,
- при передаче единицы $U_a(1) = +U_{ПРД}$; $U_b(1) = -U_{ПРД}$.

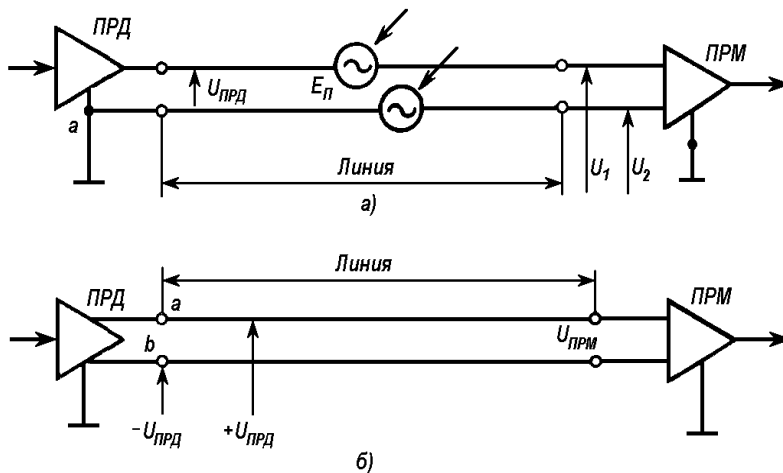


Рис. 3.19. Двупроводные однонаправленные электрические линии.

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 ($+U_{ПРД}$ и $-U_{ПРД}$) 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.

Следует отметить, что в проводных линиях, использующихся для высокоскоростных передач необходимо согласовывать входное сопротивление приемников с волновым сопротивлением линии для устранения дополнительных помех, связанных с отражением сигналов от несогласованных концов линий (входное сопротивление приемника должно равняться волновому сопротивлению линии).

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 (K), 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. 3.20 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 K 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.

Передача по двунаправленной линии. Выходы обычных ТТЛ-схем (как и КМОП-схем) не должны объединяться, поэтому такие схемы не используются для подключения к одной магистрали нескольких устройств, каждое из которых может служить передатчиком.

На рис. 3.21 приведена схема подключения устройств к двунаправленной линии посредством элементов с открытым коллектором. Коллекторы выходных каскадов подключаются к линии, которая заканчивается резистором оконечной нагрузки R . 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.

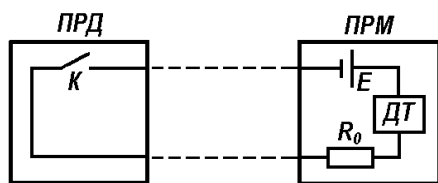


Рис. 3.20. Токовая петля 20 мА.

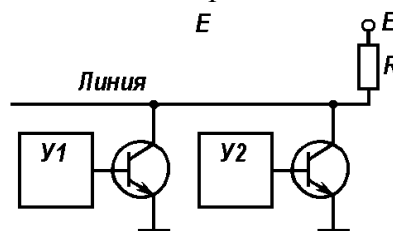


Рис. 3.21. Двунаправленная линия.

Для подключения устройств к магистрали более широкое распространение получили схемы с тремя состояниями на выходе (рис. 3.22). В них обычно к ТТЛ-схеме добавляется вход, позволяющий закрыть оба выходных транзистора $T1$ и $T2$, 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).

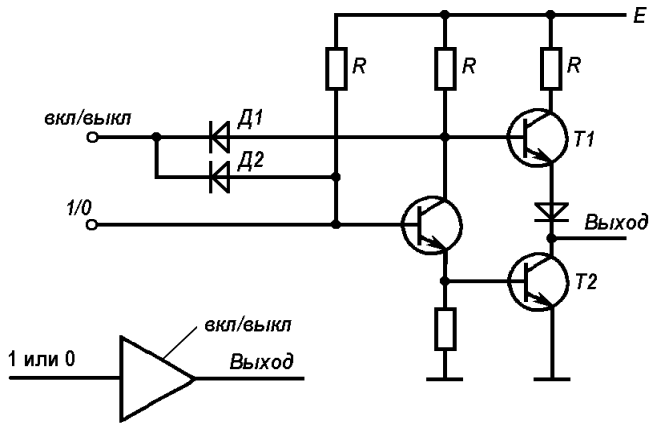


Рис.3.22. Схема с тремя состояниями.

Появление низкого потенциала на входе «вкл/откл» приводит к тому, что оба транзистора $T1$ и $T2$ 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*.

Следует отметить, что каждая скоростная двунаправленная линия должны иметь на обоих концах устройства (заглушки, терминаторы, делители напряжения), входное сопротивление которых должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии.

Передача по оптоволоконным линиям. Оптоволоконные линии являются однонаправленными. Они помимо потенциально высокой скорости передачи данных 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 фотоприемник (фотодиод, фототранзистор и др.), называется оптроном.

Беспроводные линии связи. Беспроводная линия связи строится в соответствии с достаточно простой схемой: узел - узел. Каждый узел оснащается антенной, которая одновременно является передатчиком и приемником электромагнитных волн. Электромагнитные волны распространяются в атмосфере или вакууме со скоростью 3×10^8 м/с.

Как правило используются два основных типа антенн: направленные и ненаправленные. К направленным антеннам относятся, например, **параболические антенны**, которые передают и принимают электромагнитные волны в пределах определенного сектора. Ненаправленные,

например **изотропные антенны**, представляют собой вертикальный проводник длиной в четверть волны излучения. Распространение излучения во всех направлениях можно также обеспечить несколькими направленными антеннами.

Так как при ненаправленном распространении электромагнитные волны заполняют все пространство (в пределах определенного радиуса, определяемого затуханием мощности сигнала), то это пространство может служить *разделяемой средой передачи*.

Для передачи дискретной информации с помощью беспроводной линии связи необходимо модулировать электромагнитные колебания при передаче и демодулировать при приеме в соответствии с определенными правилами. Эту функцию осуществляют модемы.

Характеристики беспроводной линии связи - расстояние между узлами, территория охвата, скорость передачи информации и т. п. - во многом зависят от частотного диапазона используемого спектра электромагнитных волн. Весь частотный спектр электромагнитных волн разбивается на четыре диапазона, (см. Рис. 3.23), в соответствии с которыми беспроводные системы передачи информации делятся на четыре группы.

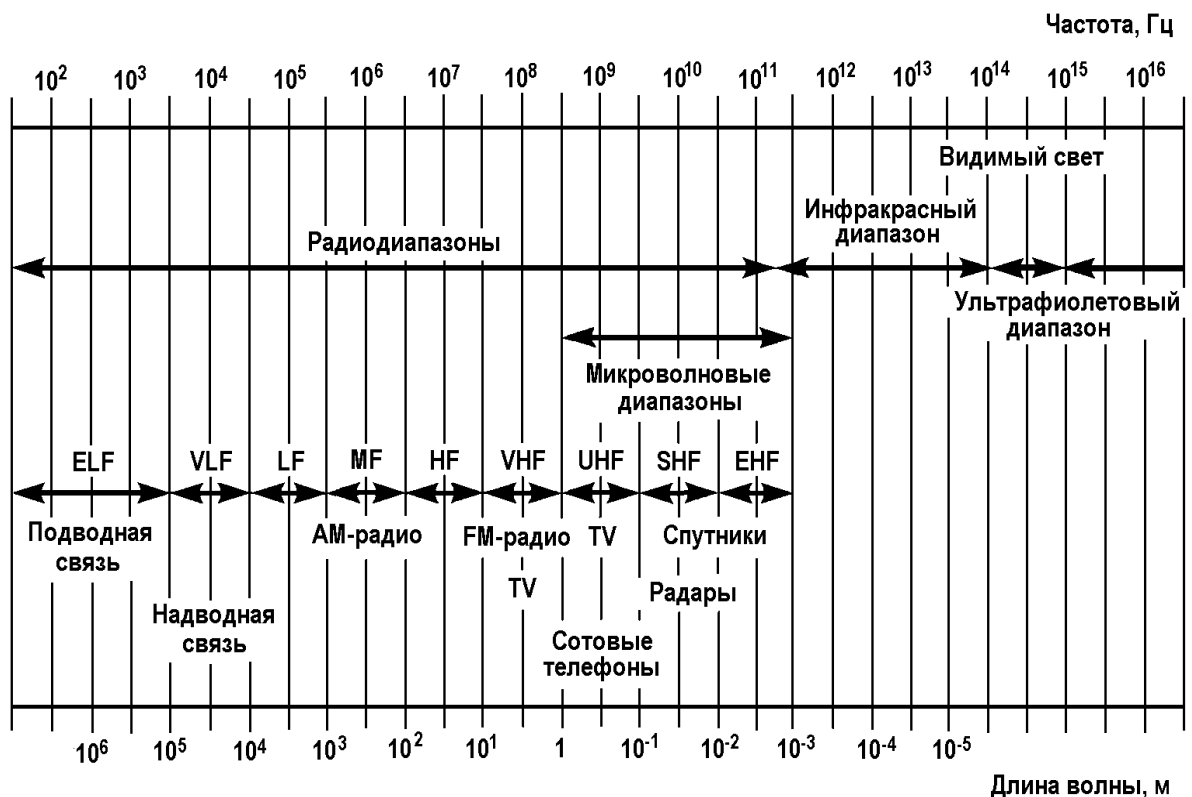


Рис. 3.23. Диапазоны электромагнитных волн

- Диапазон до 300 ГГц имеет общее стандартное название — **радиодиапазон**. Союз ITU разделил его на несколько поддиапазонов, начиная от сверхнизких частот (Extremely Low Frequency, ELF) и заканчивая сверхвысокими (Extra High Frequency, EHF). Привычные для нас радиостанции работают в диапазоне от 20 кГц до 300 МГц, и для этих диапазонов существует хотя и не определенное в стандартах, однако часто используемое название **широковещательное радио**. Сюда попадают низкоскоростные системы АМ- и FM-диапазонов, предназначенные для передачи данных со скоростями от нескольких десятков до сотен килобит в секунду. Примером могут служить радиомодемы, которые соединяют два сегмента локальной сети на скоростях 2400, 9600 или 19200 Кбит/с.
- Несколько диапазонов от 300 МГц до 3000 ГГц имеют также нестандартное название микроволновых диапазонов. **Микроволновые системы** представляют наиболее широкий класс систем, объединяющий радиорелейные линии связи, спутниковые каналы, беспроводные локальные сети и системы фиксированного беспроводного доступа, называе-

мые также системами беспроводных абонентских окончаний (Wireless Local Loop, WLL), подключения периферийных устройств.

- Выше микроволновых диапазонов располагается инфракрасный диапазон. Микроволновые и инфракрасный диапазоны также широко используются для беспроводной передачи информации. Так как инфракрасное излучение не может проникать через стены, то **системы инфракрасных волн** используются для образования небольших сегментов локальных сетей и подключения периферийных устройств в пределах одного помещения.
- В последние годы видимый свет тоже стал применяться для передачи информации (с помощью лазеров). **Системы видимого света** используются как высокоскоростная альтернатива микроволновым двухточечным каналам для организации доступа на небольших расстояниях.

Перечислим некоторые общие закономерности распространения электромагнитных волн, связанные с частотой излучения.

- Чем выше несущая частота, тем выше возможная скорость передачи информации.
- Чем выше частота, тем хуже проникает сигнал через препятствия. Низкочастотные радиоволны АМ-диапазонов легко проникают в дом, позволяя обходиться комнатной антенной. Более высокочастотный сигнал телевидения требует, как правило, внешней антенны. Наконец инфракрасный и видимый свет не проходит через стены, ограничивая передачу прямой видимостью (Line OF Sight, LOS).
- Чем выше частота, тем быстрее убывает энергия сигнала с расстоянием от источника. При распространении электромагнитных волн в свободном пространстве (без отражений) затухание мощности сигнала пропорционально произведению квадрата расстояния от источника сигнала на квадрат частоты сигнала.
- Низкие частоты (до 2 МГц) распространяются вдоль поверхности земли. Именно поэтому сигналы АМ-радио могут передаваться на расстояния в сотни километров.
- Сигналы частоты от 2 до 30 МГц отражаются ионосферой земли, поэтому они могут распространяться даже на более значительные расстояния, в несколько тысяч километров (при достаточной мощности передатчика).
- Сигналы в диапазоне выше 30 МГц распространяются только по прямой, то есть являются сигналами прямой видимости. При частоте выше 4 ГГц сигналы начинают поглощаться водой, что резко ухудшает качество передачи микроволновых систем во время дождя и тумана.
- Электромагнитные волны могут отражаться от различных поверхностей (стен домов, металлических крыш и т. п.), что приводит к их интерференции в результате которой могут появляться зоны «замирания сигнала» и т. д.

Потребность в скоростной передаче информации является преобладающей, поэтому все современные системы беспроводной передачи информации работают в высокочастотных диапазонах, начиная с 800 МГц, несмотря на преимущества, которые сулят низкочастотные диапазоны благодаря распространению сигнала вдоль поверхности земли или отражения от ионосферы.

Замечания. В этой главе были рассмотрены общие вопросы, связанные с организацией аппаратных интерфейсов вычислительных систем, в частности интерфейсов ввода-вывода, обеспечивающих взаимодействие центральной части ЭВМ с объектами внешнего мира. Дано определение понятия **внутренние интерфейсы ввода-вывода** и определено их назначение в общей иерархии интерфейсов СВВ ЭВМ. Внутренние ИВВ непосредственно связаны с понятием **интерфейсы периферийных устройств**. Интегрированные и внутренние ПУ подключаются непосредственно к шинам ИВВ системного уровня, т.е. этот интерфейс

является интерфейсом подключения таких ПУ к хосту ПК, а периферийные и малые ИВВ непосредственно входят в их состав. Встраиваемые и внешние ПУ подключаются к хосту через кабели и разъемы периферийных или малых ИВВ и их адаптеры, следовательно и эти ИВВ относятся к интерфейсам периферийных устройств.

*В главах второй части мы кратко рассмотрим, в качестве примеров реализации, ряд основных **внутренних ИВВ** PC-совместимых ПК, а в главах третьей части ряд аппаратных **внешних ИВВ** и ряд подсистем взаимодействия с объектами внешнего мира.*

Контрольные вопросы

25. Охарактеризуйте понятие «аппаратный интерфейс».
26. Дайте характеристику интерфейсам, представленным на рис. 3.1. и рис. 3.2.
27. Охарактеризуйте интерфейсы системной (материнской) платы ПК (рис. 3.3).
28. Охарактеризуйте малые и периферийные ИВВ, представленные на рис. 3.3.
29. Какие ИВВ, представленные на рис. 3.3 относятся к внешним ИВВ?
30. Охарактеризуйте ИВВ хоста, представленные на рис. 3.4.
31. Охарактеризуйте шинно-мостовую архитектуру системной платы ПК, представленной на рис. 3.5.
32. Охарактеризуйте хабовую архитектуру системной платы ПК, представленной на рис. 3.6.
33. Охарактеризуйте архитектуру Hyper Transport, вариант реализации которой представлен на рис. 3.7.
34. Охарактеризуйте последовательную, параллельно-последовательную, параллельно-параллельную и последовательно-параллельную форму передачи данных.
35. Охарактеризуйте синхронную и асинхронную передачу данных.
36. Какие возможности должна предоставлять устройству организация интерфейса?
37. Охарактеризуйте радиальный интерфейс.
38. Охарактеризуйте магистральный интерфейс.
39. Охарактеризуйте цепочный интерфейс.
40. Охарактеризуйте комбинированные интерфейсы.
41. Охарактеризуйте разновидности организации линий интерфейсов.
42. Охарактеризуйте зависимость скорости передачи от длины линии.
43. Охарактеризуйте передачу сигналов по однопроводной и двухпроводной однонаправленной линии.
44. Охарактеризуйте особенности передачи сигналов по двунаправленным линиям.
45. Объясните принцип работы схем с тремя состояниями на выходе.
46. Охарактеризуйте особенности оптоволоконных линий.
47. Охарактеризуйте особенности беспроводных линий.

Информацию по оптоволоконным линиям можно найти в [23], [44]. Более детальную функциональную классификацию интерфейсов можно найти в [66].

В данной главе использованы материалы из [1], [8], [13], [17], [18], [22], [43], [66].

ЧАСТЬ II. Внутренние интерфейсы ввода-вывода РС-совместимых персональных компьютеров

Глава 4.

Интерфейсы ввода-вывода системного уровня

4.1. Общие сведения

ИВВ хоста (ИВВ системного уровня) РС-совместимых ПК обеспечивают подключение устройств к хосту РС-совместимых ПК на системном уровне, т.е. организация обмена по этим интерфейсам осуществляется с использованием системных ресурсов (каналов прямого доступа к памяти, линий запросов аппаратных прерываний, адресного пространства ввода-вывода и основной памяти). Устройства, подключенные к шинам и слотам ИВВ хоста, могут выполнять функции хост-контроллера этих ИВВ, получая доступ к другим ресурсам компьютера. Стандартизованные ИВВ хоста составляют основу функциональной расширяемости РС-совместимых ПК в соответствии с концепцией систем с переменным составом оборудования. Хотя многие компоненты, ранее размещаемые на картах (модулях, устройствах) расширения, постепенно перемещаются на системную плату, для настольных компьютеров набор шин расширения ввода/вывода уровня ИВВ хоста (системного уровня) имеет важное значение.

Шины расширения ИВВ хоста механически реализуются в виде слотов (щелевых разъемов). Эти шины могут и не выводиться на разъемы, а использоваться для подключения устройств, интегрированных в системные платы.

В истории развития ИВВ хоста ПК насчитывается уже три поколения.

К первому поколению относится ISA - синхронный параллельный ИВВ хоста с возможностью поддержки асинхронного режима обмена. Он обладал относительно низкой пропускной способностью (единицы мегабайт в секунду), и не имел средств обеспечения надежности обмена и автоконфигурирования.

Второе поколение началось с EISA - синхронного параллельного ИВВ хоста с возможностью поддержки асинхронного режима обмена (а также асинхронного параллельного интерфейса MCA), за которыми последовал синхронный параллельный ИВВ хоста PCI и его расширение - PCI-X. Это поколение отличается надежностью передачи данных и поддержкой средств автоконфигурирования. Имеются варианты, снабженные возможностью «горячего» подключения-отключения устройств расширения. Скорость передачи достигает единиц гигабайт в секунду. Для подключения большого числа устройств применяется иерархическое объединение шин этих ИВВ в древовидную структуру с помощью мостов.

Для третьего поколения (шина PCI Express, она же 3GIO, Hyper Transport, Advanced Switching и InfiniBand) характерен переход от шинной топологии к двухточечным соединениям с последовательным интерфейсом; средством объединения множества абонентов являются «коммутационные фабрики». По сути, коммуникационная среда хоста с ИВВ системного уровня третьего поколения приближается к сугубо локальным (в пределах системной платы) сетям.

В относительно современных компьютерах основными ИВВ хоста являются PCI и его расширение PCI-X; их дополняет AGP. В современных ПК широко используется PCI Express,

как средство подключения графического видеоадаптера, постепенно вытесняя AGP. Шина ИВВ хоста ISA из настольных компьютеров ушла, но она сохраняет свои позиции в промышленных и встраиваемых компьютерах как в традиционном слотовом варианте, так и в «бутербродном» варианте PC/104. В блокнотных компьютерах широко применяются слоты PCMCIA с ИВВ PC Card и Card Bus, появляется и Express Card.

Как правило, каждый ИВВ хоста имеет свой тип слота, который не совместим со слотами других ИВВ хоста, с разъемами ИВВ других уровней и с разъемами вспомогательных интерфейсов. Их количество и состав на различных платах варьируется. Типы слотов легко определить визуально пользуясь рис. 4.1. На этом рисунке присутствие всех типов слотов показано условно - реально на системных платах присутствует не более двух-трех типов слотов ИВВ хоста.

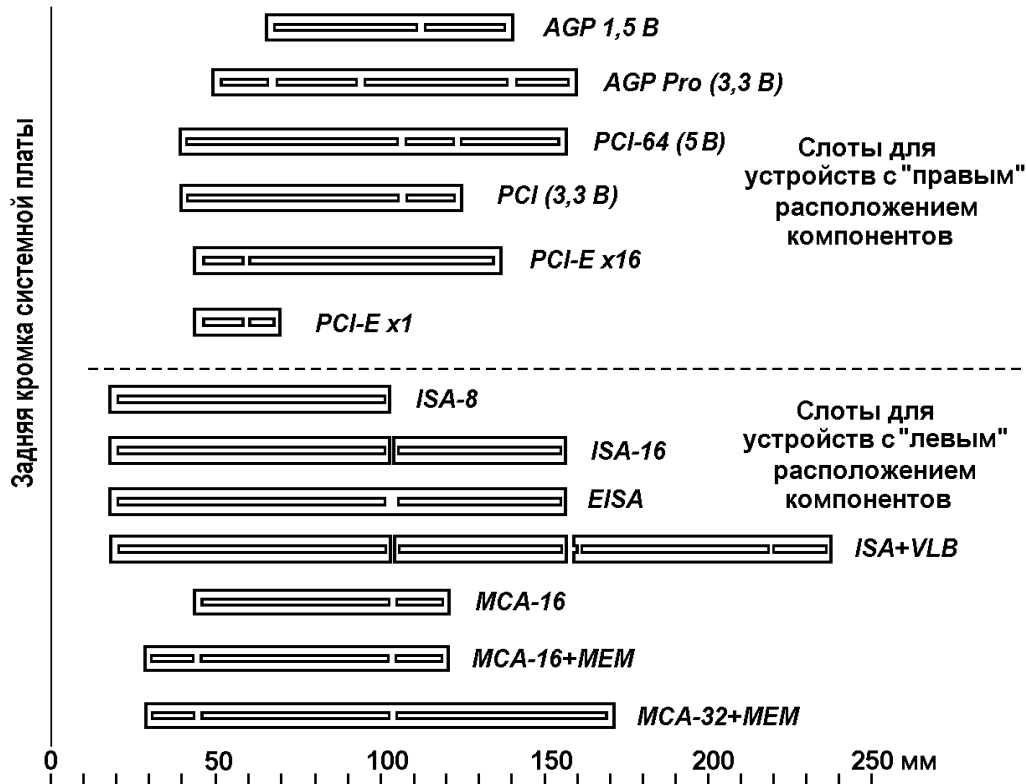


Рис. 4.1. Вид и положение слотов расширения шин ИВВ системного уровня ПК.

У карт *PCI*, *PCI-E* и *AGP*, в отличие от *ISA/EISA* и *VLB*, компоненты расположены на левой стороне печатной платы. Для экономии площади печатной платы часто использовали так называемый *разделяемый слот* (Shared Slot). На самом деле это разделяемое окно на задней стенке корпуса, которое могло использоваться либо картой *ISA*, либо картой *PCI*. Таким образом, максимальное суммарное количество устанавливаемых модулей (карт) расширения *ISA* и *PCI* оказывалось на единицу меньшим, чем видимое количество слотов на системной плате.

Конфигурирование ИВВ хоста предполагает, в основном, настройку их временных параметров.

- Для *PCI/PCI-X* задаются: частота синхронизации, режимы *PCI-X* (Mode 1, Mode 2) и другие параметры
- Для *AGP* задаются: частота (номинал 66 МГц), поддерживаемые режимы, апертура *AGP*.
- Для *VLB* применяется переключатель, управляющий делителем частоты сигнала синхронизации в зависимости от того, превышает ли системная частота значение 33,3 МГц.
- 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.

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

Сравнительные характеристики шин ИВВ хоста PC-совместимых компьютеров представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Сравнительные характеристики шин ИВВ хоста ПК.**

Шина	Пиковая пропускная способность, Мбайт/с	Каналы DMA	Bus-Master	ACFG ¹	Разрядность данных	Разрядность адреса	Частота, МГц
ISA-8	4	3	–	–	8	20	8
ISA-16	8	7	+	–	16	24	8
LPC	6,7	7	+	–	8/16/32	32	33
EISA	33,3	7	+	+	32	32	8,33
MCA-16	16	–	+	+	16	24	10
MCA-32	20	–	+	+	32	32	10
VLB	132	–	(+)	–	32/64	32	33-50 (66)
PCI	133-533	–	+	+	32/64	32/64	33/66
PCI-X	533-4256	–	+	+	16/32/64	32/64	66-133
PCI Express	496-15872	–	+	+	1/2/4/8/12/ 16/32	32/64	2,5 ГГц
AGP 1x/2x/ 4x/8x	266/533/ 1066/2132	–	+	+	32	32/64	66
PCMCIA	10/20	+	–	+	8/16	26	10
Card Bus	132	–	+	+	32	32	33

¹ Поддержка автоматического конфигурирования. Для ISA PnP (Plug and Play) является поздней надстройкой, реализуемой адаптерами и ПО.

4.2. Интерфейс ввода-вывода хоста ISA и EISA

4.2.1. Общие характеристики

ИВВ хоста ISA (Industry Standard Architecture) - интерфейс расширения ввода-вывода. Он применявшийся в первых моделях PC и стал промышленным стандартом. В компьютере XT применялась шина интерфейса с разрядностью данных 8 бит и адреса - 20 бит. В компьютерах AT шину расширили до 16 бит данных и 24 бит адреса. Конструктивно интерфейс выполнен в виде двух щелевых разъемов (слотов) с шагом выводов 2,54 мм (0,1 дюйма), вид которых изображен на рис. 4.1. Подмножество ISA-8 использует только 62-контактный слот (ряды А, В), в ISA-16 применяется дополнительный 36-контактный слот (ряды С, D).

ИВВ 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 ИВВ ISA-16 он составляет 16 Мбайт.

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 ИВВ 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 интерфейса 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.

В распоряжении абонентов ИВВ 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 ИВВ хоста PCI.

Абоненты ИВВ ISA-8 могут использовать до трех 8-битных *каналов DMA*, а на ISA-16 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 интерфейса устройством *Bus-Master*. При этом канал DMA используется для обеспечения арбитража управления шиной интерфейса, 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 ИВВ ISA должны быть бесконфликтно распределены между абонентами. Задача распределения ресурсов в старых адаптерах (модулях расширения) решалась с помощью джамперов (перемычек), затем появились программно конфигурируемые устройства, которые были вытеснены автоматически конфигурируемыми модулями PnP (Plug and Play).

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

ИВВ хоста EISA (Extended ISA) - жестко стандартизованное расширение ISA до 32 бит. Конструктивное исполнение обеспечивает совместимость с ней и обычных ISA-адаптеров (рис. 4.2).

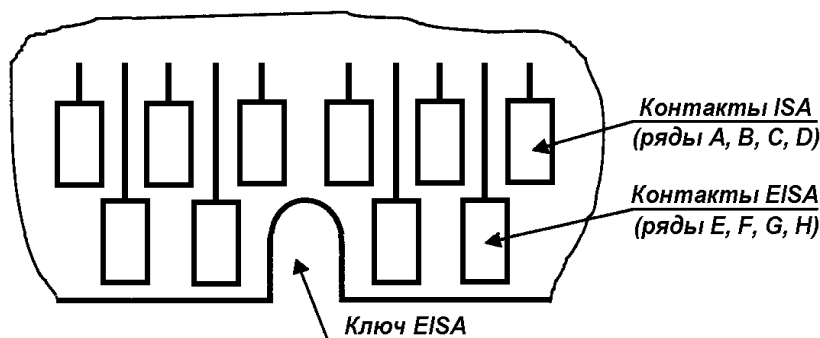


Рис. 4.2. Фрагмент разъема ИВВ EISA

Узкие дополнительные контакты расширения (*ряды E, F, G, H*) расположены между контактами разъема ISA и ниже контактов *A, B, C, D* таким образом, что адаптер ISA, не имеющий дополнительных ключевых прорезей в краевом разъеме, не достает до них. Расширение шины интерфейса 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 ИВВ EISA реализует *пакетный режим* (Burst Mode) - скоростной режим пересылки пакетов данных без указания текущего адреса внутри пакета. В пакете очередные данные могут передаваться в каждом

также шины, длина пакета может достигать 1024 байт. EISA 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-модулями расширения: каждая линия запроса может программироваться на чувствительность как по перепаду (как в ISA), так и по низкому уровню.

Многие решения EISA уходят корнями в ИВВ хоста МСА компьютеров PS/2. Каждый слот (максимум - 8) имеет селективное разрешение адресации ввода/вывода и отдельные линии запроса и подтверждения управления шиной интерфейса. Арбитраж запросов выполняет устройство ISP (Integrated System Peripheral). Приоритеты (в порядке убывания): регенерация, DMA, CPU, Bus-Master. Обязательной принадлежностью системной платы с ИВВ 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.

EISA - дорогая, но оправдывающая себя архитектура, применявшаяся в многозадачных системах, на файл-серверах и везде, где требовалось высокоэффективное расширение ИВВ хоста. Перед ИВВ хоста PCI у нее есть некоторое преимущество в количестве слотов, которое для одной шины интерфейса PCI не превышает четырех, а у EISA может достигать восьми.

4.2.2. Спецификация Plug and Play для ИВВ ISA

Аппаратно-программную спецификацию «Plug and Play ISA Specification» выпустили компании Intel и Microsoft в 1994 г. Она обеспечивает решение задач изоляции карт ISA, программного распределения системных ресурсов, конфигурирования и передачи параметров операционной системе и прикладному ПО. Вышеперечисленные задачи решаются для карт PnP, которые могут работать и в окружении так называемых *традиционных карт (Legacy Cards)*. С появлением карт ISA PnP возникла необходимость упорядочивания возможностей их использования, и в 1994 году фирмы Compaq, Phoenix и Intel выпустили спецификацию Plug and Play BIOS Specification. Она описывает следующие расширения возможностей традиционной BIOS:

- распределение ресурсов и разрешение конфликтов на этапе выполнения POST;
- слежение за перехватом вектора загрузки Int 19h (традиционные ПЗУ расширения BIOS могли его неконтролируемо переопределять);
- введение контролируемого механизма удаленной загрузки (RPL);
- поддержка конфигурирования в рабочем режиме;
- обеспечение уведомления о динамическом изменении конфигураций (подключения и отключения устройств).

Конфигурирование в системе PnP состоит из следующих шагов:

- Производится изоляция одной карты от всех остальных.
- Карте назначается CSN (Card Select Number), фигурально выражаясь - «придывается ручка» (Assign a handle), за которую ее можно «ухватить» дальнейшим командам PnP.

- С карты считываются данные о сконфигурированных и поддерживаемых ресурсах.

Эти шаги повторяются для всех карт, после чего:

- Производится распределение (арбитраж) системных ресурсов, выделяемых каждой карте.
- Каждая карта конфигурируется согласно выбранному распределению ресурсов и активируется (переводится в рабочий режим).

Все шаги конфигурирования выполняет POST, если BIOS имеет поддержку PnP, или операционная система при загрузке. PnP BIOS может ограничиться конфигурированием и активацией только устройств, участвующих в загрузке, оставляя конфигурирование и активацию дополнительных устройств операционной системе. BIOS без поддержки PnP может использовать необходимые для загрузки устройства, сконфигурированные с параметрами умолчания, а изоляцией карт, сбором информации и конфигурированием займется операционная система при загрузке. Вариантов много, но все они опираются на единые методы взаимодействия с картами ISA PnP. Конфигурирование выполняется в специальном состоянии плат, в которое их всех можно программно перевести с помощью специального ключа инициализации, защищающего конфигурационную информацию от случайного разрушения.

Информацию о линиях, сигналах, временных диаграммах циклов обмена на шинах интерфейсов ISA/EISA и о процессе конфигурирования ISA модулей расширения, поддерживающих спецификацию PnP можно найти в [21], [22]. [35].

4.3. Интерфейс ввода-вывода хоста VLB

ИБВ хоста ISA, MCA, EISA имели низкую производительность, обусловленную их местом в структуре PC. Новые процессоры (i80486) и приложения (особенно графические) требовали существенного повышения пропускной способности ИБВ. Одним из решений проблемы повышения пропускной способности ИБВ было применение в качестве шины ИБВ хоста локальной шины ИБВ процессора i80486. Шину ИБВ процессора стали использовать как место подключения адаптеров жестких диск и видеоадаптеров.

VLB (VESA Local Bus) - стандартизованный 32-битный ИБВ хоста, практически представляет собой ИБВ процессора i80486, основные линии шины которого выведены на разъемы (слоты) системной платы. ИБВ хоста VLB ориентирован на 486 процессор, хотя возможно его использование и с процессорами класса 386. Для процессоров Pentium была принята спецификация 2.0, в которой разрядность шины ИБВ была увеличена до 64, но она распространения не получила. Аппаратные преобразователи сигналов и линий (шины) ИБВ новых процессоров в сигналы и шины ИБВ 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 слота ИБВ ISA-16, EISA или MCA, располагаясь позади него вблизи от процессора. Из-за ограниченной нагрузочной способности шины ИБВ процессора больше трех слотов VLB на системной плате не устанавливали. Максимальная тактовая частота шины 66 МГц, хотя надежнее шина работает на частоте 33 МГц. При этом декларировалась пиковая пропускная способность 132 Мбайт/с (33 МГц×4 байта), но она достигалась только внутри пакетного цикла во время передач данных. Реально, в пакетном цикле передача четырех 32-разрядных слов (16 байт данных) требовала 5 тактов шины. Так что даже в пакетном режиме пропускная способность шины интерфейса 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 интерфейса. Поэтому все три VLB-слота могли использоваться только на частоте 40 МГц. ИБВ VLB в принципе допускает и применение

активных (Bus-Master) адаптеров, но арбитраж запросов при этом возлагается на сами адаптеры. Обычно VLB допускает установку не более двух Bus-Master адаптеров, один из которых устанавливается в «Master»-слот.

Более подробную информацию об интерфейсе VLB можно найти в [21], [22].

Контрольные вопросы к разделам 4.1 – 4.3

1. Дайте общую характеристику ИВВ хоста ПК.
2. Дайте общую характеристику слотам расширения ПК.
3. В чем заключается конфигурирование ИВВ хоста ПК?
4. Дайте краткую характеристику ИВВ хоста ISA.
5. Дайте краткую характеристику ИВВ хоста EISA.
6. Охарактеризуйте спецификацию Plug and Play для ИВВ ISA.
7. Кратко охарактеризуйте ИВВ хоста VLB.

4.4. Интерфейс ввода-вывода хоста PCI

4.4.1. Общие сведения

PCI (Peripheral Component Interconnect - взаимодействие периферийных компонентов). Этот интерфейс был предложен фирмой Intel в 1992 году (стандарт PCI 2.0 - в 1993) в качестве альтернативы локальной шине ИВВ VLB/VLB2. Следует отметить, что разработчики этого интерфейса позиционируют его шину не как локальную, а как промежуточную шину (mezzanine bus), т.к. она не является шиной ИВВ процессора. Поскольку шина ИВВ PCI не ориентирована на определенный процессор, ее можно использовать для других процессоров. ИВВ хоста PCI был адаптирован к таким процессорам, как Alpha, MIPS, PowerPC и SPARC. Именно PCI сменил NuBus на платформе Apple Macintosh. Помимо подключения устройств расширения (адаптеров), она являлась промежуточным звеном между ИВВ процессора и ИВВ хоста типа ISA, EISA или MCA. ИВВ хоста PCI является четко стандартизованным высокопроизводительным и надежным ИВВ системного уровня. В настоящее время действует несколько спецификаций PCI (PCI 2.1-2.3, PCI-X, PCI Express).

4.4.2. Организация ИВВ хоста PCI и PCI-X

4.4.2.1. Общие сведения

PCI и PCI-X - синхронные параллельные ИВВ хоста магистрального типа, обеспечивающие надежный высокопроизводительный обмен и автоматическое конфигурирование устройств, подключаемых к их шинам. Интерфейсы PCI и PCI-X являются ближайшими «родственниками» с полной взаимной совместимостью устройств. Большинство положений, относящихся к PCI, относится и к PCI-X, так что в дальнейшем описании термин «PCI» в основном относится к обоим вариантам (различия подчеркиваются особо).

ИВВ PCI позволяет *объединять одноранговые устройства*. Любое устройство, подключенное к шине PCI, может выступать как в роли *инициатора транзакций* (здатчика), так и в роли *целевого устройства*. (Транзакция - групповая операция; обработка запроса; входящее сообщение [14]). Целевое устройство отвечает на транзакции, адресованные к его ресурсам (областям памяти и портам ввода-вывода). Ядро компьютера (центральный процессор, память и северный мост) для PCI также представляется устройством - *главным мостом* (host bridge) (хост-адаптером ИВВ PCI). В транзакциях к устройствам PCI, инициированных центральным процессором, главный мост является задатчиком. В транзакциях от устройств PCI, обращающихся к ядру (в основном к системной памяти), главный мост является целевым

устройством. Право на управление шиной интерфейса в любой момент времени дается лишь одному устройству данной шины, выступающему в роли хост контроллера PCI; арбитраж запросов на управление шиной осуществляется централизованным способом. Арбитр, как правило, является частью главного моста (хост-адаптера).

Наличие активных устройств (помимо ЦП) позволяет в компьютере выполнять параллельно несколько операций обмена: одновременно с обращениями процессора могут выполняться транзакции от мастеров шины PCI. Эта параллельность — *PCI Concurrency* - возможна лишь для обменов по непересекающимся путям. Одновременный доступ нескольких инициаторов к одному ресурсу (как правило, к системной памяти) требует довольно сложной организации контроллера этого ресурса, но ради повышения суммарной эффективности работы на эти усложнения приходится идти. В системе с несколькими шинами интерфейса PCI возможно параллельное функционирование устройств-мастеров на разных шинах ИВВ PCI - *PCI Peer Concurrency*. Однако если они обращаются к одному ресурсу (системной памяти), то какие-то фазы этих обменов все-таки приходится выполнять последовательно.

Каждая *физическая шина ИВВ PCI* позволяет объединять лишь небольшое число устройств (обычно не более шести). Для увеличения числа подключаемых устройств применяют *мосты PCI* (PCI-to-PCI Bridge) - устройства PCI с парой интерфейсов, которыми отдельные шины PCI объединяются в древовидную структуру. В корне этой структуры находится *хост* — «хозяин шины», в обязанности которого входит конфигурирование всех устройств, включая мосты. В роли хоста, как правило, выступает центральный процессор с главным мостом (хост-адаптером). Мосты позволяют объединять шины PCI и PCI-X с разными характеристиками, а также подключать к PCI/PCI-X шины других ИВВ: (E)ISA, MCA, шины ИВВ блокнотных ПК, PCI Express, Hyper Transport и др.

Шина ИВВ PCI/PCI-X имеет несколько *вариантов конструктивного оформления*, некоторые из них при наличии специального контроллера допускают «горячую» замену устройств:

- шина объединения компонентов на печатной плате (системной плате или плате устройства расширения);
- разъемы (слоты) для установки карт (устройств) расширения (в конструктивах PC и MCA);
- разъемы для малогабаритных карт расширения (Card Bus, Small PCI, Mini PCI);
- модульные конструктивы для промышленных и инструментальных компьютеров (Compact PCI, PXI).

Важной частью ИВВ PCI является *система автоматического конфигурирования*; конфигурирование выполняется каждый раз при включении питания и инициализации системы. Специальное конфигурационное ПО позволяет обнаружить и идентифицировать все установленные устройства, а также выяснить их потребности в системных ресурсах (областях памяти, адресах ввода-вывода, прерываниях). Спецификация PCI требует от устройств способности перемещать все занимаемые ресурсы (области в пространстве памяти и ввода-вывода) в пределах доступного адресного пространства. Это позволяет обеспечить бесконфликтное распределение ресурсов для множества устройств. Одно и то же функциональное устройство может быть сконфигурировано по-разному, отображая свои операционные регистры либо на пространство памяти, либо на пространство адресов ввода-вывода. Драйвер может определить текущую настройку, прочитав содержимое регистра базового адреса устройства. Драйвер также может определить номер запроса на прерывание, который используется устройством. Для конфигурирования устройств существует специальный набор функций PCI BIOS.

4.4.2.2. Взаимодействие устройств

С программной точки зрения устройство PCI может иметь следующие компоненты:

- конфигурационные регистры, используемые для идентификации и начального конфигурирования устройства при инициализации системы (для всех устройств предусмотрен обязательный набор конфигурационных регистров, остальные регистры могут применяться для текущего управления);
- операционные регистры (необязательные), отображенные на пространство памяти или/и ввода-вывода (эти регистры используются для текущего управления и взаимодействия с устройством);
- локальная память (необязательная), отображенная на выделенные области физических адресов основной (системной) памяти;
- источники запросов на прерывания;
- мастер шины, обеспечивающий прямой доступ к системной памяти (DMA) и взаимодействие с другими устройствами.

С устройством PCI, когда оно является целевым, можно взаимодействовать несколькими способами:

- командами *обращения к памяти и портам ввода-вывода*; эти команды адресуются к областям, выделенным устройству при конфигурировании;
- командами *обращения к конфигурационным регистрам*; эти команды адресуются по идентификатору - номеру шины (интерфейса ИВВ хоста), устройства и функции (компонентам многофункционального устройства PCI);
- специальными *широковещательными сообщениями*, передаваемыми для всех устройств выбранного ИВВ хоста;
- командами *пересылки сообщений*; команды адресуются по идентификатору устройства (эта возможность появилась в PCI-X 2.0).

Для обращений к пространству памяти используется 32- или 64-битная адресация, причем разрядность адресации не зависит от разрядности шины. Таким образом, шина позволяет адресовать до 2^{32} (4 Гбайт) или 2^{64} (более $1,8 \cdot 10^{19}$) байт памяти. На шине PCI фигурирует физический адрес памяти. Для адресации портов ввода-вывода используется 32-битная адресация; в компьютерах на базе процессоров x86 из них задействованы только 16 младших битов. В системе адресации ввода-вывода реализована поддержка особенностей, связанных с адресацией портов в PC-совместимых компьютерах с шиной ИВВ ISA. Для устройств PCI и PCI-X рекомендуется по возможности избегать использования портов ввода-вывода, отображая операционные регистры устройств на пространство памяти (Memory-Mapped I/O).

Конфигурационные регистры устройств PCI расположены в обособленном пространстве адресов (отдельном от пространства адресов памяти и ввода-вывода). Каждому устройству (точнее, каждой функции сложного устройства) выделяется 256-байтный блок конфигурационных регистров; в спецификации PCI-X 2.0 размер блока увеличен до 4096 байт. Частью этого блока является обязательный набор конфигурационных регистров, с помощью которых осуществляются идентификация устройств, их конфигурирование и управление их свойствами. В конфигурационных регистрах, в частности, указываются адреса, отведенные устройству (как целевому), - через них разрешается работа в роли инициатора и целевого устройства; кроме того, через них конфигурируются прерывания. Конфигурационные регистры обеспечивают возможность автоматической настройки всех устройств интерфейса PCI. К этим регистрам система обращается на этапе конфигурирования - переучета обнаруженных устройств, выделения им не перекрывающихся ресурсов (областей памяти и пространства ввода-вывода) и назначения номеров аппаратных прерываний. При дальнейшей регулярной работе взаимодействие прикладного ПО с устройствами осуществляется преимущественно

путем обращений по назначенным в процессе конфигурирования адресам памяти и ввода-вывода. Конфигурационные же регистры в регулярной работе используются для системных целей: настройки параметров, описывающих поведение устройства на шине интерфейса, обработки ошибок, идентификации источника прерываний.

Обращения к регистрам и памяти устройств PCI выполняются командами интерфейса PCI. Команды может подавать любой инициатор - как хост (главный мост) по командам центрального процессора, так и рядовое устройство PCI. Возможность распространения ряда команд зависит от взаимного расположения инициатора и целевого устройства на ветвях дерева шин PCI. Однако хост может безусловно подать любую команду любому устройству PCI. Только хост всегда имеет доступ к конфигурационным регистрам всех устройств (и мостов), поэтому он и должен заниматься конфигурированием. После конфигурирования любое устройство PCI может безусловно обратиться к системной памяти, то есть реализовать *прямой доступ к памяти* (DMA).

Устройства PCI могут вырабатывать *запросы аппаратных прерываний*:

- обычные маскируемые - для сигнализации событий в устройстве; эти прерывания могут сигнализироваться как традиционным способом - по специальным сигнальным линиям, так и передачей сообщений (Message Signal Interrupt, MSI);
- немаскируемые - для сигнализации о серьезных ошибках;
- прерывания системного управления (System Management Interrupt, SMI) - для сигнализации о событиях в системе управления энергопотреблением и некоторых системных целях (например, эмуляции работы стандартного адаптера клавиатуры с помощью устройств USB).

Наиболее эффективно возможности интерфейса PCI используются при применении *активных устройств - мастеров шины (PCI Bus Master)*. Только эти устройства могут обеспечить скорость передачи данных, приближающуюся к декларируемой пиковой пропускной способности. Максимальная производительность обменов по шине PCI достигается только в пакетных транзакциях значительной длины. Транзакции по инициативе программы, исполняемой на ЦП, проводимые главным мостом, как правило, являются одиночными (или очень короткими пакетными). По этой причине программно-управляемый обмен данными с устройствами PCI по производительности значительно уступает обмену, выполняемому устройством-мастером. Таким образом, применение активных устройств дает двойной эффект: разгружает центральный процессор и обеспечивает лучшее использование пропускной способности ИВВ PCI.

4.4.2.3. Спецификации PCI и PCI-X

ИВВ хоста PCI (Peripheral Component Interconnect - взаимодействие периферийных компонентов) имеет уже длинную историю.

- PCI 1.0 (1992 г.) - определена общая концепция, описаны сигналы и протокол 32-битного параллельного синхронного интерфейса с тактовой частотой до 33,3 МГц и пиковой пропускной способностью 132 Мбайт/с.
- PCI 2.0 (1993 г.) - введена спецификация коннекторов и карт (устройств) расширения с возможным расширением разрядности до 64 бит (пропускная способность до 264 Мбайт/с), предусмотрены варианты питания интерфейсных схем напряжением 5 и 3,3 В.
- PCI 2.1 (1995 г.) - введена частота 66 МГц (только для устройств с напряжением питания 3,3 В), что позволило обеспечить пиковую пропускную способность до 264 Мбайт/с в 32-битном варианте и 528 Мбайт/с в 64-битном.
- PCI 2.2 (1998 г.) - уточнения версии 2.1, введен новый механизм сигнализации прерываний - MSI.

- PCI 2.3 (2002 г.) - определены биты для прерываний, облегчающие идентификацию источника; отменены карты расширения с питанием 5 В (остались только универсальные и 3,3 В); введен низкопрофильный (low profile) конструктив карт расширения; добавлены сигналы дополнительной шины последовательного интерфейса SM-Bus (System Management Bus). Эта версия, описанная в документе PCI Local Bus Specification, Revision 2.3, является базой для современных расширений.
- PCI 3.0 (2004 г.) - отменены системные платы на 5 В (остались только универсальные и 3,3 В).

На базе PCI 2.3 в 1999 году появилось *расширение PCI-X*, призванное существенно повысить пиковую пропускную способность интерфейса за счет увеличения частоты передачи, а также повысить эффективность работы за счет оптимизации протокола. В протокол введены расщепленные транзакции и атрибуты, позволяющие участникам транзакции планировать свои действия. Расширение PCI-X обеспечивает совместимость (механическую, электрическую и программную) устройств и системных плат с обычной шиной PCI, но, естественно, все устройства шины подстраиваются под самого «слабого» участника:

- PCI-X 1.0 - тактовая частота до 133 МГц (для интерфейса на 3,3 В), что дает варианты, называемые PCI-X66, PCI-X100, PCI-X133. Пиковая пропускная способность достигает 528 Мбайт/с в 32-битном варианте и более 1 Гбайт/с - в 64-битном.
- PCI-X 2.0 - введены новые режимы синхронизации с удвоенной (PCI-X266) и учетверенной (PCI-X533) частотами передачи данных относительно тактовой частоты 133 МГц. Столь высокая частота требует низковольтного интерфейса (1,5 В) и режима коррекции ошибок (Error Checking and Correcting, ECC). Помимо 32- и 64-битных вариантов появился и 16-битный (для встроенных компьютеров). Добавлен новый тип транзакций - сообщения, адресуемые устройству по его идентификатору (DIM). Конфигурационное пространство функции расширено до 4096 байт.

В дополнение к спецификациям ИВВ PCI и PCI-X как таковых, имеется ряд дополнительных спецификаций на мосты PPB (PCI-to-PCI Bridge), связывающие шины PCI друг с другом, PCI BIOS (конфигурирование устройств PCI и контроллера прерываний), обеспечение «горячего» подключения/отключения устройств (PCI Hot-Plug), управление энергопотреблением.

На базе ИВВ PCI 2.0 фирмой Intel был разработан выделенный интерфейс для подключения графического акселератора AGP.

Спецификации PCI публикуются и поддерживаются организацией PCI SIG (Special Interest Group, <http://www.pcisig.org>).

Интерфейс PCI существует в разных конструктивных исполнениях: слоты и карты расширения обычных PC-совместимых компьютеров; Mini-PCI, Small PCI и Card Bus - для малогабаритных компьютеров; Compact PCI (CPCI) и PXI - для промышленных и инструментальных компьютеров.

4.4.3. Протокол, транзакции и команды интерфейсов PCI и PCI-X

4.4.3.1. Протокол и транзакции

Обмен информацией по шинам ИВВ PCI и PCI-X организован в виде *транзакций* - логически завершенных операций обмена. В каждой транзакции выполняется одна *команда* - как правило, чтение или запись данных по указанному адресу. Транзакция начинается с *фазы адреса*, в которой инициатор задает команду и целевой адрес. Далее могут следовать *фазы данных*, в которых одно устройство (источник данных) помещает данные на шину, а другое (приемник)

их считывает. Транзакции, в которых присутствует множество фаз данных, называются *пакетными*. Есть и одиночные транзакции (с одной фазой данных). Транзакция может завершиться и без фаз данных, если целевое устройство (или инициатор) не готово к обмену. В ИВВ PCI-X добавлена *фаза атрибутов*, в которой передается дополнительная информация о транзакции.

Состав и назначение сигналов шины интерфейса PCI следующий:

AD[31:0] - Address/Data - мультиплексированная шина адреса/данных. В начале транзакции передается адрес, в последующих тактах – данные;

C/BE[3:0]# - Command/Byte Enable - команда/разрешение обращения к байтам. Команда, определяющая тип очередного цикла шины, 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 (ЦУ) на адресованную к нему транзакцию);

IRDY# - Initiator Ready - готовность ведущего устройства к обмену данными;

STOP# - запрос ЦУ к ведущему устройству на остановку текущей транзакции;

GNT# - Grant - предоставление управления шиной ведущему устройству;

LOCK# - сигнал блокировки (захвата) шины для обеспечения целостного выполнения операции. Используется мостом, которому для выполнения одной операции требуется провести несколько транзакций PCI;

REQ# - Request - запрос от ведущего устройства на захват шины;

PAR - Parity - общий бит четности для линий *AD[31:0]* и *C/BE[3:0]#*;

PERR# - Parity Error - сигнал об ошибке четности (для всех циклов, кроме специальных). Вырабатывается любым устройством, обнаружившим ошибку;

PME# - Power Management Event - сигнал о событиях, вызывающих изменение режима потребления (дополнительный сигнал, введенный в PCI 2.2);

CLKRUN# - Clock running - шина работает на номинальной частоте синхронизации. Снятие сигнала означает замедление или остановку синхронизации с целью снижения потребления (для мобильных применений);

PRSNT[1,2]# - Present - индикаторы присутствия платы, кодирующие запрос потребляемой мощности. На карте расширения одна или две линии индикаторов соединяются с шиной GND, что воспринимается системной платой;

RST# - Reset - сброс всех регистров в начальное состояние (по нажатию кнопки Reset и при перезагрузке);

IDSEL - Initialization Device Select - выбор устройства в циклах конфигурационного считывания и записи; на эти циклы отвечает устройство, обнаружившее на данной линии высокий уровень сигнала;

SERR# - System Error - системная ошибка. Ошибка четности адреса или данных в специальном цикле или иная катастрофическая ошибка, обнаруженная устройством. Активизируется любым устройством PCI и вызывает NMI;

REQ64# - Request 64 bit - запрос на 64-битный обмен. Сигнал вводится 64-битным инициатором, по времени он совпадает с сигналом *FRAME#*. Во время окончания сброса (сигналом *RST#*) сигнализирует 64-битному устройству о том, что оно подключено к 64-битной шине. Если 64-битное устройство не обнаружит этого сигнала, оно должно переконфигурироваться на 32-битный режим, отключив буферные схемы старших байтов;

ACK64# - Подтверждение 64-битного обмена. Сигнал вводится 64-битным ЦУ, опознавшим свой адрес, одновременно с *DEVSEL#*. Отсутствие этого подтверждения заставит инициатор

выполнять обмен с 32-битной разрядностью;

INTA#, *INTB#*, *INTC#*, *INTD#* - Interrupt A, B, C, D - линии запросов прерывания, чувствительность к уровню, активный уровень - низкий, что допускает совместное использование линий;

CLK - Clock - тактовая частота шины. Должна лежать в пределах 20-33 МГц; начиная с PCI 2.1 - до 66 МГц, в PCI-X - до 100 и 133 МГц;

M66EN - 66MHz Enable - разрешение частоты синхронизации до 66 МГц (на картах контакт на 33 МГц заземлен, на 66 МГц - свободен);

PCIXCAP - Возможности PCI-X: на платах PCI контакт заземлен, на PCI-X133 соединен с землей через конденсатор 0,01 мкф, на PCI-X66 - параллельной RC-цепочкой 10 кОм, 0,01 мкф;

SDONE - Snoop Done - сигнал завершения цикла слежения для текущей транзакции. Низкий уровень указывает на незавершенность цикла слежения за когерентностью памяти и кэша. Необязательный сигнал, используется только устройствами шины с кэшируемой памятью. Исключен, начиная с PCI 2.2;

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. Исключен начиная с PCI 2.2;

SMBCLK - SMBus Clock - тактовый сигнал интерфейса SMBus (протокол I²C). Введен, начиная с PCI 2.3;

SMBDAT - SMBus Data - последовательные данные интерфейса SMBus (протокол I²C). Введен начиная с PCI 2.3;

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.

Состояния всех сигнальных линий воспринимаются по положительному перепаду CLK. В разные моменты времени одними и теми же сигнальными линиями управляют разные устройства, подключенные к шине ИБВ PCI. В каждый момент времени шиной интерфейса может управлять только одно ведущее устройство, получившее на это право от арбитра. Каждое ведущее устройство имеет пару сигналов: REQ# для запроса на управление шиной и GNT#, для подтверждения предоставления управления шиной. Устройство может начинать транзакцию (устанавливать сигнал FRAME#) только при полученном активном сигнале GNT# и дождавшись отсутствия активности шины интерфейса.

Для адреса и данных используются общие мультиплексированные линии AD. Линии C/BE [3:0] обеспечивают кодирование команд в фазе адреса и разрешение байтов в фазе данных. В фазе адреса (начало транзакции) ведущее устройство активирует сигнал FRAME#, передает целевой адрес по шине AD, а по линиям C/BE# - информацию о типе транзакции (команду). Адресованное целевое устройство отзывается сигналом DEVSEL#. Ведущее устройство указывает на свою готовность к обмену данными сигналом IRDY#, эта готовность может быть выставлена и до получения сигнала DEVSEL#. Когда и целевое устройство оказывается готово к обмену данными, оно устанавливает сигнал TRDY#. Данные по шине AD передаются только при одновременном наличии сигналов IRDY# и TRDY#. С помощью этих сигналов ведущее, и целевое устройства согласуют свои скорости, вводя такты ожидания (wait states). На рис. 4.3 приведена временная диаграмма обмена, в которой и ведущее и целевое устройства вводят такты ожидания. Если бы они оба ввели сигналы готовности в конце фазы адреса и не снимали бы их до конца обмена, то в каждом такте после фазы адреса передавалось бы по 32 бита данных, что обеспечило бы выход на предельную производительность

обмена. На шине интерфейса PCI все транзакции трактуются как *пакетные*: каждая транзакция начинается фазой адреса, за которой может следовать одна или несколько фаз данных. Количество фаз данных в пакете явно не указывается. Если устройство не поддерживает пакетные транзакции в ведомом режиме, то оно должно потребовать прекращения пакетной транзакции в течение первой фазы данных. В ответ на это ведущее устройство завершает данную транзакцию и продолжает обмен последующей транзакцией со следующим значением адреса. После завершающей фазы данных ведущее устройство снимает сигнал *IRDY#*, и шина переходит в *состояние покоя* (idle).

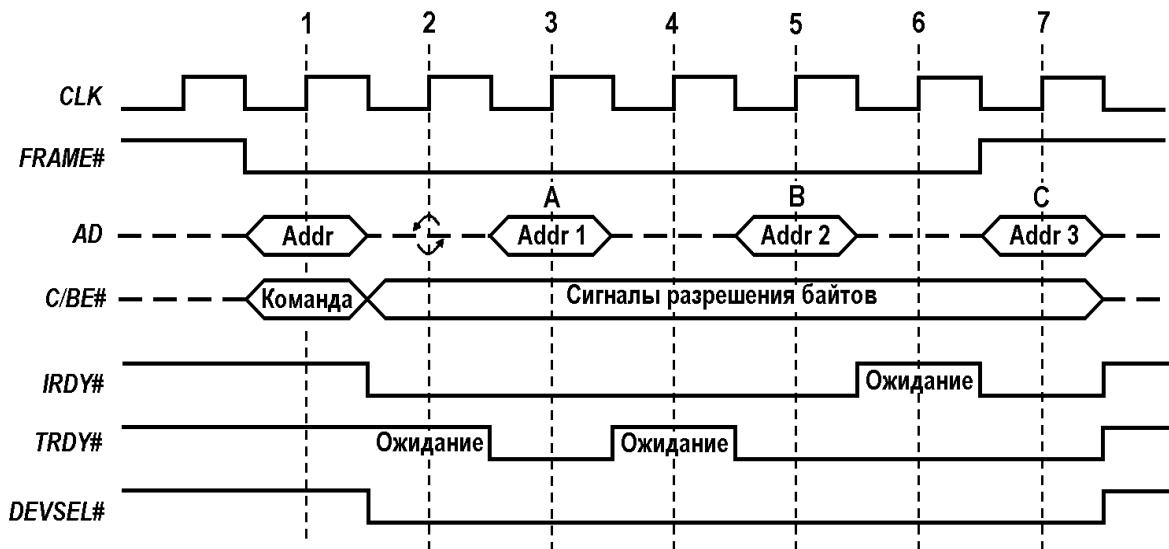


Рис. 4.3. Временная диаграмма цикла обмена на шине интерфейса PCI

Инициатор может начать следующую транзакцию и без такта покоя, такие *быстрые смежные транзакции* (fast back-to-back transactions) могут быть обращены как к одному, так и к разным целевым устройствам. При обмене данными в режиме PCI-X быстрые смежные транзакции недопустимы.

Протокол ИВВ PCI обеспечивает *надежность обмена* - ведущее устройство всегда получает информацию об отработке транзакции целевым устройством. Для *повышения достоверности обмена* применяется механизм контроля четности: линии AD[31:0] и C/BE[3:0]# в фазах адреса и данных защищены битом четности PAR. При обнаружении ошибки устройство вырабатывает сигнал PERR#.

Каждая транзакция на шине ИВВ должна быть завершена планово или прекращена по инициативе ведущего или целевого устройства.

Ведущее устройство может завершить транзакцию одним из следующих способов.

- *Completion* - *нормальное завершение* по окончании обмена данными;
- *Time-out* - *завершение по тайм-ауту*, если целевое устройство оказалось непредвиденно медленным или запланирована слишком длинная транзакция;
- *Master-Abort* - *прекращение транзакции* из-за отсутствия ответа от целевого устройства.

Транзакция может быть прекращена *по инициативе целевого устройства* (по сигналу STOP#) по разным причинам:

- *retry* - *повтор*, целевое устройство из-за внутренней занятости не успевает выдать первые данные в положенный срок (это указание ведущему устройству на необходимость повторного запуска той же транзакции);
- *disconnect* - *отключение*, целевое устройство не способно своевременно выдать или принять очередную порцию данных пакета (это указание ведущему устройству на необходимость повторного запуска транзакции, но с модифицированным стартовым адресом);

- *target-abort* - отказ, целевое устройство не может обслужить данный запрос (неподдерживаемая команда, фатальная ошибка).

Прекращение типа *retry* служит для организации *отложенных транзакций* (delayed transactions). Отложенные транзакции используются только медленными целевыми устройствами, а также мостами PCI при трансляции транзакций на другую шину. Прекращая (для инициатора) транзакцию условием *retry*, целевое устройство внутренне выполняет данную транзакцию. Когда инициатор повторит эту транзакцию, у целевого устройства (или моста) уже будет готов результат (данные чтения или состояние выполнения записи), который оно быстро вернет инициатору.

4.4.3.2. Команды ИВВ PCI

Команды PCI определяют направление и тип транзакций, а также адресное пространство, к которому они относятся. Набор команд ИВВ PCI включает:

- *команды чтения и записи портов ввода-вывода* (обращения к пространству портов);
- *команды обращения к памяти* нескольких типов, в том числе к отображенным на память устройствам ввода-вывода и «настоящей» памяти, допускающей предвыборки (чтение строк, множественное чтение, запись с инвалидацией);
- *команды конфигурационных чтения и записи* (обращения к конфигурационному пространству устройств);
- *специальный цикл* (передача широковещательных сообщений);
- *команда подтверждения прерывания* (чтение вектора прерываний).

Для каждого из трех пространств (памяти, портов ввода-вывода и конфигурационных регистров) адресация различна; в специальных циклах адрес игнорируется. Команды передаются по линиям C/BE[3:0]# в фазе адреса.

Подробности см. в [19].

4.4.4. Прямой доступ к памяти, эмуляция ISA DMA (PC/PCI, DDMA)

ИВВ PCI не предоставляет возможности прямого доступа к памяти с использованием централизованного контроллера в стиле 8237A (как в ИВВ ISA). Для разгрузки центрального процессора от рутинных перекачек данных предлагается прямое управление шиной со стороны устройств, называемых *ведущими устройствами*, или *мастерами шины* (PCI Bus Master). Степень интеллектуальности ведущего устройства может быть разной. В простейшем варианте ведущее устройство обеспечивает пересылку блоков данных между устройством и основной памятью (или памятью других устройств) по указанию от ЦП. Здесь ЦП командами обращения к определенным регистрам ведущего устройства задает начальный адрес, длину блока, направление пересылки и разрешает запуск передачи. После этого пересылка выполняется по готовности (или инициативе) устройства, без отвлечения ЦП. Таким образом выполняется *прямой доступ к памяти* (DMA). Более сложный контроллер DMA может организовывать сцепку буферов при чтении, разбросанную запись и т.п. Более интеллектуальное ведущее устройство, как правило, обладающее собственным микропроцессором, не ограничивается такой простой работой по указке ЦП - оно выполняет обмены уже по программе своего микропроцессора. Таким интеллектом обладают, например, хост-адаптеры последовательных периферийных ИВВ USB и IEEE 1394.

Для совместимости устройств PCI со старым PC-ориентированным ПО и упрощения устройств PCI фирма Intel разработала специальный *протокол PC/PCI DMA*, позволяющий централизованно эмулировать стандартную (для PC) связку контроллеров DMA 8237. Аль-

тернативное решение - *механизм DDMA* (распределенный доступ DMA) позволяет «расчлени» стандартный контроллер и отдельные его каналы эмулировать средствами карт PCI. Оба этих механизма реализуемы только как часть моста между первичной шиной ИВВ PCI и шиной ИВВ ISA, поэтому их поддержка может обеспечиваться (или не обеспечиваться) лишь на системной плате и разрешаться в CMOS Setup.

4.4.5. Пропускная способность ИВВ PCI и PCI-X

Декларируемая высокая пропускная способность ИВВ достигается только в длинных пакетных циклах, однако пакетные циклы выполняются далеко не всегда. Процессор общается с устройствами PCI инструкциями обращения к памяти или вводу-выводу через главный мост, который команды процессора транслирует в транзакции ИВВ хоста PCI. Поскольку у процессоров x86 основные регистры 32-битные, то одна инструкция порождает транзакцию с устройством PCI, в которой передается не более 4 байт данных, что соответствует одиночной передаче. Однако при записи массива данных в устройство PCI (передача с последовательно нарастающим адресом) мост может пытаться организовать пакетные циклы. Пакетные циклы записи можно наблюдать, например, передавая массив данных из ОЗУ в устройство PCI строковой инструкцией MOVSD, используя префикс повтора REP. Тот же эффект даст и цикл последовательных операций LODSW, STOSW (и иных инструкций обращения к памяти).

Стремиться к пакетной передаче транзакций записи в устройство PCI следует только в том случае, если устройство PCI поддерживает пакетные передачи в ведомом (target) режиме. Если это не так, попытка пакетной передачи приведет даже к небольшой потере производительности.

Для выхода на максимальную производительность обмена устройств PCI с памятью, эти устройства должны быть ведущими устройствами шины интерфейса, причем способными генерировать пакетные циклы.

4.4.6. Прерывания PCI - INTx#, PME#, MSI и SERR#

4.4.6.1. Общие сведения о прерываниях PCI

Устройства PCI имеют возможность сигнализировать об асинхронных событиях с помощью прерываний. В ИВВ хоста PCI возможны четыре типа сигнализации прерываний:

- традиционная проводная сигнализация по линиям INTx#;
- проводная сигнализация событий управления энергопотреблением по линии PME#;
- сигнализация с помощью сообщений - MSI;
- сигнализация фатальной ошибки по линии SERR#.

В первых версиях (до PCI 2.2 включительно) не было общепринятого способа программной индикации и запрета прерываний. В PCI 2.3 в регистре состояния конфигурационного пространства устройства (функции) определен бит, по которому ОС может определить, что данная функция вызвала прерывание; в регистре команд определен бит запрета прерывания.

4.4.6.2. Традиционные прерывания PCI - INTx#

Для устройств PCI выделяются четыре проводных линии запросов (*IRQX*, *IRQY*, *IRQZ*, *IRQW*), соединяемых с контактами *INTA#*, *INTB#*, *INTC#* и *INTD#* всех слотов PCI с циклическим смещением цепей рис. 4.4. Мосты PCI просто электрически соединяют одноименные линии *INTx* своих первичных и вторичных шин. В системах с APIC (Advanced Programmable Interrupt Controller - усовершенствованный программируемый контроллер

прерываний), в которых число входов запросов увеличено до 24, дополнительные восемь входов могут использоваться периферийными устройствами, установленными на системной плате. На слотах PCI остаются доступными лишь четыре обычных линии запросов. Устройство PCI вводит сигнал прерывания *низким* уровнем (выходом с открытым коллектором или стоком) на выбранную линию $INTx\#$. Этот сигнал должен удерживаться до тех пор, пока программный драйвер, вызванный по прерыванию, не сбросит запрос прерывания, обратившись по шине к данному устройству. Линии запросов от слотов и устройств PCI системной платы коммутируются на входы контроллеров прерываний относительно произвольно. Конфигурационное ПО может определить и указать занятые линии запросов и номер входа контроллера прерываний обращением к конфигурационному пространству устройства. Драйвер (или иное ПО), работающий с устройством PCI, определяет *номер входа контроллера прерывания*, доставшийся устройству (точнее, функции), чтением конфигурационного регистра Interrupt Line. Назначение прерываний устройствам (функциям) выполняет процедура POST. Параметрами CMOS Setup (PCI/PNP Configuration) пользователь задает номера запросов прерываний, доступных ИВВ PCI. POST определяет соответствие линий $INTA\# \dots INTD\#$ номерам запросов контроллера и соответствующим образом программирует коммутатор запросов. Влияние на аппаратную платформу новых версий ОС настолько велико, что они позволяют себе управлять коммутатором запросов прерываний. Эту возможность можно запретить или разрешить, например, в ОС Windows снятием или установкой флажка "Использовать управление IRQ (PCI Interrupt Steering)" в окне свойств шины PCI (Панель управления > Системные устройства > Шина PCI).

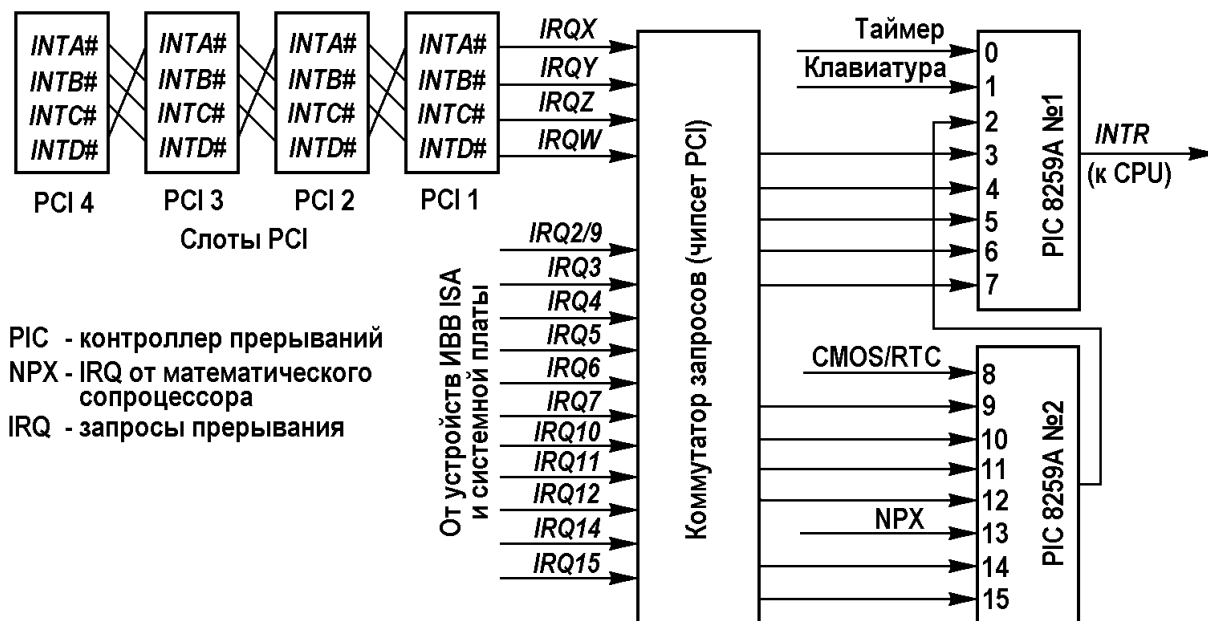


Рис. 4.4. Структурная схема традиционной подсистемы аппаратных прерываний ПК с ИВВ PCI

В PCI BIOS имеются функции определения возможностей и конфигурирования прерываний. С их помощью для каждого устройства (на каждой шине) можно определить, с какими входами контроллера прерываний ($IRQx$) могут быть связаны его линии $INTx$ и с каким именно входом шина связана в данный момент, а также какие входы $IRQx$ отводятся исключительно шине ИВВ PCI. Есть функция программирования коммутатора запросов, которая может использоваться только конфигурационным ПО (BIOS, ОС), но никак не драйвером устройства.

4.4.6.3. Сигнализация событий управления энергопотреблением - PME#

Линия PME#, введенная в PCI 2.0, служит для сигнализации в системе управления энергопотреблением (Power Management, PM) - для смены состояния устройств, генерации пробуждения системы по событию. Эта линия электрически доступна всем устройствам PCI и никак не обрабатывается мостами, а лишь доводится до всех абонентов. Обработчик прерывания от PME# может выявить устройство, подавшее сигнал, путем программных обращений к конфигурационным регистрам всех устройств, способных к генерации этого сигнала.

4.4.6.4. Прерывания сообщениями - MSI

В ИВВ PCI имеется прогрессивный механизм оповещения об асинхронных событиях, основанный на *передаче сообщений MSI* (Message Signaled Interrupts). Здесь для сигнализации запроса прерывания устройство запрашивает управление шиной ИВВ и, получив его, посылает сообщение. Сообщение выглядит как обычная запись двойного слова в ячейку памяти; *адрес* (32-битный или 64-битный) и *шаблон сообщения* на этапе конфигурирования устройств записываются в конфигурационные регистры устройства (точнее, функции). В сообщении старшие 16 бит всегда нулевые, а младшие 16 бит несут информацию об источнике прерывания. Устройство (функция) может нуждаться в сигнализации нескольких типов запросов; в соответствии с его потребностями и своими возможностями система указывает устройству (функции), сколько различных типов запросов оно может вырабатывать.

Прерывания через MSI от одних устройств в одной системе могут генерироваться наряду с обычными прерываниями INTx# от других устройств. Но каждое устройство (функция), генерирующее прерывания через MSI, не должно использовать прерывания через линии INTx#.

Механизм MSI может применяться на системных платах, имеющих контроллер прерываний APIC. Правда, не все преимущества MSI реально используются. Так, для системных плат на чипсетах с хабом ICH2 и ICH3 фирмы Intel поддержка MSI сводится к организации альтернативных путей подачи запросов IRQ [1:23] на входы APIC (запросы IRQ с номерами 0, 2, 8 и 13 через MSI не передаются). Всем устройствам PCI назначается один и тот же адрес сообщений (Message Address = FEC00020h), по которому в APIC находится регистр IRQ Pin assertion. В сообщении указывается номер взводимого запроса прерывания в диапазоне 1-23 (исключая 2, 8 и 13). Линии запросов для прерываний через MSI не могут использоваться совместно (разделяемо) с прерываниями, полученными другими способами (по линиям запросов от устройств PCI и от других устройств системной платы). Возможно, на других платформах прерывания через MSI используются более эффективно.

Более подробную информацию о прерываниях в PCI можно найти в [19].

4.4.7. Конфигурирование и BIOS устройств PCI и PCI-X

4.4.7.1. Конфигурирование устройств

В шину PCI изначально заложены возможности автоматического конфигурирования системных ресурсов (пространств памяти и ввода-вывода, а также линий запроса прерываний). Автоматическое конфигурирование устройств (выбор адресов и прерываний) поддерживается средствами BIOS и ОС; оно ориентировано на технологию PnP. Стандарт PCI определяет для каждой функции конфигурационное пространство размером до 256 8-битных регистров, не приписанных ни к пространству памяти, ни к пространству ввода-вывода. Доступ к ним осуществляется по специальным командам шины *Configuration Read* и *Configuration Write*, вырабатываемым с помощью аппаратно-программного механизма.

Конфигурационное пространство функции начинается со *стандартного заголовка*, в котором содержатся идентификаторы производителя, устройства и его класса, а также описание требуемых и занимаемых системных ресурсов. После заголовка могут располагаться регистры, специфичные для устройства. Для *стандартизованных свойств* (capability) устройств (например, управления энергопотреблением) в конфигурационном пространстве имеются блоки регистров известного назначения. Эти блоки организуются в цепочки; просмотрев цепочку, конфигурационное ПО получает список всех доступных свойств устройства.

В PCI-X для устройств Mode 2 конфигурационное пространство расширено до 4096 байт; в расширенном пространстве могут присутствовать расширенные описания свойств.

Подробности можно найти в [19].

4.4.7.2. PCI BIOS

Для облегчения взаимодействия с устройствами PCI имеются дополнительные функции BIOS, доступные как из реального, так и из защищенного режима работы процессора. Функции PCI BIOS применяются только для поиска и конфигурирования устройств PCI - процедур, требующих доступа к их конфигурационному пространству. Функции приходится поддерживать и использовать потому, что циклы конфигурационных обращений, как и специальный цикл, выполняются специфическим образом. Кроме того, PCI BIOS позволяет управлять коммутатором запроса прерываний (PCI Interrupt Steering), скрывая специфический программный интерфейс чипсета системной платы. Остальное взаимодействие с устройствами через их пространства памяти и ввода-вывода, а также обработка прерываний в поддержке со стороны BIOS не нуждаются, поскольку выполняются непосредственно командами процессора и не зависят от платформы (чипсета системной платы).

Подробности можно найти в [19].

Контрольные вопросы к разделу 4.4

1. Дайте общую характеристику ИВВ хоста PCI.
2. Почему устройства, подключаемые к шине ИВВ хоста PCI, называются одноранговыми устройствами?
3. Что является ядром компьютера для PCI?
4. Что такое транзакция?
5. Для каких устройств главный мост является целевым устройством?
6. Что такое PCI Concurrency?
7. Что такое PCI Peer Concurrency?
8. Для чего могут быть использованы мосты PCI?
9. Какие варианты конструктивного оформления могут иметь шины PCI?
10. Кратко охарактеризуйте систему автоматического конфигурирования PCI.
11. Какие компоненты (с программной точки зрения) могут иметь устройства PCI?
12. Какими способами можно взаимодействовать с целевыми устройствами PCI?
13. Какая разрядность адреса используется в PCI при обращении к адресному пространству памяти?
14. Каково адресное пространство портов ввода-вывода в PCI и как оно используется в ПК на базе процессоров x86?
15. Как организуется адресация конфигурационных регистров устройств PCI?
16. Какова роль конфигурационных регистров?
17. Как осуществляется обращение к регистрам и памяти устройств?
18. Какое устройство всегда имеет доступ к конфигурационным регистрам устройств PCI?
19. Какое устройство PCI может использовать прямой доступ к памяти и когда?
20. Какие прерывания могут вырабатывать устройства PCI?

21. Какие устройства PCI, и при каких транзакциях могут наиболее эффективно использовать возможности ИВВ PCI?
22. Почему программный обмен по шине PCI малоэффективен?
23. Что представляет собой идентификатор устройства PCI?
24. Что представляет собой шина ИВВ хоста PCI?
25. Что понимается под устройством PCI и его функциями?
26. Кто занимается нумерацией и конфигурацией устройств PCI и их функций?
27. Что такое «географическая нумерация слотов», принятая в PCI?
28. Сколько устройств PCI может содержать одна карта расширения PCI?
29. Охарактеризуйте спецификации PCI и PCI-X.
30. Опишите фазы выполнения транзакции на шине PCI.
31. Охарактеризуйте состав и назначение сигналов и линий шины ИВВ PCI.
32. Охарактеризуйте правила использования сигналов на линиях шины PCI.
33. Охарактеризуйте временную диаграмму цикла обмена по шине интерфейса PCI.
34. Как пакетная транзакция преобразуется в одиночную?
35. Каким способом ведущее устройство может завершить транзакцию?
36. По каким причинам и как может завершить транзакцию ведомое устройство?
37. Охарактеризуйте команды ИВВ PCI.
38. Как организуется прямой доступ к памяти (ПДП) в рамках ИВВ хоста PCI?
39. Как эмулируется ПДП, реализовавшийся на базе контроллеров ПДП (DMA) типа 8237 в PC/AT?
40. Чем определяется реальная пропускная способность шин PCI и PCI-X?
41. Какие типы сигнализации прерываний используются в PCI?
42. Охарактеризуйте реализацию традиционных прерываний на шине PCI.
43. Охарактеризуйте сигнализацию событий управления энергопотребления PME#.
44. Охарактеризуйте прерывания, использующие сообщения – MSI.
45. Дайте краткую информацию об автоматическом конфигурировании системных ресурсов в рамках PCI.
46. Дайте краткую характеристику PCI BIOS.

Более подробную информацию обо всех вариантах PCI, о прерываниях в PCI, о мостах PCI и PCI-X, о классификации, конфигурировании и BIOS устройств PCI и PCI-X, о слотах и картах расширения PCI/PCI-X, об инициализации и определении режима работы ИВВ PCI-X можно найти в [8], [19]. Дополнительную информацию о временных циклах PCI и пример проектирования устройств PCI можно найти в [66]. Информацию о функциональных классификационных признаках PCI можно найти в [66].

4.5. Интерфейс ввода-вывода хоста AGP

ИВВ хоста AGP (Accelerated Graphic Port - порт ускоренной графики) был введен для подключения *графических видеоадаптеров с 3D-акселераторами*. В данном случае понятие *порт* следует рассматривать как точку подключения устройства к хосту ПК, которая содержит контроллер ИВВ AGP.

Графический видеоадаптер содержит: *акселератор (ускоритель)* - специализированный графический процессор; *локальную память*, используемую и как видеопамять, и как локальное ОЗУ графического процессора; *управляющие и конфигурационные регистры*, доступные как локальному, так и центральному процессору и логику подключения к ИВВ AGP. Акселератор может обращаться и к локальной памяти, и к системному ОЗУ, в котором для него могут храниться наборы данных, не уместяющиеся в локальной памяти. Основная идея порта AGP заключается в предоставлении акселератору максимально быстрого доступа к основной памяти ПК, более приоритетного, чем доступ к ОЗУ со стороны других устройств.

ИВВ хоста AGP (порт AGP) представляет собой 32-разрядный параллельный синхронный интерфейс с тактовой частотой 66 МГц; большая часть сигналов позаимствована с шины ИВВ PCI. Однако, в отличие от PCI, интерфейс AGP двухточечный, соединяющий графический акселератор с памятью и процессором каналами обмена чипсета системной платы, не пересекаясь с шиной ИВВ PCI. Обмен по шине интерфейса может происходить как по протоколу PCI, так и по протоколу AGP. Отличительные особенности ИВВ AGP:

- конвейеризация обращений к памяти;
- умноженная относительно тактовой частоты интерфейса частота передачи данных (2x/4x/8x);
- «внеполосная» подача команд (SBA), обеспеченная демультиплексированием шин адреса и данных.

Идею конвейеризации обращений к памяти иллюстрирует рис. 4.5, где сравниваются обращения к памяти по шине ИВВ PCI и через шину ИВВ AGP. В PCI во время реакции памяти

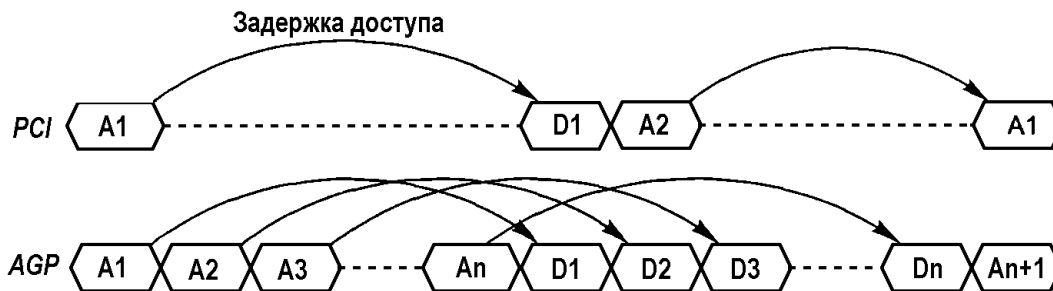


Рис. 4.5. Циклы обращения к памяти PCI и AGP

на запрос шина простаивает (но не свободна). Конвейерный доступ AGP позволяет в это время передавать следующие запросы, а потом получать поток ответов.

Умножение частоты передачи данных обеспечивает при частоте 66 МГц пиковую пропускную способность до 533 Мбайт/с в режиме 2x, до 1066 при 4x и до 2132 Мбайт/с при 8x. Выше 66 МГц тактовую частоту официально не поднимают.

Демультиплексирование (разделение) шины адреса и данных реализовано несколько необычно. С целью экономии числа интерфейсных линий шину адреса и команд в демультиплексированном режиме AGP представляют всего 8 линий SBA (SideBand Address), по которым команда, адрес и значение длины передачи передаются последовательно за несколько тактов. Поддержка демультиплексированной адресации не являлась обязательной для устройства AGP 1.0, поскольку имеется альтернативный способ передачи адреса по шине AD. В версии AGP 2.0 она стала обязательной, а в 3.0 - это уже единственный способ передачи адреса.

Отметим, что ИВВ AGP обеспечивает только потенциальные преимущества, которые могут быть реализованы лишь при поддержке аппаратными средствами графического видеоадаптера и специального ПО. Графический видеоадаптер с интерфейсом AGP может реально вести себя по-разному:

- не задействовать конвейеризацию, а использовать только *быструю запись PCI* (Fast Write);
- не работать непосредственно с данными, расположенными в системной памяти, но обеспечивать более быстрый обмен данными между памятью и локальным буфером;
- использовать все возможности интерфейса, когда акселератор получает быстрый доступ к системной памяти, а центральный процессор может быстро закидывать данные в локальную память адаптера.

Порт AGP содержит практически полный набор сигналов шины интерфейса PCI и дополнительные сигналы AGP. Устройство, подключаемое к слоту ИВВ AGP, может предназначаться как исключительно для операций AGP, так и для комбинированных операций AGP и PCI.

Акселератору адаптера доступны функции *мастера* (ведущего устройства) *шины ИВВ AGP*, свои запросы он может выполнять как в режиме AGP, так и в режиме PCI. В режиме AGP обмены выполняются с поддержкой (или без поддержки) таких свойств, как внеполосная адресация (SBA) и скорости 2х/4х/8х. Для транзакций в режиме AGP ему доступно только системное ОЗУ (но не локальная память устройств PCI). Кроме того, адаптер является *целевым устройством PCI*, для которого, помимо обычных команд PCI, может поддерживаться (или не поддерживаться) быстрая запись (Fast write) со скоростью 2х/4х/8х со стороны процессора. В качестве целевого устройства адаптер выступает при обращениях ЦП к его локальной памяти, регистрам ввода-вывода и конфигурационного пространства.

ИВВ AGP позволяет акселератору работать в двух режимах - DMA и DIME (Direct Memory Execute). В *режиме DMA* акселератор при вычислениях рассматривает локальную память как первичную, а когда ее недостаточно, подкачивает в нее данные из основной памяти. В *режиме DIME*, он же режим исполнения (executive mode), локальная и основная память для акселератора логически равнозначны и располагаются в едином адресном пространстве. В режиме DMA для трафика (потока данных, передаваемого по линиям интерфейса) ИВВ характерны длительные блочные передачи, в режиме DIME трафик интерфейса насыщен короткими произвольными запросами.

Спецификации AGP разрабатывались фирмой Intel на базе ИВВ PCI 2.1 с частотой 66 МГц; пока имеется три основные версии спецификаций:

- AGP 1.0 (1996 г.) - определен порт с конвейерным обращением к памяти и двумя альтернативными способами подачи команд: внеполосной (по шине SBA) и внутриволосной (по сигналу PIPE#). Режимы передачи - 1х/2х, питание интерфейса - 3,3 В.
- AGP 2.0 (1998 г.) - добавлена возможность быстрой записи в режиме PCI (Fast Writes), а также режим 4х с питанием 1,5 В.
- AGP 3.0 (2002 г., проект назывался AGP8X) - добавлен режим 8х с питанием 0,8В и динамическим инвертированием байтов, отменены скорости 1х и 2х; оставлен один способ подачи команд - внеполосный (SBA); исключены некоторые команды AGP; введены команды изохронного обмена; введена возможность выбора размера страниц, описанных в таблице GART (Graphics Address Remapping Table); введена селективная поддержка когерентности при обращениях к разным страницам в пределах GART.

ИВВ хоста AGP предназначен только для подключения интеллектуального графического видеоадаптера (причем только одного), имеющего 3D-акселератор. Системная логика ИВВ AGP отличается сложным контроллером памяти, который выполняет глубокую буферизацию и высокопроизводительное обслуживание запросов AGP (от адаптера) и других своих клиентов - центрального процессора (одного или нескольких) и ИВВ PCI.

AGP может реализовать всю пропускную способность 64-битной системы памяти компьютера. При этом возможны конкурирующие обращения к памяти со стороны, как процессора, так и мостов ИВВ PCI. Фирма Intel впервые ввела поддержку AGP в чипсеты для процессоров P6. До настоящего времени ИВВ хоста AGP имеется во многих выпускаемых системных платах для PC-совместимых компьютеров и других платформ. AGP стал сдавать свои позиции с появлением новой архитектуры соединения компонентов PCI Express, основанной на масштабируемых последовательно-параллельных интерфейсах.

Достаточно подробную информацию по ИВВ AGP можно найти в [8], [19], [21].

4.6. Интерфейс ввода-вывода хоста PCI Express

4.6.1. Общие сведения

PCI Express - новая архитектура соединения компонентов, введенная под эгидой PCI SIG, из-

вестная и под названием *3GIO* (3-Generation Input/Output – ввод-вывод 3-го поколения). Здесь шинное соединение устройств с параллельным интерфейсом заменено двухточечными последовательными соединениями, которые могут подключаться параллельно через коммутаторы, наращивая общую пропускную способность интерфейса. В этой архитектуре сохраняются многие программные черты ИВВ PCI, что обеспечивает плавный переход от PCI к PCI Express. В архитектуре появились новые возможности: управление качеством обслуживания (Quality of Service, QoS), потреблением и бюджетом связей. Протокол PCI Express характерен малыми накладными расходами и малыми задержками выполнения транзакций.

PCI Express позиционируется как универсальная архитектура ввода-вывода для компьютеров разных классов, телекоммуникационных устройств и встроенных систем. Сфера применения – от соединений между микросхемами на плате до меж платных разъемных и кабельных соединений. Высокая пропускная способность на контакт соединения позволяет минимизировать число таких контактов. Малое число сигнальных линий позволяет применять малогабаритные конструктивы. Универсальность дает возможность использования единой программной модели для всех форм-факторов. Спецификация PCI Express Base specification Revision 1.0a опубликована в апреле 2003 года.

4.6.2. Элементы и топология соединений PCI Express

Соединение PCI Express (PCI Express Link) – это два встречных симплексных канала, соединяющих два компонента. По этим каналам передаются *пакеты*, несущие команды и данные транзакций, сообщения и управляющие посылки. Канал может быть образован одной или несколькими линиями передачи сигналов (Lane); применение нескольких линий позволяет масштабировать пропускную способность канала. В PCI Express с помощью пакетного протокола реализуются все транзакции чтения и записи, используемые в PCI, причем в расщепленном варианте (как в PCI-X). Таким образом, здесь фигурируют *запросчик* (requester) и *исполнитель* (completer) транзакции. В PCI Express рассматриваются *четыре пространства*: памяти, ввода-вывода, конфигурационное и сообщений. Новое (по сравнению с PCI) *пространство сообщений* (message space) используется для передачи в виде пакетов «внеполосных» сигналов PCI: прерываний по линиям INTx, сигналов управления потреблением и т. п. Таким образом реализуются «виртуальные провода». *Порт PCI Express* содержит передатчик, приемник и узлы, необходимые для сборки-разборки пакетов. В данном случае понятие *порт* рассматривается как средство (точка) подключения устройства к линиям (среде передачи) интерфейса. Поскольку интерфейс двухточечный, то к линиям может быть подключено только два порта.

Пример топологии средств ввода-вывода, иллюстрирующий архитектуру PCI Express, приведен на рис. 4.6.

Центральным элементом архитектуры является *корневой комплекс* (root complex), соединяющий иерархию ввода-вывода с центром – *процессором* (одним или несколькими) и *памятью*. *Корневой комплекс* может иметь один и более портов *PCI Express*, каждый из этих портов определяет свой *домен иерархии* (hierarchy domain). Каждый домен состоит из одной *конечной точки* (endpoint) или *субиерархии* – нескольких конечных точек, связанных *коммутаторами*. Наличие непосредственных одноранговых коммуникаций между элементами разных доменов обязательным не является, но может иметь место в конкретных реализациях. Для обеспечения прозрачных одноранговых коммуникаций в корневом комплексе должны присутствовать коммутаторы. Возможность взаимодействия центрального процессора с любым устройством любого домена безусловна, как и возможность обращения любого устройства к памяти. Корневой комплекс должен генерировать запросы к конфигурационному пространству – его роль аналогична главному мосту PCI.

Конечная точка – это устройство, способное инициировать или/и исполнять транзакции PCI

Express от своего имени или от имени устройства, не являющегося *устройством PCI Express* (например, от имени хост-адаптера USB). Конечная точка должна быть видима в одном из доменов иерархии - представлять в нем свои конфигурационные регистры и отвечать как исполнитель на конфигурационные запросы. В качестве механизма сигнализации прерываний все конечные точки используют MSI. В PCI Express рассматриваются два типа конечных точек: «наследники» (legacy) и новые точки, построенные по идеологии PCI Express. К «наследным» точкам имеется ряд послаблений в плане адресации памяти, перемещаемости ресурсов (из пространства ввода-вывода в пространство памяти) и некоторых нюансов.

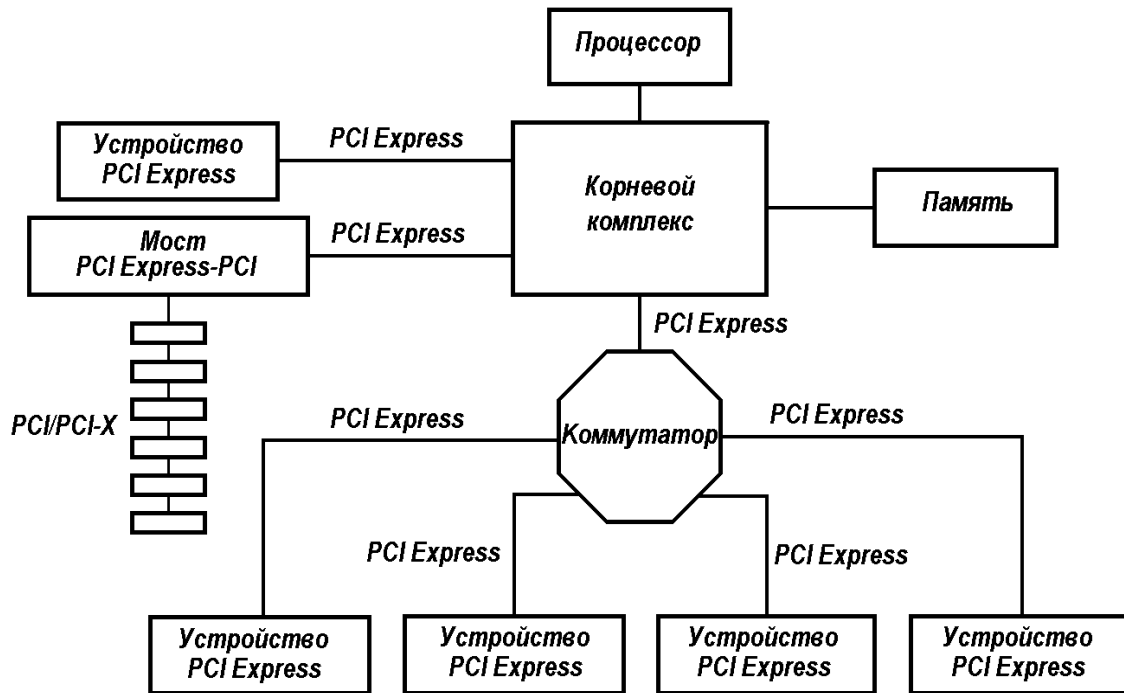


Рис. 4.6. Пример топологии соединения средств ввода-вывода PCI Express

Коммутатор (switch) имеет несколько портов PCI Express. Логически он представляет собой несколько виртуальных мостов PCI-PCI, соединяющих порты коммутатора со своей внутренней локальной шиной. Однако тех издержек, которые вносят «настоящие» мосты PCI, коммутатор не вносит. Коммутатор транслирует между портами пакеты всех типов, основываясь на адресной информации, актуальной для пакета данного типа. Арбитраж между портами коммутатора может учитывать виртуальные каналы и, соответственно, взвешенно распределять пропускную способность. Коммутатор не имеет права разбивать пакеты на более мелкие (у мостов PCI такое право имеется).

Мост PCI Express-PCI соединяет иерархию шин *PCI/PCI-X* с «фабрикой» ввода-вывода.

Конфигурирование «фабрики» осуществляется либо со 100-процентной совместимостью с конфигурационным механизмом PCI 2.3, либо с использованием расширенного конфигурационного пространства PCI-X. Каждое *соединение PCI Express* с помощью виртуальных мостов отображается в виде *логической шины PCI* со своим номером. Логически устройства отображаются в конфигурационном пространстве как устройства PCI, каждое из которых может иметь от одной до восьми функций со своим набором конфигурационных регистров.

4.6.3. Архитектурная модель PCI Express

4.6.3.1. Структурные компоненты модели

Архитектурная модель PCI Express может быть представлена структурными компонентами и организацией обмена в рамках трех уровней взаимодействия: уровня транзакций, канального

уровня и физического уровня.

Уровень транзакций (transaction layer) - верхний уровень архитектуры, отвечающий за сборку и разборку *пакетов TLP* (Transaction Layer Packet - пакет уровня транзакций). Эти пакеты используются для транзакций чтения и записи, а также для сообщений о событиях некоторых типов. Каждый пакет TLP имеет уникальный идентификатор, который позволяет направить ответный пакет его отправителю. В TLP поддерживаются различные форматы адресации, зависящие от типов транзакций. Пакет может иметь атрибуты отмены слежения за когерентностью NS (No Snoop) и «расслабленной» упорядоченности RO (Relaxed Ordering). Каждая транзакция, требующая ответа, выполняется в виде расщепленной. Уровень транзакций отвечает и за управление потоком, реализованное на основе механизма кредитов.

Канальный уровень (data link layer), промежуточный в стеке, отвечает за управление связью, обнаружение ошибок и организацию повторных передач вплоть до успеха или признания отказа соединения. К пакетам, полученным от уровня транзакций, канальный уровень добавляет свои заголовки (номера пакетов и контрольные коды). Канальный уровень и сам является генератором и получателем *пакетов DLLP* (Data Link Layer Packet - пакет канального уровня), используемых для управления соединением.

Физический уровень (physical layer) изолирует канальный от всех подробностей передачи сигналов. Он состоит из двух субблоков. *Логический субблок* при передаче выполняет распределение данных по линиям, кодирование по схеме 8B/10B (табличное избыточное преобразование 8 бит в 10-битный символ), кадрирование и преобразование в последовательный код. 10-битовые табличные символы, не используемые при 8B/10B кодировании байтового потока данных, используются для служебной сигнализации. Логический субблок отвечает и за согласование соединения, инициализацию и т. п. *Электрический субблок* отвечает за электрическое согласование, синхронизацию, обнаружение приемника. Уровневая модель, принятая в PCI Express, позволяет, не затрагивая остальных уровней, сменить физический уровень или его субблоки, когда появятся более эффективные схемы кодирования и сигнализации. Интерфейс между физическим и канальным уровнями зависит от реализации этих компонентов и выбирается их разработчиком. Интерфейс физического уровня четко специфицирован, что обеспечивает возможность соединения устройств разного происхождения. Для тестирования на соответствие электрическим параметрам достаточно подключить устройство PCI Express к специальному тестеру.

В архитектурной модели PCI Express также предусмотрено:

- обеспечение программной совместимости с PCI/PCI-X;
- поддержка определенного уровня качества обслуживания и поддержка виртуальных каналов;
- обеспечение сигнализации прерываний и управления энергопотреблением;
- обеспечение «горячего» подключения и замены устройств;
- обеспечение надежности передачи и целостности данных.

Информацию по этим составляющим архитектурной модели PCI-E можно найти в [8], [19] и в спецификациях PCI Express.

4.6.3.2. Передача пакетов и пропускная способность соединения

Уровень транзакций формирует *пакеты TLP*, в которых содержатся код команды, адресная информация, данные и некоторые другие поля. Для обеспечения надежной доставки пакетов TLP канальный уровень при передаче снабжает их своим *заголовком*, содержащим 12-битный последовательный номер TLP, и 32-битным полем LCRC (CRC канального уровня). CRC (Cyclic Redundancy Check) - циклический контрольный код. Таким образом, канальный уровень к каждому пакету TLP добавляет 6 байт накладных расходов. На каждый пакет TLP

передатчик должен получить *положительное подтверждение Ask* - пакет канального уровня (DLLP). Если подтверждение не приходит, то механизм тайм-аута заставляет передатчик повторить посылку пакета. Предусмотрен и пакет *отрицательного подтверждения Nak*, вызывающий повторную передачу без ожидания.

Физический уровень вводит свое обрамление передаваемых пакетов: перед началом пакета передается специальный символ *STP* (для TLP-пакета) или *SDP* (для DLLP-пакета); после пакета - символ *END*. Эти специальные символы отличаются от символов, представляющих данные после кодирования 8B/10B.

По формату пакета, можно оценить пропускную способность базового соединения PCI Express (разрядность - 1 бит, скорость - 2,5 Гбит/с). Самая короткая транзакция - запись двойного слова в пространство ввода-вывода в прямом канале транзакций записи в порт занимает 128 нс (0,128 мкс), в обратном - $80 + 32 = 112$ нс. Если подсчитать максимальную скорость передачи данных при непрерывных записях в порт, получаем: $4/0,128 = 31,25$ Мбайт/с. При этом будет занят и встречный канал с коэффициентом загрузки $112/128 = 0,875$. Результат по скорости близок к возможностям стандартной шины PCI (32 бит и 33 МГц), в которой такая транзакция требует четырех тактов шины. Чтение портов ввода-вывода на PCI Express даст те же результаты (на PCI результат будет хуже).

Теперь возьмем самый выгодный (в состязаниях по производительности) вариант транзакции: запись в память пакета 1024 двойных слов (с короткой 32-битной адресацией). Здесь скорость передачи данных составляет $4096/16,5 \approx 248$ Мбайт/с - это уже уровень производительности PCI (32 бит и 66 МГц) при длинных пакетных передачах. Загрузка встречного канала подтверждениями канального уровня в этом случае пренебрежимо мала. Скорость чтения из памяти будет немного ниже, поскольку каждая транзакция чтения состоит из двух пакетов TLP - запроса чтения и пакета завершения с данными.

Данные подсчеты производились для базового соединения (x1, 1 линия). Применяв интерфейс x32 (32 линии), можно получить максимальную скорость записи в память $248 \times 32 = 7936$ Мбайт/с. А если брать полную загрузку полнодуплексного соединения, то PCI Express может обеспечить суммарную пропускную способность 15 872 Мбайт/с. Таким образом, в самом мощном варианте PCI Express оставляет далеко позади порт AGP с его пиком 2132 Мбайт/с. Правда, говорить о малом числе контактов уже не приходится - канал PCI Express x32 требует $2 \times 2 \times 32 = 128$ сигнальных контактов (в AGP их меньше).

4.6.4. Физический уровень и конструктивы PCI Express

Физический уровень интерфейса допускает как электрическую, так и оптическую реализацию. *Базовое соединение электрического интерфейса* (x1) состоит из двух дифференциальных низковольтных сигнальных пар - передающей (сигналы PErp0, PErtn0) и принимающей (PERp0, PERn0). В интерфейсе применена развязка передатчиков и приемников по постоянному току, что обеспечивает совместимость компонентов независимо от технологии их изготовления и снимает некоторые проблемы передачи сигналов. Для передачи используется самосинхронизирующееся кодирование, что позволяет достигать высоких скоростей передачи. Базовая скорость - 2,5 Гбит/с «сырых» данных (после кодирования 8B/10B) в каждую сторону, в перспективе планируются и более высокие скорости. Для масштабирования пропускной способности возможно *агрегирование сигнальных линий* (сигнальных пар в электрическом интерфейсе) по одинаковому числу в обоих направлениях. Спецификация рассматривает варианты соединений из 1, 2, 4, 8, 12, 16 и 32 линий (обозначаются как x1, x2, x4, x8, x12, x16 и x32); передаваемые данные между ними распределяются побайтно. Таким образом достижима скорость до $32 \times 2,5 = 80$ Гбит/с, что примерно соответствует пиковой скорости 8 Гбайт/с. Во время аппаратной инициализации в каждом соединении согласуется число линий и скорость передачи; согласование выполняется на низком уровне без какого-

либо программного участия. Согласованные параметры соединения действуют на все время последующей работы.

Обеспечение «горячего» подключения на физическом уровне PCI Express не требует каких-либо дополнительных аппаратных затрат.

Малое число сигнальных контактов интерфейса дает большую свободу в выборе *конструктивных реализаций* PCI Express:

- соединение компонентов в пределах платы;
- слоты и карты расширения в конструктивах PC/AT и ATX;
- внутренние и внешние карты расширения мобильных ПК;
- малогабаритные модули ввода-вывода для серверов и коммуникационной аппаратуры;
- модули для промышленных компьютеров;
- разъемное подключение «дочерних» карт (mezzanine interface);
- кабельные соединения блоков.

Для карт расширения в конструктивах PC/AT и ATX предусматриваются разные модификации разъема-слота PCI Express, различающиеся числом пар сигнальных линий (x1, x4, x8, x16) и, соответственно, размером. При этом в слоты большего размера можно устанавливать карты с разъемом того же размера (или меньшего - это называется *Up plugging*). Однако противоположный вариант (Down-plugging) - установка большой карты в меньший слот, механически невозможен (в PCI/PCI-X возможен). Как было показано ранее, самый «слабый» вариант PCI Express обеспечивает пропускную способность на уровне стандартной шины PCI.

Набор сигналов интерфейса PCI Express невелик:

- PETp0, PETn0,..., PETp15, PETn15 - выходы передатчиков сигнальных пар 0... 15;
- PERp0, PERn0, ..., PERp15, PERn15 - входы приемников;
- REFCLK+ и REFCLK- - сигналы опорной частоты 100 МГц;
- PERST# - сигнал сброса карты;
- WAKE# - сигнал «пробуждения» (от карты);
- PRSNT1#, PRSNT2# - сигналы обнаружения подключения-отключения карты для системы «горячего» подключения. На карте эти цепи соединяются между собой, причем для PRSNT2# выбирается контакт с самым большим номером. Это позволяет точнее отслеживать моменты подключения-отключения (в случае наклона карты). Для определения числа линий подключенной карты данные линии не используются - разрядность линий определяется автоматически при установлении соединения (в процедуре тренировки).

Дополнительно на слоте имеются необязательные сигналы последовательных вспомогательных интерфейсов SMBus (SMB_CLK и SMB_DATA) и JTAG (TCLK, TDI, TDO, TMS, TRST#).

На карты подается основное *питание* +3,3V, +12V и дополнительное +3,3Vaux.

Интерфейс PCI Express используется и в промышленных компьютерах, для чего имеются спецификации PICMG 3.4 (малогабаритные конструктивы для x1, x2 и x4), а также конструктивы в формате Compact PCI.

Интерфейс PCI Express существует и в *кабельном исполнении* для кабельных соединений блоков, находящихся на небольшом удалении друг от друга. Так, по PCI Express можно подключать док-станции к блокнотным ПК. Возможность вывода ИВВ системного уровня (ИВВ хоста) за пределы корпуса компьютера из предшественников PCI Express поддерживал только ИВВ хоста ISA, и то лишь при низких скоростях обмена (на частотах до 5 МГц). Из новых

последовательных интерфейсов системного уровня эта возможность имеется в InfiniBand. Наличие кабельного варианта высокопроизводительного интерфейса системного уровня может позволить отойти от традиционной компоновки компьютера, при которой в системном блоке концентрируются все компоненты, требующие интенсивного обмена с ядром компьютера.

Более подробную информацию по ИВВ PCI-E можно найти в [8] и [19].

4.7. Интерфейс LPC

Интерфейс LPC (Low Pin Count - малое число выводов) предназначен для локального подключения устройств, ранее использовавших шину X-Bus или ISA: контроллеров НГМД, последовательных и параллельных портов, клавиатуры, BIOS и т. п. Введение нового интерфейса обусловлено заменой шины ISA с ее большим числом сигналов и неудобной асинхронностью. Интерфейс обеспечивает те же циклы обращения, что и ISA: чтение-запись памяти и ввода-вывода, DMA и прямое управление шиной (bus mastering). Устройства могут вырабатывать запросы прерываний. В отличие от ISA с их 24-битной шиной адреса, обеспечивающей адресацию лишь в пределах первых 16 Мбайт памяти, интерфейс LPC имеет 32-битную адресацию памяти, что обеспечивает доступ к 4 Гбайт памяти. 16-битная адресация портов обеспечивает доступ ко всему пространству 64 К портов. Интерфейс синхронизирован с шиной PCI, но устройства могут вводить произвольное число тактов ожидания. Интерфейс программно прозрачен - как и для ISA, не требует каких-либо драйверов. Контроллер интерфейса LPC является устройством-мостом PCI. По пропускной способности интерфейс практически эквивалентен этим шинам.

Интерфейс имеет всего 7 обязательных сигналов:

- LAD[3:0] - двунаправленная мультиплексированная шина данных;
- LFRAME# - индикатор начала и конца цикла, управляемый хостом;
- LRESET# - сигнал сброса, тот же, что и RST# на шине PCI;
- LCLK - синхронизация (33 МГц), тот же сигнал, что и CLK на шине PCI;

Дополнительные сигналы интерфейса LPC:

- LDRQ# - кодированный запрос DMA/Bus Master от периферии;
- SERIRQ - линия запросов прерывания (в последовательном коде), используется, если нет стандартных линий запросов IRQ в стиле ISA;
- CLKRUN# - сигнал, используемый для указания запрета использования шины ИВВ другими устройствами (в мобильных системах), требуется только для устройств, нуждающихся в DMA/Bus Master в системах, способных захватывать шину PCI;
- PME# - событие системы управления потреблением энергии (Power Management Event), может вводиться периферией, как и в PCI;
- LPCPD# - Power Down, указание от хоста устройствам на подготовку к выключению питания;
- LSMI# - запрос прерывания SMI# для повтора инструкции ввода-вывода.

Сигналы LFRAME# и LAD[3:0] синхронизированы (являются действительными) по фронту LCLK. По шине LAD[3:0] в каждом такте цикла передаются поля элементов протокола. Обобщенная временная диаграмма цикла обмена по LPC приведена на рис. 4.7.

Начало каждого цикла хост отмечает сигналом *LFRAME#*, помещая на шину *LAD [3:0]* поле *START*. По сигналу *LFRAME#* все ПУ должны прекратить управление шиной *LAD [3:0]*, а по коду поля *START* они должны декодировать последующие события как цикл шины. В

следующем такте хост снимет сигнал *LFRAME#* и поместит на шину *LAD[3:0]* код типа цикла *CYCTYPE*. Сигнал *LFRAME#* может длиться и более одного такта, но признаком начала цикла (поля *START*) является последний такт перед снятием сигнала. С помощью сигнала *LFRAME#* хост может принудительно прервать цикл (например, по ошибке тайм-аута), выставив соответствующий код.

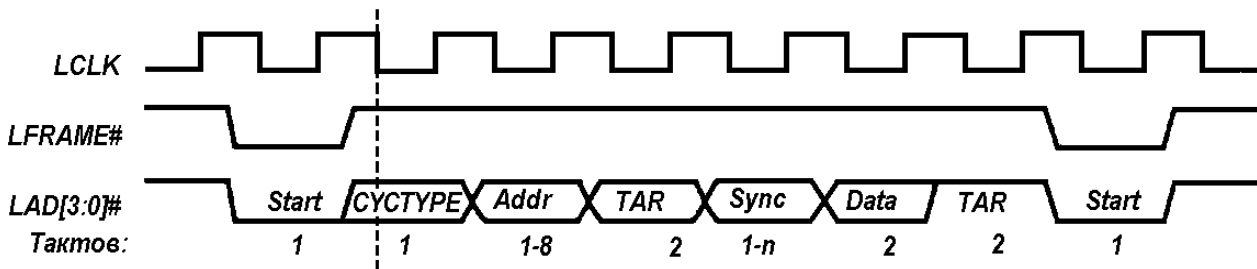


Рис. 4.7. Обобщенная временная диаграмма цикла обмена по LPC

В поле *START* возможны следующие коды:

- 0000 - начало цикла обращения хоста к устройству;
- 0010 - предоставление доступа ведущему устройству 0;
- 0011 - предоставление доступа ведущему устройству 1;
- 1111 - принудительное завершение цикла (abort).

Остальные коды зарезервированы.

Поле *CYCTYPE* задает тип и направление передачи. Бит 0 задает направление (0 - чтение, 1 - запись), биты [2:1] - тип обращения (00 - порт, 01 - память, 10 - DMA, 11 - резерв), бит 3 - резерв (0).

Поле *TAR* (Turn-Around) служит для смены «владельца» шины *LAD[3:0]*, оно занимает 2 такта. В первом такте прежний владелец помещает код 1111, во втором переводит буферы в третье состояние.

Поле *ADDR* служит для передачи адреса. В цикле памяти оно занимает 8 тактов (32 бита), в цикле ввода-вывода - 4 такта. Передача адреса начинается со старших битов (чтобы раньше срабатывал дешифратор адреса).

В поле *DATA* передаются данные. На каждый байт требуется 2 такта, передача начинается с младшей тетрады. Многобайтные передачи начинаются с младшего байта.

Поле *SYNC* служит для введения тактов ожидания устройством, к которому выполняется обращение. Оно может содержать следующие коды (остальные зарезервированы):

- 0000 - готовность (без ошибок), для DMA означает снятие запроса для данного канала;
- 0101 - короткое ожидание (несколько тактов);
- 0110 - длинное ожидание;
- 1001 - готовность и присутствие запроса для канала DMA (для других типов обращения недопустимо);
- 1010 - ошибка: данные переданы, но возникли условия, при которых на шинах PCI или ISA выработался бы сигнал *SERR#* или *IOCHK#* (для DMA также означает снятие сигнала запроса).

Поле синхронизации обеспечивает контроль передачи, введение тактов ожидания и механизм тайм-аутов. Начав цикл, хост читает поле синхронизации. Если в течение трех тактов адресованное устройство не ответит, хост считает, что его нет на шине, и прекращает транзакцию. Если приходит код короткого ожидания, хост дожидается его смены на готовность или ошибку, но после 8 тактов ожидания он прервет транзакцию по тайм-ауту. Код длинного ожидания может приходить сколь угодно долго, ответственность за отсутствие зависания ложится на адресованное устройство. При прямом управлении поле *SYNC* выставляется

хостом, и устройство должно терпеливо ожидать готовности, без каких-либо тайм-аутов. В самом быстром варианте (без тактов ожидания) поле SYNC занимает один такт.

Дополнительную информацию об организации обмена по ИВВ LPC в программном режиме, в режиме прямого доступа и в режиме прямого управления шиной интерфейса можно найти в [21].

Контрольные вопросы к разделам 4.5 – 4.7

1. Дайте краткую характеристику ИВВ хоста AGP.
2. В чем заключается конвейеризация обращений к памяти в среде интерфейса AGP (рис. 4.5)?
3. В чем заключается умножение частоты передачи данных в среде ИВВ AGP?
4. Какие варианты работы с AGP может использовать графический видеоадаптер?
5. Опишите работу акселератора видеоадаптера в режиме DMA и DIME.
6. Кратко охарактеризуйте спецификации AGP.
7. Дайте краткую характеристику ИВВ хоста PCI Express.
8. Охарактеризуйте соединение PCI Express.
9. Опишите пример топологии соединения средств ввода-вывода архитектуры PCI Express (рис. 4.6).
10. Дайте краткую характеристику архитектурной модели PCI Express.
11. Опишите процесс передачи пакетов через ИВВ PCI Express.
12. Охарактеризуйте особенности физического уровня PCI Express.
13. Перечислите возможные конструктивные реализации PCI Express.
14. Охарактеризуйте набор сигналов PCI Express.
15. Дайте краткую характеристику интерфейсу LPC.
16. Охарактеризуйте основные сигналы LPC.
17. Охарактеризуйте дополнительные сигналы LPC.
18. Дайте описание временной диаграммы цикла обмена по LPC (рис. 4.7).

Более подробную информацию о конфигурационных регистрах AGP, о слотах AGP, о разводке сигналов по контактам слота AGP и т. п. можно найти в [19], [20], [21]. Информацию об архитектурной модели PCI Express, о разводке сигналов по контактам разъемов и пр. можно найти в [8], [19] и в спецификациях PCI Express. Информацию о шинах расширения ИВВ системного уровня блочных ПК можно найти в [8]. Дополнительную информацию по тематике данной главы можно найти в [66].

В этой главе использованы материалы из [8], [19], [21], [22], [35].

Глава 5.

Малые интерфейсы ввода-вывода

5.1. Общие сведения

Группа малых интерфейсов ввода-вывода (малые ИВВ) обеспечивает подключение исполнительных устройств ПУ к их контроллерам. Требования, предъявляемые к малым ИВВ, могут существенно различаться в зависимости от особенностей ПУ. Малые ИВВ в ПУ со специализированными контроллерами, конструктивно объединенными с исполнительными устройствами ПУ не унифицируют, при этом такие ПУ подключаются к системному ИВВ (ИВВ хоста) непосредственно или через периферийный ИВВ. Если же контроллер предназначен для управления несколькими однотипными ПУ или несколькими типами ПУ, то малый ИВВ 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. Многие стандартные малые интерфейсы могут использоваться как периферийные ИВВ и, даже, как внешние ИВВ. Это определяется типом подключаемых к ним устройств.

Функции управления ПУ разбиваются на два уровня - на уровень непосредственного управления механизмами и аппаратурой ПУ (исполнительной частью ПУ), осуществляемого схемами местного управления под управлением контроллера ПУ через малый интерфейс, - и на уровень преобразования алгоритмов обмена системного (или периферийного) и малого интерфейсов, реализуемого контроллером ПУ (выполняющим функции адаптера). Наиболее характерными примерами малых ИВВ могут служить интерфейсы ранних накопителей на магнитных дисках (НМД) и магнитных лентах (НМЛ) ЕС-ЭВМ, СМ-ЭВМ и ПК, служащих для подключения этих накопителей к групповым устройствам управления (контроллерам).

К универсальным малым ИВВ можно отнести интерфейсы радиальные параллельные ИРПР (BS-4421), ИРПР-М (Centronics) и интерфейсы радиальные последовательные ИРПС (CL - Current loop) и стык С2 (RS-232C), использовавшиеся для подключения консольных печатающих устройств, модемов, перфораторов и т. д. Универсальные малые ИВВ могут использоваться и как периферийные ИВВ при подключении через них ПУ, у которых и контроллер ПУ и исполнительное устройство реализованы в одном блоке (матричный, струйный или лазерный принтеры, модемы, поддерживающие AT-команды и т. п.), или ПУ, типа графического или текстового дисплея, состоящие из блока управления (контроллера) и исполнительных блоков (монитора и клавиатуры).

В персональных компьютерах к категории малых ИВВ можно отнести следующие интерфейсы: интерфейсы накопителей на гибких магнитных дисках ИГМД (ST506); ранние интерфейсы накопителей на жестких магнитных дисках ИКМД (ST506/412), ИМД-М (ESDI); интерфейсы подключения видеомониторов; интерфейс игрового порта; аналоговые интерфейсы звуковых карт (адаптеров).

Малые и периферийные ИВВ во многих случаях должны обеспечивать удаление ПУ на значительные расстояния от точки подключения.

5.2. Малые ИВВ персональных компьютеров

5.2.1. Интерфейс ИГМД

Накопители на гибких магнитных дисках (ИГМД) (FDD – Floyd Disk Drive) подключаются к контроллеру ИГМД через специальный стандартный интерфейс. На плате электроники,

установленной в корпусе НГМД, расположены только схемы приводов двигателей, усилители-формирователи сигналов записи и считывания и формирователи сигналов от датчиков. Основные функции по управлению НГМД, а также кодирование-декодирование данных выполняет контроллер, расположенный на системной плате. Раньше контроллер располагался на специальной карте (устройстве) расширения вместе с контроллерами других малых и периферийных ИВВ.

Все сигналы интерфейса НГМД имеют логические уровни ТТЛ, активный уровень - низкий. Формирователи выходных сигналов накопителя имеют выход типа «открытый коллектор». В интерфейсе предусматривается наличие терминаторов (нагрузочных резисторов) для каждой сигнальной линии. Трехдюймовые накопители используют «распределенный терминатор» - резисторы с относительно высоким сопротивлением (1-1,5 КОм), постоянно соединяющие входные линии интерфейса с шиной +5 В. Низкие частоты интерфейсных сигналов позволяют не задумываться о точности согласования импеданса (волнового сопротивления) шлейфа (плоского кабеля) и сопротивления терминатора.

Логически интерфейс довольно прост. Для того чтобы заставить накопитель работать, его нужно выбрать сигналом Drive Sel и запустить мотор шпинделя сигналом Motor On. Для выборки накопитель имеет четыре сигнала DS0...DS3, но накопитель отзывается только на один из них, определенный установкой джамперов (перемычек). Выбранный накопитель воспринимает управляющие сигналы от контроллера и передает контроллеру свои выходные сигналы. О том, что накопитель выбран, свидетельствует светодиодный индикатор на его лицевой панели.

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 (дорожки) 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 MFM (Modified Frequency Modulation - модифицированная частотная модуляция (МЧМ)) виде (усиленные и сформированные в ТТЛ-сигнал) поступают от накопителя по линии Read Data. Для включения режима записи служит сигнал Write Gate. В режиме записи 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.

Заметим, что в интерфейсе нет никаких сигналов, прямо информирующих контроллер о готовности - наличии установленной дискеты. Контроллер может определить готовность, лишь выбрав накопитель и запустив мотор. Тогда отсутствие импульсов Index будет означать неготовность - нет дискеты или она не зафиксирована на шпинделе, или же не подключен дисковод (интерфейс или питание). Наличие дисковода контроллер может определить с помощью команды рекалибровки - при ее выполнении дисковод должен подать сигнал Track00.

Все НГМД, применяемые в РС, независимо от типа и размера имеют одинаковый интерфейс и унифицированные 34-контактные разъемы двух типов: с печатными двусторонними ламелями (контактами) у устройств 5" и двухрядными штырьковыми контактами у устройств 3,5". Используемый в РС кабель-шлейф имеет перевернутый фрагмент из 7 проводов с номерами 10-16. Этот поворот позволяет подключать к контроллеру одним шлейфом до двух НГМД, причем адрес накопителя определяется его положением на шлейфе: для привода А: фрагмент перевернут, для В: - нет.

Программное взаимодействие с НГМД производится через *контроллер накопителей на гибких дисках FDC* (Floppy Drive Controller), как правило, при участии контроллера DMA и прерываний. Все функции, необходимые для использования НГМД в качестве устройств хранения данных, реализованы сервисами BIOS Int 13h и ОС. Игнорирование сервисов BIOS и да-

же ОС может быть оправданно для нетривиальных задач типа работы с ключевыми дискетами и т. п.

Все контроллеры, применяемые в IBM PC, обеспечивают совместимость с «исторической» микросхемой контроллера NEC PD765, которая является аналогом i8272.

В карте (таблице) ресурсов АТ имеется место под два контроллера НГМД:

- FDC AT#1 (стандартный или основной) занимает порты с адресами 3F0h-3F7h (как и FDC XT);
- FDC AT#2 (дополнительный) занимает порты с адресами 370h-377h.

Контроллеры вырабатывают запрос *аппаратного прерывания* IRQ6 (BIOS Int 0Eh) по окончании выполнения внутренних операций. Для обмена данными может использоваться канал DMA 2.

Подробную информацию об интерфейсе FDD и контроллере FDC, его регистрах, поддерживаемых им командах и о программном взаимодействии с ним можно найти в [8], [28 – 30], [59].

5.2.2. Интерфейс ST-506 (ST-412) и ESDI жестких дисков

Первые накопители на жестких дисках (НМД) имели интерфейс, напоминающий интерфейс НГМД. Это и понятно, поскольку НМД 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 НМД, как и контроллеры НГМД, работали по схеме кодирования MFM (Modified Frequency Modulation - модифицированная частотная модуляция), 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 (Run Length Limited). Некоторые модели накопителей выпускались в версиях MFM и RLL и различались только качеством носителя - у схемы RLL требования выше.

Интерфейс использует два типа плоских кабелей. *Магистральный 34-проводной кабель управления* позволяющий подключать до двух накопителей, и два радиальных 20-проводных *кабеля данных*, по которым передаются аналоговые сигналы усилителей головок записи-считывания между накопителями и контроллером. На накопителях применяются разъемы с печатными ламелями (плоскими контактами), на контроллере - со штырьковыми контактами.

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 (до 1 Мбайт/с) и плотности записи (до 32-80 секторов на дорожку). 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.

Интерфейс ESDI также использует два плоских кабеля. *Магистральный 34-проводной кабель управления и 20-проводный кабель данных*. В отличие от ST-506 в ESDI для представления данных в последовательном формате используется схема кодирования не MFM, а схема NRZ (No Return Zero - без возврата к нулю) совместно с логическим кодированием и декодированием.

5.2.3. Интерфейсы видеомониторов

5.2.3.1. Общие сведения

Для подключения видеомонитора (дисплея, монитора) к видеоадаптеру компьютера используются специализированные малые ИВБ, по которым передается информация о мгновенном значении яркости базисных цветов (RGB) и сигналы строчной и кадровой синхронизации. Способ передачи уже прошел первый виток спирали развития: от дискретного интерфейса первых адаптеров (MDA, CGA, EGA), через аналоговый интерфейс VGA и снова возвращается к цифровому способу (DVI, P&D, DFP). Интерфейсы мониторов в большинстве своем стандартизованы организацией VESA (WWW.VESA.ORG).

5.2.3.2. Дискретный интерфейс RGB TTL

Дискретный интерфейс с уровнями TTL - *RGB TTL* применялся в мониторах для видеоадаптеров MDA (Monochrome Display Adapter - текстовый монохромный адаптер с разрешением 720 точек × 350 строк), HGC (Hercules Graphics Card - аналог MDA), CGA (Color Graphics Adapter - цветной графический адаптер с разрешением 640 × 200) и EGA (Enhanced Graphics Adapter - усовершенствованный графический адаптер с разрешением 640 × 350 и с 16 цветами). Для этого интерфейса требуется разъем DB-9 (розетка на адаптере), назначение контактов приведено в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Дискретный интерфейс монитора (RGB TTL)

Контакт	Монитор Mono	Color	Enhanced Color/Mono
1	GND	GND	GND
2	GND	GND	Red
3	-	RED	RED
4	-	GREEN	GREEN
5	-	BLUE	BLUE
6	Intens.	Intens.	Green/Intens.
7	Video	Резерв	Blue/Video
8	+H.Sync.	+H.Sync.	+H.Sync.
9	-V.Sync.	+V.Sync.	- (+)VSync.

В монохромных мониторах используются лишь два сигнала - Video (включить/выключить луч) и Intens. (повышенная яркость). В цветных мониторах класса *CD (Color Display)* для адаптеров CGA используется по одному сигналу для включения каждого луча и общий сигнал повышенной яркости. Таким образом можно было задать 16 цветов. В улучшенном цветном дисплее *ECD (Enhanced Color Display)* для адаптера EGA требуются два сигнала на каждый базисный цвет: RED, GREEN, BLUE и Red, Green, Blue - соответственно старшие и младшие биты базисных цветов. Таким образом можно задавать 64 цвета.

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 высокую частоту развертки. Адаптер CGA работает с низкими частотами (параметры синхронизации близки к телевизионным). Адаптеры и мониторы EGA могут работать с любыми из этих частот. Для облегчения переключения режимов генератора развертки монитора задействуют сигнал V.Sync: полярность импульсов определяет диапазон частот развертки текущего видеорежима.

5.2.3.3. Аналоговые интерфейсы RGB

Интерфейс *RGB Analog* с аналоговой передачей сигналов яркости базисных цветов позволяет передавать формально неограниченное число оттенков. Сигналы базисных цветов в совре-

менных адаптерах формируются 8-разрядными ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь), что позволяет выводить 16,7 миллионов цветов (*True Color*). Для уменьшения перекрестных помех эти сигналы передаются по витым парам, с собственными обратными линиями (Return). Для согласования с кабелем в мониторе каждая сигнальная пара нагружается резистором. Черному цвету соответствует нулевой потенциал на линиях всех цветов, полной яркости каждого цвета соответствует уровень +0,7 В (не все графические адаптеры обеспечивают полную амплитуду сигнала). Сигналы управления, состояния и синхронизации передаются сигналами ТТЛ. Обычно для горизонтальной и вертикальной синхронизации используются отдельные сигналы H.Sync и V.Sync. В адаптере PGA (Professional Graphics Adapter - видеостандарт, разработанный фирмой IBM, поддерживающий разрешение 640×480) использовалась *совмещенная синхронизация* (composite sync) сигналом (H+V)Sync; этот режим поддерживают и многие современные мониторы.

Временные диаграммы интерфейса RGB с отдельными сигналами H.Sync и V.Sync (они применимы и к интерфейсу RGB TTL) иллюстрирует рис. 5.1.

Сигналы R, G, B, здесь показаны условно - изображены интервалы, во время которых сигналы отображаются засветкой точек экрана (видимая часть изображения - в областях пересечения отображения по кадру и по строке, в остальное время луч принудительно гасится).

На рисунке показаны основные временные параметры сигналов. Стандарт VESA DMT (Discrete Monitor Timing, 1994-1998 гг.) задает дискретный ряд вариантов параметров для различных режимов разрешения. Несколько более поздний стандарт VESA GTF (Generalized Timing Formula Standard) задает формулы для определения всех параметров синхронизации, исходными данными для расчета являются следующие:

- формат экрана в пикселах (например, 800×600);
- необходимость дополнительного видимого обрамления (overscan borders);
- тип развертки - построчная (non-interlaced) или чересстрочная (interlaced);
- одна из заданных частот: кадров, строк или пикселей.

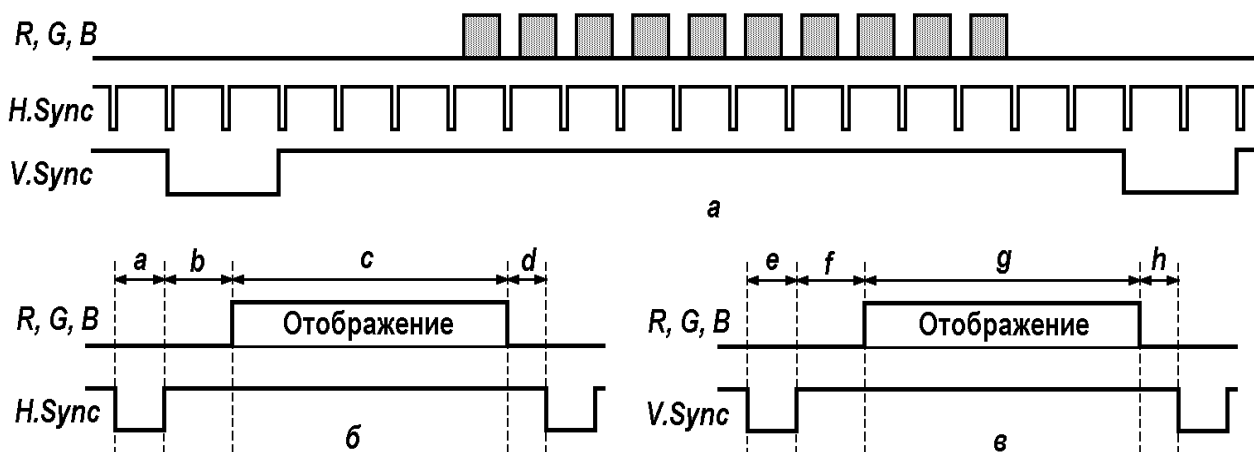


Рис. 5.1. Временные диаграммы интерфейса RGB: а - общая картина, б - строчная развертка, в - кадровая развертка

Поскольку стандартов много, один и тот же набор этих параметров разными графическими картами и их драйверами может использовать несколько отличающиеся временные параметры сигнала. Эти вариации приходится компенсировать настройками монитора (размер и смещение по вертикали и горизонтали).

Впервые аналоговый интерфейс был применен на адаптере PGA фирмы IBM, где для него использовался 9-контактный разъем DB-9S

В дальнейшем, начиная с адаптеров VGA (Video Graphics Array), стали применять

малогабаритный 15-контактный разъем с таким же внешним размером (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Аналоговый интерфейс монитора VGA(RGB Analog)

Контакт	Видеоадаптер	Монитор
B-15	MCGA/VGA/SVGA/XGA	Mono Color
1	Red	Red
2	Green	Green
3	Blue	Blue
4	ID2	-
5	GND/DDC Return ¹	SelfTest/DDC Return
6	Red Return	Red Return
7	Green Return	Green Return
8	Blue Return	Blue Return
9	Ключ (нет контакта) ¹	¹
10	GND (Sync Return)	GND (Sync Return)
11	ID0	GND
12	ID1/SDA ¹	GND/SDA ¹
13	H.Sync/(H+V)Sync ²	H.Sync/(H+V)Sync ²
14	V.Sync	V.Sync
15	ID3/SCL ¹	ID3/SCL ¹

¹ Сигналы DDC Return, SDA и SCL задействуются только при поддержке DDC. При этом контакт 9 может использоваться для питания логики DDC (+5 В).

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

По назначению сигналов эти интерфейсы в основном совпадают, существуют даже переходные кабели с 15- на 9-контактные разъемы. Помимо изображения, по интерфейсу передают информацию, необходимую для автоматизации согласования параметров и режимов монитора и компьютера. «Интересы» компьютера представляет видеоадаптер, к которому и подключается монитор. С его помощью обеспечивается идентификация монитора, необходимая для поддержки технологии PnP, и управление энергопотреблением монитора.

Для простейшей *параллельной идентификации монитора* в интерфейс ввели четыре логических сигнала ID0-ID3, по которым адаптер мог определить тип подключенного монитора IBM. Со стороны монитора эти линии либо подключались к шине GND, либо оставались неподключенными. Однако из этой системы идентификации используют лишь сигнал ID1, по которому определяют факт подключения монохромного монитора. Монохромный монитор может быть опознан адаптером и иначе - по отсутствию нагрузки на линиях Red и Blue.

Параллельную идентификацию мониторов заменила *последовательная идентификация* по каналу цифрового интерфейса *VESA DDC* (Display Data Channel). Этот канал построен на интерфейсе I²C (DDC2B) или *ACCESS Bus* (DDC2AB), который требует всего двух ТТЛ-сигналов - 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* является двунаправленным; для синхронизации используется выделенный сигнал SCL (контакт 15).

Интерфейс *DDC2AB* отличается тем, что допускает подключение ПУ, не требующих высокой скорости обмена, к компьютеру по последовательной шине *ACCESS Bus*, Блок параметров расширенной идентификации дисплея (Extended Display Identification, EDID) имеет одну и ту же структуру для любой реализации DDC.

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. 5.3).

Таблица 5.3. Управление энергопотреблением монитора (VESA DPMS)

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

К аналоговым интерфейсам относятся также интерфейс с BNC-разъемами и комбинированный интерфейс EVC, описание которых можно найти в [8], [21], [46].

5.2.3.4. Цифровые интерфейсы P&D, DVI и DFP

Повсеместный переход на цифровые технологии коснулся и видеомониторов. Традиционный аналоговый канал передачи видеосигналов стал узким местом видеосистемы. По пути от ЦАП к входам видеоусилителей монитора сигнал проходит через пару разъемов и кабель. Несогласованность элементов, вызывающая отражения сигналов («звон») и неравномерности частотных характеристик, приводит к искажению формы сигналов цветов, что становится особо заметным на режимах с высокими разрешением и частотой регенерации. Повысить качество изображения можно, перенеся устройства ЦАП в монитор, прямо на плату видеоусилителей, и подав на них цифровые сигналы базисных цветов. Плоские дисплеи строятся на основе цифровых технологий, и им приходится входные аналоговые сигналы преобразовывать обратно в цифровую форму. Все эти причины привели к необходимости разработки цифрового интерфейса для передачи информации в монитор. От этого интерфейса требуется огромная пропускная способность: к примеру, при частоте пикселей 150 МГц и кодировании каждого пикселя 24-битным числом (True Color) требуется пропускная способность 3,6 Гбит/с (450 Мбайт/с).

Для подключения плоских дисплеев был разработан специальный интерфейс Panel Link, в 1996 году его спецификация (FPDI-2) была утверждена VESA. Схема интерфейса приведена на рис. 5.2. Цифровой интерфейс имеет 3 канала передачи данных $Data[0:2]$ и канал синхронизации $Clock$. В каналах используется дифференциальная передача сигналов с минимизацией переходов - так называемый протокол *T.M.D.S. (Transition Minimized Differential Signaling)*. Каждый канал данных образован кодером, расположенным на видеоадаптере, линией связи и декодером, расположенным в видеомониторе. На вход кодера каждого канала поступают 8 бит кода яркости базисного цвета текущего пикселя. Кроме того, на вход канала 0 кодера поступают сигналы строчной и кадровой синхронизации, а на остальные каналы - дополнительные управляющие сигналы $CTL(0:3)$, по паре на каждый канал. Кодеры преобразуют данные в последовательный код, для минимизации переключений 8 входных битов кодируются 10-битным символом, передаваемым по каналу последовательно. В зависимости от входного сигнала разрешения данных DE кодеры передают либо данные цветовых каналов, либо синхросигналы и управляющие биты. На приемной стороне сигналы декодируются и восстанавливаются в том же виде, в котором они поступали на входы кодеров. Частота пикселей может достигать 165 МГц, интерфейс обеспечивает максимальное разрешение 1280×1024 (24 бита на пиксел). Физические линии реализованы экранированными витыми парами. Выбранный метод кодирования пригоден и для передачи по оптоволоконному кабелю (сигнал не имеет постоянной составляющей), но пока спецификация определяет только электрический интерфейс (физический интерфейс, реализованный на базе токопроводящих линий).

Вышеописанный протокол используется в интерфейсах P&D, DVI и DFP, из которых

наибольшее распространение получил DVI (как самый мощный и универсальный). Разъем DVI можно встретить на многих графических видеоадаптерах с двумя выходами. Почти не прижившийся дорогой разъем P&D можно рассматривать как комбинацию «усеченных» интерфейсов EVC и DVI. Интерфейс DFP (самый дешевый) также не получил широкого распространения. Благодаря стандартизованным сигналам (T.M.D.S.) при механическом несовпадении разъема монитора и графической карты возможно применение пассивных переходников-адаптеров.

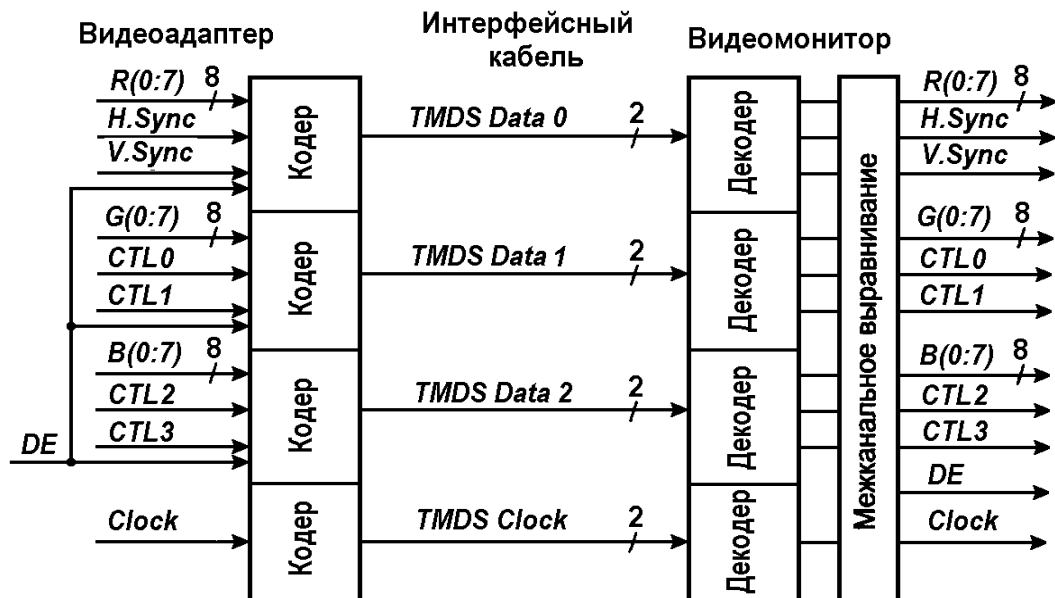


Рис. 5.2. Схема цифрового интерфейса

В интерфейсе VP&D (VESA Plug-and-Display, 1997 г.), он же P&D, используется такой же разъем, как в EVC. Здесь нет цепей аналоговых аудио сигналов и видеовхода, а контакты, требовавшиеся для них, теперь назначены на цифровые каналы передачи сигналов. Интерфейс существует в двух вариантах: комбинированном и чисто цифровом. На комбинированный разъем P&D-A/D выведены и аналоговые сигналы (RGB и синхронизация), что обеспечивает возможность подключения как цифрового, так и традиционного аналогового монитора. В чисто цифровом варианте P&D контактов аналоговых сигналов нет; монитор с аналоговым входом (с разъемом EVC или P&D-A) с ним работать не может (конструкция разъема и не позволит его подключить). Точно так же не удастся подключить и монитор с чисто цифровым входом P&D к выходу P&D-A (EVC).

Интерфейс плоских дисплеев DFP (Digital Flat Panel, 1999 г., www.dfp-group.org) использует дешевый разъем типа MDR (mini-D ribbon) с ленточными контактами (рис. 5.3). На него выведены лишь 3 пары сигналов для цифровых каналов данных, пара для цифрового канала синхронизации, питание (+5 В), канал DDC2 и сигнал обнаружения «горячего» подключения (HPD). Частота пикселей может достигать 85 МГц (для плоских панелей не требуется слишком высокая частота развертки). Интерфейс пригоден для режимов вплоть до 1280 × 1024 (24 бита на пиксел).

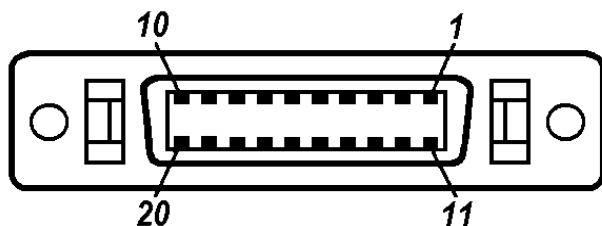


Рис. 5.3. Разъем плоского дисплея DFP

Интерфейс DVI (Digital Visual Interface) разработан группой DDWG (Digital Display Working Group - рабочая группа по цифровым дисплеям, www.ddwg.org) в 1999 году и предназначен

для подключения дисплеев любого типа (ЭЛТ и матричных) к компьютеру, причем возможны два варианта коннекторов и интерфейса: чисто цифровой и цифровой с традиционными аналоговыми сигналами. Во втором случае к разъему DVI через пассивный переходник может быть подключен монитор с обычным аналоговым VGA-интерфейсом. Вид коннекторов DVI приведен на рис. 5.4, расположение сигнальных контактов дано в табл. 5.4. Разъем DVI устанавливается на многие современные видеокарты (видеоадаптеры).

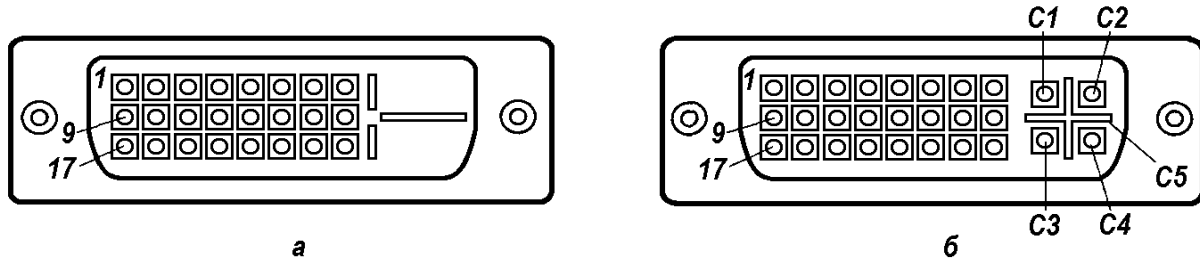


Рис. 5.4. Коннекторы DVI (розетки): а — только цифровой, б — цифровой с аналоговым

В интерфейсе может использоваться 4 или 7 линий T.M.D.S. Минимальный вариант DVI позволяет передавать сигналы при частоте пикселей до 165 МГц (по трем каналам данных). Если же требуется более высокая частота, то должны быть задействованы каналы 3-5, и информационная нагрузка должна распределяться поровну между парами каналов, что позволит передавать пиксели с частотой до 330 МГц. Предусматривается и иное использование дополнительных каналов: когда 8 бит на кодирование базисного цвета покажется недостаточным, каналы 3, 4 и 5 могут дополнить (как младшие биты) данные каналов 0, 1 и 2 (старшие). Помимо сигналов T.M.D.S. в интерфейс DVI входят сигналы интерфейса VESA DDC2, а также линия питания +5 В, по которой от видеокарты питаются цепи DDC, позволяя обмениваться конфигурационной информацией даже с выключенным монитором.

Таблица 5.4. Коннектор DVI

Контакт	Цепь	Контакт	Цепь	Контакт	Цепь
1	Data2–	9	Data1–	17	Data0–
2	Data2+	10	Data1+	18	Data0+
3	Экран 2/4	11	Экран 1/3	19	Экран 0/5
4	Data4–	12	Data3–	20	DataS–
5	Data4+	13	Data3+	21	Data5+
6	DDC Clock	14	+5 В	22	Экран Clock
7	DDC Data	15	GND(для +5В, H.Sync и V.Sync)	23	Clock+
8	V Sync(ТТЛ)	16	HPD	24	Clock–
C1	R (аналог.)			C3	B (аналог.)
C2	G (аналог.)	C5	GND (для R, G, B)	C4	H Sync(ТТЛ)

Благодаря конфигурационной информации система (хост) определяет состояние монитора и должным образом конфигурирует имеющиеся каналы данных, согласуя возможности видеоадаптера и видеомонитора. Имеется также сигнал HPD (Hot Plug Detect), с помощью которого система может следить за подключением/отключением монитора. «Горячее» подключение обеспечивается также и механическими особенностями разъемов, поддерживающих требуемую последовательность соединения и разъединения разных групп контактов. Таким образом, видеомониторы с DVI обеспечивают все необходимые функции для реализации принципов PnP. Интерфейс поддерживает механизм управления энергопотреблением (DPMS).

При использовании DVI меняется местоположение ЦАП и применяется цифровой способ доставки данных. При этом гамма-коррекция возлагается на монитор. В исходном варианте временные диаграммы сигналов аналогичны интерфейсу VGA - пиксели выводятся только

во время прямого хода по строке (причем только в видимой его части, составляющей около 90 % периода строк). Однако интерфейс предусматривает способ повышения пропускной способности за счет более эффективного расходования времени. Дело в том, что традиционные ЭЛТ-мониторы имеют довольно значительное время обратного хода луча по строке и кадру, в течение которого пиксели на экран, естественно, не выводятся - в это время интерфейс простаивает. Для матричных дисплеев этих пауз не требуется, поэтому тот же объем информации о пикселях может передаваться за большее время - практически за весь период кадра. Следовательно, можно либо снизить тактовую частоту передачи пикселей (не меняя разрешения и частоты развертки), либо с той же (предельно достижимой) частотой передачи увеличить разрешение или/и частоту развертки. Спецификация DVI предполагает, что за счет внутренней буферизации возможность передачи данных в течение всего периода кадра может появиться и у цифровых дисплеев, построенных на обычных ЭЛТ. При условии буферизации экрана (размер буфера равен или больше размера видеопамати видеоадаптера) в дисплее можно пойти и дальше - вместо непрерывной регенерации экрана, которой озабочены традиционные видеоадаптеры, передавать данные только при изменениях изображения.

5.2.3.5. Телевизионные интерфейсы

В традиционной технике цветного телевизионного вещания видеосигнал непосредственно несет информацию о мгновенном значении яркости (в нем присутствуют и синхроимпульсы отрицательной полярности) передается в модулированном виде на основной несущей частоте канала, а цветовая информация передается также в модулированном виде на дополнительных частотах. Таким образом обеспечивается совместимость черно-белого приемника, игнорирующего цветовую информацию, с цветным передающим каналом. Однако способы кодирования цветовой информации и частоты разверток в трех основных телевизионных системах PAL, SECAM и NTSC различны.

В телевидении сигналы трех первичных цветов — красного, зеленого и синего — проходят через преобразователь координат, на выходе которого получают сигнал Y , несущий информацию о *яркости* (luminance) точек, и два цветоразностных сигнала U и V , несущих информацию о *цвете* (chrominance), то есть о яркости красного и синего цветов относительно зеленого. Зеленый выбран основным, поскольку зрение людей к нему наиболее чувствительно. Далее эти сигналы передаются по телевизионному тракту до телеприемника разными путями в зависимости от используемого вещательного стандарта. Сигнал Y всегда передается на основной (несущей) частоте телевизионного канала; цветоразностные сигналы, специальным образом закодированные, передаются на поднесущей частоте канала.

В первой системе цветного телевещания — NTSC (National Television Standards Committee — национальный комитет по телевизионным стандартам (США)) принята частота кадров 30 Гц (частота полей — 60 Гц), а количество строк — 525, из которых видимых — 480. При полосе канала яркости 4,5 МГц в строке может быть различимо до 640 пикселей (вот откуда формат 640 × 480). Однако для передачи цветоразностных сигналов используется поднесущая частота 3,58 МГц, и горизонтальное разрешение снижается до 400-450 пикселей. Видеосигнал, состоящий из яркостной составляющей и поднесущей, модулированной цветоразностными сигналами, называется *композитным* (composite video).

Помимо стандарта NTSC существуют еще два популярных в мире стандарта: PAL и SECAM.

В стандарте *PAL* (Phase Alternate Line) фаза одного из цветоразностных сигналов ($R-Y$) меняется от строки к строке, что и дало название этому методу. Такое решение позволило повысить стабильность декодирования. Для увеличения горизонтального разрешения поднесущая частота цветоразностного сигнала повышена до 4,43 МГц. Частота кадров — 25 Гц (при частоте полей 50 Гц), количество строк — 625. Стандарт PAL обеспечивает разрешение 800 × 600. В варианте PAL-M принят формат кадра NTSC (60 Гц и 525 строк), а в PAL-N при 625

строках (50 Гц) вернулись к поднесущей 3,58 МГц.

В нашей стране традиционно используется система французского происхождения *SECAM* (Sequence de Couleurs avec Memoire). В этой системе вместо квадратурной модуляции поднесущей применены две поднесущие цветоразностных сигналов с частотной модуляцией. Частота кадров — 25 Гц (при частоте полей 50 Гц), количество строк — 625.

Говоря о телевизионных стандартах, не следует забывать о канале звукового сопровождения. Во всех этих системах для звука используется частотная модуляция дополнительной поднесущей частоты 6,5 МГц для SECAM; 5,5 МГц для PAL (но иногда и 6,5 МГц); 4,5 МГц для NTSC и PAL-M; может встречаться и 6 МГц.

Все перечисленные системы в цветном режиме между собой *несовместимы*, хотя для них и существуют устройства-конверторы. Устройства обработки видеосигналов в PC могут поддерживать все системы или только некоторые из них.

Телевизионный интерфейс можно использовать для вывода графики низкого разрешения, в которой частоты синхронизации близки к стандартным телевизионным и не требуется особо широкая полоса пропускания видеотракта. Для вывода графической информации с высоким разрешением ни одна из традиционных вещательных систем не подходит, поскольку они имеют существенно ограниченную полосу пропускания цветовых каналов. Сейчас телевизионный интерфейс TV-Out в основном используется для просмотра фильмов с компьютера, а TV-In — для ввода видео в компьютер.

В видеотехнике применяют различные низкочастотные интерфейсы, из которых здесь рассмотрены композитный интерфейс и интерфейс S-Video.

В композитном интерфейсе (*composite video*) полный стандартный видеосигнал с размахом около 1,5 В передается по коаксиальному кабелю (75 Ом). Данный интерфейс характерен для бытовых видеомагнитофонов, аналоговых телекамер, телевизоров. В ПК этот интерфейс используется как дополнительный выходной интерфейс графического видеоадаптера и как входной интерфейс в устройствах захвата видеосигнала (фрейм-грабберах). Для композитного интерфейса используют коаксиальные разъемы RCA (рис. 5.5, а), широко применяемые в видео- и аудиотехнике. Тот же сигнал передается и через разъем SCART, популярный в европейской видеотехнике. Заметим, что аудиосигнал через этот интерфейс не передается, для него используются отдельный RCA или отдельные контакты SCART.

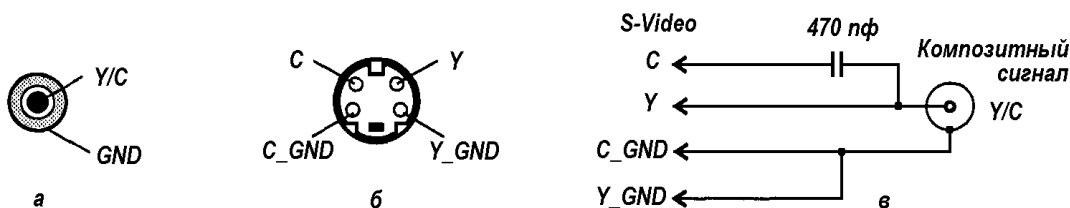


Рис. 5.5. Разъемы телевизионных интерфейсов: а - композитный RCA, б - S-Video, в - преобразование S-Video в композитный сигнал

Интерфейс *S-Video* (Separate Video) использует отдельные 75-омные сигнальные линии: Y для канала яркости и синхронизации и C - для сигнала цветности. По линии C передается поднесущая частота, модулированная цветоразностными сигналами (burst signal). Стандартный 4-контактный разъем S-Video типа mini-DIN (рис. 5.5, б) используется как интерфейс высококачественных видеосистем, его синонимами являются названия *S-VHS* и *Y/C*. Этот интерфейс в ПК тоже может применяться в качестве входного и дополнительного выходного; он обеспечивает более высокое качество передачи видео изображений. Иногда задействуют и 7-контактные разъемы mini-DIN; у них внешние 4 контакта имеют то же назначение, а 3 внутренних контакта используются для разных целей (там может быть и композитный сигнал). Выход S-Video (рис. 5.5, б) легко преобразовать в сигнал для композитного входа (рис. 5.5, в); эта схема не обеспечивает должного согласования

импедансов, но дает приемлемое качество изображения. Обратное преобразование этой схемой выполняется гораздо хуже, поскольку на сигнал яркости воздействует помеха в виде сигнала цветности.

5.2.4 Интерфейсы звуковых адаптеров

Звуковая карта (адаптер) имеет набор разъемов для приема и выдачи аналоговых и цифровых аудиосигналов, а также интерфейс MIDI для связи с электронными музыкальными инструментами. Аудиоданные в цифровом виде могут передаваться также и по универсальным интерфейсам USB и FireWire. По классификации ИВВ интерфейсы для подключения аудиоустройств можно отнести к малым, периферийным или внешним ИВВ. Это относительно произвольное деление определяется типом устройств, подключаемых к этим интерфейсам. Если устройство можно отнести к исполнительным устройствам звукового адаптера (динамик, звуковые колонки, микрофон), то это малый ИВВ. Если подключается ПУ со встроенным контроллером (электронная музыкальная клавиатура, электронные музыкальные инструменты, цифровые плееры), то это периферийный ИВВ. Если подключается объект внешнего мира (телефонная, радио или телевизионная сеть), то это внешний ИВВ.

Аналоговые интерфейсы звуковых адаптеров можно отнести к малым ИВВ. Они позволяют подключать наушники, стандартную бытовую аудиоаппаратуру, микрофон, аналоговый выход CD-ROM. На большинстве карт массового потребления для аналоговых сигналов применяют малогабаритные разъемы - «мини-джеки» (jack) диаметром 3,5 мм, моно и стерео. Раскладка цепей на этих разъемах унифицирована (рис. 5.6, а): левый канал (*Left*) - на центральном контакте, экран (*GND*, «земля») - на внешнем цилиндре, правый канал (*Right*) - на промежуточном цилиндре. Если стерео разъем включить в моно гнездо и наоборот, сигнал пойдет только по левому каналу (цепь *Mono*). Все соединения в стереосистемах осуществляются «прямыми» кабелями (контакты разъемов соединяются «один в один»). Для подключения центрального и низкочастотного каналов в 6-колоночной системе единого подхода нет, и для их правильного соединения может потребоваться перекрестный кабель.

Для подключения многоканальных усилителей стали применять и трехканальные 4-контактные мини-джеки, вилки для которых пока что мало распространены, а назначение сигнальных контактов (1, 2, 3) жестко не стандартизовано.

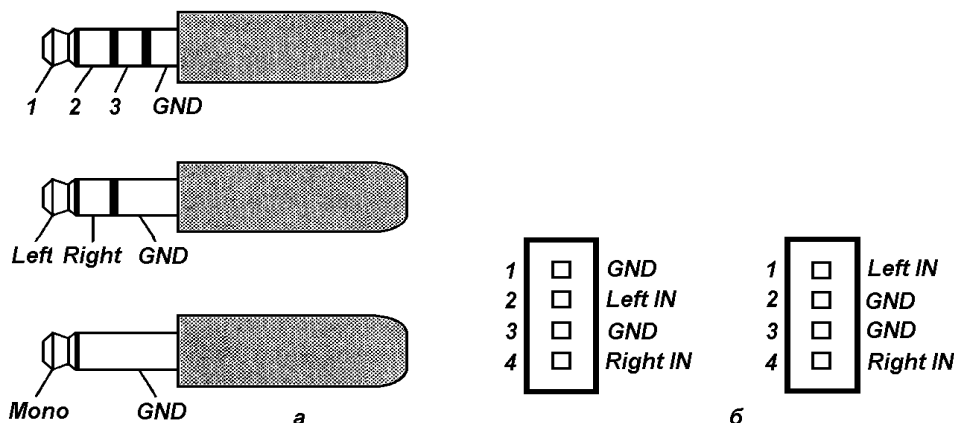


Рис. 5.6. Разъемы подключения аудиосигналов: а — мини-джеки (стерео, моно и трехканальные), б — внутренние разъемы подключения CD-ROM

На звуковых картах могут присутствовать следующие разъемы для подключения аудиоаппаратуры.

- *Line In* — линейный вход от магнитофона, тюнера, проигрывателя, синтезатора и т. п. Чувствительность порядка 0,1-0,3 В.
- *Line Out* — линейный выход сигнала на внешний усилитель или магнитофон, уровень

сигнала порядка 0,1-0,3 В.

- *Speaker Out* — выход на акустические системы или головные телефоны (наушники). Подключать к нему внешний усилитель мощности нецелесообразно, поскольку здесь искажения больше, чем на линейном выходе.
- *Mic In* — микрофонный вход, чувствительность 3-10 мВ. Этот вход обычно монофонический, но иногда используется трехконтактное гнездо (как в стерео), у которого дополнительный контакт (на месте правого канала) выделен для подачи питания на электретный микрофон.

Для подключения внутренних устройств к аналоговым входам используются четырехштырьковые разъемы, различающиеся как шагом между выводами, так и их назначением. Для подключения CD-ROM часто ставят рядом два, а то и три разъема с параллельно соединенными сигнальными контактами. Вид и варианты расположения сигнальных контактов аудиовходов приведены на рис. 5.6, б.

Цифровые интерфейсы звукового адаптера также можно отнести к классу малых ИВВ. Как и аналоговые интерфейсы звуковых адаптеров, они могут использоваться для подключения к ПК бытовой аудиоаппаратуры, в основном - цифровой.

S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) - цифровой последовательный интерфейс (и форматы данных) для передачи аудиосигналов между блоками бытовой цифровой аудиоаппаратуры типа плееров на DAT (Digital Audio Tape) или CD-ROM и т. п. Этот интерфейс является упрощенным вариантом студийного интерфейса AES/EBU (Audio Engineers Society/European Broadcast Union). Интерфейс AES/EBU использует симметричный двухпроводный экранированный кабель с импедансом (волновым сопротивлением) 110 Ом, разъемы XLR, уровень сигнала 3-10 В, длина кабеля до 12 м.

По интерфейсу S/PDIF информация передается в последовательном коде покадрово, с обеспечением синхронизации и контролем достоверности передачи (кодами Рида-Соломона). В кадре имеется признак формата данных - PCM (Pulse Code Modulation - импульсно-кодовая модуляция) или не PCM, что позволяет по данному интерфейсу передавать и упакованные цифровые данные (например, MPEG для AC-3). Имеется также бит защиты от копирования, признак предискажений и некоторые другие служебные данные. В режиме PCM выборки каждого канала могут иметь разрядность 16, 20 или 24 бит, частота выборок определяет частоту цифрового сигнала. Приемник S/PDIF сам определяет частоту выборок по принимаемому сигналу, наиболее используемые частоты - 32, 44,1 и 48 кГц.

Для вывода на акустические системы через интерфейс S/PDIF используется *ресивер* — приемник и декодер сигнала S/PDIF с усилителями мощности.

Интерфейс I²S (Inter I²C Sound, тоже разработка Sony и Philips) предназначен для передачи двухканального (стерео) PCM-потока между микросхемами цифровых аудиосистем. Этот интерфейс может использоваться для подключения к звуковым картам дополнительных АЦП и ЦАП. Протокол I²S крайне прост (рис. 5.7).

В интерфейсе I²S используются всего три сигнальных линии:

- *SCK* — постоянный сигнал синхронизации, по фронту которого выбираются остальные сигналы;
- *WS* (Word Select) — выбор передаваемого слова (0 — левый канал, 1 — правый);
- *SD* — последовательные данные в дополнительном коде, передаваемые старшим битом вперед. Это позволяет использовать интерфейс при несовпадении разрядности приемника и передатчика. Приемник лишние (для него) биты игнорирует, недостающие считает нулевыми. Начало каждого слова (PCM-отсчета) отмечается сменой состояния сигнала *WS* (оно происходит на такт раньше передачи старшего бита, что облегчает синхронизацию приемника). Сигналами *SCK* и *WS* управляет *контроллер интерфейса*, в роли

которого может быть либо передатчик, либо приемник, либо внешнее (по отношению к ним) устройство. Передатчик (и контроллер) на шине интерфейса всегда один, приемников может быть несколько.

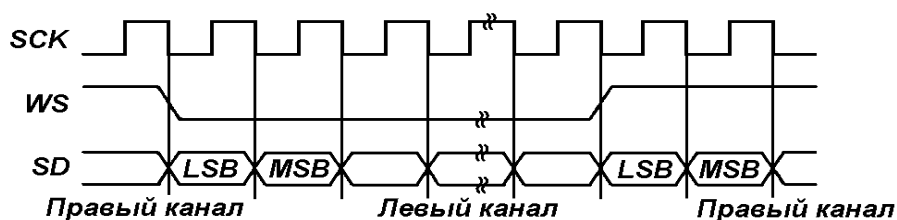


Рис. 5.7. Временная диаграмма передач по шине I²S

Помимо этих интерфейсов в студийной аппаратуре применяют интерфейсы ADAT и TDIF, которые имеются только на дорогих профессиональных звуковых картах.

5.2.5. Интерфейс игровых устройств: Game порт

Игровые устройства - джойстик, руль и педали автомобиля или иные, вырабатывают некоторые аналоговые и дискретные сигналы, которые можно ввести в компьютер. С самых первых моделей IBM PC был введен и фактически стандартизован малый ИВВ - игровой порт (*Game port*), к которому можно подключить до двух джойстиков или иных устройств. (В названии интерфейса – «игровой порт» понятие порт рассматривается как «точка подключения» к ПК игровых устройств, аналогично понятиям COM порт, LPT порт и т.д.). Суммарно в интерфейсе доступно 4 координатных датчика ($X1$, $X2$, $Y1$ и $Y2$), изменяющих сопротивление, и 4 дискретных входа для кнопок управления. Назначение координатных датчиков зависит от игры и конструкции манипулятора. Кроме игровых целей порт может применяться и для подключения «серьезных» датчиков.

Современные игровые устройства имеют свой «интеллект» (микроконтроллер) и подключаются к компьютеру цифровым интерфейсом - по периферийным ИВВ USB или RS-232C (COM-порт). Их функциональные возможности богаче, они позволяют устанавливать и двустороннюю связь с игроком (вводить механические воздействия).

Достаточно подробное описание Game порта можно найти в [21].

Контрольные вопросы

1. Какие интерфейсы относятся к малым ИВВ?
2. Какие интерфейсы ПК можно отнести к малым ИВВ?
3. Дайте краткую характеристику ИВВ НГМД.
4. Опишите логику взаимодействия контроллера и НГМД на сигнальном уровне.
5. Дайте краткое описание разъемов и кабеля ИВВ НГМД.
6. Как реализуется программное взаимодействие с НГМД.
7. Дайте краткую характеристику ИВВ ST-506/412.
8. Дайте краткую характеристику ИВВ ESDI.
9. Дайте краткую характеристику дискретному интерфейсу RGB TTL.
10. Дайте краткую характеристику аналоговым малым интерфейсам RGB.
11. Дайте краткое описание временных диаграмм интерфейсов RGB.
12. Какие данные являются исходными для расчета всех параметров синхронизации в интерфейсах RGB?
13. Охарактеризуйте сигналы интерфейса видеомонитора VGA.
14. Охарактеризуйте способы идентификации видеомониторов и управления энергопотреблением.
15. Каковы причины появления цифровых интерфейсов видеомониторов?
16. Какова пропускная способность цифровых интерфейсов видеомониторов?

17. Охарактеризуйте схему цифрового интерфейса, отвечающего требованиям спецификации FPDE-2 VESA (рис. 5.2).
18. Чем отличаются интерфейсы P&D, DVI и DFP?
19. Охарактеризуйте интерфейсы P&D.
20. Охарактеризуйте интерфейс DFP.
21. Охарактеризуйте интерфейс DVI.
22. В чем заключается идея помещения буферной видеопамяти в видеомонитор?
23. Охарактеризуйте особенности передачи яркостной и цветовой информации по телевизионным каналам.
24. Охарактеризуйте телевизионную систему NTSC.
25. Охарактеризуйте телевизионную систему PAL.
26. Охарактеризуйте телевизионную систему SECAM.
27. Для чего может быть использован в ПК телевизионный интерфейс?
28. Охарактеризуйте композитный интерфейс.
29. Охарактеризуйте интерфейс S-Video.
30. Охарактеризуйте аналоговые интерфейсы звуковых карт.
31. Охарактеризуйте цифровой интерфейс S/PDIF.
32. Охарактеризуйте интерфейс I²S.
33. Для чего используется игровой порты (Game Port)?

Дополнительную информацию по малым ИВВ ИРПР, ИРПС, С2 и по другим малым интерфейсам мини- и микро-ЭВМ можно найти в [18]. Более полную информацию по малым ИВВ ПК можно найти в [8], [18], [21], [28]. Подробную информацию о контроллере FDC (НГМД), его регистрах, поддерживаемых им командах и о программном взаимодействии с ним можно найти в [8], [28 – 30], [59].

Дополнительную информацию по тематике данной главы можно найти в [66].

В данной главе использованы материалы из [1], [8], [18], [21], [28].

Глава 6.

Периферийные интерфейсы ввода-вывода

6.1. Общие сведения

Данный раздел посвящен периферийным интерфейсам ввода-вывода (ПИБВ), позволяющим расширять функциональные возможности компьютера, подключая к нему разнообразное периферийное оборудование и, по необходимости, устройства и объекты внешнего мира. В рамках ЕС-ЭВМ, мини- и микро-ЭВМ понятие "периферийные интерфейсы" не вводилось. Вместо него использовалось понятие "малые интерфейсы". Малые интерфейсы были сориентированы на подключение относительно простых ПУ, не имеющих в своем составе программируемых или программно управляемых контроллеров. Контроллерами таких ПУ являлись: или специальные устройства управления (контроллеры), подключаемые к шине ИВВ хоста и имеющие в своем составе программно доступные ЦП регистры (порты), через которые производилось программное взаимодействие и управление работой контроллеров и осуществлялся опосредованный доступ ЦП к ПУ через малые интерфейсы; или ЦП, который через порты ввода-вывода адаптеров малых интерфейсов непосредственно управлял работой ПУ и обменом данными с ними.

ПИБВ являются промежуточными интерфейсами, предназначенными для организации обмена данными и сообщениями, а иногда и сигналами между шинами ИВВ хоста и находящимися на определенном расстоянии от хоста контроллерами ПУ (КПУ). Протоколы работы этих ПИБВ, как правило, значительно отличаются от протоколов работы ИВВ хоста и протоколов внутренних интерфейсов КПУ. Поэтому для подключения шин ПИБВ к шинам ИВВ хоста используются хост-адаптеры, которые в своем составе должны иметь: интерфейсный модуль подключения к шине ИВВ хоста; интерфейсный модуль подключения к шине ПИБВ; функциональный модуль, обеспечивающий преобразование протоколов, используемых в этих интерфейсах. Аналогично, КПУ должен иметь интерфейсный модуль для подключения к шине ПИБВ, интерфейсный модуль для подключения к малому интерфейсу и функциональный модуль, согласующий протоколы ПИБВ и малого ИВВ.

Периферийные ИВВ условно можно разбить на три группы:

1. Специализированные ПИБВ, которые используются для подключения к хосту ПК специализированных периферийных устройств (клавиатура, PS/2 Mouse, музыкальные инструменты, накопители на жестких и оптических дисках), у которых их контроллеры находятся в едином конструктиве с исполнительными устройствами. В рамках этой группы мы рассмотрим цифровой интерфейс музыкальных инструментов MIDI, интерфейсы клавиатуры, манипулятора PS/2 Mouse и интерфейсы накопителей на жестких и оптических дисках (IDE - ATA/ATAPI и SATA).
2. Беспроводные ПИБВ в которых в качестве среды передачи используется эфир. В эфире могут использоваться как параллельные (широкополосные), так и последовательные (моноканальные) интерфейсы. В этой главе рассматриваются беспроводные ПИБВ IrDa и Bluetooth. Они относятся к последовательным интерфейсам. IrDA в качестве носителей использует электромагнитные волны инфракрасного, а Bluetooth - радиочастотного диапазона (2,4 ГГц).
3. Универсальные ПИБВ, они используются для подключения к хосту ПК разнообразных ПУ с интегрированными контроллерами. Необходимое требование к таким ПУ - они должны иметь в своем составе интерфейсный блок, поддерживающий подключение ПУ к ПИБВ на физическом и, если это необходимо, на логическом уровне. Как правило, универсальные ПИБВ могут использоваться как для двухточечного, так и для многото-

чечного подключения, т.е. к одному хост-адаптеру интерфейса по шине интерфейса может подключаться или одно ПУ, или одновременно несколько разнотипных или однотипных устройств.

ПИВВ могут также использоваться и как внешние ИВВ для взаимодействия с объектами внешнего мира. Некоторые универсальные ПИВВ могут использоваться и как малые ИВВ (их родоначальниками являлись малые ИВВ).

6.2. Специализированные периферийные интерфейсы ввода-вывода ПК

6.2.1. Интерфейс MIDI

Интерфейс *MIDI* (Musical Instrument Digital Interface - цифровой интерфейс музыкальных инструментов) является последовательным асинхронным интерфейсом с частотой передачи 31,25 Кбит/с. Этот интерфейс был разработан в 1983 году, для сопряжения компьютеров, синтезаторов, записывающих и воспроизводящих устройств, микшеров, устройств специальных эффектов и другой электромузыкальной техники. В настоящее время интерфейс MIDI имеют и дорогие синтезаторы, и дешевые музыкальные клавиатуры, применяемые в качестве устройств ввода компьютера. Сообщения MIDI широко используются и для передачи музыкальных записей (на дисках и по сети), и как выходной аудиоинтерфейс игр и прочих «звучащих» приложений. Описание музыкальных фрагментов в формате MIDI очень компактно: минута MIDI (файлы с расширением .MID) может занимать менее 10 Кбайт, в то время как минута оцифрованного звука (файлы с расширением .WAV) с качеством аудио-CD занимает около 10 Мбайт. Однако формат MIDI позволяет воспроизводить лишь звуки, на которые способен синтезатор на исполняющей стороне, в то время как механизм цифрового аудио воспроизводит любые звуки.

На физическом уровне в MIDI применяется *токовая петля 5 мА* (возможно до 10 мА) с гальванической (оптронной) развязкой входной цепи. Логическому нулю соответствует наличие тока, логической единице (и покою) - отсутствие тока (в «классической» токовой петле телекоммуникаций - наоборот). Соединительный кабель MIDI представлен на рис. 6.1.

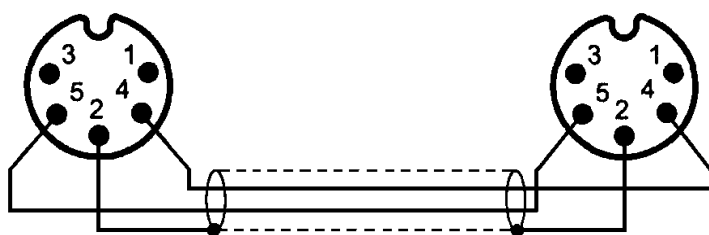


Рис. 6.1. Соединительные кабели MIDI

Интерфейс определяет три типа портов: *MIDI-In*, *MIDI-Out* и *MIDI-Thru*.

Входной порт MIDI-In представляет собой вход интерфейса «токовая петля», 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, гальванически связанного со схемой устройства. На выход подается информационный поток от данного устройства.

Транзитный порт MIDI-Thru служит только для ретрансляции входного потока и по электрическим свойствам он аналогичен выходному. Его наличие обязательным для всех

устройств не является.

В качестве разъемов применяются 5-контактные разъемы DIN, распространенные в бытовой звуковой аппаратуре.

На большинстве плат звуковых адаптеров сигналы порта MIDI выведены на неиспользуемые контакты (12 и 15) разъема игрового адаптера (DB-15S). При этом для подключения стандартных устройств MIDI требуется *переходной адаптер*, реализующий интерфейс «токовая петля» (на разъеме карты используются сигналы ТТЛ уровней). Переходной адаптер обычно встраивается в специальный кабель, вариант схемы которого приведен в [20 - 22].

Поток данных MIDI исходит от MIDI-контроллера или от MIDI-секвенсора. *MIDI-контроллер* представляет собой устройство, на котором играют, как на музыкальном инструменте (чаще всего это клавиатура). MIDI-контроллер формирует поток сообщений, отражающий события исполнения (нажатие и отпускание клавиш) в реальном времени. *MIDI-секвенсор* (sequencer) - устройство, позволяющее перехватывать, хранить и редактировать (включая комбинирование, наложение и генерацию) поток MIDI-сообщений и воспроизводить его в заданном темпе. Исходящий поток MIDI-контроллера или MIDI-секвенсора поступает на его разъем *MIDI-Out*. Для использования в качестве секвенсора компьютер должен иметь порт MIDI и соответствующее прикладное ПО, а также иметь производительность, достаточную для работы в реальном времени. Конечным приемником потока MIDI-сообщений является *звуковой модуль* (sound module) - синтезатор, формирующий аудиосигнал на основе приходящих к нему команд. Применительно к ПК синтезатор может входить в состав звуковой карты, а может быть и внешним. Каждому звуковому модулю назначается свой номер *логического канала* (MIDI Channel) в диапазоне 1-16. Порт *MIDI-Thru* позволяет соединять устройства в цепочки и более сложные структуры. Возможные варианты топологии должны подчиняться главному правилу: вход *MIDI-In* одного устройства должен подключаться к выходу *MIDI-Out* или *MIDI-Thru* другого устройства.

Сообщения MIDI разделяются на каналные (channel messages) и системные (system messages).

Канальные сообщения в свою очередь подразделяются на *голосовые* и *управляющие* (channel mode messages). *Голосовые сообщения* несут основную исполнительную информацию. *Управляющие сообщения* определяют, как именно звуковой модуль должен обрабатывать голосовые сообщения.

Системные сообщения служат для синхронизации с видеооборудованием и ленточными записывающими устройствами, выбора произведения и позиции воспроизведения, настройки аналоговых синтезаторов.

Более подробную информацию по интерфейсу MIDI можно найти в [20], [21], [22], [40].

6.2.2. Интерфейсы клавиатуры и PS/2 Mouse

6.2.2.1. Общие сведения

Подсистемы клавиатуры и манипуляторов являются составной частью системы ввода-вывода персональных компьютеров и входят в состав интерфейса пользователя, обеспечивая, совместно с видео подсистемой, интерактивное взаимодействие пользователя с ПК.

Клавиатура и манипулятор типа PS/2 Mouse относятся к устройствам со встроенными контроллерами и подключаются к хосту ПК через хост-адаптер их аппаратных интерфейсов (адаптер клавиатуры и PS/2 Mouse), выполненный на базе однокристалльной микро-ЭВМ (микроконтроллера) типа i8042. Встроенные контроллеры выполняют функции управления

работой клавиатуры и манипулятора в различных программно устанавливаемых режимах, а также функции управления их взаимодействием с ПК на физическом и канальном уровнях.

Клавиатура и PS/2 Mouse имеют системную поддержку на уровне BIOS - Basic Input-Output System. Для клавиатуры, как для основного компонента интерфейса пользователя, в BIOS реализован как обработчик прерывания клавиатуры INT 09h (линия IRQ 1 подсистемы аппаратных прерываний, адрес вектора прерывания 0000:0024h), так и драйвер клавиатуры, представленный функциями программного прерывания INT 16h (драйвера клавиатуры). Манипулятор PS/2 Mouse в рамках BIOS поддерживается только на уровне драйвера, представленного подфункциями 00 - 07 функции C2h программного прерывания INT 15h. Обработчик прерывания INT 74h (линия IRQ 12 подсистемы аппаратных прерываний, вектор прерывания 0000:01D0h) на уровне BIOS не поддерживается и реализуется в рамках операционных систем (ОС), или в рамках приложений. На уровне регистров (на уровне команд ввода-вывода процессора) клавиатура и PS/2 Mouse доступны по адресам 60h и 64h адресного пространства ввода-вывода (порты пространства ввода-вывода), закрепленным за адаптером клавиатуры и PS/2 Mouse. Упрощенная схема подключения к ПК клавиатуры и мыши типа PS/2 (PS/2 Mouse) показана на рис. 6.2.

На аппаратном уровне клавиатура и PS/2 Mouse взаимодействуют с контроллером адаптера через полудуплексный асинхронный интерфейс с отдельными двунаправленными линиями передачи байтов данных в последовательном формате и синхронизирующей эту передачу последовательности синхросигналов. По этим же линиям реализуется сигнальный протокол интерфейса, обеспечивающий асинхронный обмен с запросом передачи и квитированием приема байтов данных, а также управление потоком.

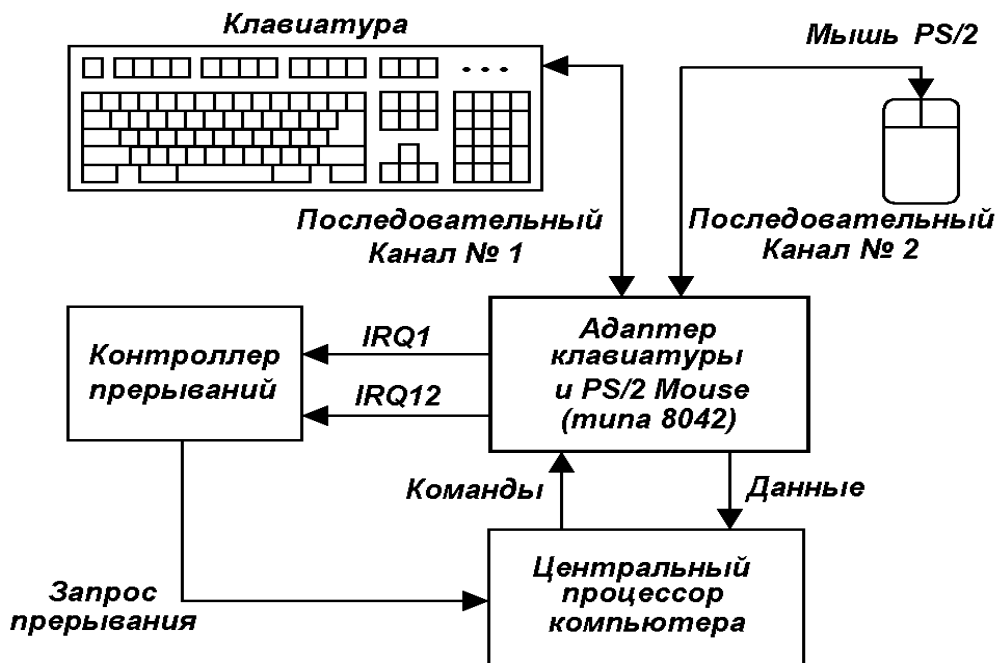


Рис. 6.2. Упрощенная схема подключения клавиатуры и манипулятора PS/2 Mouse к компьютеру

6.2.2.2. Адаптер клавиатуры и PS/2 Mouse

6.2.2.2.1. Общие сведения

Как уже упоминалось, адаптер клавиатуры и PS/2 Mouse выполнен на базе однокристальной микро-ЭВМ (микроконтроллера) типа i8042. В контроллере i8042 постоянно исполняется внутренняя микропрограмма, реагирующая на сигналы интерфейса клавиатуры и манипулятора, а также на команды и данные, поступающие от процессора хоста. Эта микропрограмма хранится во внутреннем ПЗУ контроллера; внешне она недоступна, и контроллер

можно рассматривать как устройство с заданными свойствами (адаптер). Адаптер может работать в одном из двух режимов: в режиме АТ или режиме PS/2. При инициализации (по аппаратному сбросу) адаптер устанавливается в режим PS/2 или АТ, в зависимости от соответствующей настройки BIOS Setup. В режиме АТ адаптер не выполняет функции, связанные с обслуживанием интерфейса мыши и игнорирует все команды, относящиеся к мыши. В режиме PS/2 адаптером поддерживается работа, как с клавиатурой, так и с манипулятором мышь. В этом режиме модифицируются некоторые разряды регистра состояния, регистра командного байта, а также изменяется назначение некоторых выводов портов микроконтроллера адаптера.

На рис. 6.3 приведена структурная схема адаптера клавиатуры, выполненного на базе микроконтроллера i8042, с распределением функций выводов портов, соответствующих режиму АТ. Контроллер i8042 (адаптер) подключается к хосту через шину ИВВ хоста X (в архитектуре PC/AT) при помощи программно-доступных *входного и выходного буферов*, которые представляют собой два буфера шины данных: один для ввода и один для вывода; для синхронизации взаимодействия используется *регистр состояния* (см. рис. 6.3).

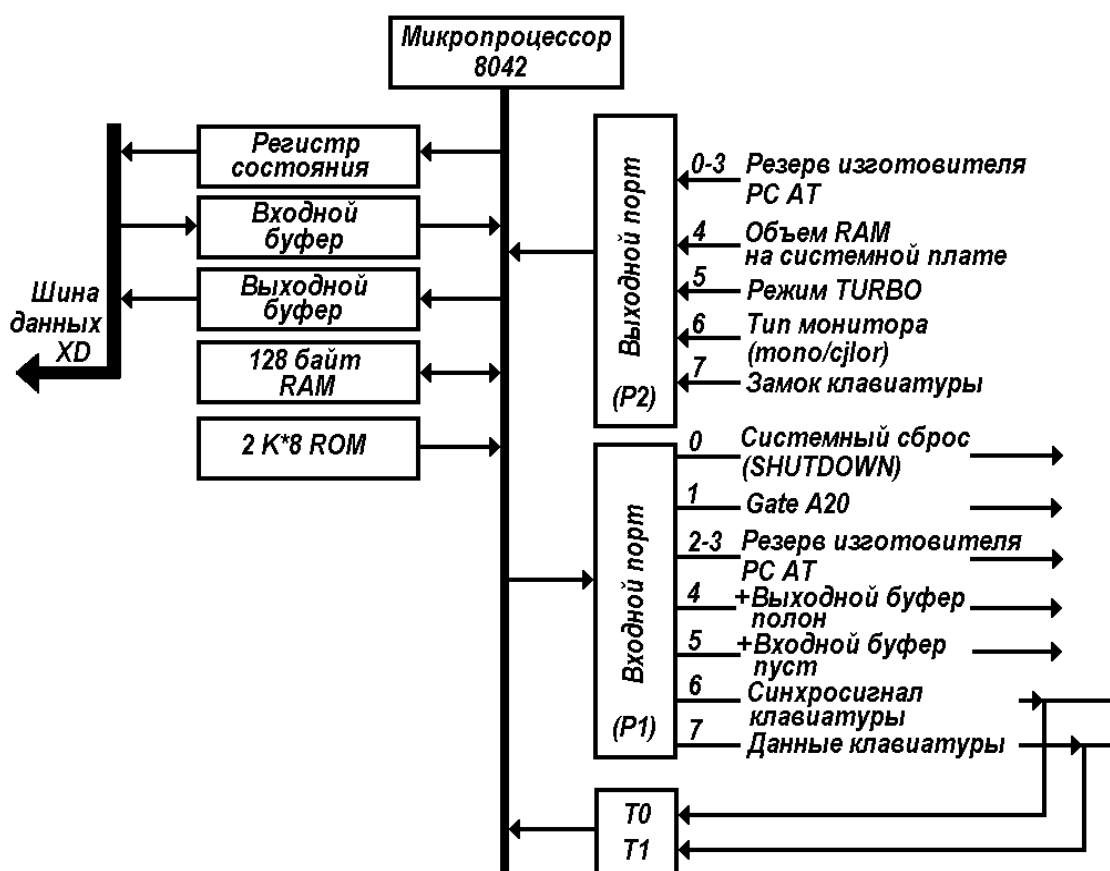


Рис. 6.3. Структурная схема адаптера клавиатуры, выполненного на базе микроконтроллера i8042.

Выходной буфер представляет собой 8-разрядный регистр, который доступен хосту только как читаемый порт с адресом 60h. Выходной буфер может быть прочитан только после того, как установлен признак "выходной буфер полон" (разряд 0 регистра состояния).

Входной буфер представляет собой 8-разрядный регистр, который доступен системе только для записи по адресам 60h или 64h. Операция записи по адресу 60h устанавливает флажок, который указывает на запись данных. Запись по адресу 64h устанавливает флажок, который указывает на запись команды для адаптера клавиатуры. Данные, записанные по адресу 60h, отсылаются клавиатуре, если не являются операндами команды для адаптера. Команда, записанная по адресу 64h, выполняется контроллером адаптера. Данные или команды могут

быть записаны во входной буфер только после того, как сброшен признак "входной буфер полон" (разряд 1 регистра состояния).

Регистр состояния, доступный для чтения по адресу 64h, несет информацию о состоянии адаптера и интерфейсов клавиатуры и мыши, в частности о том, когда можно читать данные из выходного буфера, или производить запись во входной буфер адаптера.

6.2.2.2.2. Программно доступные регистры адаптера

К программно доступным регистрам адаптера клавиатуры и PS/2 Mouse относятся: *регистр состояния*, *регистр команд*, *регистр данных* и *регистр командного байта*. Первые три регистра доступны центральному процессору ПК непосредственно по адресам 64h и 60h соответственно. Регистр командного байта доступен по чтению и записи через выходной и входной буфер, соответственно, с помощью специальных команд, посылаемых адаптеру (команды 20h и 60h, соответственно).

Регистр состояния представляет собой 8-разрядный регистр, который доступен системе только как читаемый порт с адресом 64h. Он содержит информацию о состоянии контроллера адаптера и интерфейсов клавиатуры и мыши и может быть прочитан в любое время. Значение наиболее используемых разрядов регистра следующее: **бит 0** - признак "выходной буфере заполнен" (0 - буфер пуст, 1 - буфер заполнен); **бит 1** - признак "входной буфер заполнен" (0 - буфер пуст, 1 - буфер заполнен); **бит 5** - в PS/2-режиме: признак "выходной буфер мыши заполнен" (0 - буфер пуст, 1 - буфер заполнен).

Регистр командного байта. *Командный байт* адаптера хранится во *внутреннем регистре командного байта* адаптера и определяет режимы работы адаптера и интерфейса. Прочитать и записать командный байт можно с помощью команд адаптера 20h и 60h, соответственно. Наиболее значимые разряды регистра имеют следующее назначение: **бит 0** - управление выдачей сигнала прерывания по готовности данных в выходном буфере клавиатуры (выходной буфер адаптера) (0 - генерация прерывания запрещена, 1 - разрешена); **бит 1** - управление выдачей сигнала прерывания по готовности данных в выходном буфере мыши (0 - генерация прерывания запрещена, 1 - разрешена); **бит 4** - управление интерфейсом клавиатуры (0 - обмен данными с клавиатурой разрешен, 1 - запрещен); **бит 5** - управление интерфейсом мыши в PS/2-режиме (0 - обмен данными с мышью разрешен, 1 - запрещен); **бит 6** - преобразование скан-кодов в PC-совместимые (0 - выключено, 1 - включено); по умолчанию имеет значение 1, то есть скан-коды преобразуются в PC-совместимые.

Более подробную информацию об адаптере клавиатуры и PS/2 Mouse, о его портах, регистрах, функционировании и программировании можно найти в [38].

6.2.2.3. Интерфейсы: адаптер - клавиатура и адаптер - PS/2 Mouse

6.2.2.3.1. Общие сведения

Контроллер i8042 хост-адаптера и контроллеры клавиатуры и PS/2 Mouse связаны четырех проводными экранированными кабелями, включающими линию питания (+5 В), линию заземления, линии сигнала данных и сигнала синхронизации. Хост-адаптер взаимодействует с клавиатурой и PS/2 Mouse с помощью механизма квитирования, используя двунаправленные линии данных и синхронизации, как для синхронизированной последовательной двунаправленной передачи байтов данных, так и для реализации механизма запроса-квитирования этих передач.

Упрощенные схемы цепей данных и синхронизации интерфейсов приведены на рис. 6.4. Клавиатура и PS/2 Mouse передают и принимают данные в 11-разрядном формате. Первый разряд - стартовый, за ним следуют восемь информационных разрядов, разряд паритета и стоповый разряд. Посылка данных синхронизируется контроллером клавиатуры и мыши. В

конец передачи хост-адаптер блокирует интерфейс до тех пор, пока система не примет полученный байт. Если байт данных получен с ошибкой паритета, в клавиатуру или в PS/2 Mouse автоматически отсылается команда RESEND (код FEh).

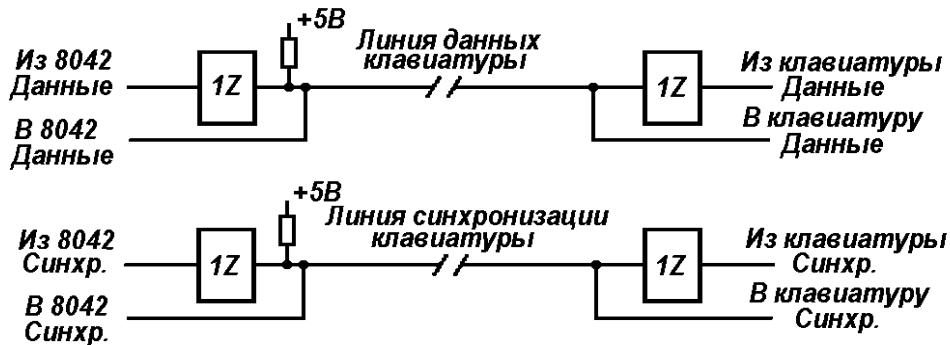


Рис. 6.4. Упрощенные схемы цепей данных и синхронизации

На рис. 6.5 показаны упрощенный 11-разрядный формат посылки и пример передачи данных.

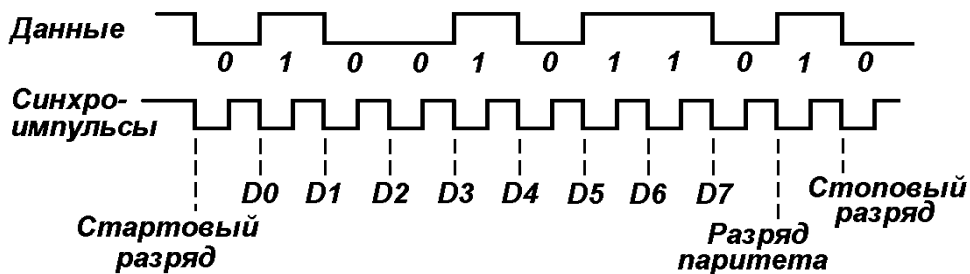


Рис. 6.5. 11-разрядные форматы передачи данных.

6.2.2.3.2. Интерфейс клавиатуры

Для подключения интерфейсного кабеля клавиатуры к ПК на задней панели системного блока имеется разъем. Вид разъема (со стороны задней панели) и назначение контактов приведены на рис. 6.6. Конструктивно возможны два варианта разъема - обычная 5-контактная розетка DIN (клавиатура AT) или малогабаритная розетка mini-DIN (PS/2). На этот же разъем через плавкий предохранитель поступает напряжение питания клавиатуры +5В.

Задание параметров автоповтора, выбор таблиц скан-кодов, управление светодиодными индикаторами, а также управление режимом работы клавиатуры и запуск диагностического теста осуществляется командами, посылаемыми хостом клавиатуре через порт 60h. Хост-адаптер интерфейса клавиатуры транслирует команды и их операнды в последовательный код и направляет его через интерфейсный кабель в клавиатуру.

Передача данных на клавиатуру и с клавиатуры осуществляется потоком 11-разрядных данных (при работе клавиатуры в режимах 2 и 3). В режиме 1 передача данных осуществляется потоком 9-разрядных данных, в которых отсутствуют разряд паритета и стоповый разряд. Подробные временные диаграммы взаимодействия контроллера хост-адаптера и контроллера клавиатуры приведены на рис. 6.7.

6.2.2.3.3. Интерфейс PS/2 Mouse

Манипулятор PS/2 Mouse подключается к ПК через полудуплексный асинхронный последовательный интерфейс, аналогичный интерфейсу клавиатуры и обслуживается, как правило, тем же хост адаптером. На физическом уровне хост адаптер и интерфейс обеспечивают передачу и прием по линиям данных и синхронизации последовательностей электрических сиг

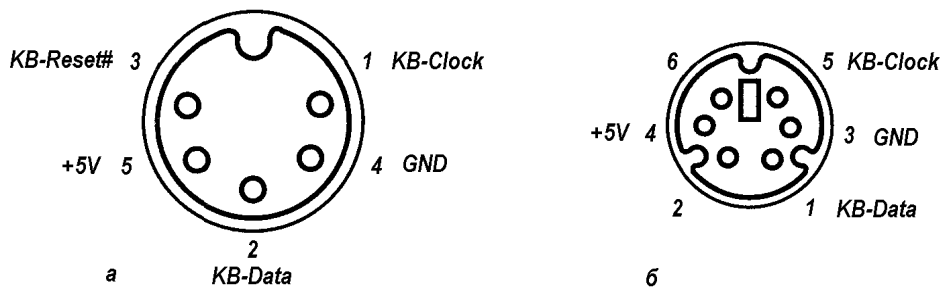


Рис. 6.6. Разъемы (вид со стороны контактов) подключения клавиатур: а - АТ и б - PS/2

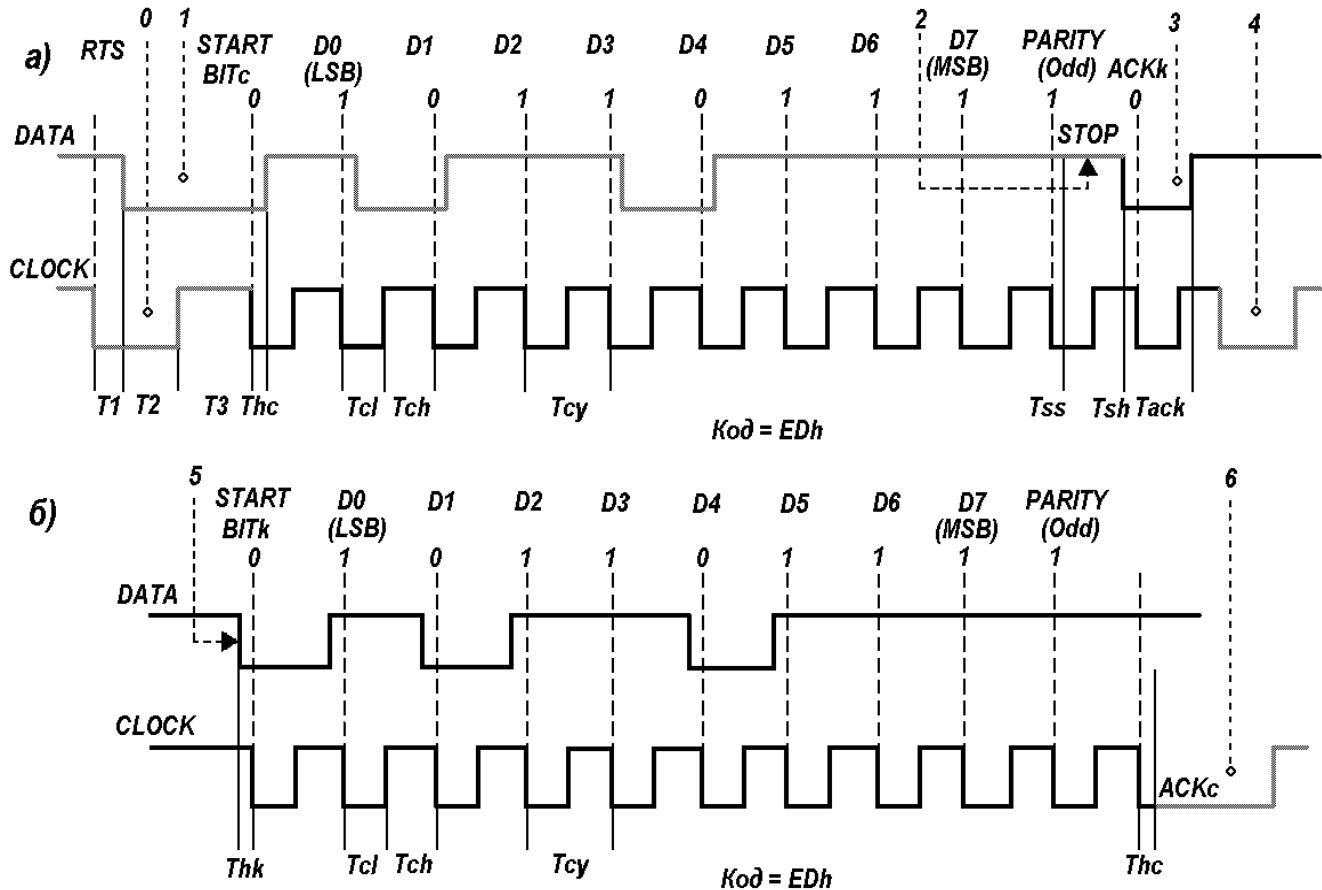


Рис. 6.7. Временные диаграммы взаимодействия контроллера хост адаптера и контроллера клавиатуры: а) - передача данных хост адаптером в клавиатуру; б) - передача данных клавиатурой в хост адаптер (серым цветом обозначены сигналы, формируемые контроллером хост адаптера, черным - контроллером клавиатуры).

Фазы приема-передачи:

- 0 - *CLOCK* - совместно с низким уровнем линии *DATA* рассматривается клавиатурой как сигнал *RTS* - запрос на передачу данных от хост адаптера в клавиатуру;
- 1 - *DATA* - сигнал низкого уровня, формируемый хост адаптером как стартовый разряд передаваемых в клавиатуру данных;
- 2 - *DATA* - сигнал высокого уровня, формируемый хост адаптером как стоповый разряд *STOP*;
- 3 - *DATA* - сигнал низкого уровня, устанавливаемый контроллером клавиатуры как сигнал *ACKk* подтверждения приема данных от хост адаптера;
- 4 - *CLOCK* - сигнал низкого уровня, формируемый хост адаптером как сигнал запроса на передачу клавиатурой байта подтверждения приема байта команды или байта ее операнда;
- 5 - *DATA* - сигнал низкого уровня, формируемый контроллером клавиатуры как стартовый разряд *START BITk* при передаче данных с клавиатуры в хост адаптер;
- 6 - *CLOCK* - сигнал низкого уровня, формируемый хост адаптером после приема очередного байта данных с клавиатуры; может использоваться клавиатурой, как сигнал подтверждения приема хост адаптером очередного байта данных с клавиатуры (*ACKc*).

налов, с помощью которых реализуется передача и прием последовательностей битов информации, синхронизация передачи и приема, а также асинхронный протокол обмена, предусматривающий запросы и квитирование передач, и управление потоком данных. Отличия от интерфейса клавиатуры выражаются только в отличие некоторых временных параметров сигналов и правилами подачи смещения на линии данных и синхронизации.

Интерфейсный разъем PS/2 Mouse аналогичен разъему PS/2 клавиатуры (6-pin mini-DIN). Вид разъема (со стороны задней панели системного блока) и назначение контактов приведены на рис. 6.8.

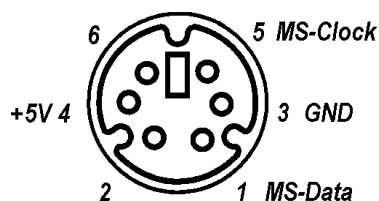


Рис. 6.8. Разъем PS/2 Mouse

Достаточно подробную информацию о программном взаимодействии с клавиатурой и PS/2 Mouse на уровне команд и на уровне сервисов BIOS INT 15h и INT 16h можно найти в [34], [37], [38]. О поддержке клавиатуры на уровне BIOS можно найти в [37], [38]

6.2.3. Периферийные ИВВ IDE - АТА/АТАРІ и SATA

6.2.3.1. Общие сведения

Интерфейс АТА (Advanced Technology Attachment) появился в результате воплощения идеи переноса контроллера дисководов непосредственно на накопитель. Так появился класс *устройств хранения данных со встроенным контроллером (Integrated Drive Electronics - IDE)*. Такие устройства имеют ряд преимуществ перед устройствами с отдельным контроллером:

- За счет минимального удаления контроллера от диска удается существенно повысить быстродействие.
- Снимается проблема совместимости накопителей и контроллеров по физическим форматам записи.
- Появляется большой простор для внутренних усовершенствований устройств, направленных на повышение производительности, надежности, плотности хранения информации и другие цели.
- Упрощается схемотехника адаптера подключения устройств к шине ИВВ хоста.

Интерфейсы класса АТА являются самыми массовыми интерфейсами устройств хранения данных, причем не только в мире РС-совместимых компьютеров. Они представлены как «классическими» параллельными вариантами PATA (Parallel ATA - параллельный интерфейс АТА), так и последовательными интерфейсами Serial ATA (SATA-1, SATA-2 и SATA-3).

Параллельный интерфейс АТА был введен в конце 1980-х годов как интерфейс для подключения накопителей на жестких магнитных дисках к компьютерам IBM PC AT с шиной ISA. Для связи устройства с системной шиной ISA использовали ленточный кабель с *параллельным шинным интерфейсом*, получившим названия *АТА* и *ІДЕ*, которые, фактически, являются синонимами. В этом интерфейсе используются сигналы шины ISA, часть из которых буферизовали на небольшой плате адаптера ІДЕ, устанавливаемого в слот ISA, а часть направили прямо на разъем нового интерфейса.

При переносе регистровая модель контроллера жестких дисков (HDC) была сохранена из

соображений совместимости. Поскольку стандартный контроллер АТ позволял подключать до двух накопителей, эту возможность получил и интерфейс АТА. Однако теперь два накопителя стали означать и два контроллера, подключенных к одной интерфейсной шине. Чтобы сохранить программную совместимость со стандартным контроллером HDC, к которому подключено два накопителя, оба контроллера в новом интерфейсе должны располагаться в пространстве ввода-вывода по одним и тем же адресам, выделенным стандартному контроллеру HDC.

Интерфейс АТА предназначен для обмена с устройствами хранения *блоками* фиксированного размера - *секторами* по 512 байт. Адресация данных внутри устройств АТА имеет «дисковые корни»: для накопителей изначально указывали адреса цилиндра (cylinder), головки (head) и сектора (sector) - так называемая *трехмерная адресация CHS*. Позже пришли к *линейной* адресации логических блоков (Logical Block Address - LBA), где адрес блока (сектора) определяется 28-битным числом. Трехмерная и 28-битная линейная адресация в АТА имеют предел емкости устройств в 136,9 и 137,4 Гбайт соответственно, что по нынешним меркам недостаточно. В современных версиях интерфейса линейную адресацию расширили до 48-битной, при этом предел адресации составляет $2^{48} = 281\,474\,976\,710\,656$ секторов, или около 144 Пбайт (петабайт), то есть 144 115 188 075 855 360 байт. Устройство может поддерживать различные форматы адресации, причем формат адреса может меняться даже в соседних командах.

Принятая система команд и регистров, являющаяся частью спецификации АТА, ориентирована на блочный обмен данными с жесткими магнитными дисками - устройствами хранения с непосредственным доступом. Позже спецификацию расширили для иных устройств хранения:

- Спецификация АТАPI позволяет передавать *пакет*, содержащий *командный блок* (откуда и часть названия PI — Package Interface). Структура командного блока заимствована из SCSI, его содержимое определяется типом подключенного устройства: ленточного, оптического (CD, DVD), магнитооптического и т. п. АТАPI позволяет расширить границы применения ИВВ АТА, введя всего лишь одну новую команду передачи управляющего пакета.
- Набор дополнительных команд CFA (Compact Flash Association) введен для устройств хранения на флэш-памяти. От обычных устройств хранения (с непосредственным доступом) флэш-память отличается сравнительно длительным стиранием данных перед перезаписью. Группа дополнительных команд позволяет более эффективно работать с этими устройствами (хотя возможен доступ к ним и обычными, «дисковыми» командами АТА).

Параллельный интерфейс АТА исчерпал свои ресурсы пропускной способности, достигшей 133 Мбайт/с в режиме Ultra DMA Mode 7. Для дальнейшего повышения пропускной способности интерфейса было принято решение о переходе от параллельной шины к *последовательному двухточечному интерфейсу Serial ATA (SATA)*. Цель перехода - улучшение и удешевление кабелей и коннекторов, улучшение условий охлаждения устройств внутри системного блока (избавление от широкого шлейфа), обеспечение возможности разработки компактных устройств, облегчение конфигурирования устройств пользователем.

Интерфейс SATA позволяет сохранить (и развивать) сложившуюся систему команд АТА/АТАPI, что обеспечивает преемственность и программную совместимость со старым ПО. Поначалу интерфейс SATA отличался только способом транспортировки данных и команд между адаптером и устройствами. Главная революция в организации обмена с устройствами хранения произведена в спецификации SATA 2. В ней описан эффективный механизм обслуживания очередей - NCQ (*Native Command Queuing* - аппаратная установка очередности команд), основанный на базе механизма FPDMA (First Party Direct Memory Access – принцип организации системы накопитель - хост - память, позволяющий контрол-

леру хост-адаптера выбирать в режиме busmastering подходящую область в хост-памяти для чтения/записи поставленными в очередь командами). Для SATA 2 появилась новая спецификация контроллера - AHCI (Advanced Host Controller Interface), которая меняет и идеологию взаимодействия (сохраняя команды), что выводит SATA на «профессиональный» уровень интерфейса устройств хранения, почти не уступающий по возможностям интерфейсу SCSI. Новая спецификация SATA 3 отличается от предыдущей в основном увеличением скорости передачи с 3 до 6 GB/s (600 мегабайт/с).

Разработкой спецификаций ATA/ATAPI занимается технический комитет T13 (прежде - T10) Международного комитета по стандартизации в области информационных технологий (INCITS). Разработанные им спецификации оформляются в виде стандартов ANSI. Развитие интерфейса отражает история спецификаций, начавшаяся с ATA-1 (1994 г.). В 2005 году обсуждаются спецификации ATA/ATAPI-7 и ATA/ATAPI-8, в которые входят как параллельные шины (PATA), так и последовательные интерфейсы (SATA). В Сети можно найти спецификации параллельной шины ATA/ATAPI (<http://www.tl3.org>) и последовательного интерфейса Serial ATA (<http://www.serialata.org>).

6.2.3.2. Параллельный интерфейс ATA

6.2.3.2.1. Общие сведения

Для устройств IDE существуют несколько разновидностей параллельного интерфейса ATA (IDE). Устройства ATA IDE, E-IDE, ATA-2, Fast ATA-2, ATA-3, ATA/ATAPI-4, ATA/ATAPI-5 и ATA/ATAPI-6 электрически совместимы. Степень логической совместимости довольно высока (все базовые возможности ATA доступны). Однако для полного использования всех расширений необходимо соответствие спецификаций устройств, хост-адаптера и его ПО. Приводимые далее описания опираются на спецификации ATA (до ATA/ATAPI-6 включительно).

6.2.3.2.2. Физический интерфейс

В параллельный ИВВ ATA все сигналы на его шине соответствуют стандартной логике ТТЛ. В наиболее распространенном варианте интерфейса все его информационные сигналы передаются через 40-контактный разъем, у которого ключом является отсутствующий на вилке и закрытый на розетке контакт 20.

Для соединения устройств применяется плоский многожильный кабель-шлейф, длина кабеля не должна превышать 0,46 м.

Спецификация ATA «узаконивает» как 40-контактный интерфейсный разъем, так и 4-контактный разъем питания, но для малогабаритных устройств питание может подаваться по 44-проводному интерфейсному кабелю. Для малогабаритных внешних устройств существует довольно распространенный разъем HP 36, но в спецификацию ATA/ATAPI он не входит. Для устройств хранения на флэш-памяти используется коннектор, соответствующий спецификации Compact Flash Association. Для блокнотных ПК в стандарте имеется вариант интерфейса IDE на 68-контактном разъеме PCMCIA (PC Card).

Для устойчивой работы в режиме Ultra DMA рекомендуется применение 80-проводных кабелей, обеспечивающих чередование сигнальных цепей и проводов схемной земли (GND). Такие кабели, требующиеся для режимов UltraDMA выше 2 (скорость выше 33 Мбайт/с), разводятся на специальные разъемы, имеющие 40-контактные гнезда с обычным назначением контактов, но ножевые контакты обеспечивают врезку 80 проводов. При двухточечном соединении (хост-адаптер - устройство) для режимов Ultra DMA Mode 3 и 4 можно использовать 40-проводный кабель (без среднего разъема).

6.2.3.2.3. Назначение сигналов АТА

В документации на устройства могут быть указаны несколько различающиеся обозначения сигналов. Здесь приведены обозначения из стандарта АТА/ АТАPI-4:

- RESET# (device reset) - сброс устройства (инвертированный сигнал сброса ИВВ хоста).
- DA[2:0] (device address) - три младших бита шины адреса ИВВ хоста (системного ИВВ), используемые для выбора регистров устройств.
- DD[15:0] (device data) - двунаправленная 16-битная шина данных между хост-адаптером и устройствами.
- DIOR# (device I/O read) - строб чтения портов ввода-вывода.
- DIOW# (device I/O write) - строб записи портов ввода-вывода.
- IORDY (I/O channel ready) - готовность устройства завершить цикл обмена; сигнал требуется при обмене в режиме PIO Mode 3 и выше.
- IOCS16# - разрешение 16-битных операций. Обращение ко всем регистрам, кроме регистра данных, всегда 8-битное. Начиная с АТА/АТАPI-3 не используется.
- DMARQ (DMA request) - запрос обмена по каналу DMA (необязательный).
- DMACK# (DMA acknowledge) - подтверждение DMA.
- INTRQ (interrupt request) - запрос прерывания, вырабатывает только выбранное устройство, когда у него имеется необслуженный запрос прерывания и выработка сигнала не запрещена битом nIEN в регистре Device Control.
- CS0# (chip select 0) - сигнал выбора регистра командного блока (command block registers). Для первого канала он вырабатывается при наличии на шине ИВВ хоста адреса порта ввода-вывода в диапазоне 1F0h - 1F7h (сигнал также называют CS1FX#).
- CS1# (chip select 1) - сигнал выбора регистра управляющего блока (control block registers). Для первого канала он вырабатывается при наличии на шине ИВВ хоста адреса порта ввода-вывода в диапазоне 3F6h - 3F7h (часто этот сигнал называют CS3FX#).
- PDIAG# (passed diagnostics) - сигнал о прохождении диагностики. Сигнал служит только для связи двух устройств и хост-адаптером не используется.
- CBLID# (cable assembly type identifier) - идентификация типа кабеля. В 80-про-водной сборке контакт 34 на разъеме хост-адаптера соединяется с шиной GND, а контакты 34 разъемов устройств соединяются между собой и связи с разъемом хост-адаптера не имеют.
- DASP# (device active, slave present) - сигнал двойного назначения: индикатор активности устройства и присутствия ведомого устройства.
- SPSYNC/CSEL (spindle synchronization/cable select) - синхронизация шпинделя (отменен, начиная с АТА/АТАPI-3) или выборка кабелем. Сигнал CSEL позволяет устройствам определять свой адрес по положению на специальном кабеле. Эта линия на хост-адаптере заземлена, и ведущее устройство получает заземленную линию, а ведомое - неподключенную.

В режиме Ultra DMA четыре линии получают новое назначение сигналов:

- STOP (stop Ultra DMA burst) - останов передачи пакета Ultra DMA.
- DDMARDY# (device Ultra DMA ready) - готовность устройства при приеме пакета Ultra DMA (управление потоком).
- DSTROBE (host Ultra DMA data strobe) - строб данных устройства при передаче пакета хосту. Данные передаются по обоим перепадам DSTROBE.
- HDMARDY# (host Ultra DMA ready) - готовность хоста при приеме им пакета Ultra DMA (управление потоком).
- HSTROBE (host Ultra DMA data strobe) - строб данных хоста при передаче пакета

устройству. Данные передаются по обоим перепадам HSTROBE.

Для *блочнотных ПК* в 68-контактном разъеме PCMCIA (PC Card) имеется ряд специфичных сигналов:

- SELATA# (select 68-pin ATA) - сигнал, которым хост идентифицирует режим использования разъема, PC Card (сигнал снят) или ATA (сигнал установлен, то есть низкий уровень).
- CD1# и CD2S (card detect) заземляются в устройстве - по этим сигналам хост определяет присутствие устройства.
- CS1# (device chip select 1) - выбор устройства, подается хостом на оба контакта (11 и 42), но устройство воспринимает только один из них.
- DMARQ, DMACK# и IORDY - эти сигналы не обязательны.
- M/S# (master/slave) - инверсия сигнала CSEL. Хост выдает сигналы M/S# и CSEL до подачи питания, устройство воспринимает лишь один из них.

Для «горячего» подключения разъем цепи GND обеспечивает более раннее соединение при подключении и более позднее при отключении. В устройстве сигналы CS0#, CS1#, RESET# и SELATA# подтягиваются к пассивному состоянию.

6.2.3.2.4. Режимы передачи данных для устройств ATA

Параметры различных режимов передачи, поддерживаемых устройствами ATA приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Параметры режимов передачи

Режим передачи	Минимальное время цикла, нс	Скорость передачи, Мбайт/с	Интерфейс
PIO mode 0	600	3,3	ATA
PIO mode 1	383	5,2	ATA
PIO mode 2	240	8,3	ATA
PIO mode 3	180	11,1	E-IDE, ATA-2
PIO mode 4	120	16,6	E-IDE, Fast ATA-2
Singleword DMA Mode 0	960	2,08	ATA
Singleword DMA Mode 1	480	4,16	ATA
Singleword DMA Mode 2	240	8,33	ATA
Multiword DMA Mode 0	480	4,12	ATA
Multiword DMA Mode 1	150	13,3	ATA-2
Multiword DMA Mode 2	120	16,6	Fast ATA-2
Ultra DMA Mode 0	120 ¹	16,6	ATA/ATAPI-4
Ultra DMA Mode 1	80 ¹	25	ATA/ATAPI-4
Ultra DMA Mode 2	60 ¹	33	ATA/ATAPI-4
Ultra DMA Mode 3	45 ¹	44,4	ATA/ATAPI-5
Ultra DMA Mode 4	30 ¹	66,6	ATA/ATAPI-5
Ultra DMA Mode 5	20 ¹	100	ATA/ATAPI-6
Ultra DMA Mode 6	15 ¹	133	ATA/ATAPI-7

¹ В пакете данных режима Ultra DMA за каждый такт передаются два слова данных, одно по фронту синхронизирующего сигнала, другое по спаду. Период следования синхросигналов равен удвоенному времени цикла.

Обмен в режиме PIO (Programmed Input/Output — программируемый ввод-вывод) выполняется в виде следующих друг за другом операций чтения или записи в пространстве ввода-вывода по адресу регистра данных. Традиционные режимы 0, 1 и 2 имеют временные пара-

метры, задаваемые только хост-адаптером. Для прогрессивных режимов ATA-2 (PIO Mode 3 и выше) устройство может затормозить обмен сигналом готовности IORDY. Программный обмен на все время передачи блока занимает и процессор, и шину ИВВ хоста.

Обмен в режиме DMA занимает исключительно шины ИВВ хоста и памяти. Процессору требуется выполнить только процедуру инициализации. Стандартные каналы DMA шины ISA для интерфейса ATA из-за низкой пропускной способности не применяются. Высокопроизводительные адаптеры ATA имеют собственные более эффективные контроллеры.

Режим Ultra DMA, появившийся в спецификации ATA/ATAPI-4, позволяет перешагнуть барьер в 16,6 Мбайт/с, свойственный традиционным режимам и используемому кабелю. При этом обеспечивается и контроль достоверности передачи данных по шине, чего не делалось ни в PIO, ни в стандартных режимах DMA. Стандартом ATA-4 было определено 3 режима Ultra DMA (0, 1 и 2), впоследствии ввели новые режимы; выбор режима осуществляется командой Set Features. В пакете данные на шине сопровождаются стробом, генерируемым источником данных, причем для синхронизации используются оба перепада сигналов. Это позволяет повысить пропускную способность шины до 33 Мбайт/с, не увеличивая частоту переключения сигналов сверх $8,33 \times 10^6 \text{ с}^{-1}$. Для более высоких скоростей требуется 80-проводный кабель.

Тип режима обмена определяется возможностями хост-адаптера (и его драйвера), устройств и кабеля, и для каждого устройства он ограничен минимумом из максимальных возможностей всех этих компонентов. Как правило, режимы устанавливаются системой автоматически, но пользователю дается возможность при необходимости «подрезать крылья» контроллеру настройкой BIOS Setup.

Подробную информацию о параллельных ИВВ ATA можно найти в [8], [21], [28].

6.2.3.2. Интерфейс Serial ATA

6.2.3.2.1. Общие сведения

Интерфейс SATA (Serial ATA - последовательный интерфейс ATA) предназначен для замены традиционного параллельного (PATA) с сохранением регистровой модели подключаемых устройств и возможностей передачи данных в режимах PIO и DMA. При этом шинное подключение пары устройств к одному каналу ATA заменяется двухточечными соединениями *устройств с портами* хост-контроллера (или концентратора). Программное взаимодействие с устройствами Serial ATA практически совпадает с прежним, набор команд соответствует ATA/ATAPI-5. Для полной программной совместимости контроллер SATA может эмулировать пары устройств (ведущее-ведомое) на одном канале, если такая необходимость возникнет. В то же время аппаратная реализация хост-адаптера Serial ATA значительно отличается от примитивного (в исходном варианте) интерфейса ATA. В параллельном интерфейсе ATA хост-адаптер был простым средством программного обращения к регистрам, расположенным в самих подключенных устройствах. В Serial ATA ситуация иная: хост-адаптер имеет блоки так называемых «теневых» регистров (shadow registers), совпадающих по назначению с обычными регистрами устройств ATA. Каждому порту соответствует свой набор регистров. Обращения к этим теневым регистрам вызывают процессы взаимодействия хост-адаптера с подключенными устройствами и исполнение команд.

Переход на последовательный интерфейс и двухточечные соединения в Serial ATA дает ряд преимуществ:

- каждое устройство получает монопольный канал связи с контроллером, что позволяет повысить производительность обмена с устройствами;
- исключаются ненужные протокольные взаимодействия ведущего и ведомого устройств

параллельной шины и связанные с ними проблемы совместимости устройств;

- появляется возможность одновременной работы контроллера с несколькими устройствами с использованием механизма FPDMA и эффективной поддержкой очередей (NCQ);
- упрощается (для пользователя) конфигурирование устройств (не требуется выбор адреса);
- обеспечивается возможность полной поддержки горячего подключения/отключения;
- имеются перспективы повышения скорости обмена с устройствами (относительно базовой скорости 150 Мбайт/с);
- упрощаются и удешевляются кабели и разъемы;
- улучшаются условия охлаждения устройств - тонкий кабель не препятствует циркуляции воздуха в корпусе компьютера или массива устройств.

Помимо преимуществ последовательного двухточечного интерфейса, в SATA решена проблема адресации - введен режим LBA-48, появившийся и в последних версиях параллельного интерфейса (ATA/ATAPI-6, 7). Наиболее эффективно возможности SATA используются в его естественном режиме работы, а не в режиме совместимости с параллельным интерфейсом ATA.

Все функции взаимодействия устройства и адаптера, выполняемые в параллельном интерфейсе при помощи множества управляющих и информационных линий, реализуются и в последовательном, но с использованием только двух встречных сигнальных линий.

В стандарте рассматривается четырехуровневая модель взаимодействия хоста и устройства, где на верхнем (прикладном) уровне между хостом (процессором и памятью) и устройством SATA выполняется обмен командами, информацией о состоянии и хранимыми данными. Три нижестоящих уровня обеспечивают связь контроллера устройства и контроллера хост-адаптера по последовательному интерфейсу (взаимодействие их протокольных модулей транспортного уровня):

- *Транспортный уровень* конструирует *информационные структуры* (Frame Information Structure, FIS), которыми обмениваются контроллер и устройство, передает эти структуры канальному уровню и обеспечивает управление FIFO-буферами обмена с прикладным уровнем. Структуры, принятые от канального уровня, он разбирает на составные части и передает их прикладному уровню;
- *Канальный уровень* из информационных структур, представляемых потоками двойных слов, конструирует *кадры* (обрамляет структуры служебными примитивами, подсчитывает CRC для потоков данных транспортного уровня), выполняет кодирование 8B/10B, скремблирование и передачу кадров физическому уровню. Принимаемые с физического уровня битовые потоки канальный уровень преобразует обратно в выровненные потоки двойных слов, проверяет корректность CRC и, освободив от служебных примитивов, передает их транспортному уровню. Со своим партнером (канальным уровнем противоположной стороны интерфейса) уровень обменивается подтверждениями успешного приема кадра и уведомляет об этих успехах свой транспортный уровень.
- *Физический уровень* принимает от канального данные кадра в параллельном 10-, 20-, 40-разрядном (или более) виде и преобразует их в сигналы последовательного интерфейса. Над последовательными данными, принятыми от партнера по интерфейсу, производятся обратные преобразования. Уровень выполняет инициализацию интерфейса при подключении и подаче питания, определяет состояние подключения устройства и успех согласования скоростей, передавая эту информацию канальному уровню. Дополнительно уровень может заниматься управлением энергопотреблением интерфейса, а также калибров-

кой приемопередатчиков (согласованием с линией).

Контроллеры SATA уже имеют свою историю: первые контроллеры (например, Intel 31244), разработанные по спецификации Serial ATA 1.0a, были нацелены на поддержку нового интерфейса подключения и старого программного интерфейса. Затем была принята спецификация нового программного интерфейса - AHCI, позволяющая реализовать основные преимущества SATA. Контроллер AHCI избавляет центральный процессор от рутинной обработки даже старых команд ATA/ATAPI, в которых используется режим обмена PIO. Возможность работы с новыми контроллерами по старым интерфейсам спецификацией AHCI не запрещается, но это уже другой механизм, никак не связанный с новым. Контроллер AHCI реализован, например, в южном хабе ICH6 чипсетов системных плат фирмы Intel.

6.2.3.2.2. Физический интерфейс SATA

В первом поколении Serial ATA данные по кабелю передаются со скоростью 1,5 Гбит/с, что (с учетом кодирования 8B/10B) обеспечивает скорость 150 Мбайт/с (без учета накладных расходов протоколов верхних уровней). В первой версии спецификации SATA-2 скорость оставалась прежней, но повышение скорости планировалась в последующих версиях, поэтому в интерфейс была заложена возможность согласования скоростей обмена по каждому порту в соответствии с возможностями хоста и устройства, а также качеством связи. В последующих версиях (SATA-2.6) скорость была доведена до 3 Гбит/с. В спецификации SATA-3 предусмотрена скорость 6 Гбит/с. Хост-адаптер имеет средства управления соединениями, программно эти средства доступны через специальные регистры Serial ATA.

Стандарт SATA определяет новый однорядный двухсегментный разъем с механическими ключами, препятствующими ошибочному подключению. Назначение контактов приведено в табл. 6.2, а их расположение на разъеме — на рис. 6.9.

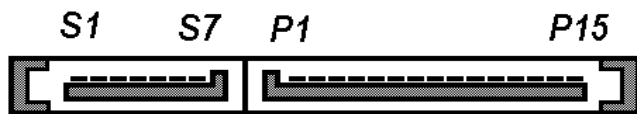


Рис. 6.9. Разъемы Serial ATA: расположение контактов на разъеме устройства

Таблица 6.2. Назначение сигналов разъема Serial ATA

Контакт	Цепь	Назначение
S1	GND	Экран
S2	A+	Дифференциальная пара сигналов A; на хост-контроллере (HT+, HT-) - выход передатчика, на устройстве (DR+, DR-) – вход приемника
S3	A–	
S4	GND	Экран
S5	B–	Дифференциальная пара сигналов B; на хост-контроллере (HR+, HR-) - вход приемника, на устройстве (DT+, DT-) – выход передатчика
S6	B+	
S7	GND	Экран
P1, P2	V33	Питание 3,3 В
P3	V33	Питание 3,3 В, предварительный заряд
P4, P5, P6	GND	Общий
P7	V5	Питание 5 В, предварительный заряд
P8, P9	V5	Питание 5 В
P10	GND	Общий
P11	Резерв	
P12	GND	Общий
P13	V12	Питание 12В, предварительный заряд
P14, P15	V12	Питание 12 В

В Serial ATA 2 разъем доработали - ввели пружинные фиксаторы (на кабельной части) и соответствующие прорезы на разъеме устройства или порта. Конструкции разъемов SATA и SATA 2 совместимы, но надежная фиксация обеспечивается лишь при подключении устройств (и контроллера) SATA 2 кабелем с вилками SATA 2.

В SATA 2 определено несколько новых типов сигнальных разъемов и кабелей.

Для обеспечения горячего подключения контакты разъемов имеют разную длину. В первую очередь соединяются (и в последнюю - разъединяются) контакты «земли» P4 и P12; затем остальные «земли» и контакты предварительного заряда конденсаторов в цепях питания P3, P7 и P13 (для уменьшения броска потребляемого тока), после чего соединяются основные питающие контакты и сигнальные цепи. На контакты предварительного заряда питание от соответствующих источников подается через резисторы сопротивлением 10-20 Ом. В шасси с «горячим» подключением факт подключения устройства может определяться посредством измерения сопротивления между контактами предварительного заряда и основными питающими контактами (например, P7 и P8).

Контрольные вопросы к разделам 6.1 и 6.2

1. Какие интерфейсы относятся к периферийным ИВВ?
2. Как подключаются ПИВВ к ИВВ хоста и контроллеры ПУ к ПИВВ?
3. На какие группы можно условно разделить ПИВВ?
4. Какие ПИВВ можно отнести к специализированным ПИВВ?
5. Кратко охарактеризуйте ПИВВ MIDI.
6. Охарактеризуйте физический уровень MIDI.
7. Что представляет собой MIDI-контроллер и MIDI-секвенсор?
8. Охарактеризуйте звуковой конечный приемник потока команд MIDI.
9. Охарактеризуйте сообщения MIDI.
10. К каким устройствам относятся клавиатура и манипулятор PS/2 Mouse?
11. Какую поддержку на уровне BIOS имеют клавиатура и PS/2 Mouse?
12. Объясните упрощенную схему подключения клавиатуры и PS/2 Mouse к хосту ПК (рис.6.2).
13. Охарактеризуйте структурную схему адаптера клавиатуры (рис. 6.3).
14. Охарактеризуйте регистр состояния адаптера клавиатуры и PS/2 Mouse.
15. Охарактеризуйте регистр командного байта адаптера клавиатуры и PS/2 Mouse.
16. Охарактеризуйте порты контроллера адаптера клавиатуры.
17. Дайте общую характеристику интерфейсов клавиатуры и PS/2 Mouse.
18. Дайте краткую характеристику интерфейса клавиатуры.
19. Каковы особенности ввода данных с клавиатуры (рис. 6.7 б).
20. Каковы особенности вывода данных в клавиатуру (рис. 6.7 а).
21. Дайте краткую характеристику интерфейса PS/2 Mouse.
22. Дайте общую характеристику интерфейсов IDE – ATA/ATAPI/ и SATA.
23. Кратко охарактеризуйте параллельный интерфейс ATA.
24. Кратко охарактеризуйте SATA.
25. Охарактеризуйте развитие спецификаций ATA/ATAPI.
26. Охарактеризуйте физическую реализацию параллельного интерфейса ATA.
27. Охарактеризуйте сигналы параллельного ATA.
28. Какие режимы передачи данных могут быть использованы при взаимодействии с устройствами ATA?
29. Охарактеризуйте режим обмена PIO.
30. Охарактеризуйте режим обмена DMA.
31. Охарактеризуйте режим обмена Ultra DMA.
32. Какие преимущества дает переход на ИВВ SATA?

33. Охарактеризуйте четырехуровневую модель взаимодействия хоста и устройства в среде SATA.
34. Дайте краткую информацию о контроллерах SATA.
35. Охарактеризуйте физическую реализацию интерфейса SATA.

Более подробную информацию о MIDI устройствах, о хранении и передаче данных MIDI, о синхронизации ее с мультимедийными приложениями можно найти в [8], [21], [22]. Информацию о поддержке клавиатуры и PS/2 Mouse на уровне BIOS и DOS можно найти в [33], [38], [61]. Перечень команд адаптера клавиатуры, клавиатуры и манипулятора PS/ Mouse, их описание и примеры их применения а также описание форматов пакетов, передаваемых манипуляторам PS/2 Mouse можно найти в [38]. Информацию о скан-кодах и ASCII-кодах клавиатуры можно найти в [22], [38]. Дополнительную информацию об особенностях устройств и интерфейсов IDE, о регистровой архитектуре, системе команд и программном взаимодействии с устройствами ATA/ATAPI и SATA можно найти в [8], [21], [28], [30]. Информацию об использовании SATA в системах хранения данных и адаптерах и контроллерах ATA можно найти в [8], [28].

В данном разделе использована информация из [8], [21], [22], [28], [30], [38], [60].

6.3. Беспроводные периферийные ИВВ

6.3.1. Общие сведения

В данном разделе рассматриваются беспроводные периферийные интерфейсы ввода-вывода. IrDa и Bluetooth. В качестве среды передачи ими используется эфир. В эфире могут использоваться как параллельные (широкополосные), так и последовательные (моноканальные) интерфейсы. IrDa и Bluetooth относятся к последовательным интерфейсам. IrDA в качестве носителей использует электромагнитные волны инфракрасного, а Bluetooth - радиочастотного диапазона (2,4 ГГц).

6.3.2. Инфракрасный интерфейс IrDA

6.3.2.1. Общие сведения

Применение излучателей и приемников инфракрасного (ИК) диапазона позволяет осуществлять беспроводную связь между парой устройств, удаленных на расстояние нескольких метров. Инфракрасная связь - *IR (InfraRed) Connection* - безопасна для здоровья, не создает помех в радиочастотном диапазоне и обеспечивает конфиденциальность передачи. ИК-лучи не проходят через стены, поэтому зона приема ограничивается небольшим, легко контролируемым пространством. Инфракрасная технология привлекательна для связи портативных компьютеров с периферийными устройствами. Инфракрасный интерфейс имеют некоторые модели принтеров, им оснащают многие современные малогабаритные устройства: карманные компьютеры (PDA), мобильные телефоны, цифровые фотокамеры и т. п.

Различают инфракрасные системы низкой (до 115,2 Кбит/с), средней (1,152 Мбит/с) и высокой (4 Мбит/с) скорости. Низкоскоростные системы служат для обмена короткими сообщениями, высокоскоростные - для обмена файлами между компьютерами, подключения к компьютерной сети, вывода на принтер, проекционный аппарат и т. п. Ожидаются более высокие скорости обмена, которые позволят передавать «живое видео».

В 1993 году была создана ассоциация *IrDA* (Infrared Data Association - ассоциация разработчиков систем инфракрасной передачи данных), призванная обеспечить совместимость оборудования от различных производителей. В настоящее время действует стандарт IrDA 1.1,

наряду с которым существуют и собственные системы фирм Hewlett-Packard — *HP-SIR* (Hewlett-Packard Slow Infra Red) и Sharp - *ASK IR* (Amplitude Shifted Keyed IR).

Излучателем для ИК-связи является светодиод с длиной волны 880 нм; светодиод дает конус излучения с углом около 30°. В качестве приемника используют PIN-диоды, эффективно принимающие ИК-лучи в конусе 15°. Помимо полезного сигнала на приемник воздействуют помехи, в том числе засветка от солнечного освещения или ламп накаливания, дающая постоянную составляющую оптической мощности, и засветка от люминесцентных ламп, дающая переменную (но низкочастотную) составляющую. Эти помехи приходится фильтровать. Поскольку передатчик почти неизбежно вызывает засветку своего же приемника, вводя его в насыщение, приходится прибегать к полудуплексной связи с определенными временными зазорами при смене направления обмена. Для передачи сигналов используют двоичную модуляцию (есть свет — нет света) и различные схемы кодирования.

6.3.2.2. Протоколы спецификации IrDA

Спецификация IrDA определяет многоуровневую систему протоколов.

Ниже перечислены возможные варианты IrDA на нижнем физическом уровне:

- *IrDA SIR* - для скоростей 2,4-115,2 Кбит/с используется стандартный асинхронный режим передачи с 8-битной посылкой. Нулевое значение бита кодируется импульсом длительностью 3/16 битового интервала (1,63 мкс на скорости 115,2 Кбит/с), единичное - отсутствием импульсов (режим IrDA SIR-A). Таким образом, в паузе между посылками передатчик не светит, а каждая посылка начинается с импульса старт-бита. В спецификации 1.1 предусмотрен и иной режим — IrDA SIR-B с фиксированной длительностью импульса 1,63 мкс для всех этих скоростей.
- *ASK IR* - для скоростей 9,6-57,6 Кбит/с также используется асинхронный режим, но кодирование иное: нулевой бит кодируется посылкой импульсов с частотой 500 КГц, единичный - отсутствием импульсов.
- *IrDA HDLC* - для скоростей 0,576 и 1,152 Мбит/с используется синхронный режим передачи и кодирование, аналогичное SIR, но с длительностью импульса 1/4 битового интервала. Формат кадра соответствует протоколу HDLC (High-level Data Link Control), начало и конец кадра отмечаются флагами 01111110, внутри кадра эта битовая последовательность исключается методом вставки битов (bit stuffing). Для контроля достоверности кадр содержит 16-битный код CRC (Cyclic Redundancy Check - контроль с использованием циклического избыточного кода).
- *IrDA FIR (IrDA4PPM)* - для скорости 4 Мбит/с также применяется синхронный режим, но кодирование несколько сложнее. Здесь каждая пара смежных битов кодируется позиционно-импульсным кодом: 00 - 1000, 01 - 0100, 10 - 0010, 11 - 0001 (в четверках цифр единица означает посылку импульса в соответствующей четверти символического интервала). Такой способ кодирования позволяет вдвое снизить частоту включения светодиода по сравнению с предыдущим. Постоянство средней частоты принимаемых импульсов облегчает адаптацию к уровню внешней засветки. Для повышения достоверности применяется 32-битный CRC-код.

Над физическим уровнем расположен *протокол доступа IrLAP* (IrDA Infrared Link Access Protocol) - модификация протокола HDLC, отражающая нужды ИК-связи (протокол канального уровня). Он инкапсулирует данные в кадры и предотвращает конфликты устройств: при наличии более двух устройств, «видящих» друг друга, одно из них назначается первичным, а остальные — вторичными. Связь всегда полудуплексная. IrLAP описывает процедуру установления, нумерации и закрытия соединений.

Над IrLAP располагается *протокол управления соединением IrLMP* (IrDA Infrared Link Management Protocol). С его помощью устройство сообщает остальным о своем присутствии

в зоне охвата (конфигурация устройств IrDA может изменяться динамически: для ее изменения достаточно поднести новое устройство или отнести его подальше). Протокол IrLMP позволяет обнаруживать сервисы, предоставляемые устройством, проверять потоки данных и выступать в роли мультиплексора для конфигураций с множеством доступных устройств. Приложения с помощью IrLMP могут узнать, присутствует ли требуемое им устройство в зоне охвата. Однако гарантированной доставки данных этот протокол не обеспечивает.

Транспортный уровень поддерживается протоколом *Tiny TP* (IrDA Transport Protocol) — здесь обслуживаются виртуальные каналы между устройствами, обрабатываются ошибки (потерянные пакеты, ошибки данных и т. п.), производится упаковка данных в пакеты и сборка исходных данных из пакетов (протокол напоминает TCP). На транспортном уровне может работать и протокол IrTP.

Протокол IrCOMM позволяет через ИК-связь эмулировать обычное проводное подключение:

- 3-проводное по RS-232C (TXD, RXD и GND);
- 9-проводное по RS-232C (весь набор сигналов COM-порта);
- Centronics (эмуляция параллельного интерфейса).

Протокол IrLAN обеспечивает доступ к локальным сетям; он позволяет передавать кадры сетей Ethernet и Token Ring. Для ИК-подключения к локальной сети требуется устройство-провайдер с интерфейсом IrDA, соединенное обычным (проводным) способом с локальной сетью, и соответствующая программная поддержка в клиентском устройстве (которое должно войти в сеть).

Протокол объектного обмена IrOBEX (IrDA Object Exchange Protocol) - простой протокол, определяющий команды PUT и GET для обмена «полезными» двоичными данными между устройствами. Этот протокол располагается над протоколом Tiny TP. У протокола IrOBEX есть расширения для мобильных коммуникаций, которые определяют передачу информации, относящуюся к сетям GSM (записная книжка, календарь, управление вызовом, цифровая передача голоса и т. п.), между телефоном и компьютерами разных размеров (от настольного до PDA).

Этими протоколами не исчерпывается весь список протоколов, имеющих отношение к ИК-связи. Заметим, что для дистанционного управления бытовой техникой (телевизоры, видеомаягнитофоны и т. п.) используется тот же 880-нано-метровый диапазон, но иные частоты и методы физического кодирования.

6.3.2.3. Приемопередатчики и ИК-адаптеры

Приемопередатчик IrDA может быть подключен к компьютеру различными способами; по отношению к системному блоку он может быть как внутренним (размещаемым на лицевой панели), так и внешним, размещаемым в произвольном месте. Размещать приемопередатчик следует с учетом угла «зрения» (30° у передатчика и 15° у приемника) и расстояния до требуемого устройства (до 1 м).

Внутренние приемопередатчики на скоростях до 115,2 Кбит/с (IrDA SIR, HP-SIR, ASK IR) подключаются через обычные микросхемы UART (см. раздел 6.4.3.5.), совместимые с 16450/16550 через сравнительно несложные схемы модуляторов-демодуляторов. В ряде современных системных плат на использование инфракрасной связи (до 115,2 Кбит/с) может конфигурироваться порт COM2. Для этого в дополнение к UART чипсет содержит схемы модулятора и демодулятора, поддерживающие один или несколько протоколов инфракрасной связи. Чтобы порт COM2 задействовать для инфракрасной связи, в CMOS Setup требуется выбрать соответствующий режим (запрет инфракрасной связи означает обычное исполь-

зование COM2). Существуют внутренние адаптеры и в виде карт расширения (для шин ISA, PCI, PC Card), для системы они выглядят как дополнительные COM-порты.

На средних и высоких скоростях обмена применяются специализированные микросхемы контроллеров IrDA, ориентированные на интенсивный программный обмен (PIO) или DMA, с возможностью прямого управления шиной. Контроллер IrDA FIR выполняется в виде карты расширения либо интегрируется в системную плату; как правило, такой контроллер поддерживает и режимы SIR.

Приемопередатчик подключается к разъему *IR-Connector* системной платы напрямую (если он устанавливается на лицевую панель компьютера) или через промежуточный разъем (mini-DIN), расположенный на скобе-заглушке на задней стенке корпуса ПК. Варианты назначения контактов разъема инфракрасного приемопередатчика приведены в табл. 6.3. Некоторые приемопередатчики, поддерживающие режимы FIR и SIR, имеют отдельные выходы приемников - IRRX для SIR и FIRRX для FIR. Если контроллер поддерживает только один из режимов, один из контактов остается неподключенным.

Таблица 6.3. Разъем инфракрасного приемопередатчика

Цепь	Назначение	Контакт/вариант			
		1	2	3	4
IRRX	Вход с приемника	1	3	3	3
FIRRX	Вход с приемника FIR	-	-	-	4
IRTX	Выход на передатчик	3	5	1	1
GND	Общий	2	4	2	2
Vcc (+5B)	Питание	4	1	5	5
NC	Свободный	-	2	4	-

Внешние ИК-адаптеры выпускают с интерфейсом RS-232C для подключения к COM-порту или же с USB.

6.3.3. Радиointерфейс Bluetooth

6.3.3.1. Общие сведения

Bluetooth (синий зуб) — это фактический стандарт на миниатюрные недорогие средства радиопередачи информации на небольшие расстояния между мобильными (и настольными) компьютерами, их периферийными устройствами, мобильными телефонами и любыми другими портативными устройствами. Разработкой спецификаций занимается группа фирм. Эта группа (названная Bluetooth Special Interest Group) вывела данную технологию на рынок. Спецификация Bluetooth свободно доступна в Сети (www.bluetooth.org). (Название Bluetooth берет начало от прозвища датского короля, объединившего Данию и Норвегию, — намек на всеобщую объединяющую роль технологии).

Спецификации версии 1.0 появились в 1999 году, в 2000 году вышла отредактированная версия 1.1. В версии 1.2 (2003 г.) введен ряд усовершенствований: ускорено установление соединения, введена адаптация используемых частот, определены расширенные синхронные соединения; улучшены механизмы обнаружения ошибок, управления потоком и синхронизации. В 2004 году вышла версия, обозначаемая как 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate), в которой появились скорости передачи данных 2 и 3 Мбайт/с и связанные с ними новые типы пакетов.

6.3.3.2. Физические каналы и пикосети

Каждое Bluetooth-устройство имеет радиопередатчик и приемник, работающие в диапазоне частот 2,4 ГГц. Этот диапазон в большинстве стран не требует лицензирования, что обеспе-

чивает повсеместную применимость устройств. Передача ведется с перескоком несущей частоты, что помогает в борьбе с интерференцией и замираниями сигнала. В первоначальной версии Bluetooth используется 79 несущих частот: $F = 2402 + k$ (МГц), где $k = 0, \dots, 78$. Для нескольких стран (например, Франции, где в этом диапазоне работают военные) возможен сокращенный вариант с 23 частотами, здесь $F = 2454 + k$ ($k = 0, \dots, 22$). В версии 1.2 введена возможность адаптации к текущему радиоокружению: из 79 частот часть (произвольный набор частот, используемых другими радиоустройствами) может быть исключена. При этом необходимость определения специального 23-частотного варианта отпадает.

По мощности передатчики могут быть трех классов: до 1, 2,5 и 100 МВт, причем должна быть возможность понижения мощности с целью экономии энергии. В зависимости от мощности передатчика обеспечивается дальность связи от единиц до сотни метров.

Данные по радиоканалу передаются с символьной скоростью 1 Мбод. В первоначальной версии используются частотная манипуляция и простое кодирование: логической единице соответствует положительная девиация (отклонение) частоты, нулю — отрицательная. Такое кодирование обеспечивает передачу одного бита в каждом символе — *базовую скорость* (basic rate) 1 Мбит/с. Для *расширенных скоростей* (EDR) используются более сложные схемы с фазовой манипуляцией: с четырьмя возможными символами, обеспечивая скорость 2 Мбит/с, и с восемью символами — скорость 3 Мбит/с. Информация передается пакетами. Для обеспечения совместимости заголовки пакетов (управляющая информация) передаются всегда на базовой скорости, а на высокой скорости передается только поле данных.

Физический канал связи характеризуется определенной псевдослучайной последовательностью используемых частот и кодом доступа, передаваемым в начале каждого пакета. Канал делится на *тайм-слоты* длительностью 625 мкс, слоты последовательно нумеруются с циклическостью 2^{27} . Каждый тайм-слот соответствует одной частоте несущей в последовательности перескоков базового канала (1600 перескоков в секунду). Положение тайм-слотов задает устройство-мастер; под него подстраиваются ведомые устройства. Мастер и ведомые устройства ведут передачу поочередно: в четных слотах передачу начинает мастер, а в нечетных — адресованное им ведомое устройство (если от него требуется ответ). Передача пакета начинается на границе тайм-слота, пакет может занимать 1-5 тайм-слотов. Если пакет занимает более одного тайм-слота, то он весь передается на одной несущей частоте, но отсчет слотов по 625 мкс продолжается, и после длинного пакета следующая частота будет соответствовать очередному номеру слота (то есть несколько частот пропускаются).

Каждое устройство имеет свой *уникальный 48-битный адрес* BD_ADDR (Bluetooth device address), формируемый по стандарту IEEE 802. Из уникального адреса 28 бит используются для генерации последовательности перескоков и формирования кода доступа. Из всего набора возможных значений адреса 64 зарезервированы как стандартные адреса для операции опроса (inquiry). Из них формируются код доступа глобального опроса (GIAC, General Inquiry Access Code) и 63 выделенных кодов доступа (DIAC, Dedicated Inquiry Access Code) для устройств определенных классов.

Код доступа — это 68- или 72-битная последовательность, известная и передатчику, и приемнику физического канала. Приемник, прослушивая эфир и обнаруживая передачу информации, сравнивает ее с кодом доступа. При обнаружении совпадения последующая часть передачи принимается как продолжение ожидаемого пакета, при несовпадении — игнорируется. Таким образом удастся отделять пакеты своего канала от пакетов других каналов, которые могут передаваться на той же частоте. Группа устройств, разделяющих один физический канал (то есть «знающих» одну и ту же последовательность перескоков и код доступа), образует так называемую *пикосеть* (piconet), в которую может входить от 2 до 8 устройств. В каждой пикосети имеются одно ведущее устройство (мастер) и до 7 активных ведомых. Кроме того, в зоне охвата ведущего устройства в его же пикосети могут находиться «припаркованные» ведомые устройства: они тоже «знают» последовательность перескоков и синхро-

низируются (по перескокам) с мастером, но не могут обмениваться данными до тех пор, пока мастер не разрешит им активность.

Пикосети могут перекрываться зонами охвата, образуя «разбросанную» сеть (scatter net). При этом в каждой пикосети мастер только один, но ведомые устройства могут входить в несколько пикосетей за счет разделения времени (часть времени устройство работает в одной пикосети, часть - в другой). Более того, мастер одной пикосети может быть ведомым устройством другой пикосети. Эти пикосети никак не синхронизированы, каждая из них использует свой канал (последовательность перескоков). Устройство с помощью собственных «часов» поддерживает синхронизацию с каждой из этих пикосетей.

В Bluetooth определено несколько типов физических каналов, различающихся правилами перескоков частот и определения кода доступа. В каждый момент времени устройство может находиться только в одном физическом канале. При нормальной работе оно основное время находится в базовом (или адаптивном) канале пикосети, но периодически на некоторое время переключается в канал опроса и канал сканирования страниц, что обеспечивает возможность обнаружения новых устройств и соединения их в пикосети.

В *базовом физическом канале пикосети* псевдослучайная последовательность перескоков по 79 частотам и код доступа определяются по значению адреса мастера. Текущая частота определяется значением собственных часов мастера (CLKN, Clock Native). Ведомые устройства синхронизируются с мастером и отвечают уже на новой (в последовательности перескоков) частоте. Номинальная частота перескоков 1600 1/с, период повтора последовательности очень большой. Для работы базового канала ведомые устройства должны узнать физический адрес мастера, чтобы определить последовательность перескоков, и синхронизировать свои часы с мастером, чтобы их приемопередатчики переключали рабочие частоты синхронно с мастером. В базовом канале могут выделяться тайм-слоты для посылки пакетов-маяков (beacon); эти маяки требуются для ресинхронизации припаркованных устройств (если таковые имеются). В этих пакетах передаются данные широковещательного транспорта припаркованных устройств.

Адаптивный физический канал пикосети по назначению и характеристикам практически аналогичен базовому. Отличие заключается в адаптации перескоков (AFH, Adaptive Frequency Hopping) — мастер вычеркивает нежелательные частоты (оставляя не менее 20), при этом ведомое устройство отвечает на частоте предыдущего принятого им пакета. Адаптивный канал может быть установлен после установления базового канала (разрешением AFH).

В *физическом канале опроса* (inquiry scan) используется сокращенный набор частот (32 равномерно расположенные частоты). Опрашивающее устройство в каждом четном тайм-слоте выполняет передачу пакета опроса (одного и того же) на двух разных частотах (в начале и середине слота, так что частота перескоков составляет 3200 1/с). В последующем (нечетном) слоте это устройство ожидает приема ответа на тех же частотах. Отвечающее устройство через 625 мкс после приема пакета опроса ответит пакетом *FHS* на той же частоте. В пакете опроса используется один из нескольких предопределенных кодов доступа (GIAC или DIAC). Опрашивающее устройство формирует тайм-слоты по своим собственным часам (CLKN), последовательность перескоков (укороченная псевдослучайная с периодом 32) соответствует используемому коду доступа.

В *физическом канале сканирования страниц* (page scan) также используется сокращенный набор частот (32). Псевдослучайная последовательность перескоков (с периодом 32) и код доступа определяются физическим адресом сканируемого устройства. Сканирующее устройство определяет текущую позицию в последовательности перескоков, используя ожидаемое им значение часов отвечающего (сканируемого) устройства (CLKE, Clock Estimated). Сканирующее устройство (pager) передает пакет в каждом четном тайм-слоте дважды на двух разных частотах, в последующем (нечетном) слоте оно ожидает приема ответа на тех же частотах. Необходимость передачи на двух частотах следует из несинхронизированности

моментов смены слотов в двух устройствах; успех процедуры сканирования (установления) приводит к подстройке момента смены слотов у сканируемого устройства.

6.3.3.3. Синхронизация и установление соединений

Как уже упоминалось, канал в пикосети определяется последовательностью перескоков частот. Текущее положение (фаза) в этой последовательности определяется по «часам» устройства его внутреннему 28-разрядному счетчику импульсов частоты 3,2 кГц (номер слота определяется старшими 27 битами, младший бит определяет полуслот для каналов опроса и сканирования). Такие часы имеются в каждом устройстве, они работают постоянно и друг с другом никак не синхронизированы. Для того чтобы все время иметь представление о часах друг друга, устройства вычисляют текущее смещение относительно своих часов, используя информацию пакета *FHS*, передаваемого в ответ на пакет опроса (*inquiry*). Суммированием этого смещения со своими собственными часами устройство определяет ожидаемое значение часов партнера, что позволяет ему настраивать текущую частоту своего приемника на ожидаемую частоту сигнала от партнера и отсчитывать тайм-слоты, даже находясь в ином физическом канале. Поскольку генераторы всех устройств работают автономно, их частоты дрейфуют тоже автономно и смещение приходится периодически уточнять и корректировать. Автономный отсчет времени позволяет устройству «посещать» несколько каналов (в том числе и пикосетей) поочередно, имея представление об их времени и положении их тайм-слотов.

Мастером становится устройство, инициирующее соединение с одним или несколькими другими устройствами. Физически мастер и ведомые устройства идентичны, их «титуты» определяют лишь роли в протоколе; мастером может стать любое устройство. Более того, уже после развертывания пикосети может произойти смена ролей устройств.

Для установления соединения в протоколе предусмотрена специальная процедура *paging*. Каждое устройство, готовое войти в какую-нибудь пикосеть в качестве ведомого, периодически входит в *состояние сканирования* (*page scan*), используя соответствующий физический канал. В этом состоянии оно прослушивает эфир с последовательностью перескоков частот и кодом доступа, определяемым его собственным адресом; перескоки выполняются по его часам. *Сканируемое устройство* ожидает приема пакета *ID*, содержащего только код доступа, соответствующий его собственному адресу. Пакет *ID* посылает *устройство-инициатор* установления соединения, которое предварительно должно было узнать адрес и часы сканируемого партнера с помощью процедуры опроса. На этот пакет сканируемое устройство отвечает таким же пакетом *ID* (на той же частоте). Получив ответ, инициатор посылает специальный пакет *FHS*, в котором сообщает свой адрес и класс устройства, показания своих часов, назначает сканируемому устройству его временный номер (*LT_ADDR*) и передает некоторые дополнительные параметры. На это сканируемое устройство отвечает все тем же пакетом *ID* и начинает использовать для перескоков адрес и часы инициатора, ставшего для него мастером (оно точно синхронизирует свои часы с моментом получения пакета *FHS*). Заключительным этапом установления соединения является посылка инициатором пакета *POLL*, на который сканируемое устройство обязано ответить (даже если ему нечего сообщить мастеру). С этого момента сканируемое устройство становится ведомым устройством в пикосети, а инициатор сканирования становится для него мастером.

Чтобы определить адреса окружающих устройств, а также определить значение их часов, используется процедура опроса *inquiry*. Устройство-исследователь окружения посылает пакеты *ID* с кодом опроса (*GIAC* или *DIAC*) на одной из специальных (тоже коротких) последовательностях перескоков. Опрос может быть глобальным, с кодом *GIAC* — на него должны отзываться устройства всех классов, или же выборочным, с кодами *DIAC*. Процедура опроса напоминает процедуру *paging*, но здесь последовательность перескоков определяется уже не адресом устройства, а кодом доступа (*GIAC* или *DIAC*). Устройство

отвечает на опрос с подходящим (или глобальным) кодом опроса пакетом *FHS*, в котором сообщает свой BD-адрес, 16-битный класс и показания часов на момент отправки. При этом возможно, что один и тот же пакет опроса одновременно примут несколько устройств и одновременно пошлют ответ (*FHS*). Для борьбы с этими коллизиями применяется механизм задержки ответов на случайный интервал времени, так что вероятность одновременного ответа двух устройств (это будет воспринято как помеха) снижается.

Контрольные вопросы к разделу 6.3

1. Охарактеризуйте беспроводный ИБВ IrDA.
2. Охарактеризуйте возможные варианты реализации IrDA на физическом уровне.
3. Охарактеризуйте протокол доступа IrLAP.
4. Охарактеризуйте протокол управления соединением IrLMP.
5. Охарактеризуйте протокол транспортного уровня Tiny TP.
6. Охарактеризуйте протокол IrCOMM.
7. Охарактеризуйте протокол IrLAN.
8. Охарактеризуйте протокол IrOBEX.
9. Охарактеризуйте внутренние приемопередатчики IrDA.
10. Охарактеризуйте внешние ИК-адаптеры.
11. Кратко охарактеризуйте радио интерфейс Bluetooth.
12. Охарактеризуйте организацию физического канала Bluetooth.
13. Охарактеризуйте понятие «пикосеть».
14. Какие типы физических каналов определены в Bluetooth.
15. Охарактеризуйте базовый физический канал пикосети.
16. Охарактеризуйте адаптивный физический канал пикосети.
17. Охарактеризуйте физический канал опроса.
18. Охарактеризуйте физический канал сканирования страниц.
19. Охарактеризуйте синхронизацию и установление соединений в пикосети.

Информацию о логическом транспорте, пакетах, каналах и протоколах Bluetooth можно найти в [8], [21].

В данном разделе использована информация из [8], [21].

6.4. Универсальные периферийные интерфейсы ввода-вывода

6.4.1. Общие сведения

Универсальные периферийные интерфейсы ввода-вывода используются для подключения к хосту ПК разнообразных ПУ с интегрированными в них контроллерами ПУ. Необходимое требование к таким ПУ - они должны иметь в своем составе интерфейсный блок, поддерживающий подключение ПУ к ПИБВ на физическом и, если это необходимо, на логическом уровне. Как правило, универсальные ПИБВ могут использоваться как для двухточечного, так и для многоточечного подключения, т.е. к одному хост-адаптеру интерфейса может подключаться или одно ПУ, или одновременно несколько разнотипных или однотипных устройств. ПИБВ могут также использоваться и как внешние ИБВ для взаимодействия с объектами внешнего мира. В этом разделе мы рассмотрим традиционные для ПК универсальные ПИБВ LPT-порт, COM-порт; USB, FireWare, SCSI и редко применяемый в ПК Fibre Channel.

6.4.2. Универсальный параллельный периферийный ИВВ - LPT-порт

6.4.2.1. Общие сведения

Порт параллельного интерфейса был введен в PC для подключения устройства последовательной печати - принтера. Отсюда и пошло его название LPT-порт (Line PrinTer - построочный принтер). Традиционный, он же стандартный, LPT-порт (так называемый *SPP-порт*) ориентирован на вывод данных, хотя с некоторыми ограничениями позволяет и вводить данные. В дальнейшем появились различные модификации LPT-порта - двунаправленный, EPP, ECP и другие, расширяющие его функциональные возможности, повышающие производительность и снижающие нагрузку на процессор. Поначалу они являлись фирменными решениями отдельных производителей, позднее был принят стандарт IEEE 1284. LPT-порт стал использоваться для подключения широкого спектра периферийных устройств и другого оборудования.

С внешней стороны порт имеет 8-битную шину данных, 5-битную шину сигналов состояния и 4-битную шину управляющих сигналов, выведенные на разъем-розетку DB-25S. На линиях интерфейса используются логические уровни ТТЛ, что ограничивает допустимую длину кабеля из-за невысокой помехозащищенности ТТЛ-интерфейса (см. раздел 3.3). Гальваническая развязка отсутствует - схемная земля подключаемого устройства соединяется со схемной землей компьютера. Из-за этого порт является уязвимым местом компьютера, страдающим при нарушении правил подключения и заземления устройств.

С точки зрения программного взаимодействия LPT-порт представляет собой набор регистров, расположенных в пространстве ввода-вывода. Регистры порта адресуются относительно базового адреса порта, стандартными значениями которого являются 3BCh, 378h и 278h. Порт может использовать линию запроса аппаратного прерывания, обычно IRQ7 или IRQ5. В расширенных режимах может использоваться и канал DMA.

Порт имеет системную поддержку на уровне BIOS: поиск установленных портов во время теста POST, сервисы печати INT 17h и INT 05h и сервисы EPP BIOS.

Практически все современные системные платы (еще начиная с PCI-лат для процессоров i486) имеют встроенный адаптер LPT-порта. Существуют интерфейсные карты (устройства расширения) ISA с LPT-портом, где он чаще всего соседствует с парой COM-портов, а также с контроллерами дисковых интерфейсов (FDC + IDE). LPT-порт обычно присутствовал и на видеоадаптерах MDA и HGC. Есть и карты PCI с дополнительными LPT-портами.

К «современным» LPT-портам могут подключаться принтеры, плоттеры, сканеры, коммуникационные устройства и устройства хранения данных, а также электронные ключи, программаторы и прочие устройства. Иногда параллельный интерфейс используют для связи между двумя компьютерами - получается сеть, «сделанная на коленке» (Lap Link).

6.4.2.2. Традиционный LPT-порт

Традиционный LPT-порт называется *стандартным параллельным портом* (Standard Parallel Port, SPP), или SPP-портом. Названия сигналов порта и их назначение (графа SPP в табл. 6.4) соответствуют интерфейсу Centronics (см. ниже), для которого и вводился данный порт. В графах Bi-Di, ECP и EPP таблицы приводятся названия сигналов для одноименных режимов работы порта.

Адаптер SPP-порта содержит три 8-битных регистра, расположенных по соседним адресам в пространстве ввода-вывода, начиная с базового адреса порта BASE (3BCh, 378h или 278h):

- Регистр данных (Data Register, DR), адрес = BASE. Данные, записанные в этот

регистр, выводятся на выходные линии Data [7:0]. Данные, считанные из этого регистра, в зависимости от схемотехники адаптера соответствуют либо ранее записанным данным, либо сигналам на тех же линиях, что не всегда одно и то же.

- *Регистр состояния* (Status Register, SR) предназначен только для чтения, адрес = BASE+1. Регистр отображает 5-битный порт ввода сигналов состояния (см. табл. 6.4) и флаг прерывания (SR.2).
- *Регистр управления* (Control Register, CR), адрес = BASE+2, допускает запись и чтение. Регистр связан с 4-битным портом вывода управляющих сигналов (биты 0-3, см. табл. 6.4), для которых возможно и чтение; выходной буфер обычно имеет тип «открытый коллектор». Это позволяет корректно использовать линии данного регистра как входные при программировании их в высокий уровень. Бит CR.5 управляет направлением передачи (1 - ввод, только для портов PS/2, см. далее). Бит CR. 4 разрешает прерывание по спаду сигнала на линии Ack# - сигнал запроса следующего байта (подтверждение приема) в протоколе интерфейса Centronics.

Таблица 6.4. Разъем и сигналы LPT-порта

Кон- такт	Назначение					
	I/O ¹	Бит ²	SPP	Bi-Di	EPP	ECP
1	O/I	CR.0\	Strobe#	HostClk	Write#	HostClk
2-9	O(I)	DR.(0-7)	Data (0-7)	Data (0-7)	Data (0-7)	Data (0-7)
10	I ³	SR.6	Ack#	PerClk	INTR#	PeriphClk
11	I	SR.7\	Busy	PerBusy	Wait#	PeriphAck
12	I	SR.5	PaperEnd	AckDataReq	- ⁴	AckReverse#
13	I	SR.4	Select	Xflag	- ⁴	Xflag
14	O/I	CR.1\	Auto LF#	HostBusy	DataStb#	HostAck
15	I	SR.3	Error#	DataAvail#	- ⁴	PeriphRequest#
16	O/I	CR.2	Init#	Init#	Reset#	ReverseRequest#
17	O/I	CR.3\	Select In#	1284Active	AddrStb#	1284Active
18-25	-	-	SG	SG	SG	SG

¹ I/O задает направление передачи (вход-выход) сигнала порта. O/I обозначает выходные линии, состояние которых считывается при чтении из портов вывода; O(I) — выходные линии, состояние которых может быть считано только при особых условиях (см. далее); символ # в конце названия сигнала означает, что сигнал активен при низком уровне.

² Символом «\» отмечены инвертированные сигналы (1 в регистре соответствует низкому уровню линии).

³ Вход Ack# соединен резистором (10 кОм) с питанием +5 В.

⁴ Определяется пользователем.

Любые протоколы обмена с устройствами через стандартный LPT-порт реализуются программно, чтением и записью регистров порта (т.е. контроллером интерфейса является процессор ПК). Например, для вывода одного байта по протоколу Centronics требуется как минимум 4-5 операций ввода-вывода с регистрами порта. Отсюда вытекает главный недостаток обмена через стандартный порт - невысокая скорость при значительной загрузке процессора. Удастся достичь скорость до 100-150 Кбайт/с при полной загрузке процессора.

Запрос аппаратного прерывания (обычно IRQ7 или IRQ5) вырабатывается адаптером порта по отрицательному перепаду сигнала Ack# при установке CR. 4=1.

Интерфейс Centronics. Параллельный асинхронный интерфейс Centronics ориентирован на

передачу потока байт данных принтеру и прием сигналов состояния принтера. Этот интерфейс поддерживается всеми LPT-портами и большинством принтеров с параллельным интерфейсом. Его отечественным аналогом является интерфейс *ИРПП-М*. Понятие Centronics относится как к набору сигналов и протоколу взаимодействия, так и к разъемам, устанавливаемым на ПК и принтерах. Разъемы порта для компьютера и принтера отличаются друг от друга. Первый - это 25-контактная розетка D-типа, а второй - 36-контактная розетка параллельного типа. Для соединения компьютера с принтером используется интерфейсный принтерный кабель длиной не более 5 м.

Назначение сигналов интерфейса и разводка их по контактам разъема принтера приведены в табл. 6.5, а разъема компьютера - в табл.6.4. Временные диаграммы обмена с принтером представлены на рис. 6.10.

Таблица 6.5. Сигналы интерфейса Centronics на контактах разъема принтера.

Сигнал	I/O*	Контакт	Назначение
Strobe#	I	1	Строб данных. Данные фиксируются по низкому уровню или по заднему фронту 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 (PE)	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)
Select In#	I	36	Выбор принтера (низким уровнем). При высоком уровне принтер не воспринимает остальные сигналы интерфейса
SG	-	19-30, 33	Общий провод интерфейса

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

Передача данных начинается с проверки готовности принтера - состояния линии *Busy*. Низкий уровень этого сигнала информирует о готовности принтера к приему байта данных. Контроллер порта выдает байт данных на шину данных и затем формирует строб-импульс данных *Strobe#*. Длительность этого импульса должна быть больше длительности переходных процессов в линиях данных интерфейса и может составлять доли и единицы микросекунд.

Подтверждением приема байта (символа) является низкий уровень сигнала *Ack#*, который вырабатывается принтером после приема данных по заднему фронту строка через неопределенное время. Импульс *Ack#* является также запросом принтера на прием следующего байта, и его задействуют для формирования сигнала прерывания от порта принтера. Если прерывания не используются, то сигнал *Ack#* игнорируется и весь обмен управляется парой сигналов *Strobe#* и *Busy*. Свое состояние принтер может сообщить порту по линиям *Select*,

Error# и PaperEnd - по ним можно определить, включен ли принтер, исправен ли он и заправлен ли он бумагой. Формированием импульса на линии Init# производится общий сброс (инициализация) принтера. Режимом автоматического перевода строки, как правило, не пользуются, и на линии AutoLF# устанавливают высокий уровень. Сигнал SelectIn# позволяет логически отключать принтер от интерфейса.

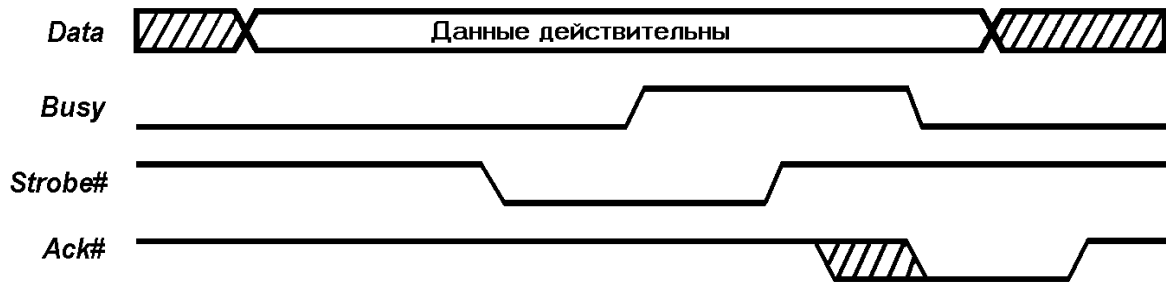


Рис. 6.10. Передача данных по протоколу Centronics

6.4.2.3. Стандарт IEEE 1284

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

- *Режим совместимости (Compatibility Mode)* - однонаправленный (вывод) по протоколу Centronics. Этот режим соответствует SPP-порту.
- *Полубайтный режим (Nibble Mode)* - ввод байта в два цикла (по 4 бита), используя для приема линии состояния. Этот режим обмена подходит для любых адаптеров, поскольку задействует только возможности стандартного порта.
- *Байтный режим (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 I*).
- *Режим EPP (EPP Mode)* - двунаправленный обмен данными (EPP означает Enhanced Parallel Port). Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно во время цикла обращения к порту. Эффективен при работе с устройствами внешней памяти и адаптерами первых локальных сетей.
- *Режим ECP (ECP Mode)* - двунаправленный обмен данными с возможностью аппаратного сжатия данных по методу *RLE* (Run Length Encoding) и использования FIFO-буферов и DMA (ECP означает Extended Capability Port). Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно. Он эффективен для принтеров и сканеров (здесь может использоваться сжатие) и различных устройств блочного обмена.

Стандарт определяет способ, по которому ПО может определить режим, доступный и хосту (ПК), 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 *IEEE 1284*, несмотря на наличие в них черт EPP и ECP.

В компьютерах с LPT-портом на системной плате режим - SPP, EPP, ECP или их комбинация - задается в BIOS Setup. Режим совместимости полностью соответствует SPP-порту.

Подробную информацию о стандарте *IEEE 1284* и стандартных режимах работы LPT-порта можно найти в [21], [22], [26], [31]. Информацию о системной поддержке LPT-порта на уровне BIOS, о поддержке им функций PnP, о его конфигурировании и применении можно найти в [8], [21], [22], [26]. Информацию о EPP BIOS можно найти в [31].

Информацию о правилах подключения цепочек устройств к LPT-порту, работающему в режиме EPP можно найти в [8].

В данном разделе использованы материалы из [8], [21], [22], [26], [31].

6.4.3. Универсальный последовательный периферийный ИВВ - COM-порт (RS-232C)

6.4.3.1. Общие сведения

Универсальный последовательный периферийный ИВВ - *COM-порт* (Communications Port - коммуникационный порт) присутствует в PC начиная с первых моделей. Этот порт обеспечивает *асинхронный* обмен по стандарту (протоколу) RS-232C. (*Синхронный* обмен в PC поддерживают лишь специальные адаптеры, например SDLC - Synchronous Data Link Control или V.35 [23, 24]). COM-порты реализуются на микросхемах универсальных асинхронных приемопередатчиков - УАПП (UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), совместимых с семейством i8250/16450/16550. Они занимают в пространстве ввода-вывода ПК по 8 смежных 8-разрядных регистров и могут располагаться по стандартным *базовым адресам* 3F8h (COM1), 2F8h (COM2), 3E8h (COM3), 2E8h (COM4). Порты могут вырабатывать *аппаратные прерывания* IRQ4 (обычно используются для COM1 и COM3) и IRQ3 (для COM2 и COM4). С внешней стороны порты имеют линии последовательных данных передачи и приема, а также набор сигналов управления и состояния, соответствующий стандарту RS-232C и программно доступные ЦП через регистры UART. COM-порты имеют внешние разъемы-вилки (male - «папа») DB25P или DB9P, выведенные на заднюю панель компьютера. Характерной особенностью интерфейса является применение «не ТТЛ» сигналов - все внешние сигналы порта двуполярные. Гальваническая развязка отсутствует - схемная земля подключаемого устройства соединяется со схемной землей компьютера. Скорость передачи данных может достигать 115 200 бит/с.

Компьютер может иметь до четырех последовательных портов COM1-COM4 с поддержкой на уровне BIOS. Сервис BIOS Int 14h обеспечивает инициализацию порта, ввод и вывод символа (не используя прерываний) и опрос состояния. Через Int 14h скорость передачи программируется в диапазоне 110-9600 бит/с (меньше, чем реальные возможности порта). Для повышения производительности широко используется взаимодействие программ с портом на уровне регистров, для чего требуется совместимость аппаратных средств COM-порта с программной моделью (регистровой архитектурой) контроллеров i8250/16450/16550.

Название порта указывает на его основное назначение - подключение коммуникационного оборудования (например, модема) для связи с другими компьютерами, сетями и периферийными устройствами. К порту могут непосредственно подключаться и периферийные устройств с последовательным интерфейсом: принтеры, плоттеры, терминалы и другие. COM-порт широко используется для подключения манипуляторов мышь, а также организации непосредственной связи двух компьютеров. К COM-порту подключают и электронные ключи.

Практически все относительно современные системные платы (еще начиная с PCI-плат для процессоров 486) имеют встроенные адаптеры двух COM-портов. Один из портов может использоваться и для беспроводной инфракрасной связи с периферийными устройствами (IrDA). Если возникает потребность в большом количестве последовательных интерфейсов, то в ПК можно установить специальные адаптеры-мультиплексоры.

«Классический» COM-порт позволяет осуществлять обмен данными только программно-управляемым способом, при этом для пересылки каждого байта процессору приходится выполнять несколько инструкций. Порты, выполненные на базе контроллеров типа 16550A, имеют FIFO-буферы данных и позволяют выполнять обмен по каналу DMA, однако в BIOS

Setup большинства PC совместимых компьютеров не предусмотрено выделение COM-портам каналов DMA, как, например, это предусмотрено для режима ECP LPT-порта.

6.4.3.2. Интерфейс RS-232C

Интерфейс RS-232C предназначен для подключения аппаратуры, передающей или принимающей данные (*ООД* - оконечное оборудование данных, или *АПД* - аппаратура передачи данных; *DTE*- *Data Terminal Equipment*), к оконечной аппаратуре каналов данных (*АКД*; *DCE* - *Data Communication Equipment*). В роли АПД может выступать компьютер, принтер, плоттер и другое периферийное оборудование. В роли АКД обычно выступает модем. Конечной целью подключения является соединение двух устройств АПД. Полная схема соединения приведена на рис. 6.11; интерфейс позволяет исключить канал удаленной связи вместе с парой устройств АКД, соединив устройства непосредственно с помощью нуль-модемного кабеля (рис. 6.12).

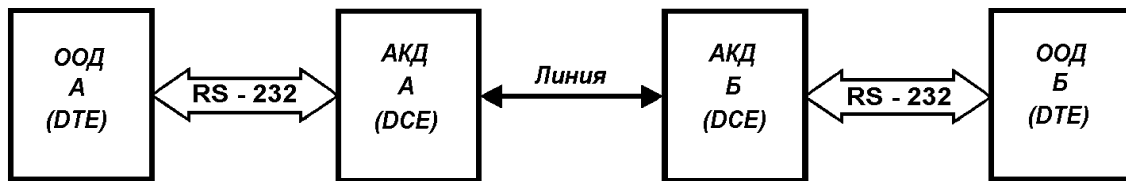


Рис. 6.11. Полная схема соединения по RS-232C

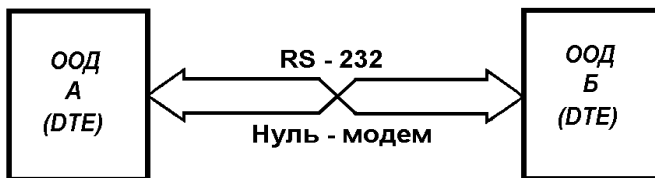


Рис. 6.12. Соединение по RS-232C нуль-модемным кабелем

RS-232C описывает управляющие сигналы интерфейса, пересылку данных, электрические параметры и типы разъемов. В стандарте предусмотрены 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 сигналов.

Интерфейс *не обеспечивает гальванической развязки* устройств. Логической единице соответствует напряжение на *входе приемника* в диапазоне от -12 до -3 В. Для линий управляющих сигналов это состояние называется *ON* («включено»), для линий последовательных данных - *MARK*. Логическому нулю соответствует диапазон от +3 до +12 В. Для линий управляющих сигналов состояние называется *OFF* («выключено»), а для линий последовательных данных - *SPACE*. Диапазон от -3 до +3 В - зона нечувствительности, обуславливающая гистерезис приемника: состояние линии будет считаться измененным только после пересечения порога (рис. 3.18). Уровни сигналов на выходах передатчиков должны быть в диапазонах от -12 до -5 В и от +5 до +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.

Стандарт RS-232C регламентирует *типы применяемых разъемов*. На аппаратуре АПД (в том числе на COM-портах) принято устанавливать *вилки DB-25P* или более компактный вариант - *DB-9P*. Девятиштырьковые разъемы не имеют контактов для дополнительных сигналов, необходимых для синхронного режима (в большинстве 25-штырьковых разъемах эти контакты не используются). На аппаратуре АКД (модемах) устанавливают *розетки DB-25S* или *DB-9S*.

Это правило предполагает, что разъемы АКД могут подключаться к разъемам АПД

непосредственно 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. 6.13).

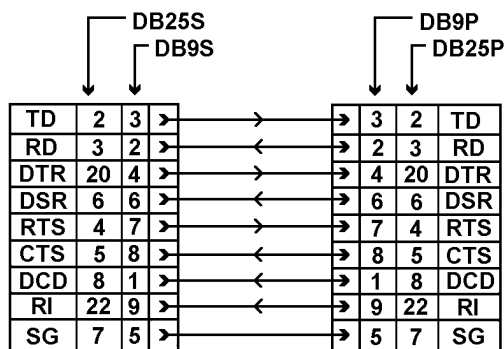


Рис. 6.13. Кабели подключения модемов

Если аппаратура АПД 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. 6.14.

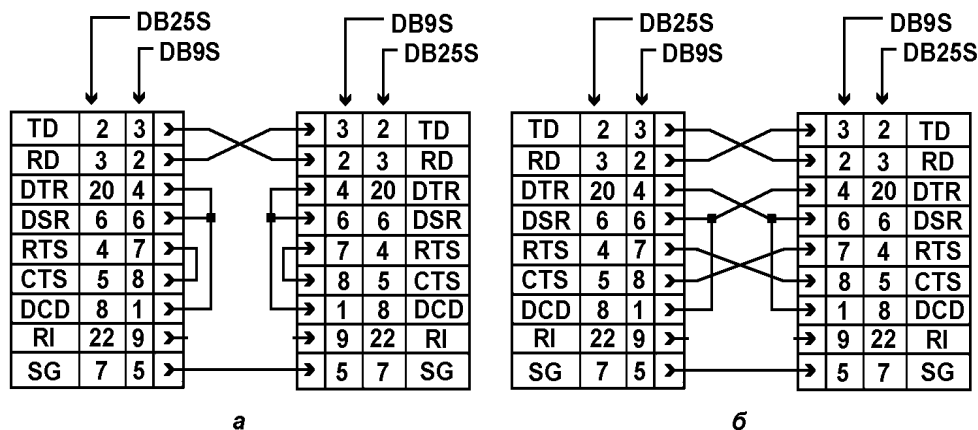


Рис. 6.14. Нуль-модемный кабель: а - минимальный, б - полный

Назначение подмножества сигналов *RS-232C*, относящихся к асинхронному режиму, и используемых в COM-портах PC приведено в табл. 6.6. В таблице использована мнемоника названий, принятая в описаниях COM-портов и большинства устройств.

Таблица 6.6. Назначение сигналов интерфейса RS-232C

Сигнал	Назначение
PG	<i>Protected Ground</i> - защитная земля, соединяется с корпусом устройства и экраном кабеля
SG	<i>Signal Ground</i> - сигнальная (схемная) земля, относительно которой действуют уровни сигналов
TD	<i>Transmit Data</i> - последовательные данные - выход передатчика
RD	<i>Receive Data</i> - последовательные данные - вход приемника
DSR	<i>Data Set Ready</i> - 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)
DTR	<i>Data Terminal Ready</i> - выход сигнала готовности терминала к обмену данными. Состояние «включено» поддерживает коммутируемый канал в состоянии соединения
DCD	<i>Data Carrier Detected</i> - вход сигнала обнаружения несущей удаленного модема

RI	<i>Ring Indicator</i> - вход индикатора вызова (звонка). В коммутируемом канале этим сигналом модем сигнализирует о принятии вызова
RTS	<i>Request To Send</i> - выход запроса передачи данных: состояние «включено» уведомляет модем о наличии у терминала данных для передачи. В полудуплексном режиме используется для управления направлением - состояние «включено» служит сигналом модему на переключение в режим передачи
CTS	<i>Clear To Send</i> - вход разрешения терминалу передавать данные. Состояние «выключено» запрещает передачу данных. Сигнал используется для аппаратного управления потоками данных

6.4.3.3. Родственные интерфейсы RS-422A, RS-423A и RS-485

В последовательном интерфейсе далеко не всегда используют двуполярные сигналы RS-232C - это неудобно, хотя бы из-за необходимости использования двуполярного питания приемопередатчиков. Сами микросхемы приемопередатчиков UART работают с сигналами логики ТТЛ или КМОП. Многие устройства (в том числе карманные ПК и мобильные телефоны) имеют внешний последовательный интерфейс с уровнями низковольтной логики. Конечно, сигналы обычной логики не имеют столь высокой помехоустойчивости, как RS-232C, но не всегда это и требуется.

Когда требуется большая помехоустойчивость (дальность и скорость передачи), применяют иные электрические варианты последовательных интерфейсов: RS-422A (V.11, X.27), RS-423A (V. 10, X.26), RS-485.

Интерфейсы RS-422A, RS-423A и RS-485, работают на двухпроводных линиях связи. В них для приема каждого сигнала используются дифференциальные приемники с отдельной (витой) парой проводов для каждой сигнальной цепи. В интерфейсах RS-422A и RS-485 дополнительно для увеличения эффективной амплитуды передаваемых сигналов используются парафазные усилители, обеспечивающие симметричную передачу сигналов (см. раздел 3.3).

Интерфейсы EIA-RS-422 (ITU-T V.11, X.27) и EIA-RS-485 (ISO 8482), использующие симметричную передачу сигнала, допускают как двухточечную, так и шинную (многоточечную) топологию соединений. В них информативной является разность потенциалов между проводниками А и В. Если на входе приемника $U_A - U_B > 0,2$ В (А положительнее В) - состояние «выключено» (space), $U_A - U_B < -0,2$ В (А отрицательнее В) - состояние «включено» (mark). Диапазон $|U_A - U_B| \leq 0,2$ В является зоной нечувствительности (гистерезис), защищающей от воздействия помех.

На выходах передатчика сигналы U_A и U_B обычно переключаются между уровнями 0 и +5 В (КМОП) или +1 и +4 В (ТТЛ), дифференциальное выходное напряжение должно лежать в диапазоне 1,5 - 5 В. Выходное сопротивление передатчиков 100 Ом. Интерфейсы электрически совместимы между собой, хотя и имеют некоторые различия в ограничениях. Принципиальное отличие передатчиков RS-485 - возможность переключения в третье состояние. Передатчики RS-422/485 совместимы с приемниками RS-423.

Интерфейс RS-485 может быть в двух версиях: двухпроводной и четырех проводной. Четырех проводная версия выделяет задающий узел (master), передатчик которого работает на приемники всех остальных. Передатчик задающего узла всегда активен - переход в третье состояние ему не нужен. Передатчики остальных ведомых (slave) узлов должны иметь тристабильные выходы, они объединяются на общей шине с приемником ведущего узла. В двухпроводной версии все узлы равноправны.

В вырожденном случае - при двухточечном соединении - интерфейсы RS-485 и RS-422 эквивалентны, и третье состояние не используется.

Для определенности состояния покоя шины RS-485, когда нет активных передатчиков, на линию устанавливают активные терминаторы, «растягивающие» потенциалы проводов. В покое провод В должен иметь более положительный потенциал, чем А.

При многоточечном соединении необходимо организовать метод доступа к среде передачи. Чаще всего используют полинг (polling) - опрос готовности к передаче, выполняемый ведущим устройством, или передачу права доступа в соответствии с определенным (установленным) регламентом. Иногда используют и методы случайного доступа (аналогично Ethernet).

Дифференциальный вход интерфейсов защищает от действия помех, но при этом должно осуществляться соединение «схемных земель» устройств между собой и с шиной заземления. Для соединения устройств между собой используют третий провод интерфейса (можно и экран). Для того чтобы по третьему проводу не протекал большой ток, выравнивающий «земляные потенциалы», в его цепь включают резисторы.

Интерфейс RS-422 часто используется для подключения периферийных устройств (например, принтеров). Интерфейс RS-485 популярен в качестве интерфейса устройств промышленной автоматики.

6.4.3.4. Асинхронный режим передачи

Асинхронный режим передачи является байт-ориентированным (символьно-ориентированным): минимальная пересылаемая единица информации - один байт (один символ). Формат посылки байта иллюстрирует рис. 6.15.



Рис. 6.15. Формат асинхронной передачи RS-232C

Передача каждого символа начинается со *старт-бита*, сигнализирующего приемнику о начале посылки, за которым следуют *биты данных* и, возможно, *бит паритета* (четности). Завершает посылку *стоп-бит*, гарантирующий паузу между посылками. Старт-бит следующего байта посылается в любой момент после стоп-бита, то есть между передачами возможны паузы произвольной длительности. Старт-бит, имеющий всегда строго определенное значение (логический 0), обеспечивает простой механизм синхронизации приемника по сигналу от передатчика.

Подразумевается, что приемник и передатчик работают на одной скорости обмена. 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 стробы располагаются в середине битовых интервалов, что позволяет принимать данные и при незначительном рассогласовании скоростей приемника и передатчика.

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. Количество *бит данных* может составлять 5, 6, 7 или 8 (5- и 6-битные форматы распространены незначительно). Количество *стоп-бит* может быть 1, 1,5 или 2 («полтора бита» означает только длительность

стопового интервала, измеренная в битовых интервалах).

6.4.3.5. Микросхемы асинхронных приемопередатчиков

В COM-портах преобразование параллельного кода в последовательный для передачи и обратное преобразование при приеме данных выполняют специализированные микросхемы UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter - универсальный асинхронный приемо-передатчик - УАПП). Эти же микросхемы формируют и обрабатывают управляющие сигналы интерфейса. COM-порты IBM PC XT/AT базируются на микросхемах, совместимых на уровне регистров с UART i8250 - 8250/16450/16550A.

Микросхемы 8250х имеют невысокое быстродействие по обращениям со стороны системной шины. Они не допускают обращения к своим регистрам в смежных шинных циклах процессора; для корректной работы с ними требуется введение программных задержек между обращениями CPU.

В PC-совместимых ПК применяют микросхемы UART 16450/16550/16550A Совместимость с этой микросхемой обеспечивает большинство контроллеров портов ввода-вывода, входящих в чипсеты.

Регистры УАПП 8250, 16450 и 16550. Микросхемы UART 8250, 16450 и 16550 с программной точки зрения представляют собой набор регистров, доступ к которым определяется адресом и значением бита DLAB (бита 7 регистра LCR). В адресном пространстве микросхемы занимают 8 смежных адресов. Список регистров УАПП (UART) 16550 и способы доступа к ним приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7. Регистры UART 16550A

Адрес (Смещение)	DLAB	Регистр		
		Имя	Название	Чтение/запись R/W
0h	0	THR	Transmit Holding Register	WO
0h	0	RBR	Receiver Buffer Register	RO
0h	1	DLL	Divisor Latch LSB	R/W
1h	1	DLM	Divisor Latch MSB	R/W
1h	0	IER	Interrupt Enable Register	R/W
2h	X	IIR	Interrupt Identification Register	RO
2h	X	FCR	FIFO Control Register	WO
3h	X	LCR	Line Control Register	R/W
4h	X	MCR	Modem Control Register	R/W
5h	X	LSR	Line Status Register	R/W ¹
6h	X	MSR	Modem Status Register	R/W'
7h	X	SCR	Scratch Pad Register	R/W

¹ Некоторые биты допускают только чтение. Запись в регистр может привести к сбою протокола.

X - значение разряда DLAB безразлично. RO - только чтение. WO - только запись. R/W - и запись и чтение.

Микросхемы 8250 и 16450 отличаются отсутствием регистра FCR и всех возможностей FIFO и DMA.

Контрольные вопросы к разделам 6.4.2 – 6.4.3

1. Какие интерфейсы относятся к универсальным ПИВВ?
2. Дайте краткую характеристику универсальному ПИИВ LPT-порт.
3. Охарактеризуйте стандартный параллельный порт (SPP).
4. Охарактеризуйте интерфейс Centronics.
5. Дайте краткую характеристику стандарту IEEE 1284.

6. Дайте общую характеристику универсальному ПИВВ COM-порт.
7. Дайте краткую характеристику интерфейсу RS-232C.
8. Дайте краткую характеристику последовательным интерфейсам, родственным RS-232C.
9. Как организован асинхронный режим передачи через COM-порт?
10. Дайте краткую характеристику микросхемам асинхронных приемопередатчиков, используемых в COM-портах.

Достаточно полную информацию по COM-порту, его системной поддержке на уровне BIOS, о поддержке им функций PnP, о его конфигурировании и применении можно найти в [8], [21], [22], [26]. Информацию об интерфейсах, родственных RS-232C (RS-422A, RS-423A, RS-485 и «Токовая петля») можно найти в [8], [21]. Информацию о форматах регистров контроллеров COM-портов можно найти в [21], [25], [26].

В данном разделе использованы материалы из [8], [21], [22], [26], [27], [36]

6.4.4. Универсальный периферийный ИВВ USB

6.4.4.1. Общие сведения

USB (Universal Serial Bus - универсальная последовательная шина) является промышленным стандартом расширения архитектуры PC. (Под шиной будем понимать среду передачи многоточечного интерфейса, через которую к одному хост-адаптеру могут подключаться множество устройств и через которую в каждый момент времени может взаимодействовать с хостом только одно из этих устройств). В процессе развития стандарта был принят ряд рабочих версий его спецификаций: низкоскоростные (1,5 – 12 Мбит/с) версии USB 1.0 (1996 г.) и 1.1 (1998 г.); высокоскоростные версии USB 2.0 (2000 г. – до 480 Мбит/с) и USB 3.0 (2008 г. – до 5 Гбит/с); беспроводный USB - USB Wireless (2005 г. – до 480 Мбит/с на расстоянии 3 метра и до 110 Мбит/с на расстоянии 10 метров) и ряд других спецификаций. В одной и той же системе могут присутствовать и одновременно работать устройства со всеми скоростями. ИВВ USB позволяет с использованием промежуточных хабов соединять устройства, удаленные от компьютера на расстояние до 30 м. В проводных версиях USB предусмотрена возможность подавать питание на подключаемые USB устройства. Подробную и оперативную информацию по USB (на английском языке) можно найти на сайте <http://www.usb.org>. Обширную информацию по USB можно найти и в русскоязычном секторе Интернет. Разработку устройств, их классификацию и стандартизацию координирует организация *USB -IF* (USB Implementers Forum, Inc.).

6.4.4.2. Архитектура USB

Периферийный ИВВ USB представляет собой хост-центрическую аппаратно-программную систему подключения множества периферийных устройств. Хост-центричность понимается в нескольких аспектах:

- хост (центральная часть ПК) отвечает за конфигурирование всех устройств, подключаемых к USB, включая поддержку динамического (или "горячего") подключения и отключения;
- хост посредством хост-контроллера USB управляет всеми обменами (транзакциями) на шине (в коммуникационной среде ИВВ USB);
- обмен информацией возможен только между хостом (его памятью) и устройствами через хост-адаптер USB (однорангового взаимодействия устройств интерфейс USB не позволяет).

Ниже перечислены компоненты *аппаратной части USB*:

- *Устройства (Devices) USB* могут являться *хабами*, *функциями* или их комбинацией. Устройство USB должно иметь *интерфейсную часть USB*, обеспечивающую физическое и логическое подключение устройства к ИБВ USB.
- *Хабы (USB Hubs)* обеспечивает дополнительные точки подключения устройств к шине
- *Функции USB (USB Functions)* предоставляют системе дополнительные возможности, например подключение к цифровой телефонной сети ISDN, подключение принтера, акустических колонок с цифровым интерфейсом и т. п. По сути дела функция - это периферийное устройство со встроенной в него *интерфейсным блоком USB*. По сути дела хаб, это тоже функция, т. е. хаб выполняет дополнительную для хоста функцию хаба (концентратора).
- *Интерфейсный блок USB* представляет из себя адаптер, включенный между интерфейсной частью контроллера устройства и кабелем (шиной) интерфейса USB. Адаптер реализуется на базе контроллера USB (ведомого), поддерживающего обслуживание данного типа (класса) устройств.
- *Хост-адаптер (host adapter)* обеспечивает связь шины ИБВ USB с шиной ИБВ хоста компьютера. Хост-адаптер выполнен на базе *хост-контроллера USB*, который совместно с *корневым хабом (root hub)*, организует точки подключения устройств USB и управляет циклами обмена по шине ИБВ USB. Существует 2 варианта хост-контроллеров USB 1.x - универсальный (Universal Host Controller, UHC) и открытый (Open Host Controller, ОНС). Оба варианта поддерживают низкую и полную скорости (LS/FS); высокую скорость шины USB 2.0 (HS и только) поддерживает расширенный хост-контроллер (Enhanced Host Controller, EHC).
- *Кабели USB* соединяют устройства с хабами.

Ниже перечислены компоненты *программной части USB*:

- *Клиентское ПО (Client Software, CSw)* - это драйверы устройств USB, обеспечивающие доступ к устройствам со стороны прикладного ПО. Драйверы взаимодействуют с устройствами только через программный интерфейс с общим драйвером USB (USBDB). Непосредственного обращения к каким-либо регистрам аппаратных средств драйверы устройств USB не выполняют.
- *Драйвер USB (USB Driver, USBDB)* «заведует» всеми устройствами USB системы, их нумерацией, конфигурированием, предоставлением служб, распределением пропускной способности шины интерфейса, мощности питания и т. п.
- *Драйвер хост-контроллера (Host Controller Driver, HCD)* преобразует запросы ввода-вывода в структуры данных, размещенные в коммуникационной области оперативной памяти, и обращается к регистрам хост-контроллера. Хост-контроллер выполняет физические транзакции, используя эти структуры данных.

Работой всех устройств шины USB управляет *хост-контроллер*. Он является интеллектуальным устройством шины PCI или составной частью «южного» хаба (моста) системной платы, интенсивно взаимодействующей с основной памятью.

Программная часть USB в полном объеме реализуется операционной системой. До загрузки ОС может функционировать лишь усеченный фрагмент программной части USB, поддерживающий только те устройства, которые требуются для загрузки. В спецификации PC'2001 к BIOS выдвигается требование поддержки USB в такой мере, чтобы ОС могла загружаться с устройств USB. Современные версии BIOS обеспечивают возможность загрузки с устройств хранения, подключенных к USB: винчестеров, CD/DVD и флэш-карт. После загрузки системы эта «дозагрузочная» поддержка игнорируется - система начинает работу с контроллером хост-адаптера USB со сброса и определения всех подключенных устройств.

В BIOS современных системных плат имеется *поддержка традиционного интерфейса кла-*

виатуры и мыши, подключаемых через контроллер 8042. В хост-контроллерах UHC и OHC для этого имеются аппаратные средства, перехватывающие обращения к портам 60h и 64h пространства ввода/вывода (это порты контроллера 8042). При разрешенной эмуляции старых устройств (legacy input devices) по обращениям ПО к этим портам контроллер вызывает прерывание *SMI* (System Management Interrupt - прерывание системного управления), обрабатываемое в ПК на процессорах x86 в режиме *SMM* (System Management Mode - режим системного управления) невидимо для обычных программ. Обработчик *SMI*, перехватывающий эти обращения, формирует последовательности действий, необходимые для их исполнения с помощью клавиатуры и/или мыши USB. В OHC имеются специальные регистры, упрощающие задачу эмуляции.

6.4.4.3. Топология ИВВ USB

Физическое устройство USB должно иметь адаптер USB, обеспечивающий полную поддержку протокола USB, выполнение стандартных операций (конфигурирование и сброс) и предоставление информации, описывающей устройство. Физические устройства USB могут быть *комбинированными* (compound devices): включать в себя несколько устройств-функций, подключенных к внутреннему хабу, а также предоставлять своим внутренним хабом дополнительные внешние точки подключения.

Физическая топология USB - многоярусная «звезда». Ее вершиной является хост-адаптер (хост-контроллер, объединенный с корневым хабом). Хаб является устройством-разветвителем; к тому же он может служить источником питания для подключенных к нему устройств. К каждому порту хаба может непосредственно подключаться периферийное устройство, содержащее адаптер USB, или промежуточный хаб; шина допускает до 5 уровней каскадирования хабов (не считая корневого). Поскольку комбинированные устройства содержат внутри себя хаб, их подключение к хабу 5-го уровня уже недопустимо. Каждый промежуточный хаб имеет несколько *нисходящих* (downstream) портов для подключения периферийных устройств (или нижележащих хабов) и один *восходящий* (upstream) порт для подключения к корневому хабу или нисходящему порту вышестоящего хаба.

Логическая топология USB — «звезда». Хабы (включая корневой) создают иллюзию непосредственного подключения каждого логического устройства к хост-контроллеру. В этой «звезде» устанавливаются сугубо подчиненные отношения по системе опроса-ответа: хост-контроллер по своей инициативе передает данные выбранному устройству или принимает их. Устройство по своей инициативе передавать данные не может; непосредственные передачи данных между устройствами невозможны. Устройство по своей инициативе может лишь сигнализировать о *пробуждении* (wakeur), для чего используется специальная сигнализация, но не передача данных.

Физический интерфейс USB прост. Конструкция кабелей и коннекторов USB не дает возможности ошибиться при подключении устройств. Для распознавания разъема USB на корпусе устройства ставится стандартное символическое обозначение (рис. 6.16). Гнезда типа А (рис. 6.19) устанавливаются только на нисходящих портах хабов, вилки типа А - на шнурах периферийных устройств или восходящих портов хабов. Гнезда и вилки типа В используются только для шнуров, отсоединяемых от периферийных устройств и восходящих портов хабов (от «мелких» устройств - мышей, клавиатур и т. п. кабели, как правило, не отсоединяются). Для малогабаритных устройств имеются разъемы mini-B, а для поддержки использования USB без ПК (расширение OTG (On-The-Go – связь «на ходу»)) имеются вилки mini-A и розетки mini-AB. Хабы и устройства обеспечивают возможность «горячего» подключения и отключения с сигнализацией об этих событиях хосту.

При планировании соединений следует учитывать способ питания устройств: устройства, питающиеся от шины, как правило, подключают к хабу, питающимся от сети. К хабу, питающимся от шины, подключают лишь маломощные устройства - так, к клавиатуре USB,

содержащей внутри себя хаб, подключают мышь USB и другие устройства-указатели (трекбол, планшет).



Рис. 6.16. Коннекторы USB: символическое обозначение

Логическое устройство USB представляет собой набор независимых конечных точек (Endpoint, EP), с которыми хост-контроллер (и клиентское ПО) обменивается информацией. Каждому логическому устройству USB (как функции, так и хабу) конфигурационная часть ПО хоста назначает свой адрес (1-127), уникальный на данной шине ИБВ USB. Каждая конечная точка логического устройства идентифицируется своим номером (0-15) и направлением передачи (*IN* - передача к хосту, *OUT* - от хоста). Точки *IN4* и *OUT4*, к примеру, представляют собой разные конечные точки, с которыми могут общаться даже разные модули клиентского ПО. Набор конечных точек зависит от устройства, но всякое устройство USB обязательно имеет *двунаправленную конечную точку 0 (EP0)*, через которую осуществляется его общее управление. Для прикладных целей используются конечные точки с номерами 1...15 (1, 2 для низкоскоростных устройств). Адрес устройства, номер и направление конечной точки однозначно идентифицируют приемник или источник информации на данной шине при обмене хост-контроллера с устройствами USB. Каждая конечная точка имеет набор характеристик, описывающих поддерживаемый тип передачи данных (изохронные данные, массивы, прерывания, управляющие передачи), размер пакета, требования к частоте обслуживания.

Устройство может решать несколько функциональных задач: например, привод CD-ROM может обеспечивать проигрывание аудиодисков и работать как устройство хранения данных. При этом в устройстве определяются *интерфейсы*: набор конечных точек, предназначенных для решения данной задачи, и правила их использования. Таким образом, каждое устройство должно предоставлять один или несколько интерфейсов. Наличие нескольких интерфейсов позволяет нескольким драйверам, каждый из которых обращается только к своему интерфейсу (представляющему часть устройства USB), работать с одним и тем же устройством USB. Каждый интерфейс может иметь один или несколько *альтернативных вариантов* (альтернативных установок - alternate settings), из которых в данный момент активным может быть только один. Варианты различаются наборами (возможно, и характеристиками) используемых конечных точек.

Набор одновременно поддерживаемых интерфейсов составляет *конфигурацию устройства*. Устройство может иметь одну или несколько возможных конфигураций, из которых на этапе конфигурирования хост выбирает одну, делая ее *активной*. От выбранной конфигурации зависят доступная функциональность и зачастую - потребляемая мощность. Пока устройству не назначен номер выбранной конфигурации, оно не может функционировать в прикладном смысле, и ток потребления от шины не должен превышать 100 мА. Хост выбирает конфигурацию, исходя из доступности всех ресурсов, затребованных данной конфигурацией, включая и ток потребления от линий питания интерфейса.

6.4.4.4. Модель передачи данных

6.4.4.4.1. Общие сведения

Архитектура USB допускает четыре базовых *типа передач* данных между хостом и периферийными устройствами:

- *Изохронные передачи* (isochronous transfers) - потоковые передачи в реальном времени,

занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности ИВВ с гарантированным временем задержки доставки. На полной скорости (FS) можно организовать один канал с полосой до 1,023 Мбайт/с (или два по 0,5 Мбайт/с), заняв 70 % доступной полосы (остаток можно занять и менее емкими каналами). На высокой скорости (HS) можно получить канал до 24 Мбайт/с (192 Мбит/с). Надежность доставки не гарантируется. USB позволяет с помощью изохронных передач организовывать *синхронные соединения* между устройствами и прикладными программами. Изохронные передачи нужны для потоковых устройств: видеоканал, цифровых аудиоустройств (колонки USB, микрофон), устройств воспроизведения и записи аудио- и видеоданных (CD и DVD). Видеопоток (без компрессии) шина USB способна передавать только на высокой скорости.

- *Прерывания* (interrupts) - передачи спонтанных сообщений, которые должны выполняться с задержкой не большей, чем требует устройство. Предел времени обслуживания устанавливается в диапазоне 10-255 мс для низкой и 1-255 мс для полной скорости. На высокой скорости можно заказать и 125 мкс. Доставка гарантирована, при случайных ошибках обмена выполняется повтор (правда, при этом время обслуживания увеличивается). Прерывания используются, например, при вводе символов с клавиатуры или передаче сообщений о перемещениях мыши. Прерываниями можно передавать данные и к устройству (как только устройство сигнализирует о потребности в данных, хост своевременно их передает). Размер сообщения может составлять 0-8 байт для низкой скорости, 0-64 байт - для полной и 0-1024 байт - для высокой скорости передачи.
- *Передачи массивов данных* (bulk data transfers) - это передачи без каких-либо обязательств по своевременности доставки и по скорости. Передачи массивов могут занимать всю полосу пропускания шины, свободную от передач других типов. Приоритет этих передач самый низкий, они могут приостанавливаться при большой загрузке шины. Доставка гарантированная - при случайной ошибке выполняется повтор. Передачи массивов уместны для обмена данными с принтерами, сканерами, устройствами хранения и т. п.
- *Управляющие передачи* (control transfers) используются для конфигурирования устройств во время их подключения и для управления устройствами в процессе работы. Только управляющие передачи на USB обеспечивают *синхронизацию запросов и ответов*; в остальных типах передач явной синхронизации потока ввода с потоком вывода нет.

Каждая единица клиентского ПО (обычно представляемая драйвером CSw) связывается с одним интерфейсом своего устройства (функции) монопольно и независимо (рис. 6.17).

Связи на этом рисунке обозначают *коммуникационные каналы* (communication pipes), которые устанавливаются между драйверами устройств и их конечными точками. Каналы могут устанавливаться только с конечными точками устройств, относящимися к выбранным (из альтернативных) вариантам интерфейсов активной конфигурации. Другие конечные точки недоступны

6.4.4.4.2. Запросы, пакеты и транзакции

Для передачи или приема данных клиентское ПО посылает каналу пакет *запроса ввода-вывода* (Input/Output Request, IRP) и ждет уведомления о завершении его отработки. Формат IRP определяется реализацией драйвера USB в конкретной ОС. В IRP имеются только сведения о запросе (местоположение буфера передаваемых данных в оперативной памяти и длина передачи). Отработкой запроса в виде транзакций на шине USB занимается драйвер USB. *Транзакция* на шине USB - это последовательность обмена пакетами между хостом и ПУ, в ходе которой может быть передан или принят один *пакет данных* (возможны транзакции, в которых данные не передаются). Отработка запроса считается завершенной в случае успеш-

ного выполнения всех связанных с ним транзакций. Однако устройство может сигнализировать о серьезных ошибках (ответом *STALL*), что приводит к аварийному завершению запроса; о последнем уведомляется клиентский драйвер. Возобновление работы с данным каналом возможно лишь после явного уведомления об обработке ошибочной ситуации, которое драйвер устройства делает с помощью специального запроса (тоже вызова USBD).

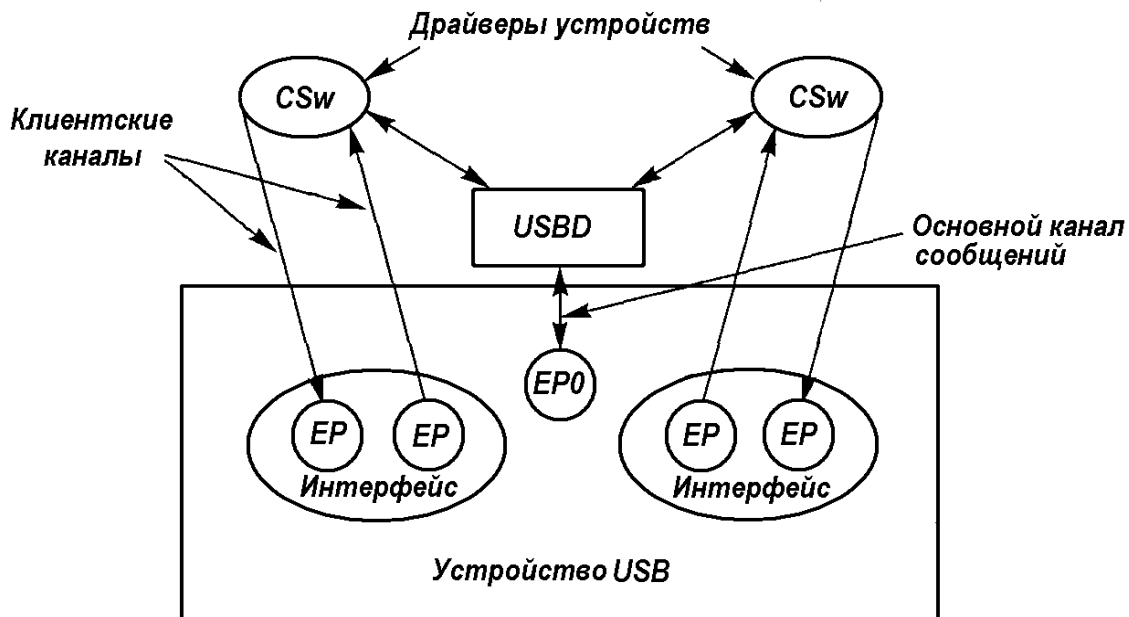


Рис. 6.17. Схема взаимоотношения клиентского ПО (CSw) с интерфейсами устройств USB

Длинные запросы разбиваются на транзакции так, чтобы размер пакета был максимальным. Последний пакет с остатком может оказаться короче максимального размера. Хост может считать короткий пакет либо разделителем, указывающим на конец блока данных, либо признаком ошибки, по которому канал останавливается.

6.4.4.4.3. Каналы

Коммуникационные каналы USB разделяются на 2 типа:

- *Потоковый канал* (streaming pipe) доставляет данные от одного конца канала к другому, он всегда *однонаправленный*. Передачи данных в *разных* потоковых каналах друг с другом *не синхронизированы*. Это означает, что запросы клиентских драйверов для *разных* каналов, поставленные в определенном порядке относительно друг друга, могут выполняться в другом порядке. Если во время исполнения какого-либо запроса происходит серьезная ошибка (об этом устройство сообщает ответом *STALL*), поток останавливается. Поток может реализовывать передачи массивов, изохронные передачи и прерывания.
- *Канал сообщений* (message pipe) является *двунаправленным*. Передачи сообщений во встречных направлениях *синхронизированы* друг с другом и строго *упорядочены*. На каждое сообщение противоположная сторона обязана ответить подтверждением его приема и отработки. Форматы сообщений определяются спецификацией USB: имеется набор стандартных сообщений (запросов и ответов) и зарезервированных идентификаторов сообщений, формат которых определяется разработчиком устройства или интерфейса.

С каналами связаны характеристики, соответствующие конечной точке (полоса пропускания, тип сервиса, размер пакета и т. п.). Каналы организуются при конфигурировании устройств USB. Полоса пропускания шины делится между всеми установленными каналами.

Каналы различаются и по назначению:

- *Основной канал сообщений* (default pipe, он же control pipe 0), владельцем которого

является USBД, используется для доступа к конфигурационной информации всех устройств. Этот канал устанавливается с *нулевой конечной точкой* (Endpoint Zero, EP0), которая у всех устройств всегда поддерживает только управляющие передачи.

- *Клиентские каналы* (client pipes) - каналы, владельцами которых являются драйверы устройств. По этим каналам могут передаваться как потоки, так и сообщения; они поддерживают любые типы передач USB (изохронные передачи, прерывания, массивы, управляющие передачи).

Интерфейс устройства, с которым работает клиентский драйвер, представляет собой *связку клиентских каналов* (pipe's bundle). Для этих каналов драйверы устройств являются единственными источниками и потребителями передаваемых данных.

Владельцем основных каналов сообщений всех устройств является драйвер USB (USBД); по этим каналам передается информация конфигурирования, управления и состояния. Основным каналом сообщений может пользоваться и клиентский драйвер для текущего управления и чтения состояния устройства, но опосредованно - через USBД. Например, сообщения, передаваемые по основному каналу, используются драйвером принтера USB для опроса текущего состояния (передаются три признака в формате регистра состояния LPT-порта: *ошибка ввода-вывода, принтер выбран, отсутствие бумаги*).

6.4.4.5. Организация обменов по USB

6.4.4.5.1. Кадры и микрокадры

Хост организует обмены с устройствами согласно своему плану распределения ресурсов. Для этого хост-контроллер циклически с периодом 1 мс формирует *кадры* (frames), в которые укладываются все запланированные транзакции (рис. 6.18).

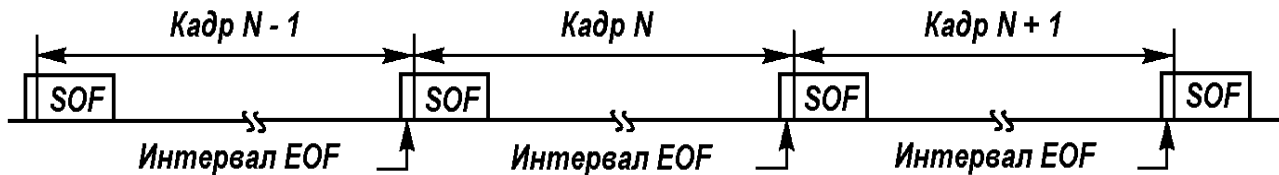


Рис. 6.18 Кадры USB

Каждый кадр начинается с посылки пакета-маркера *SOF* (Start Of Frame), который является синхронизирующим сигналом для изохронных устройств, а также для хабов. Кадры нумеруются последовательно, в маркере *SOF* передаются 11 младших битов номера кадра. В режиме HS каждый кадр делится на 8 *микрокадров*, и пакеты *SOF* передаются в начале каждого микрокадра (с периодом 125 мкс). При этом во всех восьми микрокадрах *SOF* несет один и тот же номер кадра; новое значение номера кадра передается в нулевом микрокадре. В каждом кадре (микрокадре) может быть выполнено несколько транзакций, их допустимое число зависит от скорости, длины поля данных каждой из них, а также от задержек, вносимых кабелями, хабами и устройствами. Все транзакции кадров должны быть завершены до начала интервала времени *EOF* (End of Frame). Период (частота) генерации кадров (микрокадров) может немного варьироваться с помощью специального регистра хост-контроллера, что позволяет подстраивать частоту для изохронных передач.

Кадрирование используется и для обеспечения живучести шины. В конце каждого кадра (микрокадра) выделяется интервал времени *EOF*, на время которого хабы запрещают передачу по направлению к контроллеру. Если хаб обнаружит, что с какого-то порта в это время ведется передача данных (к хосту), этот порт отключается, изолируя «болтливое» устройство, о чем информируется USBД.

Хост планирует загрузку кадров так, чтобы помимо запланированных изохронных транзакций и прерываний в них всегда находилось место для транзакций управления. Свободное

время кадров может заполняться передачами массивов.

6.4.4.5.2. Протокол USB

Протокол USB обеспечивает обмен данными между хостом и устройством. На протокольном уровне решаются такие задачи, как обеспечение достоверности и надежности передачи, управление потоком. Для достоверности применяется избыточное кодирование (дублирование заголовков и CRC-контроль тела пакета).

На *физическом уровне* используется техника вставки битов (bit stuffing), предотвращающая потерю синхронизации. Пакеты обрамляются специальными разделителями (Sync в начале и EOP в конце); при приеме контролируются размер пакета (он должен составлять целое число байтов), допустимость символов, корректность CRC и дублирующих полей заголовка. Любое нарушение заставляет считать пакет недействительным.

На *канальном уровне* весь трафик через ИБВ USB передается посредством *транзакций*, в каждой транзакции возможен обмен только между хостом и адресуемым устройством (его конечной точкой).

Все транзакции (обмены) с устройствами USB состоят из двух-трех пакетов. Каждая транзакция планируется и начинается по инициативе хост-контроллера, который посылает *пакет-маркер* (token packet). *Маркер транзакции* описывает тип и направление передачи, адрес выбранного устройства USB и номер конечной точки. Адресуемое маркером устройство распознает свой адрес и готовится к обмену. Источник данных, определенный маркером, передает *пакет данных*. На этом этапе транзакции, относящиеся к изохронным передачам, завершаются - здесь нет подтверждения приема пакетов. Для остальных типов передач работает механизм подтверждения, обеспечивающий гарантированную доставку данных. Получатель данных отвечает пакетом *ACK*, означающим успешный прием и готовность, либо пакетом *NAK* или *NYET*, означающим ошибку или неготовность; на ошибочный пакет он не отвечает, и срабатывает механизм тайм-аута. Возможен и ответ *STALL* - серьезная ошибка, при которой «оживление» канала (конечной точки) требует программного вмешательства. В случае неудачи приема (тайм-аут, неготовность) попытка транзакции повторяется в следующем кадре (микрокадре).

Протокол управляющих передач из-за двунаправленности существенно отличается от передач других типов. Управляющие передачи состоят из двух или трех стадий и выполняются с помощью нескольких транзакций:

- *Стадия установки* (setup stage) предназначена для передачи управляющего сообщения от хоста к устройству. Это сообщение (всегда 8 байт) описывает команду (запрос), которую должно выполнить устройство. Команда может быть связана с передачей или приемом данных.
- *Стадия передачи данных* (data stage) предназначена для посылки дополнительной управляющей информации (в передаче *Write Control*) или приема информации от устройства (в передаче *Read Control*). Эта стадия может отсутствовать, если не требуется ввод информации, а выводимая информация уместается в сообщении стадии установки. Длина поля данных для этой стадии не ограничена.
- *Стадия передачи состояния* (status stage) предназначена для уведомления хоста о факте завершения исполнения команды (устройство посылает пакет *ACK*). Ответ устройства *NAK* означает, что запрос еще не выполнен, *STALL* - отказ от выполнения данного запроса (здесь «оживление» канала не требуется).

6.4.4.6. Физический интерфейс

6.4.4.6.1. Кабели и разъемы

Кабель *USB* содержит две пары проводов: одну для сигнальных цепей (D+ и D-) и одну для схемной «земли» (GND) и питания +5 В (Vbus). Допустимая длина сегмента (кабеля от устройства до хаба) - до 5 м. Ограничения на длину сегмента диктуются затуханием сигнала и вносимыми задержками. Максимальное удаление устройства от хост-контроллера составляет 30 м (5 хабов, 6 кабельных сегментов). Оно определяется задержкой, вносимой кабелями, промежуточными хабами и самими устройствами.

В кабеле *USB 1.X* используются витая пара проводов для сигнальных цепей и неперевитая пара для питания; требований к экранированию кабелей не выдвигалось.

В кабелях *USB 2.0* обязателен экран и связанный с ним дополнительный проводник. Такой кабель пригоден для работы на любых скоростях, включая и HS (480 Мбит/с).

Разъемы *USB* сконструированы с учетом простоты подключения и отключения устройств. Для реализации «горячего» подключения разъемы обеспечивают более раннее соединение и более позднее отсоединение питающих цепей по отношению к сигнальным. В *USB* определено несколько типов разъемов:

- А. Гнезда (рис. 6.19, а) устанавливаются на нисходящих портах хабов, это стандартные порты подключения устройств. Вилки типа А устанавливаются на шнурах периферийных устройств или восходящих портов хабов.
- В. Разъемы этого типа используются для шнуров, отсоединяемых от периферийных устройств, и восходящих портов хабов (от «мелких» устройств - мышей, клавиатур и т.п. кабели, как правило, не отсоединяются). На устройстве устанавливается гнездо (рис. 6.19, б), на кабеле - вилка.
- Mini-B. Разъемы этого типа (рис. 6.19, в, г) используются для отсоединяемых шнуров малогабаритных устройств.
- Mini-A. Этот тип (рис. 6.19, д) введен в спецификации OTG, вилки используются для подключения к портам малогабаритных устройств с гнездом mini-AB.
- Mini-AB. Гнезда (рис. 6.19, е) введены в спецификации OTG для портов двухролевых устройств, которые могут вести себя как хост (если в гнездо вставлена вилка mini-A) или как периферийное устройство (если в гнездо вставлена вилка mini-B).

Назначение выводов разъемов *USB* приведено в табл. 6.8, нумерация контактов показана на рис. 6.19.

Все кабели *USB* «прямые» - в них соединяются одноименные цепи разъемов, кроме цепи ID, используемой для идентификации роли устройства в OTG. На вилке *mini-A* контакт 4 (ID) соединен с контактом 5 (GND), что заставляет порт, к которому подсоединена такая вилка, взять на себя роль нисходящего порта хаба. На вилке *mini-B* такого соединения нет.

Таблица 6.8. Назначение выводов разъема *USB*

Цепь	Контакт стандартного разъема	Контакт мини-разъема
Vbus (+5 В)	1	1
D-	2	2
D+	3	3
GND	4	5
ID	-	4

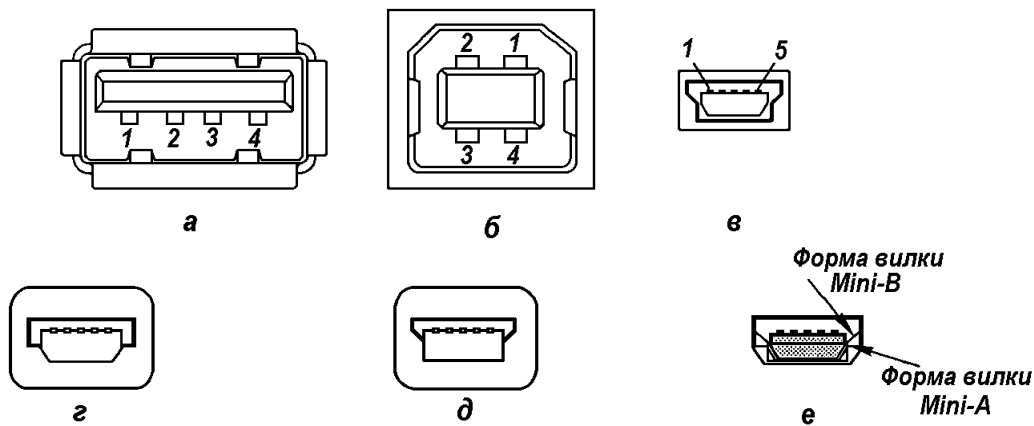


Рис. 6.19. Разъемы USB: а - гнездо A, б- гнездо B, в - гнездо mini-B, г- вилка mini-B, д - вилка mini-A, е - гнездо mini-AB

6.4.4.6.2. Сигнальный интерфейс

Приемники и передатчики для организации аппаратного интерфейса имеют множество состояний линии и команд. При этом учитываются не только уровни электрических сигналов, но и время нахождения их в том или ином состоянии.

По сочетанию уровней различают дифференциальные состояния J и K и состояние $SE0$ (линейный ноль), когда обе линии на низком уровне. Для передачи данных применяются дифференциальные сигналы, кодирование NRZI (без возврата к нулю с переключением линии при передаче «0») и вставка битов. Это позволяет из одного дифференциального сигнала извлекать и данные, и сигналы битовой синхронизации (путем фазовой автоподстройки частоты - ФАПЧ).

Высокая скорость (480 Мбит/с - всего в 2 раза медленнее, чем Gigabit Ethernet) требует тщательного согласования приемопередатчиков и линии связи. На этой скорости может работать только кабель с экранированной витой парой для сигнальных линий. Для высокой скорости аппаратура USB должна иметь дополнительные специальные приемопередатчики. При подключении сначала HS-устройство ведет себя как FS-устройство (с соответствующими приемопередатчиками), после успешного согласования скорости HS приемопередатчики устройства (и хаба) переключаются на эту скорость.

Хаб обнаруживает *подключение устройства* по уровням напряжений D^+ и D^- :

- при отключенном устройстве на линиях D^+ и D^- уровни сигнала низкие, что обусловлено резисторами, нагружающими сигнальные линии в порте хаба;
- при подключении LS-устройства повышается уровень сигнала D^- за счет резистора, расположенного в устройстве и подтягивающего его к напряжению питания;
- при подключении FS/HS-устройства повышается уровень сигнала D^+ за счет аналогичного резистора в устройстве.

Последовательность обнаружения подключения и сброса устройств FS и LS иллюстрируют рис. 6.20, а и б соответственно. Хаб следит за сигналами нисходящего порта и сигнализирует об их смене. После обнаружения факта смены состояния системное ПО выжидает около 100 мс (время на успокоение сигналов) и проверяет состояния порта. Обнаружив факт подключения и определив тип устройства (LS или FS/HS), ПО дает для этого порта команду сброса шины.

Для *сброса шины (bus reset)* хаб опускает уровень поднятого устройством сигнала (D^+ или D^-) на 10-20 мс. Считается, что через 10 мс после этого сброса устройство должно быть готово к конфигурированию (отзывать только на обращения к $EP0$ по нулевому адресу устройства).

Сброс шины для HS-устройства (рис. 6.20, в) запускает протокол согласования скорости. При подключении, как и по сигналу сброса, HS-устройство устанавливает свои схемы в состояние FS. Таким образом, поначалу HS-устройство выглядит для хаба как FS-устройство. Для согласования скорости используется так называемое «чириканье» (chirp-sequence): в ответ на состояние *SE0*, введенное хабом для сброса (заземлением линии *D+*), HS-устройство посылает импульс тока в линию *D-*. На этот импульс HS-хаб отвечает импульсом на линии *D+*. Такой обмен импульсами повторяется еще дважды; после успеха согласования и устройство, и хаб переходят на скорость HS, при этом линия переходит в состояние *SE0*. Теперь хосту надо снова опросить состояние порта хаба, чтобы уточнить режим подключенного устройства (FS или HS). Если HS-устройство подключено к FS-порту, хаб на «чириканье» устройства не отвечает.

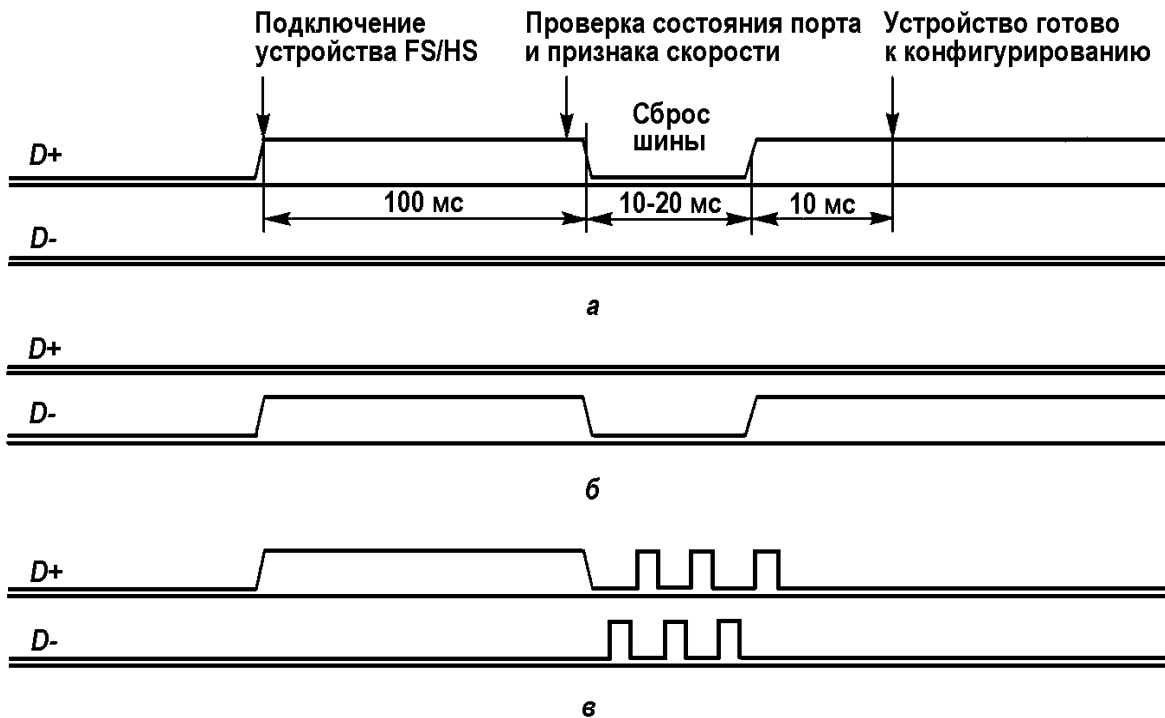


Рис. 6.20. Обнаружение подключения и сброса устройства: а — FS, б — LS, в — HS

Отключение FS/LS-устройств обнаруживается хабом просто по уровням напряжения. Отключение HS-устройств обнаружить сложнее, поскольку состояние шины (*SE0*) при отключении устройства не изменяется. Для обнаружения факта отключения HS-устройства используют эффект отражения сигнала при потере согласованности линии.

О команде приостановки устройства (*suspend*) хаб сигнализирует длительным состоянием покоя.

Сигналом к возобновлению работы (*resume*) является перевод шины в состояние *K* на длительное время (20 мс), достаточное для «оживления» устройств. Сигнал возобновления может подать как хаб, так и приостановленное устройство; последний случай называется удаленным пробуждением.

Удаленное пробуждение (*remote wakeup*) - это единственный случай на USB, когда сигнальную инициативу проявляет устройство (а не хост). Для сигнализации пробуждения устройство на некоторое время (1-15 мс) формирует состояние *K*, которое воспримется хабом как сигнал *Resume* и транслируется им на восходящий порт и на все разрешенные нисходящие порты, включая порт, с которого пришел данный сигнал. Таким образом, сигнал пробуждения достигает хост-контроллера.

6.4.4.7. Хабы USB

Хаб является ключевым элементом технологии PnP в архитектуре USB. Хаб выполняет множество функций:

- обеспечивает физическое подключение устройств, формируя и воспринимая сигналы в соответствии со спецификацией шины на каждом из своих портов и транслируя трафик с восходящего порта на нисходящие и наоборот;
- обеспечивает управляемую информационную связь сегментов шины, включая и связь сегментов, работающих на разных скоростях, причем каждому нисходящему порту может быть селективно разрешена или запрещена трансляция трафика;
- отслеживает состояние подключенных к нему устройств, уведомляя хост об изменениях - подключении и отключении устройств;
- обнаруживает ошибки на шине, выполняет процедуры восстановления и изолирует неисправные сегменты шины (благодаря «бдительности» хабов неисправное устройство не может заблокировать всю шину интерфейса);
- управляет энергопотреблением: подает питающее напряжение на нисходящие порты, селективно генерирует сигнал приостановки портов, транслирует эти сигналы в разных направлениях.

6.4.4.8. Хост-контроллер

Хост-контроллер является базовым компонентом хост-адаптера ИВВ USB, являющимся аппаратным посредником между устройствами USB и хостом. Хост-контроллер выполняет физические транзакции с устройствами по шине USB в соответствии с описаниями (дескрипторами) этих транзакций, помещенными в системное ОЗУ драйвером хост-контроллера. При этом транзакции разных типов обрабатываются по-разному. В плане обработки ошибок проще всего изохронные транзакции, в которых ошибки не требуют повторов. Транзакции передач с гарантированной доставкой в случае ошибок требуют повторов до «победного конца» или до признания неудачи (исчерпания допустимого числа повторов). С точки зрения планирования выделяются периодические транзакции, которые должны выполняться строго по графику; остальные выполняются как получится, и их ставят в очереди. Из-за особенностей планирования и возможных повторов порядок завершения обработки дескрипторов транзакций (успешного или нет) для разных конечных точек будет отличаться от порядка их помещения в память, что прибавляет забот хост-контроллеру и его драйверу.

Основное взаимодействие драйвера с хост-контроллером происходит с помощью дескрипторов, расположенных в памяти. Прерывания от контроллера могут инициироваться различными событиями, такими как выполнение транзакций (избранных), обнаружение факта приема короткого пакета, прием сигнала возобновления или появление ошибки.

В настоящее время имеется три спецификации хост-контроллеров (UHC, OHC и EHC), каждой из них соответствует свой комплект драйверов хоста. Приведенные выше задачи они решают по-разному и используют разные стратегии планирования транзакций.

Контрольные вопросы к разделу 6.4.4

1. Дайте общую характеристику универсальному ИВВ USB.
2. Что понимается под хост-центральной USB?
3. Охарактеризуйте компоненты аппаратной части USB.
4. Охарактеризуйте компоненты программной части USB.
5. Когда реализуется в полном объеме программная часть USB?
6. Как организуется взаимодействие с USB-клавиатурой и USB-Mouse через порты 60h и

64h?

7. Дайте краткую характеристику физическому устройству USB.
8. Охарактеризуйте физическую топологию USB.
9. Охарактеризуйте логическую топологию USB.
10. Охарактеризуйте физический интерфейс USB.
11. Охарактеризуйте логическое устройство USB.
12. Как организуется решение устройством USB нескольких функциональных задач?
13. Что понимается под конфигурацией устройства USB и сколько конфигураций оно может иметь?
14. Какие базовые типы передачи данных между хостом и периферийными устройствами USB допускает архитектура USB?
15. Опишите взаимоотношения клиентского программного обеспечения с интерфейсами устройств USB (рис. 6.25).
16. Как с помощью запросов, пакетов и транзакций реализуется прием и передача данных между клиентским ПО и устройством USB?
17. Охарактеризуйте типы коммуникационных каналов USB.
18. Как различаются каналы USB по их назначению?
19. Что представляет собой интерфейс устройства, с которым работает клиентский драйвер?
20. Кто и для чего пользуется основными каналами сообщений всех устройств?
21. Опишите правила использования кадров и микрокадров при организации обмена по USB.
22. Что обеспечивает протокол USB и какие задачи решаются на протокольном уровне?
23. Что реализует физический уровень протокола USB?
24. Что реализует канальный уровень протокола USB?
25. Охарактеризуйте пакеты транзакций USB.
26. Чем характерен протокол управляющих передач?
27. Охарактеризуйте кабели и разъемы USB.
28. Охарактеризуйте особенности сигнального протокола USB.
29. Как хаб обнаруживает подключение устройства USB?
30. Охарактеризуйте процессы обнаружения устройства и сброса FS и LS устройств USB (рис. 6.20 а, б).
31. Охарактеризуйте процесс сброса для HS устройств (рис. 6.20.в).
32. Как обнаруживается отключение устройств USB?
33. Охарактеризуйте процессы приостановки устройства, возобновления работы и удаленного пробуждения.
34. Перечислите функции хабов USB.
35. Кратко охарактеризуйте хост-контроллер USB.

Дополнительную и более подробную информацию о USB можно найти в [8], [19], [21], [38], [67]. Примеры описания низкоуровневого программного взаимодействия с устройствами USB можно найти в [38], [67]. Информацию о функциональных классификационных признаках USB можно найти в [66]. Подробный список сайтов, посвященных USB, приведен в [67].

В данном разделе были использованы материалы из [8], [19], [38].

6.4.5. Периферийный ИВВ IEEE 1394 - FireWire

6.4.5.1. Общие сведения

В данном разделе используется оригинальная терминология, определяемая спецификацией

IEEE 1394. Семантика этой терминологии частично совпадает с семантикой терминологии принятой в предметной области вычислительных сетей, в частности, локальных вычислительных сетей. Например, понятие "**шина**", используемое в IEEE 1394, имеет схожее смысловое значение с понятием "**шинная сеть**" (Bus Network), которое трактуется как *локальная вычислительная сеть*, в которой имеется только один маршрут между любыми двумя станциями, и данные, передаваемые любой станцией, одинаково доступны всем другим станциям сети. Шинная сеть может иметь линейную, радиальную или древовидную конфигурацию. В двух последних случаях в каждом оконечном узле размещены станции данных, в промежуточных узлах - повторители, соединители, усилители и разветвители [41]. В тексте будут даваться возможные эквивалентные определения из нашей предметной области.

Высокопроизводительная последовательная шина (интерфейс) IEEE 1394 - FireWire создавалась как более дешевая и удобная альтернатива параллельным периферийным ИВВ (SCSI) для соединения равноранговых устройств. FireWire без дополнительной аппаратуры (хабов) обеспечивает связь до 63 устройств. В единую сеть могут объединяться устройства бытовой электроники (цифровые камкордеры (записывающие видеокамеры), камеры для видеоконференций, фотокамеры, приемники кабельного и спутникового телевидения, цифровые видеоплееры (CD и DVD), акустические системы, цифровые музыкальные инструменты), периферийные устройства компьютеров (принтеры, сканеры, устройства дисковой памяти) и сами компьютеры. Шина (интерфейс) не требует управления со стороны компьютера. Она поддерживает *динамическое реконfigurирование* - возможность «горячего» подключения и отключения устройств. События подключения-отключения вызывают сброс и повторную инициализацию: определение структуры соединений (дерева), назначение физических адресов всем узлам и, если требуется, избрание ведущего устройства (мастера) циклов, диспетчера изохронных ресурсов и контроллера интерфейса. Менее чем через секунду после сброса все ресурсы становятся доступными для последующего использования, и каждое устройство имеет полное представление обо всех подключенных устройствах и их возможностях. Благодаря наличию линий питания интерфейсная часть устройства может оставаться подключенной к шине даже при отключении питания функциональной части устройства.

По инициативе VESA интерфейс FireWire позиционируется как основа «домашней сети», объединяющей всю бытовую и компьютерную технику в комплекс. Эта сеть является одноранговой (peer-to-peer), чем существенно отличается от USB.

Стандарт IEEE 1394 имеет ряд совместимых реализаций под разными названиями: FireWire, iLink, Digital Link, MultiMedia Connection. Наиболее часто используется разработанная фирмой Apple шина (интерфейс) FireWire, на основе которой и появился стандарт.

6.4.5.2. Спецификации

Спецификация IEEE 1394 официально доступна на сайте <http://www.ieee.org> (платно). С вопросами лицензирования и интеллектуальной собственности можно ознакомиться на сайте <http://www.1394la.com>.

Стандарт IEEE 1394-1995 определяет архитектуру шины, основанную на трехуровневой модели, и протоколы, обеспечивающие автоматическое конфигурирование, арбитраж и передачу изохронного и асинхронного трафиков. В стандарте определены три возможные скорости передачи сигналов по кабелям: 98,304, 196,608 и 393,216 Мбит/с, которые округляют до 100, 200 и 400 Мбит/с и обозначают как S100, S200 и S400 соответственно. Стандартизованы кабель и 6-контактный разъем, позволяющий передавать сигналы и питание.

В *дополнение IEEE 1394a* (2000 г.) введен ряд усовершенствований: повышена эффективность использования шины, введен миниатюрный 4-контактный разъем, расширены средства управления энергопотреблением.

Дополнения IEEE 1394b (2002 г.) в основном касаются повышения скорости и дальности

передачи:

- Введен новый метод сигнализации (бета-сигнализация). В этом методе используется пара встречных однонаправленных линий и соответствующий бета-режим работы портов со старыми и новыми (S800, S1600) скоростями (планируется и S3200).
- Введен миниатюрный 9-контактный разъем (для скоростей до 3,2 Гбит/с с подачей питания).
- Введены новые типы среды передачи (для бета-режима):
- Введен новый метод арбитража (BOSS).

Совместимость с 1394 и 1394а обеспечивается «двухязычными» физическими уровнями, способными работать с разными методами сигнализации на разных портах одной шины интерфейса. При этом возможно построение гибридной шины (коммуникационной среды интерфейса), состоящей из одного или нескольких «облаков» узлов с бета-сигнализацией, связанных друг с другом фрагментами с традиционной сигнализацией.

Достаточно подробную информацию об интерфейсе FireWire можно найти в [8], [19], [21].

Контрольные вопросы к разделу 6.4.5

1. Дайте общую характеристику универсальному ПИБВ IEEE 1394 – Fire Wire.
2. Охарактеризуйте содержательную часть спецификаций IEEE 1394.

В данном разделе использованы материалы из [8].

6.4.6. Универсальный периферийный ИБВ SCSI

6.4.6.1. Общие сведения

Интерфейс SCSI (Small Computer System Interface - системный интерфейс малых компьютеров, произносится «скази») предназначен для соединения устройств различных классов: памяти прямого (жесткие диски) и последовательного (стримеры) доступа, CD-ROM, оптических дисков однократной и многократной записи, устройств автоматической смены носителей информации, принтеров, сканеров, коммуникационных устройств и процессоров. Все эти устройства имеют в своем составе встроенные контроллеры управления их работой. Наиболее широко этот интерфейс используется для устройств и систем хранения данных.

Первоначально интерфейс SCSI был определен в виде интерфейса с *параллельной шиной*, объединяющей *равноранговые устройства*. Устройством SCSI (SCSI Device) называется как *хост-адаптер*, связывающий шину ИБВ SCSI с какой-либо внутренней шиной ИБВ хоста компьютера, так и *контроллер целевого устройства* (target controller), с помощью которого устройство подключается к шине периферийного ИБВ SCSI (адаптер целевого устройства). К одному контроллеру целевого устройства может подключаться несколько ПУ, по отношению к которым контроллер может быть как внутренним, так и внешним. Широкое распространение получили ПУ со встроенным контроллером SCSI (embedded SCSI controller), к которым относятся накопители на жестких магнитных дисках, CD-ROM, стримеры. На шине интерфейса возможно присутствие более одного хост-адаптера, что позволяет обеспечить разделение (совместное использование) периферии несколькими компьютерами, подключенными к одной шине SCSI. ИБВ SCSI оптимизирован для многозадачной работы: после получения команды на время выполнения своих внутренних операций устройство может освобождать шину интерфейса, а затем восстанавливать соединение для передачи данных и информации о завершении очередного шага или всей операции. Во время освобождения шину могут занимать процессы ввода-вывода, связанные с тем же или другим устрой-

СТВОМ.

Интерфейс SCSI изначально ориентирован на эффективное обслуживание множества устройств. Применение цепочек команд позволяет разгружать хост даже при выполнении довольно сложных процедур, связанных с хранением и поиском данных. Независимость работы устройств друг от друга и освобождение шины на время внутренних операций обеспечивают SCSI неоспоримые преимущества перед параллельным вариантом ATA в качестве интерфейса для мощных систем хранения данных. Однако с внедрением интерфейса Serial ATA-2, 3 и механизма NCQ у SCSI появился серьезный конкурент.

6.4.6.2. Спецификации SCSI

Первая версия интерфейса, позже названная SCSI-1, была стандартизована ANSI в 1986 году (X3.131-1986). Это был интерфейс с 8-битной параллельной шиной данных с максимальной частотой переключения 5 МТ/с, допускающая подключение до 8 устройств. (МТ/с - миллионов передач в секунду (Mega Transfer/sec, MT/s)). Скорость передачи данных - около 2 Мбайт/с, режим передачи данных - асинхронный. Впоследствии (1991 г.) появилась спецификация SCSI-2, расширяющая возможности интерфейса. Частота переключений шины *Fast SCSI-2* достигает 10 МТ/с, а *Ultra SCSI-2* - 20 МТ/с. Разрядность шины данных может быть увеличена до 16 бит - эта версия SCSI-2 называется *Wide* (широкая), а 8-битную версию стали называть *Narrow* (узкая). 16-битная шина допускает подключение 16 устройств. Стандарт SCSI-2 определял и 32-битную версию интерфейса, которая не получила практического применения. Появился синхронный режим передачи данных, введена дифференциальная версия интерфейса. Спецификация SCSI-2 определяет систему команд, которая включает набор базовых команд (Common Command Set, CCS), обязательных для всех ПУ, и специфических команд для периферии различных классов. Стандарт полностью описывает протокол взаимодействия устройств, включая структуры передаваемой информации.

Спецификация SCSI-3 - дальнейшее развитие стандарта, направленное на увеличение количества подключаемых устройств, расширение системы команд и поддержку технологии PnP. В качестве альтернативы параллельному интерфейсу SCSI-3 (SCSI-3 Parallel Interface, SPI) появляется возможность применения последовательного интерфейса, в том числе интерфейса Serial SCSI со скоростью 150 Мбайт/с и волоконно-оптического интерфейса Fibre Channel со скоростями 100 и 200 Мбайт/с. Спецификация SCSI-3 существует в виде широкого спектра документов, определяющих отдельные аспекты интерфейса на уровне физических соединений, транспортных протоколов и наборов команд. Их объединяет SAM - документ, описывающий архитектурную модель SCSI (SAM - SCSI Architecture Model).

6.4.6.3. Архитектурная модель SAM

Развитием идей, заложенных в шину SCSI, стала ее *архитектурная модель SAM*, введенная в SCSI-3 и развиваемая поныне. Модель SAM определяет многоуровневую структуру стандартов SCSI.

Верхний уровень модели SAM представляет собой набор общих команд SCSI-3 (SCSI-3 Primary Commands, SPC) для устройств различных классов, который дополняется набором команд соответствующего класса, например:

- SBC (SCSI-3 Block Commands) - для устройств памяти прямого доступа;
- SSC (SCSI-3 Stream Commands) - для устройств памяти последовательного доступа;
- SGC (SCSI-3 Graphic Commands) - для принтеров и сканеров;
- SMC (SCSI-3 Medium Changer Commands) - для устройств смены носителей;
- SCC (SCSI-3 Controller Commands) - для хост-контроллеров.

Два нижних уровня представляют возможные *транспортные протоколы* с соответствую-

ющими спецификациями *физических соединений*, например:

- SPI (SCSI-3 Parallel Interface) - параллельный интерфейс (разъемы, сигналы и транспортный протокол). Обеспечивает соединение небольшого (до 16) числа устройств с небольшим (до 25 м) удалением друг от друга.
- SIP (SCSI-3 Interlocked Protocol) - протокол обмена традиционного интерфейса, физически реализуемый интерфейсом SPI.
- SBP (Serial Bus Protocol) - протокол последовательной шины, реализуемый интерфейсом IEEE 1394 (FireWire,). Обеспечивает подключение среднего (до 63) числа устройств с удалением друг от друга до 4,5 м при суммарной протяженности кабеля до 72 м.
- FCP (Fibre Channel Protocol) - протокол для интерфейса Fibre Channel с соответствующим физическим уровнем FC-PH и другими. Позволяет создавать большие (по числу узлов и протяженности) домены устройств SCSI, используется в крупных сетях хранения данных (Storage Area Network, SAN).
- GPP (Generic Packetized Protocol) - обобщенный пакетный протокол, реализуемый любым пакетным интерфейсом.
- SSP (Serial Storage Protocol) - последовательный протокол памяти, реализованный на архитектуре последовательной памяти SSA (Serial Storage Architecture).
- SAS (Serial Attached SCSI) - устройства SCSI с последовательным интерфейсом, совместимым с интерфейсом SATA. Эта спецификация позволяет объединять значительное число устройств (до 16 384), расположенных на среднем (до 1 м) удалении друг от друга. Имеется возможность одновременного обмена между несколькими парами устройств.
- SSA-S3P (Serial Storage Architecture SCSI-3 Protocol) - транспортный протокол для использования транспортного и физического уровней (SSA-TL и SSA-PH) архитектуры SSA (Serial Storage Architecture). Архитектура SSA (фирменное решение IBM) обеспечивает объединение большого числа узлов подключения устройств через последовательный интерфейс. К особенностям архитектуры относятся различные варианты топологий с использованием избыточных связей, полнодуплексных соединений и коммутации пакетов, а также отсутствие издержек арбитража и одновременное выполнение конкурирующих заданий.
- iSCSI - транспортный протокол для доставки команд, данных и информации состояния в любые IP-сети, используя обмен IP-дейтаграммами. Позволяет объединять устройства, расположенные на практически неограниченном (в пределах глобальных сетей) удалении друг от друга.

Модель SAM определяет идеологию SCSI как клиент-серверные отношения между *инициаторами обмена* (initiator) и *целевыми устройствами* (target). Чаще всего в роли инициатора выступает хост-адаптер компьютера, а в роли целевых устройств (ЦУ) - периферийные устройства, подключенные к контроллерам целевого устройства. Возможны комбинированные устройства, выступающие в роли и инициатора, и ЦУ. Инициатор обмена является *клиентом* - он обращается к целевому устройству с запросом выполнения операции ввода-вывода (команды). Целевое устройство выступает *сервером* - оно интерпретирует команду и управляет интерфейсом для выполнения всех операций, связанных с командой: доставкой данных, сообщением результата выполнения (состояния).

Инициатор и целевое устройство взаимодействуют через *порты SCSI*. Совокупность портов инициаторов и целевых устройств, связанных подсистемой доставки, называется *доменом SCSI* (SCSI domain). Функциональность домена ограничивается реализацией транспортного уровня и средствами физических подключений (двумя нижними уровнями модели). В SAM заложена возможность взаимодействия однопортовых и многопортовых устройств (как

инициаторов, так и ЦУ) через один или несколько доменов SCSI.

Каждое целевое устройство, представляемое на шине SCSI контроллером целевого устройства, может содержать одно или несколько независимых *логических устройств* (ЛУ) со своими номерами (Logical Unit Number, LUN), представляющих периферийные устройства или их части. Первоначально для задания номера логических устройств предназначалось 3-битное поле LUN (до 8), в параллельной шине SCSI-3 поле LUN расширили до 6 бит (до 64 логических устройств). Архитектурная модель SAM оперирует адресами, форматы которых могут поддерживать и большее число логических устройств (до 256 и даже 16 384) и поддерживает иерархические структуры (доступ через специальное ЛУ к подчиненным ему ЛУ).

Достаточно подробное описание основных составляющих архитектурной модели SAM можно найти в [8], [28].

6.4.6.4. Хост-адаптер SCSI

Хост-адаптер является важнейшим узлом интерфейса, определяющим производительность системы SCSI. В его задачу входит передача данных между хостом (программой, исполняемой центральным процессором) и другими устройствами, подключенными к шине, по протоколам вышеописанных физических интерфейсов. Структуры передаваемых блоков данных и команды устройств стандартизованы, их описание приводится в [21], [28]. Однако архитектуры и программные модели адаптеров не стандартизованы (в отличие, например, от адаптеров ATA). Существует широкий спектр адаптеров. К простейшим из них можно подключать только устройства, некритичные к производительности. Такие адаптеры могут входить, например, в комплект поставки сканеров, а подключение к ним диска может оказаться невозможным. В простейших адаптерах весь протокол шины SCSI (последовательность фаз) может реализовываться центральным процессором хоста при минимальных аппаратных средствах. Высокопроизводительные адаптеры имеют собственный специализированный процессор, большой объем буферной памяти и используют высокоэффективные режимы прямого управления шиной для доступа к памяти компьютера. Адаптеры SCSI существуют для всех ИВВ хоста (PCI, PCI-X, PCI Express, CardBus, PCMCIA, ISA, EISA, MCA, VLB), периферийных ИВВ USB, FireWire и даже для LPT-порта. Ряд системных плат имеют встроенный адаптер SCSI, подключенный к одной из шин внутренних ИВВ (ИВВ хоста или периферийных ИВВ). При выборе интерфейса, к которому подключается хост-адаптер, нужно учитывать производительность (пропускную способность) - интерфейс не должен стать узким местом при обмене с высокопроизводительными устройствами SCSI. Наибольшую эффективность имеют хост-адаптеры для шин ИВВ хоста PCI, PCI-X, PCI Express, CardBus. Конечно, за мощный адаптер для сервера приходится платить - его цена может превышать цену рядового настольного компьютера. Еще дороже хост-адаптеры со встроенными контроллерами RAID-массивов, которые содержат мощный RISC-процессор и большой объем локальной памяти.

Конфигурирование хост-адаптеров с точки зрения шины SCSI не отличается от конфигурирования других устройств. Современные адаптеры конфигурируются не джамперами, а программно. Утилита конфигурирования обычно входит в расширение BIOS, установленное на плате адаптера, и приглашение к ее вызову выводится на экран во время выполнения POST.

Как и всякая карта расширения, хост-адаптер должен быть сконфигурирован с учетом правил ИВВ хоста, к шине которого он подключается. Системные ресурсы для такого SCSI-адаптера включают:

- область памяти для расширения ROM BIOS, необходимого для конфигурирования устройств и дисковых функций (если в системе установлено несколько однотипных хост-адаптеров, для них используется ROM BIOS с одного адаптера, а разнотипные хост-адаптеры не всегда могут работать вместе);

- область разделяемой буферной памяти;
- область портов ввода-вывода (I/O port);
- линии запроса прерывания (IRQ);
- канал прямого доступ к памяти (для шин ISA/EISA), обычно используемый лишь для захвата управления шиной (bus mastering).

Всем устройствам SCSI, в том числе и хост-адаптеру, требуются специальные драйверы. Базовый драйвер дисковых устройств входит в BIOS хост-адаптера; он обычно эмулирует трехмерную адресацию дискового сервиса Int 13h. Расширения, например ASPI (Advanced SCSI Programming Interface - усовершенствованный интерфейс программирования для SCSI), загружаются отдельно. От драйверов в значительной степени зависит производительность устройств SCSI. Наиболее предпочтительны драйверы, работающие в режиме прямого управления шиной; их применение позволяет реализовать все преимущества SCSI в многозадачных системах.

6.4.6.5. SCSI с параллельными шинами

6.4.6.5.1. Общие сведения

Большинство параллельных интерфейсы SCSI представляют собой реализацию транспортного уровня и уровня подключений архитектурной модели SAM. Поскольку параллельный интерфейс SCSI появился до принятия SAM, некоторые части модели в нем не реализованы из-за ограничений транспортного протокола и исторически сложившихся соглашений. В частности, в параллельных интерфейсах нет имен портов и устройств (имеются только имена логических устройств). Идентификаторы портов ограничены 4-битным значением (16 возможных идентификаторов), формат LUN ограничен 6-битным полем. Тем не менее, основная клиент-серверная идеология SAM полностью реализована во всех версиях параллельного интерфейса. Каждому устройству назначается *идентификатор (SCSI ID)*, уникальный на шине. Назначение идентификаторов производится статически (вручную или определяется положением устройства на шасси). Попытки автоматического (с использованием технологии PnP) назначения идентификаторов устройствам SCSI потерпели неудачу и прекратились.

6.4.6.5.2. Версии параллельного ИВВ SCSI

Параллельный интерфейс SCSI существует в нескольких версиях, различающихся разрядностью шины, способами передачи сигналов и синхронизации. Физически «узкий» интерфейс SCSI представляет собой шину, состоящую из 18 сигнальных и нескольких питающих цепей. В «широком» варианте число сигнальных цепей увеличено. Для защиты от помех каждая сигнальная цепь имеет собственный обратный провод. На применяемых двухрядных разъемах контакты сигнальных и обратных цепей располагаются друг против друга. Это позволяет применять в качестве кабелей, как витые пары проводов, так и плоские ленточные кабели, где сигнальные и обратные провода чередуются. С точки зрения передачи сигналов на значительные расстояния (до 25 м) это наиболее правильный подход к кабельным соединениям.

По типу сигналов различают *линейные* (Single Ended, SE) и *дифференциальные* (differential) версии SCSI. Их кабели и разъемы идентичны, но электрической совместимости устройств нет. Знаки для обозначения типа интерфейса стандартизованы (рис. 6.21).

В *линейной* версии каждый сигнал передается потенциалом с ТТЛ-уровнями относительно общего провода. Общий (обратный) провод для каждого сигнала тоже должен быть отдельным, что снижает перекрестные помехи.

В SCSI-1 применяются передатчики с открытым коллектором, приемники на биполярных

транзисторах. Высокий уровень при пассивном состоянии передатчиков обеспечивают пассивные терминаторы (см. далее). В SCSI-2 стали применять и передатчики с активным снятием сигнала (active negation). В SCSI-3 стандарт SPI предписывает использование интерфейсных схем КМОП (CMOS).

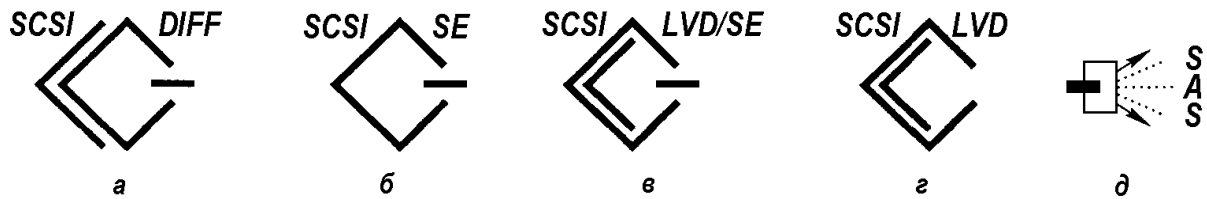


Рис. 6.21. Обозначения интерфейсов: а - HVD, б - SE, в - LVD/SE, з - LVD, д - SAS

Дифференциальная версия для каждой цепи задействует пару проводников, по которым передается парафазный сигнал. В первой дифференциальной версии (*Diff*), позже названной высоковольтной (High-Voltage Differential, HVD), задействуются дифференциальные приемопередатчики, применяемые и в интерфейсе RS-485.

Низковольтная версия (Low-Voltage Differential, LVD) дифференциального интерфейса позволяет работать на высоких скоростях при значительной длине шины (25 м для пары устройств, 12 м для подключения цепочки устройств).

Универсальные устройства LVD (multimode LVD) совместимы с устройствами SE благодаря возможности их автоматического переконфигурирования. Эти устройства распознают напряжение на линии DIFSENS и по низкому уровню напряжения на ней способны переключаться из режима LVD в SE (с понижением доступной скорости обмена).

В параллельных версиях SCSI скорость передачи данных определяется *частотой переключений шины данных*, измеряемой в миллионах передач в секунду (Mega Transfers per second, MT/s), и *разрядностью* шины. Изначально разрядность узкой (*narrow*) шины SCSI составляла 8 бит, а частота - до 5 MT/с. Широкий (*wide*) вариант шины имеет разрядность 16 бит. В первых версиях шины применялась классическая синхронизация данных *ST* (Single Transition), при которой на действительность данных указывал спад синхронизирующего сигнала. Позже ввели двойную синхронизацию *DT* (Double Transition), при которой на действительность данных указывают и спад, и фронт синхронизирующего сигнала. В последних версиях для самых высоких скоростей ввели режим *одновременного переключения* (режим *pace*), в котором данные и синхронизирующие сигналы переключаются одновременно. Допустимые варианты сочетаний типов приемопередатчиков (HVD, SE, LVD), синхронизации (ST, DT) и скоростей передачи приведены в табл. 6.9.

Таблица 6.9. Варианты скоростей передачи (Мбайт/с) для параллельных интерфейсов SCSI

Скорость, тип	Async	Fast-5	Fast-10	Fast-20	Fast-40	Fast-80	Fast-160	Fast-320
HVD (ST)	+	5/10	10/20	20/40	40/80	—	—	—
SE (ST)	+	5/10	10/20	20/40	—	—	—	—
LVD ST	+	5/10	10/20	20/40	40/80	—	—	—
LVD DT	—	—	—/20	—	—/80	—/160	—/320 (pace)	—/640 (pace)
Стандарт	SCSI-1	SCSI-2	SCSI-2	SPI	SPI-2	SPI-3	SPI-4	SPI-5

Подробную информацию по параллельным версиям ИВВ SCSI можно найти в [8], [21], [28].

6.4.6.6. Устройства SCSI с последовательным интерфейсом - SAS

6.4.6.6.1. Общие сведения

Последовательный интерфейс для подключения устройств SCSI (Serial Attached SCSI, SAS) разработан на основе физического интерфейса Serial ATA. Однако устройства SAS используют свой транспортный протокол (SSP), который отвечает общей идеологии SCSI. Для подключения устройств SAS к компьютеру служит *хост-адаптер* (HBA) с интерфейсом SAS, к которому можно подключать как устройства SAS, так и устройства SATA - их физические интерфейсы совместимы. Возможные варианты подключения устройств приведены на рис. 6.22.

При прямом подключении к *хост-адаптеру* (рис. 6.22, а) *устройства SAS* и *SATA* взаимодействуют с хостом по своим транспортным протоколам (SSP и «родной» протокол SATA соответственно). При использовании экспандеров (рис. 6.22, б) число подключаемых устройств может превышать число портов хост-адаптера.

В SAS используется три транспортных протокола:

- SSP (Serial SCSI Protocol) - поддержка *устройств SAS* (дисковых, ленточных и иных устройств SCSI с последовательным интерфейсом);
- STP (Serial ATA Tunneling Protocol) - организация туннелей для взаимодействия с дисковыми устройствами Serial ATA (этот протокол используется, если устройство SATA подключается к экспандеру);
- SMP (Serial Management Protocol) - управление экспандерами SAS (промежуточными интерфейсными устройствами), обеспечивающими связь конечных устройств (инициаторов и целевых устройств).

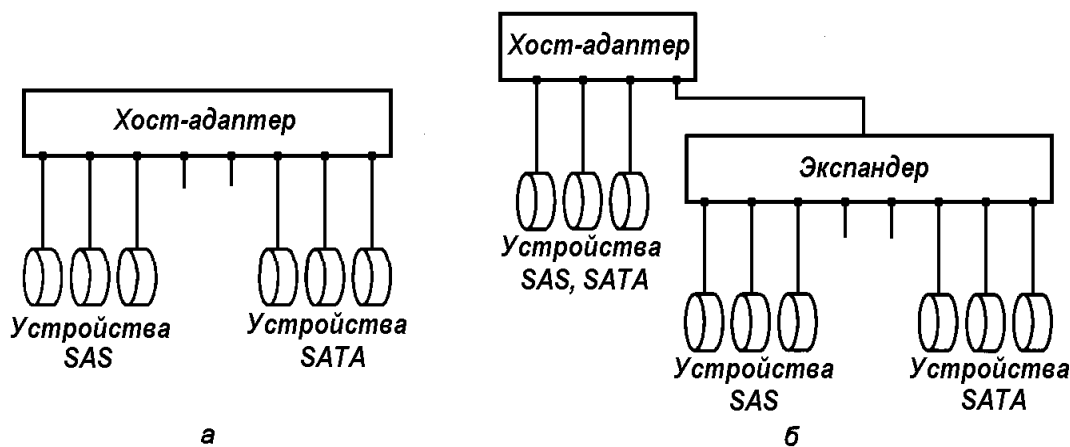


Рис. 6.22. Подключение *устройств SAS* и *SATA* к *хост-адаптеру*: а — прямое, б — через *экспандер*

6.4.6.6.2. Устройства, порты и соединения SAS

Подключение устройства SAS обеспечивает *трансивер PHY (PHYsical)* - приемник и передатчик последовательного интерфейса. Приемник и передатчик работают на одинаковых скоростях (G1 — 1,5 Гбит/с, G2 — 3 Гбит/с), прием и передача идут независимо друг от друга (полный дуплекс). Каждый трансивер в устройстве имеет собственный идентификатор (номер).

Устройства SAS содержат порты. *Порт* - это группа трансиверов (от 1 до 128) с одинаковыми SAS-адресами, подключенных к другой группе трансиверов с одинаковыми (но другими) SAS-адресами. «Узкий» (narrow) порт содержит один трансивер, «широкий» - два и более трансиверов. Порты определяются (конфигурируются) на этапе инициализации устройства.

SAS-адрес - это глобально уникальный 64-битный идентификатор, который присваивается

каждому SAS-порту и каждому SAS-экспандеру.

В SAS определено два класса устройств: конечные устройства (end device) и устройства-экспандеры (expander device).

Конечные устройства — это устройства SAS, являющиеся инициаторами или/и целевыми устройствами SCSI (или SATA).

Примером конечного устройства является SAS-диск, у которого два трансивера всегда имеют отдельные SAS-адреса, - устройство двухпортовое (для диска «широкий» порт не требуется).

Устройства-экспандеры служат для объединения конечных устройств в сложных конфигурациях. Экспандер имеет собственный SAS-адрес для управления его функциями по протоколу SMP. Экспандер может содержать и внутренние устройства SAS (со своими SAS-адресами), подключаемые к его портам с *виртуальными трансиверами*. Эти устройства могут, например, использоваться для управления блоком (питание, климат, защита и т. п.). Каждый трансивер экспандера имеет собственный идентификатор (номер), уникальный в пределах экспандера. Порты экспандера могут служить для подключения инициаторов и целевых устройств SAS, а также других экспандеров. По этим портам будут передаваться кадры любых протоколов (SSP, STP, SMP). Экспандер может (не обязательно) содержать *мосты STP/SATA* (один или несколько), позволяющие к портам экспандера (узким) подключать устройства SATA. По этим портам будут передаваться только кадры SATA.

Для *выполнения задания SCSI* (передачи команды, данных или сообщения состояния) необходимо установить *SSP-соединение* (SSP-connection) - временную связь между трансиверами инициатора и целевого устройства. Соединения устанавливаются также и для обмена с устройствами SATA (STP-соединение), и для управления экспандерами (SMP-соединения). Установление соединения - характерная черта SAS, обусловленная идеологией SCSI (в SATA понятие соединения отсутствует).

Для установления соединения устройство посылает запрос, указав SAS-адрес желаемого партнера. Экспандеры, выполняя маршрутизацию запроса, прокладывают *путь* (pathway) - определяют набор физических связей (links) между инициатором и целевым устройством соединения. Этот путь сохраняется до закрытия (или разрыва) соединения, и по нему передаются кадры и примитивы - как по выделенному двухточечному соединению - со скоростью, доступной всем участкам пути.

Соединения адресуются к портам, но устанавливаются между трансиверами. Широкий порт (с N трансиверами) может устанавливать соединения одновременно с N различными портами. Два широких порта могут устанавливать друг с другом до N соединений. SAS-диски всегда представлены парой «узких» портов, «широкие» порты имеют только хост-адаптеры и RAID-контроллеры.

6.4.6.6.3. Топология домена и маршрутизация

Домен SAS в простейшем случае состоит из непосредственно соединенных друг с другом портов инициатора и целевого устройства SSP. Если используются экспандеры, то в домене появляются еще и порты инициаторов и целевых устройств SMP, необходимые для конфигурирования домена (экспандеров). Если используются и устройства SATA, то, соответственно, появляются порты-инициаторы и целевые устройства STP. Возможны сложные конфигурации с несколькими доменами.

Экспандеры по назначению разделяются на два типа:

- Е-экспандеры (edge expander) из которых собираются *наборы Е-экспандеров* (edge expander device set), обеспечивающие подключение конечных устройств;
- F-экспандеры (fanout expander) служат для объединения множества наборов Е-экспан-

деров и конечных устройств.

Набор Е-экспандеров представляет собой древовидную структуру экспандеров. Набор может вырождаться и в один экспандер. Каждый набор может содержать до 128 SAS-адресов (устройств-экспандеров и портов конечных устройств).

В одном домене SAS может присутствовать не более одного F-экспандера, с помощью которого объединяются до 128 наборов. Если F-экспандеров нет, то в домен может объединяться не более двух наборов. Конечные устройства могут подключаться и к F-экспандерам, и к Е-экспандерам. Между любыми устройствами (и конечными, и экспандерами) возможны соединения «широкими» интерфейсами, петлевые соединения запрещены, множественные пути отсутствуют.

Маршрутизацию в домене SAS выполняют экспандеры. Выполняется она при установлении соединений (SSP, STP или SMP), внутри соединения обмен между инициатором и целевым устройством происходит по проложенному маршруту. Для маршрутизации экспандеры должны быть предварительно сконфигурированы: заполнены их таблицы маршрутизации. Этим занимается устройство-инициатор протокола SMP. Экспандер может быть *само конфигурируемым* - у него имеется внутренний инициатор SMP, который заполнит таблицы (свои и других экспандеров).

6.4.6.6.4. Архитектурная модель SAS

Архитектурная модель SAS состоит из набора уровней:

- Физический уровень (physical layer) определяет коннекторы, кабели и электрические параметры приемопередатчиков.
- PHY-уровень (PHY layer) (уровень физического устройств) определяет последовательную передачу данных (кодирование 8B/10B) и специальную «внеполосную» (OOB) сигнализацию для служебных целей.
- Канальный уровень (link layer) определяет примитивы, адресные кадры и соединения. На канальном уровне решаются задачи идентификации подключенных устройств, выполнения их сброса, управления соединениями. Для каждого протокола (SSP, STP и SMP) канальный уровень определяет свои правила обмена кадрами и примитивами.
- Уровень порта (port layer) является прослойкой между канальным и транспортным уровнями, обеспечивающей установление и разрыв соединений в портах.
- Транспортный уровень (transport layer) определяет структуры кадров и транспортные сервисы для протоколов SSP, STP и SMP.
- Прикладной уровень (application layer) для протокола SSP определяет процедуры выполнения команд SCSI согласно архитектурной модели SAM. Для протокола SMP прикладной уровень определяет функции, необходимые для идентификации устройств, выяснения топологии домена и управления экспандерами. Для протокола STP прикладной уровень SAS не вводит каких-либо особенностей по сравнению с SATA.

6.4.6.6.5. Физический уровень SAS

Физический уровень SAS (physical layer) определяет коннекторы и кабели, а также электрические спецификации приемопередатчиков. Эти спецификации совместимы с SATA, но различаются в некоторых деталях. В SATA заданы характеристики передатчиков и кабелей, которые косвенно задают характеристики приемников; в SAS требования к приемникам заданы явно. В SATA допускается связь между устройствами как по постоянному, так и по переменному току; в приемнике SAS должны присутствовать разделительные конденсаторы (в передатчике - не обязательно), так что связь имеется только по переменному току. В SATA возможно применение синхронизации с расширением спектра (SSC), в SAS расширение

спектра не применяется.

Для SAS используются кабели с волновым сопротивлением 100 Ом, в качестве трансиверов используются те же компоненты, что и для современных последовательных интерфейсов Fibre Channel, Gigabit Ethernet, XAUI, InfiniBand, 1394b, PCI Express.

За основу разъема для внутреннего исполнения (рис. 6.23, а, табл. 6.10) взят коннектор Serial ATA, в котором в сигнальной секции добавлены контакты для вторичного физического интерфейса (secondary physical link).

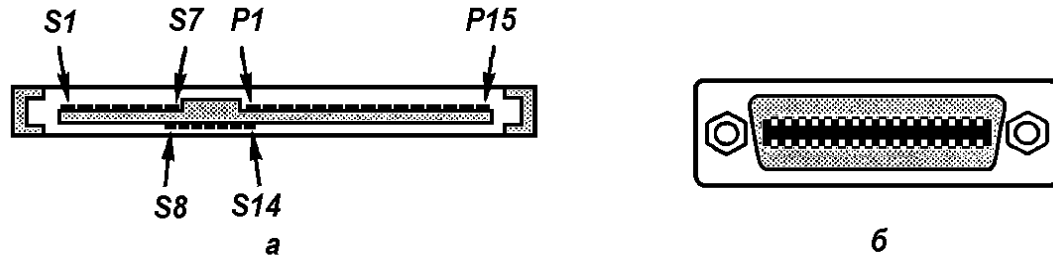


Рис. 6.23. Разъемы устройств SAS: а — внутренний, б — внешний

Таблица 6.10. Разъем устройства SAS

Контакт	Цепь	Назначение
S1	GND	Экран
S2	RP+	Дифференциальный вход первичного трансивера <i>PHY</i>
S3	RP-	
S4	GND	Экран
S5	TP-	Дифференциальный выход первичного трансивера <i>PHY</i>
S6	TP+	
S7	GND	Экран
S8	GND	Экран
S9	RS+	Дифференциальный вход вторичного трансивера <i>PHY</i>
S10	RS-	
S11	GND	Экран
S12	TS-	Дифференциальный выход вторичного трансивера <i>PHY</i>
S13	TS+	
S14	GND	Экран
P1	V33	Питание 3,3 В
P2	V33	Питание 3,3 В
P3	V33	Питание 3,3 В, предварительный заряд
P4	GND	Общий
P5	GND	Общий
P6	GND	Общий
P7	V5	Питание 5 В, предварительный заряд
P8	V5	Питание 5 В
P9	V5	Питание 5 В
P10	GND	Общий
P11	Ready LED	Светодиодный индикатор готовности/активности
P12	GND	Общий
P13	V12	Питание 12 В, предварительный заряд
P14	V12	Питание 12 В
P15	V12	Питание 12В

В питающей секции резервный (в SATA) контакт P11 использован для индикации готов-

ности устройства. Подключаемые кабели могут содержать один или два физических интерфейса. Определен и разъем кросс-шины для непосредственного подключения устройств SAS с двумя физическими интерфейсами (устройства SATA с этим разъемом несовместимы из-за L-образных ключей).

Для SAS-1.1 фирма HP предлагает использовать внутренний 4-контактный коннектор, на котором питание и индикация не предусмотрены, но введены контакты для дополнительных интерфейсов. Этот тип разъемов определен в стандарте SFF-8484.

Для внешних соединений в SAS приняты 4-канальные кабели и 32-контактные разъемы (см. рис. 6.23, б), у которых сигналы сгруппированы по направлениям (группа входов и группа выходов); питание и индикация не предусмотрены.

Дополнительную информацию по интерфейсу SCSI, о его модификациях и применении можно найти в [8], [21], [28]. Информацию о взаимодействии устройств SCSI через IP-сеть (iSCSI) можно найти в [28]. Информацию о структурах данных SCSI, которые поддерживаются устройствами ATAPI и примеры программ, использующих пакетные команды можно найти в [30]. Информацию о конфигурировании устройств SCSI, о принципах ввода-вывода на шине SCSI, о протоколах SSP, SMP и STP можно найти в [8], [28]. Информацию о функциональных классификационных признаках SCSI и SAS можно найти в [66].

В данном разделе использована информация из [8], [21], [28].

6.4.7. Периферийный ИВВ Fibre Channel

Fibre Channel (FC) - это интерфейс высокоскоростных коммуникаций между компьютерами и периферийным оборудованием, широко используемый в сетях хранения данных (Storage Area Network, SAN). Интерфейс Fibre Channel имеет высокую пропускную способность, малые задержки доставки и высокую надежность передачи. Вместе с тем в нем присутствуют *черты сетевых технологий*: возможность подключения большого количества устройств; большие расстояния; наличие средств управления и диагностики.

История Fibre Channel началась в 1988 году, с 1994 года это стандарт ANSI, которым занимается комитет NCITS T11. В интерфейсе используется последовательная передача данных в виде пакетов. Первоначально интерфейс предназначался только для оптоволокну (fiber), позже ввели медный кабель и в связи с этой универсальностью изменили написание названия на европейский манер («fibre» вместо «fiber»). На физическом уровне (FC-PH) в интерфейсе имеется возможность выбора топологии соединений: двухточечное соединение, кольцевая топология (FC-AL) и топология с коммутационной фабрикой (FC-SW). Среда передачи в основном определяется требуемым расстоянием между соединяемыми устройствами: медный кабель - для коротких (до 60 м) дистанций, многомодовое оптоволокно - для средних (до 500 м), одномодовое оптоволокно - для дальних (до 10 км). Наиболее широко FC применяется для устройств хранения в качестве скоростного транспортного средства протокола SCSI. В настоящее время широко используются скорости 100 и 200 Мбайт/с (1,0625 и 2,125 Гбит/с). Поскольку SCSI применяется для различных классов устройств (не только устройств хранения), Fibre Channel тоже можно задействовать для разнообразных соединений. Это могут быть соединения процессорных блоков, принтеров (без встроенных принт-серверов), мультимедийные соединения.

Интерфейс Fibre Channel позволяет использовать общую физическую среду передачи для общепринятых верхнеуровневых (Upper Layer Protocol, ULP) и сетевых протоколов, а также канальных технологий. Здесь под *каналами* подразумеваются относительно постоянные (статические) соединения, устанавливаемые, как правило, между компьютерами и периферийным

оборудованием (устройствами хранения данных). При этом число компьютеров и устройств относительно небольшое (десятки). Типичным примером использования каналов является интерфейс SCSI.

Несмотря на значительную допустимую длину интерфейсных кабелей (до 10 км), сеть Fibre Channel все-таки является локальной. «Островки» Fibre Channel могут объединяться в большие сети хранения данных с помощью различных магистральных сетей: волоконных магистралей с волновым мультиплексированием (волновое мультиплексирование - передача по одному одномодовому волокну нескольких сигналов с различной длиной волны; позволяет обеспечить суммарную скорость передачи по одному волокну до Терабит в секунду (Тбит/с)), SONET/SDH, ATM и IP-сетей.

Более подробную информацию об интерфейсе Fibre Channel можно найти в [28] и в Интернет, например: <http://www.fibrechannel.ru/fc.html>.

В данном разделе использованы материалы из [28].

Контрольные вопросы к разделу 6.4.6 и 6.4.7

1. Дайте общую характеристику универсальному ПИВВ SCSI.
2. Охарактеризуйте спецификации SCSI.
3. Что представляет собой архитектурная модель SAM?
4. Что представляет собой верхний уровень SAM?
5. Охарактеризуйте два нижних уровня модели SAM.
6. Что определяет модель SAM?
7. Что понимается под доменом SAM?
8. В общих чертах охарактеризуйте хост-адаптер SCSI.
9. Дайте краткую характеристику ИВВ SCSI с параллельными шинами.
10. Охарактеризуйте версии параллельного ПИВВ SCSI.
11. Дайте краткую характеристику последовательному интерфейсу SAS.
12. Охарактеризуйте возможные варианты подключения устройств SAS и SATA.
13. Какие транспортные протоколы используются в SAS?
14. Что представляет собой трансивер SAS?
15. Что понимается под портом устройства SAS?
16. Охарактеризуйте SAS-адрес.
17. Что понимается под конечным устройством SAS?
18. Что понимается под устройством-экспандером SAS?
19. Что понимается под SAS-соединением?
20. Охарактеризуйте домен SAS.
21. Охарактеризуйте маршрутизацию в домене SAS.
22. Дайте краткую характеристику архитектурной модели SAS.
23. Охарактеризуйте физический уровень SAS.
24. Дайте общую характеристику интерфейсу Fibre Channel (FC).

Часть III. Внешние интерфейсы ввода-вывода

Глава 7.

Подсистемы системы ввода-вывода

7.1. Общие сведения

Внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ) обеспечивают обмен информацией между ВС и объектами внешнего мира или промежуточными носителями информации внешнего мира на физическом и логическом уровнях. Под объектами внешнего мира будем подразумевать *пользователей, другие ЭВМ (ВС), объекты управления, коммуникационные среды вычислительных сетей и носители информации внешней памяти*. Внешний мир характеризуется большим разнообразием объектов и различными формами представления информации: графической, текстовой, речевой (для пользователя), в виде аналоговых или дискретных сигналов (для объектов управления и вычислительных сетей) и т.п. При взаимодействии ВС с объектами внешнего мира можно выделить ряд процессов: процессы преобразования способов представления информации (звуковые колебания воздушной среды - в аналоговые электрические сигналы при вводе и обратное преобразование при выводе; механическое перемещение - в прерывистый поток световых сигналов с последующим их преобразованием в поток дискретных электрических сигналов и т.д.); процессы кодирования и декодирования (замена аналогового сигнала - потоком его кодированных дискретных эквивалентов при вводе и декодирование дискретных эквивалентов в аналоговый сигнал при выводе; замена алфавитно-цифровых символов их кодовыми эквивалентами при вводе и обратная замена при выводе); процессы преобразования формы представления кодированной информации (замена комбинации магнитных отпечатков на поверхности магнитных дисков на комбинацию высоких и низких электрических потенциалов при вводе и обратное преобразование при выводе, параллельное и последовательное представление передаваемых данных и т.п.). Периферийные устройства являются теми компонентами ВС, которые непосредственно через внешние интерфейсы взаимодействуют с внешним миром и должны иметь вместе с контроллерами ПУ и хостом средства для реализации перечисленных выше процессов и для поддержки этого взаимодействия на физическом и логическом уровне. На физическом уровне взаимодействие осуществляется потоками электрических, оптических, акустических сигналов и электромагнитных волн, которые несут потоки квантов информации в закодированном виде через физическую среду внешнего ИВВ. Для этого ПУ должны иметь средства для кодирования и генерации соответствующих сигналов при выводе квантов информации, и средства восприятия сигналов и их декодирования при их вводе. При вводе и выводе информации могут использоваться промежуточные носители внешнего физического представления квантов информации (графическое изображение символов и рисунков на бумаге, пленке или на экране, магнитные или оптические отпечатки на носителях внешней памяти, символы на клавишах клавиатуры и т.п.). Непосредственное взаимодействие со средой передачи внешних ИВВ и промежуточными носителями информации осуществляют исполнительные устройства ПУ. На логическом уровне взаимодействие ВС и объектов внешнего мира осуществляются квантами информации объектов внешнего мира. Как правило, эту информацию в ВС представляют в виде файлов, состоящих из записей, полей и символов (см. введение). При передаче файлов объектам внешнего мира они преобразуются

программными и аппаратными средствами СВВ в форму используемую объектами внешнего мира. При приеме информации от объектов внешнего мира, как правило, производится ее преобразование в файл, интерпретацию содержательной части которого осуществляет соответствующая прикладная программа, инициирующая взаимодействие с соответствующим объектом внешнего мира на логическом уровне.

Внешние интерфейсы мы будем рассматривать в рамках соответствующих подсистем СВВ компьютера, которые обеспечивают его взаимодействие с соответствующими объектами внешнего мира:

- подсистема связи с объектами управления;
- подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам;
- подсистема взаимодействия с пользователем;
- подсистема внешней памяти.

Приведем краткую информацию общего характера по каждой из этих подсистем.

7.2. Подсистема связи с объектами управления

Часто микро-ЭВМ и ПК используется в таких областях, где система связи с объектами управления являются основным, а подчас и единственными средствами общения ЭВМ с внешним миром. В состав этих систем, как правило, обязательно входит подсистема ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов. Устройства этой подсистемы могут входить в состав периферийного оборудования ЭВМ, или могут находиться в составе программируемых устройств объектов управления. При взаимодействии компьютера с программируемыми устройствами объектов управления (например, с программируемыми электронными приборами, используемыми в системах автоматизации научных исследований: регистраторами, генераторами, частотомерами, ЦАП, АЦП и т. п.) могут использоваться стандартные малые и периферийные ИВВ, специализированные внешние ИВВ или стандартные универсальные внешние интерфейсы. К последним можно, например, отнести интерфейс GPIB (General Purpose Interface Bus) - интерфейсная шина общего назначения, известная у нас как КОП (Канал Общего Пользования), интерфейсы системы КАМАК (САМАС) и ряд других.

7.3. Подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам

Подключение ЭВМ к коммуникационной среде вычислительных сетей осуществляется с помощью коммуникационных устройств (ПУ). Коммуникационные устройства позволяют обмениваться данными между компьютерами, компьютером и удаленным устройством ввода-вывода (ПУ), а также объединять компьютеры в вычислительные сети. По широте охвата вычислительные сети принято делить на несколько категорий. *Локальные вычислительные сети*, ЛВС или LAN (Local-Area Network), позволяют объединять компьютеры, расположенные в ограниченном пространстве. Для локальных сетей, как правило, прокладывается специализированная кабельная система, и положение возможных точек подключения абонентов ограничено этой кабельной системой. Иногда в ЛВС используют и беспроводную связь (wireless), но и при этом возможности перемещения абонентов сильно ограничены. Локальные сети можно объединять в более крупномасштабные образования — CAN (Campus-Area Network — *кампусная* сеть, объединяющая локальные сети близко расположенных зданий), MAN (Metropolitan-Area Network — *сеть городского масштаба*), WAN (Wide-Area Network — *широкомасштабная сеть*), GAN (Global-Area Network — *глобальная сеть*). Сетью сетей в наше время называют глобальную сеть — Интернет. Для сетей, более крупных, чем ЛВС, также устанавливаются специальные проводные или беспроводные линии связи или используется инфраструктура существующих публичных средств связи. В

последнем случае абоненты компьютерной сети могут подключаться к сети в относительно произвольных точках, охваченных сетью телефонии или кабельного телевидения. Непосредственное подключение компьютера к вычислительным сетям реализуются через такие коммуникационные устройства как модемы и адаптеры проводных и беспроводных локальных сетей (сетевые адаптеры). Подключенный к сети компьютер работает под управлением своей операционной системы и выполняет свои задачи. В рамках вычислительных сетей обмен данными компьютеру требуется для использования различных сетевых ресурсов и сервисов: совместного использования различных устройств (например, сетевых принтеров), вычислительных ресурсов (серверов приложений), доступа к разнообразным информационным услугам Интернет и частных сетей, передачи файлов, приема и передачи факсимильных сообщений и пр.

Многомашинные ВК представляют собой совокупность нескольких ЭВМ, каждая из которых имеет полный набор всех ресурсов, включая и ПУ, связанных между собой определенными способами для выполнения общесистемных функций и работающих под управлением единой операционной системы. Связи ПУ с центральными устройствами и организация их работы практически мало отличаются от того, что имеет место в обычных одиночных ЭВМ. Объединение ЭВМ в комплексы может осуществляться через специализированные интерфейсы прямого взаимодействия процессор- процессор, через стандартные интерфейсы и каналы ввода-вывода, а также через общие устройства внешней памяти.

Понятие *кластер* было введено для многомашинных ВК, подключенных к сети. В сети такой комплекс рассматривается как один узел.

7.4. Подсистема взаимодействия с пользователем

В составе подсистемы взаимодействия с пользователем можно выделить следующие подсистемы:

1. Подсистема ввода-вывода (СВВ) визуальной информации.
2. Подсистема ввода-вывода звуковой информации.
3. Устройства непосредственного механического и осязательного (тактильного) взаимодействия.

Каждая подсистема должна иметь набор интерфейсов, обеспечивающих определенные способы и средства ввода-вывода для каждой разновидности данного типа информации.

В рамках СВВ визуальной информации можно выделить следующие процессы, которые должны быть реализованы ее внешними ИВВ:

- Ввод-вывод с использованием промежуточных носителей твердых копий визуальной информации (бумажные или пленочные носители твердых копий текстовой и (или) графической информации).
- Непосредственный ввод-вывод визуальной информации:
 - вывод:
 - с использованием экранов устройств отображения видеoinформации (видеомониторы, плоские экраны, табло, видео проекторы с вторичными экранами, электронные чернила и пр.);
 - на сетчатку глаза сканирующим маломощным лазерным лучом;
 - ввод:
 - с телеканалов, видеоманитов, видеоплееров;
 - непосредственный ввод с цифровых фотоаппаратов, видеокамер и веб-камер.

В рамках СВВ звуковой информации можно выделить следующие подсистемы:

- аудиоподсистема ПК;

- подсистема речевого ввода-вывода.

В рамках подсистемы непосредственного механического и тактильного взаимодействия можно выделить следующие группы устройств, использующихся при реализации процессов взаимодействия:

- ввод информации о механических перемещениях компонентов тела пользователя и прикосновениях пользователя к устройствам (различные виды манипуляторов: мышь, джойстик, специальные манипуляторы; датчики изменения положения головы в шлемах виртуальной реальности; датчики положения пальцев и руки в кибер-перчатках; сенсорные экраны, планшеты, клавиатуры и пр.)
- вывод: исполнительные механизмы кибер-перчаток, оказывающие механическое воздействие на пальцы рук, их кожный покров и на руку в целом; в тренажерах – движение платформ в различных плоскостях с различными ускорениями и пр.

7.5. Подсистема внешней памяти

В состав подсистемы внешней памяти входят различные устройства хранения данных (устройства внешней памяти), которые позволяют сохранять информацию для последующего ее использования независимо от состояния (включен или выключен) компьютера. Для хранения информации эти устройства используют различные типы носителей информации, в которых могут быть реализованы различные физические принципы хранения — магнитный, оптический, электронный — в любых их сочетаниях. Внешняя память принципиально отличается от внутренней (оперативной, постоянной и специальной) способом доступа к этой памяти процессора (исполняемой программы). Устройства внешней памяти оперируют *блоками* информации, а не байтами или словами, как, например, оперативная память. Процедуры обмена с устройствами внешней памяти привязаны к типу устройства, его носителю информации, его контроллеру и способу подключения устройства к системе (интерфейсу). Устройства хранения данных имеют средства прямого взаимодействия с носителями информации, которые относятся к объектам внешнего мира. Эти средства мы будем относить к средствам внешнего ИВВ подсистемы внешней памяти.

В последующих главах мы более подробно рассмотрим состав и назначение функциональных компонентов выше представленных подсистем СВВ.

Контрольные вопросы

1. Для чего используются внешние ИВВ?
2. Каково назначение подсистемы связи с объектами управления?
3. Кратко охарактеризуйте подсистему подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам.
4. Каков состав и назначение подсистемы взаимодействия с пользователем?
5. Что обеспечивает подсистема внешней памяти?

Глава 8.

Подсистема связи с объектами управления

8.1. Система ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов

8.1.1. Общие сведения

Эта СВВ позволяет получать информацию об аналоговых процессах и параметрах, характеризующихся непрерывным изменением величины, например, температуры, давления, механического перемещения, напряжения и т.п. 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 УВывДС). УВвДС воспринимают состояние электрических переключателей и представляют эти состояния в виде некоторого цифрового кода-сообщения, передаваемого в машину. УВывДС выполняют обратную задачу, т.е. замыкают или размыкают электрические переключатели при получении от машин определенных цифровых сообщений. Основной отличительной особенностью УВвДС и УВывДС является наличие гальванической (кондуктивной, электрической) развязки между цепями этих устройств, подключенными к коммуникационной среде ЭВМ и цепями, подключенными к датчикам и исполнительным устройствам объектов управления. Допустимая разность потенциалов между этими цепями может достигать сотни и тысячи вольт. В качестве элементов гальванической развязки могут использоваться оптроны, разделительные трансформаторы и конденсаторы. Оптроны могут пропускать полезную информацию в виде переменной и постоянной составляющей электрических сигналов, а трансформаторы и конденсаторы пропускают только переменную составляющую (являются дифференцирующими элементами электрических цепей). АЦП, ЦАП и УВВ дискретных сигналов могут применяться как отдельные ПУ или объединяться в различные комбинации и выполняться в виде единого блока, состоящего из одной или нескольких плат. Такой блок принято называть устройством связи с объектом (УСО). Эти УСО, как правило, непосредственно подключаются к ИВВ системного уровня. В современных управляющих и технологических микро-ЭВМ (например, Микро-РС) платы УСО устанавливаются в одном корпусе с микро-ЭВМ и подключаются непосредственно к ИВВ системного уровня (ИВВ хоста).

АЦП и ЦАП могут применяться не только в качестве самостоятельных ПУ, плат расширения или основных компонентов УСО, но и в качестве компонентов других ПУ, используемых в других подсистемах ввода-вывода компьютеров.

8.1.2. 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. 8.1. Состояние объекта управления характеризуется множеством параметров (температура, давление, механическое перемещение и т.п.), изменения которых имеют непрерывный (аналоговый) характер.

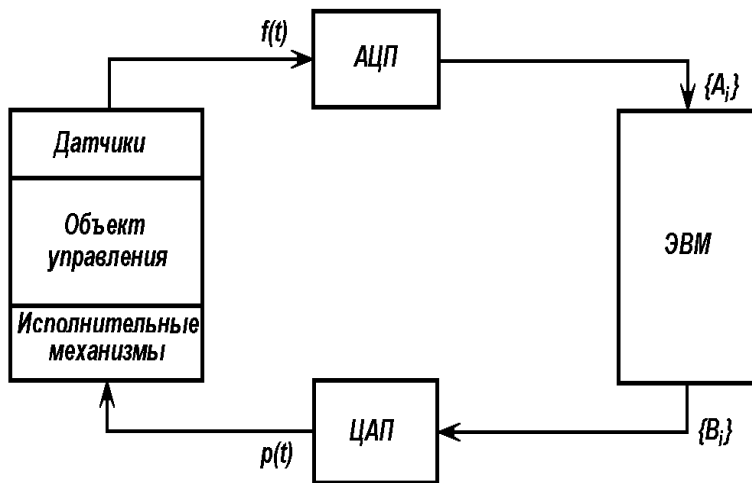


Рис. 8.1. Схема замкнутой системы управления.

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.

$$M[f(t) - p(t)] < \Delta \quad (8.1)$$

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. 8.2, а. В результате дискретизации теряется информация о поведении $f(t)$ на интервалах между узлами дискретизации t_i . Разность между двумя 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. 8.2, б; этот процесс называется квантованием.

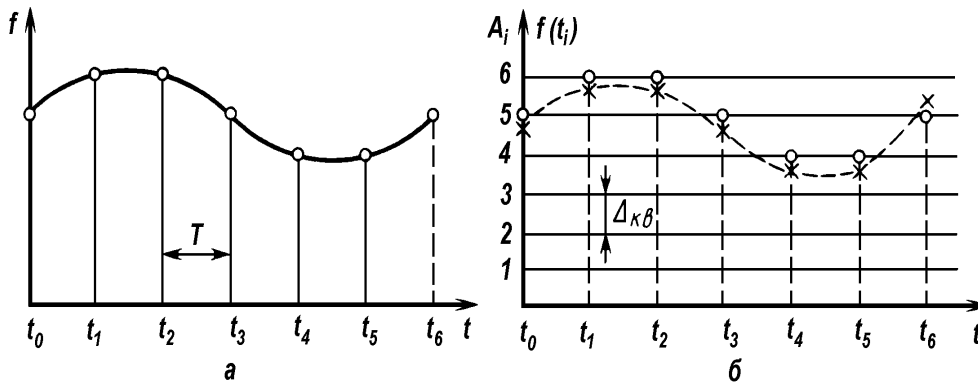


Рис. 8.2. Дискретизация и квантование.

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 $f(t)$, характеризующая конечным спектром (0, F_B), может быть восстановлена с любой точностью по ее мгновенным значениям $f(t_i)$, если эти значения отстоят друг от друга не более чем на

$$T < \frac{1}{2F_B} \quad (8.2)$$

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 (8.2) предполагает, что восстановление сигнала должно выполняться в соответствии с разложением в ряд Фурье; реализация такого восстановления очень трудоемка.

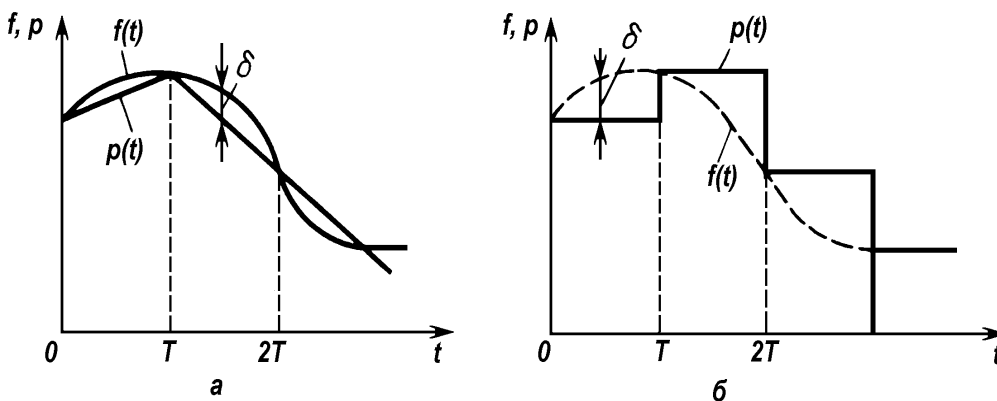


Рис. 8.3. Восстановление полиномами первой и нулевой степени.

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. 8.3,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_2 определяется физическими ограничениями, накладываемыми на исходный сигнал со стороны объекта управления и обычно известна; например, если $f(t)$ характеризует перемещение объекта, то величина M_2 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

$$T \leq \frac{8\Delta_1}{M_2} \quad (8.3)$$

При восстановлении исходного сигнала $f(t)$ полиномом нулевой степени (рис. 8.3,б) аналогичные рассуждения позволяют получить

$$T \leq \frac{\Delta_1}{M_1} \quad (8.4)$$

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 Δ_{KB} не должна превышать допустимой погрешности квантования, т.е.

$$\Delta_{KB} < \Delta_2 \quad (8.5)$$

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 (8.1). Погрешности дискретизации и квантования являются методическими.

8.1.3. Компоненты системы ввода-вывода аналоговых сигналов

8.1.3.1. Общие сведения

Ограничимся рассмотрением СВВ, в которых в качестве ЦАП и АЦП используются преобразователи цифровых кодов в напряжение постоянного тока (ПКТ) и напряжения в цифровые коды (ПНК). Помимо ПНК и ПКТ 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 Δ_{KB} 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:

$$n = \text{ent} \left(1 + \log_2 \frac{U_{\max} - U_{\min}}{R} \right), \quad (8.6)$$

где символ ent означает выделение целой части числа; $R = \Delta_{\text{KB}}$.

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. $\Delta_{\text{ИНСТР}} \approx \Delta_{\text{KB}}$.

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 $n = (20-22)$ и выше).

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.

8.1.3.2. Преобразователи цифрового кода в напряжение постоянного тока

Принцип действия ПКН заключается в суммировании аналоговых величин (токов или напряжений), пропорциональных весам разрядов входного цифрового кода.

Однополярные ПКН. Выходное напряжение U_A ПКН 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:

$$U_A = \frac{U_{\Sigma}}{2} \sum_0^{n-1} a_i 2^i = \frac{U_{\Sigma}}{2^n} A, \quad (8.7)$$

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 ПКН.

В состав ПКН 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.

Наиболее распространенными схемами ПКН являются схемы, использующие резистивную сетку R-2R (рис. 8.4).

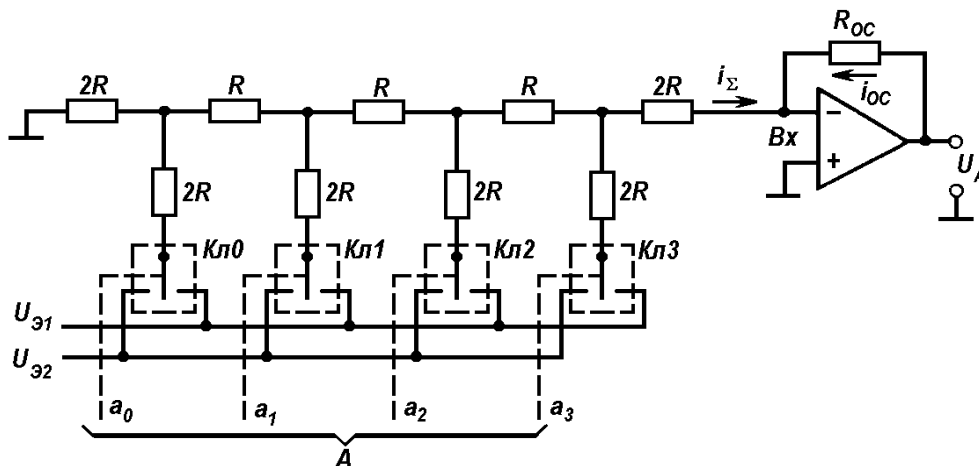


Рис. 8.4. Однополярный ЦАП.

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. 8.4 регистр не показан). В зависимости от значения разряда a_j соответствующий ключ Кл_j подключает к i -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 операционного усилителя (ОУ) при любых положениях ключей:

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma 1}}{3R2^n} \sum a_j 2^j + \frac{U_{\Sigma 2}}{3R2^n} \sum a_j 2^j.$$

Положим далее, что $U_{\Sigma 2} = 0$, а $U_{\Sigma 1} = U_{\Sigma}$ и найдем напряжение U_A на выходе ПКН:

$$U_A = -I_{\Sigma} R_{OC} = -\frac{U_{\Sigma} R_{OC}}{3R2^n} \sum_0^{n-1} a_j 2^j,$$

Это выражение с точностью до постоянного коэффициента совпадает с выражением (8.7). Таким образом, выходное напряжение U_A ставится в соответствие входному цифровому коду. Необходимая точность преобразования обеспечивается только при малых погрешностях сопротивления резисторов сетки $R \sim 2R$, при этом необходимо также учитывать внутреннее сопротивление замкнутых ключей.

Быстродействие схемы определяется затратами времени на перезаряд паразитных емкостей резистивной сетки при переключении входных токов.

Получение достаточно точных значений сопротивлений сетки при использовании интегральной технологии 90-ых годов оказалось затруднительным; это является причиной создания ПКН с активными делителями опорных токов, однако разрядность таких ПКН 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 кГц и выше.

Обязательным компонентом всех ПКН являются электронные ключи, служащие для коммутации аналоговых токов. Такие ключи должны обладать малым внутренним сопротивлением во включенном состоянии и малой длительностью переключения.

Двуполярные ПКН. Для получения на выходе ПКН напряжения любой полярности необходимо наличие двух источников эталонного напряжения или дополнительного коммутируемого инвертора выходного сигнала. В первом случае дополнительный источник эталонного напряжения служит для «смещения» выходного напряжения на постоянную величину, соответствующую половине диапазона изменения U_A . При этом поступающая на вход ПКН цифровая величина должна быть представлена в смещенном двоичном коде, в котором значению $A=(0,0,...,0,0)$ соответствует максимальное отрицательное значение U_A , значению $A=(1,1,...,1,1)$ — максимальное положительное U_A , а нулевому значению $U_A=0$ соответствует входной код $A=(1,0,...,0,0)$ или $A=(0,1,...,1,1)$.

Аналогичные результаты можно получить при использовании коммутатора и инвертора выходного напряжения. В этом случае входная величина представлена прямым двоичным кодом, причем старший знаковый разряд a_n (знаковый) используется для коммутации инвертора.

Способ представления двоичного числа, обеспечивающий правильную работу двуполярного ПКН, необходимо учитывать при программировании операций ввода-вывода аналоговых сигналов.

8.1.3.3. Преобразователи напряжения постоянного тока в цифровой двоичный код

Принцип действия большинства ПНК основан на подборе кода, который, будучи преобразованным в напряжение, позволяет получать минимальное отклонение от входного напряжения U_x , поступающего на ПНК. В схемах ПНК 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 операционных усилителей (ОУ); они позволяют формировать дискретный выходной сигнал C в зависимости от знака разности входных аналоговых напряжений U_X и U_A , т.е. $C=0$, если $U_X \geq U_A$ и $C=1$, если, $U_X < U_A$. Алгоритм подбора кода определяет быстродействие ПНК, сложность его технической реализации и во многих случаях достижимую разрядность. Одним из наиболее распространенных является *алгоритм последовательного приближения*. Схема ПНК, реализующая этот алгоритм, приведена на рис. 8.5,а, временная диаграмма и последовательность подбираемых кодов, устанавливаемых на входном регистре ПКН, приведена на рис. 8.5,б.

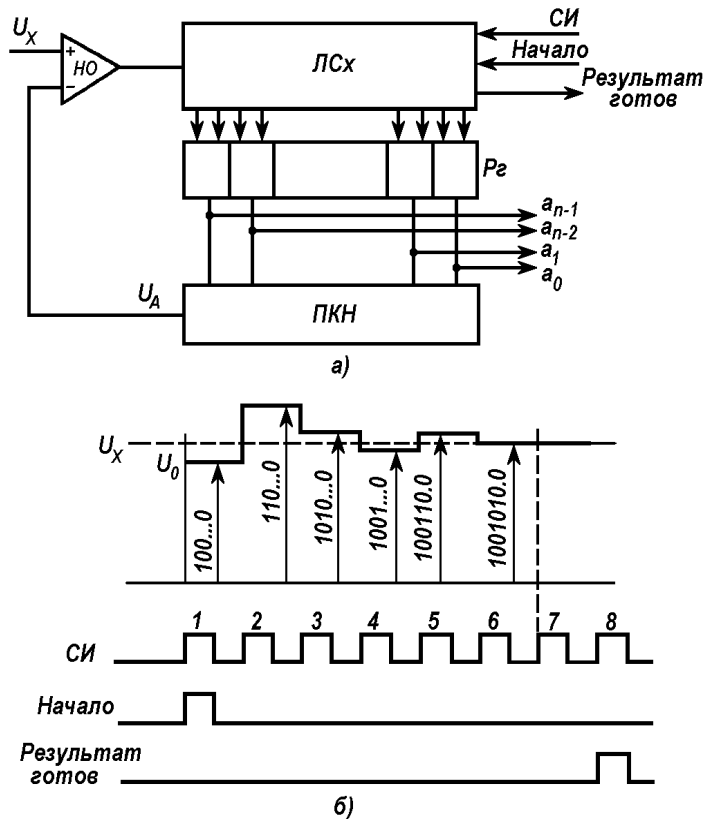


Рис. 8.5. АЦП последовательного приближения.

Сигнал начала преобразования приводит к установке на входном регистре P_2 ПКН кода $A=(1000...0)$; 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 $C_{НО} = 0$, т.е. $U_X > U_A$, то установленный на регистре код A недостаточен и должен быть увеличен; если $C_{НО} = 1$, т.е. $U_X < U_A$ (рис. 8.5,б), то код превышает требуемый и его необходимо уменьшить. В зависимости от значения сигнала $C_{НО}$ логическая схема ($ЛСх$) во втором такте (по сигналу $СИ2$) производит установку в регистр P_2 кода $A = (1100...0)$, если $C_{НО} = 0$, или $A = (0100...0)$, если $C_{НО} = 1$. Вновь установленный код преобразуется в напряжение U_A , которое по-прежнему сравнивается с U_X . Таким образом, в момент прихода $СИ3$ в P_2 устанавливается новый код в соответствии с вновь выработанным значением $C_{НО}$. Этот процесс подбора производится непрерывно и завершается после «анализа» младшего разряда кода A .

В этот момент $ЛСх$ вырабатывает сигнал готовности результата, который может быть прочитан из регистра P_2 . Последовательность кодов, устанавливаемых на P_2 в процессе подбора, иллюстрируется на рис. 8.5,б. Длительность полного цикла преобразования $T_{ПР}$

занимает $(n+1)$ тактов, $T_{\text{ПР}} = T_{\text{СП}}(n+1)$, где $T_{\text{СП}}$ — период тактовых сигналов. Очевидно, что верхней границей $T_{\text{ПР}}$ является допустимый период дискретизации, т.е. $T_{\text{ПР}} = T$.

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 $\Delta U_X = M_1 T_{\text{ПР}}$, 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 $\Delta_{\text{KB}} \geq M_1 T_{\text{ПР}}$. 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.

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. 8.6), в которых реализуется *алгоритм параллельного преобразования*.

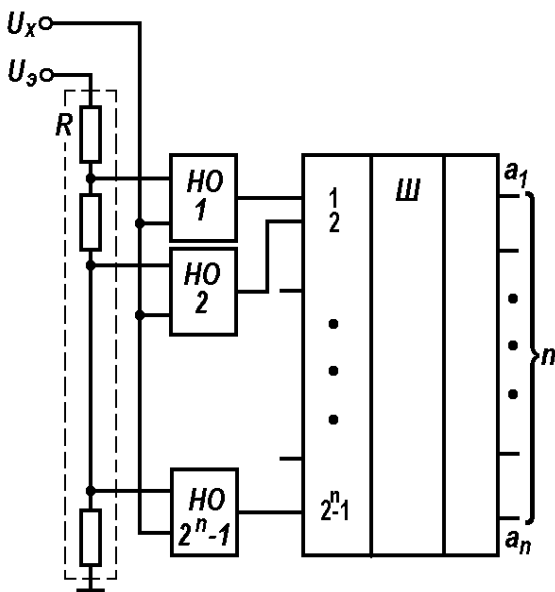


Рис. 8.6. АЦП непосредственного считывания с алгоритмом прямого преобразования.

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 $U_{\text{Э}i} > U_X$; на выходах компараторов с $(i+1)$ -го по $(2^n - 1)$ -й формируется сигнал «1», если $U_{\text{Э}(i+1)} \leq U_X$, т.е. на входы шифратора Ш поступает код $00...011...1$, 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.

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. 8.7,а, а временная диаграмма его работы — на рис. 8.7,б.

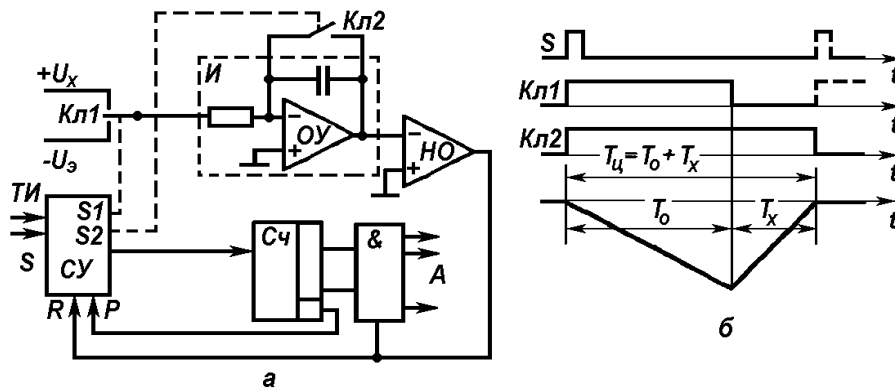


Рис. 8.7. АЦП с двойным интегрированием.

Его основными компонентами являются интегратор I , построенный на базе операционного усилителя с емкостью C в цепи обратной связи, аналоговые ключи $K11$ и $K22$, компаратор HO , счетчик $C4$ и схема управления CU . 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 $K22$ и установку ключа $K11$ 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 CU в нулевое состояние, что приводит к переключению $K11$ в нижнее положение. В этот момент начинается второй этап преобразования длительностью T_X , в течение которого на вход интегратора подается напряжение от эталонного источника ($-U_3$). Момент завершения этого этапа определяется фронтом сигнала C_{HO} от компаратора, когда напряжение на выходе интегратора становится равным нулю. Именно в этот момент код A на выходе счетчика соответствует входному напряжению U_X . По фронту сигнала C_{HO} схема управления прекращает передачу на счетчик сигналов тактовой частоты и замыкает ключ $K22$, переводя интегратор в начальное состояние. Поскольку в момент переключения сигнала C_{HO} 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 $T_X \approx T_{ТИ} A$ (с точностью до единицы младшего разряда), то, $A = (2^n / U_3) U_X$, 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 .

8.1.3.4. 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 ввода-вывода. Однако такое решение слишком дорого.

Для снижения затрат в многоканальных СВВ применяют аналоговые мультиплексоры и демультиплексоры, позволяющие использовать 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 к 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.

Схемы управления многоканальными ПНК могут самостоятельно вырабатывать последовательность адресов каналов, например, с помощью адресного счетчика.

Многоканальные схемы вывода аналоговой информации могут быть также построены на базе одного ПКН, к выходу которого посредством аналогового демультиплексора подключается множество схем выборки-хранения. Однако на практике стоимость ПКН соизмерима со стоимостью схемы выборки-хранения и поэтому для каждого внешнего потребителя аналоговой информации используют отдельный ПКН. Несколько ПКН (по числу каналов) объединяют в одно ПУ, обладающее необходимыми схемами сопряжения с интерфейсом, а загрузку регистров ПКН осуществляют на основе разделения времени. Для этого в ПУ предусматривают специальный регистр номера канала и цифровой селектор.

8.1.4. Структура и управление системой ввода-вывода аналоговых сигналов

В состав СВВ аналоговых сигналов, помимо рассмотренных многоканальных схем ПКН и ПНК, входят различные логические схемы, предназначенные для организации сопряжения ПКН и ПНК с центральной частью ЭВМ, определения текущего номера входного или выходного аналогового канала, задания темпа опроса каналов, буферизации преобразуемых данных и т.д. На рис. 8.8 приведен пример схемы устройства, реализующего функции СВВ аналоговых сигналов, предназначенного для подключения к шине ИВВ системного уровня мини или микро-ЭВМ. Схема включает в себя три функциональные секции:

1. секцию 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. секцию многоканальной выдачи аналоговых сигналов, содержащую схему управления (*СУ*) *ЦАП*, селектор номера канала (*СНК*), выходные регистры $P_2I - P_2N$ и собственно преобразователи *ПКН1-ПКНН*;
3. секцию управления режимами работы и сопряжения с интерфейсом, которая включает в себя адресный селектор с блоком управления вводом-выводом (*БУВВ* и *СА*), регистры адреса данных (P_2AD), номера канала (P_2HK), числа каналов ($P_2ЧК$), команд и состояния ($P_2КС$), скорости опроса каналов ($P_2СО$), данных ($P_2Д$), а также схемы управления прямым доступом (*БУПДП*) и прерываниями (*БУП*).

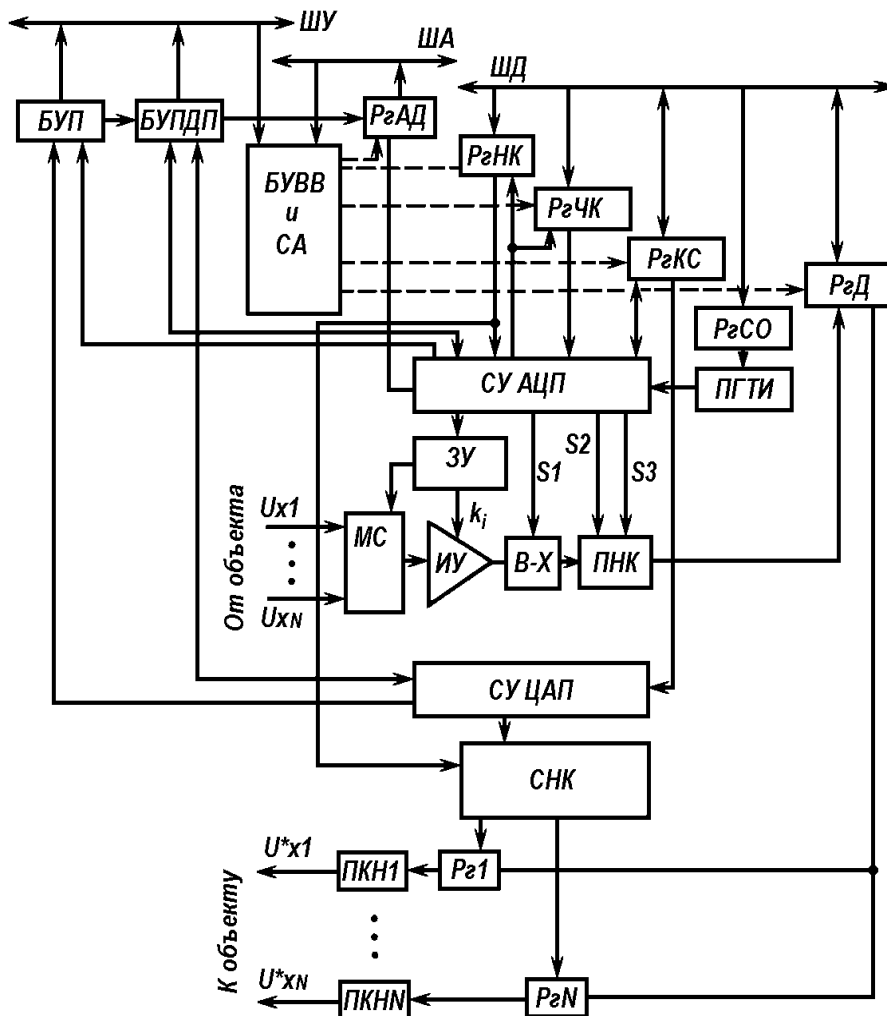


Рис. 8.8. СВВ аналоговых сигналов для микро-ЭВМ.

Первая секция представляет собой периферийное устройство, реализующее многоканальный ввод аналоговых сигналов (ПУ АЦП). Роль контроллера этого ПУ выполняет *СУ АЦП* совместно с *ЗУ* и *ПГТИ*, а исполнительными устройствами являются *МС*, *ИУ*, *В-Х*, и *ПНК*.

Вторая секция представляет собой ПУ, реализующее многоканальный вывод аналоговых сигналов (ПУ ЦАП). Роль контроллера этого ПУ выполняет *СУ ЦАП* а исполнительными устройствами являются *СНК*, *Рз1* – *РзN* и *ПНК 1* – *ПНК N*.

Третья секция выполняет роль адаптера этих двух ПУ, через который они взаимодействуют с хостом.

Первая и вторая секции взаимодействуют с третьей по правилам внутреннего периферийного ИВВ, а контроллеры ПУ ЦАП и АЦП взаимодействуют со своими исполнительными устройствами по правилам своих внутренних малых ИВВ.

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. МП позволяют «улучшить» метрологические параметры АЦП за счет линейризации 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 десятилетия широкое применение нашли так называемые цифровые сигнальные процессоры (DSP), сориентированные 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 в секунду с плавающей запятой.

Контрольные вопросы к разделу 8.1

1. Кратко охарактеризуйте систему связи с объектами управления.
2. Кратко охарактеризуйте систему ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов.
3. Дайте описание схемы замкнутой системы управления (рис. 8.1).
4. Охарактеризуйте процессы дискретизации по времени и квантования по уровню (рис. 8.2).
5. На чем основывается выбор шага дискретизации по времени?
6. На чем основывается выбор величины шага квантования по уровню?
7. Какие компоненты входят в состав СВВ аналоговых сигналов?
8. Каковы основные характеристики АЦП и ЦАП?
9. Объясните принцип работы ПКН (рис. 8.4).
10. Охарактеризуйте два варианта двуполярных ПКН.
11. Объясните принцип работы ПНК, реализующего алгоритм последовательного приближения (рис. 8.5).
12. Когда в ПНК необходимо применять устройства выборки-хранения?
13. Охарактеризуйте ПНК непосредственного считывания (рис. 8.6).
14. Опишите принцип работы ПНК двойного интегрирования (рис. 8.7).
15. Охарактеризуйте многоканальные ЦАП и АЦП.
16. Дайте краткое описание схемы устройства, реализующего функции СВВ аналоговых сигналов (рис. 8.8).
17. Опишите процесс реализации аналого-цифрового преобразования по одному каналу устройством, представленным на рис. 8.8.

Интегральные схемы ПКН и ПНК, аналоговых ключей и устройств выборки и хранения приведены в [53], [45], [63]. Описание полной схемы СВВ аналоговых сигналов и ее компонентов содержится в [54]. Дополнительную информацию по тематике раздела можно найти в [66].

В разделе использованы материалы из [1].

8.2. Интерфейс IEEE-488 (GPIB)

8.2.1. Общие сведения

Интерфейс IEEE-488 и соответствующий протокол широко используются в программно-аппаратных комплексах для соединения ЭВМ с измерительными инструментами (в частности, в системах сбора данных). Его можно отнести к внешним ИВВ, поскольку измерительные приборы и инструменты, поддерживающие обмен по шине интерфейса IEEE-488 можно отнести к устройствам объектов внешнего мира (в частности объектов управления). Разработанный в 60-х годах в Hewlett-Packard, протокол изначально назывался HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus, интерфейсная шина Hewlett-Packard). Впоследствии другие компании подхватили инициативу и начали использовать протокол для своих внутренних целей. Протокол был стандартизован американским Институтом инженеров электротехнической и электронной промышленности (IEEE) и переименован в IEEE-488 (по номеру

стандарта) или GPIB (General Purpose Interface Bus, интерфейсная шина общего назначения) в середине 70-х годов. Аналогичный российский стандарт называется Канал Общего Пользования (КОП) (МЭК 625). Иногда используется название Интерфейс приборной магистрали по ГОСТ 26.003-80. По мере проникновения принятого стандарта протокола в промышленность выяснилось, что конкретный порядок передачи команд по шине был недостаточно хорошо определен. Стандарт был пересмотрен и дополнен в 1987 году (добавлено описание протокола передачи). Новый стандарт содержал две части: IEEE-488.1, описывающую аппаратную часть и низкоуровневое взаимодействие с шиной, и IEEE-488.2, определяющую порядок передачи команд по шине. Стандарт IEEE-488.2 был еще раз пересмотрен в 1992 году. Так называемый высокоскоростной протокол GPIB (HS-488), предложенный фирмой National Instruments в 1996 году, позволил увеличить пропускную способность шины до 8 Мбайт/сек, используя стандартные кабели и аппаратную базу. HS-488 улучшает производительность шины путем устранения задержек, связанных с необходимостью дожидаться подтверждения в трехсигнальной схеме IEEE-488.1 (DAV/NRFD/NDAC), где максимальная пропускная способность не превышает 1,5 Мбайт/сек. В рамках HS-488 за одну операцию передатчик посылает столько байт данных, сколько приемник в состоянии принять, исходя из наличия свободных буферов.

Протокол HS-488 полностью совместим с системами, основанными на IEEE-488.1, поэтому устройства обоих типов могут сосуществовать на одной шине интерфейса.

Поскольку интерфейс IEEE-488 хорошо стандартизован и протестирован, большинство производителей автоматизированных измерительных систем и инструментов встраивают в свои изделия интерфейсы GPIB в качестве основного канала передачи данных.

Интерфейс GPIB в основном используется для соединения программируемых и непрограммируемых электронных устройств, применяемых в лабораторных или цеховых условиях, в которых используется бит-параллельный, байт-последовательный асинхронный способ обмена информацией, и устанавливает основные требования к обмену цифровой информацией.

Соединение устройств осуществляется через многопроводную шину магистрального канала общего пользования (КОП). Общая длина шины интерфейса не превышает 20 м. Число подсоединяемых к шине устройств — не более 15. При этом не менее половины всех устройств должно находиться в состоянии «Питание включено».

Все сигнальные линии используют отрицательную логику: высокий уровень напряжения интерпретируется как логический 0, а низкий — как логическая 1. Конкретные значения напряжения определены стандартом IEEE-488. Общее число адресов источников и приемников информации в системе не должно превышать 31 при однобайтовой и 961 при двухбайтовой адресации.

Особенностью интерфейса является отсутствие ограничений на конструктивную реализацию и способы построения устройств, а также на способы объединения их в систему. Определена только магистраль, по которой происходит обмен информацией, синхронизация и управление. Магистраль полностью пассивная. Все активные цепи, по которым выдают управляющую информацию и осуществляют прием и передачу данных, размещаются внутри устройств.

Сочетание активных цепей и магистрали, выполняемой обычно в виде кабеля того или иного типа, на каждом конце которого имеется двухсторонний разъем с винтовыми зажимами, образует собственно магистраль. Конструкция разъема обеспечивает установку одного разъема на другой, что позволяет собирать системы произвольной конфигурации: однолинейной, в виде звезды и т. п.

По характеру взаимодействия с магистралью устанавливаются четыре группы функциональных устройств: контроллер ("controller" (C)), источник ("talker" (T)), приемник ("listener" (L)) и источник-приемник (TL). Устройство в состоянии приемник считывает сообщения с

шины; устройство в состоянии источник посылает сообщения на шину. В каждый конкретный момент времени в состоянии источник может быть одно и только одно устройство, в то время как в состоянии приемник может быть произвольное количество устройств. Контроллер выполняет функции арбитра и определяет, какие из устройств в данный момент находятся в состоянии источник и приемник. К шине может быть одновременно подключено несколько контроллеров. В этом случае один из контроллеров (как правило, расположенный на интерфейсной карте GPIB, подключенной к компьютеру) является ответственным контроллером (Controller-in-Charge, CIC) и делегирует по мере надобности свои функции другим контроллерам.

Интерфейсные карты GPIB (адаптеры, совмещенные с ведущим контроллером интерфейса) выпускаются для шин ИВВ системного уровня PCI, PC Card (PCMCIA), ISA, NuBus, Sbus и NECBus. Примером адаптера GPIB – PCI может служить адаптер Agilent 82350B PCI со скоростью 900кБ/с и Agilent 82351A со скоростью 1,4 МБ/с. В настоящее время широко используются адаптеры USB – GPIB, позволяющие подключать приборы стандарта GPIB к ПК через интерфейс USB. Используются также адаптеры GPIB – USB – для подключения к адаптерам GPIB приборов с USB интерфейсом.

8.2.2. Линии и сигналы интерфейса

Функциональные устройства IEEE-488 соединяются между собой с помощью 24 сквозных проводников. Из них 8 относятся к 8 однопроводным линиям шины данных, 14 проводников образуют 6 двухпроводных линий и 2 однопроводные линии шины синхронизации и управления. Один проводник используется как сигнальная земля и еще один – как экранирующий. Назначение проводников и их функции представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Назначение проводников шины интерфейса IEEE-488

№ п/п	Мнемоника	Название	Функция
1	DIO1	DIO1	Данные (младший бит)
2	DIO2	DIO2	Данные
3	DIO3	DIO3	Данные
4	DIO4	DIO4	Данные
5	EOI	End of Identify (конец идентификации)	Управление интерфейсом
6	DAV	Data Valid (данные готовы)	Синхронизация
7	NRFD	Not Ready for Data (не готов к приему)	Синхронизация
8	NDAC	Not Data Accepted (данные не приняты)	Синхронизация
9	IFC	Interface Clear (очистить интерфейс)	Управление интерфейсом
10	SRQ	Service Request (запрос обслуживания)	Управление интерфейсом
11	ATN	Attention (внимание)	Управление интерфейсом
12	-	Shield (экран)	Шасси
13	DIO5	DIO5	Данные
14	DIO6	DIO6	Данные

15	DIO7	DIO7	Данные
16	DIO8	DIO8	Данные (старший бит)
17	REN	Remote Enable (разрешить работу в удаленном режиме)	Управление интерфейсом
18	-	DAV Return (возврат DAV)	Шасси
19	-	NRFD Return (возврат NRFD)	Шасси
20	-	NDAC Return (возврат NDAC)	Шасси
21	-	IFC Return (возврат IFC)	Шасси
22	-	SRQ Return (возврат IFC)	Шасси
23	-	ATN Return (возврат IFC)	Шасси
24	-	Signal Ground (земля данных)	Шасси

Для пересылки команд по шине используются восемь линий данных, причем старший бит (DIO8) в большинстве случаев игнорируется. Обратите внимание на тот факт, что линии данных пронумерованы от 1 до 8, а не от 0 до 7, как в большинстве других стандартов.

Три двухпроводные линии синхронизации управляют передачей данных и команд и обеспечивают гарантированный прием данных всеми устройствами типа приемник в надлежащее время. Сигнал “Данные готовы” (*Data Valid (DAV)*) используется устройством типа источник для оповещения устройств типа приемник о том, что информация, подготовленная источником, выставлена на линиях данных и готова к приему. Сигнал “Не готов к приему” (*Not Ready For Data (NRFD)*) используется устройствами типа приемник для того, чтобы сообщить устройству типа источник о том, что они не готовы к приему данных. В этом случае устройство типа источник прекращает обмен информацией до того момента, когда все устройства типа приемник будут готовы к продолжению диалога. Сигнал NRFD реализован по принципу “монтажное ИЛИ”, что позволяет каждому взятому в отдельности устройству типа приемник приостановить всю шину. Сигнал “Данные не приняты” (*Not Data Accepted (NDAC)*) используется устройствами типа приемник и сообщает устройству типа источник, что данные приняты всеми адресатами. Когда этот сигнал не активен, источник может быть уверен, что все клиенты успешно прочли данные с шины и можно приступать к передаче следующего байта данных. Процедура синхронизации (рукопожатия) гарантирует, что скорость передачи данных по шине не превышает скорость их обработки самым медленным из клиентов. Линия NDAC также организована как “монтажное ИЛИ”. Как нетрудно видеть, устройство типа источник помещает новые данные на шину только тогда, когда все устройства типа приемник готовы к приему.

Пять линий управления интерфейсом, три из которых являются двухпроводными, сообщают устройствам, присоединенным к шине интерфейса, какие действия предпринимать, в каком режиме находиться и как реагировать на команды. Контроллер шины использует линию “Внимание” (*ATteNtion (ATN)*) для сообщения клиентам о том, что по шине идут команды, а не данные. Сигнал “Запрос обслуживания” (*Service ReQuest (SRQ)*) доступен любому клиенту шины. По этому сигналу контроллер переводит, по возможности, подавшее его устройство в состояние источник и передает ему функции передачи данных. Сигнал “Очистка интерфейса” (*InterFace Clear (IFC)*) используется для инициализации или реинициализации интерфейса. Сигнал “Разрешить работу в удаленном режиме” (*Remote ENable (REN)*) переводит устройство, подключенное к шине, в режим исполнения команд и обратно. Сигнал “Конец идентификации” (*End Of Identify (EOI)*) используется источником для идентификации конца сообщения. Контроллер выставляет этот сигнал для инициации параллельного опроса подключенных к шине устройств.

Контрольные вопросы к разделу 8.2

1. Дайте характеристику интерфейса IEEE-488 (GPIB) и его спецификациям.
2. Охарактеризуйте правила подключения устройств к шине интерфейса IEEE-488.
3. Охарактеризуйте особенности интерфейса IEEE-488.
4. Охарактеризуйте группы функциональных устройств, взаимодействующих с магистралью интерфейса IEEE-488.
5. Дайте краткое описание линий шины интерфейса IEEE-488.
6. Охарактеризуйте назначение трех двухпроводных линий синхронизации.
7. Охарактеризуйте назначение пяти линий управления интерфейсом IEEE-488.
8. Какие типы сообщений поддерживаются интерфейсом IEEE-488.

Дополнительную информацию по внешнему ИВВ IEEE-488 (GPIB, КОП) можно найти в [18], в описаниях стандартов и в Интернет.

В данном разделе использованы материалы из [18] и сайтов:

<http://dssp.petrstu.ru/files/tutorial/asni/Glava%205/Index1.htm>,

http://www.itt-ltd.com/reference/ref_ieee488.html,

<http://www.ixbt.com/mainboard/gpib.html>,

<http://www.dstu.edu.ru/mirrors/ixbt/mainboard/gpib.html>.

8. 3. Интерфейсы системы КАМАК

9.3.1. Общие сведения

Система CAMAC - Computer Automated Measurement And Control (КАМАК) разработана и предложена комитетом ESONE - European Standards of Nuclear Electronics и американским комитетом US NIM, подготовившими подробные спецификации и выпустившие стандарты, которые были приняты также основными международными и отечественными организациями по стандартизации (табл. 8.2). Позже были разработаны спецификации на такие системы, как КАМАК-КОМПЕКС, FASTCAMAC, "Вектор" и др.

Таблица 8.2. Некоторые базовые стандарты по системе КАМАК

Краткое наименование	Обозначение			
	EUR	IEEE	IEC (МЭК)	Гост
Модульная цифровая интерфейсная система КАМАК (CAMAC)	4100е	583	516	26.201-80 27080-86
Интерфейс параллельной ветви. Крейт-контроллер типа А1	4600е	596	552	26.201.1-84 26.201.1-94
Последовательная магистраль. Крейт-контроллер типа L2	6100е	595	640	26.201.2-84 26.201.2-94
Терминология		SH08482	678	—

Система КАМАК предназначена для связи измерительных устройств с цифровой аппаратурой обработки данных. Система построена по модульному (блочному) принципу. Наименьшая конструктивная единица системы - функциональный модуль (или станция) представляет собой вставную кассету. Кассеты размещаются в каркасе-крейте. В крейте организована магистральная структура информационных связей между функциональными блоками через

магистраль крейта (МК). Крейт содержит не более 25 станций (установочных позиций для сменных блоков, содержащих розетку соединителя для обеспечения доступа сменного блока к МК).

В состав модулей крейта обязательно входит минимум один модуль контроллера крейта (КК), который управляет модулями крейта и обеспечивает их взаимодействие с цифровой системой обработки данных. КК подключается к МК через станцию 25.

К ЭВМ отдельные крейты могут подключаться за счет использования специальных КК, которые имеют непосредственный выход на шины СВВ системного уровня мини- и микро-ЭВМ (например, ККПД СМ обеспечивает подключение крейта к СМ ЭВМ по программному каналу или каналу прямого доступа к памяти). В качестве интерфейса подключения КК к ЭВМ могут служить периферийные ИВВ, внешние ИИВ подключения к локальным вычислительным сетям (ЛВС), или интерфейс магистрали ветви КАМАК и ее контроллер. На рис. 8.9 представлена структура измерительной системы, выполненной на базе аппаратуры крейта КАМАК, подключаемой к ЭВМ через КК, сориентированный на определенный тип ИВВ ЭВМ.

Если подключение КК осуществляется к ИВВ системного уровня, то его можно рассматривать или как хост-адаптер, а функциональные модули крейта - как периферийные устройства ЭВМ, или как ПУ, если модули крейта отнести к объектам внешнего мира. В первом случае интерфейс магистрали крейта будет относиться к периферийным ИВВ, а во втором – к внешним ИВВ.

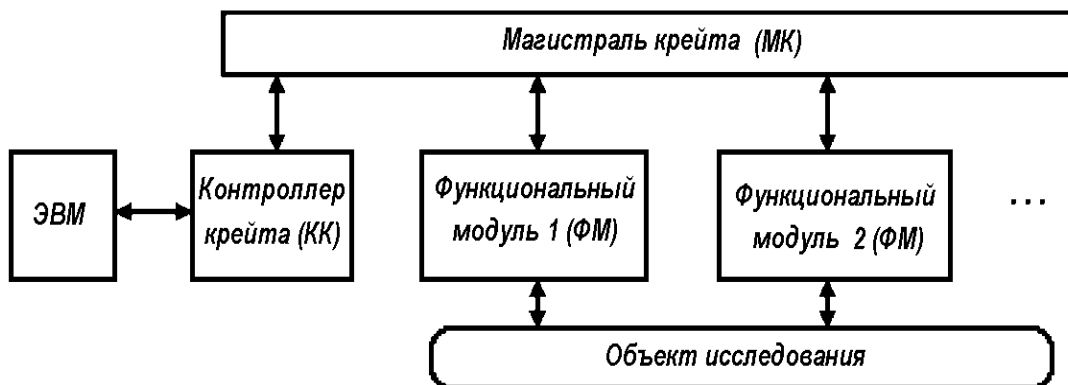


Рис. 8.9. Структура измерительной системы на основе аппаратуры крейта КАМАК

Крейты системы КАМАК могут объединяться в многокрейтовые системы с помощью параллельного интерфейса *магистрали ветви* (МВ), или с помощью интерфейса последовательной магистрали (МП). Многокрейтовые системы подключаются к ЭВМ посредством МВ или МП через специальные устройства – драйверы, которые выполняют функции адаптера или ПУ.

На рис. 8.10 представлена цепочная конфигурация многокрейтовой системы КАМАК на основе МВ, которая подключается к соответствующему ИВВ ЭВМ через *драйвер ветви* (ДВ). Такая система может объединять до семи *крейтов*, укомплектованных крейт-контроллерами типа А1.

На рис. 8.11 приведен пример многокрейтовой системы КАМАК, организованной на основе МП и подключаемой к ЭВМ через *драйвер МП*. Поскольку каждое управляемое устройство, подключаемое к МП «прозрачно» для сообщений, адресованных другим устройствам независимо от внутренней структуры или длины этих сообщений, то к МП может подключаться много различных типов устройств при условии, что они отвечают требованиям стандартов сигналов интерфейса МП.

Как и в случае подключения крейта к ЭВМ драйвер МП или МВ можно рассматривать или как хост-адаптер, или как ПУ. Мы будем рассматривать крейт и многокрейтовые системы

КАМАК как объекты внешнего мира (компоненты объектов управления). Поэтому мы рассматриваем интерфейсы МК, МВ и МП в разделе внешних ИВВ.

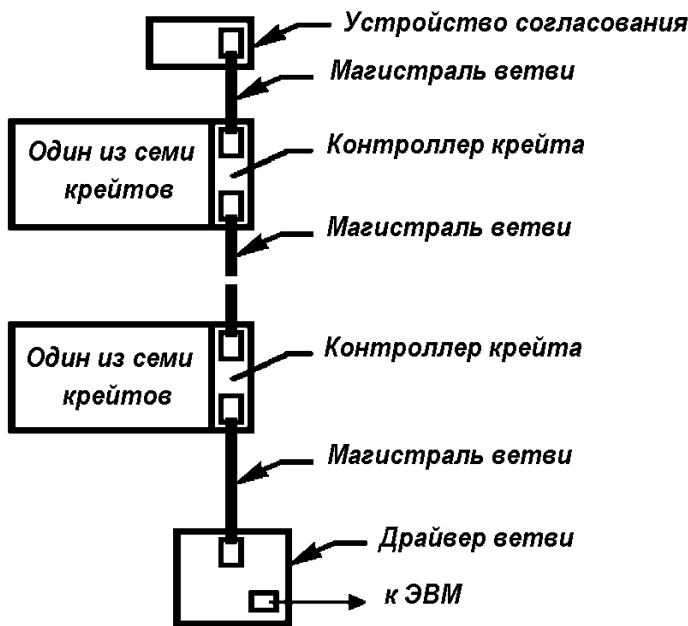


Рис. 8.10. Цепочная конфигурация многокредитовой системы КАМАК

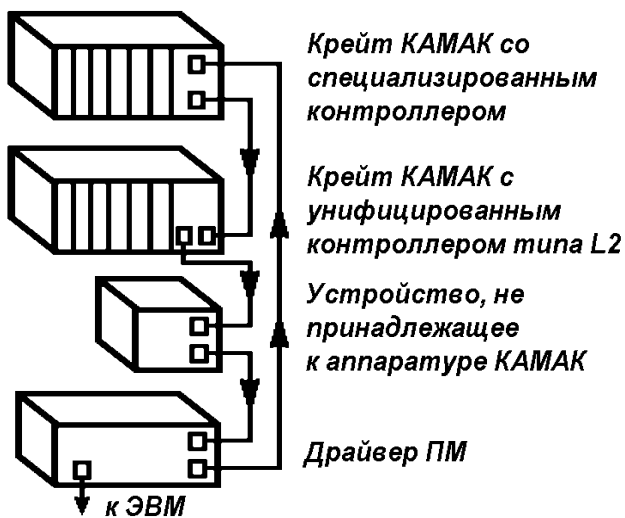


Рис.8.11. Пример системы КАМАК на базе МП

8.3.2. Интерфейс магистрали крейта

8.3.2.1. Общие сведения

Интерфейс магистрали крейта регламентируется публикациями МЭК 516 и другими стандартами и рекомендациями.

8.3.2.2. Логическая организация

Магистраль крейта содержит сигнальные шины и шины питания (табл. 8.3). (В описаниях стандартов КАМАК понятие «шина» рассматривается как понятие «линия интерфейса»).

Таблица 8.3. Магистраль крейта КАМАК

Наименование	Обозначение	Назначение
<i>Команда</i>		
Номер станции	N	Выбор модуля
Субадрес	A1, A2, A4, A8	Выбор функционального узла в модуле
Функция	F1, F2, F4, F8, F16	Определение функции, подлежащей исполнению в модуле (одной из 32 возможных операций)
<i>Синхронизация</i>		
Строб 1	S1	Управление первой фазой операции. Сигналы на магистрали крейта не должны изменяться
Строб 2	S2	Управление второй фазой операции. Сигналы на магистрали крейта могут изменяться
<i>Данные</i>		
Запись	W1...W24	Занесение информации в модуль
Чтение	R1...R24	Извлечение информации из модуля
<i>Состояние</i>		
Запрос на внимание	L	Требование на обслуживание
Занято	B	Указание о прохождении операции на магистрали
Ответ	Q	Указание о состоянии объектов, выбранных командой
Команда принята	X	Указание о готовности модуля выполнить действия, требуемые командой
<i>Общее управление</i>		
Пуск	Z	Приведение модуля в определенное состояние, сопровождающееся сигналами S2 и B
Запрет	I	Запрещение определенных действий элементов, соединенных с шиной I, в течение всего времени присутствия сигнала на магистрали
Сброс	C	Очистка регистров, сопровождаемая сигналами S2 и B
<i>Нестандартные соединения</i>		
Свободные сквозные шины	P1, P2	Для нерегламентируемых соединений
Индивидуальные дополнительные контакты	P3...P5	Для нерегламентируемых соединений. Шины не предусмотрены

Обязательные шины питания

+24; +6 В	+24; +6	Подключение источников питания
-6; -24 В	-6; -24	То же

Дополнительные шины питания

+200; +12 В	+ 200; + 12	Подключение слаботочных источников питания
Чистая земля	Е	Для схем, требующих чистую землю
Резервные	Y1, Y2	Резервированы для будущего назначения

Их наименование и обозначение те же, что и у сигнала, передаваемого по этой шине (линии). Сигнальные шины МК подразделяются на сквозные и индивидуальные. Сквозные шины связывают одноименные контакты всех рабочих станций (с 1-й по 24-ю), индивидуальные — один контакт розетки рабочей станции с одним контактом управляющей станции (25-й). Шины питания соединяют соответствующие контакты розеток всех станций. Обратный провод питания (0 В) связывает параллельно два контакта на всех станциях. *Управляющая станция* находится справа от всех рабочих станций. От нее идут связи по 24 линиям N и L к остальным 24 станциям. *Контроллер крейта* является единственным блоком, имеющим доступ к линиям N и L. Он отдает все команды и определяет программу работы крейта. В операции на МК участвуют, как правило, контроллер (в качестве управляющего) и другой блок (в качестве управляемого). Выполняются два вида операций: командные (адресные) и безадресные. Во время безадресных операций команда не генерируется. Синхронизирующие сигналы «Строб 1» (S1) и «Строб 2» (S2) последовательно генерируются во время командных операций. При безадресных операциях обязателен сигнал S2, однако допускается генерация и S1. Для передачи данных из модулей используются 24 шины чтения R, а к модулю — 24 шины W. При операциях чтения адресуемый модуль устанавливает сигналы данных на шины R, которые используются контроллером с момента начала сигнала S1. При операциях записи адресуемый модуль принимает данные с шин W от контроллера во время прохождения сигнала S1.

Адресуемый модуль сообщает о способности выполнения действия, требуемого командой, сигналом X и о своем состоянии — сигналом Q, которые принимаются контроллером во время прохождения сигнала S1.

Сигнал L должен генерироваться любым модулем для сообщения контроллеру о требовании на обслуживание модуля.

8.3.2.3. Физическая реализация

Уровни сигналов на магистрали выбраны исходя из требований, предъявляемых интегральными микросхемами типа ТТЛ, которые изначально наиболее широко применялись в системе КАМАК. Высокий уровень сигнала соответствует 0, низкий — 1. Сигналы с выходов всех сменных блоков должны поступать на шины магистрали через внутренние схемы ИЛИ. Каждая шина имеет индивидуальный источник тока смещения, чтобы восстанавливать лог. 0 в отсутствии приложенной лог. 1.

8.3.2.4. Контроллеры крейта

В типовых системах на базе мини- и микро-ЭВМ типа СМ ЭВМ и «Электроника» крейты КАМАК радиально подключались кабельными сегментами к магистрали ЭВМ (ИБВ системного уровня типа ОШ) с помощью унифицированных КК программного обмена и КК с каналом прямого доступа (ККПД).

В отечественной практике наиболее широко применялись ККПД для СМ ЭВМ, программно и физически совместимые с КК СМ программного обмена. Быстродействие ККПД в режиме ПДП достигала 200 Кслов/с.

Контроллер крейта КАМАК СС-08 предназначен для управления оборудованием одного крейта КАМАК от IBM PC-совместимого компьютера. Модуль контроллера СС-08 должен быть установлен в 24 и 25 станции крейта. Плата сопряжения устанавливается в любой свободный разъем магистрали компьютера.

Связь контроллера СС-08 с компьютером осуществляется через плату сопряжения, на которой установлены буферные схемы шины данных, адреса и схема функционирования сигнала ожидания (READY), позволяющая увеличить длительность цикла обмена контроллера с компьютером.

Собственно контроллер СС-08 представляет собой набор регистров N, A, F, R, W, Z, L, S. Обмен информацией между ними осуществляется по внутренней байтовой шине D0-D7. Адреса байтов регистров находятся в области портов ввода-вывода ПК (адреса: 101h — 10Ch).

Синхронизация и управление обменом информацией по магистрали КАМАК осуществляется генератором цикла. Запуск генератора для проведения адресуемых операций по передаче данных в магистрали происходит автоматически после занесения в регистр F номера функции, а для безадресных операций — после занесения команды C или Z в регистр Z. Для функций с номерами F(0)-F(7) осуществляется запись информационного слова с магистрали R1-R24 в регистр R, для F(16) — F(24) — выдача слова из регистра R на магистраль W1-W24.

Контрольные вопросы к разделу 8.3

1. Дайте краткую характеристику системы КАМАК и ее спецификаций.
2. Как крейт может подключаться к ЭВМ?
3. Как крейты могут объединяться в многокрейтовые системы?
4. Охарактеризуйте сигналы магистрали крейта (табл. 8.3).
5. Дайте краткую характеристику контроллерам крейта.

Информацию об организации интерфейсов параллельной и последовательной магистрали ветви можно найти в [18], [61]. Подробную дополнительную информацию по организации системы КАМАК можно найти в [18], [56], гостах: 27080-86, 26.201.1-94, 26.201.2-94 и др. Информацию по работе с контроллером крейта КАМАК СС-08 можно найти в [55].

В данном разделе использована информация из [18], [55], из гостов и из сайтов Интернет.

Глава 9.

Подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам

9.1. Общие сведения

Основное отличие вычислительных многомашинных комплексов и кластеров от вычислительных сетей заключается в том, что, как правило, компьютер, подключенный к сети работает под управлением своей операционной системы и решает в ее среде свои задачи и обращается к сетевым ресурсам по мере необходимости, а компьютеры, входящие в состав ВК или кластера работают под управлением единой ОС и под ее управлением решают общие задачи или определенные ее части. Вычислительный комплекс, как правило, функционирует как отдельная многомашинная вычислительная система, а кластер входит в состав сетевой вычислительной системы и рассматривается в ней как ее узел, т.е. входящие в состав кластера компьютеры не являются узлами сети. Эти различия могут накладывать определенные ограничения на способы и средства взаимодействия компьютеров внутри сети и внутри ВК или кластера.

9.2. Подключение ПК к вычислительным сетям

9.2.1. Общие сведения

В рамках вычислительных сетей обмен данными требуется для различных целей: передачи файлов, совместного использования различных устройств (например, сетевых принтеров), вычислительных ресурсов (серверов приложений), доступа к разнообразным информационным услугам Интернет и частных сетей, приема и передачи факсимильных сообщений, установления голосовой связи (IP-телефонии) и т. д. Современные сетевые технологии, используемые для этих целей, рассмотрены в ряде источников [23], [42], [44] а в этом разделе кратко описаны коммуникационные устройства: модемы и адаптеры проводных и беспроводных локальных сетей (сетевые адаптеры), через которые осуществляется непосредственное подключение компьютеров к вычислительным сетям. Модемы и сетевые адаптеры, если они используются для подключения удаленных периферийных устройств, мы будем рассматривать как адаптеры, а интерфейсы подключения - как периферийные ИВВ. Если же они будут использоваться для подключения к другому компьютеру или к коммуникационной среде вычислительных сетей, то мы будем их рассматривать как периферийные устройства, а интерфейсы подключения - внешними ИВВ.

Модемы и сетевые адаптеры выполняют свои функции на физическом и канальном уровнях. Согласно Эталонной модели взаимодействия открытых систем [11], [23], [42], разработанной Международной организацией стандартов (ISO) и определяющей семь уровней сетевого взаимодействия, канальный и физический уровни относятся к самым нижним уровням взаимодействия. Функции и компоненты каждого уровня определяются его протоколом. Под **протоколом физического уровня** (physical protocol) можно понимать протокол, регламентирующий механические, электрические, функциональные и процедурные характеристики интерфейса между вычислительной машиной и средой передачи сигналов [2]. Протокол физического уровня призван обеспечить передачу сигналов между взаимодействующими устройствами. Под **протоколом канального уровня** (data link protocol) можно понимать протокол взаимосвязи, регламентирующий установление, поддержание, разъединение информационного логического канала [2] (логического канала обмена). Протокол канального

уровня призван обеспечить передачу сообщений (кадров, пакетов) между взаимодействующими объектами канального (логического уровня) устройств. Как правило, часть функций канального уровня реализуются программными средствами ВС, а часть аппаратурой сетевого адаптера или модема. Для локальных сетей в рамках стандартов IEEE 802.x [23], [41] канальный уровень был разбит на два подуровня: Logical link control (LLC) – Уровень логического звена (УЛЗ) и Media Access Control (MAC) – Уровень доступа к среде (УДС). Функции LLC, как правило, реализуются программными средствами, а MAC – средствами сетевого адаптера. Протокол подуровня LLC является стандартным (IEEE 802.2) и используется во всех технологиях локальных сетей. Согласно стандарту подуровень LLC обеспечивает сервис трех типов: LLC1 – передача сообщений без установления соединения и без подтверждения; LLC2 – передача с установлением соединения и подтверждением; LLC3 – без установления соединения, но с подтверждением. В первых модемах все функции канального уровня реализовывались программными средствами в рамках коммуникационных программ. В современных модемах основная часть функций канального уровня может реализовываться средствами модема, обеспечивая такие процедуры, как установление соединения, настройка параметров фильтров и усилителей, сжатие информации, коррекция ошибок передачи, автоматическое изменение размеров передаваемых сообщений (кадров, пакетов) в зависимости от количества скорректированных ошибок и пр. Модемы, как правило, являются программируемыми хостом устройствами. Для этого они должны поддерживать набор команд Hayes (AT-команды).

9.2.2. Модемы и факс-модемы

9.2.2.1. Общие сведения

Для передачи данных на большие расстояния (в пределах всего мира) издавна используют телефонные сети общего пользования (ТФОП). Однако для непосредственной передачи цифровых данных обычные аналоговые телефонные сети непригодны — требуются модемы на сторонах обоих абонентов. Модем имеет *интерфейс подключения к хосту* (ИВВ периферийного, системного или внешнего уровня), которым он подключается к компьютеру (или другому узлу сети), и *интерфейс линии*, согласованный с используемым каналом связи (телефонной линией, как правило, абонентской).

Модем (модулятор-демодулятор) служит для передачи информации на большие расстояния, недоступные локальным сетям, с использованием выделенных и коммутируемых телефонных линий. *Модулятор* поступающую от компьютера двоичную информацию преобразует в аналоговые сигналы с частотной и/или фазовой модуляцией, спектр которых соответствует полосе пропускания обычных голосовых телефонных линий (300 – 3500) Гц. *Демодулятор* из этого сигнала извлекает закодированную двоичную информацию и передает ее в принимающий компьютер.

Факс-модем (fax-modem) позволяет передавать и принимать факсимильные изображения, совместимые с обычными факс-машинами. Передача факсов подразумевает также передачу цифровых данных, хотя «цифра» не видна конечным пользователям: факс-машина сканирует изображение, оцифровывает его (1 бит на точку), сжимает данные и через модем передает в телефонную линию. На приемной стороне выполняются обратные преобразования. Факс-модем работает аналогично, только вместо сканирования его программная поддержка принимает графические или текстовые данные от других программ. Принятые факсы оформляются в виде файлов графических форматов, доступных приложениям для дальнейшей обработки или печати.

Модемы во время сеанса связи могут работать в симплексном, полнодуплексном или полудуплексном режиме. Для повышения эффективной скорости используются различные методы сжатия информации, реализуемые как самими модемами, так и коммуникационным

программным обеспечением.

В [23] и [24] довольно подробно описаны свойства телефонных сетей с точки зрения модемной связи, а также работа аналоговых коммутируемых линий с импульсным и тональным набором номеров, схема телефонного аппарата, сброкированные телефоны и принцип автоматического определения номера. Там же описаны и распространенные стандарты, обеспечивающие совместимость модемов. Здесь ограничимся лишь краткими характеристиками стандартов на модуляцию (табл. 9.1) и отметим, что практически все современные модемы поддерживают стандарт V.90 или V.92, исчерпывающий теоретические возможности обычных телефонных линий.

Таблица 9.1. Стандарты на модуляцию

Стандарт	Скорость, бит/с	Примечания
Bell 103	300	
Bell 212A	1200	-
V.17	14 400, 1200, 9600, 7200, 4800	Полу дуплекс, Fax Group III (аналоговый), обратно совместим с V.29
V.22	1200	Несовместим с Bell 212A
V.22bis	2400	-
V.21	300	Несовместим с Bell 103
V.23	1200/75	Асимметричный в дуплексном режиме
V.27ter	4800, 2400	Полудуплекс, Fax Group III (аналоговый)
V.29	9600, 7200	Полудуплекс, Fax Group III (аналоговый)
V.32	9600, 4800	Дуплекс, дополнительный контроль
V.32bis	14 400, 1200, 9600, 7200, 4800	Помехоустойчивый, быстрый
V.32fast	19 200	Расширение V.32Bis
V.34	28 800	-
V.34+	33 600	Расширение V.34
V.90(x2), V.92	56 000/33 600	Цифровое подключение со стороны АТС
K56flex	56 000/33 600	То же, но не в стандарте
HST	16 800	При дуплексе в обратном направлении скорость 300/450. Удобен для диалога. Используется в U.S. Robotics

Теоретически возможный предел скорости передачи данных через аналоговые телефонные линии достигнут в стандарте V.34+. Здесь скорость изменения сигнала в линии достигает 3429 бод (символов в секунду), и группа символов кодирует группу передаваемых битов. При наилучших условиях 79 битов данных кодируется восемью символами (аналоговыми модулированными сигналами), что при символьной скорости 3429 бод и дает 33 600 бит/с.

В стандарте V.90 (на базе x2) скорость 56 Кбит/с достигается только в направлении к модему при условии, что его партнер по связи (провайдер) подключен к цифровому каналу телефонной сети. В этом направлении из тракта сигнала исключены грубые ЦАП и АЦП

телефонной станции (ЦАП и АЦП модемов имеют более высокую разрядность и частоту дискретизации), являющийся источником погрешностей. Телефонная сеть в своей цифровой части обеспечивает передачу 7 (8) бит (отсчетов голоса) с частотой 8 кГц, откуда и предел в 56 (64) Кбит/с. Стандарт V.92 (развитие V.90) обеспечивает те же предельные скорости, в нем описаны новые средства, позволяющие легче и быстрее установить соединение (Dial-UP), и протокол сжатия данных V.44.

Модемы обеспечивают *коррекцию ошибок* — обнаружение ошибок и организацию запросов на повторную передачу на уровне обмена между модемами (протокол коррекции ошибок V.42, или в рамках MNP-4 – Microcom Networking Protocol класса 4 или MNP-7). Таким образом, на внешнем интерфейсе модема данные передаются без ошибок.

Для повышения эффективности использования линии модемы выполняют *сжатие данных* (V.42bis или V.44): в линию передаются символы, представляющие сжатый поток данных поступающих от хоста, а в хост выводятся распакованные данные. Из этого следует, что периферийный ИВВ, через который внешний модем подключается к ПК должен обеспечивать скорость в несколько раз выше битовой скорости в линии (текстовые данные сжимаются до 10 раз).

9.2.2.2. Модемы для телефонных линий

Функциональная схема аналогового модема с подробностями телефонной части приведена на рис. 9.1. К телефонной линии модем подключается через гнездо RJ-11 «Line» (или «Telco»), телефонные аппараты следует подключать к гнезду «Phone». При работе модема это гнездо отключается от линии, и модем остается единственным устройством, нагружающим линию. Это создает благоприятные условия для настройки модема на линию и позволяет паре модемов выполнить коррекцию характеристик линии.

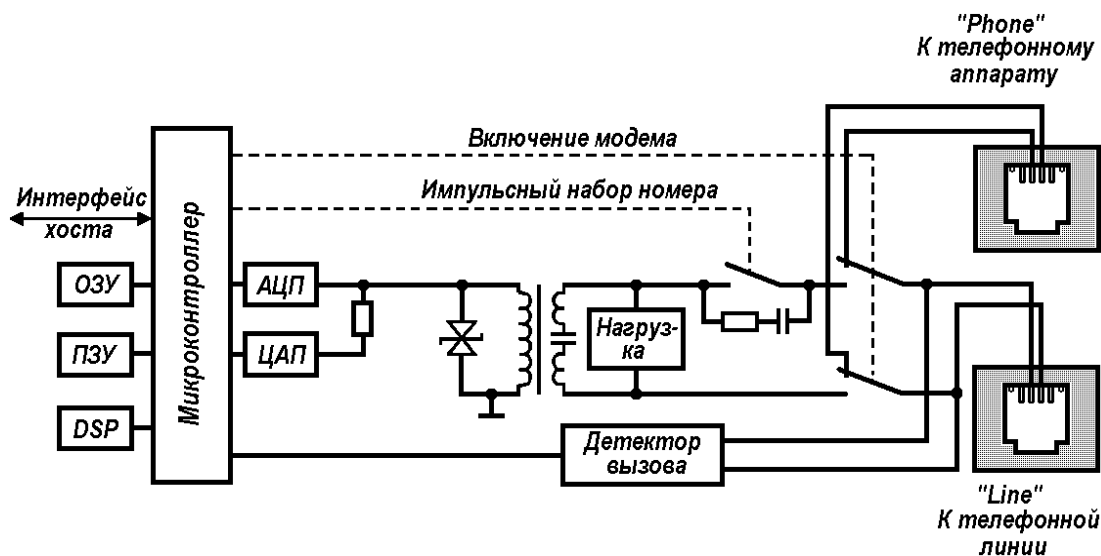


Рис. 9.1. Функциональная схема модема

Модемы, используемые для коммутируемых линий, имеют средства набора номера и определения состояния линии (гудок, занято и т. п.). Набор номера может быть импульсным (pulse dialing) или тональным (tone dialing). В модемах для импульсного набора обычно применяют малогабаритное реле. Иногда в качестве прерывателя используют электронный ключ (оптрон). При тональном наборе каждая цифра номера кодируется короткими сигналами определенных пар частот. Цепи сигналов звуковых частот, генерируемых и анализируемых модемом, гальванически развязываются с телефонной линией с помощью трансформатора. Индикатор вызова срабатывает от сигналов вызова.

Модемы первых поколений имели довольно сложные аналоговые цепи, обеспечивающие

требуемые преобразования для модуляции-демодуляции. Управление модемом и некоторые функции протоколов выполнялись микроконтроллером. Современные модемы строятся иначе: аналоговые схемы используются только для телефонной сигнализации, а вся обработка для модуляции-демодуляции выполняется цифровыми методами. Для этого в состав модема входят ЦАП и АЦП. Обработку сигналов в профессиональных модемах выполняет специализированный сигнальный процессор (DSP). Общее управление модемом обеспечивает микропроцессор, в распоряжении которого имеется локальная оперативная память значительного объема. Функции модема определяются возможностями встроенного процессора и его программного обеспечения. Микропрограммное обеспечение модема (firmware) хранится в ПЗУ (EPROM) или флэш-памяти. Такое построение позволяет относительно легко наращивать функциональные возможности модема перезаписью его программного кода.

Более развитые устройства имеют в своем составе оперативную память значительного размера, позволяя в автономном режиме (без компьютера) принимать факсимильные и голосовые сообщения, которые сохраняются для дальнейшей обработки. Такие модемы могут иметь интерфейс для подключения принтера; в результате объединения модема и принтера получается факс-машина.

По конструктивному исполнению модемы для PC делятся на внешние (external) и внутренние (internal).

Внешние модемы, имеющие собственный корпус и блок питания, подключаются кабелем к какому-либо периферийному ИВВ компьютера. Для их установки не требуется вскрытия системного блока.

Традиционный интерфейс подключения внешнего модема — COM-порт. В первых модемах выход передатчика (TxD) порта соединялся прямо с аналоговым модулятором, а вход приемника (RxD) — с выходом аналогового демодулятора. COM-порт PC поддерживает только асинхронный режим работы, и в первых протоколах модуляции он и использовался. В современных модемах передача по линии связи происходит в синхронном режиме, хотя и они могут подключаться к асинхронному COM-порту. В этом нет противоречия, поскольку между интерфейсом современного модема, обращенным к ПК, и аналоговой телефонной линией находится микроконтроллер модема со своей буферной памятью.

Внутренние модемы устанавливаются в слот шины ИВВ системного уровня (ISA или PCI). Для блокнотных ПК модемы выпускают в виде карт шины PC Card (PCMCIA).

Внутренний модем может быть как аппаратным, так и программным (Win- или Soft-модемом).

Внутренний модем для шины ISA всегда был полноценным, он представлял собой комбинацию COM-порта (UART 16550) и внешнего модема. Устанавливаемый внутренний модем для системы выглядит как еще один COM-порт, у которого базовый адрес регистров (или номер COM-порта) и номер линии запроса прерывания (IRQ) задаются джамперами или переключателями на плате модема.

Модем для шины PCI может иметь аналогичную структуру, при этом PCI позволяет устанавливать произвольный базовый адрес UART и линию запроса прерывания.

Мощности современных ПК и пропускной способности PCI достаточно, чтобы решать часть задач управляющего и даже сигнального процессора модема на центральном процессоре. При этом аппаратная часть модема сводится к схеме сопряжения с телефонной линией, ЦАП и АЦП.

Win-модем — карта PCI, выполняющая модуляцию/демодуляцию (с точки зрения ЦП — аппаратно). При этом протоколы модема (команды, коррекция, сжатие) выполняются программно на ЦП. *Soft-модем* дополнительно программно выполняет протоколы модуляции/де-

модуляции (на плате модема остается только телефонная часть и АЦП/ЦАП). Win- и Soft-модемы могут быть устройствами расширения, вставляемые в слот AMR или CNR (специальный слот на системной плате), связанный со средствами доставки (AC-Link) AC'97.

Модемы для портативных компьютеров имеют интерфейс PC Card (PCMCIA). Ряд моделей позволяют работать с телефонными каналами мобильной связи (старой аналоговой линии NMT-450), имеющими свои специфические особенности. Для мобильных телефонов цифровых сетей (стандартов GSM и CDMA) модем не нужен — требуется лишь интерфейсный кабель подключения к COM-порту или USB. Телефоны с интерфейсом Bluetooth связываются с ПК через соответствующий беспроводной адаптер.

9.2.2.3. Технологии xDSL и кабельные модемы

Технологии xDSL основаны на превращении абонентской линии обычной телефонной сети из аналоговой в цифровую, что и отражено в их названии (Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия). Общая идея заключается в том, что на обоих концах абонентской линии — на АТС и у абонента — устанавливаются разделительные фильтры, или *сплиттеры* (splitter). Низкочастотная (до 3,5 кГц) составляющая сигнала заводится на обычное телефонное оборудование (порт АТС и телефонный аппарат у абонента), а высокочастотная (выше 4 кГц) используется для передачи данных с помощью xDSL-модемов. Поскольку физическая линия (пара проводов) между абонентом и АТС позволяет пропускать сигнал в полосе даже до 1 МГц, достижимые скорости передачи гораздо выше, чем предел в 56 Кбит/с для обычных модемов. Высокочастотная часть полосы пропускания сигнала может разделяться между встречными потоками данных различными способами. При частотном разделении каналов (FDM) часть спектра отдается на передачу в одном направлении, часть — в другом. При эхоподавлении (echo-cancellation) вся полоса используется для передачи в обе стороны, а каждое устройство при приеме из общего сигнала вычитает сигнал собственного передатчика. Пропускная способность может быть как симметричной, так и асимметричной. В случае подключения пользователя к Интернету асимметрия выгодна, поскольку поток к абоненту (страницы текста, аудио- и видеоданные) гораздо больше потока от абонента. Существует несколько технологий под общим названием xDSL:

- Наибольшее распространение получила асимметричная технология *ADSL* (Asymmetric Digital Subscriber Line), где скорость к абоненту (downstream) достигает 6,1 Мбит/с, от абонента — 16-640 Кбит/с. Достижимая скорость связана с длиной абонентской линии и ее качеством (сечение проводов, материал изоляции, шаг скрутки, однородность и т. п.). Минимальная скорость обеспечивается на линиях длиной до 5,5 км при диаметре провода 0,5 мм (24 AWG) и до 4,6 км при 0,4 мм (26AWG). Скорость 6,1 Мбит/с достигается на линиях длиной до 3,7 км при диаметре провода 0,5 мм и до 2,7 км — при 0,4 мм.
- Технология *UADSL* (Universal ADSL), она же DSL Lite, — улучшенный вариант ADSL с меньшими скоростями (при длине линии до 3,5 км — скорости 1,5 Мбит/с и 384 Кбит/с в разных направлениях; при длине линии до 5,5 км — 640 и 196 Кбит/с). Устройства просты в установке и относительно недороги.
- *RADSL* (Rate Adaptive Digital Subscriber Line) — технология с адаптивным изменением скорости передачи в зависимости от качества линии.
- Одна из первых технологий из серии xDSL - *HDSL* (High Data-Rate Digital Subscriber Line) — высокоскоростная технология, обеспечивающая скорости 1,536 или 2,048 Мбит/с в обоих направлениях. Протяженность линии — до 3,7 км, требует четырехпроводной линии.
- *SDSL* (Single-Line Digital Subscriber Line) — симметричная высокоскоростная (1,536 или 2,048 Мбит/с) технология, но на двухпроводной линии при длине до 3 км.

- **VDSL** (Very High Data-Rate Digital Subscriber Line) — очень высокоскоростная (до 56 Мбит/с) симметричная технология. Расстояние — до 1,5 км. Технология весьма дорогая, но рассчитана и на коллективное использование линий. После разделяющего фильтра на абонентской стороне может стоять одиночный модем (или концентратор) или группа модемов, подключаемая через специальную кабельную проводку (коаксиальный кабель или витую пару) и разделяющая полосу пропускания предопределенным образом.

Для того чтобы использовать xDSL, провайдер (оператор связи) должен установить свое оборудование на территории АТС обслуживаемого абонента и соединить его с базовой сетью передачи данных каналом достаточной производительности. Конечно, возможны и частные случаи, когда с помощью xDSL объединяются локальные сети в зданиях, охваченных одной АТС. Установка модема xDSL на стороне абонента практически не отличается от установки обычного внешнего модема. Однако технологии xDSL позволяют одновременно и независимо использовать одну и ту же телефонную линию и для передачи данных, и для телефонных переговоров, чего не позволяют обычные модемы для коммутируемых линий.

Более подробную информацию по технологиям xDSL можно найти на сайтах:

http://sk-15.narod.ru/4k_vesna/kspd/xDSL/G_shdsl2.htm

<http://www.svpro.ru/shdsl.htm>

<http://www.xdsl.ru/articles/adsl.htm>

Кабельные модемы предназначены для работы через сети кабельного телевидения (Cable Television, CATV), для которых требуется широкополосный коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Передача данных ведется параллельно с видеовещанием. Эти модемы используют кабельные системы операторов услуг кабельного телевидения. Как и ADSL, кабельные модемы асимметричны: скорость к пользователю может достигать десятков мегабайт в секунду, от пользователя — значительно ниже. Кабельные модемы могут быть и симплексными — модем пользователя только принимает нисходящий (downstream) поток данных от модема оператора кабельного TV. При этом восходящий (upstream) поток данных от пользователя должен передаваться по иным каналам (например, ISDN или аналоговым модемам). Для упрощения структуры коммуникаций (но не оборудования) желательно оба потока передавать по одной и той же кабельной сети. Развитием идеи отдельной передачи потоков является передача нисходящего потока по спутниковым каналам.

Кабельные модемы в основном предназначены для предоставления пользователям доступа к Интернету с высокими скоростями получения информации.

9.2.2.4. Модемы для выделенных линий

Выделенные физические линии имеют гораздо более широкую полосу пропускания, чем коммутируемые. Для них выпускаются специальные модемы, обеспечивающие передачу данных со скоростями до 2048 Кбит/с и на значительные расстояния. Модемы могут работать в синхронном или асинхронном режиме. Асинхронный режим используется на относительно низких скоростях (до 115,2 Кбит/с). В качестве цифровых интерфейсов подключения к ЭВМ используют - RS-232C, RS-423A, RS-422A, RS-449, RS-485, RS-530, V.35 и др. Есть модемы и с интерфейсом Ethernet. Возможная дальность связи и скорость передачи зависят от типа линии (2-проводная или 4-проводная), диаметра проводников (0,4 мм/ 26AWG или 0,5 мм/24AWG) и способностей модема. Для 4-проводной линии с диаметром проводников 0,4-0,5 мм при скорости 2 Мбит/с достижима дальность 2-2,4 км, при 256 Кбит/с — 9-12 км, при 32 Кбит/с — 15-20 км. Для 2-проводной линии при 160 Кбит/с — 4,2-5,6 км, при 144 Кбит/с — 6,5-8,5 км. Данные приведены для модемов Zelax зеленоградского производства, для других модемов цифры могут отличаться. Для этих модемов допустимое напряжение гальванической развязки достигает 1500 В. Модемы для

выделенных линий заметно дороже массово используемых модемов для коммутируемых линий, зато обеспечивают более высокие скорости передачи и более высокое качество соединений (устойчивость связи).

9.2.3. Подключение к проводным локальным сетям

9.2.3.1. Общие сведения

Для подключения к проводной локальной сети в компьютере должен присутствовать коммуникационное ПУ - *сетевой адаптер*, поддерживающий технологию и физический стандарт передачи имеющейся сети. В современных локальных сетях используют различные варианты технологии Ethernet; технологии ARCNet, Token Ring и FDDI встречаются все реже. О сетевых технологиях довольно подробно рассказано в [23], [42]. Из всех разновидностей Ethernet здесь кратко рассмотрим только самые распространенные и перспективные стандарты на витой паре.

9.2.3.2. Организация сетей Ethernet

На физическом уровне сетевой адаптер подключается к *кабельной системе ЛВС*, которая, как правило, должна быть представлена розетками на рабочих местах пользователей. Кабельная система соединяет розетки с активным оборудованием сети. Кабельная система может быть и упрощенной: адаптеры (сетевые карты) подключаются кабелями прямо к активному оборудованию. Устройство, к которому подключается множество кабелей от других устройств, удобно называть *концентратором*. Разъем подключения кабеля к этому устройству называют *портом*. Устройство может выполнять функции повторителя (хаба), коммутатора или маршрутизатора.

- *Повторитель*, или *хаб* (hub), обеспечивает трансляцию *сигнала* (битового потока), принятого на одном порту, на все остальные порты. Повторитель выполняет свои функции на физическом уровне взаимодействия. Повторители могут объединяться, при этом в связке повторителей одновременно может происходить только одна передача и полнодуплексный режим работы невозможен..
- *Коммутатор* (switch) работает с сообщениями канального уровня, он транслирует сообщения (*кадры*), руководствуясь их адресной информацией. В сети на коммутаторах коллизии отсутствуют (каждый порт коммутатора — отдельный домен коллизий). Кадр транслируется только на тот порт, который ведет к его получателю; широковещательные кадры транслируются на все порты, так что коммутаторы объединяют все узлы в домен широковещания. Коммутаторы обеспечивают возможность *полнодуплексного режима* (full duplex mode) обмена данными между двумя точками.
- *Маршрутизатор* (router) транслирует *пакеты* (анализирует заголовки сетевого уровня в кадрах) в соответствии с сетевыми адресами. Каждый порт маршрутизатора может представлять отдельную *локальную сеть* (IP-подсеть, для которой задаются адрес и маска).

Топология сетей Ethernet на витой паре древовидная, петлевидные связи запрещены — между любой парой узлов должен быть лишь один путь. В простейшем случае топология — «звезда», в центре которой находится повторитель (хаб) или коммутатор (рис. 9.2, а). Возможно двухточечное соединение пары узлов без применения концентратора (рис. 9.2, б).

На адаптерах и сетевом оборудовании устанавливаются 8-позиционные модульные гнезда RJ-45 (табл. 9.2). Для соединения адаптера с обычным портом концентратора используется *прямой кабель* (рис. 9.2, б), при непосредственном соединении двух адаптеров (связи пары компьютеров) применяется *перекрестный* (crossover) кабель (рис. 9.2, г). На рисунке перекрестные кабели помечены буквой «х». Минимальная длина кабеля — 2,5 м, максимальная

— 100 м.

В настоящее время используется несколько вариантов Ethernet на витой паре:

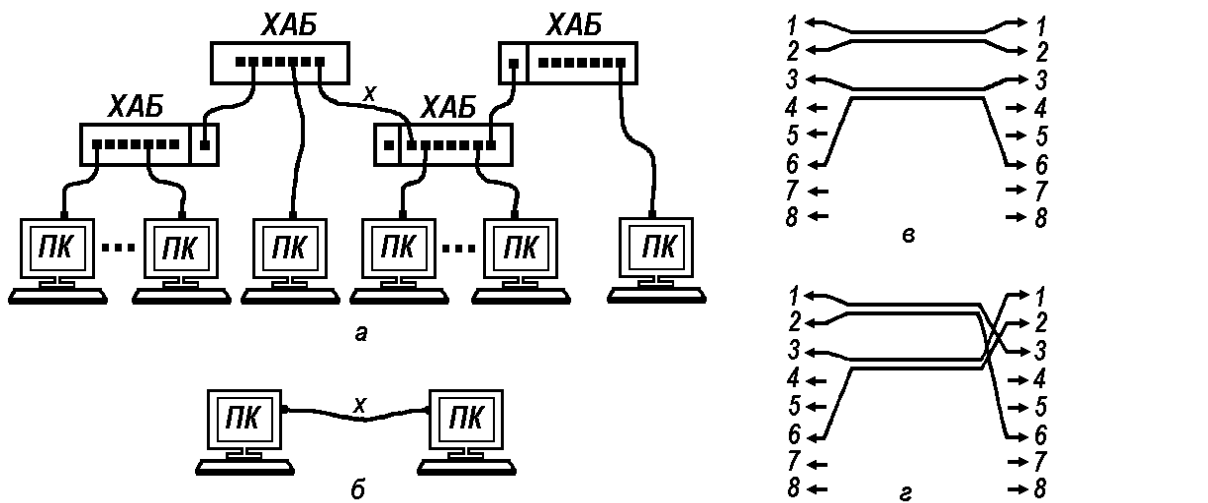


Рис. 9.2. Сеть 10BaseT/100BaseTX: а— звезда, б—двухточечное соединение, в— прямой кабель, г — перекрестный кабель

- *10BaseT* — Ethernet на витой паре (Twisted-Pair Ethernet) категории не ниже 3, используется 2 пары проводов. Для топологии соединения действует «правило четырех хабов»: между любыми двумя узлами не должно быть более четырех хабов. Повторители 10BaseT могут подключаться и к коаксиальным сегментам. Для протяженных многосегментных сетей существует ряд топологических ограничений, подробно описанных в [23], [42].

Таблица 9.2. Интерфейсы 10BaseT, 100BaseTX (разъем RJ-45)

Контакт	Сигнал MDI	Сигнал MDIx
1	Tx+	Rx +
2	Tx-	Rx-
3	Rx+	Tx+
4	Не подключен	Не подключен
5	Не подключен	Не подключен
6	Rx-	Tx-
7	Не подключен	Не подключен
8	Не подключен	Не подключен

- *100BaseTX* — наиболее популярная версия Fast Ethernet с двумя витыми парами категории 5. Длина витой пары не должна превышать 100 м, хабов может быть не более двух, диаметр домена коллизий — не более 205 м (хаб класса 1 может быть только один). По использованию разъемов полностью соответствует 10BaseT.
- *100BaseT4* — малораспространенная версия с четырьмя витыми парами категории не ниже 3.
- *1000BaseT* — Gigabit Ethernet (GE), использует 4 пары категорий 5е и выше (возможно применение и кабеля 5-й категории). Сеть обычно строится на коммутаторах, хотя возможно применение и повторителей (диаметр домена коллизий — не более 200 м). Стандарт IEEE 802.3ab.
- *10GBaseT* — 10 Gigabit Ethernet (10GE), использует 4 пары категории 6а и выше. Стандарт IEEE 802.3an-2006.

Для большинства приведенных реализаций Ethernet на витой паре предусмотрен *протокол*

согласования режимов (autonegotiation), по которому порт может выбрать самый эффективный из режимов, доступных обоим участникам обмена. В качестве рабочего выбирается самый приоритетный из доступных обоим узлам. Приоритеты режимов в порядке убывания: 1000BaseT, 100BaseTX полнодуплексный, 100BaseT4, 100BaseTX полудуплексный, 10BaseT полнодуплексный, 10BaseT полудуплексный. Протокол реализуется аппаратными средствами портов сетевых адаптеров и коммутаторов.

Существуют и оптические варианты Ethernet со скоростями 10, 100, 1000 Мбит/с и 10 Гбит/с на многомодовом и одномодовом оптоволокне. Есть устройства, преобразующие тип интерфейса, — медиаконверторы.

9.2.3.3. Сетевые адаптеры

Сетевые адаптеры, или сетевые интерфейсные карты (Network Interface Card, NIC), предназначены для *передачи и приема кадров* Ethernet. В кадре адаптер имеет дело с MAC-адресами источника (Source Address, SA) и получателя (Destination Address, DA), а также контрольным CRC-кодом, с помощью которого контролируется целостность кадра. Сетевой адаптер содержит следующие узлы:

- Физический интерфейс подключения (внешний ИВВ) (PHY) состоит из разъема и трансформаторов гальванической развязки. Современные адаптеры имеют один разъем RJ-45 для работы на скоростях 10, 100 и даже 1000 Мбит/с; есть карты и с оптическими интерфейсами. Старые адаптеры имели и разъемы BNC (для коаксиального кабеля), а также разъемы AUI-интерфейса (DB-15) для подключения внешних трансиверов, электрических или оптических.
- MAC-контроллер доступа к среде передачи (Media Access Control - MAC) обеспечивает доступ по методу CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением столкновений (коллизий)) или полнодуплексный обмен (с управлением потоком), а также автоматическое согласование режимов.
- Буферная память предназначена для передаваемых и принимаемых кадров.
- Средства доставки обеспечивают передачу данных между буфером кадров и системной памятью (ОЗУ) компьютера.
- Схема прерываний служит для уведомления ЦП об асинхронных событиях: завершении передачи, приеме кадра и т. п.

При *передаче кадра* работа хоста с адаптером выглядит следующим образом. Хост готовит в буфере данных кадр (поля адресов DA (Destination address – адрес получателя), SA (Source Address – адрес источника) и все поля до конца данных) и указывает адаптеру на положение кадра в памяти. MAC-контроллер получает доступ к среде передачи, начинает передачу преамбулы, затем передает тело кадра (оставляя его копию в своей буферной памяти) и контрольный код, вычисленный им по предыдущим полям. В случае обнаружения коллизии он организует повторные попытки передачи. О завершении передачи (успешном или нет) адаптер сигнализирует прерыванием (если оно разрешено), а также установкой соответствующих битов состояния. Отметим, что MAC-адрес источника (SA) в кадре формируется программно, драйвер его может считать из регистра (или энергонезависимой памяти) адаптера или «придумать» сам.

Для *приема кадров* хост настраивает фильтр адресов (поле DA) MAC-контроллера. Приемная часть адаптера, просматривая заголовки всех кадров, проходящих в линии, выбирает из этого потока кадры, адресованные данному узлу индивидуальным, широковещательным или групповым способом. О приеме корректных кадров уведомляется центральный процессор. Ошибочные кадры, как правило, игнорируются, хотя адаптер может собирать статистику их появления.

Сетевой адаптер может вырабатывать *прерывания* по разным событиям: по завершению приема, передачи, обнаружению ошибок и т. п.

При взаимодействии ПК с коммуникационной средой локальной сети сетевой адаптер должен выполнять определенный набор сетевых функций. К сетевым функциям относятся те функции адаптеров, которые реализуют принятый в сети протокол обмена. К основным сетевым функциям адаптера ЛВС можно отнести следующие:

1. Гальваническая развязка компьютера и локальной сети. Эта функция не является обязательной. При некоторых типах среды передачи (оптоволоконный кабель, радиоканал, инфракрасный канал) развязка не нужна.
2. Преобразование уровней сигналов из логических в сетевые при передаче и из сетевых в логические при приеме.
3. Кодирование сигналов при передаче и декодирование при приеме.
4. Распознавание своего пакета при приеме.
5. Преобразование параллельного кода в последовательный при передаче и последовательного кода в параллельный при приеме.
6. Буферирование передаваемых и принимаемых данных в буферной памяти.
7. Проведение арбитража обмена по сети (контроль состояния сети, разрешение конфликтов и т.д.).
8. Подсчет контрольной суммы пакета при передаче и при приеме.

В каждой конкретной технологии локальной сети и при использовании каждой конкретной среды передачи данных реализация большинства этих функций осуществляется различными способами и средствами.

Эффективная скорость обмена данными по сети сильно зависит от архитектуры сетевых адаптеров. При прочих равных условиях на эту скорость влияют скорость передачи данных между локальной памятью адаптера и системной памятью компьютера, а также возможность параллельного выполнения нескольких операций. В качестве «средств доставки» используются каналы прямого доступа к памяти (DMA), программный ввод-вывод (PIO), прямое управление шиной.

Объем локальной буферной памяти сетевого адаптера должен иметь величину, достаточную для размещения в ней кадра максимальной длины. Если сетевой адаптер поддерживает дуплексный режим (полный дуплекс), то размер памяти должен обеспечить размещение минимум двух кадров максимальной длины.

Сетевые адаптеры Gigabit Ethernet для PCI стали снабжать буфером значительного размера (например, 256 Кбайт), для согласования потоков между хостом и адаптером и адаптером и сетью.

Сетевые адаптеры (NIC) для PC выпускаются для ИВВ системного уровня ISA, EISA, MCA, VLB, PCI, PC Card. Существуют адаптеры, подключаемые к стандартному LPT-порту PC и периферийному ИВВ USB. Сетевые адаптеры интегрируются и в некоторые модели системных плат.

9.2.4. Подключение к беспроводным сетям (Wi-Fi)

В последнее время возросла популярность *беспроводных локальных сетей* (Wireless LAN, WLAN), в которых физический канал обеспечивается связью в инфракрасном или радиочастотном диапазоне электромагнитных волн. Независимо от физического канала беспроводные сети могут иметь три основных варианта топологии:

- *Неплановая (ad-hoc) сеть* — группа узлов с беспроводными адаптерами, которая на-

ходится в зоне взаимной «видимости» и может без всякого централизованного управления взаимодействовать между собой. В любой момент новый пользователь может войти в группу, так и покинуть ее. Здесь все узлы равноправны.

- *Сеть с инфраструктурой* — в «поле зрения» группы узлов имеется *точка доступа* (access point), которая централизованно координирует их работу. Здесь точка доступа находится в заведомо привилегированном положении.
- *Сеть с расширенной инфраструктурой* — несколько точек доступа, соединенных между собой (проводной или беспроводной сетью); клиентские узлы находятся в радиусе действия одной или нескольких точек доступа. Клиентские узлы по мере перемещения (или изменения условий приема) могут переходить от одной точки доступа к другой.

Для беспроводных сетей существует ряд стандартных и фирменных решений, их основные характеристики приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3. Параметры технологий WLAN

Название	год	Физическая скорость, Мбит/с	Радиус охвата ¹ , м	Частота, ГГц
IEEE-802.11 D/FIR,	1997	1; 2	10	ИК-лучи
IEEE-802.11-FH,	1997	1; 2	50	2,4
IEEE-802.11-DS,	1997	1; 2	50	2,4
IEEE-802.11b Wi-Fi,	1999, совместим с 802.11-DS	5,5; 11 (1; 2)	100/30	2,4
IEEE-802.11a, Wi-Fi5,	1999	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54	50/15	5
IEEE-802.11g,	2003	6 ;9; 12; 18; 24; 36; 48; 54	50/15	2,4
HomeRF		1,6	50	2,4
HomeRF 2.0		1,6; 5; 10	50	2,4
MMAC(HiSWANa), HiperLAN/2		6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54	50/15	5

¹ Максимальное удаление/удаление при максимальной скорости передачи.

Основным стандартом считается IEEE 802.11, но его исходная версия была несовершенной. Когда альянс WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) принял спецификацию IEEE 802.11b, отличающуюся более высокими скоростями, был разработан набор тестов на совместимость с ней. Оборудование WLAN, прошедшее эти тесты, получает логотип Wi-Fi (Wireless Fidelity), так что Wi-Fi часто используют как синоним 802.11b. Технологии WLAN используют различные методы кодирования, модуляции и расширения спектра сигналов. Среди перечисленных в таблице в спецификациях IEEE-802.11-FH и HomeRF описан тот же метод перескоков частоты (и те же частоты), что и в Bluetooth.

Как видно из таблицы, помимо стандарта 802.11 существуют и используются иные фирменные технологии. В таблице указана скорость передачи информации в физическом канале. Полезная скорость передачи данных, выделяемая пользователю, может оказаться значительно ниже: все пользователи одного канала делят его пропускную способность между собой. Кроме того, возникают издержки из-за коллизий и просто сторонних помех приема радиосигнала: поврежденные пакеты (или кадры) приходится повторять. *Адаптер беспроводной сети* отличается от обычного тем, что у него вместо разъема подключения к кабельной системе ЛВС используется блок приема/передачи радиосигналов и подключаемая к нему антенна (внутренняя или внешняя). Адаптеры беспроводной связи встраиваются практически во все современные блокнотные ПК; они появляются и в новых системных платах для настольных ПК. Адаптеры беспроводных сетей выпускаются в различных вариантах:

- Адаптеры для настольных ПК — карты PCI, к которым подключается внешняя антенна.
- Адаптеры для блокнотных ПК — карты PC Card, у которых антенна может быть и встроенной. Этот же конструктив используется для сменных приемопередатчиков в ряде моделей точек доступа.

Точки доступа — устройства различного исполнения (настольные, настенные, специальные уличные) выполняющие как правило функции моста, связывающего WLAN с сетями Ethernet. Специально для точек доступа разработан стандарт IEEE 802.3af — питание к точкам доступа может подаваться по тому же медному кабелю (витая пара), которым они подключаются к коммутаторам или хабам Ethernet.

Антенны для беспроводных сетей весьма разнообразны по назначению, свойствам и конструкции: направленные и ненаправленные, комнатные и уличные, большие и маленькие. Антенны для частот 5 и 2,4 ГГц разные. Выбирая подходящий вариант антенны и приемопередатчика, можно построить требуемую беспроводную сеть. В большинстве случаев применяются ненаправленные антенны (зона охвата — круг); для организации зон охвата определенной формы используют направленные антенны, у которых зона охвата — сектор; есть и более сложные варианты. При двухточечных соединениях радиолинии 802.11 с направленными антеннами позволяют преодолевать расстояние, исчисляемое даже километрами. При множественном доступе сети Wi-Fi работают в радиусе около 100 м, сети Wi-Fi 5 высокие скорости (36-54 Мбит/с) обеспечивают в радиусе 15 м, а в радиусе 50 м скорость снижается до 9 Мбит/с.

Беспроводные сети являются *открытой средой передачи данных*, что порождает определенные проблемы обеспечения *безопасности* (конфиденциальности). Для решения проблемы применяют различные методы шифрования данных и проверки подлинности, используя ключи доступа, смарт-карты и т. п.

9.3. Объединение ЭВМ в многомашинные ВК

Многомашинные ВК представляют собой совокупность нескольких ЭВМ, каждая из которых имеет полный набор всех ресурсов, включая и ПУ, связанных между собой определенными способами для выполнения общесистемных функций и работающих под управлением единой операционной системы. Связи ПУ с центральными устройствами и организация их работы практически мало отличаются оттого, что имеет место в обычных одиночных ЭВМ.

На рис. 9.3 изображена структура ВК, включающего две одинаковые универсальные ЭВМ (*ЭВМ1* и *ЭВМ2*). Каждая ЭВМ имеет в своем составе полный набор необходимых для ее работы устройств. Все ПУ подключены к ЦП через КВВ стандартными способами. Кроме того, ЭВМ имеют характерные для многомашинных систем связи: через общее ОЗУ (*ООЗУ*), канал прямого управления (*КПУ*), адаптер канал-канал (*АКК*), а также через ВЗУ. В данном контексте понятие *адаптера* рассматривается не как адаптер СВВ. При межмашинном взаимодействии данное устройство рассматривается для каждой из ЭВМ как контроллер периферийного устройства, т.е. ЭВМ общаются между собой как с ПУ. Наличие всех связей необязательно, но обычно в комплексе существует несколько типов связей, причем практически всегда имеется связь через ВЗУ. Эта связь организуется достаточно просто: контроллеры ВЗУ подключаются к двум КВВ разных ЭВМ через двухпозиционный переключатель (*ДПК*), имеющий два входа и позволяющий подключить ВЗУ к любому каналу. Такая связь позволяет организовать единое поле внешней памяти многомашинного комплекса. Следует отметить, что двухпозиционным переключателем снабжаются практически все ВЗУ универсальных ЭВМ, даже если они и не объединяются в многомашинный комплекс. Это дает возможность подключить ВЗУ к двум разным КВВ; в случае выхода из строя одного из них всегда остается возможность доступа к информации, хранящейся в ВЗУ, через другой КВВ. Такие же средства используются и в ВЗУ многопроцессорных ВС. Как видно из рис.

9.3, адаптеры канал-канал (*АКК*) и многовходовые *ВЗУ* подключаются к *КВВ* через стандартный интерфейс ввода-вывода системного уровня.

При объединении в многомашинный комплекс мини-ЭВМ, обладающих объединенным интерфейсом, в качестве специальных ПУ используют переключатели шины, специальные коммутаторы и адаптеры межпроцессорной связи, в которых реализуется принцип «окна» интерфейса или принцип пословного обмена.

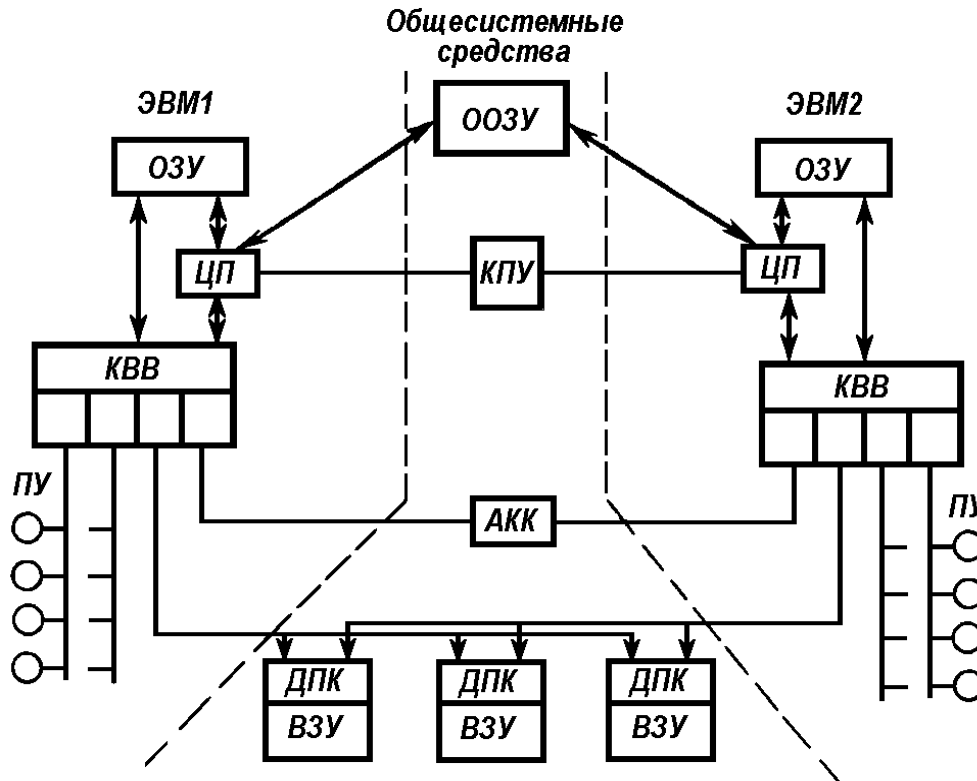


Рис. 9.3. Структура ВК, включающего две одинаковые универсальные ЭВМ.

Нередко встречаются многомашинные ВК с так называемыми сателлитными ЭВМ. Входящие в этот комплекс машины неравноценны — обычно это бывает одна мощная быстродействующая полноразрядная ЭВМ и одна или даже несколько ЭВМ существенно (на порядок) меньшей производительности с малой разрядностью. Связь между ними осуществляется через *АКК*.

Смысл сателлитного комплексирования заключается в том, чтобы разгрузить мощную ЭВМ от большого количества простых операций, которые необходимо выполнять при вводе и выводе информации. Человек — пользователь стремится вводить в ЭВМ и получить от нее информацию в наиболее удобной для него форме (текст, графика, речь), в то время как эта форма совершенно непригодна для обработки в ЭВМ. На перевод из одной формы в другую, да и вообще на организацию ввода/вывода требуется довольно много простых операций над отдельными символами. Тратить на это время мощного процессора просто нерентабельно, и поэтому подключение сателлитной ЭВМ дает значительный эффект и повышает существенно производительность всего комплекса.

Для ВС (ВК, ориентированных на решение определенного класса задач) характерны специфическая структура управления, очень высокое быстродействие и, как следствие, большое количество различных ПУ, обеспечивающих загрузку устройств обработки. Именно ориентация на решение определенного класса задач и позволяет создавать ВС с производительностью 10^{10} — 10^{13} оп./с и более. Специфика структуры центральных обрабатывающих устройств ВС практически исключает возможность использования их в какой бы то ни было степени для организации ввода-вывода, поэтому эти функции обычно

возлагают на универсальные ЭВМ среднего класса (мейнфреймы). Часто такая ЭВМ выполняет и диспетчерские функции, управляя всем вычислительным процессом.

С развитием микропроцессорной техники в системах ввода-вывода информации стали использовать функционально-ориентированные процессоры и ЭВМ, каждая из которых решает определенную часть общей задачи. Так, в составе ВК могут быть использованы процессор для работы с устройствами ввода и вывода информации, файловый процессор для работы с ВЗУ, графический процессор для работы с устройствами графики, процессор для дистанционной обработки информации и т.п. Такие структуры позволяют реализовать параллельное выполнение всех асинхронных процессов в ВК и ВС и вместе с тем позволяют в широких пределах изменять состав и функции ВС и ВК.

Понятие *кластер* было введено для многомашинных ВК, подключенных к сети. В сети такой комплекс рассматривается как один узел. Внутренняя коммуникационная среда кластера может быть различной. Компьютеры в кластере могут объединяться на основе скоростных технологий ЛВС, с использованием адаптеров канал – канал и средств межпроцессорной связи. Всегда используются общие ВЗУ.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основное отличие вычислительных комплексов и кластеров от вычислительных сетей.
2. С помощью каких устройств компьютер подключается к вычислительным сетям?
3. Для каких целей используется обмен данными в рамках вычислительных сетей?
4. Для чего применяются модемы? В чем заключается особенность факс-модема?
5. В каких режимах могут работать модемы во время сеанса связи?
6. Охарактеризуйте протоколы (стандарты) модуляции, используемые в модемах.
7. Чем ограничен теоретически возможный предел скорости передачи данных через аналоговые телефонные линии?
8. Охарактеризуйте протоколы модуляции V.90 и V.92.
9. Как осуществляется модемами коррекция ошибок передачи данных?
10. Для чего модемами используется сжатие (компрессия) передаваемых данных?
11. Дайте описание функциональной схемы модема (рис. 9.1).
12. Охарактеризуйте современный аналоговый модем.
13. Охарактеризуйте особенности внешних модемов и внутренних модемов.
14. Охарактеризуйте Win и Soft-модемы.
15. Дайте общую характеристику технологиям xDSL.
16. Охарактеризуйте технологии ADSL, UADSL и RADSL.
17. Охарактеризуйте технологии SDSL и VDSL.
18. Каковы особенности использования технологий xDSL?
19. Охарактеризуйте кабельные модемы.
20. Охарактеризуйте модемы для выделенных линий.
21. Как осуществляется подключение ПК к кабельной ЛВС?
22. Кратко охарактеризуйте организацию ЛВС Ethernet.
23. Для чего и как используются повторители (хабы) в ЛВС Ethernet?
24. Для чего и как используются коммутаторы в ЛВС Ethernet?
25. Для чего и как используются маршрутизаторы в ЛВС Ethernet?
26. Охарактеризуйте физическую топологию и физический интерфейс Ethernet на витой паре.
27. Охарактеризуйте разновидности Ethernet на витой паре.
28. Охарактеризуйте протокол согласования режимов.
29. Кратко охарактеризуйте сетевой адаптер и его компоненты.
30. Опишите порядок взаимодействия хоста и сетевого адаптера при передаче кадра.

31. Охарактеризуйте основные сетевые функции сетевых адаптеров.
32. Чем определяется эффективная скорость обмена данными по ЛВС?
33. Какие режимы обмена с ОЗУ хоста может поддерживать сетевой адаптер?
34. Чем определяется величина буферной памяти сетевого адаптера?
35. Через какие ИВВ сетевой адаптер может взаимодействовать с хостом?
36. Какие системные ресурсы выделяются сетевому адаптеру при его подключении к ИВВ хоста?
37. Что понимается под конфигурированием сетевого адаптера?
38. Охарактеризуйте три основных варианта топологии беспроводных сетей.
39. Охарактеризуйте стандарты беспроводных сетей (табл. 9.3).
40. Сформулируйте отличительные особенности адаптеров беспроводных сетей.
41. Охарактеризуйте точки доступа к беспроводной сети и антенны.
42. Охарактеризуйте ВК на базе двух универсальных ЭВМ (рис. 9.3).
43. Охарактеризуйте разновидности ВК.

Дополнительную информацию по общим вопросам сетевых технологий можно найти в [41], [42], по аппаратным средствам локальных сетей – в [23], [62], по модемам – в [24], по передаче данных в сетях [23], [43], о применении волоконной оптики в локальных сетях – в [23], [44]. Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данной главы можно найти в [65, 66]. Много информации по рассматриваемым в главе вопросам можно найти в Интернет.

В данном разделе использована информация из [1], [8], [23], [24], [62].

Глава 10.

Подсистема взаимодействия с пользователем

10.1. Общие сведения

Как упоминалось в главе 7 в состав подсистемы взаимодействия с пользователем можно выделить следующие подсистемы:

4. подсистема ввода-вывода (СВВ) визуальной информации;
5. подсистема ввода-вывода звуковой информации;
6. устройства непосредственного механического и осязательного (тактильного) взаимодействия с компонентами тела пользователя.

Каждая подсистема должна иметь набор интерфейсов, обеспечивающих определенные способы и средства ввода-вывода для каждой разновидности данного типа информации используемой объектами внешнего мира. Эти способы и средства должны обеспечить преобразование способа представления информации принятый в среде объектов внешнего мира в данные, которыми оперирует хост компьютера при реализации операций ввода информации и обратное преобразование при операциях вывода.

10.2. Подсистема ввода-вывода визуальной информации

10.2.1. Общие сведения

В состав СВВ визуальной информации ПК входят устройства *видеосистемы ПК*, устройства *системы взаимодействия с промежуточными носителями твердых копий визуальной информации* и *устройства непосредственного ввода визуальной информации*.

В состав *видеосистемы ПК* входят два основных компонента – видеоадаптер и устройство отображения. Видеоадаптер содержит контроллер устройства отображения и ряд функциональных узлов, обеспечивающих представление выводимой информации на экране устройства отображения в текстовом или графическом виде. В состав мультимедийного адаптера может входить устройство, обеспечивающее ввод видеоинформации, представленной в электронном виде и поступающей со стороны телеканалов, видеомagneтофонов или видеокамер. Видеоадаптер с одной стороны подключается через соответствующий малый ИВВ к устройству отображения (как правило к видеомонитору), а с другой стороны – к хосту ПК через соответствующий интерфейс системного уровня.

Система взаимодействия с *промежуточными носителями твердых копий визуальной информации (ПНТКВИ)* включает в себя:

- Широкий набор печатающих устройств, позволяющих печатать на, как правило, бумажном носителе текстовую и (или) графическую информацию.
- Специализированные устройства вывода графической информации – графопостроители (плоттеры), устройства микрофиширования.
- Устройства ввода визуальной информации с бумажных или пленочных носителей твердых копий – различные сканеры, могут использоваться цифровые фотоаппараты. Визуальная информация может содержать как текст, так и графику но, как правило, она вводится в память хоста как графическая информация. Для выделения текста используются специальные приложения, позволяющие из графического файла выделить и распознать

текст и представить его в соответствующем для текстовой информации кодированном виде (например, в виде последовательности ASCII кодов).

Непосредственный ввод видеоинформации без использования бумажных или пленочных промежуточных носителей твердых копий можно осуществлять с помощью цифровых фотоаппаратов, веб-камер и цифровых видеокамер. Эти устройства могут подключаться к ПК через универсальные периферийные ИВВ типа USB, через специальный адаптер или через мультимедийный видеоадаптер. Цифровые фотоаппараты и видеокамеры могут использовать промежуточные носители визуальной информации в виде не характерном для ее непосредственного визуального восприятия пользователем. К таким носителям относятся малогабаритные магнитные диски, различные модули флэш-памяти а иногда магнитные ленты. Для ввода в ПК визуальной информации с таких носителей используются или средства системы внешней памяти, или, с использованием плееров, средства видеосистемы.

10.2.2. Видеосистема ПК

10.2.2.1. Общие сведения

Под *видеосистемой* персонального компьютера (PC — *Personal Computer*) будем понимать совокупность устройств, выполняющих следующие функции:

- формирование и обработку цифрового изображения;
- преобразование цифрового изображения в видеосигналы, поступающие на устройство отображения;
- формирование изображения.

Первую из этих задач видеосистема решает совместно с основным элементом компьютера — центральным процессором (CPU — *Central Processing Unit*). Остальные — преобразование цифровых данных в визуальные образы: цифры, рисунки, фотографии, видеосюжеты и т. п. — видеосистема решает самостоятельно.

Одним из компонентов видеосистемы и неотъемлемой частью PC является устройство отображения (визуализации) информации — монитор (видеомонитор, дисплей), например, на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

Как известно, изображение на экране монитора формируется путем последовательной прорисовки строк, образующих растр. Подобный метод синтеза изображения требует подачи на ЭЛТ аналогового сигнала, описывающего изменение яркости изображения вдоль каждой строки растра. С другой стороны, внутри компьютера вся информация (в том числе графическая) представлена двоичными числами, или цифровым кодом. Для преобразования цифровой информации в аналоговые электрические сигналы (т. е. для выполнения второй из названных выше функций) в состав видеосистемы входит специальное согласующее устройство. Это устройство называют *видеоадаптером* (видеокартой, видеоплатой, дисплейным адаптером, графическим адаптером). Оно выполняет роль интерфейса (адаптера) между центральной частью компьютера (хостом) и устройством отображения (монитором).

Работа видеоадаптера осуществляется под управлением программного обеспечения (ПО).

Таким образом, видеосистема PC включает в себя следующие обязательные элементы:

- устройство отображения информации;
- видеоадаптер;
- программное обеспечение.

Основным элементом видеосистемы является видеоадаптер, а одним из основных элементов видеоадаптера — *контроллер видеоадаптера*. В зависимости от типа видеоадаптера в качестве контроллера может быть использована как совокупность обычных комбинационных

схем с жестким алгоритмом работы, так и сложный *графический процессор* с программируемыми функциями.

Контроллер видеоадаптера получает команды от CPU по шине ИВВ хоста. По этим командам он модифицирует цифровое изображение, хранящееся в специальном буфере — *видеопамяти*. В свою очередь *видеоконтроллер* (*контроллер устройства отображения, в частности контроллер электронно-лучевой трубки*), в нашем случае входящий в состав контроллера адаптера, преобразует содержимое видеопамяти в видеосигнал и подает на устройство отображения (монитор).

Видеопамять представляет собой специализированное быстродействующее ОЗУ, размещенное на плате видеоадаптера и предназначенное для хранения текущего цифрового изображения. Содержимое видеопамяти представляет собой цифровой образ того изображения, которое в данный момент отображается на экране монитора. Для ячеек видеопамяти зарезервирована также часть общего адресного пространства PC (разделяемая память), поэтому CPU, используя ИВВ хоста, может непосредственно записывать в них необходимую информацию.

Разрядность и тактовая частота контроллера видеоадаптера могут отличаться от аналогичных характеристик шины ИВВ системного уровня, (ИВВ хоста). Для согласования с ИВВ хоста в состав видеоадаптера входит специальная *схема подключения к шине ИВВ хоста*.

Под управлением прикладной программы CPU создает в RAM цифровой образ изображения и пересылает его в видеопамять. Одновременно с цифровым изображением CPU передает в контроллер адаптера соответствующие команды управления. По этим командам из специального ПЗУ, которое, по аналогии с ROM BIOS, называется *ROM Video BIOS*, считываются микропрограммы управления контроллером адаптера. Работа всех компонентов видеоадаптера синхронизируется сигналами *тактового генератора*.

Видеосистема мультимедийного PC может выполнять обширный набор дополнительных функций: аппаратное ускорение построения трехмерных изображений, оцифровку отдельных кадров и видеопоследовательностей, прием и отображение на экране монитора телевизионных программ, воспроизведение видеофильмов и другие. Для реализации этих функций в состав видеосистемы дополнительно включают соответствующие аппаратные компоненты: 2D и 3D-ускорители, устройства ввода/вывода видеосигналов, TV-тюнер, устройства для воспроизведения видеoinформации (MPEG-декодер) и другие. Изначально эти устройства выполнялись в виде отдельных карт расширения, однако, в настоящее время они устанавливаются на плате видеоадаптера, превращая последний в мощную универсальную мультимедийную плату.

Видеосистема PC имеет ряд особенностей, благодаря которым и занимает особое место среди других подсистем компьютера.

1. *Учет физиологических особенностей человека.* Ни в какой другой подсистеме PC так полно не учитываются физиологические особенности оператора (в первую очередь его зрения), как в видеосистеме. Качество формируемого изображения и комфортные условия работы оператора являются одними из главных критериев, определяющих возможности PC для решения конкретной задачи.
2. *Интенсивный обмен информацией между видеоадаптером и CPU.* Для представления изображения в цифровом виде необходим очень большой массив данных. Время пересылки этих данных не должно быть больше, чем период кадровой развертки монитора. Если пропускная способность шины ИВВ не позволяет этого сделать, производительность PC снижается. Для решения этой проблемы разрабатываются новые и продолжают совершенствоваться уже существующие высокоскоростные ИВВ хоста, предназначенные для нужд видеосистемы: PCI, AGP, PCI Express.

3. *Высокая загруженность CPU.* Синтез цифрового изображения и пересылка его в видеоадаптер приводят к высокой загруженности CPU. Поэтому качественные показатели видеосистемы (в первую очередь, видеоадаптера) значительно влияют на общую производительность PC. Для снижения загрузки CPU в состав современных видеоадаптеров включают графический процессор (ускоритель), обеспечивающий аппаратное выполнение большинства функций, необходимых при построении изображения. При этом CPU решает лишь самые необходимые задачи (например, пересылает изображение из RAM в видеопамять), благодаря чему общая производительность PC заметно возрастает.
4. *Высококачественное программное обеспечение.* Для корректной работы видеосистемы особенно важно качество ПО. Для реализации всех ее возможностей необходимо установить соответствующее программное обеспечение и произвести его настройку.

Все это свидетельствует об огромной роли видеосистемы как составной части ПК и особенно - мультимедийного ПК.

10.2.2.2. Принципы вывода изображений

10.2.2.2.1. Общие сведения

Видеосистема PC ориентирована на растровый метод вывода изображения. *Растровый метод* подразумевает, что некий рисующий инструмент, способный оставлять видимый след, сканирует всю поверхность, на которую выводится изображение. Траектория движения инструмента постоянна и не зависит от выводимого изображения, но инструмент может рисовать, а может и не рисовать отдельные точки траектории. Видимое изображение образуется оставляемыми им точками. В случае видеомонитора на базе ЭЛТ инструментом является модулированный электронный луч (или три луча базисных цветов), построчно сканирующий экран и вызывающий свечение люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность экрана. Каждая строка раstra разбивается на некоторое количество точек — *пикселей* (pixel — сокращение от picture element — элемент изображения), засветкой каждой из которых по отдельности может управлять устройство, формирующее изображение (например, видеоадаптер). Видеомонитор является растровым устройством вывода динамически изменяемых изображений. Его луч сканирует экран с частотой, которая не должна позволять глазу видеть мерцание изображения. Матричные дисплеи, применяемые в блокнотных ПК, также относятся к растровым устройствам. Растровыми устройствами вывода статических изображений являются принтеры, в которых сканирование листа производится однократно (хотя возможны и многократные проходы).

Альтернатива растровым устройствам — *векторные устройства вывода изображений*. В этих устройствах инструмент прорисовывает только изображаемые фигуры и его траектория движения определяется выводимым изображением. Изображение состоит из графических примитивов, которыми могут быть отрезки прямых — векторы (откуда и название метода вывода), дуги, окружности. К векторным устройствам вывода статических изображений относятся перьевые плоттеры. Существовали (а может, где-то и сейчас используются) и векторные мониторы, однако ввиду сложности построения системы управления лучом, обеспечивающей быстрое и точное движение луча по сложной траектории, эта линия мониторов угасла.

Рассмотрим растровую систему вывода изображений, подразумевая в качестве окончательного устройства монитор с электронно-лучевой трубкой — ЭЛТ (CRT - Cathode Ray Tube). *Сканирование* экрана модулированным лучом обеспечивается генераторами *горизонтальной* и *вертикальной* разверток монитора. Луч оставляет след только во время прямого хода по строке (слева направо). Строка разбивается на некоторое количество точек, каждая из которых может иметь независимое от других состояние (яркость и цвет). Для ЭЛТ-монитора это разбиение условно (достигается синхронизацией развертки и видеосигналов), в матричных

дисплеях пиксели являются физическими (формируются в процессе изготовления экрана). На обратном ходе по строке луч принудительно гасится. Следующая строка прорисовывается параллельно предыдущей, но с некоторым вертикальным смещением (вниз), и так происходит сканирование до окончания кадра — достижения правого нижнего угла экрана. Во время обратного хода луча по вертикали, за время которого генератор горизонтальной развертки успеет сделать несколько строчных циклов, луч также принудительно гасится. В следующем кадре сканирование может производиться по-разному. В системах с *прогрессивной* (progressive), или *не чересстрочной* (Non-interlaced, NI), разверткой луч идет по тем же самым строкам (рис. 10.1, а). В системах с *чересстрочной* разверткой (Interlaced, IL) луч идет по строкам, смещенным по вертикали на половину шага строки (рис. 10.1, б). Таким образом, всю поверхность экрана луч проходит за два цикла кадровой развертки, называемых полукадрами. Чересстрочная развертка позволяет почти вдвое снизить частоту горизонтальной (строчной) развертки, а, следовательно, и темп вывода точек изображения.

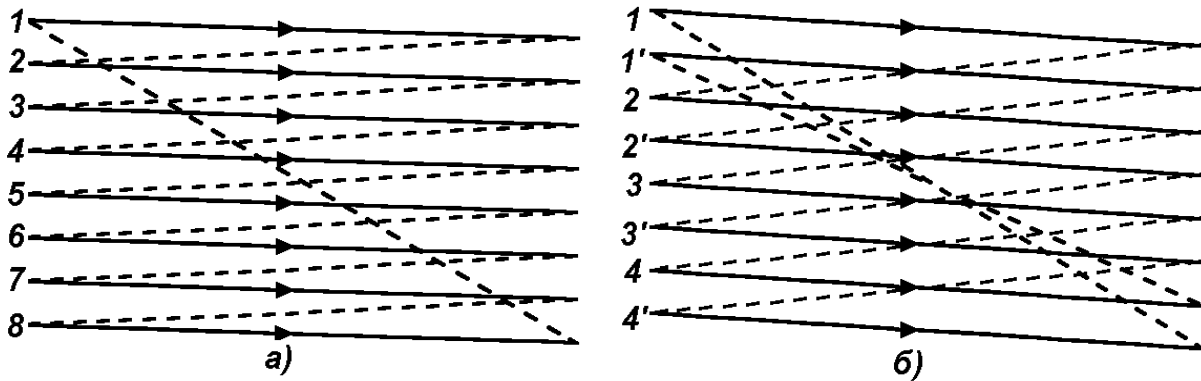


Рис. 10.1. Сканирование экрана: а — прогрессивная развертка, б — чересстрочная

Чересстрочная развертка широко применяется в телевидении: видеосигнал там приходится «пропихивать» через радиоканал, с шириной полосы которого всегда имеются проблемы. В современных мониторах и графических адаптерах, применяемых в РС, используются оба режима развертки с различными значениями частоты кадров. Естественно, что работать они должны в согласованных режимах.

Рассмотрим способы формирования видеоадаптером сигналов управления процессом формирования растрового изображения видеомонитором. В видеомониторе имеется матрица точек экрана, образованная горизонтальными строками раstra (номер строки — вертикальная координата матрицы) и точками разложения строки (номер точки в строке — горизонтальная координата матрицы). Эта матрица сканируется построчным или чересстрочным образом, и во время прямого хода луча по видимым строкам видеоадаптер должен формировать сигналы управления яркостью базисных цветов монитора (или одного сигнала яркости в монохромном варианте). За это время последовательно (и синхронно с ходом луча) должна выводиться информация о яркости и цвете всех точек данной строки. Синхронизация обеспечивается формированием горизонтальных и вертикальных синхроимпульсов. Таким образом, видеоадаптер является задающим устройством, а монитор со своими генераторами разверток должен вписаться в заданные параметры синхронизации.

Существует два основных режима вывода информации — графический и символьный (текстовый). Первые дисплейные адаптеры из-за технических ограничений на доступный объем памяти адаптера работали в символьном режиме. Современные адаптеры в основном работают в графическом режиме, текстовый режим используется только до загрузки ОС.

10.2.2.2. Графический режим

В графическом режиме имеется возможность индивидуального управления свечением каждой точки экрана монитора независимо от состояния остальных. Этот режим обозначают как

Gr (Graphics) или *APA* (All Points Addressable — «все точки адресуемы»). В графическом режиме каждой точке экрана — пикселу — соответствует ячейка специальной памяти, которая сканируется схемами адаптера синхронно с движением луча монитора. Эта постоянно циклически сканируемая (с кадровой частотой) память называется *видеопамятью* (video memory), или VRAM (Video RAM). Процесс постоянного сканирования видеопамяти называется *регенерацией изображения*. Для программно-управляемого построения изображений к видеопамяти также должен обеспечиваться доступ со стороны ИВВ хоста компьютера, причем как по записи, так и по чтению. Количество битов видеопамяти, отводимое на каждый пиксел, определяет возможное число состояний пиксела — цветов, градаций яркости или иных атрибутов (например, мерцания) и называется *глубиной пиксела*. Так, при одном бите на пиксел возможны лишь два состояния — светится или не светится. Два бита на пиксел позволяли получать на адаптерах CGA одновременно четыре цвета на экране. Видеоадаптер EGA, используя четыре бита на пиксел позволял получать одновременно на экране 16 цветов из палитры 64 оттенков цвета, а восемь бит на пиксел обеспечивали видеоадаптеру VGA отображать 256 цветов из палитры $2^{6 \times 3} = 262144$ оттенков. Сейчас остановились на режимах *High Color* (15 бит — 32 768 цветов; или 16 бит — 65 536 цветов) и *True Color* — «истинный цвет» (24 бита — 16,7 миллиона цветов), реализуемых современными адаптерами и мониторами SVGA.

Формирование битовой карты изображения в видеопамяти графического адаптера производится под управлением программы, исполняемой центральным процессором. Сама по себе задача формирования процессору вполне по силам, но при ее решении требуется пересылка большого объема информации в видеопамять, а для многих построений — еще и чтение видеопамяти процессором. Видеопамять большую часть времени занята выдачей информации схемам регенерации изображения в довольно напряженном темпе. От этого процесса она свободна только во время обратного хода луча по строке и кадру, но это — меньшая часть времени. Выходов из этого затруднения имеется несколько. Во-первых, повышают быстродействие видеопамяти. Во-вторых, расширяют разрядность шин видеоадаптера, причем как внутренней (шины видеопамяти), так и интерфейсной, и применяют высокопроизводительные ИВВ хоста (раньше VLB, теперь PCI, порт AGP и PCI Express). В-третьих, повысить скорость видеопостроений можно кэшированием видеопамяти или затенением видеопамяти, что, по сути, почти одно и то же. И, в-четвертых, можно принципиально сократить объем информации, передаваемой графическому адаптеру, но для этого видеоадаптер должен быть наделен «интеллектом». В современных компьютерах используются все эти решения.

10.2.2.2.3. Текстовый режим

В *символьном*, или *текстовом*, режиме формирование изображения происходит несколько иначе. Если в графическом режиме (APA) каждой точке экрана соответствует своя ячейка видеопамяти, то в текстовом режиме ячейка видеопамяти хранит информацию о *символе*, занимающем на экране знакоместо определенного формата. *Знакоместо* представляет собой матрицу точек, в которой может быть отображен один из символов определенного набора. Здесь умышленно применяется слово «точка», а не «пиксел», поскольку пиксел является сознательно используемым элементом изображения, в то время как точки разложения символа в общем случае программиста не интересуют. В ячейке видеопамяти хранятся *код символа*, определяющий его индекс в таблице символов, и *атрибуты символа*, определяющие способ его отображения. К атрибутам относятся цвет фона, цвет символа, инверсия, мигание и подчеркивание символа. Поскольку изначально в дисплеях использовали только алфавитно-цифровые символы, такой режим работы иногда сокращенно называют *AN* (Alpha-Numerical — алфавитно-цифровой), но чаще — *TXT* (*text* — текстовый), что корректнее: символы псевдографики, которые широко применяются для оформления текстовой информации, к алфавитно-цифровым не отнесешь.

В текстовом режиме экран организуется в виде матрицы знакомест, образованной горизонтальными линиями (Line, LIN) и вертикальными колонками (Column, COL). Этой матрице соответствует аналогичным образом организованная видеопамять. Адаптер, работающий в текстовом режиме, имеет дополнительный блок — знакогенератор. Во время сканирования экрана выборка данных из очередной ячейки видеопамяти происходит при подходе к соответствующему знакоместу (рис. 10.2), причем одна и та же ячейка видеопамяти выбирается при проходе по всем строкам растра, образующим линию знакомест. Считанные данные попадают в знакогенератор, который вырабатывает построчную развертку соответствующего символа — его изображение на экране. *Знакогенератор* представляет собой запоминающее устройство — ОЗУ или ПЗУ. На его старшие адресные входы поступает код текущего символа из видеопамяти, а на младшие — номер текущей строки в отображаемой линии знакомест. Выходные данные содержат побитную развертку текущей строки разложения символа (в графическом режиме эти данные поступали из видеопамяти). Самый «скромный» знакогенератор имеет формат знакоместа 8×8 точек, причем для алфавитно-цифровых символов туда же входят и межсимвольные зазоры, необходимые для читаемости текста. Лучше всего читаются матрицы 9×14 и 9×16 точек. В адаптерах VGA память знакогенератора программно доступна, русификация (или иная локализация) адаптера выполняется программными средствами.

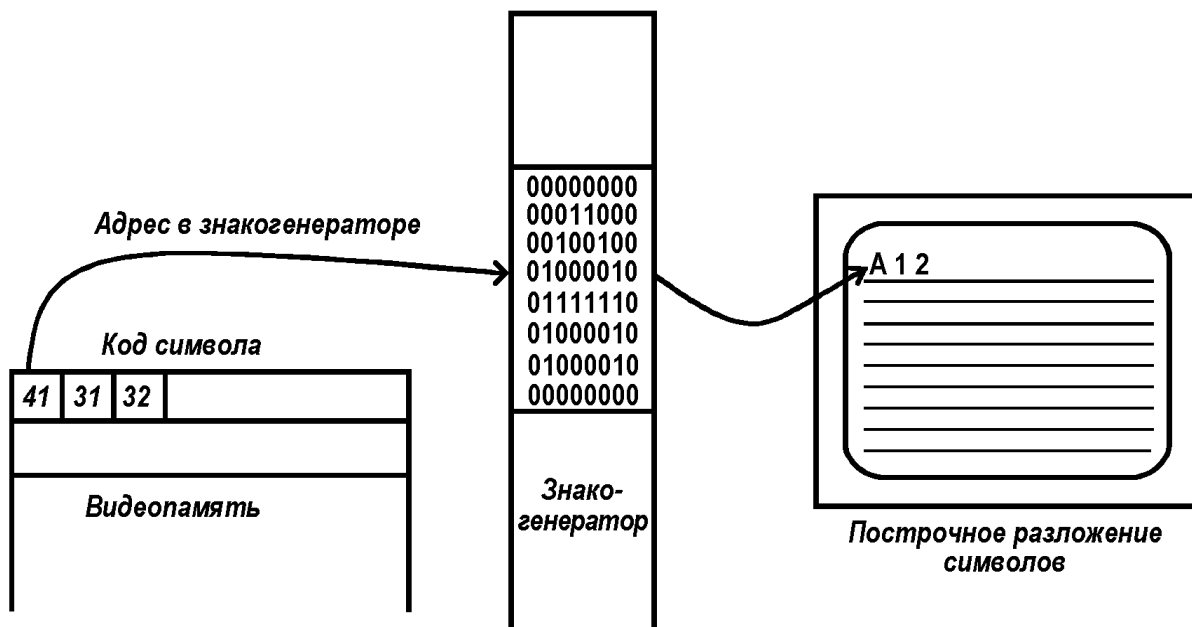


Рис. 10.2. Формирование изображения в текстовом режиме

Как уже говорилось, каждому знакоместу в видеопамяти, кроме кода символа, соответствует еще и *поле атрибутов*, обычно имеющее размер 1 байт. Этого вполне достаточно, чтобы задать цвет и интенсивность воспроизведения символа и его фона. Текстовый адаптер также имеет аппаратные средства управления *курсором*. Знакоместо, на которое указывают регистры координат курсора, оформляется особым образом. Обычно его выделяют мигающей полоской, размер и положение которой относительно знакоместа программируются. Подчеркнем, что к такому выделению байт атрибутов не имеет отношения, хотя возможен неудачный выбор атрибутов (сочетание цветов), когда курсор становится неразличимым.

В текстовом режиме с форматом 25 строк по 80 символов (максимальном для существующих чисто текстовых адаптеров) требуется всего 2 Кбайт видеопамяти для символов и 2 Кбайт для их атрибутов. При этом символы могут иметь вполне удобочитаемую матрицу разложения 9×14 и по 8 бит для атрибутов, определяющих цветовое оформление знакоместа. Частота считывания видеопамяти для регенерации изображения невысока: за время прямого хода по строке должно быть считано всего 80 слов. Графический режим (720×350) для ото-

бражения такой же матрицы символов потребует уже около 32 Кбайт видеопамати в монохромном варианте, а в 16-цветном — уже 128 Кбайт. Поскольку в текстовом режиме в адаптер передаются только коды символов, заполнение всего экрана занимает в десятки раз меньше времени, чем построение того же изображения в графическом режиме. Программный код вывода символов в текстовом режиме проще и компактнее, чем при программном формировании его растрового изображения. По этим причинам все видеоадаптеры имеют знакогенератор, дающий возможность работы и в текстовом режиме, а при переходе в графический режим знакогенератор отключается. Интеллектуальные адаптеры позволяют выводить символы (формировать их растровые изображения с заданным форматом знакомест) и в графическом режиме. При этом адаптер получает только команду с указанием координат отображаемых символов и сам поток кодов символов, после чего быстро строит их изображение, не отвлекая центральный процессор.

10.2.2.2.4. Обработка видеоизображений

Слово «видео» в современном толковании подразумевает привычное всем видеоизображение, которое мы видим на телевизионных экранах. Это изображение, в отличие от компьютерной графики, может получаться в результате видеосъемки естественных объектов. Чтобы подчеркнуть естественность происхождения, а также непредсказуемую подвижность изображения, ввели термин *живое видео*. Растровая система отображения информации на экране монитора РС имеет глубокие корни в телевидении, но объединить компьютерную графику с телевизионным изображением оказывается непросто.

Вывод компьютерной графики на экран обычного телевизора представляет интерес как средство презентаций: телевизоры с большим экраном применяются довольно широко. Ряд моделей современных графических карт имеют выход телевизионного сигнала, причем независимый от выхода на основной монитор. Есть и преобразователи форматов (например, *конвертор VGA-TV*) в виде отдельных внешних устройств со стандартным интерфейсом компьютерного монитора на входе и каким-либо телевизионным сигналом на выходе. В простейшем варианте конвертор только преобразует сигналы из RGB в один из интерфейсов телеприемника, но при этом требуется установка разрешения и частот синхронизации графического адаптера, совпадающих со стандартом телеприемника. Для пользователя РС эти ограничения малопривлекательны, а иногда и невыполнимы. Более сложные конверторы имеют собственную буферную память, которая заполняется вновь оцифрованным видеосигналом, снятым с выхода графического адаптера. На телевизионный выход информация из буфера выдается уже с телевизионной частотой.

Гораздо чаще используют *вывод видеоизображения* на экран компьютерного монитора. Видеоизображение выводится в окно, занимающее весь экран или его часть. Выводить «живое видео» в экранный буфер (видеопамать) — задача весьма ресурсоемкая (по использованию процессора и интерфейса между ним и графическим адаптером). Более экономичный способ вывода видео — применение *видеооверлейных плат* (video overlay board). Эти платы позволяют изменять размер окна видео так же, как и размер любого окна в Windows. В оверлейной плате для видеоизображения имеется специальный «слой» видеопамати, независимый от видеобуфера графического адаптера. В нем содержится оцифрованное растровое отображение каждого кадра видеосигнала. Поскольку для видеосигнала принято цветовое пространство в координатах Y-U-V (см. 5.2.3.5), в рассматриваемом слое памяти пиксели также отображаются в этом пространстве, а не в R-G-B, свойственном графическим адаптерам. В такой системе движущееся видеоизображение, видимое на экране монитора, существует лишь в оверлейном буфере, но никогда не попадает в видеопамать графического адаптера и не передается ни по каким внутренним цифровым шинам компьютера. В видеопамати графического адаптера «расчищается» окно, через которое «выглядывает» видеоизображение из оверлейного буфера. Некоторый цвет (комбинация битов RGB) принимается за прозрачный. Оверлейная логика сравнивает цвет очередного пиксела графического буфера

с этим прозрачным, и если он совпадает, вместо данного пиксела выводится соответствующий пиксел видеооверлея. Если цвет не совпадает с прозрачным, то выводится пиксел из графического буфера. Таким образом, имея доступ к пикселям графического буфера, можно на видеоизображение накладывать графику для организации видеоэффектов или вывода в видеоокне «всплывающих» (pop-up) меню. Наложение производится на уровне потока битов сканируемых пикселей.

Оверлейная плата обычно имеет несколько входов для источников аналогового видеосигнала и программно-управляемые средства выбора одного из них. В составе такого устройства обычно есть и *фрейм-граббер* (frame grabber) — инструмент захвата видеокadra, другое название которого — *Video Capture*. По команде оператора движущееся изображение может быть мгновенно зафиксировано в оверлейном буфере, после чего захваченный кадр может быть записан на диск в каком-либо графическом формате для последующей обработки и использования. Более совершенные устройства позволяют записывать в реальном времени последовательность видеокadров, выполняя или не выполняя их компрессию «на лету». Порты AGP 3.0 и PCI-E позволяют выполнять изохронные передачи между графической картой и системной памятью, что обеспечивает передачу даже несжатого видеопотока (в обоих направлениях).

TV-тюнер — устройство приема видеосигналов с радиочастотного входа (антенны) — в сочетании с оверлейной платой позволяет просматривать телепрограммы на обычном мониторе компьютера. Тюнер может поддерживать стандарты цветопередачи PAL, SECAM и NTSC (см. 5.2.3.5), но из-за несовпадения стандартов на промежуточную частоту звукового сопровождения некоторые карты не принимают звуковое сопровождение отечественных телеканалов.

Для *передачи видеоизображения в цифровом виде* (в формате Bitmap), естественном для графической системы компьютера, например, с разрешением видеозэкрана 640×480 — максимально возможным для телевизионного изображения NTSC, требуется (при глубине цвета True Color — 24 бита на пиксел) обеспечить поток данных в $7 \times 25 = 175$ Мбит/с, или около 22 Мбайт/с. Такой поток слишком велик. Выходом может быть только *сжатие передаваемой информации*.

Формат Bitmap является довольно расточительным способом описания изображений. Соседние (по вертикали и горизонтали) элементы реального изображения обычно между собой сильно взаимосвязаны (коррелированы), поэтому имеются богатые возможности сжатия изображения. И соседние кадры движущегося изображения между собой в большинстве случаев тоже сильно связаны, что позволяет применять дифференциальное описание кадров. Все эти рассуждения подводят нас к пониманию возможностей сжатия видеоинформации и принципов действия *кодексов* — компрессоров-декомпрессоров видеосигнала.

Ряд кодексов позволяют осуществлять декомпрессию в реальном времени чисто программными способами, используя стандартный графический адаптер SVGA. Однако программная декомпрессия значительно загружает процессор, что неблагоприятно сказывается на многозадачном использовании компьютера. Ряд современных видеоадаптеров имеют специальные аппаратные средства декомпрессии, разгружающие центральный процессор. На долю процессора остается лишь организация доставки сжатого потока данных к плате адаптера.

Сжатие движущихся изображений включает *внутрикадровое* (intraframe compression) и *межкадровое* (interframe compression) сжатие. Для внутрикадрового сжатия используются методы, применяемые для сжатия неподвижных изображений. В межкадровом сжатии применяется система *ключевых кадров* (key frame), содержащих полную информацию о кадре, и *дельта-кадров* (delta frame), содержащих информацию о последовательных изменениях кадров относительно ключевых. Благодаря корреляции соседних кадров дельта-кадры в общем случае несут гораздо меньше информации, чем ключевые, и, следовательно, поток их данных не так интенсивен. Периодическое вкрапление ключевых кадров позволяет

избежать накопления ошибок в изображении, а также начинать прием потока в любой момент (дождавшись ближайшего ключевого кадра).

Для сжатия изображений применяются различные кодеки. Рассмотрим кодеки стандартов MPEG.

10.2.2.2.5. Стандарты MPEG

Разработкой кодеков, предназначенных для работы (по крайней мере, для декомпрессии) в реальном масштабе времени, занимается группа *MPEG* (Moving Picture Expert Group — группа экспертов в области движущихся изображений). Поскольку видео без звука «живым» представить трудно, MPEG занимается и аудиокодеками. Кодеки MPEG работают в пространстве Y-U-V (см. 5.2.3.5), причем яркостная информация обрабатывается с большим разрешением, чем цветовая. В сжатом потоке данных присутствуют кадры нескольких типов:

- I-кадры (I — означает intra) — ключевые кадры, кодированные без ссылок на другие (то есть содержащие полное описание статического изображения);
- P-кадры (P — predicted) содержат описание отличий текущего кадра от предыдущего;
- B-кадры (B — bi-directional) являются двунаправленными, они ссылаются и на предыдущий, и на следующий кадры.

Наличие двунаправленных кадров подразумевает, что декодер должен иметь буфер по крайней мере на три принятых кадра, а изображение должно выводиться с некоторым отставанием от входного потока. Для того чтобы кодек мог быстро включиться в работу с любого места потока, I-кадры должны включаться в поток регулярно (в MPEG-1 — не реже, чем через 0,4 с).

MPEG-1 — стандарт ISO/IEC 11172, принятый в 1992 году. Полное название — «Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1,5 MBit/s» — раскрывает его суть: кодек предназначен для записи и воспроизведения движущихся изображений и связанного с ними аудиосопровождения на цифровом носителе с потоком данных до 1,5 Мбит/с. При этом обеспечивается качество изображения на уровне кассетного видеомэгнитофона *VHS* (Video Home System) со стереофоническим звуковым сопровождением. Стандарт состоит из 5 частей, описывающих систему, видео, аудио, методику тестирования на соответствие и программы кодера и декодера на языке C

MPEG-2 (ISO/IEC 13818, 1995 г.) — кодек для высококачественной передачи изображений, аудиоинформации и данных при потоке 2-80 Мбит/с, обеспечивающий несколько уровней качества (табл. 10.1). Основной уровень (720 × 480, 30 кадров/с) обеспечивает качество на уровне телевидения, высокие уровни используются в профессиональной видеозаписи. Стандарт предусматривает одновременную передачу множества TV-каналов с возможностью шифрования для ограничения доступа к информации и защиты прав собственности на содержимое потоков. Первые 5 частей стандарта аналогичны MPEG-1, но с новым наполнением.

Таблица 10.1. Уровни качества MPEG-2

Уровень	Размер изображения	Максимальный поток данных при частоте 30 кадров/с, Мбит/с
Low (низкий)	352×240	4
Main (основной)	720×480	15
High-1440 (высокий)	1440×1152	60
High (высший)	1920×1080	80

MPEG-4 — стандарт, ориентированный на интерактивное использование мультимедиа и сетевых коммуникаций. По сравнению с предыдущим, MPEG-4 устроен гораздо сложнее — аудио- и видеоинформация, представляемая конечному потребителю, собирается из различ-

ных аудиовизуальных объектов (Audio-Visual Objects, AVO). В предыдущих стандартах фигурировали лишь *потоки* (видео и аудио), которые просто воспроизводились. Объекты MPEG-4 отображаются на сцене, представляемой конечному потребителю (наблюдателю-слушателю).

Для воспроизведения сжатых видеофайлов (или потоков) требуется *декодер* — программный компонент, который может пользоваться и аппаратными ускорителями.

MPEG-плеер — декодер MPEG-1, обеспечивающий воспроизведение с компакт-дисков форматов MPEG-1 (CD-I, VideoCD). Аппаратный декодер является широко распространенным дополнением графического адаптера. В отличие от программных MPEG-декомпрессоров, он обеспечивает высокое качество воспроизведения с невысокой загрузкой процессора. В состав MPEG-плеера должен входить и аудиodeкодер, при этом на графической плате с аппаратным декодером появляется немного неожиданный дополнительный разъем аудиовыхода.

DVD-плеер — аппаратный или программный декодер MPEG-2, позволяющий воспроизводить видеозаписи с DVD-Video и Super VideoCD. Для программного декодирования требуется, как минимум, компьютер с процессором Pentium II-266, для аппаратного достаточно Pentium-133.

DivX — название программного кодека для MPEG-4 (альтернатива стандартному кодеку от Microsoft).

Для программного декодирования MPEG-4 (в реальном времени) требуется, как минимум, Pentium II-300. Выпускаются и PCI-карты акселераторов декодирования MPEG-4 (а заодно MPEG-1 и MPEG-2), в которых установлен специализированный сигнальный процессор и видеооверлей. Через эту карту проходит выходной поток основного графического адаптера, подключенного кабелем VGA Loop (монитор подключается к этой карте). Такая карта позволяет воспроизводить MPEG-4 на старых ПК с маломощным процессором.

Дополнительную информацию об обработке и сжатии видеoinформации можно найти в [8].

10.2.2.2.6. «Интеллект» видеоадаптера

Под *интеллектом видеоадаптера* подразумевается наличие на его плате собственного процессора, способного формировать растровое изображение в видеопамати (bitmap) по командам, полученным от центрального процессора. Команды ориентируются на наиболее часто используемые методы описания изображений, которые строятся из отдельных графических элементов более высокого уровня, чем пикселы.

Команды рисования (drawing commands) обеспечивают построение *графических примитивов* — точек, отрезков прямой, прямоугольников, дуг, эллипсов. Примитивы такого типа в командах описываются в векторном виде, что гораздо компактнее, чем их растровый образ.

Вывод текста в графическом режиме сродни рисованию, только объекты рисования задаются кодами символов. Эти символы изображаются в растровом виде в соответствии с выбранным шрифтом, размером и цветом.

Копирование блока с одного места экрана на другое требуется для «прокрутки» изображения экрана в разных направлениях.

Для формирования курсора на графическом экране применяют команды для работы со спрайтами. *Спрайт* (sprite) — небольшой прямоугольный фрагмент изображения, который может перемещаться по экрану как единое целое. Перед использованием его программируют — определяют размер и растровое изображение для него, после этого для его перемещения по экрану достаточно только указывать его координаты.

Аппаратная поддержка окон (hardware windowing) упрощает и ускоряет работу с экраном в многозадачных (многооконных) системах.

Если объем видеопамати превышает необходимый для данного формата экрана и глубины цветов, то в ней можно строить изображение, превышающее по размеру отображаемую часть. Интеллектуальному адаптеру можно поручить *панорамирование* (panning) — отображение заданной области. При этом горизонтальная и вертикальная прокрутка изображения не требует блочных пересылок (конечно, в пределах сформированного большого изображения) — для перемещения достаточно лишь изменить указатель положения (этакий «большой спрайт»).

По отношению к центральному процессору и оперативной памяти компьютера различают графические сопроцессоры и акселераторы. *Графический сопроцессор* представляет собой специализированный процессор с соответствующим аппаратным окружением, который подключается к шине системного ИВВ компьютера и имеет доступ к его оперативной памяти. В процессе своей работы сопроцессор пользуется оперативной памятью, конкурируя с центральным в плане доступа и к памяти, и к шине системного ИВВ. *Графический акселератор* работает автономно и при решении своей задачи со своим огромным объемом данных может не выходить на системную шину. Акселераторы являются традиционной составной частью практически всех современных графических адаптеров. Акселераторы для двухмерных операций (2D-accelerators), необходимых для реализации графического интерфейса пользователя (Graphic User Interface, GUI), часто называют *Windows-акселераторами*, поскольку их команды обычно ориентированы на функции этой популярной операционной системы. Более сложные акселераторы выполняют и трехмерные построения, их называют 3D-акселераторами.

Для построения сложных трехмерных изображений графическому акселератору должно быть явно тесно в ограниченном объеме видеопамати. Для доступа к основной памяти компьютера он должен иметь возможность управления шиной (bus mastering). Специально для мощных графических адаптеров в 1996 году появился новый канал связи с памятью — *AGP* (Accelerated Graphic Port) (см. раздел 4.5). Обеспечив высокую пропускную способность порта, разработчики AGP предложили технологию *DIME* (Direct Memory Execute). Согласно этой технологии, графический акселератор является мастером шины AGP и может пользоваться основной памятью компьютера для своих нужд при трехмерных построениях.

10.2.2.2.7. Трехмерная графика

Потребности работы с трехмерными изображениями, или 3D-графикой, имеются в широком спектре приложений — от игр, которыми увлекается масса пользователей, до систем автоматического проектирования, применяемых в архитектуре, машиностроении и других областях. Конечно же, компьютер управляет не самими трехмерными объектами, а их математическими описаниями. Трехмерное приложение оперирует объектами, описанными в некоторой глобальной системе координат (global, или world, coordinate system). Чаще всего здесь используется *ортогональная*, она же *декартова* (cartesian), система координат, в которой положение каждой точки задается ее расстоянием от начала координат по трем взаимно перпендикулярным осям X , Y и Z . В некоторых случаях применяют также *сферическую* систему координат, в которой положение точки задается удалением от центра и двумя углами направления. В этом «мире» находятся все объекты, которые создает и учитывает приложение, и они имеют определенное взаимное расположение. Пользователю эти объекты могут быть продемонстрированы лишь с помощью графических устройств вывода, из которых наибольший интерес пока представляет дисплей.

Трехмерное изображение должно состоять из ряда поверхностей различной формы. Эти поверхности «собираются» из отдельных элементов-полигонов, чаще треугольников, каждый из которых имеет трехмерные координаты вершин и описание поверхности (цвет, узор). Пе-

ремещение объектов (или наблюдателя) приводит к необходимости пересчета всех координат. Для создания реалистичных изображений учитываются перспектива — пространственная и атмосферная (дымка или туман), освещенность поверхностей и отражение света от них, прозрачность и многие другие факторы.

10.2.2.2.8. Графический 3D конвейер

Графический 3D-конвейер (graphic 3D pipeline) — это некоторое программно-аппаратное средство, которое преобразует описание объектов в «мире» приложения в матрицу ячеек видеопамати растрового дисплея. Его задача — создать иллюзию трехмерности изображения.

В глобальных координатах приложение создает объекты, состоящие из трехмерных примитивов. В этом же пространстве располагаются источники освещения, а также определяются точка зрения и направление взгляда наблюдателя. Естественно, что наблюдателю видна только часть объектов: любое тело имеет как видимую (обращенную к наблюдателю), так и невидимую (обратную) сторону. Кроме того, тела могут полностью или частично перекрывать друг друга. Взаимное расположение объектов относительно друг друга и их видимость для зафиксированного наблюдателя обрабатываются на первой стадии графического конвейера, называемой *трансформацией* (transformation). На этой стадии выполняются вращение, перемещение и масштабирование объектов, а затем и преобразование из глобального пространства в пространство наблюдения (world-to-viewspace transform), а из него и преобразование в «окно» наблюдения (viewspace-to-window transform), включая и проецирование с учетом перспективы. Попутно с преобразованием из глобального пространства в пространство наблюдения (до него или после) происходит удаление невидимых поверхностей, что значительно сокращает объем информации, участвующей в дальнейшей обработке. На следующей стадии конвейера (lighting) определяется *освещенность* (и цвет) каждой точки проекции объектов, обусловленная установленными источниками освещения и свойствами поверхностей объектов. И, наконец, на стадии *растеризации* (rasterization) формируется растровый образ в видеопамати. На этой стадии на изображения поверхностей наносятся текстуры и выполняется интерполяция интенсивности цвета точек, улучшающая восприятие сформированного изображения. Весь процесс создания растрового изображения трехмерных объектов называется *рендерингом* (rendering).

Более подробную информацию об укорителях и графических сопроцессорах, о трехмерной графике и 3D-конвейере можно найти в [8], [46].

10.2.2.3. Устройства отображения

10.2.2.3.1. Общие сведения

Самым главным устройством вывода визуальной информации в РС является видеомонитор - *дисплей* (display — устройство отображения). Дисплей может быть основан на различных физических принципах: здесь применимы электронно-лучевые трубки, газоплазменные матрицы, жидкокристаллические индикаторы, дисплеи на базе диодов на основе органических материалов (OLED) и светоизлучающих полимеров (LEP) и другие приборы. Наибольшее распространение получили дисплеи на электронно-лучевых трубках и жидкокристаллических матрицах. Разновидностями устройств отображения являются различные типы проекторов мультимедиа.

10.2.2.3.2. Электронно-лучевой дисплей

Основным элементом этих дисплеев является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) по-английски сокращенно называется *CRT* (Cathode Ray Tube — катодно-лучевая трубка). Первые дисплеи на ЭЛТ появились еще до РС, и в них помимо ЭЛТ с окружающими ее схемами генераторов развертки и видеоусилителей находились и узлы, формирующие

изображение (текстовые и графические дисплеи). В персональных компьютерах узлы, формирующие изображение, «переехали» в системный блок, в результате дисплей функционально упростился и стал похож на монитор, применяемый в телевидении. *Монитор* содержит только ЭЛТ с видеоусилителями сигналов яркости лучей, генераторы разверток, блок питания и схемы управления этими узлами. Традиционный *телевизионный монитор* имеет низкочастотный вход композитного видеосигнала или/и отдельные входы модуляции лучей и рассчитан на работу в стандартах PAL, SECAM или NTSC, определяющих способы цветопередачи и фиксирующих частоты синхронизации (см. 5.2.3.5). *Монитор компьютера* должен обеспечивать существенно более широкую полосу пропускания видеосигнала, поэтому композитный вход для него неприемлем. Кроме того, этому монитору приходится работать с разными параметрами синхронизации, которые зависят от выбранного режима разрешения и требований к развертке. Параметры синхронизации могут меняться в процессе работы, и компьютерный монитор должен обрабатывать эти переключения режимов.

В *монохромных мониторах* экран трубки покрыт однородным слоем мелкозернистого люминофора, который при хорошей фокусировке луча дает высокую четкость и разрешающую способность, фактически, определяемую лишь параметрами генераторов разверток. В *цветных мониторах* люминофор неоднороден — имеются три типа частиц, каждый из которых дает свечение своим базисным цветом. Соответственно, имеются три электронные пушки, каждая из которых облучает только свои частицы люминофора. Лучи всех трех пушек синхронно сканируют экран. Управляя интенсивностью каждого из лучей, получают требуемый цвет изображения каждой точки. Существует ряд технологий ЭЛТ, различающихся способом наведения лучей на свои частицы люминофора.

Классической является ЭЛТ с *теневого маски* (shadow mask). Ее экран покрывается не сплошным люминофором, а отдельными зернами-триадами, расположенными треугольником. Каждое зерно состоит из трех крупин люминофора, которые при попадании на них потока электронов светятся базисными цветами. Крупин триад имеют строго фиксированное относительное расположение, и сами триады наносятся на поверхность в виде равномерной матрицы. Крупин каждого цвета «обстреливаются» из отдельной электронной пушки через теневую маску с отверстиями, соответствующими зернам матрицы. Точность попадания лучей в свои крупин обеспечивается тщательностью изготовления кинескопа и настройкой системы сведения лучей. Шаг матрицы зерен экрана (*dot pitch*) принято измерять в миллиметрах. Теневая маска обеспечивает самый «круглый» пиксел, благодаря чему изображение мелких деталей самое четкое. Поскольку электронные пушки цветов RGB располагаются треугольником (зеркально по отношению к триадам люминофора), мониторы с теневой маской имеют экран, выпуклый и по вертикали, и по горизонтали. Это не очень удобно (трудно избежать бликов).

В ЭЛТ со *щелевой маской* (slot mask) вместо отверстий в маске имеются вертикальные щели, а цветной люминофор наносится чередующимися полосами (тоже вертикальными). Прозрачность выше — следовательно, цвета более яркие и насыщенные. Однако пикселы получаются немного вытянутыми по вертикали. Пушки располагаются в одной горизонтальной плоскости, что позволяет сделать экран выпуклым только по горизонтали (по вертикали его поверхность прямолинейна).

В ЭЛТ с *апертурной решеткой* (aperture grilles) люминофор тоже нанесен вертикальными полосами, но в качестве маски в них используются вертикально натянутые нити, выстроенные «частоколом». Маску поддерживает одна или несколько горизонтальных проволочек, тень от которых заметна на экране. У 15-дюймовых мониторов проволочка одна, она расположена снизу на высоте примерно 1/3 экрана. У мониторов большего размера их может быть 2-3. Яркость и насыщенность цветов наилучшая, но четкость пикселов хуже, чем у щелевой и, тем более, у теневой маски. Экран таких трубок плоский.

10.2.2.3.3. Матричные дисплеи

Альтернативой ЭЛТ-мониторам являются плоские матричные дисплейные панели (flat panel display) основанные на различных физических принципах. Плоские дисплеи выполняются в виде *матрицы ячеек* с какими-либо электрооптическими эффектами.

Дисплеи на жидкокристаллических панелях (Liquid Crystal Display, LCD), или ЖК-дисплеи, основаны на изменении оптической поляризации отраженного или проходящего света под действием электрического поля. Слой жидкокристаллического вещества расположен между двумя стеклами с поляризационными решетками. Жидкокристаллическое вещество способно менять направление (вектор) поляризации проходящего света в зависимости от состояния его молекул. При отсутствии электрического поля направление поляризации меняется на 90° , а в дисплеях, изготовленных по технологии STN (Super Twisted Nematic), поворот достигает 270° . Под действием электрического поля молекулы изменяют свою ориентацию, и угол поворота уменьшается. Таким образом, в сочетании с поляризационными решетками стекол можно управлять прозрачностью элемента, изменяя величину электрического поля. В дисплеях DSTN (Double Super Twisted Nematic) ячейки сдвигаются, что позволяет повысить контрастность изображения. Дисплейная панель представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых находится на пересечении вертикальных и горизонтальных координатных проводников. В *пассивной матрице* (passive matrix) дисплеев на жидкие кристаллы воздействуют поля самих координатных проводников. Ячейкам пассивной матрицы свойственна малая контрастность и большая инерционность — порядка 300-400 мс (время на «перестройку» структуры молекул жидкокристаллического вещества), из-за чего на такие дисплеи плохо выводится динамическое изображение. В *активной матрице* (active matrix) каждая ячейка управляется пленочным транзистором или диодом, которым, в свою очередь, управляют через координатные шины. В любом случае панели требуют *подсветки* — либо задней (back light), либо боковой (side light) от дополнительного (чаще люминесцентного) источника освещения. Иногда используют внешнее освещение, при этом за панелью располагается зеркальная поверхность. Активные матрицы обеспечивают более высокую контрастность изображения.

Современные плоские *TFT LCD-дисплеи* представляют собой «бутерброд» из двух стекол, между которыми расположены слои жидкокристаллического вещества и матрица тонкопленочных транзисторов (Thin Film Transistor, TFT). На переднем и заднем стеклах нанесены поляризационные решетки со взаимно перпендикулярным направлением поляризации. Жидкокристаллическая прослойка при отсутствии электрического поля поворачивает угол поляризации проходящего света на 90° , благодаря чему «бутерброд» становится прозрачным для проходящих лучей. Под действием электрического поля от напряжения, подаваемого транзистором каждой ячейки матрицы, угол поворота поляризации может быть уменьшен до нуля. Чем больше приложенное напряжение, тем меньше угол поворота и тем менее прозрачной будет ячейка. Инерционность ячеек активной матрицы у старых дисплеев составляла 20-30 мс. На современных дисплеях инерционность снизили до 12 мс, и на них хорошо смотрятся «живое» видео и динамические игры.

В цветных дисплеях пиксел состоит из трех ячеек, каждая из которых снабжена своим светофильтром (красным, зеленым или синим). Управляя тремя транзисторами пиксела, можно изменять его цвет и яркость. Разрешающая способность по цвету у ЖК-мониторов пока ниже — только 6 бит на каждый цветовой канал, так что 24-битный режим True Color они могут только эмулировать.

Размер пиксела плоского дисплея близок к зерну ЭЛТ-мониторов: у дисплея 15" с разрешением 1024×768 — около 0,3 мм, а у дисплея 18" с разрешением 1280×1024 — около 0,28 мм. Размер изображения у ЖК-дисплеев 15" больше, чем у ЭЛТ-мониторов 15" (но несколько меньше, чем у 17").

В ЖК-дисплеях управление осуществляется всеми ячейками одной строки одновременно (а не последовательно, как пробегает луч ЭЛТ). Это позволяет увеличить время, в течение которого производится управление ячейкой. Для повышения контрастности часто применяют *двойное сканирование*: экран разбивается на две части, в которых сканирование происходит одновременно. Таким образом, время управления ячейкой удваивается.

В любом случае аналоговые сигналы RGB от VGA-интерфейса непосредственно использоваться для управления матрицей не могут. В ЖК-дисплеях эти сигналы оцифровываются, полученные значения (для каждого пиксела) сохраняются в буферной памяти и оттуда уже построчно выводятся на матрицу.

Матричная организация располагает к применению цифрового интерфейса связи с графическим адаптером. Однако большинство плоских дисплеев имеет обычный аналоговый интерфейс, совместимый с любым (S)VGA-адаптером. Более дорогие модели снабжаются цифровым интерфейсом DVI (иногда и DFP). Заметим, что из-за инерционности ячеек слишком высокой частоты развертки не требуется — даже при 60 Гц мерцания экрана нет.

К *преимуществам ЖК-дисплеев (TFT LCD)* относятся высокая яркость изображения, отсутствие геометрических искажений, четкая фокусировка, отсутствие мерцания экрана (из-за инерционности ячеек), малое энергопотребление (25-40 Вт) и тепловыделение; вдобавок они легче и занимают меньше места. Вместе с тем TFT-дисплеи имеют ряд *недостатков*, обусловленных их природой. Фотореалистичность изображений, характерная для современных ЭЛТ-дисплеев, для ЖК-дисплеев пока что недостижима.

Газо-плазменные панели (gas plasma) (газоразрядные) основаны на свечении люминофора под действием ультрафиолетового излучения, генерируемого холодным электрическим разрядом в инертных газах (холодной плазмой). Разряд возникает под действием электрического поля, приложенного к ячейке матрицы панели. Эти панели используются в больших плоских телевизорах. В компьютерных мониторах их пока не применяют из-за больших размеров пикселей.

Электролюминесцентные тонкопленочные дисплеи (ТПЭЛ-дисплеи) по своей конструкции аналогичны ЖК- и плазменным дисплеям, но их принцип действия основан на другом физическом явлении: испускание света при возникновении туннельного эффекта в полупроводниковом *p-n* -переходе. Как и плазменные дисплейные панели (ПДП), они могут работать на переменном и постоянном токе. Преимуществом электролюминесцентного дисплея (ЭЛД) является наличие собственного свечения, они не требуют фоновой подсветки, могут быть чрезвычайно тонкими и легкими. Основными проблемами ЭЛД являются энергопотребление, получение градаций серого, а также полной цветовой гаммы. Большое распространение получили графические монохромные ЭЛД. Их размеры обычно невелики, что, однако, позволяет их использовать в видеискателях фотоаппаратов, в принтерах, наשלемых дисплеях, для получения трехмерного изображения и других спецприменений.

Органические светодиодные дисплеи (OLEDs — *Organic Light-Emitting Diode displays*), или *LEP-мониторы* (LEP — *Light Emission Plastics* — светоизлучающий пластик), по технологии изготовления во многом похожа на ЖК- и ТПЭЛ-дисплеи, но экран изготавливается из специального органического полимера (пластика), обладающего свойством полупроводимости. При пропускании электрического тока такой материал начинает светиться. Для OLED-дисплеев не нужны встроенные цветные фильтры и поляризационные пленки. Их конструкция может быть очень тонкой и легкой, а технология производства — дешевле, чем технология ЖК-дисплеев. OLED-дисплеи имеют высокую яркость, контраст и разрешение. Лучше, чем у ЖК-дисплеев, быстродействие и больший (свыше 160°) угол обзора. Потребляемая OLED-дисплеями мощность меньше, чем у аналогичных по формату ЖК-дисплеев с задней подсветкой, низкое рабочее напряжение (до 4 В), а изображение сохраняет высокий контраст

как в темноте, так и на свету. Благодаря этим достоинствам OLED-дисплеи становятся весьма привлекательными для их использования в портативных приборах, начиная от электронных игрушек и заканчивая сотовыми телефонами, PDA и ноутбуками. У OLED-дисплеев есть и существенный недостаток — малая долговечность. Слой органического материала деградирует со временем, и яркость свечения уменьшается.

Электрофоретические отражающие дисплеи основаны на технологии e-ink (электронное чернило, разработана компаниями E Ink и Philips). Такие устройства обладают оптическими и механическими характеристиками, схожими с обычной бумагой. Базовыми элементами электрофоретических дисплеев являются микрокапсулы, диаметр которых не превышает толщину человеческого волоса. Внутри каждой микрокапсулы находится большое количество пигментных частиц двух цветов: положительно заряженные белые и отрицательно заряженные черные, а все внутреннее пространство микрокапсулы заполнено вязкой прозрачной жидкостью. Слой микрокапсул расположен между двумя рядами взаимно перпендикулярных гибких электродов (сверху — прозрачных, снизу — непрозрачных), образующих адресную сетку. При подаче напряжения на два взаимно перпендикулярных электрода в точке их пересечения возникает электрическое поле, под действием которого в расположенной между ними микрокапсуле группируются пигментные частицы. Частицы с одним зарядом собираются в верхней части микрокапсулы, а с противоположным — в нижней. Для того чтобы поменять цвет точки экрана с белого на черный или наоборот, достаточно изменить полярность напряжения, поданного на соответствующую пару электродов.

Дисплеи на базе электронных чернил способны сохранять изображение на экране даже при отсутствии электропитания. Такие дисплеи являются отражающими и обеспечивают хорошую читаемость изображения практически под любым углом и при любом освещении. В качестве подложки для создания дисплеев на основе электронных чернил можно использовать различные материалы: стекло, пластик, металлическую фольгу, ткань и даже бумагу. Основными недостатками дисплеев на базе электронных чернил являются большое время переключения пикселей (0,5-1 с) и ограниченное количество воспроизводимых оттенков (серийно выпускаемые модули позволяют отображать 4 либо 16 оттенков серого). Основной сферой применения подобных дисплеев являются устройства для чтения электронных книг, бюджетные модели аудиоплееров и мобильных телефонов, информационные табло в общественных местах (магазинах, вокзалах, остановках общественного транспорта и т.д.). Ведутся работы по созданию цветных электрофоретических дисплеев, обладающих небольшим временем отклика.

Дисплеи на базе бистабильных ЖК-структур (ChLCD и PABN LCD). В дисплеях на базе холестерических жидких кристаллов (*Cholesteric Liquid Crystal Display, ChLCD*), в отличие от традиционных ЖК-дисплеев, используются микроструктуры, способные в течение длительного времени находиться в одном из двух устойчивых состояний даже при отсутствии внешнего электрического поля (отсюда и название «бистабильные»). В одном из этих состояний ячейка на основе жидкого кристалла пропускает свет, а в другом — нет. Переключение ячейки из одного состояния в другое осуществляется посредством воздействия внешнего электрического поля, возникающего при подаче напряжения на пару управляющих электродов. Объединив множество бистабильных ячеек в двумерный массив, можно создать дисплей с очень высокой разрешающей способностью (порядка нескольких сотен и даже тысяч пикселей на дюйм). По своим свойствам подобные дисплеи во многом схожи с устройствами на базе электронных чернил. Они обладают очень низким уровнем энергопотребления и способны сохранять изображение на экране при отключении питания. Как и в случае дисплеев на базе электронных чернил, существенным их недостатком является большое (порядка 1 с) время переключения состояния пикселя, что делает невозможным отображение видео. Используя бистабильные ЖК-структуры, можно создавать монохромные и цветные

дисплеи — как оснащенные подсветкой, так и без нее.

Основная сфера применения монохромных дисплеев с использованием бистабильных ЖК-структур — портативные электронные устройства, а также информационные табло, вывески и т.д.

Развитием одной из разновидностей данной технологии, позволяющей создавать цветные дисплеи с высокой разрешающей способностью, является технология, получившая название *PABN LCD (Post-Aligned Bistable Nematic LCD)*. Уже на раннем уровне развития она позволила создавать цветные дисплеи с разрешающей способностью порядка 200-400 ppi (что вполне сопоставимо с детальностью отпечатков цветных лазерных принтеров начального уровня).

Дисплеи на базе технологий SED, FED и NED. Группа из трех родственных технологий — FED (Field Emission Display), SED (Surface-conduction Electron-emitter Display) и NED (Nanotube Emissive Display) — является качественно новой ступенью развития дисплеев на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Как и в случае ЭЛТ, изображение на экранах дисплеев перечисленных типов формируется за счет свечения люминофора, возбуждаемого потоком электронов. Правда, в отличие от ЭЛТ, оснащенной всего лишь тремя электронными пушками, лучи каждой из которых при помощи электромагнитной отклоняющей системы последовательно пробегают по строкам экрана, в SED-дисплеях применяются малогабаритные источники электронов (молибденовые конусы диаметром всего около 200 нм), массивы которых расположены в каждой из ячеек экрана. (В NED-устройствах в качестве источников электронов используются углеродные нанотрубки.)

Применение большого количества миниатюрных источников электронов позволяет сделать дисплеи значительно более тонкими, легкими и экономичными по сравнению с устройствами на базе ЭЛТ. При этом SED-, FED- и NED-дисплеи обладают многими достоинствами систем на базе ЭЛТ: высоким уровнем яркости и контрастности изображения, большим углом обзора, широким цветовым охватом и высокой точностью цветопередачи, а также незначительной инерционностью изображения.

Использование большого количества источников электронов (до нескольких тысяч на каждый пиксел) обеспечивает высокую надежность дисплейных панелей — в отличие от ЖК-мониторов, где выход из строя транзистора, управляющего одним из субпикселей, автоматически означает появление «мертвого» (или залипшего) пикселя на экране.

Определенным недостатком дисплеев рассматриваемых типов является сложность (следовательно, и дороговизна) их производства.

Технология LCoS (Liquid Crystal on Silicon — жидкие кристаллы на кремнии) разработана для использования в проекционных устройствах. Центральной частью LCoS-устройства является ЖК-матрица (микродисплей), изготовленная на кремниевой подложке (на ней же расположены и управляющие работой ячеек транзисторы). Однако, в отличие от классической проекционной ЖК-технологии, в данном случае микродисплей работает на отражение. Благодаря этому LCoS-технология обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционной ЖК-технологией — в частности пиксели микродисплея LCoS характеризуются меньшим временем реакции, а за счет того, что транзисторы микродисплея расположены под ячейками субпикселей и не препятствуют прохождению света, и значительно большей апертурой.

На базе технологии LCoS можно создавать недорогие и качественные проекционные устройства — мультимедиапроекторы и проекционные телевизоры. Таким образом, в перспективе LCoS вполне способна стать третьей силой на рынке мультимедиапроекторов и потеснить технологии, традиционно используемые в данном типе устройств (речь идет о DLP и 3LCD).

10.2.2.3.4. Трехмерный вывод изображения и виртуальная реальность

Графическая система (и видеосистема) ПК ориентирована на вывод изображения на двумерный экран монитора, который пользователь видит обоими глазами. Трехмерная графика также выводится на этот двухмерный экран. Для того чтобы получить эффект объема, необходимо разделить изображения, видимые левым и правым глазом зрителя, — создать *стереопару кадров*. При выводе динамических изображений разделять приходится потоки. Для того чтобы создать полную иллюзию объема (виртуальную реальность), нужно, чтобы выводимые потоки формировались с учетом положения (поворотов, наклонов) головы наблюдателя. Разделять информацию для левого и правого глаз можно несколькими способами — используя монитор (обычный или 3D-монитор), проектор или VR-шлем. Стереопара формируется на одном выходном интерфейсе графического адаптера. Требуется решить несколько задач: совместить изображения в одном потоке, затем разделить его и довести до двух глаз.

Для вывода левого и правого кадров через один VGA-интерфейс используются различные методы:

- Чередование кадров: левые и правые кадры пары выводятся поочередно. При этом для каждого глаза формируется изображение с частотой смены кадров, равной половине кадровой частоты развертки (частоту развертки приходится повышать). Разрешение изображения для обоих глаз соответствует текущему видеорежиму графического адаптера. В видеопамяти изображения для левого и правого глаз хранятся в разных буферах.
- Чередование строк: четные и нечетные строки раstra используются для своих половин стереокадра, причем они хранятся в одном буфере. Реальное разрешение по вертикали оказывается вдвое ниже, чем разрешение установленного видеорежима. Частота смены пар равна кадровой частоте.
- Разбиение кадра по горизонтали: в верхней половине формируется изображение для левого глаза, в нижней — для правого, оба находятся в одном буфере. Разрешение по вертикали уменьшается вдвое. Частота смены пар равна кадровой частоте.
- Разбиение кадра по вертикали — здесь вдвое уменьшается разрешение по горизонтали, остальные характеристики те же (применяется редко).

При выводе через монитор или проектор наблюдатель должен пользоваться *стереоочками*, активными (связанными с компьютером) или пассивными.

В активных стереоочках для каждого глаза имеется управляемый оптический затвор, который может находиться в прозрачном или непрозрачном состоянии. Затворы открываются поочередно, синхронно с чередованием кадров (или строк) стереопары. Недостаток таких очков — высокая цена и необходимость связи зрителя с ПК. Связь может быть проводной или инфракрасной.

Самые простые (и дешевые) стереоочки — пассивные, в которых для левого и правого глаз используются поляризационные фильтры, пропускающие свет определенного направления поляризации. Сложность заключается в формировании стереопары — двух изображений с разной поляризацией. Существуют матричные 3D-дисплеи, в которых четные и нечетные строки пикселей имеют различное направление поляризации, для них используется метод чередования строк. Для ЭЛТ-мониторов различную поляризацию строк не обеспечить, поскольку строки (и пикселы) в них физически не привязаны к конкретному месту на экране. Однако перед монитором можно установить управляемый светофильтр, призванный менять направление поляризации изображения синхронно со сменой кадров или строк.

Стереоизображение можно наблюдать на специальном мониторе и без очков, если развить и использовать недостаток ЖК-мониторов — зависимость от угла наблюдения. В 3D-мониторе

Sony имеет место чередование пикселей в строке и применяется специальный расщепитель изображения (дополнительный слой), благодаря которому четные пиксели видны левым глазом, нечетные — правым. Расщепитель управляемый — специальный датчик отслеживает положение головы пользователя, корректируя угол отклонения луча расщепителем (иначе голову пользователя пришлось бы фиксировать).

В *шлемах виртуальной реальности* (и в стереобиноклах) для каждого глаза формируется свое изображение, опять-таки из исходного VGA-сигнала. Здесь для каждого глаза имеется своя миниатюрная ЖК-матрица, связанная с интерфейсом через адаптер. Задача адаптера, подключенного к VGA-интерфейсу, — сформировать два композитных видеосигнала (два VGA-кабеля, подходящие к шлему, были бы слишком громоздкими). Для того чтобы из передаваемой стереопары извлечь отдельную информацию, применяют гашение кадров (при чередовании кадров), чересстрочную развертку или прогрессивную развертку с дублированием или гашением строк (при чередовании строк), дублирование кадровых импульсов (при разделении по горизонтали).

Шлем снабжается и системой виртуальной ориентации (на базе механического или оптического (квантового) гироскопов), которая посылает в компьютер информацию о положении головы наблюдателя. Эта информация управляет построением изображений в стереопарах.

Достаточно подробную и иллюстрированную информацию по различным типам дисплеев (мониторов), проекторов мультимедиа и трехмерном выводе изображений можно найти в [46], [48], [65].

10.2.2.4. Видеоадаптеры

10.2.2.4.1. Общие сведения

Видеоадаптером (дисплейным адаптером) условимся называть блок компьютера, к которому подключается дисплей — монитор (видеомонитор) на электроннолучевой трубке или матричный монитор. В обязательный круг задач этого адаптера входит формирование изображения на экране под управлением программы компьютера, выполняемое в графическом и/или алфавитно-цифровом режиме отображения. Расширенный круг задач может включать и воспроизведение на экране того же монитора «живого» видео из потока данных, полученного от компьютера или от какого-либо источника телевизионного сигнала. Первые видеоадаптеры строились на базе контроллера ЭЛТ (6845), обремененного массой микросхем средней степени интеграции. В современных дисплейных адаптерах применяются наборы специализированных интегральных схем высокой степени интеграции — *графические чипсеты*. и *видео чипсеты*. Эти микросхемы вместе с применяемыми микросхемами видеопамати определяют основные характеристики адаптеров.

10.2.2.4.2. Компоненты видеоадаптера

Рассмотрим функциональную схему видеоадаптера (рис. 10.3), которая с отдельными добавлениями или исключениями приложима практически ко всем видеоадаптерам, применяемым в РС. Поскольку адаптер предназначен для подключения монитора, его обязательным элементом является *контроллер ЭЛТ (CRT Controller)*. В задачи этого контроллера входит согласованное формирование сигналов сканирования видеопамати (адрес и стробы чтения), а также вертикальной и горизонтальной синхронизации монитора.

Контроллер ЭЛТ должен обеспечивать требуемые частоты развертки и режимы сканирования видеопамати, которые зависят от режима отображения (графического или текстового) и организации видеопамати. Опорной частотой для работы контроллера является DotCLK — частота вывода пикселей в графических режимах или точек разложения символов в текстовом режиме. В самых первых моделях адаптеров в качестве контроллера ЭЛТ применялась

микросхема Motorola 6845, и ее регистровая (программная) модель поддерживается современными адаптерами при эмуляции адаптеров CGA и MDA. В текстовом режиме этот же узел формирует и аппаратный курсор.

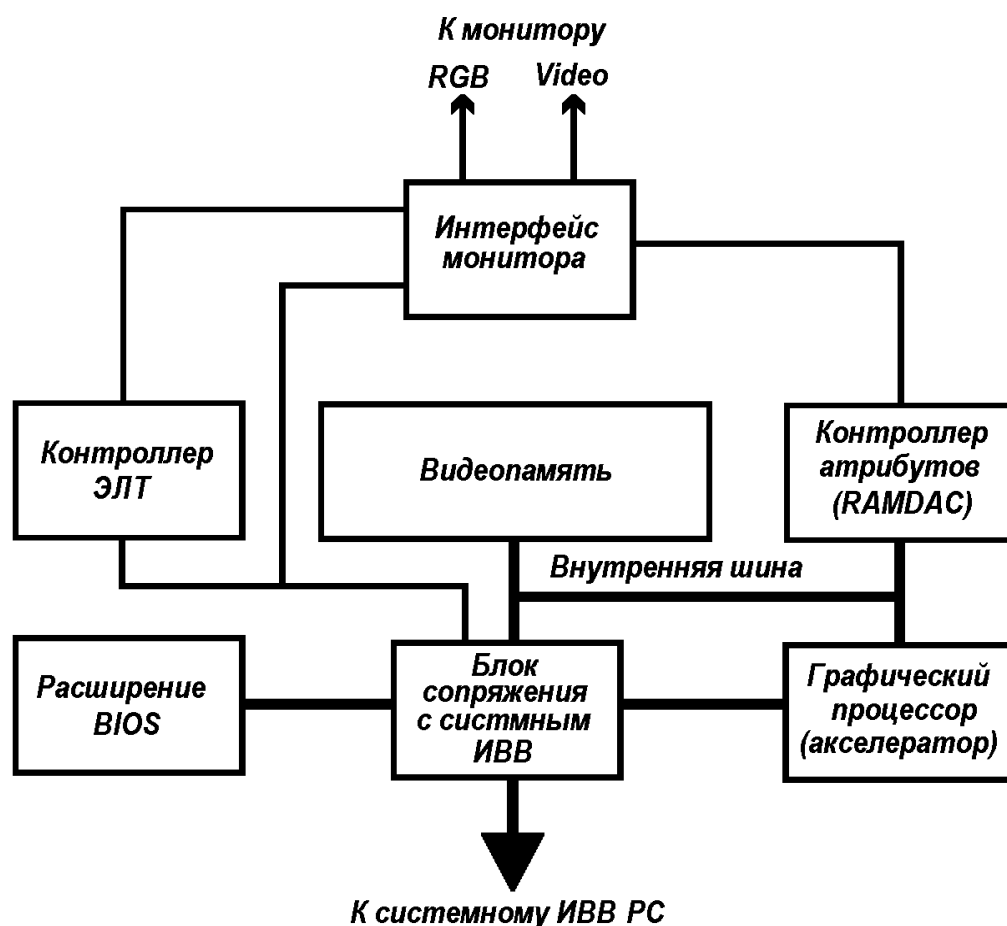


Рис. 10.3. Функциональная схема видеоадаптера

Видеопамять — это специальная область памяти, из которой контроллер ЭЛТ организует циклическое чтение для регенерации изображения. Требуемые объемы для одной страницы различных видеорежимов приведены в табл. 10.2. Если взять удвоенное значение этих объемов, то многие адаптеры позволяют организовать двухстраничный режим с переключением буферов, что полезно для вывода динамических изображений. У адаптеров с 3D-акселераторами потребности в памяти выше — десятки, сотни и даже тысячи Мбайт.

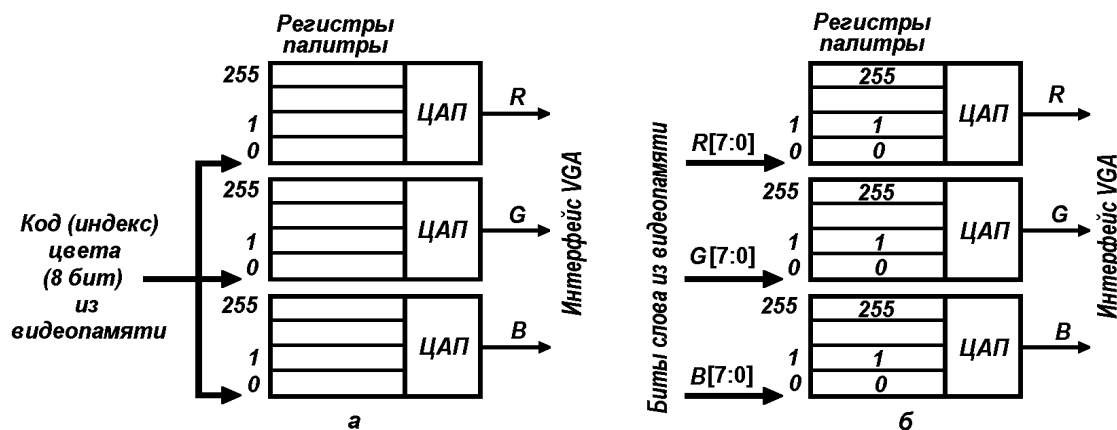
Таблица 10.2. Разрешение и требуемый объем видеопамати

Бит/пиксел	Количество цветов	640x480	800x600	1024x768	1280x1024
4	16	150Кбайт	234 Кбайт	384 Кбайт	640 Кбайт
8	256	300 Кбайт	469 Кбайт	768 Кбайт	1,25Мбайт
15	32768	600 Кбайт	938 Кбайт	1,5Мбайт	2,5 Мбайт
16	65536	600 Кбайт	938 Кбайт	1,5Мбайт	2,5 Мбайт
24	16777216	900 Кбайт	1,37 Мбайт	2,25 Мбайт	3,75 Мбайт
32 ¹	16777216	1,172Мбайт	1,83 Мбайт	3,0 Мбайт	5,0 Мбайт

¹ В режиме 32 бит/пиксел для цветопередачи используются только 24 младших бита.

Контроллер атрибутов управляет трактовкой цветовой информации, хранящейся в видеопамати. В текстовом режиме он обрабатывает информацию из байтов атрибутов знакомест (откуда и пошло его название), в графическом — из битов текущего выводимого пиксела. Контроллер атрибутов позволяет увязать объем хранимой цветовой информации с возмож-

ностями монитора. Для монохромных (не полутоновых) мониторов часть цветовой информации может описывать такие элементы оформления, как мигание, подчеркивание и инверсия знакоместь. В состав контроллера атрибутов входят *регистры палитры*, которые служат для преобразования цветов, закодированных битами видеопамати, в реальные цвета на экране. С появлением адаптеров VGA на плату видеоадаптера стали устанавливать цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) сигналов базисных цветов и число цветов стало определяться разрядностью ЦАП, которая поначалу составляла 6 бит на каждый канал, что позволяет задавать 2^{18} цветов. Для того чтобы отобразить 256 кодов цвета (8 бит на пиксел) в эти 2^{18} цветов в адаптер перед ЦАП ввели программируемые регистры, с помощью которых каждому из 256 кодов ставится в соответствие свой набор битов, посылаемый на схемы ЦАП базисных цветов. Функционально оказалось целесообразным объединить эти регистры, представляющие собой небольшое быстродействующее ОЗУ (RAM), с цифроаналоговыми преобразователями (Digital-to-Analog Converter, DAC). Эта функциональная сборка в настоящее время выполняется в виде микросхем *RAMDAC* (Random Access Memory Digital to Analog Converter). Схему преобразования с использованием RAMDAC иллюстрирует рис. 10.4. Номер регистра RAMDAC, из которого берется цвет текущего отображаемого пиксела, в режиме 256 цветов задают в видеопамати 8-битным кодом цвета пиксела (рис. 10.4, а). Казалось бы, для режимов High Color (15-16 бит/пиксел), а тем более True Color (24 бита) табличное преобразование цветов уже не требуется и биты каждого цвета можно подавать прямо на входы своего ЦАП. Однако если перед каждым ЦАП поставить отдельный блок регистров — ОЗУ объемом 256×8 , адресуемое битами данного цвета, — то можно выполнять гамма-коррекцию цвета аппаратными средствами адаптера (рис. 10.4, б). Гамма-коррекция требуется для увязки способностей цветопередачи дисплея с линейной математической моделью цветообразования графических приложений. В RAMDAC загружают таблицу, с помощью которой в выходной сигнал вводятся искажения, компенсирующие нелинейность дисплея. Однако разные типы дисплеев могут иметь разные передаточные характеристики, что для особо высоких требований к верности цветопередачи должно учитываться при программировании RAMDAC. Требование загрузки RAMDAC для всех режимов было прописано уже в спецификации PC99. Микросхемы *RAMDAC* характеризуются разрядностью преобразователей, которая может достигать до 8 бит на цвет, и предельной частотой выборки точек (DotCLK), с которой они способны работать. Естественно, чем точнее должно быть преобразование, тем труднее его выполнить быстро. Современные графические адаптеры, ориентированные на высокие разрешение и частоту развертки, имеют RAMDAC с частотой порядка 350 МГц и даже выше.



Знакогенератор предназначен для формирования растрового изображения символов в текстовом режиме отображения. Знакогенераторы адаптеров MDA/HGC и CGA программно недоступны — они выполнены в виде микросхем ПЗУ, никак не отображаемых в адресном пространстве процессора. Знакогенераторы адаптеров EGA и VGA размещаются во втором

слое видеопамати и поэтому программно доступны. При инициализации адаптера они загружаются из образов, хранящихся в ПЗУ расширения BIOS, установленных на платах графических адаптеров. Адаптер VGA позволяет одновременно хранить до восьми таблиц по 256 символов, активной (используемой для отображения) может быть либо одна из них, либо сразу две. В последнем случае набор одновременно отображаемых символов расширяется до 512, а одна из двух таблиц, требуемая для конкретного символа, определяется битом 3 его байта атрибутов.

Внутренняя шина видеоадаптера предназначена для высокопроизводительного обмена данными между видеопаматью, графическим акселератором и внешним интерфейсом. Типовая разрядность канала данных у этой шины сейчас составляет 64, 128 и даже 256 бит. Однако реально используемая разрядность может оказаться меньше, если установлены не все предусмотренные микросхемы видеопамати.

Блок сопряжения с системным ИВВ связывает адаптер с одной из шин ИВВ хоста компьютера. Если раньше для графических адаптеров предназначалась шина ISA (8 или 16 бит), то современные графические адаптеры используют в основном высокопроизводительные шины. Локальная шина VLB довольно быстро сошла со сцены вместе с процессорами класса 486. В настоящее время для этих целей используется шина ИВВ PCI-E, сменяющая на этом поприще порт AGP. Графический контроллер встраивается и в некоторые чипсеты системных плат.

Блок интерфейса монитора формирует выходные сигналы соответствующего типа (RGB-TTL, RGB-Analog, композитный видеосигнал или S-Video). Этот же блок отвечает за диалог с монитором: в простейшем случае - чтение битов идентификации (для VGA-мониторов), а в более сложном - обмен данными по каналу DDC. Идентификация типа подключенного монитора VGA может производиться и по уровню видеосигнала на выходах красного или синего цвета: монитор имеет терминаторы (75 Ом) на каждом из аналоговых входов. Такая нагрузка при подключении снижает напряжение выходного сигнала. У монохромного монитора используется только канал зеленого цвета — линии красного и синего остаются без нагрузки. Этот факт может зафиксировать интерфейсный блок и сообщить системе об обнаружении монохромного монитора. Правда, бывают и конфузы: если у цветного монитора отключить терминаторы (некоторые большие мониторы позволяют это сделать), то система примет его за монохромный.

Современные видеоадаптеры выполняют ряд дополнительных функций:

- ускорение выполнения графических операций, связанных с формированием двухмерных (2D) и трехмерных (3D) графических образов на экране монитора (эти функции выполняет графический процессор или акселератор);
- прием телевизионных программ и просмотр их на экране монитора;
- прием радиопрограмм;
- ввод в РС отдельных кадров или целых видеофрагментов;
- формирование стандартного телевизионного сигнала (функция TV-out);
- воспроизведение Video-CD и DVD в полноэкранном режиме и др.

Информацию о реализации этих функций в рамках видеосистемы ПК можно найти в [8], [46] в периодической печати и в Интернет.

Контрольные вопросы к разделу 10.2.2

1. Сформулируйте общие сведения по подсистеме взаимодействия с пользователем.
2. Сформулируйте общие сведения по подсистеме ввода-вывода визуальной информации.
3. Сформулируйте общие сведения по видеосистеме ПК.
4. Сформулируйте общие сведения о принципах вывода изображений в видеосистеме.

5. Охарактеризуйте графический режим вывода информации в видеосистеме.
6. Охарактеризуйте текстовый режим вывода информации в видеосистеме.
7. Охарактеризуйте особенности обработки видеоизображений.
8. Для чего используется фрейм-граббер?
9. Для чего предназначен TV-тюнер?
10. Как выполняется сжатие движущихся изображений?
11. Кратко охарактеризуйте стандарты MPEG-1 – MPEG-4.
12. Для чего используются графические акселераторы и графические сопроцессоры?
13. Чем отличается акселератор от сопроцессора?
14. Что понимается под трехмерной графикой?
15. Какая последовательность операций выполняется при реализации графического 3D-конвейера?
16. Сформулируйте общие сведения об устройствах отображения.
17. Охарактеризуйте электронно-лучевой дисплей.
18. Перечислите разновидности матричных дисплеев.
19. Охарактеризуйте дисплей на жидкокристаллических панелях.
20. Охарактеризуйте газо-плазменные панели.
21. Охарактеризуйте электролюминесцентные тонкопленочные дисплеи.
22. Охарактеризуйте органические светодиодные дисплеи.
23. Охарактеризуйте электрофоретические отражающие дисплеи.
24. Охарактеризуйте дисплеи на базе бистабильных ЖК-структур (ChLCD и PABN LCD).
25. Охарактеризуйте дисплеи на базе технологий SED, FED и NED.
26. Охарактеризуйте технологию LCoS (Liquid Crystal on Silicon — жидкие кристаллы на кремнии).
27. Охарактеризуйте способы вывода трехмерного изображения.
28. Сформулируйте общие сведения о видеоадаптерах.
29. Кратко охарактеризуйте основные компоненты видеоадаптера.

Более полную информацию по видеосистеме ПК можно найти в [8], [20], [22], [46], [48].

В данном разделе использованы материалы из [8], [20], [39], [46], [48], [50].

10.2.3. Устройства ввода-вывода, использующие носители твердых копий визуальной информации

10.2.3.1. Общие сведения

К устройствам ввода-вывода, использующим носители твердых копий визуальной информации относятся: печатающие устройства (принтеры), позволяющие выводить на бумажный носитель твердые копии текстовой и, как правило, графической визуальной информации; графопостроители (плоттеры), позволяющие выводить на бумажный или пленочный носитель твердых копий графической информации, как правило, в векторной форме; устройства ввода с бумажных или пленочных носителей твердых копий визуальной информации — различные сканеры, могут использоваться цифровые фотоаппараты.

10.2.3.2. Принтеры и плоттеры

10.2.3.2.1 Общие сведения

Принтер — это устройство, способное выводить изображение, как правило, текста на бумагу или пленку. Плоттер (графопостроитель) тоже выводит изображение, но он его не печатает, а

вычерчивает (современные плоттеры выводят изображение тем же растровым способом, что и принтеры, но, в отличие от принтеров, изображение для плоттеров описывается векторным способом и представляется в пиксельном формате). Принтеры и плоттеры создают так называемые *твердые копии* (hard copy) документов; твердость означает невозможность их последующей произвольной модификации (стирания и подчистки в расчет не берутся). По этому признаку принтеры и плоттеры относятся к *пассивным устройствам графического вывода*, их противоположность — активные устройства вывода — видеомониторы (дисплеи).

По способу печати принтеры разделяются на буквопечатающие (полнопрофильные) и знаковосинтезирующие, а также последовательные и параллельные. В последовательных принтерах печать осуществляется поэлементно с продвижением по строке, и после прохода строки переходят к печати следующей строки. В них за один цикл печати формируется один символ. В параллельных принтерах за один цикл печати строка печатается целиком. Существуют устройства постраничной печати, в которых за один цикл печати формируется страница (например, лазерные принтеры). *Полнопрофильные принтеры* способны печатать только символы из фиксированного набора, что ограничивает область их применения. Вместе с тем, у них есть преимущество в качестве печатаемых символов, а в ряде случаев — и в скорости печати. Таких принтеров существовало (и поныне существует) несколько типов. *Знакосинтезирующие*, они же матричные, принтеры позволяют печатать произвольные изображения. По способу нанесения красителя они делятся на ударные (игольчатые), термические, струйные и лазерные, хотя под матричными, как правило, подразумевают именно игольчатые.

10.2.3.2. Матричные игольчатые принтеры

Игольчатые принтеры — это первые матричные печатающие устройства ПК. По нынешним меркам их разрешение низкое (до 360 dpi), скорость и качество невысокие, цветопередача плохая, и они самые шумные. Однако они неприхотливы к бумаге, могут работать под копирку (и без ленты) и дают механический оттиск.

Игольчатые принтеры (dot matrix printer) имеют печатающую головку, на которой расположена матрица игольчатых молоточков, управляемых электромагнитами. Иголочки ударяют по бумаге через красящую ленту, бумага лежит на валике, перемещаясь только продольно (перевод строк выполняется поворотом валика), но в обоих направлениях. Перемещение по строке выполняет сама печатающая головка. Управляет всей механикой встроенный микроконтроллер принтера. В его ведении находятся шаговые двигатели подачи бумаги и перемещения головки по строке, а также приводы иголок, которых может быть от 8 до 24. На принтере имеются механические или оптоэлектронные датчики крайних положений каретки, а также датчик конца бумаги. Управляя этими механизмами и пользуясь датчиками, можно вывести любое изображение. Во время печати головка движется по строке слева направо, и ударами иголок отпечатываются требуемые точки. После того как строка отпечатана, передвигается бумага и выполняется печать следующей строки. Если бумагу не перемещать, то можно повторно пропечатывать отдельные элементы (символы), и они будут выглядеть ярче. Печать может выполняться и на обратном ходе головки (это экономит время), хотя из-за люфтов механики возможно не очень точное совмещение точек, отпечатанных на прямом и обратном ходе.

Матричные принтеры могут работать как в графическом, так и в символьном режиме. Развертку символов в точечное изображение выполняет встроенный процессор (микроконтроллер) принтера, у которого есть ПЗУ с таблицами знакогенераторов. Обычно принтеры имеют несколько таблиц (для разных языков и шрифтов), переключаемых программно (по командам от компьютера), аппаратно (переключателями на принтере) или с помощью кнопок панели управления принтером.

Контроллер принтера по интерфейсу принимает от компьютера поток байтов, содержащий данные для печати и управляющие команды. Данные принимаются в буферное ОЗУ, откуда

извлекаются и интерпретируются в соответствии с возможностями электромеханики. Принтер обеспечивает обратную связь с компьютером: управляет потоком (останавливает по заполнении буфера) и сообщает свое состояние — готовность (On-Line), конец бумаги (Paper End), ошибка (Error). Это позволяет программе работать с принтером не вслепую и сообщать пользователю о необходимости вмешательства.

Разрешающая способность матричного принтера определяется размером матрицы иголок, но и не только им. Точки можно пропечатывать, смещая головку (влево вправо) и бумагу (вверх вниз) даже на долю шага, так что точки сольются в почти гладкую линию. Принтеры, как правило, могут работать в режимах с различным разрешением: от малого разрешения для быстрой печати черновиков (draft) до разрешения NLQ. (Near Line Quality — качество печати, близкое к гладким буквам пишущих машинок), считающегося высоким.

Цветные матричные принтеры работают с многоцветной (обычно трехцветной) красящей лентой. Каждая строка печатается за несколько проходов головки, и на каждый проход устанавливается лента определенного цвета. Конечно, эта цветная печать происходит небыстро, да и качество цветопередачи невысокое.

Параллельные матричные принтеры (например, Mannesmann Tally) не имеют подвижной печатающей головки — у них иголки расположены вдоль всей печатаемой строки. За счет этого печать происходит очень быстро (с той же скоростью, что и у барабанных буквопечатающих принтеров). Горизонтальное разрешение у этих принтеров не обязательно определяется числом иголок: печатающий блок может немного перемещаться вдоль строки, и каждая строка может быть отпечатана за несколько ударов со смещением на каждом ударе точек друг относительно друга на доли шага иголок. От этих принтеров в основном требуется высокая скорость печати символов, так что механизм повышения разрешения, безусловно снижающий скорость, может включаться лишь для графической печати и «экзотических» шрифтов. Эти принтеры, как правило, широкие и работают с рулонной и фальцованной бумагой с перфорацией по краям (фрикционная подача на большой длине всегда будет уводить бумагу в сторону). Принтеры очень дорогие, но при большом объеме текстовой печати весьма эффективные. Расходный материал — красящая лента.

10.2.3.2.3. Термопринтеры

Термопринтеры по конструкции напоминают игольчатые, но вместо ударов иголок по красящей ленте их головки нагревают отдельные точки специальной термочувствительной бумаги. Эти принтеры отличаются практически бесшумной работой, правда, скорость печати невысока. Главный недостаток — требуется специальная бумага, изображение на которой получается не очень устойчивым (на солнечном свете и при нагревании бумага темнеет). В настоящее время термопринтеры практически не выпускаются, и бумага для них может быть дефицитом. Термопечать используется в факс-машинах.

10.2.3.2.4. Струйные принтеры

Струйные принтеры InkJet (ink — чернила, jet — струя), как и термопринтеры, конструктивно аналогичны матричным игольчатым принтерам, но вместо удара по бумаге через красящую ленту они «стреляют» по бумаге каплями специальных (быстросохнущих) чернил из микроскопических сопел. Для формирования капли используется несколько способов:

- В электростатических принтерах из сопла выбрасывается непрерывная серия капель — технология называется CIJ (Continuous InkJet). С помощью управляющего электрода часть капель отклоняется в сборник (на рециркуляцию), часть летит на бумагу. Этой технологии свойственна высокая скорость печати. Есть вариант технологии и с «каплями по требованию» (Drop On Demand, DOD), без рециркуляции; эта печать происходит медленнее.

- В пьезоэлектрических принтерах (основная технология фирмы Epson) капли выстреливаются механическими микронасосами на пьезоэлементах. Эти принтеры чувствительны к пузырькам воздуха в чернилах. Управляемость размером капли и отсутствие «сателлитов» (мелких брызг вокруг основной капли) — свойства, полезные при полутоновой печати. Головки дорогие, но долговечные (при «правильных» чернилах), цена печати ниже.
- В пузырьковых (термоструйных) принтерах (bubble-jet), выпускаемых фирмами HP, Lexmark, Canon, Xerox, капля выталкивается пузырьком пара (от микроскопического нагревательного элемента). Взрыв плохо управляем, вокруг капли присутствуют мелкие «сателлиты». Ресурс головок ограничен, но они дешевые и легко меняются. Разрешение — до 1200-2400 dpi.

Число сопел в головке измеряется десятками и сотнями. По конструкции они бывают с отдельными сменными чернильницами и с чернильницами, совмещенными с головкой. В совмещенном варианте предусматривается дозаправка чернильниц. Струйные принтеры работают тихо, скорость печати определяется режимом: черновая — быстро, качественная, особенно цветная печать — довольно медленно. Однако достигается высокое качество печати. По включении питания принтер выполняет серию манипуляций с головкой и чернильницами, подготавливая их к работе. Чтобы сопла не высыхали, головка паркуется в специальном месте.

10.2.3.2.5. Твердокрасочные и сублимационные принтеры

Твердокрасочные (Solidink) принтеры можно рассматривать как варианты струйных. В этих принтерах восковая краска расплавляется и через сопла головки наносится на вал переноса, с которого потом накатывается на бумагу. Головка принтера неподвижная, печатается вся строка целиком, что обеспечивает высокую скорость печати. Разрешение — 1200 dpi, отпечатки качественные, глянцевые, но боятся нагрева. По расходным материалам печать дешевая. Во время разогрева принтер потребляет большую мощность. Принтеры «не любят» отключений (слишком долго запускаются).

Сублимационные (термодиффузионные) принтеры обеспечивают самую высококачественную цветную печать (цвета смешиваются на бумаге). Здесь краска испаряется с ленты и переходит на бумагу (впитывается), степень нагрева испарителя регулируется (256 ступеней), за счет чего меняется интенсивность каждой точки. Для каждого базисного цвета (краски) выполняется свой проход, поэтому печать медленная. Принтеры имеют разрешение 1400 dpi (цветных точек!) и выше. Печать дорогая — дороги и принтер, и расходные материалы.

10.2.3.2.6. Лазерные и светодиодные принтеры

В лазерных и светодиодных (LED) принтерах используется электрофотографическая печать — технология переноса изображения на бумагу, издавна применяемая в копировальных аппаратах. В *лазерном принтере* имеется барабан, покрытый фоточувствительным полупроводником. Поверхность барабана электризуется, после чего модулированный лазерный луч сканирует всю поверхность барабана, разряжая засвеченные участки. Сканирование осуществляется с помощью вращающегося зеркала, направляющего луч на поверхность барабана, и вращения самого барабана. К разряженным точкам поверхности притягивается тонер — очень мелкий красящий порошок, формируя на барабане изображение полного листа. Далее синхронно с вращением барабана по нему прокатывается наэлектризованный лист бумаги, и частички тонера переходят на лист. Затем бумага с тоном прокатывается через горячие валки, и тонер припекается к бумаге, после чего лист выводится из принтера. Таким образом, лазерный принтер является постраничным печатающим устройством — он может печатать страницу только целиком, не имея возможности остановиться посреди стро-

ки (как последовательный) или листа (как построчный). Цветная печать осуществляется в несколько проходов — каждый раз со своим цветом тонера. Есть модели цветных лазерных принтеров и с однопроводной цветной печатью. Лазерные принтеры обеспечивают высокое качество печати, они обладают самым высоким разрешением (600, 1200, 2400 dpi) и работают только с листовой бумагой высокого качества, пачка которой загружается в лоток. Принтеры печатают и на пленку, используемую в полиграфии в качестве оригинал-макетов. Специально для печати на пленку принтеры имеют возможность зеркальной печати изображения (именно так печатают макеты книг).

В **светодиодных принтерах** используется тот же электрографический принцип, но вместо лазерной головки (с вращающимся зеркалом и т. п.) имеется линейка светодиодов. Количество светодиодов (размер линейки) определяет разрешение принтера. Конструкция получается проще и компактнее, что позволяет в цветных принтерах устанавливать по ходу бумаги четыре картриджа с барабанами, тонером и LED-линейками. При этом цветная печать выполняется за один проход. В лазерных принтерах такая компоновка затруднительна.

Лазерные принтеры имеют мощные встроенные процессоры и большой объем буферной памяти, поскольку они должны хранить изображение целой страницы с высоким разрешением. Объемом буферной памяти определяется максимальное разрешение. Особенно много памяти требует цветная печать. Если памяти недостаточно, то принтер печатает только часть изображения на листе — данные для оставшейся части изображения он принимает позже и печатает ее на следующем листе. Можно, конечно, вручную подать лист с первой частью изображения — продолжение будет допечатано, правда, точность совмещения невысока (из-за люфтов бумаги).

Память лазерного принтера может быть расширена установкой дополнительных модулей динамической памяти, однако ряд моделей довольно капризны по отношению к типам устанавливаемых модулей. Внутреннее ПО принтера, хранящееся в его ПЗУ, может также быть расширено путем установки дополнительных модулей (PostScript, см. далее) — как правило, флэш-памяти.

Органы управления «персональными» лазерными принтерами минимизированы (как у струйных). Мощные принтеры с несколькими лотками для подачи бумаги и различными вариантами настройки часто имеют небольшой жидкокристаллический дисплей и кнопки, позволяющие управлять принтером с помощью меню.

10.2.3.2.7. Цветная печать и фотопринтеры

Цветная и полутоновая печать имеет свои сложности, поскольку большинство типов принтеров могут точку либо печатать, либо не печатать. Непосредственно управлять яркостью и цветом (яркостью базисных цветов) пиксела (как у мониторов) большинство технологий печати не позволяет. Цветной (полутоновой) пиксел в принтерах образуется из группы точек; число отпечатанных точек в группе определяет насыщенность пиксела. Для цветных принтеров различают два основных параметра:

- *Линиатура* — шаг полноцветных (полутоновых) пикселов печати, измеряется в lpi (lines per inch — число линий на дюйм). Газеты печатают с линиатурой 80-90 lpi, журналы — 133-150 lpi, высококачественная печать требует более 150 lpi (бывает и 300 lpi).
- *Разрешение принтера* — шаг точек печати, измеряется в dpi (dot per inch — число точек на дюйм). Заметим, что 1200 dpi соответствует шагу точек 21 мкм.

Линиатура связана с разрешением, со способностью принтера управлять яркостью точек и с желаемым количеством градаций полутонов. В большинстве случаев 256 градаций (как это позволяют мониторы) не требуется (мы видим не более 150).

В большинстве принтеров для получения полутонов применяется *растрирование* — представление пиксела группой соседних точек (растром). Если каждый пиксел собирается из

матрицы 10х10 черно-белых точек, то, меняя число отпечатываемых точек, можно получить 101 градацию насыщенности. При этом очевидно, что линиятура (lpi) будет в 10 раз меньше разрешения (dpi). В качестве примера можно привести принтер HP LJ1200 — при разрешении 1200 dpi он обеспечивает линиятуру 180-212 lpi. Из этих рассуждений становится понятно, почему печать полутоновых изображений (черно-белых фотографий) на принтере с разрешением 600 dpi дает неудовлетворительное качество.

Для того чтобы повысить линиятуру, нужно повысить разрешение принтера, попытаться управлять яркостью элементарной точки или снизить число градаций (пожертвовать передачей полутонов). В случае цветной полутоновой печати вышеприведенные рассуждения относятся к каждому базисному цвету. В цветной печати применяют базисные цвета модели CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black — бирюзовый, пурпурный, желтый, черный), для каждого цвета используется свой растр (с разными наклонами, чтобы избежать интерференции). Последний цвет (черный) требуется постольку, поскольку получить действительно черный цвет смесью трех базисных цветов (как в модели RGB) проблематично.

Фотопринтеры отличаются от обычных принтеров улучшенной передачей полутонов. Здесь прибегают к различным ухищрениям, чтобы растр был незаметным. Особенно неприятны бледные цвета — точки в растре редки. В фотопринтерах применяются различные технологии: управление яркостью точек пусть даже с небольшим числом градаций (например, путем изменения размеров капли), применение дополнительных бледных чернил (фактически, это дополнительная градация яркости), повышение разрешения. Для высококачественной печати требуются специальная бумага, а также калибровка цветопередачи. Фотопринтеры выпускают и с уменьшенным форматом листа (например, A5 или 10×15 см).

Фотопринтеры могут иметь и другие особенности. В ряде моделей возможно подключение флэш-карт цифровых фотоаппаратов для непосредственной печати изображения. В этом случае принтер снабжается дисплеем, с помощью которого можно выбрать нужное изображение и даже выполнить какую-то предварительную обработку (обрезать края, поменять контрастность, откорректировать цвет и т. п.).

10.2.3.2.8. Плоттеры

Плоттеры, они же графопостроители, предназначены для вывода чертежей. Плоттеры являются векторными устройствами (по крайней мере, по входным данным). В плоттерах первых поколений пишущий инструмент перемещался по траектории, заданной отображаемой в данный момент фигурой. Плоттер способен рисовать графические примитивы: точку, отрезок прямой, дугу, эллипс (окружность как его разновидность), прямоугольник. Поток данных, получаемый плоттером, содержит команды рисования этих примитивов и параметры. Многие плоттеры «понимают» и команды написания текста. Плоттеры позволяют выводить изображения на листы разного формата — от A4 у настольных устройств до A1 и A0 у крупных напольных устройств. По способу обеспечения движения пишущего инструмента относительно бумаги различают *планшетные* и *рулонные* плоттеры.

В *планшетном плоттере* лист бумаги укладывается на плоский стол и неподвижно закрепляется. На небольших устройствах лист по краям прижимается металлическими полосками к магнитному столу. На устройствах большого формата листы иногда присасываются воздухом через специальные отверстия в столе. Над столом в одном направлении перемещается каретка, вдоль которой перемещается пишущая головка. Вся эта конструкция, напоминающая мостовой кран, приводится в движение двумя шаговыми двигателями, обеспечивающими перемещение пишущей головки по всей поверхности листа. Точность позиционирования измеряется десятymi и даже сотыми долями миллиметра. Головка перьевого плоттера снабжена пишущим пером. На головке имеется соленоид, который прижимает перо к бумаге в нужных местах. У струйного плоттера головка такого же типа, как и у струйного принтера (черно-белая или цветная). Приводы позиционирования и пишущего узла

управляются встроенным микроконтроллером в соответствии с принимаемым потоком команд.

В *рулонном плоттере* имеется горизонтальный барабан, на который кладется лист бумаги и прижимается к барабану валиками. Края листа свободно свисают вниз (это напольные конструкции). Пишущая головка перемещается по направляющей только вдоль оси барабана. Вращение барабана (в обоих направлениях) и перемещение головки совместно обеспечивают взаимно перпендикулярные перемещения пишущего инструмента относительно бумаги. Однако в рулонном плоттере при повторных прогонах довольно трудно обеспечивать точное позиционирование бумаги. Из-за этого требуется очень высокоточная (а потому и дорогая) механика.

Современные струйные рулонные плоттеры сделаны несколько иначе. По сути дела они являются растровыми струйными принтерами, головка которых имеет ряд (и не один) сопел. При выводе бумага в них по барабану прокатывается всего один раз, в одном направлении, и за этот проход растровым способом выводится все изображение. Растеризация изображения производится во внутреннем ОЗУ огромного размера, но на данном этапе развития технологии это проще, чем делать сложную механику.

Перьевой плоттер способен выбирать перья (по цвету чернил, типу и толщине) из имеющихся у него в распоряжении.

Интерфейс подключения плоттера — параллельный или последовательный. В отличие от принтеров, для плоттеров интерфейс не является узким местом — передача графических команд даже по последовательному интерфейсу происходит гораздо быстрее их механического исполнения.

Помимо рисующих плоттеров существуют и режущие плоттеры (cutter), в них вместо пишущей имеется режущая головка с механическим или лазерным резакком.

10.2.3.2.9. Форматы данных

Современные принтеры способны работать в любом режиме — графическом или текстовом. После включения питания и аппаратного или программного сброса принтер готов к получению *текстовых данных и команд*. Принтеры, как правило, работают в расширенной (8-битной) таблице ASCII-кодов. Первые 32 кода (0-1Fh) используются для управляющих символов, непосредственно не отображаемых принтером. Далее следуют коды специальных символов, цифр, прописных (uppercase — верхний регистр) и строчных (lowercase — нижний регистр) букв латинского алфавита. Коды 80-FFh требуются для знаков национальных алфавитов (в частности, русского) и символов псевдографики. Из управляющих кодов, используемых при печати в символьном режиме, особо отметим коды возврата каретки (CR, 0Dh), перевода строки (LF, 0Ah) и формата (FF, 0Ch). Если принтеру задан режим AutoLF, то по коду возврата каретки принтер будет автоматически выполнять и перевод строки. Этот режим может быть задан конфигурированием принтера, а также специальным сигналом интерфейса Centronics. Файлы для печати в конце каждой строки, как правило, содержат пару кодов — CR и LF (последовательность байтов 0Dh, 0Ah), и при их распечатке в режиме AutoLF будут пропускаться пустые строки. Обычно режим AutoLF не используют. По трактовке управляющих кодов среди матричных принтеров распространены две основные системы команд: IBM (для принтера IBM Pro-Printer) и Epson. Практически все команды изменения режимов печати (переключение шрифтов, изменение размера, эффекты печати и т. п.), а также переключения в графический режим, начинаются с кода Escape (Esc, 1Bh). Далее следует один или более байтов кода команды; формат последовательности определяется первым байтом (командой), следующим за кодом Esc. Вся эта конструкция называется Escape-последовательностью.

Для графической печати существует множество языков со своими системами команд.

Для лазерных принтеров фирма Hewlett-Packard разработала специальный язык *PCL* (Printer Control Language), в котором помимо управляющих команд, аналогичных Escape-последовательностям матричных принтеров, имеются и графические, описывающие рисование геометрических примитивов. В языке имеются и средства работы со встроенными шрифтами принтера, обеспечивающие масштабирование и повороты букв. Язык PCL поддерживают ряд струйных принтеров. Использование языка PCL позволяет сократить объем данных, передаваемых принтеру для печати сложных изображений, состоящих из текста и графики, по сравнению с растровым форматом.

Язык *PostScript* также предназначен для лазерных принтеров. В этом языке вся страница описывается в векторном виде. Шрифты задаются контурами (линиями Безье), и их растеризацией (в нужном цвете) занимается встроенный процессор принтера в соответствии с возможностями принтера и выбранным разрешением печати. Векторное описание всех объектов (символов и геометрических фигур) обеспечивает возможность точного выполнения трансформаций (масштабирования, позиционирования, поворотов, зеркальных отражений). При этом файл печати не зависит от типа принтера (или иного устройства) — требуется только поддержка версии языка, на которой создан файл. Шрифты, используемые для отображения страницы, передаются в файле печати в компактном векторном виде. Кроме того, в принтер PostScript встроено большое количество стандартных шрифтов, которые позволяют еще больше экономить память. Реализация PostScript требует наличия у принтера мощного встроенного процессора, ОЗУ и ПЗУ большого объема.

Для *плоттеров*, которые получают исключительно векторные команды рисования, существует несколько различных языков. Общепринятым является язык *HP-GL*, его понимают все плоттеры и практически все прикладные программы, выполняющие графический вывод на плоттер.

10.2.3.2.10. Интерфейсы принтеров и плоттеров

Современные принтеры, печатающие графические изображения (в том числе текст в графическом режиме) с высоким разрешением, требуют высокоскоростной передачи данных по интерфейсу подключения. Параллельный периферийный ИВВ для этого уже работает на пределе возможностей, обеспечивая скорость передачи до 0,5 Мбайт/с в режиме ECP или EPP. В качестве интерфейса подключения в последнее время стали чаще применять ИВВ USB с его удобным кабелем; в версии 1.0 она обеспечивает скорость до 1,5 Мбайт/с, а версия 2.0 дает скорость уже до 24 Мбайт/с. В принтерах может применяться и ИВВ SCSI, но широкого распространения он не получил. Также пока очень сдержанно применяется ИВВ FireWire.

Принтеры, особенно мощные, часто применяют для совместной работы в сети — задания на печать могут посылать пользователи с разных компьютеров. Разделяемый принтер может соединяться с сетью разными способами:

- Принтер может подключаться обычным периферийным ИВВ (параллельным или USB) к компьютеру, включенному в сеть. Этот компьютер становится принт-сервером, для чего у него должно быть запущено специальное ПО.
- Принтер может подключаться параллельным (или последовательным) периферийным ИВВ к *аппаратному принт-серверу*, подключенному к сети.
- Принтер может непосредственно подключаться к сети, как правило, по интерфейсу Ethernet, разъемом BNC (10Base2) к коаксиальному кабелю (шине) или RJ-45 (10BaseT или 100BaseTX) витой парой к сетевому концентратору. Сетевой интерфейс имеют мощные лазерные принтеры.

10.2.3.3. Сканеры

Сканеры являются растровыми устройствами ввода изображения с оригинала — изображения на промежуточном носителе (бумаге или пленке). При сканировании фрагмент оригинала освещается белым светом, отраженный свет фокусируется на фотоприемнике — ПЗС-линейке (ПЗС — прибор с зарядовой связью, английский термин — Couple-Charged Device, CCD). В линейке свет преобразуется в накопленный заряд, его «профиль» (разложение по строке) сдвигается по линейке и последовательно выводится в АЦП. Таким образом получается цифровой поток, отображающий яркость элементов (пикселей) строки. Оцифрованное изображение запоминается во внутренней памяти сканера, каретка с лампой и линейкой сдвигается и сканируется следующая строка. В памяти делается предварительная обработка изображения, и данные выводятся через периферийный ИВВ в компьютер. Объем передаваемых данных определяется разрешением, глубиной цвета (глубиной сканирования) и размером сканируемой области. Поток данных может быть большим, так что интерфейс может стать узким местом, определяющим производительность ввода изображения. На производительность работы со сканером влияют и параметры собственно сканера, и параметры компьютера, к которому он подключен (желательны большой объем ОЗУ и быстрая дисковая подсистема).

Существуют сканеры разнообразных конструкций, различающиеся по назначению, параметрам и цене.

В *ручных сканерах* головка с лампой прокатывается вручную. Ручные сканеры довольно дешевые (в них отсутствует сложная механика), однако геометрическая точность низкая (зависит и от твердости руки оператора). Ручные сканеры позволяют сканировать любые поверхности, в том числе внутренние стенки коробок и углов стен.

В самых распространенных *планшетных сканерах* оригинал кладется на стеклянный стол (как в копировальном аппарате) и под ним автоматически продвигается каретка с лампой и линейкой. Эти сканеры при умеренной цене обеспечивают высокую точность, но размер оригинала ограничен (А4, А3).

В *листопротяжных* (рулонных) *сканерах* лист протягивается над неподвижной кареткой (как в факсе) приводом. Преимущество — неограниченная длина оригинала (можно сканировать рулоны показаний самописцев).

В *барабанных сканерах* оригинал вкладывается в барабан; вращение барабана и перемещение головки (лампы с фотоприемником) дают возможность последовательного поточечного сканирования на одном фотоприемнике. При этом обеспечивается очень высокое качество цветопередачи (точность и динамический диапазон), поскольку все точки изображения воспринимаются (последовательно) одним фотоприемником. В других типах сканеров всегда имеется погрешность от неидентичности элементов ПЗС-линейки.

Для цветного сканирования изображение должно быть разложено на базисные цвета (RGB). В трехпроходных сканерах используется одна линейка, и на каждом проходе устанавливается свой светофильтр. В однопроходных сканерах свет разделяется на 3 потока, каждый через свой светофильтр попадает на свою линейку.

Основные параметры сканера относятся к его оптике и механике.

Оптическим разрешением (измеряется в dpi) считается разрешение по горизонтали, оно определяется разрешением ПЗС-линейки. Разрешение по вертикали называется *механическим*, оно определяется шагом двигателя привода. Механическое разрешение проще повышать, и оно может быть выше оптического. Внутренней обработкой изображения в сканере разрешение по обеим осям выравнивается. Это разрешение, называемое *интерполяционным*, может быть выше оптического. Можно установить и меньшее интерполяционное разрешение (объединением пикселей), при этом уменьшается поток данных, передаваемых при сканиро-

вании в компьютер.

Глубина цвета (глубина сканирования) определяется разрядностью АЦП. В большинстве случаев приложениям достаточно 24 бита на пиксел. Внутренняя разрядность сканера может быть выше (30-36 бит), что позволяет выполнять цветокоррекцию без потерь. Правда, младшие биты могут оказаться шумом.

Динамический диапазон сканирования определяется как разность максимальной и минимальной оптических плотностей оригинала, воспринимаемых сканером. В основном оптическая плотность зависит от качества АЦП. Оптическая плотность (Density, D) определяется в логарифмических единицах: $D = \lg(I_{\text{пад}}/I_{\text{отр}})$, $I_{\text{пад}}$ — интенсивность падающего света, $I_{\text{отр}}$ — интенсивность отраженного (для прозрачных оригиналов — прошедшего) света. $D=0,0$ — идеально белый цвет, $D=4,0$ — идеально черный цвет.

Для различных оригиналов характерен различный динамический диапазон: газетная бумага обеспечивает диапазон в пределах 0,9; мелованная — 1,5-1,9; фотоснимки — 2,3; фотопленки, слайды — 2,8-4,0. Дешевые сканеры имеют динамический диапазон 1,8-2,5; цветные планшетные — 2,5-3,8; барабанные — 3,4-4,0.

Скорость (время) сканирования: может сильно зависеть от компьютера и интерфейса (в идеале сканирование идет непрерывно, чаще — частями).

Для подключения сканеров используются различные периферийные ИБВ: SCSI, USB, LPT-порт, FireWire и др.

Для работы со сканерами используют стандартное приложение (драйвер и графический интерфейс) *TWAIN* (Tool Without An Interesting Name), обеспечивающее взаимодействия сканера с прикладными пакетами ПО. Его функции — установка параметров и области сканирования, предварительное сканирование и просмотр, цветокоррекция и постобработка изображения, передача данных в приложение.

Контрольные вопросы к разделу 10.2.3

1. Сформулируйте общие сведения об устройствах ввода-вывода, использующих носители твердых копий визуальной информации.
2. Сформулируйте общие сведения о принтерах и плоттерах.
3. Кратко охарактеризуйте матричные игольчатые принтеры.
4. Охарактеризуйте термопринтеры.
5. Охарактеризуйте струйные принтеры.
6. Охарактеризуйте твердокрасочные и сублимационные принтеры.
7. Охарактеризуйте лазерные и светодиодные принтеры.
8. Охарактеризуйте особенности цветной печати и фотопринтеры.
9. Кратко опишите разновидности плоттеров.
10. Кратко охарактеризуйте форматы данных, используемых принтерами и плоттерами и языки описания печатных страниц и графики.
11. Кратко охарактеризуйте требования к интерфейсам подключения принтеров и плоттеров.
12. Охарактеризуйте разновидности сканеров.

Дополнительную информацию по рассмотренным устройствам можно найти в [1], [8], [51], [52], в периодической печати и в Интернет. Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данного раздела можно найти в [65, 66].

В данном разделе использованы материалы из [8].

10.3. Подсистема ввода-вывода звуковой информации

10.3.1. Общие сведения

К системе ввода-вывода звуковой информации можно отнести две подсистемы: *аудиосистему ПК* и систему ввода-вывода речевой информации.

10.3.2. Аудиосистема ПК

10.3.2.1. Общие сведения

Изначально компьютер IBM PC имел канал звукового вывода - PC Speaker, превращающий компьютер в простейший синтезатор. Пройдя путь от программно-управляемого динамика до современных цифровых аудиокодексов, синтезаторов и сигнальных процессоров, современные ПК стали полноправными участниками процесса создания, записи, редактирования и воспроизведения аудиоинформации высокого качества. Представление о наборе аудиосредств современного мультимедийного компьютера дает рис. 10.5.

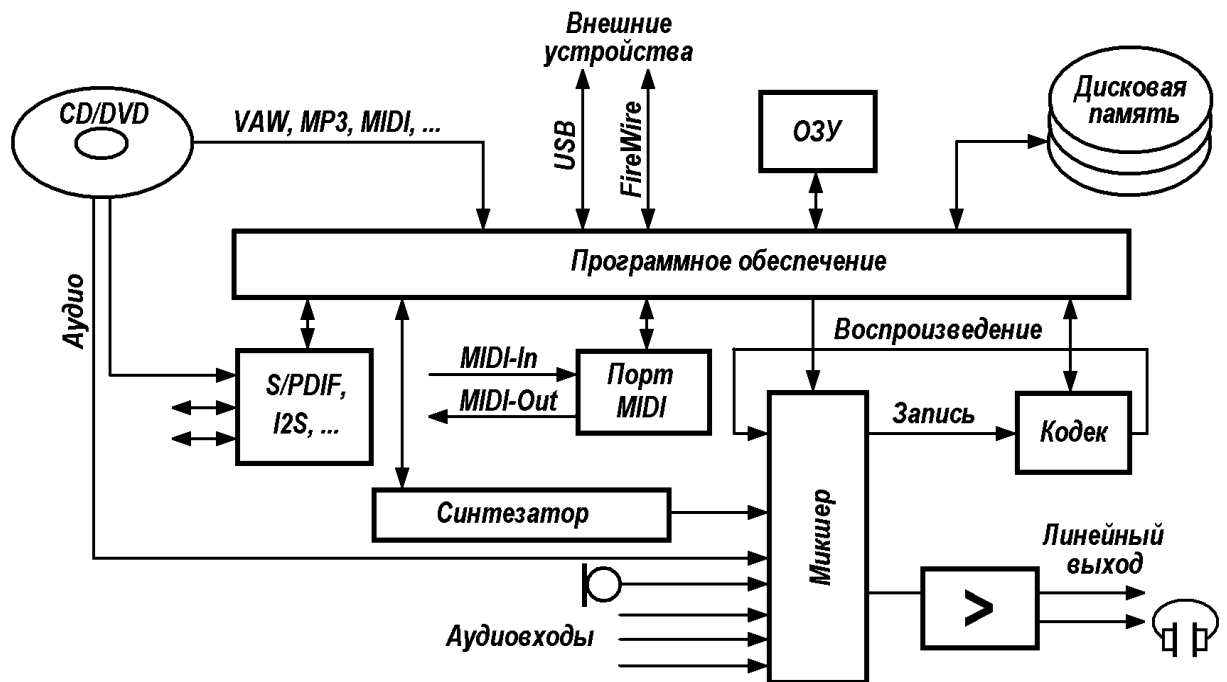


Рис. 10.5. Структурная схема аудиосистемы PC

Типовая звуковая карта (адаптер) в своем составе имеет цифровой канал записи-воспроизведения, микшер, синтезатор и MIDI-порт.

Цифровой аудиоканал, он же *аудиокодек*, обеспечивает возможность моно- или стереофонической записи и воспроизведения аудиофайлов с уровнем качества начиная от уровня кассетного магнитофона и заканчивая уровнем аудио-CD и даже выше. *Запись* (recording) производится оцифровкой (аналого-цифровым преобразованием) выборок мгновенного значения сигнала; современные карты позволяют принимать и цифровые аудиоданные. Оцифрованный звук может храниться в файлах, для которых обычно используется расширение WAV (сокращенно от wave - волна). При *воспроизведении* (playback) поток цифровых данных выводится на внешний интерфейс карты, аналоговый (линейный выход или выход усилителей на колонки или наушники) или цифровой.

Микшер с программным управлением обеспечивает регулировку входных и выходных сиг-

налов, позволяя смешивать входные сигналы от нескольких источников (микрофона, CD, внешнего входа и синтезатора). Дополнительно к микшеру звуковой адаптер обычно допускает регулировку тембра по низким и высоким частотам или даже имеет эквалайзер - многополосный регулятор тембра.

Синтезатор обеспечивает имитацию звучания музыкальных инструментов и воспроизведение различных звуков. Из множества методов синтеза в звуковых адаптерах в основном используют два - частотный и волновой:

- *FM Music Synthesizer* - синтезатор с частотной модуляцией (аббревиатура FM означает Frequency Modulation - частотная модуляция) - обеспечивает невысокое качество синтеза.
- *WT Music Synthesizer* - синтезатор с табличным синтезом (аббревиатура WT означает Wave Table - волновая таблица) хранит в своей памяти образцы сигналов натуральных инструментов. Волновые синтезаторы обеспечивают высокое качество синтеза.

Встроенный *усилитель* имеет мощность до 4 Вт на канал, хотя многие адаптеры обеспечивают мощность, достаточную только для наушников.

Колонки (speakers) для PC несколько отличаются от обычных бытовых акустических систем. Хорошие колонки имеют специальный магнитный экран или улучшенную конструкцию магнитной системы динамиков, чтобы предотвратить воздействие магнитного поля на ЭЛТ-монитор. *Активные колонки* (active speakers) имеют встроенный усилитель, требующий внешнего (или батарейного) питания. Они могут иметь регуляторы громкости и тембра. *Пассивные колонки* встроенного усилителя не имеют, их мощность невелика. Наушники или усилитель можно подключать и к аудиовыходу привода CD/DVD, что позволит прослушивать аудио-CD (но не CD-ROM с файлами MP3) независимо от наличия звуковой карты.

Существуют звуковые устройства для IBB USB и FireWire - колонки, микрофоны и другие приемники и источники сигналов. Они передают аудиопоток в *цифровом виде* (изохронная передача) и к обычным звуковым картам непосредственно не подключаются. Однако применение звуковой карты расширяет возможности аудиосистемы и снижает загрузку процессора.

Для подключения электромузыкальных инструментов звуковые карты имеют *порт интерфейса MIDI*. Устройством ввода могут служить специальные *MIDI-клавиатуры* (как на клавишных музыкальных инструментах), устройством вывода - синтезатор звуковой карты или внешний синтезатор, подключаемый к порту MIDI. Компьютер в такой системе используется как средство создания, редактирования и хранения музыкальных произведений. MIDI-интерфейс имеют многие профессиональные и полупрофессиональные клавишные синтезаторы.

10.3.2.2. Краткий экскурс в прикладную звукотехнику

10.3.2.2.1. Общие сведения

Как известно, слышимые звуки представляют собой механические колебания, достигающие ушей слушателя обычно по воздуху. Диапазон частот, воспринимаемых человеческим ухом, простирается от 20 Гц до 20 кГц, причем наибольшая чувствительность приходится на частоты (2 - 5) кГц. В этой области ухо воспринимает сигналы в динамическом диапазоне около 140 дБ (отношение звукового давления болевого порога к порогу слышимости 10^7). На краях частотного диапазона динамический диапазон сужается до 50 дБ (чувствительность уха существенно снижается, а давление болевого порога уменьшается). Разговорная речь в спектре занимает область примерно 200 Гц - 4 кГц при динамическом диапазоне около 40 дБ. Музыка может занимать практически весь слышимый диапазон частот и требовать динамического диапазона 70-90 дБ. Важной особенностью слуха является способность к локализа-

ции источника звука, обеспечиваемая его бинауральным восприятием. Дело в том, что звуковые волны воспринимаются обоими ушами, которые пространственно разнесены. Колебания от одного источника достигают ушей с разными амплитудой и фазой, что позволяет мозгу оценить направление (азимут) источника звука. Сигналы с частотами ниже 300 Гц локализуются плохо, поскольку длина волны относительно размера головы велика. Наибольшее значение для локализации имеют частоты от 1 до 3,2 кГц. Бинауральное восприятие позволяет не только локализовывать, но и выделять отдельные источники (например, отдельные инструменты в оркестре).

Для передачи, хранения, воспроизведения и синтеза звуков традиционно акустические колебания преобразуют в электрические (микрофон) и обратно (динамик). Первоначально вся промежуточная обработка (усиление, преобразования) сигналов производилась в аналоговой форме, естественной для конечных электромеханических преобразователей. Хранение, опять-таки в аналоговой форме, выполнялось на механических (грампластинки) или магнитных (магнитофонные ленты) носителях. Для повышения достоверности звукопередачи, включая пространственное расположение источников звука, применяется двухканальная передача и хранение - стереофония. В более сложных системах используют большее число каналов: например, 4 в квадрофонии и 6 в системе АС-3.

Аналоговое представление сигналов для обработки (фильтрации, создания различных эффектов) и хранения имеет массу недостатков. Во-первых, все устройства в той или иной степени обладают нелинейными передаточными характеристиками: проходящий через них гармонический (чисто синусоидальный) сигнал «обрастает» гармониками - составляющими с частотами, кратными основной. Мерой искажений, вносимых нелинейностью, является коэффициент гармоник, он же коэффициент нелинейных искажений (КНИ), который определяется как отношение мощности гармоник выходного сигнала к мощности основного тона. Эти искажения вносят все элементы тракта, так что их всюду стремятся минимизировать. Для современных высококачественных усилителей считается хорошим значение КНИ в десятые и сотые доли процента, для электромеханических преобразователей (особенно динамиков) значения гораздо выше.

Следующий недостаток - шумы и помехи, характерные для любой аналоговой техники. Они сужают динамический диапазон устройства. Отношение сигнал/шум порядка 90-100 дБ для аналоговых устройств удалось получить сравнительно недавно. При хранении звуковой информации аналоговая форма также наиболее уязвима.

С развитием электроники появилась возможность большую часть операций с аналоговыми сигналами производить в цифровой форме. Теперь входной сигнал (от микрофона) после предварительного усиления оцифровывается. В цифровой форме он может передаваться, храниться (долго и без накопления ошибок), подвергаться различным искусственным преобразованиям. При воспроизведении выполняются обратное преобразование в аналоговую форму, окончательное усиление и преобразование в акустические колебания. Для цифрового хранения акустической информации стали применять лазерные компакт-диски (Audio-CD) и магнитные ленты для цифровой звукозаписи (Digital Audio Tape, DAT), которые долгое время считались эталонами качества. По мере развития средств вычислительной техники возможности обычных РС доросли до того, чтобы пропускать через себя поток цифровых аудиоданных (или создавать собственный).

10.3.2.2.2. Оцифровка звуковых сигналов

Для оцифровки аналогового сигнала применяются дискретизация по времени и квантование по уровню. Это означает, что с помощью АЦП регулярно (с постоянным периодом) производятся *выборки* (samples) мгновенных значений аналогового сигнала (смотри раздел 8.1). Выбор частоты дискретизации определяется *теоремой Котельникова*: для адекватного восстановления оцифрованного сигнала частота дискретизации должна быть больше (лучше с

запасом) удвоенной частоты высших спектральных составляющих входного сигнала. Чтобы не интересующие нас более высокие частоты не искажали оцифровку, они должны быть тщательно отфильтрованы. В том же компакт-диске частота 44,1 кГц позволяет воспроизводить сигнал в полосе до 20 кГц - весь слышимый спектр.

Обратное преобразование выполняется с помощью цифроаналогового преобразователя (Digital-to-Analog Converter, DAC), или ЦАП, на вход которого поступает цифровой поток с той же частотой. Аналоговый сигнал после ЦАП должен быть опять-таки отфильтрован - частоты выше половины частоты квантования подавляются. К устройству ЦАП предъявляют те же требования по разрядности, линейности и монотонности. Разрядности АЦП и ЦАП могут и не совпадать.

Как указывалась выше, частота дискретизации и разрядность квантования определяются требованием к полосе пропускания и динамическому диапазону тракта при заданном отношении сигнал/шум. Простейший способ цифрового представления сигналов называется *импульсно-кодовой модуляцией* (Pulse-Code Modulation, PCM), или *ИКМ*. Поток данных PCM представляет собой последовательность мгновенных значений, или выборок, в двоичном коде. Если применяемые преобразователи имеют линейную характеристику (мгновенное значение напряжения сигнала пропорционально коду), то данная модуляция называется *линейной* (Linear PCM, LPCM). Интенсивность потока (bit rate) определяется как произведение частоты дискретизации (sample rate) на разрядность и на число каналов. Аудио-CD дает поток $44100 \times 16 \times 2 = 1411200$ бит/с (стерео). При этом обеспечиваются диапазон воспроизводимых частот 5 - 20 000 Гц и динамический диапазон 96 дБ. Ленточные цифровые накопители (DAT) работают с частотами дискретизации 32, 44,1 или 48 кГц и разрядностью 16 бит. Соответственно, потоки данных - 1 024 000, 1 411 200 или 1 536 000 бит/с (стерео).

Если такой поток покажется слишком интенсивным, можно понизить частоту и разрядность квантования. Каждый отброшенный двоичный разряд повысит уровень этого шума на 6 дБ. Если нас интересует только разборчивая передача речи, можно «опуститься» до 8-битного преобразования с частотой 5 кГц - в моно это даст поток около 5 Кбайт/с. В телефонной связи используется 7(8)-битные преобразования с частотой 8 кГц - поток 56(64) Кбит/с.

Для дисков SACD (Super-Audio CD), предложенных фирмами Sony и Philips на смену традиционным аудио-CD, решили вернуться к однобитному преобразованию. Фирмы предложили метод кодирования, названный *DSD* (Direct Stream Digital encoding), позволяющий обойти ряд проблем кодирования PCM. Здесь используется так называемый *дельта-сигма АЦП* (рис. 10.6, а), состоящий из квантизатора Q (компаратора) и фильтра-интегратора F, охваченных отрицательной обратной связью. Если уровень входного сигнала, аккумулированный за период дискретизации, превышает значение в цепи обратной связи, накопленное за тот же период, то формируется единица. Если значение входного сигнала падает ниже, формируется ноль. Максимальное положительное значение представляется сплошным потоком единиц, максимальное отрицательное - потоком нулей, нулевой входной уровень - чередованием нулей и единиц. Такое цифровое представление можно назвать *плотностно-импульсной модуляцией* (Pulse Density Modulation, PDM). Декодировать такой сигнал просто: достаточно пропустить единичные импульсы через интегрирующую, цепочку (рис. 10.6, б), и получится отображение исходного сигнала.

Конечно, для того чтобы восстановленный сигнал повторял динамику исходного, должна быть высокая частота дискретизации. В SACD используется частота 2,8224 МГц, то есть битовый поток имеет скорость чуть больше 2,8 Мбит/с на канал. Это в 4 раза больше, чем в CD/DA (705600 бит/с). Такой формат обеспечивает широкую полосу пропускания (0-100 кГц) и широкий динамический диапазон – 120дБ. Поток DSD малочувствителен к битовым ошибкам в тракте передачи или хранения: влияние искаженного бита (и даже их группы) весьма незначительно. В потоке PCM искажение старших битов приводит к значительному искажению отсчета (в DSD все биты «младшие»). Цифровой сигнал (1 бит) потока DSD

наглядно отражает передаваемую информацию (рис. 10.7), чего не скажешь о PCM (при осциллографировании поток PCM безлик).

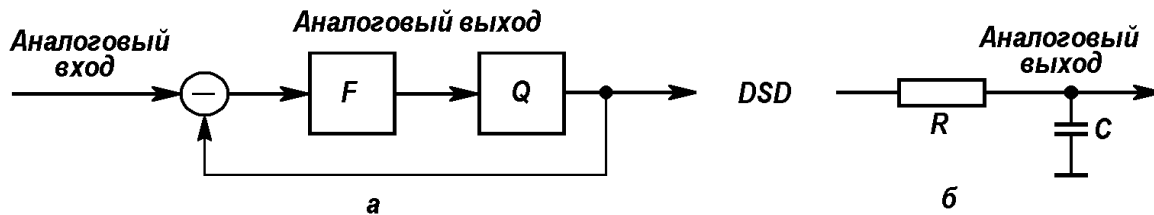


Рис. 10.6. DSD-кодирование: *а* — кодер, *б* — декодер

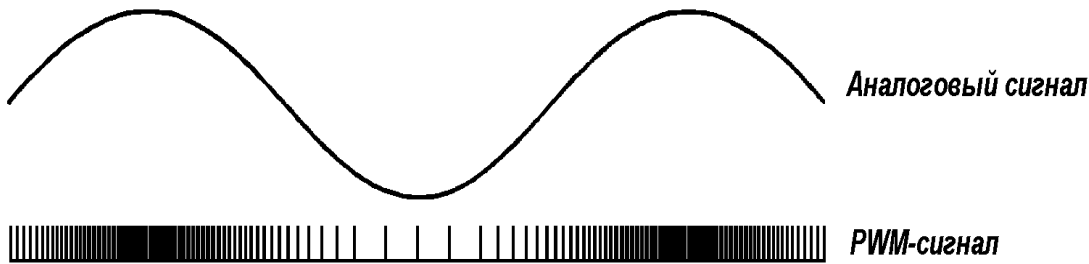


Рис. 10.7. Плотностно-импульсная модуляция

Из потока DSD сравнительно несложно получить традиционные потоки PCM с разными частотами дискретизации. Так, для формата CD/DA (44,1 кГц) требуется из каждых 64 бит (естественно, с учетом предыстории) потока формировать один 16-битный отсчет. Частоты 32, 48 и 96 кГц получаются предварительным умножением частоты потока на 5 («размножением» битов), а затем пересчетами 1/441, 1/294 и 1/147 соответственно. Таким образом обеспечивается сосуществование старых и нового форматов звукозаписи.

10.3.2.2.3. Методы компрессии звуковой информации

В задачу компрессоров/декомпрессоров входит сокращение потока в канале передачи (хранения) относительно потока на выходе АЦП и входе ЦАП. Для реальных звуковых сигналов кодирование с линейной ИКМ (LPCM) является неэкономичным. Поток данных можно сократить, если использовать несложный алгоритм сжатия, применяемый в системе *дельта-ИКМ* (ДИКМ), она же *DPCM* (Differential Pulse-Code Modulation). Упрощенно этот алгоритм выглядит так: в цифровом потоке передаются не сами мгновенные отсчеты, а масштабированная разность реального отсчета и его значения, сконструированного кодеком по ранее сгенерированному им потоку данных. Разность передается с меньшим числом разрядов, чем сами отсчеты. В *АДИКМ* (адаптивная ДИКМ), или *ADPCM* (Adaptive Differential Pulse-Code Modulation), масштаб разности определяется по предыстории - если разность монотонно растет, масштаб увеличивается, и наоборот.

Более сложные алгоритмы и высокая степень сжатия применяются в аудиокодеках MPEG. В *кодеке MPEG-1* входным потоком являются 16-битные выборки с частотой 48 кГц (профессиональная аудиотехника), 44,1 кГц (бытовая техника) или 32 кГц (применяется в телекоммуникациях). Стандарт определяет три «слоя» (layer) сжатия — Layer 1, Layer 2 и Layer 3, работающие один поверх другого. Первоначальная компрессия осуществляется на основе психофизических свойств звуковосприятия. Здесь обыгрывается свойство маскирования звуков: если в сигнале имеются два тона с близкими частотами, существенно различающиеся по уровню, то более мощный сигнал замаскирует слабый (он не будет услышан). Пороги маскирования зависят от удаленности частот. В MPEG-1 весь диапазон звуковых частот разбивается на 32 поддиапазона (sub-band), в каждом поддиапазоне определяются наиболее мощные спектральные составляющие и для них вычисляются пороги частот маскирования. Эффекты маскирования от нескольких мощных составляющих суммируются. Действие маскирования распространяется не только на сигналы, присутствующие одновременно с мощным, но и на

предшествующие ему за 2-5 мс (premasking) и последующие в течение до 100 мс (postmasking). Сигналы маскированных областей обрабатываются с меньшим разрешением, поскольку для них снижаются требования к отношению сигнал/шум. За счет этого «загрубления» и происходит сжатие. Компрессию на психофизической основе выполняет слой Layer 1. Следующий этап (Layer 2) повышает точность представления и более эффективно упаковывает информацию. Здесь у кодера в работе находится «окно» длительностью 23 мс (1152 выборки). На последнем этапе (Layer 3) применяются сложные наборы фильтров и нелинейное квантование. В настоящее время стали популярными звукозаписи в формате MPEG-1 Layer 3 (файлы с расширением MP3), которые могут быть декодированы на современных компьютерах программным способом с выводом сигнала как на ЦАП любой звуковой карты, так и в WAV-файлы. Файлы с расширением .MP1 и .MP2 представляют данные в формате MPEG-1 Layer 1 и 2 соответственно, но они не так широко распространены.

В MPEG-2 по сравнению с MPEG-1 имеется ряд дополнений. Помимо частот 48, 44,1 и 32 кГц здесь определены частоты дискретизации 16, 22,05 и 24 КГц. Аудиопоток может содержать две пары широкополосных каналов (фронт и тыл), а также один низкочастотный (до 100 Гц). Разрядность входного и выходного потоков может достигать 18 и даже 24 битов. Формат MPEG-2 Layer 3 (тоже обозначается как MP3) стал фактическим стандартом для аудиозаписей, распространяемых в виде файлов (с расширением .MP3) на любых носителях (CD, флэш-карты и т. п.).

10.3.2.2.4. Методы синтеза звуков

Синтезаторы звуков используют как для имитации голосов обычных музыкальных инструментов, человеческого голоса, различных шумов, так и для создания оригинальных звуков.

Звуки и звуковые сигналы можно разделить на *шумовые* и *тональные* (мелодические). Любой сигнал можно представить в виде ряда гармонических (синусоидальных) составляющих (гармоник) (ряда Фурье), каждая из которых характеризуется своей частотой, амплитудой и фазой. Шумовые звуки имеют спектр гармоник, непрерывный в какой-то области. Спектр тонального звука - дискретный, с *основным тоном* и *гармониками*, частота которых кратна частоте основного тона (первая гармоника является основным тоном). Музыкальный звуко-ряд представляет собой ряд последовательных *нот*, отличающихся друг от друга частотами основного тона. Ноты, частоты которых отличаются друг от друга в 2 раза, отстоят друг от друга на одну *октаву* («центр» - нота «ля» первой октавы - 440 Гц). В пределах каждой октавы «европейский» звуко-ряд насчитывает 12 *полутонов* (7 основных нот со знаками альтерации - диезами и бемолями). Частоты соседних полутонов отличаются друг от друга в $\sqrt[12]{2}$ раз. Для более тонкой идентификации тона имеется и единица измерения *цент* - одна сотая (по логарифмической шкале) от полутона.

Сигнал с непрерывным равномерным спектром в широком диапазоне частот называют «белым шумом» (он может охватывать весь слышимый диапазон частот). Поскольку суммарная мощность любого звука конечна, отдельные составляющие белого шума имеют бесконечно малую амплитуду. Если из белого шума выделить узкую спектральную полосу, то звук получит тональную «окраску». Если ширина полосы будет уже, чем расстояние до соседней ноты звуко-ряда, звук приблизится к мелодическому. Звуки реальных инструментов являются смесью мелодических и шумовых (характерный пример — «придыхающее» звучание саксофона).

Анализ осциллограмм музыкальных звуков позволил построить их обобщенную модель (рис. 10.8). Здесь видна несущая частота, обогащенная гармониками, и ее огибающая. Звук имеет четыре явно выраженные фазы:

- атака (attack) - бурный рост амплитуды несущей, сопровождающийся значительными изменениями (обогащением) ее спектрального состава;

- спад (decay) - процесс, сопровождающийся «смягчением» спектра;
- удержание (sustain) - относительно стационарный, постепенно затухающий процесс (например, удержание нажатой клавиши фортепиано);
- затухание (release) - довольно быстрое уменьшение амплитуды до нуля (демпфирование колебаний при отпускании клавиши).

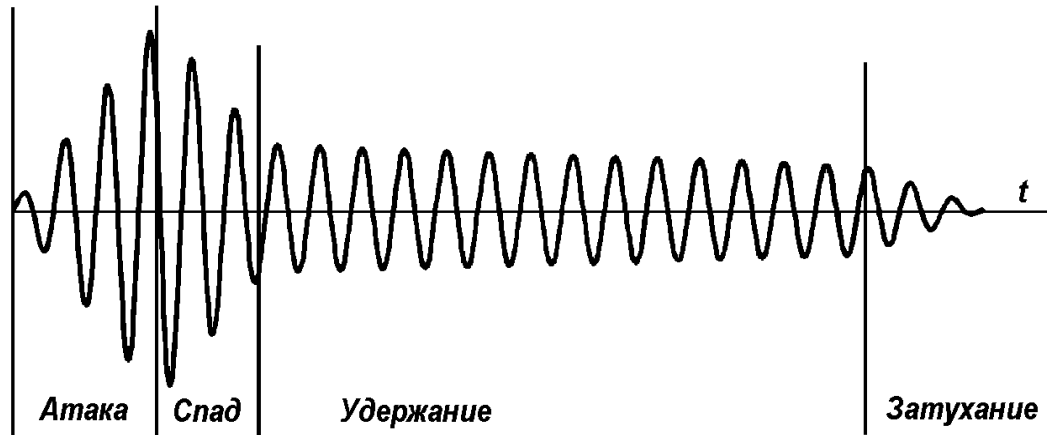


Рис. 10.8. Типовая осциллограмма звука фортепиано

По первым буквам английских названий фаз такая модель называется ADSR. Для каждого инструмента характерен свой набор параметров, описывающих эти фазы. Для инструментов с широким диапазоном звучания значения параметров заметно различаются для разных участков частотного диапазона.

Акустическая система любого естественного инструмента имеет свой набор *формант* - областей резонанса, где амплитудно-частотная характеристика имеет подъем. Форманты придают инструментам характерную узнаваемость. В человеческом голосе форманты позволяют, например, различать гласные звуки - каждой гласной соответствует определенная пара формант.

Электронным синтезом звуков начали заниматься еще в 1920-е годы. Первым синтезатором был *терменвокс*, созданный в России Львом Терменом. В этом инструменте использовались высокочастотные генераторы; оператор управлял частотой одного из генераторов, меняя положение своей руки относительно специального электрода. Выходная (звуковая) частота выделялась как разность частот пары генераторов.

В 1960-80-е годы развивались аналоговые методы синтеза, в 1990-е годы в основном развивались цифровые и гибридные (аналоговые с цифровым управлением). Введем несколько определений, относящихся к возможностям синтезаторов.

Одноголосный, или *монофонический* (monophonic), синтезатор в каждый момент времени способен воспроизводить только один звук (ноту). *Многоголосный*, или *полифонический* (polyphonic), синтезатор способен одновременно исполнить несколько нот (не более чем число его голосов). *Многотембровый* (multitimbral) синтезатор может одновременно издавать звуки с различными тембрами (имитировать несколько разных инструментов).

Сигнал со сложным спектральным составом можно получать самыми разнообразными способами. Если ограничиваться небольшим числом составляющих, то можно воспользоваться *аддитивным методом* синтеза. Противоположностью аддитивному является *субтрактивный метод* (subtraction - вычитание). Здесь из шумового (или другого спектрально богатого) сигнала выделяются только нужные области. На практике эти два базисных метода применяются в сочетании с рядом других.

Богатые возможности синтеза предоставляли *модульные синтезаторы*. Модули этих синте-

заторов представляли собой различные устройства, управляемые напряжением: генераторы, фильтры, усилители и генераторы управляющих сигналов различных форм. Для генерации сигналов произвольной формы использовали *секвенсоры* - наборы потенциометров и коммутирующих ключей. Модули соединялись между собой шнурами (patch), и звук задавался определенной комбинацией этих соединений.

Идеи модульных синтезаторов легли в основу *FM-синтезаторов*, получивших широкое распространение и в простых звуковых картах для PC. Синтез FM построен на модуляции частоты одного звукового генератора (несущей) сигналом от другого звукового генератора. Частоты генераторов соизмеримы, и частота несущей может быть даже ниже модулирующей, глубина модуляции высока. Модуляция позволяет из пары гармонических сигналов получить сигнал с богатым набором спектральных составляющих, частоты которых определяются через суммы и разности частот исходных сигналов. Пара управляемых генераторов, имеющих и средства формирования огибающей их колебаний (фазы атаки, спада, удержания и затухания), называется *оператором*. В формировании одного звука (голоса инструмента) может быть задействовано несколько операторов, их можно собирать в цепочки и кольца (в зависимости от сложности звука). Все компоненты синтезатора имеют цифровое управление через набор регистров, доступный управляющей программе. В процессе исполнения программа динамически распределяет имеющиеся ресурсы (операторы). Количество операторов определяет полифонические и многотембровые возможности синтезатора. FM-синтезаторы звуковых карт хороши для создания необычных («компьютерных») звуков, но их возможности в воспроизведении естественных звуков весьма скудны.

Для имитации звуков естественных инструментов больше подходит метод синтеза, основанный на воспроизведении предварительно записанных звуковых выборок (образцов звука). Этот метод используется в *WT-синтезаторах*, которые поначалу применялись лишь в относительно дорогих моделях звуковых карт. Такие синтезаторы имеют память, в которой хранятся *волновые таблицы* (WT) - оцифрованные образцы звуков. Для извлечения звука процессор синтезатора извлекает из памяти подходящий образец и воспроизводит его с требуемыми параметрами.

Методы синтеза звуков не исчерпываются перечисленными. В настоящее время развивается новый подход к синтезу - математическое моделирование физических процессов, происходящих в реальных инструментах. Конечно, для решения этой задачи в реальном времени требуются мощные вычислительные ресурсы, предоставляемые современными процессорами.

Описанные методы применимы к синтезу как тональных, так и шумовых звуков (например, звуков ударных инструментов).

10.3.2.2.5. Стереофоническое и объемное воспроизведение

Для обычной стереофонии достаточно двух колонок, расположенных перед слушателем, и подавляющее большинство звуковых карт имеют стереофонический аудиовыход. Некоторыми ухищрениями перекрестного смешивания сигналов удалось расширить зону стереоэффекта, но добиться объемности звучания таким путем не удавалось.

В *системе объемного, или обволакивающего (surround)*, звучания Dolby Surround Pro Logic, применяемой в «домашнем кинотеатре» с аналоговой записью звука, используются 4 воспроизводящих канала. Здесь слушателя окружают колонками со всех сторон: перед ним располагают три колонки (слева, справа и по центру), а за ним еще две тыловые (слева и справа). Все 4 канала «упакованы» в стереосигнал с обычными параметрами каналов. На обычных моно- и стереосистемах этот сигнал воспроизводится естественным для них способом, но с помощью специального декодера Dolby Surround Pro Logic он раскладывается на вышеуказанные 4 канала.

Для цифровых систем фирма Dolby разработала систему Dolby Digital, она же AC-3 и 5.1, в которой передается (хранится) в сжатом виде информация шести каналов - пяти широкополосных и одного низкочастотного. Здесь слушателя также окружают колонками со всех сторон: три колонки спереди (слева, справа и по центру), две тыловые (слева и справа) и еще одна колонка, низкочастотная, называемая *сабвуфером* (subwoofer), располагается за спиной (хотя ее положение относительно произвольно). Название AC-3 означает «аудиокодек-3». Кодер Dolby Digital упаковывает 5 каналов с полосой 20-20 000 Гц и 1 канал с полосой 20-120 Гц. Входные сигналы могут иметь разрядность 20 бит и более и частоту дискретизации 32, 44,1 или 48 кГц. Кодирование 5.1 включено в стандарт MPEG-2 и используется для записи звукового сопровождения DVD-дисков (и супервидео-CD). Аппаратный декодер AC-3, встроенный в звуковую карту, позволяет разгрузить центральный процессор при воспроизведении DVD (или иных источников аудиопотока MPEG-2).

Следующий шаг - системы 7.1, в которых к фронтальному ряду колонок добавляются промежуточные колонки слева и справа (по фронту теперь 5 колонок в ряд).

Промежуточный вариант объемности звука - квадрофония (пара колонок спереди, пара - сзади).

10.3.2.3. Звуковые адаптеры PC

10.3.2.3.1. Общие сведения

Современные *звуковые карты* (адаптеры) (или аудиосредства, интегрированные в системную плату), представляют собой комбинированные устройства, в той или иной мере исполняющие все функции, перечисленные в начале главы. Ранние модели карт были менее универсальными. В них основные манипуляции с аудиосигналами выполнялись в аналоговом виде, применялись относительно несложные FM-синтезаторы, а WT-синтезаторы могли устанавливаться лишь как дорогостоящее расширение. Современные звуковые карты по своим возможностям ушли уже очень далеко от первых моделей, но зачастую поддерживают программную совместимость с картами, от которых произошли фактические стандарты. Старые звуковые карты в основном выпускались для 16-битной шины ISA все последние их модели поддерживают технологию PnP. Фактическим стандартом для них стал набор аудиосредств платы Sound Blaster (SB 16) фирмы Creative Labs.

Современные звуковые карты используют шину PCI, гораздо более мощную по пропускной способности. В звуковых картах широко применяют прямое управление шиной - это разгружает процессор, особенно при озвучивании игр с 3D-звуком. Перенос звуковых карт на PCI вызывал некоторые трудности переходного периода, поскольку на какое-то время требовалось обеспечить совместимость с SB 16, где доставка цифрового потока производится по каналу DMA контроллера 8237A. В PCI любая карта может быть контроллером обмена с памятью. Для совместимости звуковых карт PCI с SB 16 может использоваться один из двух механизмов: PC/PCI или DDMA. Механизм PC/PCI был разработан фирмой Intel, чтобы обеспечить возможность использования слотов ISA в блокнотных ПК, подключаемых к док-станции по шине PCI. Альтернативное решение - механизм DDMA (Distributed Direct Memory Access - распределенный прямой доступ к памяти). Как известно, контроллеры DMA для шины ISA располагаются на системной плате, и управление несколькими каналами выполняется через одни и те же регистры. DDMA позволяет «расчленивать» стандартный контроллер и отдельные его каналы эмулировать средствами карт PCI. Оба этих механизма реализуемы только как часть моста первичной шины PCI, поэтому их поддержка может обеспечиваться (или не обеспечиваться) только на системной плате и разрешаться в CMOS Setup. Помимо режима совместимости с SB16 звуковая карта PCI может работать и в естественном для этой шины режиме, реализуя все ее преимущества.

К аудиосредствам еще в спецификации PC'99 компания Microsoft предъявляла следующие

требования:

- Разрядность преобразователей ЦАП/АЦП: 16-бит.
- Разрядность данных для импульсно-кодовой модуляции (PCM): 8 и 16 бит.
- Частоты дискретизации:
 - обязательные- 8, 11,025, 22,050 и 44,1 кГц;
 - рекомендуемые — 16, 32 и 48 кГц (Advanced audio).
- Воспроизведение MIDI: 16-голосная полифония, 6 тембров (24-голосный 16-тембровый синтезатор для Advanced Audio).
- Полоса частот: 20 Гц - 20 кГц.
- Нелинейные искажения: <0,02 %.
- Отношение сигнал/шум: 75 дБ (для Advanced Audio выходной канал должен иметь отношение сигнал/шум 85 дБ, а для аналоговой части микшера - 90 дБ).

Современные карты удовлетворяют и более высоким требованиям к цифровой обработке.

10.3.2.3.2. Аналоговые звуковые карты

Упрощенная структурная схема традиционной аналоговой звуковой карты приведена на рис. 10.9.

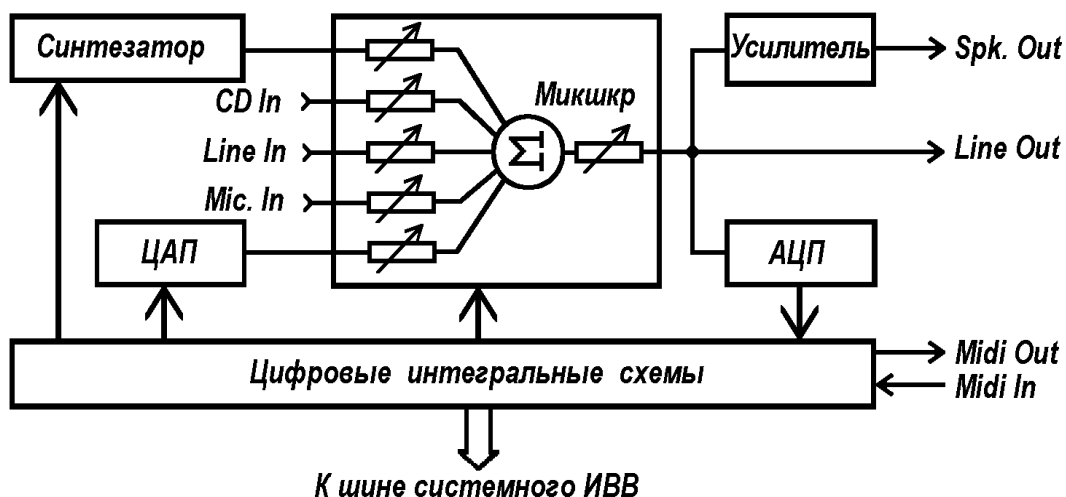


Рис. 10.9. Структурная схема звуковой карты

Аналоговые сигналы от различных источников - микрофона, CD (здесь обычно используется аналоговый интерфейс CD-ROM), линейного входа, а также ЦАП и синтезатора - смешиваются микшером. Микшер для каждого входа имеет аналоговые регуляторы с цифровым управлением, позволяющие изменять усиление и баланс стереоканалов. Микшер может быть дополнен регулятором тембра - простейшим регулятором усиления высоких и низких частот или многополосным эквалайзером (на рисунке не показан). С выхода микшера аналоговый сигнал поступает на линейный выход и оконечный усилитель. Мощности усилителя, устанавливаемого на звуковых картах, достаточно для «раскачки» небольших пассивных колонок или наушников. Собственно цифровые каналы звуковой карты проходят через интерфейсные схемы от шины ИВВ хоста до ЦАП и от АЦП обратно к шине. Для передачи потоков данных в картах ISA используются каналы DMA - один 8-битный и один 16-битный. Преобразования синхронизируются от программируемого генератора (на схеме не показан), который определяет частоту дискретизации. Частоту дискретизации, разрядность (8 или 16 бит) и режим (моно/стерео) выбирают при записи.

10.3.2.3.3. Цифровые технологии в звуковых картах

По степени вытеснения аналоговой обработки цифровой технологией фирма Intel различает три градации звуковых карт:

- *Аналоговые (analog) карты* имеют аналоговые входные (микрофон, линейный вход, CD) и выходные (линейный выход и выход усилителя) цепи. В этих картах чаще всего применяются аналоговые микшеры. На картах располагается и порт традиционного аналогового джойстика и MIDI. В первом поколении карт использовалась шина ИВВ хоста ISA, микросхемы аудиосистемы располагались и на некоторых системных платах. Позже их сменили карты для PCI, но при этом обычно сохраняли совместимость с SB 16.
- *Карты Digital Ready* позволяют заменить входные и выходные аналоговые интерфейсы цифровыми, используя шины периферийных ИВВ общего назначения (USB, FireWire) и специальные цифровые аудиоинтерфейсы (S/PDIF, I²S) для подключения цифровой аудиоаппаратуры. В этих картах аудиопоток от любого источника внутри карты представляется в цифровом виде и может перенаправляться как на аналоговые, так и на цифровые внешние интерфейсы или носители информации.
- В *полностью цифровых (digital only) картах* совершенно отсутствуют аналоговые интерфейсы, в них используются интерфейсы S/PDIF, I²S, AC-Link, а также ввод-вывод по шинам USB и FireWire. В этих картах от традиционных 16-битных стереостандартов переходят к многоканальным системам большей разрядности и с частотой квантования 48 кГц и выше.

С переходом на цифровые технологии обработки аудиосигналов возникает проблема сведения на микшере сигналов от источников с разными частотами выборки. В аналоговой обработке таких проблем не возникает. В цифровой аудиосистеме удобно привести все сигналы к единой частоте, а с точки зрения максимального сохранения качества - к самой высокой из используемых. При разработке аудиокодека AC'97 (см. далее) был выбран ряд рекомендованных частот дискретизации 8,000, 11,025, 16,000, 22,050, 32,000, 44,100 и 48,000 кГц. Основной частотой принята 48 кГц, и все остальные сигналы приводятся к ней по схеме, приведенной на рис. 10.10. Преобразования частот производятся интерполяцией.

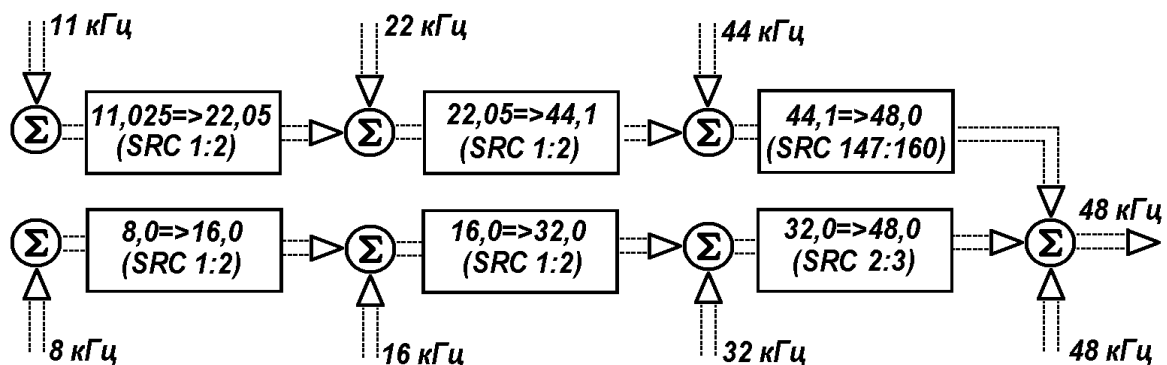


Рис. 10.10. Схема преобразования частот дискретизации

10.3.2.3.4. Аудиокодек AC'97

10.3.2.3.4.1. Общие сведения

Аудиокодек AC'97 представляет собой довольно универсальное решение для звуковых карт и модемов, предложенное фирмой Intel в 1997 году; версия 2.2, в которой введена поддержка интерфейса S/PDIF, опубликована в 2000 году. За несколько лет использования аудиокодек AC'97 практически вытеснил дешевые звуковые карты, обеспечивая качество звука, удовлетворяющее большинство пользователей. Аудиосистема на основе AC'97 имеет структуру, приведенную на рис. 10.11.

Собственно кодек AC'97 представляет собой микросхему которая подключается к компью-

теру по специальному цифровому интерфейсу AC-Link, предоставляемому специализированным *контроллером интерфейса* (AC'97 Digital Controller). Контроллер подключается к шине интерфейса PCI (как ведущее устройство) или встраивается в чипсет системной платы. В обязательные (минимальные) задачи контроллера входит доставка цифровых аудиоданных в *формате РСМ* аудиокодеку из памяти и в память от кодека. Для этого, как правило, контроллер должен быть многоканальным контроллером шины PCI (bus master). В память аудиоданные для кодека поступают под управлением центрального процессора от различных источников: из файлов, с внешних цифровых интерфейсов, а также генерируемых программно в реальном времени (например, от игр, от программных декодеров MPEG и т. п.). Из памяти данные от кодека различным потребителям (в файлы, на внешние интерфейсы) доставляет также программа центрального процессора. Более мощный контроллер помимо самой доставки обеспечивает и аппаратное ускорение генерации РСМ-данных, например, при декодировании MPEG, формировании 3D-звука, синтезе звуков, а также кодирование РСМ-данных в более плотные форматы.

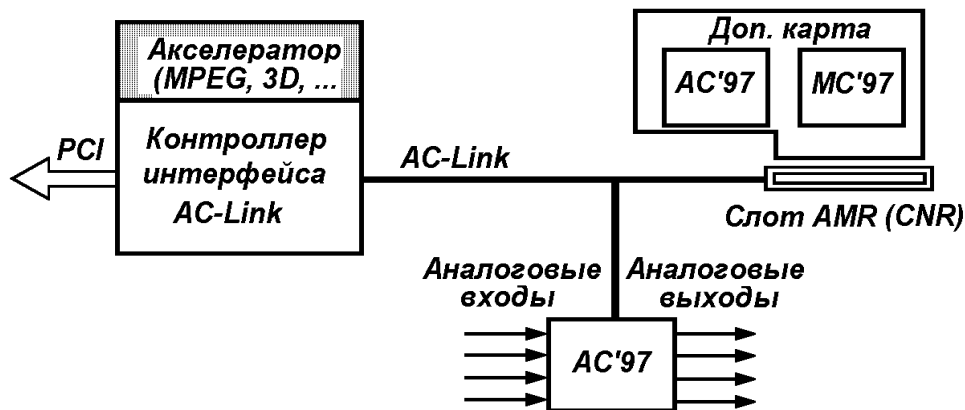


Рис. 10.11. Структура аудиосистемы на базе AC'97

Кодек AC'97 по отношению к контроллеру является подчиненным устройством. Разделение аудиосистемы на две части позволяет собирать ее в соответствии с предъявляемыми требованиями и при необходимости без особых проблем модернизировать, заменяя лишь микросхему или устанавливая другую (дополнительную) плату кодека с более богатым набором функций или более высокими качественными параметрами. Контроллер интерфейса AC-Link и минимальный кодек AC'97 устанавливаются на многих системных платах, а для добавления новых возможностей шина интерфейса AC-Link выводится на специальный разъем расширения AMR или CNR. В интерфейсе есть место и для дополнительных каналов, с помощью которых может быть реализован программный модем. Для этого существует специальный модемный кодек MC'97, который может быть размещен как на системной плате, так и на особой модемной карте. Контроллер способен обслуживать до четырех кодеков; правда, общее количество каналов (тайм-слотов, см. далее) разделяется между всеми кодеками.

10.3.2.3.4.2. Цифровой интерфейс AC-Link

Цифровой интерфейс AC-Link довольно прост; он содержит следующие сигналы:

- BIT_CLK - битовый синхросигнал с частотой 24,576 МГц, источником синхронизации является аудиокодек (он имеет кварцевый генератор);
- SYNC - сигнал синхронизации начала кадра, вырабатывается контроллером, синхронизирующимся от BIT_CLK;
- SDATA_OUT - последовательные данные от контроллера к кодеку;
- SDATA_IN - последовательные данные от кодека к контроллеру;
- RESET# - сигнал аппаратного сброса.

Интерфейс обеспечивает одновременную многоканальную передачу и прием данных по методу временного мультиплексирования (Time Division Multiplexing, TDM). Передача и прием данных происходит в непрерывной последовательности *кадров*. В кадре каждому каналу отводится свой тайм-слот, содержащий 20-битные поля данных. Весь кадр состоит из 13 слотов, нумеруемых от 0 до 12. Частота кадров составляет 48 кГц — это основная частота кодека, так что каждый канал способен нести 20-битные выборки с частотой до 48 кГц. Пропускная способность каждого канала составляет $20 \times 48 = 960$ Кбит/с. Объединением пары каналов при необходимости частоту дискретизации можно поднять и до 96 кГц.

Назначение каналов (слотов) ввода и вывода приведено в табл. 10.3.

Таблица 10.3. Назначение каналов AC'97

Слот	Назначение
<i>Входные слоты контроллера</i>	
3,4	PCM Playback (L, R) — воспроизведение цифровых данных (из файлов, игр), левый и правый каналы (основные)
5	m Uriel DAC — данные для ЦАП модема первой линии
6	PCM Center DAC — данные для ЦАП центрального канала
7,8	PCM Surround DAC (L, R) — данные для преобразователей ЦАП левого и правого тыловых каналов
9	PCM LFE DAC — данные для ЦАП низкочастотного канала
10 ¹	Modem Line2 — данные для ЦАП модема второй линии
11 ¹	Modem Handset Output — данные для ЦАП телефонной трубки
12 ¹	Данные для управляющих сигналов модема
<i>Выходные слоты контроллера</i>	
3,4	PCM Record (L, R) — запись цифровых данных, левый и правый каналы (основные)
5	Modem Line 1 ADC — данные от АЦП модема первой линии
6	Dedicated Mic Record — данные от дополнительного АЦП микрофона
7-9	Резерв
10	Modem Line2 ADC — данные от АЦП модема второй линии
11	Modem Handset ADC — данные от АЦП телефонной трубки
12	Данные от сигналов состояния модема

¹ Слоты 10-12 при отсутствии модема могут использоваться для расширения полосы пропускания каналов 3, 4 и 6.

10.3.2.3.5. Многоканальный звук — High Definition Audio

10.3.2.3.5.1. Общие сведения

На смену AC'97 в 2004 году фирма Intel выпустила спецификацию High Definition Audio (сократим ее название до HDA). Ее основная цель — создать инфраструктуру и определить архитектуру аудиоподсистемы, обеспечивающей многоканальные цифровые потоки между кодеками и памятью. В спецификации описан и аудиокодек с более богатыми (по сравнению с AC'97) возможностями. Аудиопотоки позволяют использовать HDA и для подключения кодеков голосовых модемов. Совместимость HDA с AC'97 не предусматривается, хотя общая архитектурная идея та же и даже микросхемы аудиокодеков совпадают по назначению многих выводов.

По сравнению с AC'97 в HDA увеличилась пропускная способность интерфейса и повысилась эффективность его использования за счет отказа от деления кадра на фиксированные 20-битные слоты. Система HDA поддерживает одновременную работу 15 входных и 15 выходных *потоков*, при этом каждый поток может нести цифровую информацию до 16

каналов. Поддерживаемые частоты выборок — 6-192 кГц, разрядность отсчетов — 8, 16, 20, 24 и 32 бит.

Как и в AC'97, система HDA начинается с *контроллера* — устройства PCI, обеспечивающего передачу потоков данных между системной памятью и кодеками через интерфейс HDA Link. Контроллер HDA, оставаясь (логически) устройством PCI, может включаться в чипсет или подключаться к какой-либо шине семейства PCI. Кодеков может подключаться несколько — например, аудиокодек, модемный кодек и дополнительный аудиокодек в док-станции мобильного ПК. Интерфейс с контроллером обеспечивается через его регистры, отображенные на пространство памяти, и структуры данных в памяти.

Поток (stream) представляет собой логическое (виртуальное) соединение между буферами в ОЗУ и кодеком, организуемое отдельным каналом DMA. Поток состоит из одного или нескольких *каналов* данных, каждый канал связан со своим преобразователем (ЦАП, АЦП или конвертором интерфейсов) в кодеке. Например, стереопоток содержит данные левого и правого каналов. Данные каналов потока в памяти расположены рядом и по интерфейсу HDA Link передаются совместно. *Выходной поток* (outbound stream) распространяется по интерфейсу широкопередателю, он может приниматься несколькими кодеками. Каждый *входной поток* (inbound stream) может приниматься только от одного кодека.

По каждой входной и выходной сигнальной линии интерфейса передается последовательность *кадров*, частота кадров фиксирована — 48 кГц. Кадр начинается с поля команды/ответа, за которым передаются *пакеты*, содержащие блоки данных потоков. Каждый пакет начинается с *тега потока* (stream tag), идентифицирующего поток и указывающего число блоков в пакете, за тегом следуют блоки отсчетов. *Блок* содержит *отсчеты* (выборки) всех каналов, одновременно поступающие на ЦАП (или от АЦП). Остаток времени в кадре заполняется нулями. Для потоков с частотой выборки 48 кГц в каждом кадре присутствует по одному блоку данных с комплектом выборок его каналов. Если частота выборок выше или ниже, то число блоков данного потока в кадре оказывается иным (возможно, и переменным от кадра к кадру).

Тактовая частота интерфейса — 24 МГц. В выходном потоке информация передается с двойной синхронизацией. Таким образом, в каждом кадре передается 1000 бит (62,5 16-битных слов), из них 40 бит выделяется для нужд управления, для канальных данных остается 60 слов. Во входном потоке имеет место одиночная синхронизация, в кадре умещается 500 бит (31,25 слов). Из них 36 бит используется для приема ответов, для пакетов данных остается 29 слов.

С каждым потоком связывается канал DMA, обеспечивающий изохронную передачу данных. Передача описывается списком дескрипторов буферов, задающих положение и длину фрагментов потока в физических адресах ОЗУ. Для каждого канала в контроллере имеются регистр-указатель на начало списка и регистр, указывающий на последний действительный дескриптор. Канал DMA должен иметь буферы на 1-2 кадра, предохраняющие контроллер от переполнения (переопустошения) в случае загрузки шины.

10.3.2.3.5.2. Интерфейс HDA Link

Интерфейс HDA Link состоит из следующих сигналов:

- BCLK — сигнал глобальной тактовой синхронизации частотой 24 МГц (вырабатывается контроллером, принимается всеми кодеками);
- SYNC — сигнал синхронизации кадров (48 кГц), с помощью которого передаются и теги выходных потоков (синхронизация и по фронту, и по спаду BCLK);
- SDO — шина данных; широкопередателю передаваемых от контроллера к кодекам (синхронизация и по фронту, и по спаду BCLK);
- SDI — последовательные линии данных, передаваемых кодеками (двухточечные соеди-

нения);

- RST# — сигнал сброса.

По составу сигналов интерфейс HDA Link аналогичен AC-Link, но сигналы называются короче и используются иначе. Для масштабирования пропускной способности шина SDO может иметь разрядность 1, 2 или 4 бита. На широкой (более 1 бита) шине управляющая информация, передаваемая в начале каждого кадра, направляется по всем линиям шины (копируется). Данные распределяются по линиям (striping). Для повышения пропускной способности кодек может использовать более одной линии SDI, при этом с точки зрения интерфейса они независимы.

Организацию обмена на интерфейсе HDA Link иллюстрирует рис. 10.12. Начало кадра отмечается сигналом SYNC длительностью 4 такта. С момента его спада начинается передача пакета потока команд (command) и прием потока ответов (response). Передача пакета каждого *выходного потока* отмечается тегом, который передается по линии SYNC в конце передачи предыдущего пакета. В теге содержится 4-битный идентификатор потока, перед которым передается преамбула (1110). Такая конструкция позволяет отличить передачу тега от передачи метки начала кадра.

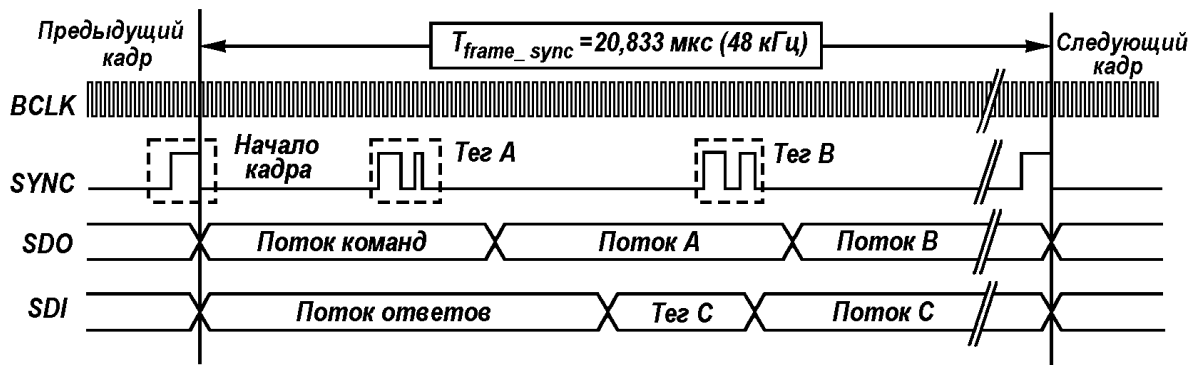


Рис. 10.12. Временная диаграмма передач по шине интерфейса HDA Link

Для *входных потоков* пакеты маркируются иначе. Тег пакета, содержащий 4-битный идентификатор пакета и 6-битное поле длины данных, передается по линии SDI перед самим телом пакета. В конце пакета входного потока могут присутствовать 4 бита-заполнителя (нули).

Контрольные вопросы к разделу 10.3.2

1. Какие подсистемы входят в состав СВВ звуковой информации?
2. Сформулируйте общие сведения об аудиосистеме ПК.
3. Сформулируйте общие сведения о прикладной звукотехнике.
4. Охарактеризуйте процесс и средства оцифровки звуковых сигналов и восстановления его из цифровой формы представления.
5. Дайте краткую характеристику методам компрессии (сжатия) звуковой информации.
6. Охарактеризуйте методы синтеза звуков.
7. Охарактеризуйте особенности стереофонического и объемного воспроизведения звука.
8. Сформулируйте общие сведения о звуковых картах (адаптерах) ПК.
9. Охарактеризуйте аналоговые звуковые карты.
10. Охарактеризуйте цифровые технологии звуковых карт.
11. Охарактеризуйте аудиокодек AC'97.
12. Охарактеризуйте цифровой интерфейс AC-Link.
13. Охарактеризуйте технологию многоканального звука — High Definition Audio
14. Охарактеризуйте интерфейс HDA Link.

Информацию о трехмерном звуке и об аудиоданных на дисках CD и DVD можно найти в [8],

[20]. Информацию об адресах регистров звуковой карты SB 16 можно найти в [20] и в Интернет. Описание функциональных возможностей аудиокодека AC'97 можно найти в [8], [20] и в спецификации AC'97 2.2. Описание организации программного интерфейса HDA и модульной архитектуры кодеков HDA можно найти в [8], [20] и в спецификации HDA.

В данном разделе использована информация из [8].

10.3.3. Система ввода-вывода речевой информации

10.3.3.1. Общие сведения

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 ЭВМ, 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 неотъемлемой части интерфейса пользователя. Они применяются в специализированных системах переводчиков, включая синхронный перевод, в мультимедиа для озвучивания анимационных движений губ виртуального говорящего персонажа и т. п. 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.

10.3.3.2. 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. 10.13,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 и турбулентность воздушного потока; 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 нёбо и носовую полость не учитывают, тогда модель можно представить в виде акустической трубы, которая 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 полосе 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. 10.13,б для случаев произношения звуков «э» и «а». Разборчивость речи определяется первыми тремя формантами.

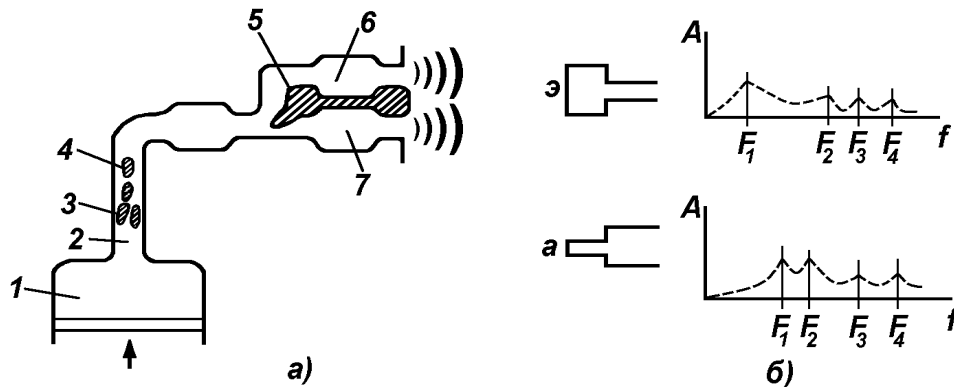


Рис. 10.13 Модель голосового тракта.

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.

10.3.3.3. 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 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. 10.14.

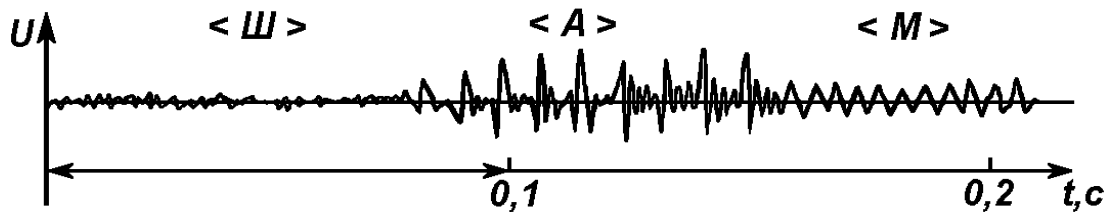


Рис. 10.14. Временная диаграмма речевого сигнала.

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 не учет таких факторов делает звучание неестественным.

Рассмотрение устройств начнем с УВыв речи, так как процесс формирования речевых сообщений несколько проще процесса их распознавания.

10.3.3.4. Формирование речевых сообщений и подсистемы вывода речи

10.3.3.4.1. Общие сведения

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 синтезатором, в соответствии с которыми на выходе синтезатора формируется речевой сигнал. Конструирование речевого сообщения выполняется программным путем с использованием аппаратуры ЦП или МП-средств, встроенных в УВыв речи. Синтез речевого сигнала выполняется синтезатором. Действия, выполняемые на каждом из шагов, определяются принятым в данном синтезаторе способом формирования речевого сигнала.

10.3.3.4.2. 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, 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 синтезатор по этим признакам находит нужное сообщение в своей памяти и выводит его через канал воспроизведения звука.

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 может подвергаться 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 реализации. Все способы формирования речи по образцам обеспечивают сравнительно хорошее качество речи. Синтез речи по образцам аналогичен синтезу звучания музыкальных инструментов (см. раздел «Аудиосистема ПК»).

Описание речевого сигнала. Описание аналогового речевого сигнала может осуществляться с помощью различных способов его цифрового кодирования. К наиболее распространенным способам цифрового описания речевых сигналов относятся: импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) и ее разновидности, кодирование с линейным предсказанием (ЛПК), метод частотной корреляции и параметрическое кодирование. Импульсно-кодовая модуляция и ее варианты рассмотрены в разделе «Аудиосистема ПК».

Как правило, для экономии памяти оцифрованный речевой сигнал подвергают различным видам компрессии (сжатия). Часть из этих методов рассмотрена в разделе 10.3.2.2.3.

10.3.3.4.3. 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 используется электронная (или математическая программно реализуемая) модель голосового тракта человека, т.е. синтезатор. Настройка синтезатора при синтезе по правилам выполняется для каждого отдельного элемента фонетического алфавита. 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. 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» $A_{п}$. На рис. 10.15,а показана структурная схема синтезатора, использующая эти параметры для настройки, а на рис. 10.15,б приведен пример изменения параметров в процессе синтеза речевого сигнала «siks», соответствующего произношению английского слова «six». Схема содержит два тракта.

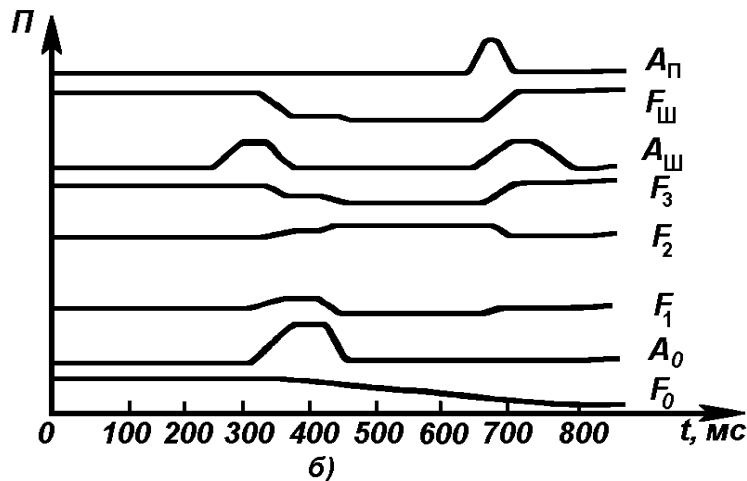
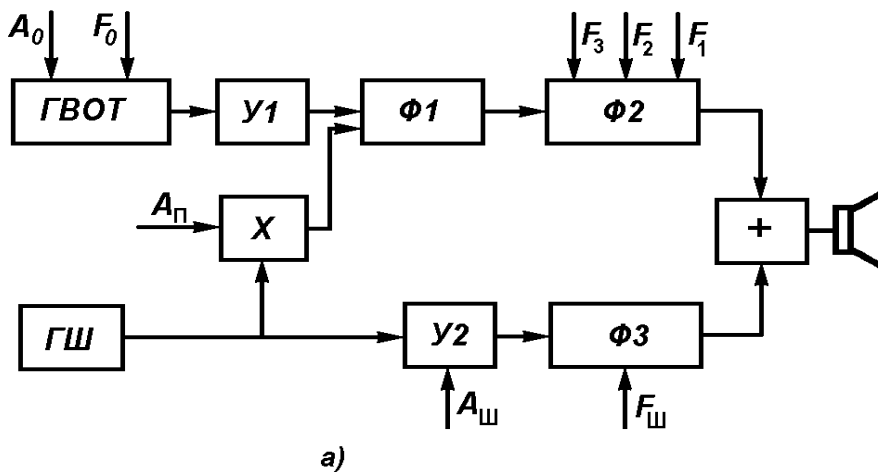


Рис. 10.15. Структурная схема системы, использующей параметры голосового тракта для настройки синтезатора

Первый тракт состоит из управляемого генератора высоты основного тона (ГВОТ), усилителя (регулятора уровня) (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 Ф1 и Ф2 при подаче на них сигнала, сформированного управляемым аттенюатором (Х) из сигнала генератора шума (ГШ).

Второй тракт состоит из ГШ, управляемого усилителя (регулятора уровня) У2 и управле-

мого резонансного фильтра $\Phi 3$ и служит для формирования шипящих звуков. Сигналы от этих трактов подаются на смеситель (микшер) (+) и затем на устройство воспроизведения звука (громкоговоритель). Эта схема довольно точно моделирует работу голосового тракта человека. В рамках современного персонального компьютера основные функциональные компоненты этого синтезатора могут быть реализованы программно. Вывод формируемого им потока цифровых отсчетов звукового сигнала осуществляет звуковой адаптер аудиосистемы ПК.

Конструирование речевого сообщения при синтезе по правилам включает в себя два этапа:

1. символьное представление «орфографического текста», принятое в ПК, преобразуется в фонетическое описание;
2. последовательность элементов фонетического алфавита преобразуется в последовательность УС для непосредственного управления синтезатором.

Эти преобразования иллюстрируются на рис. 10.16. Последовательность слов и словосочетаний текста (*ТЕКСТ*) в виде символьного представления передается программе (*П1*) преобразования орфографического текста в фонетическое описание.

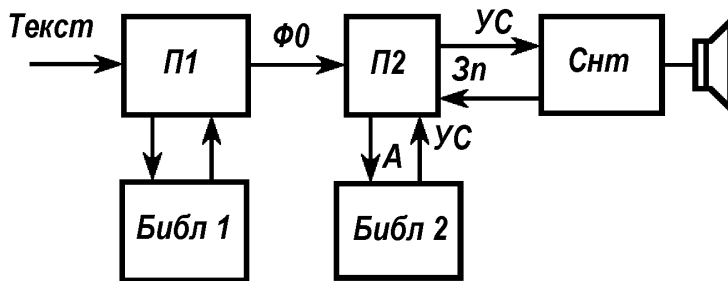


Рис. 10.16. Структурная схема конструирования речевого сообщения при синтезе по правилам

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. Пользуясь библиотекой правил *БИБЛ1* или словарем, программа *П1* передает фонетическое описание $\Phi 0$ программе *П2* формирования последовательности УС. Эта программа последовательно получает коды элементов фонетического описания, по ним формирует адрес A , 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 ($3n$) 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.

Большинство промышленных устройств вывода речи выпускаются в виде отдельных плат для установки в ПК. Так, серийно изготавливались платы речевого вывода для IBM PC/AT 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 "Teha Instruments"). На плате устройства речевого вывода располагались интегральные схемы речевого процессора, словарного ПЗУ, сопряжения с интерфейсом ввода-вывода ПК, а также звуковой усилитель, фильтр и ряд вспомогательных схем. Словарь таких устройств ограничивался 30 - 300 словами, общая длительность звучания которых зависела 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 и более.

10.3.3.5. 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 словам может быть однозначно поставлено в соответствие их орфографическое представление.

Определение границ слов в естественной человеческой речи встречает большие трудности. Обычно 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.

Обобщенная структурная схема относительно простой системы речевого ввода показана на рис. 10.17. 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 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.

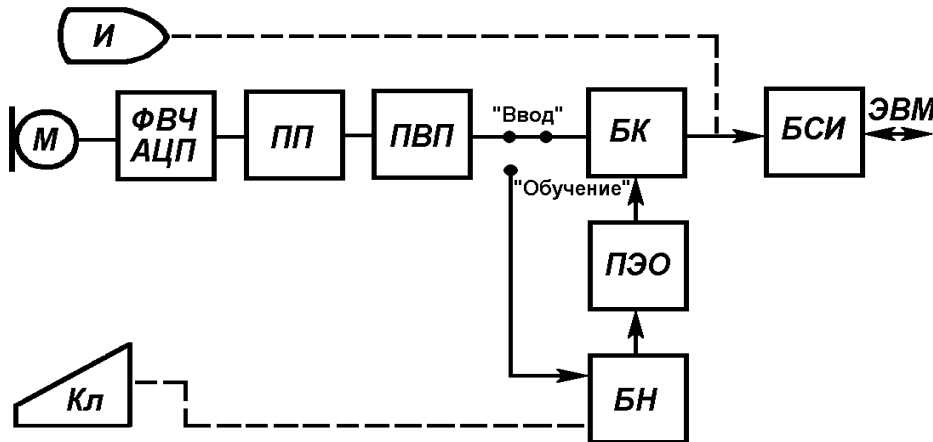


Рис. 10.17. Обобщенная структурная схема упрощенной системы речевого ввода

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 текстовой информации, вводимой как растровое графическое изображение документа.

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.

В системах речевого ввода для повышения достоверности обычно предусматривают визуальную обратную связь. На рис. 10.17 эта связь показана в виде индикатора И, на экран которого выдается символьное представление произнесенного слова; непосредственный ввод этого символьного 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 к разделу 10.3.3.

1. Сформулируйте общие сведения о СВВ речевой информации.
2. Охарактеризуйте механизмы формирования и восприятия речи человеком.
3. Охарактеризуйте структуру речевого сигнала.
4. Сформулируйте общие сведения о формировании речевых сообщений и о подсистеме вывода речи.
5. Охарактеризуйте процесс и средства формирования речевого сообщения по образцам.
6. Охарактеризуйте процесс и средства синтеза речевых сообщений по правилам.
7. Кратко охарактеризуйте систему ввода речевых сообщений.

Организация речевого общения с ЭВМ достаточно подробно изложена в [49].

В разделе использованы материалы из [1].

10.4. Устройства непосредственного механического и осязательного (тактильного) взаимодействия

10.4.1. Общие сведения

К устройствам, позволяющим пользователю непосредственно взаимодействовать с ПК относятся клавиатуры, различные манипуляторы, планшеты, сенсорные панели, киберперчатки, шлемы виртуальной реальности и др.

10.4.2. Клавиатура

Традиционная клавиатура ПК представляет собой унифицированное устройство со стандартным разъемом и последовательным интерфейсом связи с системной платой. В качестве датчиков нажатия клавиш применяют механические контакты (открытые или герконовые), кнопки на основе токопроводящей резины, емкостные датчики и датчики на эффекте Холла. Независимо от типов применяемых датчиков нажатия клавиш все они объединяются в матрицу. Клавиатура содержит внутренний контроллер, выполненный обычно на микросхеме из семейства MCS-48 фирмы Intel, осуществляющий сканирование матрицы клавиш, управление индикаторами, внутреннюю диагностику и связь с системной платой последовательным интерфейсом по линиям KB-Data и KB-Clock (см. раздел 6.2.2.).

Среди обычных (стандартных) исполнений существуют 3 основных типа клавиатур: клавиатура XT на 83 клавиши, клавиатура AT на 84 клавиши и расширенная (enhanced) клавиатура на 101/102 клавиши, ставшая современным стандартом, применяется в большинстве моделей AT и PS/2. Некоторые расширенные клавиатуры имеют 104 или 105 клавиш, имеются и 122-клавишные модели.

Клавиши расширенной клавиатуры разделены на несколько групп: основная клавиатура; функциональная клавиатура; цифровая клавиатура (numeric keypad) — при выключенном индикаторе Num Lock (или включенном индикаторе Num Lock и нажатии клавиши Shift) используется для управления курсором и экраном; выделенные клавиши управления курсором и экраном (дублируют эти функции цифровой клавиатуры); клавиши управления питанием; клавиши быстрого доступа к приложениям.

Внутренний контроллер клавиатуры способен определить факты нажатия и отпускания клавиш, при этом можно нажимать очередную клавишу, даже удерживая несколько ранее нажатых. При нажатии клавиши клавиатура передает идентифицирующий ее *скан-код*. При удержании клавиши в нажатом положении через некоторое время клавиатура начинает автоповтор передачи скан-кода нажатия этой клавиши. Задержка автоповтора (*typematic delay*) и скорость автоповтора (*typematic rate*) для клавиатур АТ программируются. Расширенная клавиатура позволяет выбрать один из трех наборов скан-кодов.

Помимо традиционного стандартного исполнения существуют и другие варианты клавиатур. Малогабаритные клавиатуры портативных компьютеров интегрированы в общий корпус.

Описание интерфейса подключения клавиатуры к хосту приведено в разделе 6.2.2.. Через линии этого интерфейса клавиатура передает хосту скан-коды клавиш и может получать от хоста команды.

Скан-коды передаются от клавиатуры в компьютер по фактам нажатия и отпускания клавиш. При нажатии клавиши передается ее скан-код — номер, идентифицирующий ее расположение на клавиатуре, некоторые клавиши передают цепочку кодов, начинающихся с префикса E0h или E1h, за которыми следуют байты расширенного скан-кода. Современные клавиатуры могут работать в одном из 2-3 наборов (таблиц) скан-кодов, различающихся назначением кодов и способами сообщения об отпускании клавиш.

Значения скан-кодов нажатия для трех возможных наборов можно найти в [22].

10.4.3. Манипуляторы-указатели — мышь, трекбол

Мышь и трекбол называют указательными устройствами (*pointing devices*), поскольку с их помощью пользователь может задать компьютеру местоположение курсора и подать одну из нескольких команд.

Устройство ввода *мышь* (*mouse*) передает в систему информацию о своем перемещении по плоскости и нажатии кнопок (двух или трех, а в современных моделях и больше). Обычная конструкция имеет свободно вращающийся массивный обрезиненный шарик в днище корпуса, передающий вращение на два координатных диска с фотоэлектрическими датчиками. Датчики для каждой координаты представляют собой две открытые оптопары (светодиод-фотодиод), в оптический канал которых входит вращающийся диск с прорезями.

В мыши имеется *микроконтроллер*, который обрабатывает сигналы с датчиков и посылает в ПК информацию о перемещениях и состоянии кнопок. Один из первых вариантов мыши — *Bus Mouse* (шинная мышь) — содержит только датчики и кнопки, а обработка их сигналов производится на специализированной плате адаптера, устанавливаемого в слот шины ИВВ хоста ISA (откуда и название «шинная мышь»).

Манипулятор *трекбол* (*TrackBall* — дословно «следающий шар»), по сути, представляет собой перевернутую мышь, шарик которой вращают пальцами. Иногда он встраивается в клавиатуру (чаще на портативных компьютерах). Преимущество шара в том, что он не требует для работы свободной плоской поверхности, а может закрепляться зажимом на краю стола.

Оптическая мышь (*optical mouse*) не имеет механических частей, подверженных загрязнению и износу. Первые модели оптических мышей ориентировались по лучам, отраженным от специального коврика с сетчатым рисунком. Современные оптические мыши имеют встроенную видеокамеру с графическим процессором, обрабатывающим полученное изображение. Эта мышь не требует специального коврика и может функционировать на любой текстурированной поверхности. Оптические мыши имеют хорошие параметры: разрешение — 800 dpi, скорость — до 1 м/с, ускорение — до 10g.

3D-мышь помимо двух обычных координат перемещения позволяет задавать и третью — с

дополнительного колесика, вращаемого пальцем. Это колесико, как правило, приводит в движение трещотки, нажимающие кнопки-датчики.

По *интерфейсу с компьютером* различают несколько видов мышей, из которых в современных РС-совместимых компьютерах используются следующие:

- Serial Mouse — мышь с интерфейсом RS-232C, подключаемая к COM-порту ПК. Интерфейс односторонний: данные передаются только от мыши, параметрами самой мыши управлять невозможно.
- PS/2-Mouse — мышь с двусторонним интерфейсом, подключаемая к специальному интерфейсному порту системной платы.
- USB Mouse — мышь с интерфейсом USB, низкоскоростное (Low Speed, LS) устройство USB, с которым устанавливается двусторонняя связь. Мышь с интерфейсом USB удобно подключать к клавиатуре USB или монитору со встроенным USB-хабом (меньше проводов идет к системному блоку).
- Bluetooth Mouse — мышь с двусторонним радиointерфейсом.

Для ряда применений (в основном игр) важна частота опроса мыши. Для интерфейса USB она может достигать 125 опросов в секунду (но не больше), интерфейс PS/2 допускает и большие частоты (до 200 опросов в секунду). Мыши Serial Mouse по возможной частоте посылок самые медленные (ниже 30 посылок в секунду).

В блокнотных ПК в качестве манипулятора может использоваться сенсорная панель (touch pad), чувствительная к прикосновению и перемещению пальца. Применяются и миниатюрные манипуляторы в виде кнопки, чувствительной к давлению в разных направлениях. К компьютеру может быть одновременно подключено несколько устройств-указателей (например, сенсорная панель и мышь или пара мышей). Операционные системы без специальной программной поддержки сообщения от всех указателей собирают в единый поток для управления единственным курсором на экране.

10.4.4. Планшеты

Дигитайзер (планшет) — устройство, позволяющее вводить графическую информацию от руки пользователя. Дигитайзеры позволяют вводить *абсолютные координаты точек*, привязанные к системе координат планшета (манипуляторы сообщают только относительные перемещения). Первые модели дигитайзеров предназначались для ввода координат точек чертежей, закрепленных на планшете. Для этого они снабжались манипулятором с «оптическим прицелом» и несколькими кнопками. По нажатию кнопки дигитайзер передает текущие координаты, в графическом приложении (векторном) эти координаты используются для рисования графических примитивов. Современные дигитайзеры снабжаются и *пером*, с помощью которого можно рисовать (или писать) и ретушировать изображения. Для художественных работ перо с планшетом гораздо удобнее, точнее и производительнее, чем мышь. Перо может быть чувствительным к нажатию и/или наклону — информация о нажатии может управлять параметрами рисующего инструмента в графическом приложении. Переворот пера может превращать «карандаш» в «ластик». В состав планшета может входить специальная мышь, которой можно работать, как обычной. Распространены планшеты форматов А3-А6. Для «сколки» чертежей существуют планшеты формата А0 (и даже больше). Планшеты обеспечивают высокое разрешение (1000, 2540 dpi и выше), погрешность 0,1-0,2 мм. Число различимых градаций нажатия пера может быть 256 и более. Интерфейс подключения — COM-порт или шина USB.

Внутреннее устройство планшетов может быть различным. Если планшет содержит матрицу принимающих антенн, то указатель представляет собой генератор электромагнитных сигналов, питающийся от батарейки или через кабель питания. Возможна и обратная конструкция: передающие антенны — в планшете, а приемник — в перо. Планшеты с

сенсорными панелями воспринимают механическое воздействие «карандаша». В карманных ПК миниатюрные сенсорные панели, объединенные с жидкокристаллическим дисплеем, являются основными устройствами ввода графической информации и рукописного текста. Сенсорные панели блокнотных ПК на роль планшета не годятся: они воспринимают только прикосновение пальца (реагируют на электрическую емкость), так что точность низкая (передают только относительные перемещения и не различают степень нажатия).

Более подробную информацию о принципах работы планшетов и сенсорных панелей можно найти в [48].

10.4.5. Игровые устройства — джойстик, руль, педали

Джойстик является одним из первых чисто развлекательных устройств IBM PC, и его название (joystick) можно буквально перевести как «палочка для удовольствия». Джойстик позволяет вводить в компьютер информацию о двух координатах ручки управления и о состоянии двух кнопок. Вместо двухкоординатной ручки может быть сделан руль автомобиля с педалью газа или что-либо иное, были и простейшие игровые устройства (paddle) с парой ручек потенциометров и парой кнопок. Джойстик используют в играх, где благодаря возможности пропорционального управления (сигнал вырабатывается пропорционально отклонению ручки) он гораздо привлекательнее, чем клавиатура.

Для устройств связи с оператором (одним из таких устройств и является джойстик) в спецификации USB выделен специальный класс — HID (Human Interface Device). Эти устройства могут предоставлять набор специальных физических дескрипторов, описывающих, какой частью тела человек воздействует на тот или иной орган управления (сообщаемый параметр). К примеру, киберперчатка имеет множество датчиков, связанных с разными частями кисти оператора. Физические дескрипторы позволяют связывать передаваемые параметры с действиями оператора.

С самых первых моделей IBM PC был введен и, фактически, стандартизован интерфейс игрового адаптера — *игровой порт* (game port), к которому можно подключить до двух джойстиков или иных устройств.

Помимо обычных джойстиков существуют джойстики с механической обратной связью — в них на органы управления (рычаг, руль) воздействуют электроприводы, получающие управляющие сигналы от компьютера. Таким образом, например, могут имитироваться сопротивление повороту руля автомобиля, удар по рулю при наезде на препятствие или, наоборот, ослабление сопротивления руля при заносе. Для подачи управляющих сигналов интерфейс игрового порта не приспособлен, поэтому для таких сигналов используется дополнительный интерфейсный кабель (от COM-порта). Джойстик с интерфейсом USB, естественно, по одному кабелю передает информацию в обе стороны. Цифровые джойстики требуют установки специальных драйверов.

10.4.6. Устройства виртуальной реальности

10.4.6.1. Общие сведения

Появившиеся в последнее десятилетие технологии сделали популярными два новых понятия - *виртуальная реальность* и *киберпространство*. Под «виртуальной реальностью» можно подразумевать реальность, отличную от действительного, материального мира, основой которой будут являться нематериальные понятия - информация, мысли и образы. Основное выражение, определяющее весь смысл виртуальной реальности - это «ощущение присутствия» в виртуальном мире. Под «киберпространством» можно подразумевать конечную

среду, основой которой будут являться компьютерные технологии, предназначенные для создания или имитации виртуальной реальности [http://www.virtual.ru/virtual_reality.html].

Ниже приводится информация о некоторых периферийных устройствах виртуальной реальности, позволяющие создать ощущение присутствия в среде виртуальной реальности.

10.4.6.2. Шлемы виртуальной реальности

10.4.6.2.1. Общие сведения

Шлем виртуальной реальности (VR-шлем), называемый также *кибер-шлемом*, в настоящее время является наиболее совершенным и дорогостоящим устройством формирования трехмерных изображений, который может быть использован в домашних условиях совместно с PC или бытовой видеоаппаратурой. Принцип действия его основан на использовании двух-экранного метода, т. е. для каждого глаза формируется свое изображение элемента стереопары: для левого глаза — изображение левого элемента, для правого — правого элемента.

Важнейшей особенностью таких шлемов является наличие так называемой *системы виртуальной ориентации* (СВО, или VOS — *Virtual Orientation System*), которая отслеживает движение головы и в соответствии с ним корректирует изображение на экранах. Благодаря наличию СВО, VR-шлем представляет собой нечто большее, чем просто устройство отображения: он помогает человеку окунуться в иную, виртуальную реальность, что и отражено в его названии.

Максимальный эффект от применения VR-шлемов достигается в том случае, когда они используются совместно со специфическими устройства ввода, называемыми *VR-контроллерами*. Примером VR-контроллера является трехмерная мышь, специальные перчатки и другие устройства.

VR-шлем подключается к PC. Как правило, он снабжается контроллером, либо выполненным в виде отдельной интерфейсной карты, устанавливаемой в слот шины ISA или PCI, либо встроенным непосредственно в шлем.

10.4.6.2.2. Системы виртуальной ориентации

Как уже отмечалось, система виртуальной ориентации предназначена для определения пространственного и углового положения пользователя (чаще всего — его головы) и передачи в реальном масштабе времени результатов измерений в PC. Это позволяет оперативно, с учетом движения пользователя, корректировать формируемое VR-шлемом изображение. Чаще всего элементы СВО вмонтированы в шлем. Однако существуют и самостоятельные высокоточные системы, одинаково пригодные как для игр, так и для работы в специализированных профессиональных приложениях.

СВО должна обеспечивать слежение по шести координатам (иногда их называют *степенями свободы*):

- трем пространственным (X, Y и Z), измеряемым в прямоугольной системе координат и характеризующим **положение** объекта относительно некоторой точки — начала координат;
- трем угловым, характеризующим **ориентацию** объекта (головы пользователя) относительно трех базовых направлений — осей системы координат.

В VR-шлемах, предназначенных для игровых приложений (таких на рынке абсолютное большинство), достаточно отслеживать только ориентацию головы, т. е. ее угловое положение. Это положение характеризуется тремя углами:

- *Yaw (Azimuth)* — *углом рыскания*, или *азимутом*, отсчитываемым в горизонтальной плоскости (0—360°);

- *Pitch (Elevation)* — углом возвышения, или углом места, отсчитываемым в вертикальной плоскости ($\pm 90^\circ$);
- *Tilt (Roll)* — углом крена (наклона), отсчитываемым в плоскости, перпендикулярной линии визирования ($\pm 180^\circ$).

Такие углы в математике называют *углами Эйлера*. Измерив значения этих углов, СВО передает их в РС (обычно через последовательный порт) программе, которая корректирует изображение на ЖК-матрицах или на ЭЛТ шлема. Частота, с которой выполняются измерения (считываются показания датчиков) и осуществляется их передача в РС, называется *частотой опроса*. Частота опроса, а также точность измерения углов (оценивается величиной среднеквадратической ошибки) являются важными техническими характеристиками СВО.

В качестве датчиков углового положения используются миниатюрные устройства, основанные на различных физических принципах: магнитные датчики в виде катушек; ультразвуковые датчики; гироскопические, включая квантовые датчики, называемые также *инерциальными*.

В зависимости от типа используемых датчиков различают *магнитные, ультразвуковые и инерциальные СВО*. Описание этих СВО можно найти в [46].

10.4.6.3. Кибер-перчатки

Каждая перчатка оснащена 18—22 сенсорными датчиками, регистрирующими движения отдельных пальцев руки и кисти в целом. Основываясь на информации, получаемой от этих датчиков, управляющая программа синтезирует на экранах VR-шлема трехмерное изображение виртуальной руки, которая в точности повторяет движения руки реальной. Помимо датчиков положения пальцев и кисти, такие перчатки могут быть дополнены миниатюрными вибросимуляторами, вызывающими у пользователя реальные тактильные (осознательные) ощущения. Каждый из вибросимуляторов может генерировать короткие импульсы или продолжительные вибрации. Комбинируя эти сигналы, можно имитировать довольно сложные ощущения, возникающие при прикосновении к реальным объектам. Благодаря такой технологии, у пользователя создается иллюзия прикосновения к предметам, наблюдаемым в виртуальном трехмерном мире. Говоря научным языком, возникает тактильная *обратная связь* между пользователем и виртуальным миром: пользователь не только воздействует на этот мир, но и ощущает на себе его реакцию.

Задача создания тактильной обратной связи может решаться не только при помощи вибросимуляторов. Можно использовать специальное приспособление *Cyber Grasp* (киберхватка), которое надевается поверх перчатки и внешне напоминает железный скелет руки.

Принцип действия *Cyber Grasp* довольно прост: смонтированные поверх пальцев тяговые механизмы в зависимости от поступающих на них сигналов создают усилие, препятствующее сжатию пальцев руки. Чем «тверже» виртуальный предмет, тем резче проявляется сопротивление по мере сжатия пальцев. В итоге — желанное ощущение осязаемости виртуального мира. Максимальная сила, воздействующая на палец, равна 12 Н. Система обеспечивает 2^{12} градаций силового воздействия. Вес устройства, без учета веса самих перчаток, составляет 350 г.

Во всех рассмотренных случаях перчатки *Cyber Glove* подключаются к блоку управления, который соединяется с РС через последовательный интерфейс RS-232 или USB.

Системы на основе *Cyber Glove* могут использоваться не только в игровых приложениях. Весьма необычная область применения — распознавание жестов, которыми пользуются глухонемые люди при общении. Система снабжается дополнительным электронным блоком распознавания, в котором хранятся данные о положениях руки, соответствующих наиболее

распространенным жестам. Сравнивая текущее положение руки жестикулирующего человека с имеющимися вариантами, система с вероятностью 99% распознает жест глухонемого человека как букву или слово, отображая его на экране монитора или озвучивая с помощью системы синтеза речи.

Контрольные вопросы к разделу 10.4

1. Кратко сформулируйте общие сведения об устройствах непосредственного механического и сенсорного взаимодействия.
2. Охарактеризуйте клавиатуру ПК.
3. Охарактеризуйте манипуляторы-указатели мышь и трекбол.
4. Охарактеризуйте планшеты (дигитайзеры).
5. Охарактеризуйте игровые устройства джойстик, руль, педали.
6. Сформулируйте общие сведения о шлемах виртуальной реальности.
7. Охарактеризуйте системы виртуальной ориентации.
8. Охарактеризуйте кибер-перчатки.

Дополнительную информацию по рассмотренным в данном разделе устройствам ввода-вывода можно найти в [1], [8], [20], [22], [46], в периодической печати и в Интернет. Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данного раздела можно найти в [65, 66].

В данном разделе использованы материалы из [8], [46].

Глава 11.

Подсистема внешней памяти

11.1. Принцип действия и назначение устройств хранения

Устройства хранения, относящиеся к внешней памяти компьютера, обеспечивают энергонезависимое хранение блоков информации на каком-либо физическом носителе. Физические принципы энергонезависимого хранения и соответствующие им носители разнообразны. Наибольшее распространение получили следующие принципы хранения:

- Магнитный принцип основан на перемагничивании участков носителя в соответствии со значениями битов записываемой информации. Этот принцип реализуется в *устройствах с подвижным носителем* в виде магнитного диска или магнитной ленты, где запись и считывание производится на дорожку (трек). Головка записи вызывает изменение намагниченности участков трека в соответствии с записываемой битовой последовательностью. При считывании регистрируется изменение магнитного поля, связанное с прохождением под головкой участков трека, и из этих изменений извлекается ранее записанная информация. Существуют магнитные устройства хранения и с неподвижным носителем. В «древней» истории компьютеров применялись матрицы (кубы) памяти на магнитных сердечниках, позже – устройства хранения на подвижных магнитных доменах в неподвижной магнитной среде. В магнитооптических устройствах принцип хранения — магнитный, оптика (лазер) используется лишь для разогрева перемагничиваемого участка при записи (это позволяет значительно уменьшить размер участка — повысить плотность записи) и считывании (свойства поляризованного отраженного луча зависят от состояния магнитной «ячейки»).
- Оптический принцип основан на изменении оптических свойств участка носителя: степени прозрачности или коэффициента отражения. Способы, какими эти изменения достигаются, различны. В первых оптических устройствах использовался механический способ записи — пробивали отверстия в перфолентах и перфокартах. В современных оптических устройствах на дисках CD и DVD изменение оптических свойств достигается с помощью лазера, выжигающего лунки (необратимо, однократно) или изменяющего состояние участка носителя (необратимо, обратимо, многократно). Выпуск массового тиража оптических носителей с информацией возможен и с помощью различных технологий печати (штамповки).
- Электрический принцип основан на пороговых эффектах в полупроводниковых структурах. Этот принцип используется в *твердотельной памяти* — флэш-памяти и EEPROM. Здесь для изменения состояния хранящей ячейки требуется значительная энергия (довольно длительное воздействие сильного электрического поля), что и происходит в процессе записи, называемом программированием. Считывание требует значительно меньших затрат как энергии, так и времени. Под твердотельностью в этих устройствах подразумевается отсутствие движения носителя относительно средств записи-считывания.

Устройство хранения тем или иным способом подключается к *хосту* — компьютеру, в котором, как минимум, присутствуют процессор и ОЗУ. Для хоста устройство хранения должно обеспечивать возможность записи блоков данных из внутренней памяти (как правило, ОЗУ) в устройство и считывание этих блоков из устройства в ОЗУ. Взаимодействие с устройством хранения выполняется по инициативе хоста (программы, выполняемой его процессором). В отличие от взаимодействия с внутренней памятью, операции обмена с устройствами хране-

ния всегда блочные. Блок может быть как фиксированного, так и произвольного размера. Самый популярный размер блока — 512 байт, хотя в ряде устройств используются и иные размеры блока. Для выполнения любой операции обмена с внешней памятью требуется специальная процедура (подпрограмма).

Блоки в устройстве могут адресоваться различными способами. Наиболее простой и удобной является *линейная адресация логических блоков*, при которой каждый блок хранимых данных адресуется одномерным адресом (числом) *LBA* (Logical Block Address — адрес логического блока). В дисковых накопителях исторически сложилось использование и иных способов адресации; это *трехмерная адресация CHS* (Cylinder-Head-Sector — цилиндр-головка-сектор).

11.2. Основные характеристики устройств хранения

По *методу доступа* к информации устройства внешней памяти разделяются на устройства с прямым (или непосредственным) доступом и устройства с последовательным доступом. В *устройстве хранения с прямым доступом* (Direct Access Storage Device, DASD) есть возможность обращения к блокам по их адресам в произвольном порядке и, что важно, допускается произвольное чередование операций записи и чтения блоков. В *устройствах последовательного доступа* произвольное чередование операций записи и чтения, относящихся к произвольным адресам блоков, либо невозможно, либо затруднительно. Традиционными устройствами с последовательным доступом являются *накопители на магнитной ленте* (tape device), они же *стримеры*. Устройствами с последовательным доступом являются и оптические диски (CD, DVD). В этих устройствах информация записывается последовательно на один длинный спиральный трек (дорожку).

Главная характеристика устройства хранения — *емкость* (capacity), измеряемая в килобайтах, мегабайтах, гигабайтах и терабайтах (Кбайт, Мбайт, Гбайт, Тбайт, или в английской транскрипции KB, MB, GB, TB, или, еще короче — K, M, G, T). Здесь, как правило, приставки кило-, мега-, гига-, тера- имеют *десятичные* значения — 10^3 , 10^6 , 10^9 и 10^{12} соответственно. Емкость устройства в первую очередь определяется его носителем, однако она может ограничиваться и пределом возможности адресации блоков, свойственным тому или иному интерфейсу подключения.

Устройства внешней памяти могут иметь *сменные* или *фиксированные носители* информации. Применение сменных носителей (removable media) позволяет хранить неограниченный объем информации, а если носитель и формат записи стандартизованы, то они позволяют еще и обмениваться информацией между компьютерами.

Важнейшими общими параметрами устройств являются время доступа, скорость передачи данных и удельная стоимость хранения информации.

Время доступа (access time) определяется как усредненный интервал от получения устройством запроса на запись или чтение блока данных до фактического начала передачи данных.

Скорость записи и считывания определяется как отношение объема записываемых или считываемых данных ко времени, затрачиваемому на эту операцию. В затраты времени входят и время доступа, и время передачи данных.

Скорость передачи данных (Transfer Speed, Transfer Rate, XFER) определяется как производительность обмена данными, измеряемая после завершения поиска данных.

По отношению к корпусу компьютера устройства могут быть внутренними (internal) и внешними (external). *Внутренние устройства* помещаются в специальные трех- или пятидюймовые отсеки корпуса компьютера и питаются от его же блока питания. *Внешние устройства*

помещают в отдельный корпус, а питаются они от собственного блока питания или от интерфейса (USB или FireWire).

Твердотельные устройства хранения на флэш-памяти выпускаются в разнообразных конструктивных исполнениях. Первые «статические диски» выполнялись в виде устройств формата 3,5" с интерфейсом ATA. Затем появились флэш-карты расширения с интерфейсом PC Card (PCMCIA), Card Bus, которые используются в блокнотных ПК, а также в ряде бытовых электронных устройств, например в цифровых фотокамерах. Современные малогабаритные карты (Compact Flash, SmartMedia, MMC, SD и др.) имеют разнообразные (собственные) конструктивы, и для их подключения к компьютеру требуются специальные устройства, оборудованные соответствующими слотами. Очень популярными стали твердотельные устройства хранения с интерфейсом USB.

11.3. Интерфейсы устройств хранения

Как минимум, устройство хранения состоит из собственно носителя (фиксированного или сменного) и средств доступа к носителю. Под средствами доступа подразумеваются необходимые узлы записи и считывания, а также — для подвижных носителей — привод и механизмы позиционирования. Для твердотельных устройств аналогом средств позиционирования являются средства адресации (выбора микросхемы, банка памяти, адреса). *Контроллер устройства хранения* занимается управлением носителем, избыточным кодированием и декодированием, исправлением ошибок или/и организацией повторных обращений к носителю и другими вспомогательными операциями. Для хоста контроллер совместно со своим программным *драйвером* должен обеспечивать базовые операции:

- сохранение (запись) информации из указанной области внутренней памяти хоста (размером в целое количество блоков) в указанное место на носителе устройств;
- считывание указанных блоков с носителя устройства в указанную область внутренней памяти хоста;
- вспомогательные операции, включая определение состояния и параметров носителя, форматирование носителя (если требуется), тестирование и т. п.

Соотношение интеллекта аппаратного (с точки зрения хоста) контроллера и сложности его программного драйвера (объема работы, выполняемой процессором хоста) зависит от типа устройства хранения. Для оптимизации производительности системы в целом (хоста и его устройств хранения) стремятся повышать интеллект контроллера. Для удешевления устройства хранения контроллер могут и упрощать до простейшего интерфейсного адаптера.

Физическое местоположение контроллера зависит от реализации устройства. Обобщенная схема подключения устройства к хосту приведена на рис. 11.1.

Если контроллер располагается отдельно от устройства, то устройство подключается к контроллеру с помощью кабеля специализированного малого ИВВ. Если контроллер встроен в устройство хранения, то вся специфика взаимодействия с носителем скрывается внутри устройства — во внутреннем малом ИВВ между средствами доступа к носителю и контроллером. При этом появляется свобода в выборе интерфейса подключения устройства (фактически — его контроллера) к хосту через различные периферийные ИВВ — ATA (IDE), SCSI и их последовательные варианты (SATA и SAS). Аппаратная часть внешнего ИВВ устройства внешней памяти на подвижном носителе состоит из узлов записи и считывания (головки чтения/записи, устройства и механизмы их позиционирования и автоматического удерживания на дорожке (треке), приводы дисков, усилители чтения/записи и другие устройства, входящие в состав блока управления записью/чтением).

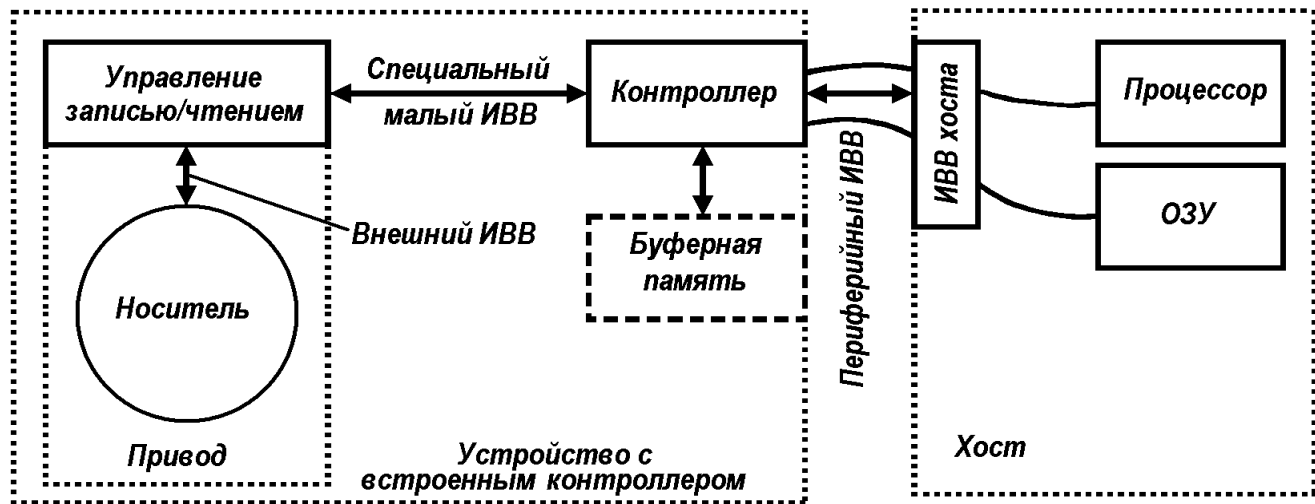


Рис. 11.1. Устройство хранения, подключенное к хосту, и его интерфейсы

11.4. Устройства хранения на магнитных дисках

11.4.1. Общие сведения

Накопитель на магнитных дисках удобно использовать для иллюстрации принципов работы устройств хранения, принципов взаимодействия с такими устройствами, а также функций, выполняемых их контроллерами. Иные устройства с подвижными носителями можно рассматривать как вариации накопителя на магнитных дисках: возможны другие принципы функционирования и конструкции головок чтения-записи (оптические с лазерами и фотоприемниками), нюансы привода носителей (например, переменная скорость и стартстопный режим), особенности системы позиционирования. Схематически устройство классического дискового накопителя представлено на рис. 11.2.

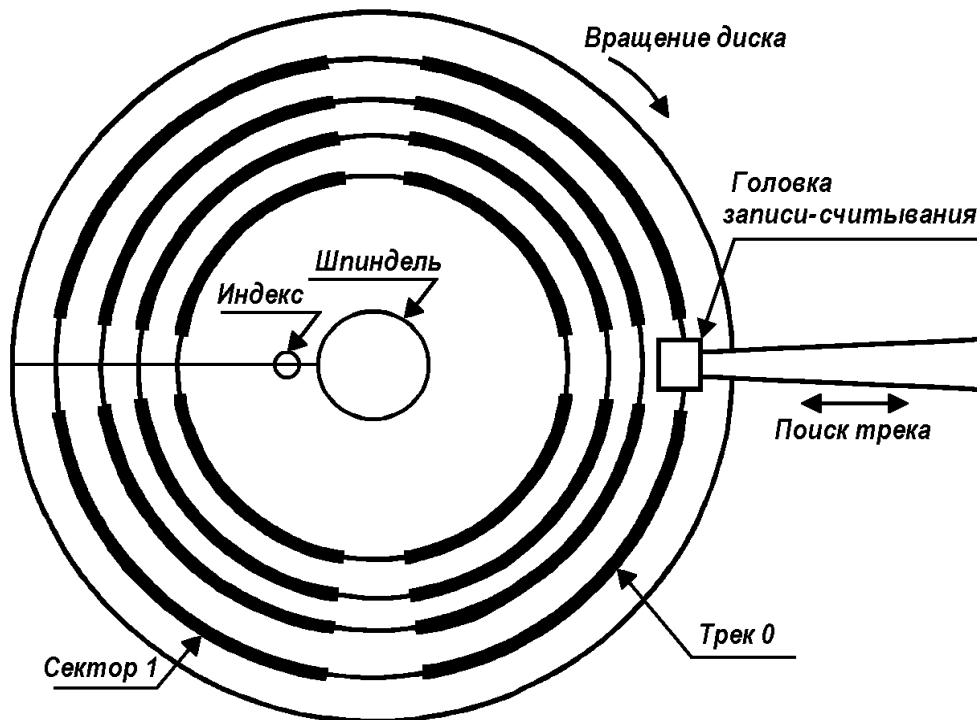


Рис. 11.2. Устройство дискового накопителя

Носителем информации является диск (один или несколько), на который нанесен слой ве-

щества, способного намагничиваться (чаще всего ферромагнитный с прямоугольной петлей гистерезиса). Хранимую информацию представляет состояние намагниченности отдельных участков рабочей поверхности. Дискс вращаются с помощью *двигателя шпинделя* (spindle motor), обеспечивающего требуемую скорость вращения в рабочем режиме. На диске имеется *индексный маркер*, который, проходя мимо специального датчика, отмечает начало каждого оборота диска. Информация на диске располагается на концентрических *треках* (дорожках), нумерация которых начинается с внешнего трека (track 00). Каждый трек разбит на *секторы* (sector) фиксированного размера. Сектор и является минимальным блоком информации, который может быть записан на диск или считан с него. Нумерация секторов начинается с единицы и привязывается к индексному маркеру. Если накопитель имеет несколько рабочих поверхностей (на шпинделе может быть размещен пакет дисков, а у каждого диска могут использоваться обе поверхности), то совокупность всех треков с одинаковыми номерами составляет *цилиндр* (cylinder). Для каждой рабочей поверхности в накопителе имеется своя *головка* (head), обеспечивающая запись и считывание информации. Головки нумеруются, начиная с нуля. Для того чтобы произвести элементарную операцию обмена — запись или чтение сектора, — шпиндель должен вращаться с заданной скоростью, блок головок должен быть подведен к требуемому цилиндру, и только когда нужный сектор подойдет к выбранной головке, начнется физическая операция обмена «полезными» данными между головкой и блоком электроники накопителя. Кроме того, головки считывают служебную информацию (адресную и сервисную), позволяющую определить и установить их текущее местоположение. Для записи информации на носитель используются различные *методы модуляции*, позволяющие кодировать двоичную информацию, намагничивая зоны магнитного слоя, проходящие под головкой. При считывании намагниченные зоны наводят в головке электрический сигнал, из которого декодируется ранее записанная информация. *Контроллер накопителя* выполняет сборку и разборку блоков информации (секторов или целых треков), включая формирование и проверку контрольных кодов, осуществляет модуляцию и демодуляцию (кодирование и декодирование) сигналов головок и управляет всеми механизмами накопителя.

Несмотря на кажущуюся простоту конструкции, записать и потом достоверно считать информацию с диска не так-то просто. Для записи данных необходимо сформировать последовательный код, который должен быть самосинхронизирующимся: при последующем считывании из него должны извлекаться и данные, и синхросигнал, что позволяет восстановить записанную цепочку битов (этим занимается сепаратор данных — узел дискового контроллера). Кроме того, напомним, что индуктивные считывающие головки воспринимают только изменение намагниченности участков трека. Также учтем, что физическое исполнение — магнитные свойства носителя, конструкция головок, скорость движения, «высота полета» головок и т. п. — определяет предельно достижимую плотность записи. Эта плотность измеряется количеством зон с различным состоянием намагниченности на дюйм длины трека — *FCI* (Flux Changes per Inch — изменений потока на дюйм) и в современных накопителях достигает десятков тысяч.

Для записи на диск применяют различные *схемы кодирования* (data encoding scheme). В первых моделях накопителей использовалась *частотная модуляция* (Frequency Modulation, FM), при которой для каждого бита данных на треке отводится ячейка с окнами для представления бита и синхросигнала, что весьма неэффективно расходует величину FCI. Более эффективна *модифицированная частотная модуляция* (Modified Frequency Modulation, MFM), которая позволяет удвоить плотность записи при той же плотности изменения потока. FM и MFM являются схемами с побитным кодированием. Более эффективны схемы логического группового кодирования, в которых цепочка байтов данных (сектор) предварительно разбивается на группы по несколько битов, кодирующихся по определенным правилам. Схема кодирования *RLL* (Run-Length Limited encoding — кодирование с ограничением длины серий), построена на ограничении длины неперемагничиваемых участков трека.

Наиболее популярна схема RLL 2.7 — в ней число неперемагничиваемых ячеек лежит в диапазоне от 2 до 7. Для накопителей с высокой плотностью используется схема RLL 1.7, обеспечивающая большую надежность считывания. Существует и схема ARLL (Advanced RLL) — малораспространенный вариант схемы RLL 3.9. Схемы RLL стали работоспособными только при определенном уровне качества (стабильности характеристик), достигнутом в области технологии создания магнитных накопителей. По этим схемам происходит упаковка данных и исключение избыточных синхросигналов посредством использования несамосинхронизируемого физического кодирования, например кода без возврата к нулю (NRZI). По этому кодированию перемагничивание производится только при значении записываемого бита равным «0».

Кстати сказать, FM и MFM являются разновидностями RLL: схема FM эквивалентна RLL 0.1; MFM — RLL 1.3. Соотношение полезной плотности записи BPI (Bit Per Inch — битов на дюйм) при одинаковой плотности FCI в популярных схемах кодирования следующее:

FM : MFM : RLL 1.7 : RLL 2.7 = 1 : 2 : 2,54 : 3.

Информация на дисках записывается и считывается посекторно, и каждый сектор имеет определенную *структуру* (формат). В начале каждого сектора имеется заголовок, за которым следует поле данных и поле контрольного кода. В *заголовке* имеется поле идентификатора, включающее номер цилиндра, головки и сектора. В этом же идентификаторе может содержаться и пометка о дефектности сектора, служащая указанием на невозможность его использования для хранения данных. Достоверность поля идентификатора проверяется с помощью контрольного кода заголовка. Заголовки секторов записываются только в ходе низкоуровневого форматирования, причем для всего трека сразу. При обращении к сектору по чтению или записи заголовки только считываются. *Поле данных* сектора отделено от заголовка небольшим зазором (gap), необходимым для того, чтобы при записи головка (точнее, обслуживающая ее схема) могла успеть переключиться из режима чтения (заголовка) в режим записи (данных). Сектор завершается *контрольным кодом поля данных* — CRC (Cyclic Redundancy Check — контроль с помощью циклического избыточного кода) или ECC (Error Checking and Correcting — обнаружение и коррекция ошибок). CRC-код позволяет только обнаруживать ошибки, а ECC-код — еще и исправлять ошибки небольшой кратности. В межсекторных промежутках может размещаться сервоинформация, служащая для точного наведения головки на трек.

Для того чтобы диск можно было использовать для записи и считывания информации, он должен быть *отформатирован*. Форматирование может разделяться на два уровня:

- Низкоуровневое форматирование (Low-Level Formatting, LLF) — формирование заголовков и пустых (размеченных заполнителем) полей данных всех секторов всех треков. При форматировании выполняется и верификация (проверка читабельности) каждого сектора, и в случае обнаружения неисправимых ошибок считывания в заголовке сектора делается пометка о его дефектности.
- Форматирование верхнего уровня заключается в формировании логической структуры диска (таблиц размещения файлов, корневого каталога и т. п.), соответствующей файловой подсистеме применяемой ОС. Эта процедура выполняема только после низкоуровневого форматирования.

Итак, структура трека — последовательность секторов — задается при его форматировании, а начало трека определяется контроллером по сигналу от индексного датчика или иным способом. Нумерация секторов, которая задается контроллеру при форматировании, может быть произвольной — важно лишь, чтобы все секторы трека имели уникальные номера в пределах допустимого диапазона. При обращении к сектору он ищется по идентификатору, а если за оборот диска (или за несколько оборотов) сектор с указанным номером не обнаруживается, контроллер фиксирует ошибку (Sector Not Found — сектор не найден). Забота о поиске сектора по его заголовку, помещении в его поле данных записываемой информации, снабженной контрольным кодом, а также о считывании этой информации и ее проверке с помощью

CRC- или ECC-кода лежит на контроллере накопителя. Контроллер управляет также поиском затребованного цилиндра и коммутацией головок, выбирая нужный трек.

Современные жесткие диски внутренне могут быть организованы несколько иначе, чем в вышеописанной схеме. Индексные датчики теперь не используются — начало трека определяется по считываемому сигналу. Физическая разбивка на секторы (по 512 байтов данных, которым предшествует идентификатор) может отсутствовать — группа секторов трека представляет собой единый битовый поток, защищенный избыточным кодированием, из которого вычисляется блок данных, находящийся в требуемой позиции (так называемый ID-less format). Для обеспечения достоверности хранения данных (исправления ошибок) применяются избыточные коды Рида-Соломона (Reed-Solomon code), позволяющие большинство ошибок исправлять «на лету», не требуя повторного считывания блока данных (и дополнительного оборота диска). Заметим, что заметная вероятность искажения информации свойственна любым носителям информации, в том числе твердотельным.

11.4.2. Накопители на гибких магнитных дисках

Устройство НГМД полностью соответствует схеме на рис. 11.2. Носителем информации является гибкий майларовый диск (дискета), на который нанесен ферромагнитный слой.

Многофазные шпиндельные двигатели накопителей совместно с платой электроники автоматически поддерживают требуемую частоту вращения 360 об./мин (5-дюймовые дисководы работали на скорости 300 об./мин.).

В качестве привода позиционирования головок на нужный цилиндр в НГМД применяют шаговые двигатели. Эти двигатели под действием серии импульсов, подаваемых на их обмотки, способны поворачивать свой вал на определенный угол. Этот угол кратен минимальному шагу, определяемому конструкцией двигателя.

При всех операциях обмена с накопителем проверяется адресный маркер цилиндра, и в случае его несовпадения делается повторная попытка позиционирования — возврат к нулевому цилиндру и подача требуемого количества шаговых импульсов.

Выход на нулевую дорожку определяется по датчику нулевого цилиндра, которым обычно является оптоэлектронная пара с флажком, связанным с блоком головок.

Головки записи-считывания — индуктивные. Головка с нулевым номером располагается снизу диска, первая головка — сверху. Головки несколько смещены относительно друг друга в радиальном направлении, так что «цилиндр» дискеты на самом деле больше похож на конус. В нерабочем положении головки подняты над поверхностью диска на несколько миллиметров, а в рабочем прижимаются к поверхности диска пружинами. При недостаточно сильном прижиге запись (особенно при высокой плотности) становится неустойчивой, при слишком сильном прижиге увеличивается износ головок и дискет.

В дисководах имеется несколько датчиков, которые могут быть как оптоэлектронными, так и механическими микровыключателями:

- Датчик индекса формирует выходной (для дисковода) импульс Index на каждый оборот диска. У дисководов 5" он оптоэлектронный, работает на просвет индексного отверстия в носителе. У дисководов 3,5" он магнитный.
- Датчик защиты от записи, оптоэлектронный или механический, формирует выходной сигнал Write Protect. (см. 6.2.1), когда на дискете 5" окошко заклеено, а на дискете 3,5" окошко открыто.
- Датчик нулевого трека, оптоэлектронный или механический, формирует выходной сигнал TR 00, когда головки достигают соответствующего положения (при движении от центра к краю).

- Датчик смены носителя (только у приводов HD – высокой плотности) в момент установки дискеты вызывает срабатывание триггера с выработкой сигнала DC.
- Датчики типа дискеты (только у приводов 3,5") выходных сигналов не формируют. Датчик типа HD автоматически (независимо от интерфейсного сигнала Low Current) должен снижать ток записи, когда в привод HD установлена дискета QD – учетверенная плотность. Датчик ED аналогичным образом задает специальный режим записи для дисков емкостью 2,88 Мбайт.

11.4.3. Накопители на жестких магнитных дисках — винчестеры

11.4.3.1. Общие сведения

Накопители на жестких магнитных дисках (НЖМД), они же HDD (Hard Disk Drive), являются главными устройствами дисковой памяти большинства компьютеров. По случайному совпадению цифр в названии первой модели НЖМД называли «винчестером» (просто игра слов), и это неофициальное название закрепилось в качестве синонима терминов HDD и НЖМД. Наряду с процессором и оперативной памятью винчестер определяет мощность компьютера. От него требуются большой объем хранимой информации, малое время доступа, большая скорость передачи данных, высокая надежность, умеренная стоимость и ряд других полезных свойств.

11.4.3.2. Конструкция НЖМД

Принципиально конструкция НЖМД соответствует рис. 11.2. Вся электромеханическая часть накопителя — пакет дисков со шпиндельным двигателем и блок головок с приводом — находится в *гермоблоке*. Англоязычное сокращенное название этой сборки — *HDA* (Head Disk Assembly — диск с головками в сборке). На корпусе гермоблока размещается и плата электроники накопителя.

В качестве *привода шпинделя* используют, как правило, трехфазные синхронные двигатели. Схема управления двигателем обеспечивает пуск и останов шпинделя, а также поддерживает требуемую скорость с довольно высокой точностью. *Скорость вращения* от 3600 об./мин. Чем выше скорость вращения, тем больше скорость обмена информацией с диском.

Пластины (platter) жестких дисков обычно изготавливают из алюминиевых сплавов, иногда из керамики, стекла или композитных материалов. *Рабочий магнитный слой* основан на оксиде железа, оксиде хрома (более прочный), на никелевых сплавах или других магнитотвердых материалах. Количество пластин у большинства современных винчестеров невелико (1-4). Емкость одной пластины винчестера формата 3,5" уже достигла сотен Гбайт.

Традиционно для записи и считывания информации используются *магнитные головки*, представляющие собой миниатюрные катушки индуктивности, намотанные на магнитном сердечнике с зазором. Первые индуктивные головки содержали проволочные обмотки, их сменили головки, выполненные по *тонкопленочной* (Think Film, TF) технологии.

Для магнитных головок весьма критично расстояние от головки до поверхности магнитного слоя носителя. Непосредственный контакт головки с поверхностью допустим лишь при малых скоростях движения носителя (как в НГМД). Головки винчестеров поддерживаются на микроскопическом расстоянии от рабочей поверхности аэродинамической подъемной силой. Высота определяется тем положением, при котором подъемная сила, определяемая скоростью вращения, формой «крыла» головки и плотностью воздуха, уравнивает давление прижимающей головку пружины.

В современных накопителях для считывания часто применяют *магниторезистивные головки*

(Magnetoresistance Head, MRH), основанные на эффекте анизотропии сопротивления полупроводников в магнитном поле (Anisotropic Magnetoresistance, AMR). В них через магниторезистивный датчик пропускают измерительный ток, и величина падения напряжения пропорциональна намагниченности находящегося под головкой участка магнитной поверхности. Сигнал с магниторезистивной головки повторяет форму записанного сигнала, а не является его производной (как у индуктивной головки). Магниторезистивная головка считывания хорошо «уживается» с индуктивной головкой записи, что позволяет достигать высокой плотности записи информации на магнитный носитель, особенно при вертикальном способе записи (магнитные домены располагаются перпендикулярно поверхности магнитного слоя носителя; при обычном способе записи они располагаются горизонтально). Головки AMR позволяют достигнуть плотности записи до 3 Гбит на квадратный дюйм. Изменение сопротивления при считывании составляет около 3 %. Следующий шаг — применение головок со сверхвысоким магниторезистивным эффектом (Giant Magnetoresistive, GMR). Они позволяют добиваться плотности порядка 10 Гбит на квадратный дюйм (совместно с вертикальным способом записи), а изменение сопротивления достигает 7-8 %.

Для *позиционирования головок* на требуемый цилиндр в старых винчестерах применялись шаговые двигатели с червячной передачей, зубчатой рейкой или ленточной передачей. В современных накопителях для головок применяют привод с *подвижной катушкой* (voice coil actuator), работающий по принципу звуковой катушки динамика. Этот тип привода называют еще *соленоидным*. В таком приводе блок головок связан с катушкой индуктивности, помещенной в магнитное поле постоянного магнита. При протекании тока через катушку на нее начинает действовать сила, пропорциональная силе тока, которая вызывает перемещение катушки, а, следовательно, и блока головок. Привод может быть линейным или поворотным. В накопителе с линейным приводом катушка с блоком головок перемещается строго по радиусу дисков. Такой привод применялся в накопителях больших машин. В накопителе с поворотным приводом блок головок с катушкой размещен на поворотной рамке (рис. 11.3), и траектория головок отличается от радиальной. В большинстве современных накопителей на жестких дисках применяется поворотный привод. Управляя направлением и силой тока, можно быстро перевести блок головок в любое положение — произвольное, а не по фиксированным шагам.

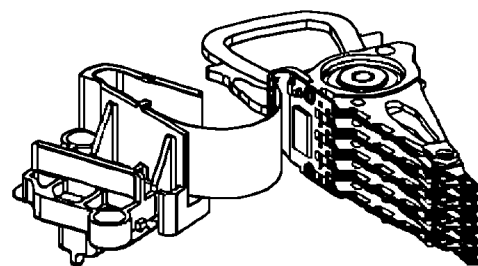
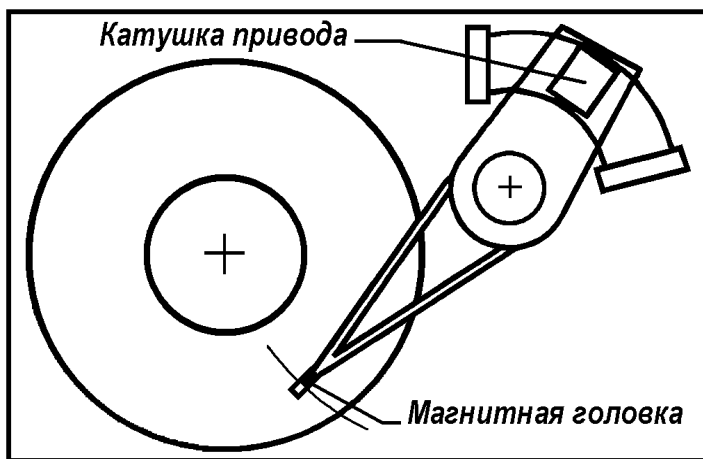


Рис. 11.3. Блок головок с поворотным приводом

Но в такой системе позиционирования необходима обратная связь — информация о текущем положении головок, по которой контроллер может управлять приводом. Привод, обеспечивающий точное позиционирование по сигналу обратной связи, называется *сервоприводом*. С точки зрения теории автоматического управления (регулирования), соленоидный привод является *замкнутой системой*. Такая система привода позволяет сократить время доступа до единиц миллисекунд против сотен миллисекунд, характерных для шагового привода. На требуемом цилиндре головки удерживаются следящей системой точного наведения. Замкнуть

систему управления позволило размещение прямо на диске *сервометок* — вспомогательной информации для «системы наведения». Сервометки записываются в расположенных между треками областях при сборке накопителя.

По месту размещения сервометок различают накопители с *выделенной сервоповерхностью* (dedicated servo) и со *встроенными сервометками* (embedded servo). В первом случае в пакете дисков выделяется одна поверхность, используемая исключительно для хранения сервометок, и соответствующая ей головка является сервоголовкой. В накопителях с встроенными сервометками информация для сервопривода записывается на рабочих поверхностях между секторами с данными.

Для накопителей с соленоидным приводом проблема автопарковки решается легко, поскольку энергии для перемещения поворотного привода требуется немного. В парковочном положении головки удерживаются магнитной защелкой или механическим фиксатором.

11.4.3.3. Блок электроники НЖМД

Помимо блока механики дисковый накопитель должен иметь и *блок электроники*, управляющий приводами шпинделя и головок, а также обслуживающий сигналы рабочих головок записи-считывания. Обычно в гермоблоке на маленькой плате устанавливают предварительные усилители считывания, коммутаторы и формирователи сигналов записи. К этой плате подключаются проводники, идущие к головкам, а также кабель, связывающий ее с контроллером. *Контроллером накопителя* называют электронное устройство, на одной (интерфейсной) стороне которого идет обмен байтами команд, состояния и, конечно же, записываемой и считываемой информации с хостом, а другая его интерфейсная сторона (малый ИВВ) связывается с гермоблоком. В современных накопителях на жестких дисках контроллер расположен на плате электроники, смонтированной вместе с гермоблоком. В старинных накопителях на жестких дисках с интерфейсами ST506/412 и ESDI контроллер был внешним и располагался на специальной карте расширения. Объединение контроллера с гермоблоком позволило решить многие проблемы оптимизации накопителей. Контроллер современного винчестера состоит из нескольких основных блоков:

- Управляющий микроконтроллер обеспечивает взаимодействие всех блоков накопителя и связь с интерфейсом подключения (ATA, SCSI, USB, 1394, Fibre Channel).
- Внутреннее ОЗУ (буферная память накопителя) используется для считывания и записи секторов и локального кэширования.
- Блок управления шпиндельным двигателем обеспечивает запуск и остановку шпинделя по команде от микроконтроллера и поддерживает заданную скорость вращения по сигналам от датчиков индекса, специальных датчиков вращения или/и сервометок.
- Блок управления позиционированием формирует импульсы управления соленоидом для перехода с цилиндра на цилиндр по команде микроконтроллера и следит за положением головки на треке по принятым сервосигналам.
- Коммутатор головок, совмещенный с предусилителем считывания и формирователем тока записи.
- Канал чтения-записи представляет собой цепи, выделяющие из сигнала, принятого от предусилителя, импульсы синхронизации и данных и формирующие сигналы записи. В современных винчестерах в этом узле широко применяют сигнальные процессоры. Раньше здесь использовались аналоговые методы обработки сигналов.
- Детектор сервометок выделяет их из потока сигналов, принимаемых с головок считывания.
- Контроллер НЖМД (Hard Disk Controller, HDC) — специализированная микросхема, вы-

полняющая основные функции, связанные с записью и считыванием данных. Она декодирует приходящий поток считываемых данных, выделяет служебные области, находит требуемые секторы, проверяет целостность данных (по алгоритму CRC или ECC), преобразует поток битов в байты и записывает их в буферную память. При записи микросхема в нужный момент (когда подходит поле данных требуемого сектора) формирует поток сигналов, требуемых для кодирования информации, преобразуя байты данных в поток битов и вычисляя контрольные последовательности. При форматировании она формирует заказанную структуру трека.

Для кодирования данных применяются методы MFM, RLL, ARLL. В современных накопителях широко распространена технология *PRML* (Partial Response Maximum Likelihood — максимальная правдоподобность при неполном отклике), пришедшая из области телекоммуникаций. В технологии PRML при считывании производится оцифровка аналогового сигнала с головки и запись последовательности этих выборок в буфер. Для оцифровки больше всего подходит сигнал с магниторезистивной головки, поскольку его форма повторяет форму напряженности магнитного поля (а не производную, как в индуктивных головках). Следующий этап считывания предполагает цифровую фильтрацию записанного сигнала. Принятые фрагменты трактуются как группы закодированных битов по максимальной схожести формы отклика. Современная техника цифровой обработки позволяет целиком выполнять декодирование PRML «на лету», обеспечивая скорость считывания даже выше, чем при аналоговом декодировании RLL.

11.4.4. Сменные магнитные диски большой емкости

11.4.4.1. Диски на гибких носителях

В сменных магнитных дисках большой емкости на пластинах с гибкой основой используются совмещение технологий - технологии магнитных записи-считывания и технологии оптического позиционирования. Такие диски называют *гибкие магнитооптические диски* (floptical drives). Их первые модели имели емкость около 20 Мбайт (755 дорожек, 27 секторов по 512 байт), скорость вращения — 720 об./мин, интерфейс — SCSI, ATA или специальный адаптер, позволяющий использовать их как дисковод А. Накопитель совместим и с обычными дискетами формата 3,5" емкостью 720 Кбайт и 1,44 Мбайт (2,88 Мбайт только по чтению).

Устройства LS-120 (Laser Servo 120 Мбайт) имеют емкость дискеты 120 Мбайт — по 1736 информационных треков на каждой стороне с зонным форматом записи. У устройства интерфейс ATAPI, логическая геометрия — 960 цилиндров х х 8 головок х 32 сектора на трек. Физически на каждом треке размещается 51—92 сектора размером 512 байт. При лазерном позиционировании задействуется 900 сервотреков. Скорость обмена достигает 200-300 Кбайт/с. Устройство LS-120 совместимо с дискетами 1,44 Мбайт по чтению и записи. Как и обычные дискеты, носители для LS-120 чувствительны к сильным магнитным полям.

Популярные в свое время накопители Zip фирмы Iomega имеют емкость носителя 100 и 250 Мбайт, причем устройства на 250 Мбайт совместимы с носителями на 100 Мбайт (но не наоборот). Носитель — гибкий диск, помещенный в пластмассовый картридж формата 3". Накопитель с обычными дискетами не совместим. Интерфейс — IDE, SCSI, USB или LPT.

Диски Бернулли (Bernoulli removable media drive) имеют привод размером 5", дисковод использует гибкие диски 3,5" в жесткой кассете. Оптические технологии не используются. Объем составляет 35-150 Мбайт. При вращении диска со скоростью 3600 об./мин возникает эффект Бернулли, прижимающий диск к поверхности с головками. По скоростным параметрам диски Бернулли близки к винчестеру. Кассета устойчива к внешним воздействиям. Интерфейсы: IDE, SCSI, SCSI, LPT-порт.

11.4.4.2. Сменные носители с дисками на жесткой основе

Накопители Jaz фирмы Iomega являются развитием Zip, но уже на твердом носителе: емкость — 1 Гбайт у первых моделей — в дальнейшем увеличена до 2 Гбайт. Интерфейс — IDE, SCSI, возможны переходники на USB или LPT. Пиковая скорость достигает 20 Мбайт/с, средняя — 7,5 Мбайт/с, время доступа — около 16 мс.

Устройства с кассетными жесткими дисками (removable media drives), выпускаемые фирмой SyQuest, используют картриджи, в которых размещены и диски (1-2 пластины), и головки. Они имеют все атрибуты современных винчестеров — встроенную сервоинформацию, зонную запись, стандартный размер сектора 512 байт, небольшое время поиска. В устройствах серии EZ применяются картриджи PDC (Power Disk Cartridge) с емкостями 135, 230, 270 и 540 Мбайт. В картридже расположена одна пластина формата 3,5". Устройство *EZFlyer* на 230 Мбайт выпускается во внешнем (LPT) и внутреннем (E-IDE, в отсек 3,5") исполнениях, раньше выпускались и внешние с интерфейсом SCSI. Время доступа — 13,5 мс, скорость вращения — 3600 об./мин, скорость обмена — до 2,4 Мбайт/с (IDE). Устройство совместимо с картриджами на 135 Мбайт, используемыми в ранее выпускавшихся устройствах *EZ135* с похожими свойствами.

Устройство *SparQ* использует специальный картридж 1 Гбайт (тоже с одной пластиной 3,5"). Выпускается во внешнем (LPT) и внутреннем (E-IDE, в отсек 3,5") исполнении. В устройстве *SyJet* применяется картридж емкостью 1,5 Гбайт с двумя пластинами 3,5". Во внешнем исполнении имеет интерфейсы LPT или SCSI, во внутреннем — E-IDE, устанавливается в отсек 3,5". Устройства SparQ и SyJet никак не совместимы.

По параметрам производительности кассетные жесткие диски большой емкости вполне сопоставимы с винчестерами: среднее время доступа — 12 мс, время перехода на соседний трек — 1,5 мс, скорость вращения — 5400 об./мин, длительная скорость обмена — 3,7-6,9 Мбайт/с (для IDE и SCSI).

11.4.5. Магнитооптические диски

В устройствах с магнитооптическими дисками, *МОД* (Magneto-Optical Drives, MOD), в процессе записи и чтения магнитного носителя используется лазер. МОД сочетают практически неограниченное число перезаписей, свойственное магнитным носителям, с чрезвычайно надежным хранением записанной информации. Устройство привода МОД укладывается в традиционную схему — имеются шпиндель, который вращает диск, и головка, перемещаемая над поверхностью диска системой позиционирования. Расстояние от головки до поверхности диска — около 1 мм, что исключает риск касания поверхности диска (отсюда очень высокая надежность). На головке расположены лазер и оптическая система, фокусирующая луч на магнитном слое носителя. На диске поверх магнитного слоя имеется слой субстрата, защищающего магнитный слой от механических воздействий. Луч на поверхности диска (субстрата) дает пятно размером около 1 мм, так что пылинки и микроцарапины не оказывают существенного влияния на происходящие процессы. На магнитном слое, находящемся под прозрачным слоем субстрата (толщина субстрата — около 1,2 мм), за счет фокусировки пятно уменьшается уже до микронных размеров. Расстояние между треками у дисков 128 Мбайт — 1,6 мкм, у 540/650 Мбайт — 1,1 мкм. Один бит на треке у дисков 128 Мбайт занимает 0,52 мкм, у 540/650 Мбайт — 0,31 мкм. Принципы записи и чтения МОД весьма своеобразны.

Запись осуществляется термомагнитным способом: магнитное поле головки способно перемагнитить только микроскопическую зону носителя, разогреваемую лазерным лучом до температуры выше точки Кюри (порядка 200 °C). Зона, вышедшая из-под луча, «замораживает» полученное состояние намагниченности. Традиционно в магнитооптике используют двухпроходную запись. Для того чтобы записать информацию в секторе, после позицио-

нирования головки за первый оборот сектор стирают. Для этого головка создает постоянное магнитное поле, а лазер включается на полную мощность, когда под ним проходит требуемый сектор (секторы). В результате все «засвеченные» области данных переводятся в состояние с одинаковым направлением намагниченности. На следующем обороте выполняется собственно запись — направление магнитного поля головки меняется на противоположное, и формируются мощные импульсы лазера над теми точками, состояние которых нужно изменить, чтобы закодировать требуемую информацию. В результате именно эти ячейки перемагничиваются. Для большей достоверности на третьем обороте выполняется верификация — считывание записанной информации. Однопроходная запись для компьютерного применения основана на технологии LIMDOW, о которой рассказывается далее.

Считывание информации с магнитного слоя носителя выполняется тоже с помощью лазера (при малой мощности излучения) и основано на эффекте Керра — изменении поляризации света под действием магнитного поля. Отраженный луч проходит через поляризационную оптику, в результате на фотоприемник приходит луч, интенсивность которого модулирована (по амплитуде) в соответствии с записью на магнитном слое. Разрешающая способность оптики и фотоприемника определяет достижимую плотность хранения информации — записать можно и более мелкие ячейки, но считать их не удастся.

Магнитооптические диски организованы так же, как и магнитные, — у них имеются дорожки, разбитые на секторы, только нумерация дорожек начинается от центра диска. Размер сектора может быть стандартным (512 байт данных) или увеличенным (2048 байт данных). Магнитооптические диски бывают двух размеров — 5,25" (двусторонние) емкостью 650 Мбайт, 1,3; 2,6; 4,6 Гбайт и 3,5" (односторонние) емкостью 128, 230, 540, 640 Мбайт и 1,3 Гбайт.

Устройства имеют интерфейс SCSI, IDE или Fibre Channel, обеспечивающий скорость передачи, достойную МОД. Для подключения к LPT и USB обычно применяются переходные адаптеры SCSI или IDE.

Более прогрессивная технология записи *LIMDOW* (Light Intensity Modulation Direct OverWrite — непосредственная перезапись с модуляцией интенсивности луча) позволяет исключить проход стирания, чем повышается скорость записи в 2 раза (в 1,5 раза, если дополнительно выполняется верификация). Диски для такой технологии записи имеют более сложную структуру — несколько магнитных слоев с различающимися свойствами (с разной температурой Кюри), в которых имеет место магнитное взаимодействие элементов соседних слоев. Верхний слой (на который падает луч) является информационным, состояние намагниченности нижнего слоя задается при инициализации диска (на этапе изготовления) и остается неизменным. Головка при записи также создает постоянное магнитное поле, но мощность лазера модулируется. Поле от головки стремится перемагнитить информационный слой в одном направлении (нуль), а поле нижнего слоя — в противоположном (единица). Для записи нуля вырабатывается сильный импульс лазера, для записи единицы — более слабый. В процессе остывания результатом взаимодействия слоев является запомненное направление намагниченности информационного слоя, отвечающее мощности импульса.

Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данного раздела можно найти в [65,66] и в Интернет.

11.5. Оптические диски — CD, DVD и др.

11.5.1. Общие сведения

В оптических дисках хранение информации основано на изменении оптических свойств (в основном, степени отражения) поверхности носителя. В процессе считывания при освещении

щении трека (дорожки) лазерным лучом возникает модуляция интенсивности отраженного луча, воспринимаемого фотоприемником. В модулированном луче закодирована двоичная информация, размещенная на треке. На этом принципе основаны диски CD, а также их «потомки» — DVD.

11.5.2. Диски CD, CD-R, CD-RW

11.5.2.1. Общие сведения

В компьютер компакт-диск (Compact Disk, CD) пришел из цифровой аудиозаписи. *Аудио компакт-диски*, называемые *Audio-CD*, были разработаны фирмами Sony и Philips в 1982 году. В процессе разработки были решены три основные задачи: удержание луча лазера на дорожке носителя с точностью 0,2 мкм при допустимом эксцентриситете оси вращения диска порядка 70 мкм; удержание фокуса лазерного луча на поверхности носителя с точностью 0,2 мкм при допустимом биении диска 0,5 мм; обеспечение наличия ошибок чтения с диска на уровне 10^{-22} – 10^{-25} при наличии дефектов записи на уровне 10^{-3} – 10^{-5} . Решение этих задач дали зеленную дорожку компакт дискам.

Диаметр компакт-диска — 120 мм, толщина — 1,2 мм. Как и грампластинки, диски имеют одну спиральную дорожку, но, в отличие от грампластинок, начинающуюся от центра диска. Эта спираль имеет 22 188 витков (поперечная плотность — около 600 витков на 1 мм) и длину более 5 километров. Область с диаметром 46-50 мм является *вводной* (Lead-In Area, LIA), а область 116—117 мм — *выводной зоной* (Lead-Out Area, LOA). Область между этими зонами называется *программной* (program area). Дорожка представляет собой цепочку «ямок» (pits) в прозрачной основе диска, за которой расположен светоотражающий слой. Поперечный шаг витков спирали — 1,6 мкм, ширина дорожки (ямок) — 0,5 мкм, глубина ямок — 0,125 мкм. Края ямок соответствуют двоичным единицам канальной информации, кодирующей записанную на диске полезную информацию. Участок без изменения глубины (как ямка, так и «равнина») соответствует двоичным нулям, число нулевых битов определяется длиной этого участка. Длина ямок лежит в пределах 0,83-3,56 мкм. Для считывания применяют инфракрасный лазер с длиной волны 780 нм в воздухе, внутри прозрачного материала основы диска — 0,5 мкм. Глубина ямок выбрана равной 1/4 длины волны луча лазера в прозрачном материале основы диска. Благодаря этому луч, отраженный от дна ямки, возвращается в приемник в противофазе с лучом, отраженным от поверхности (он в обе стороны проходит лишние 1/2 волны), — они взаимоуничтожаются, что повышает контрастность восприятия ямок. Для выравнивания продольной плотности записи диск вращается с переменной угловой скоростью, а привод обеспечивает постоянство линейной скорости носителя, проходящего под головкой. Диск способен хранить информацию 74 минут звучания стереосигнала с частотой дискретизации 44,1 КГц и 16-разрядными выборками. Каждое музыкальное произведение (или его часть) записывается на одном треке, всего на диске может быть до 99 треков. Во вводной зоне размещена таблица содержимого (Table Of Content, TOC), в которой описаны координаты каждого трека и выводной зоны. Внутри каждого трека могут быть расставлены *индексы*, маркирующие определенные точки в записи, — их можно быстро находить и выполнять воспроизведение с заданного места. Помимо основного информационного канала, несущего звуковую информацию, на диске имеются служебные *субканалы* (каналы субкода P, Q, R, S, T, U, V, W) с пропускной способностью 1/192 от основного канала каждый. Из этих субканалов широко используются лишь P и Q, которые служат для навигации по диску, хранения краткой информации (идентификаторов) о содержимом диска и треков, а также хранения TOC.

В таком виде появились и первые компакт-диски, ориентированные на хранение данных, для считывания которых применяются приводы CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory — компакт-диск, предназначенный только для чтения).

Спиральный трек CD-ROM, как и CD-DA, начинается с *вводной зоны* (LIA), в которой размещается низкоуровневая таблица TOC с координатами начала всех треков и выводной зоны. За ней следует *зона данных*, которая может содержать до 99 *треков*. Завершает диск *выводная зона* (LOA). Адресация информации на треке происходит от аудиодисков: адрес информационного блока состоит из номера *минуты* (0-73), номера *секунды* (0-59) и номера *фракции* (0-74). Каждая фракция (блок данных) несет 1/75 секунды аудиоданных: при частоте 44,1 кГц два 16-битных канала требуют $44100 \times 2 \times 2/75 = 2352$ байт. Такой блок на треке записывается как последовательность 98 *кадров* (frame). В каждом кадре имеется поле синхронизации, собственно данные, контрольный код и субкод. *Контрольный код* кадра обеспечивает обнаружение и исправление ошибок. *Субкод* формирует *субканалы*. (P, Q, ..., W), используемые для навигации и служебных целей. *Поля данных* 98 кадров блока в сумме составляют 2352 байт, защищенных (с исправлением ошибок) на уровне кадров.

Блок (сектор) CD-ROM задействует эти 2352 байта следующим образом. В начале блока находится *заголовок* (16 байт): 12-байтное поле синхронизации, 3-байтный адрес (Min:Sec:Frac), байт с номером режима данного сектора. *Режим* (CD-ROM Mode nm) определяет использование поля данных блока: 00 — нули (нет данных), 01 — 2048 байт пользовательских данных и дополнительные контрольные коды, 02 — 2336 байт «сырых» данных (без дополнительной защиты от ошибок).

В записываемых дисках (CD-R и CD-RW) по сравнению с печатными дисками (CD-DA и CD-ROM) на треке, помимо вводной (LIA) и выводной (LOA) зон, а также зоны данных (Program Area, PA), имеются дополнительные:

- PCA (Power Calibration Area) — зона для калибровки мощности лазера (в этой зоне делаются пробные записи);
- PMA (Program Memory Area) — зона для промежуточного хранения TOC (координат начала и конца треков) сеанса записи. При закрытии сеанса эта информация переписывается в LIA данного сеанса.

Объем стандартного диска CD-DA (74 минуты) составляет $74 \times 60 \times 75 = 333\,000$ блоков. Если в блоке использовать по 2048 байт (с дополнительной защитой), то это составляет 681 984 000 байт; если по 2336 байт (без дополнительного ECC) - 777 888 000 байт.

Миниатюрные диски (*CD Single*) диаметром 80 мм имеют емкость около 200 Мбайт. Для этих дисков на лотках приводов CD имеется небольшое углубление, обеспечивающее возможность их использования наравне с «большими». Их не следует путать с мини-дисками (Sony MiniDisk), являющимися перезаписываемыми магнитооптическими дисками.

Скорость передачи данных стандартного аудиодиска составляет 75 блоков в секунду, в CD-ROM (а также CD-R и CD-RW) эта скорость называется 1x и при размере 2048 байт составляет 150 Кбайт/с (1K = 1024). Для устройств хранения такая скорость маловата, и были определены скорости 2x, 4x, 8x, ..., 56x. Приводы со скоростями до 12-16x обеспечивают постоянную линейную скорость по всей рабочей поверхности. Высокоскоростные приводы для режимов выше 12-16x обеспечивают постоянную угловую скорость. Более высокая кратность скорости реально обеспечивается только на внешней части спирали (напомним, что это ближе к ее концу).

Приводы CD имеют большую величину *времени доступа* — 75-500 мс; такая медлительность вызывается и необходимостью разгона и торможения диска при доступе к различным участкам носителя.

Поначалу технология записи на оптические диски была очень дорогой, и в компьютерах использовали только устройства чтения и диски CD-ROM. Впоследствии были разработаны диски CD-R (Recordable CD — записываемый компакт-диск), записываемые пользователем, и устройства записи (рекордеры) CD-Writer, CD-Recorder (естественно, способные и считывать информацию). Эти диски и устройства обеспечивали лишь *однократную запись*, их еще

называли *CD-WORM* (Write Once, Read Many — однократная запись, многократное чтение) или *CD-WO* (Write Once). Устройства с возможностью *многократной записи* на оптический диск первоначально называли *CD-E* (Erasable — стираемые), позже — на *CD-RW* (Rewritable CD — перезаписываемый компакт-диск). CD-R и CD-RW совместимы с обычными приводами CD-ROM.

11.5.2.2. Носители информации CD

Оптические диски CD-ROM, CD-R и CD-RW имеют прозрачную поликарбонатную (пластиковую) основу, над которой расположен хранящий информацию слой, защищенный сверху лаком. Царапины, как и пылинки, с нижней стороны диска, где расположен лазер и его оптическая система, не так страшны — через них проходит луч с еще довольно большим диаметром пятна (порядка 1 мм). Луч фокусируется в точку микронных размеров уже на самом хранящем слое, так что мелкие дефекты на внешней поверхности не оказывают существенного влияния на оптические процессы. Устройство хранящего слоя может быть различным:

- Штампованные (печатные) диски CD имеют рельефную верхнюю сторону прозрачной основы, покрытую светоотражающим напылением. Ямки (pits) и ровные участки (lands) трека модулируют интенсивность отраженного луча, который регистрируется фотоприемником. Штампованные диски изготавливаются на специальном заводском оборудовании. Исходная информация для штампа берется с записанного мастер-диска, с которого за несколько технологических этапов гальваноластики получают пресс-формы.
- Однократно записываемые диски (CD-R) имеют покрывающий основу слой органического красителя, поверх которого нанесено светоотражающее напыление (золото или сплав серебряного цвета). При записи фрагменты красителя за счет термического воздействия записывающего лазерного луча меняют свою прозрачность, в результате отраженный луч также будет промодулирован по интенсивности.
- Перезаписываемые диски (CD-RW, они же CD-E) под отражающим слоем имеют регистрирующий слой, который может менять свое состояние между поликристаллическим и аморфным. Прозрачность слоя зависит от его состояния. При перезаписи состояние отдельных участков изменяется: в зависимости от степени нагрева участка лучом записывающего лазера при остывании фиксируется то или иное его состояние. В более нагретых участках при остывании успевает образоваться поликристаллическая структура, а в менее нагретых остается аморфное состояние. В отличие от печатных дисков и CD-R, отражающих около 70 % мощности падающего луча, диски CD-RW обладают существенно меньшей отражающей способностью.

Для упрощения записывающей аппаратуры на чистом диске для записи «болванке» (target) по всей поверхности при изготовлении наносится спиральная дорожка разметки (pregroove). Разметка отпечатана на верхнем слое поликарбонатного субстрата, по ней при записи системой слежения за дорожкой (автотрекинга) наводится головка. Эта дорожка, по которой при записи диск разбивается на кадры, содержит коды разметки диска по времени (Actual Time In Pregroove, АТИР). На этой же дорожке имеется информация о требуемой мощности лазера и возможной скорости записи. Скорость записи зависит как от диска, так и от привода.

Диски для записи имеют маркировку типа:

- CD-R, или Compact Disc Recordable — диски с однократной записью, подходят для устройств CD-R и CD-RW;
- CD-RW, или Compact Disc Rewritable — диски с многократной записью, подходят только для устройств CD-RW.

Материал регистрирующего слоя CD-R подвержен старению: запись критична к оптическим свойствам материала, которые со временем изменяются. Поэтому время жизни болванок до записи ограничено несколькими годами (изготовители обещают 5-10 лет). Этот материал

также чувствителен к ультрафиолетовым лучам и солнечному свету.

11.5.3. Диски DVD

Название DVD поначалу расшифровывалось как Digital Video Disk — диск для цифровой видеозаписи, сейчас же подразумевается иное — Digital Versatile Disk — универсальный цифровой диск. В DVD нашли свое развитие принципы CD, направленные на повышение плотности хранения и скорости передачи информации. Эти диски имеют те же внешние размеры, что и CD (диаметр 120 мм и толщину 1,2 мм), однако представляют собой «бутерброд» из двух пластин. Для повышения емкости ширина трека и продольный размер битовой ячейки уменьшены примерно вдвое, снижены издержки, связанные с избыточностью кодов коррекции ошибок. Кроме того, могут использоваться две стороны диска, а на каждой стороне информация может храниться в двух слоях, таким образом, один диск может иметь уже четыре рабочих слоя. Для считывания DVD требуется лазер с длиной волны 635/650 нм (для CD используется длина волны 780 нм). Изменены системы канального (применяются 16-битные коды) и избыточного кодирования.

Каждая пластина DVD может быть как однослойной (аналогичной по конструкции диску CD), так и двухслойной. В двухслойной пластине «ямки» расположены в двух плоскостях, нижний слой сверху покрыт полупрозрачной полутражающей пленкой, а верхний — отражающей (рис. 11.4). Какой из слоев считывается, определяется фокусировкой луча (сигналы другого слоя из-за расфокусировки размываются и на их фоне различим требуемый слой). В двухслойных дисках размер ячейки увеличен примерно на 10 %, за счет чего емкость каждого слоя несколько ниже, чем у однослойных. Диски DVD выпускаются в разных сочетаниях количества сторон (SS — Single Sided, односторонние; DS — Dual Sided, двусторонние) и слоев (SL — Single Layer, однослойные; DL — Dual Layer, двухслойные). Помимо распространенных дисков DVD появились *диски DVD высокой плотности* (High Density DVD, HD DVD), которые работают с лазером с короткой длиной волны (405 нм). Их базовая скорость чтения — 36,5 Мбайт/с. Предусмотрены варианты однослойных и двухслойных дисков HD DVD-ROM и HD DVD-RW, а также однослойных дисков HD DVD-R.

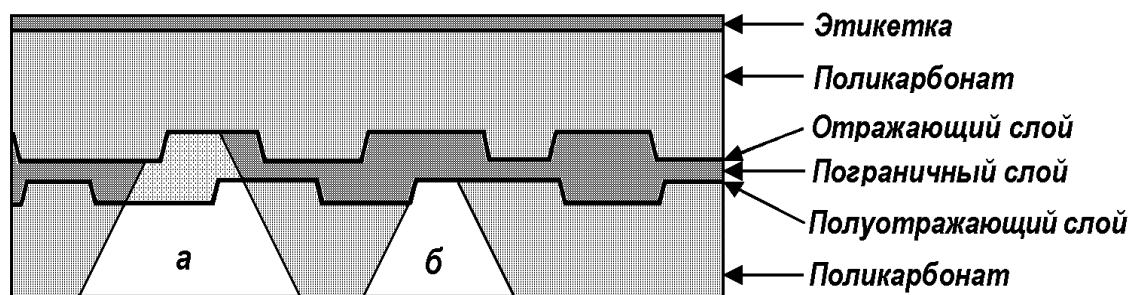


Рис. 11.4. Устройство двухслойного диска DVD: а — луч, сфокусированный на верхнем слое; б — луч, сфокусированный на нижнем слое

С такими же лазерами работают *диски BD* (Blu-ray Disk). Этими дисками планируется заменить кассетные (ленточные) видеомagnetофоны. Для компьютеров предусматриваются варианты BD-ROM, BD-R и BD-RE. Скорость чтения и записи 1x — 36,5 Мбайт/с, возможна и скорость 2x.

11.5.4. Диски FMD

Диски FMD (флуоресцентные многослойные) пока не вышли из стадии лабораторных исследований. Их называют трехмерными носителями. В этих дисках компоненты каждого слоя при записи будут переходить в состояние, в котором при облучении их ультрафиолетовым светом они будут светиться светом с длиной волны отличной от длин волн свечения аналогичных компонентов других слоев.

11.5.5. Голографические оптические диски

Как и технология дисков MFD, голографическая технология позволяет применять все три измерения рабочего слоя носителя. Помимо этого она позволяет осуществлять параллельное считывание и запись массивов битов (так называемых страниц), сохраняемых в слое носителя в виде интерференционных картин (голограмм). Использование данной технологии позволяет значительно увеличить емкость носителей и скорость чтения/записи. В 2008 году технология находилась на начальной стадии коммерциализации. Для профессиональных применений выпускаются устройства, позволяющие на специальные WORM-диски записывать до 300 Гбайт информации и обеспечивать скорость чтения /записи 160 Мбит/с.

Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данного раздела можно найти в [65,66] и в Интернет.

11.6. Ленточные устройства — стримеры

Стримеры — это устройства с магнитным принципом хранения на ленточных носителях последовательного доступа, обеспечивающие возможность работы со сменными носителями — картриджами и кассетами с магнитной лентой.

Во всех стримерах лента движется относительно головок; для получения высокой скорости записи относительная скорость должна быть порядка 0,7 м/с. Для высокой плотности записи лента должна содержать много узких дорожек. В старых устройствах с лентой шириной 0,5" было 9 параллельных дорожек и использовались параллельные запись/чтение байта. Эти устройства имели сложный лентопротяжный механизм (ЛПМ), следящие системы и вакуумные подсосы ленты для обеспечения больших скоростей и ускорений ленты при тяжелых катушках. Развитие идеи ленточной записи привело к упрощению механики, повышению плотности записи и переходу на последовательную запись. Существует два основных варианта записи на ленту, различающиеся положением дорожек (рис. 11.5):

- линейная (включая серпантинную);
- наклонно-строчная (геликоидальная).

В устройствах с *линейной записью* требуемая скорость обеспечивается только движением ленты. Наиболее распространены устройства DLT (Digital Linear Tape — цифровая лента с линейной записью): лента шириной 0,5" в однокатушечном картридже, приемная катушка находится в устройстве. Ленты DLT отличаются хорошей переносимостью с устройства на устройство. В устройствах Super DLT (не совместимы с DLT) для получения высокой плотности записи применяют магниторезистивные головки и оптическое позиционирование. Для лент DLT и Super DLT гарантируется надежность при числе проходов по головкам 500 000 - 1 000 000, срок хранения 30 лет.

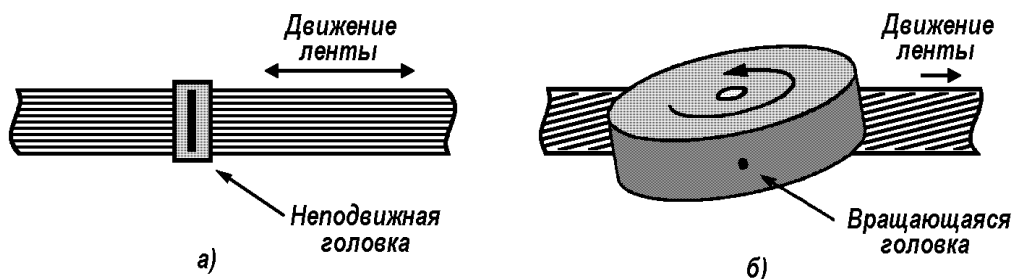


Рис. 11.5. Положение дорожек на ленте: а — линейная запись, б — наклонно-строчная запись

В стримерах, произведенных по фирменной технологии Tandberg, используется лента шириной 1/4", давшая название картриджу QIC (Quarter Inch Cartridge — четвертьдюймовый картридж). В картридже установлены две катушки, привод ленты осуществляется кольцевым

ремнем в картридже. Лента высовывается в окошко для головок. ЛПМ для этого картриджа простой: он содержит только тонвал и ролик. Головка подвешена на катушке, обеспечивающей позиционирование по серводорожкам, — это позволяет увеличить число дорожек.

В устройствах с *наклонно-строчной записью* линейная скорость ленты низкая, а высокая относительная скорость обеспечивается геликоидальным сканированием, обеспечиваемым вращающимся блоком головок (как в видеомэгнитофонах). Благодаря этому при старте и торможении снижаются потери времени и нагрузки на ленту, так что можно применять современные более тонкие ленты. Привод довольно сложный, содержит много движущихся частей, лента для работы вытягивается из картриджа.

В настоящее время, несмотря на возрастающую популярность оптических перезаписываемых дисков, стримеры продолжают свое существование и развитие.

11.7. Твердотельные устройства хранения

11.7.1. Общие сведения

Твердотельные устройства хранения используются в миниатюрных компьютерах, а также компьютеризованных цифровых устройствах бытовой электроники — фотокамерах, плеерах, приемниках глобальной системы навигации (Global Positioning System, GPS), музыкальных инструментах и пр. В большинстве своем эти устройства основаны на микросхемах флэш-памяти.

Флэш-память хранит информацию в массиве транзисторов с плавающим затвором, называемых ячейками (*cell*). В традиционных устройствах с одноуровневыми ячейками (*single-level cell*, *SLC*), каждая из них может хранить только один бит информации. Некоторые новые устройства с многоуровневыми ячейками (*multi-level cell*, *MLC*) могут хранить больше одного бита, используя разный уровень электрического заряда на плавающем затворе транзистора.

Существует два способа организации флэш-памяти: *NOR* и *NAND*. В основе *NOR* типа флэш-памяти лежит элемент ИЛИ-НЕ (*NOR*). Транзистор имеет два затвора: управляющий и плавающий. Последний полностью изолирован и способен удерживать электроны до 10 лет. В ячейке имеются также сток и исток. При программировании напряжением на управляющем затворе создается электрическое поле и возникает туннельный эффект. Некоторые электроны туннелируют через слой изолятора и попадают на плавающий затвор. Заряд на плавающем затворе изменяет «ширину» канала сток-исток и его проводимость, что используется при чтении. Программирование и чтение ячеек сильно различаются в энергопотреблении: устройства флэш-памяти потребляют достаточно большой ток при записи, тогда как при чтении затраты энергии малы. Для стирания информации на управляющий затвор подается высокое отрицательное напряжение, и электроны с плавающего затвора переходят (туннелируют) на исток. В *NOR* архитектуре к каждому транзистору (ячейке) необходимо подвести индивидуальный контакт, что увеличивает размеры схемы. Эта проблема решается с помощью *NAND* архитектуры.

В основе архитектуры *NAND* лежит элемент И-НЕ (*NAND*). Принцип работы ячейки такой же, как и у *NOR*. Устройства *NAND* и *NOR* типа отличаются только размещением ячеек и их контактами. В устройствах *NAND* не требуется подводить индивидуальный контакт к каждой ячейке, взаимодействие осуществляется одновременно с блоком объединенных ячеек. Поэтому размер и стоимость *NAND* чипа может быть существенно меньше. Так же запись и стирание происходит быстрее. Однако эта архитектура не позволяет обращаться к произвольной ячейке. *NAND* и *NOR* архитектуры существуют параллельно и не конкурируют друг с другом, поскольку находят применение в разных областях хранения данных.

В твердотельных устройствах хранения используется, как правило, флэш-память со структурой NAND. Этому типу флэш-памяти присуще быстрое чтение, запись и стирание небольших блоков (256 или 512 байт), что удобно для записи файлов. Устройства на флэш-памяти являются энергонезависимыми (в режиме хранения не требуют питания), экономичными в плане потребления, особенно при чтении, достаточно производительными. Запись на эти носители специфична: быстрее всего она выполняется в чистый (стертый) блок (сектор диска), а перезапись требует относительно длительного стирания. Кроме того, флэш-память имеет хоть и большое (порядка 10^6), но ограниченное число циклов стирания-записи. *Устройства хранения* обычно представляют собой комбинацию собственно микросхем флэш-памяти (твердотельного носителя) и микроконтроллера, обеспечивающего внешние интерфейсные функции. Этим они отличаются от *карт памяти с линейным доступом*, например Miniature Card, на которых располагаются только микросхемы памяти (встроенный контроллер не требуется).

Есть и другие твердотельные устройства хранения, например ферроэлектрическая память (FRAM), но пока что массового применения они не имеют, и относительно медленная память на цилиндрических магнитных доменах.

Менее чем за десятилетие устройства хранения на флэш-памяти прошли большой путь от трехдюймовых электронных «дисков» («винчестеров») до современных устройств размером с почтовую марку. Интерфейсы карт внешней памяти тесно связаны с их конструктивами; основные характеристики наиболее распространенных карт приведены в табл. 11.1. Перечисленные карты можно подключать и к обычным компьютерам. Для этого существуют различные адаптеры: для слотов PC Card (к блокнотным ПК), для шины USB (для самых разных ПК) и для других внешних интерфейсов.

Таблица 11.1. Основные характеристики карт внешней памяти

Параметр	CompactFlash (CFA)	SmartMedia Card (SMC)	MultiMedia Card (MMC/RS-MMC)	Secure Digital (SD/mini-SD)	Miniature Card (MC)
Длина	36,0	45,0	32,0/18,0	32,0/18,0	33,0
Ширина	43,0	37,0	24,0	24,0/20	38,0
Высота	3,3/5,0	0,76	1,4	2,1/1,7	3,5
Коннектор	Штырьковый	Печатный	Печатный	Печатный	Эластомер
Число контактов	50	22	7, 9 или 13	9	60

Из представленных в таблице устройств хранения полноценными являются только карты CFA; карты SMC, MMC и SD — это лишь носители, а MC — это электронная память.

11.7.2. Флэш-память USB

Устройства хранения с интерфейсом USB завоевали популярность благодаря удобству подключения (USB теперь есть практически на всех компьютерах) и малым габаритам. В этих устройствах имеются флэш-память NAND и контроллер, представляющий для USB устройство того или иного вида:

- Непосредственно *устройство хранения прямого доступа* (класс 08). Устройство хранения имеет встроенный контроллер, его драйвер только организует доставку команд чтения-записи и собственно блоков хранимых данных. Встроенный контроллер выполняет все манипуляции с блоками и страницами флэш-памяти, предоставляя функции полноценного устройства хранения. В частности, он оперирует ECC-кодами для обнаружения и исправления ошибок, а также ведает распределением физических страниц флэш-памяти

- *Адаптер флэш-карты* (например, SMC) с подключенной картой. Такой адаптер флэш-карты (и сама карта), как правило, «интеллектом» не наделен — он предоставляет только интерфейс между флэш-памятью и хостом. Все функции, превращающие микросхемы флэш-памяти в устройство хранения прямого доступа, должен выполнять драйвер.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте принцип действия и назначение устройств хранения.
2. Опишите основные характеристики устройств хранения.
3. Охарактеризуйте интерфейсы устройств хранения.
4. Сформулируйте общие сведения об устройствах хранения на магнитных дисках.
5. Охарактеризуйте накопители на гибких магнитных дисках.
6. Сформулируйте общие сведения о накопителях на жестких магнитных дисках.
7. Охарактеризуйте конструкцию НЖМД.
8. Охарактеризуйте блок электроники НЖМД.
9. Охарактеризуйте сменные магнитные диски большой емкости на гибких носителях.
10. Охарактеризуйте сменные магнитные диски большой емкости на жесткой основе.
11. Охарактеризуйте магнитооптические диски.
12. Сформулируйте общие сведения об оптических дисках CD, DVD.
13. Сформулируйте общие сведения об оптических дисках CD, CD-R, CD-RW.
14. Охарактеризуйте носители информации CD.
15. Охарактеризуйте диски DVD.
16. Охарактеризуйте диски FMD.
17. Охарактеризуйте голографические оптические диски.
18. Охарактеризуйте ленточные устройства – стримеры.
19. Сформулируйте общие характеристики твердотельных устройств хранения.
20. Охарактеризуйте флэш-память USB.

Дополнительную обширную информацию по тематике данной главы можно найти в [1], [8], [22], [29], [30], [57, 58]. Относительно современную и достаточно хорошо иллюстрированную информацию по тематике данной главы можно найти в [65, 66].

В данном разделе использованы материалы из [1], [8], [50].

Термины и сокращения

Русские

2,4 ГГц - этот диапазон частот в большинстве стран не требует лицензирования, что обеспечивает повсеместную применимость устройств (стр.149).

А

Абстрактная модель - это описание объекта исследования на некотором языке [7] (стр. 7).

АВМ - аналоговая вычислительная машина (стр. 9).

Адаптер (adapter) - устройство сопряжения между собой устройств с различным способом представления данных либо устройств, использующих различные виды *унифицированных сопряжений* [2], [3] (стр. 19).

АДИКМ - Адаптивная ДИКМ (стр. 269).

АКД - оконечная аппаратура каналов данных (стр. 159).

АКК - адаптер канал-канал (стр. 228).

Алгоритм - "конечный набор предписаний, определяющий решение задачи посредством конечного количества операций" (ISO 2382/1-84) [2], [4] (стр. 10).

Аллофон - альтернативный вариант произношения фонемы в зависимости от ее положения в слове или фразе. Каждой фонеме может соответствовать от одного до нескольких аллофонов (стр. 282).

Алфавит - набор символов, с помощью которых может быть составлено произвольное сообщение (стр. 13).

Анализ системы - это процесс определения свойств, присущих системе [7] (стр. 6).

Аналоговая вычислительная машина - ВМ, в которой информация представляется и обрабатывается в аналоговой форме (стр. 9).

АПД - аппаратура передачи данных (стр. 159).

Аппаратные (технические) коммуникационные средства (технические средства коммуникационной среды ЭВМ) обеспечивают обмен *сигналами, данными и сообщениями* между всеми блоками и устройствами ЭВМ (стр. 13).

Аппаратные средства аппаратных интерфейсов - линии, приемники, передатчики и контроллеры интерфейсов (стр. 16, 56).

Аппаратный интерфейс - совокупность правил унифицированного взаимодействия между отдельными устройствами, а также совокупность *аппаратных, программных и конструктивных средств*, необходимых для реализации этих правил [1] (стр. 15, 55, 57).

Архитектура - концепция взаимосвязи элементов сложной структуры, включающей компоненты логической, физической и программной структур [3] (стр. 9).

Архитектура вычислительной системы (computing architecture) - общая логическая организация цифровой вычислительной системы, определяющая процесс обработки *данных* в конкретной вычислительной системе и включающая методы кодирования *данных*, состав, назначение, принципы взаимодействия технических средств и программного обеспечения (стр. 9).

Архитектура ЭВМ (computer architecture) - совокупность основных устройств, узлов и блоков ЭВМ, а также структура основных управляющих и информационных связей между ними, обеспечивающая выполнение заданных функций [3] (стр. 9).

Атрибут символа - код, определяющий способ отображения символа. К атрибутам относятся: цвет фона, цвет символа, инверсия, мигание и подчеркивание символа (стр. 237).

АЦП - аналого-цифровой преобразователь (стр. 194).

Б

Базисные цвета модели CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black) - бирюзовый, пурпурный, желтый, черный) (стр. 260).

Базовая система ввода-вывода - BIOS (Basic Input-Output System) - программно-информационные средства, хранящиеся в постоянной (энергонезависимой) памяти ROM BIOS (ПЗУ базовой системы ввода-вывода), устанавливаемой на системной (материнской) плате и ряде устройств расширения и являющиеся неотъемлемой частью ПК (стр. 8).

Байт (byte) - наименьшая адресуемая единица данных или памяти ЭВМ, равная 8 битам [3] (стр. 13).

Байтный режим (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 I*) (стр. 157).

Барабанная перепонка - передает через слуховые косточки и стремечко среднего уха свои колебания в систему внутреннего уха (стр. 281).

Белый шум - сигнал с непрерывным равномерным спектром в широком диапазоне частот (он может охватывать весь слышимый диапазон частот) (стр. 270)

Беспроводные ПИВВ - в них в качестве среды передачи используется эфир (стр. 129).

Бит (bit) - минимальная единица количества информации в ЭВМ, равная одному двоичному разряду [3] (стр. 13).

Блок внешнего интерфейса видеоадаптера - связывает адаптер с одной из шин ИВВ хоста компьютера (стр. 254).

Блок интерфейса монитора - формирует выходные сигналы соответствующего типа (RGB-TTL, RGB-Analog, композитный видеосигнал или S-Video) (стр. 254).

Блок пакета НДА - содержит *отсчеты* (выборки) всех каналов потока, одновременно поступающие на ЦАП (или от АЦП) (стр. 278)

Быстродействие АЦП и ЦАП - характеризуют временем преобразования, т.е. интервалом от начала преобразования до момента получения результата (стр. 198).

В

Ведущий контроллер (хост-контроллер) интерфейса - контроллер, управляющий циклами обмена по линиям интерфейса (стр. 16).

Векторные устройства вывода изображений - устройства, в которых рисующий инструмент прорисовывает только изображаемые фигуры и его траектория движения определяется выводимым изображением (стр. 235).

Видеоадаптер - блок компьютера, к которому подключается видеомонитор (дисплей) и в обязательный круг задач которого входит формирование изображения на экране видеомонитора под управлением программы компьютера, выполняемое в графическом и/или алфавитно-цифровом режиме отображения (стр. 251).

Видеопамять - специализированное быстродействующее ОЗУ, размещенное на плате видеоадаптера и предназначенное для хранения текущего цифрового изображения (стр. 234).

Видеопамять - это специальная область памяти, из которой контроллер ЭЛТ организует циклическое чтение для регенерации изображения (стр. 252).

Видеосистема ПК - включает в себя два основных компонента: *видеоадаптер и устройство отображения* (стр. 232).

Виртуальная реальность - реальность, отличная от действительного, материального мира, основой которой являются нематериальные понятия - информация, мысли и образы (стр. 292).

ВМ - вычислительная машина (стр. 8).

Внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) (external storage device) - запоминающее устройство, подключаемое к центральной части вычислительной системы и предназначенное для хранения большого объема данных (ГОСТ 25492-82) [2] (стр. 11).

Внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ) - обеспечивают обмен информацией между ВС и объектами внешнего мира или промежуточными носителями информации внешнего мира на физическом и логическом уровнях (стр. 190).

Внешние интерфейсы ввода-вывода (внешние ИВВ) - обеспечивают обмен информацией между исполнительными устройствами ПУ и объектами внешнего мира или промежуточными носителями

информации внешнего мира и соответствуют исходному понятию "внешние интерфейсы" (стр. 17, 57).

Внешний интерфейс (front-end interface) - средства и правила взаимодействия подсистемы с внешними объектами (пользователем, вычислительной сетью) в отличие от ее взаимодействия с остальными компонентами системы [3] (стр. 16).

Внешняя память (external storage) - средства памяти на сменных *носителях* (МД, ГМД, МЛ и т.п.), предназначенные для длительного хранения больших массивов данных [3] (стр. 11).

Внутреннее ухо - содержит полукружные каналы и улитку в которых находятся рецепторные нервные клетки, воспринимающие вибрации полукружных каналов и улитки (стр. 281).

Внутренний интерфейс (back-end interface) - интерфейс с внутренним компонентом системы [3] (стр. 17).

Внутренняя шина видеоадаптера - внутренний интерфейс видеоадаптера предназначенный для высокопроизводительного обмена данными между видеопамью, графическим акселератором и внешним интерфейсом (стр. 254).

Волновое мультиплексирование - передача по одному одномодовому волокну нескольких сигналов с различной длиной волны; позволяет обеспечить суммарную скорость передачи по одному волокну до Терабит в секунду (Тбит/с) (стр. 189).

Время доступа (access time) - определяется как усредненный интервал времени от получения устройством запроса на запись или чтение блока данных до фактического начала передачи данных (стр. 297).

ВС - вычислительная система (стр. 5).

Вспомогательные блоки (устройства) - устройства ЭВМ не входящие в состав устройств центральной части, в состав периферийных устройств и в состав коммуникационных средств ЭВМ (стр. 12).

ВТ – вычислительная техника (стр. 5).

Вычислительная машина (ВМ) - это комплекс технических средств, имеющих общее управление, предназначенный для автоматической обработки информации по заданной программе [5] (стр. 8).

Вычислительная сеть (computer network) - взаимосвязанная совокупность территориально распределенных систем обработки данных, средств и (или) систем связи и передачи данных, обеспечивающая пользователям дистанционный доступ к ее ресурсам и коллективное использование этих ресурсов (ГОСТ 22402-88) [2] (стр. 5).

Вычислительная система - это совокупность *программных* и *технических* средств обеспечивающая выполнение возложенных на систему функций (стр. 7).

Вычислительная система (ВС) - совокупность ЭВМ и ее программного обеспечения, предназначенных для организации вычислительного процесса [3] (стр. 5, 7).

Вычислительная техника (ВТ) (computer science) - совокупность научных дисциплин и отраслей техники, специализирующихся на обработке *данных*, осуществляемой с помощью средств автоматизации (СТ ИСО 2382/1-84) [2] (стр. 5).

Г

Гамма-коррекция - используется для увязки способностей цветопередачи дисплея с линейной математической моделью цветообразования графических приложений (стр. 253).

Гибкие магнитооптические диски (floptical drives) - поддерживают технологии магнитной записи-считывания и технологии оптического позиционирования (стр. 306).

Гибридная ВМ - ВМ, в которой часть устройств обрабатывает информацию в аналоговой форме, а другая - в цифровой (стр. 9).

Глубина пикселя - количество битов видеопамью, отводимое на каждый пиксель, определяет возможное число состояний пикселя (цветов, градаций яркости или иных атрибутов (например, мерцания)) (стр. 237).

Глубина цвета (глубина сканирования) - определяется разрядностью АЦП сканера (стр. 263).

Графические примитивы - точка, отрезок прямой, дуга, эллипс (окружность как его разновидность), прямоугольник (стр. 260).

Графический 3D конвейер (graphic 3D pipeline) - это некоторое программно-аппаратное средство, которое преобразует описание объектов в «мире» приложения в матрицу ячеек видеопамати растрового дисплея. Его задача - создать иллюзию трехмерности изображения (стр. 244).

Графический акселератор - работает автономно и при решении своей задачи со своим огромным объемом данных может не выходить на системную шину (стр. 243).

Графический сопроцессор - представляет собой специализированный процессор с соответствующим аппаратным окружением, который подключается к шине системного ИВВ компьютера и имеет доступ к его оперативной памяти (стр. 243).

Д

Данные - сведения, представленные в формализованном виде [1] (стр.13).

Датчик защиты от записи - оптоэлектронный или механический, формирует выходной сигнал Write Protect (стр. 302).

Датчик индекса - формирует выходной (для дисководов) импульс Index на каждый оборот диска (стр. 302).

Датчик нулевого трека (цилиндра) - оптоэлектронный или механический, формирует выходной сигнал TR 00, когда головки достигают соответствующего положения (при движении от центра к краю) (стр. 302).

ДВ - драйвер ветви (стр. 211).

Девияция частоты - наибольшее отклонение мгновенной частоты модулированного радиосигнала при частотной модуляции от значения его несущей частоты (стр. 150).

Демодулятор - устройство, которое из входного аналогового сигнала извлекает закодированную двоичную информацию и передает ее в принимающий компьютер (стр. 217).

Диапазон изменения входной величины АЦП - определяет допустимые уровни преобразуемого сигнала (стр. 198).

Диапазон частот, воспринимаемых человеческим ухом - простирается от 20 Гц до 20 КГц, причем наибольшая чувствительность приходится на частоты (2 - 5) КГц (стр. 266).

Дигитайзер (планшет) - устройство, позволяющее вводить графическую информацию от руки пользователя (стр. 291).

ДИКМ - Дельта-ИКМ (стр. 269).

Динамический диапазон сканирования - определяется как разность максимальной и минимальной оптических плотностей оригинала, воспринимаемых сканером (стр. 264).

Динамическое реконфигурирование - возможность «горячего» подключения и отключения устройств (стр. 177).

Дискретизация по времени - замена аналогового сигнала конечным множеством его мгновенных значений (стр. 195).

Дискретные сообщения - сообщения, в которых данные представлены конечным числом квантов информации в виде последовательности кодов *символов* (стр. 13).

Дифтонг - характеризует звук, который формируется при «переключении» голосового тракта в момент перехода от произнесения одной фонемы к другой (стр. 282).

Док-станция - это специальное устройство, которое подключается непосредственно к шине мобильного компьютера и все что входит в состав док-станции и подключается к ней, становится доступным BIOS компьютера и его операционной системе (http://www.atari.ru/index.php?mod=article_show&id_art=15&PHPSESSID=8e932d).

Драйвер USB (USB Driver, USB D) - «заведует» всеми устройствами USB системы, их нумерацией, конфигурированием, предоставлением служб, распределением пропускной способности шины интерфейса, мощности питания и т. п. (стр. 165).

Драйвер устройства (device driver) - программа, управляющая работой устройства (стр. 8).

Драйвер хост-контроллера (Host Controller Driver, HCD) - преобразует запросы ввода-вывода в структуры данных, размещенные в коммуникационной области оперативной памяти, и обращается к регистрам хост-контроллера. Хост-контроллер выполняет физические транзакции, используя эти структуры данных (стр. 165).

З

Запись (record) - единица обмена данными между программой и внешней памятью [3] (стр. 16).

Запись (recording) звукового сигнала - производится оцифровкой (аналого-цифровым преобразованием) выборок мгновенного значения этого сигнала (стр. 265).

Звуковая карта (звуковой адаптер) - в своем составе имеет цифровой канал записи-воспроизведения, микшер, синтезатор и MIDI-порт (стр. 265).

Знакогенератор - представляет собой запоминающее устройство - ОЗУ или ПЗУ. На его старшие адресные входы поступает код текущего символа из видеопамати, а на младшие — номер текущей строки в отображаемой линии знакомест, предназначен для формирования растрового изображения символов в текстовом режиме отображения (стр. 238, 252).

Знакоместо - матрица точек, в которой может быть отображен один из символов определенного набора (стр. 237).

И

ИВВ - интерфейс ввода-вывода (стр. 17).

Избыточность речевого сигнала - позволяет человеку безошибочно воспринимать речь в условиях шумов (282).

Избыточные коды Рида - Соломона (Reed - Solomon code) - позволяют большинство ошибок исправлять «на лету» (стр. 302).

Изохронные передачи (isochronous transfers) USB - потоковые передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности ИВВ с гарантированным временем задержки доставки (стр. 168)

ИКМ - Импульсно-Кодовая Модуляция (стр.268).

Инструментальная погрешность АЦП - включает в себя погрешности настройки, временной и температурной нестабильности, нестабильности источников питания и т.п. (стр. 198).

Интеллект видеоадаптера - наличие на плате видеоадаптера собственного процессора, способного формировать растровое изображение в видеопамати (bitmap) по командам, полученным от центрального процессора (стр. 242).

Интерполяционное разрешение сканера - формируется в сканере при предварительной обработке изображения, оно может быть выше оптического (стр. 263).

Интерфейс - совокупность унифицированных технических и программных средств, используемых для сопряжения устройств в вычислительной системе или сопряжения между системами [3] (стр. 15, 55).

Интерфейс (interface) - совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие устройств цифровой вычислительной системы и (или) программ" (ГОСТ 15971-84) [2] (стр. 15, 55).

Интерфейс MIDI (Musical Instrument Digital Interface) - цифровой интерфейс музыкальных инструментов, является последовательным асинхронным интерфейсом с частотой передачи 31,25 Кбит/с (стр. 130).

Интерфейс ввода-вывода (ИВВ) (input-output interface) - стандартное сопряжение устройств управления внешними (периферийными) устройствами и каналов ввода-вывода [3] (стр. 17).

Интерфейс физический - определяет совокупность электрических, механических и функциональных характеристик средств, реализующих взаимодействие [18] (стр. 15, 55).

Интерфейсный блок USB - адаптер, включенный между интерфейсной частью контроллера устройства и кабелем (шиной) интерфейса USB (стр. 165).

Интерфейсы ввода-вывода системного уровня (ИВВ хоста или системный ИВВ) - интерфейсы, обеспечивающие подключение устройств к центральной части ЭВМ (хосту ЭВМ) на системном уровне, т.е. организация обмена по этим интерфейсам осуществляется с использованием системных

ресурсов (каналов прямого доступа к памяти (КПДП), линий запросов аппаратных прерываний, адресного пространства ввода-вывода и основной памяти) (стр. 17, 56).

Интерфейсы устройства USB - набор конечных точек, предназначенных для решения данной задачи, и правила их использования (стр. 167).

ИРПР-М - интерфейс радиальный параллельный модифицированный, аналог интерфейса Centronics (Стр. 156).

К

Кадр HDA - начинается с поля команды/ответа, за которым передаются *пакеты*, содержащие блоки данных потоков (стр. 278).

Канал (channel): - часть коммуникационной системы, связывающая между собой источник и приемник сообщений [3] (стр. 13).

Канал ввода-вывода (КВВ) - совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для организации, управления обменом и непосредственной передачи данных между ОП и ПУ (стр. 36).

Канал ввода-вывода (КВВ) (input-output channel) - канал передачи данных между основной памятью и периферийными устройствами [2]; устройство, обеспечивающее пересылку данных между основной памятью и периферийными устройствами [18] (стр. 12)

Канал данных HDA - входит в состав потока HDA и связан со своим преобразователем (ЦАП, АЦП или конвертором интерфейсов) в кодеке (стр. 278).

Канал сообщений (message pipe) USB - является *двунаправленным*. Передачи сообщений во встречных направлениях *синхронизированы* друг с другом и строго упорядочены (стр. 169).

Каналы субкода (P, Q, R, S, T, U, V, W) - имеют пропускную способность 1/192 от основного канала каждый (стр. 309).

Каналы субкодов P и Q - служат для навигации по диску, хранения краткой информации (идентификаторов) о содержимом диска и треклов, а также хранения TOC (стр. 309).

Канальный уровень PCI Express (data link layer) - промежуточный в стеке уровень, отвечает за управление связью, обнаружение ошибок и организацию повторных передач вплоть до успеха или признания отказа соединения (стр. 108).

Канальный уровень SAS (link layer) - определяет примитивы, адресные кадры и соединения. На канальном уровне решаются задачи идентификации подключенных устройств, выполнения их сброса, управления соединениями. Для каждого протокола (SSP, STP и SMP) канальный уровень определяет свои правила обмена кадрами и примитивами (стр. 186).

Квантование по уровню - замена каждого мгновенного значения аналогового сигнала некоторым числом-отсчетом. Квантование производится путем измерения мгновенного значения аналогового сигнала, т.е. сравнения его с квантованными эталонными значениями (стр. 196).

Кванты информации в ЭВМ - *биты, байты и машинные слова*, которые могут быть обработаны аппаратными средствами ВМ под управлением одной команды (стр. 13).

Киберпространство - конечная среда, основой которой являются компьютерные технологии, предназначенные для создания или имитации виртуальной реальности (стр. 292).

КК - контроллер крейта (стр. 211).

Клиентские каналы USB (client pipes) - каналы, владельцами которых являются драйверы устройств. По этим каналам могут передаваться как потоки, так и сообщения; они поддерживают любые типы передач USB (изохронные передачи, прерывания, массивы, управляющие передачи) (стр. 170).

Клиентское ПО (Client Software, CSw) - это драйверы устройств USB, обеспечивающие доступ к устройствам со стороны прикладного ПО. Драйверы взаимодействуют с устройствами только через программный интерфейс с общим драйвером USB (USBDD). Непосредственного обращения к каким-либо регистрам аппаратных средств драйверы устройств USB не выполняют (стр. 165).

КМОП-схемы - интегральные схемы, выполненные на основе комплиментарных структур металл-окисел (диэлектрик)-полупроводник (по КМОП технологии) (стр. 97).

КНИ - коэффициент нелинейных искажений (стр. 267).

Код доступа Bluetooth - это 68- или 72-битная последовательность, известная и передатчику, и приемнику физического канала (стр. 150).

Код символа - определяет его индекс в таблице символов (стр. 237).

Кодек - компрессор-декомпрессор видеосигнала (стр. 240).

Кодовая таблица - таблица соответствия символов и их двоичных кодовых комбинаций (стр. 13).

Команды рисования (drawing commands) - обеспечивают построение графических примитивов — точек, отрезков прямой, прямоугольников, дуг, эллипсов. Примитивы такого типа в командах описываются в векторном виде, что гораздо компактнее, чем их растровый образ (стр. 242).

Команды уровня управляющей информации КВВ - команды инициирования ввода-вывода для ЦП, управляющие слова ПВВ, приказы ПУ (стр. 40).

Коммуникационная подсистема ВС - подсистема, выполняющая вспомогательные функции, связанные с передачей информации между различными компонентами ВС (ЭВМ) (стр. 13).

Коммуникационная система (communication system) - система, выполняющая вспомогательные функции, связанные с передачей информации между другими системами [2] (стр. 13).

Коммуникационная среда (communication environment) - совокупность технических и программных средств системы передачи данных [3] (стр. 13).

Коммуникационная среда ВС - совокупность технических и программных средств коммуникационной подсистемы ВС (стр. 13).

Коммуникационная среда ЭВМ - технические средства коммуникационной среды ВС т.е. аппаратные (технические) коммуникационные средства ЭВМ (стр. 13).

Коммутатор (switch) Ethernet - многопортовое устройство, работающее с сообщениями канального уровня, он транслирует сообщения (*кадры*) между своими портами, руководствуясь адресной информацией этих кадров (стр. 223).

Конвертор (converter) - устройство ЭВМ, преобразующее сигналы одного вида в сигналы другого вида [3] (стр. 19).

Конечная точка PCI Express - это устройство, способное инициировать или/и исполнять транзакции PCI Express от своего имени или от имени устройства, не являющегося *устройством PCI Express* (например, от имени хост-адаптера USB) (стр. 106).

Конечное устройство SAS (end device) - это устройства SAS, являющиеся инициаторами или/и целевыми устройствами SCSI (или SATA) (стр. 185).

Конструирование речевого сообщения - выработка некоторой последовательности команд управления синтезатором, в соответствии с которыми на выходе синтезатора формируется речевой сигнал (стр. 283).

Контроллер - специализированный процессор, предназначенный для управления периферийным устройством или другим компонентом вычислительной системы и освобождающий центральный процессор и (или) процессор другого активного устройства от выполнения этих функций. Контроллер, как правило, в своем составе имеет устройство управления, функциональные устройства и средства подключения к линиям аппаратных интерфейсов (стр. 14).

Контроллер HDA - устройство PCI, обеспечивающее передачу потоков данных между системной памятью и кодеками через интерфейс HDA Link (стр. 278).

Контроллер атрибутов - управляет трактовкой цветовой информации, хранящейся в видеопамати. В текстовом режиме он обрабатывает информацию из байтов атрибутов знакомест (откуда и пошло его название), в графическом — из битов текущего выводимого пикселя (стр. 252).

Контроллер накопителя - электронное устройство, на одной (интерфейсной) стороне которого идет обмен байтами команд, состояния и записываемой и считываемой информации с хостом, а другая его интерфейсная сторона (малый ИВВ) связывается с гермоблоком накопителя (стр. 305).

Контроллер НЖМД (Hard Disk Controller, HDC) - специализированная микросхема, выполняющая по командам от хоста основные функции, связанные с записью и считыванием данных (стр. 305).

Контроллер устройства хранения - управляет носителем, избыточным кодированием и декодированием, исправлением ошибок или/и организацией повторных обращений к носителю и другими вспомогательными операциями (стр. 298)

Контроллер целевого устройства SCSI (target controller) - контроллер, с помощью которого устройство подключается к шине периферийного ИББ SCSI (адаптер целевого устройства) (стр. 178).

Контроллер ЭЛТ (CRT Controller) - является компонентом видеоадаптера в задачи которого входит согласованное формирование сигналов сканирования видеопамяти (адрес и стробы чтения), а также вертикальной и горизонтальной синхронизации видеомонитора. В текстовом режиме контроллер ЭЛТ формирует и аппаратный курсор (стр. 251).

Конфигурация устройства USB - набор одновременно поддерживаемых устройством интерфейсов (стр. 167).

Концептуальная модель - это абстрактная модель, выявляющая причинно-следственные связи, присущие исследуемому объекту и существенные в рамках определенного исследования [7] (стр. 7).

КОП - Канал Общего Пользования (стр. 207).

Коррекция ошибок - обнаружение ошибок и организация запросов на повторную передачу (стр. 219).

КПДП - контроллер прямого доступа к памяти (стр. 46).

КПУ - контроллер периферийного устройства (стр. 129)

Кэш-память (cache memory) - сверхоперативная память (СОЗУ), является буфером между относительно медленным ОЗУ и высокопроизводительными процессорами (стр. 11).

Л

ЛВС (Локальные вычислительные сети), или LAN (Local-Area Network) - позволяют объединять компьютеры, расположенные в ограниченном пространстве (стр. 191).

Линейный адрес - целое беззнаковое число (стр. 52).

Линиатура - шаг полноцветных (полутонных) пикселей печати, измеряется в lpi (lines per inch — число линий на дюйм) (стр. 259).

Линии интерфейса - электрические (или оптические) цепи по которым передаются сигналы (стр. 16).

Логическая операция ввода-вывода или обращения к памяти - это исполнение программной инструкции (команды) обращения к интересующей ячейке или порту (стр. 52).

Логическая реализация интерфейса - протоколы взаимодействия, или алгоритмы формирования сигналов обмена (стр. 58).

Логический адрес - адрес, который формируется исполняемой программой (по замыслу программиста) для доступа к требуемой ячейке или порту (стр. 52).

Логический канал ввода-вывода - канал, формируемый в рамках устройств коммуникационной среды ЭВМ, участвующих в обеспечении обмена между ОЗУ и ПУ ЭВМ (стр. 14).

Логический канал обмена - канал, формируемый на логическом (канальном) уровне в рамках общей физической среды передачи сигналов (стр. 14).

Логическое устройство USB - набор независимых *конечных точек* (Endpoint, EP), с которыми хост-контроллер (и клиентское ПО) обменивается информацией (стр. 167).

Логическую организацию СВВ определяют форматы управляющей информации и способы ее передачи между компонентами СВВ, взаимосвязь программных средств при операциях обмена, структура и организация каналов ввода-вывода (стр. 39).

ЛПМ - лентопротяжный механизм (стр. 313).

М

Магнитные головки - представляют собой миниатюрные катушки индуктивности, намотанные на магнитном сердечнике с зазором (стр. 303).

Магнитный принцип хранения - основан на перемагничивании участков носителя в соответствии со значениями битов записываемой информации (стр. 296).

Малые интерфейсы ввода-вывода (малые ИВВ) - интерфейсы, обеспечивающие взаимодействие контроллера ПУ с исполнительным устройством ПУ (стр. 17, 56).

Малый интерфейс - интерфейс, используемый для подключения однотипных устройств к общему устройству управления [3] (стр. 17).

Маркер транзакции USB - описывает тип и направление передачи, адрес выбранного устройства USB и номер конечной точки (стр. 171).

Маршрутизатор (router) – многопортовое устройство, транслирующее *пакеты* сетевого уровня в соответствии с их сетевыми адресами (стр. 223).

Маскирование звуков - если в сигнале имеются два тона с близкими частотами, существенно различающиеся по уровню, то более мощный сигнал замаскирует слабый (он не будет услышан) (стр. 269).

Мастер пикосети - любое устройство, инициирующее соединение с одним или несколькими другими устройствами (стр. 152).

Математическая модель - это абстрактная модель, представленная на языке математических отношений [7] (стр. 7).

Матрица знакомств - в текстовом режиме образуется на экране монитора горизонтальными линиями (Line, LIN) и вертикальными колонками (Column, COL) (стр. 237).

Машинное слово (computer word) - последовательность битов или знаков (байтов), трактуемая в процессе обмена или обработки как единый элемент данных [2] (стр. 13).

МВ - магистраль ветви (стр. 211).

Межкадровое сжатие - в нем применяется система *ключевых кадров* (key frame), содержащих полную информацию о кадре, и *дельта-кадров* (delta frame), содержащих информацию о последовательных изменениях кадров относительно ключевых (стр. 240).

Механическое разрешение сканера - определяется шагом двигателя привода (стр. 263).

Микропроцессор (microprocessor) - большая интегральная схема, выполняющая функции центрального процессора [3] (стр. 10).

Микшер с программным управлением - обеспечивает регулировку входных и выходных сигналов, позволяя смешивать входные сигналы от нескольких источников (микрофона, CD, внешнего входа и синтезатора) (стр. 266).

МК - магистраль крейта (стр. 210).

Многомашинный вычислительный комплекс (ВК) - представляет собой совокупность нескольких ЭВМ, каждая из которых имеет полный набор всех ресурсов, включая и ПУ, связанных между собой определенными способами для выполнения общесистемных функций и работающих под управлением единой операционной системы (стр. 192).

Многопроцессорная система - вычислительная система, имеющая два или более взаимосвязанных процессора, использующих общую память и управляемых единой операционной системой или обслуживающая единый поток заданий [3] (стр. 10).

МОД - магнитооптический диск (стр. 307).

Модем (модулятор-демодулятор) - служит для передачи информации на большие расстояния, недоступные локальным сетям, с использованием выделенных и коммутируемых телефонных линий (стр. 217).

Модулятор - устройство, которое поступающую от компьютера двоичную информацию преобразует в аналоговые сигналы с частотной и/или фазовой модуляцией, спектр которых соответствует полосе пропускания обычных голосовых телефонных линий (300 – 3500) Гц (стр. 217).

Мосты PCI (PCI-to-PCI Bridge) - устройства PCI с парой интерфейсов, которыми отдельные шины PCI объединяются в древовидную структуру (стр. 91).

Мощность алфавита - полное число символов (стр. 13).

МП - последовательная магистраль (стр. 211).

МП-средства - микропроцессорные средства (стр. 283).

МТ/с - миллион передач в секунду (стр. 179).

Н

Направленные антенны - принимают и передают электромагнитные волны в пределах определенного сектора или телесного угла (стр. 80).

НГМД - накопители на гибких магнитных дисках (стр. 115, 302).

Неплановая (ad-hoc) сеть - группа узлов с беспроводными адаптерами, которая находится в зоне взаимной «видимости» и может без всякого централизованного управления взаимодействовать между собой. В любой момент новый пользователь может войти в группу, так и покинуть ее. Здесь все узлы равноправны (стр. 226).

НЖМД - накопители на жестких магнитных дисках (HDD - Hard Disk Drive) (стр. 303).

Низкоуровневое форматирование (Low-Level Formatting, LLF) - формирование заголовков и пустых (размеченных заполнителем) полей данных всех секторов всех треков (стр. 301).

О

Объекты внешнего мира - пользователи, другие ЭВМ (BC), объекты управления, коммуникационные среды вычислительных сетей и носители информации устройств внешней памяти (стр. 12).

Объем стандартного диска CD-DA - (74 минуты) составляет $74 \times 60 \times 75 = 333\,000$ блоков (стр. 310).

Однократно записываемые диски (CD-R) - имеют покрывающий основу слой органического красителя, поверх которого нанесено светоотражающее напыление (золото или сплав серебряного цвета) (стр. 311).

ОЗУ - оперативное запоминающее устройство (стр. 11).

Октава - содержит 12 полутонов (7 основных нот со знаками альтерации - диезами и бемолями), частоты нот соседних октав отличаются в два раза (стр. 270).

Оперативная (главная) память (main storage) - программно адресуемая *память*, быстродействие которой соизмеримо с быстродействием центрального процессора; *данные* в оперативной памяти доступны машинным командам для непосредственных ссылок по адресу или для обработки [3] (стр. 11).

Оперативное запоминающее устройство (Аббр.: ОЗУ, син.: запоминающее устройство с произвольным доступом, запоминающее устройство с произвольной выборкой, запоминающее устройство с непосредственным доступом; англ.: random access memory, RAM, random access storage, direct access memory) - запоминающее устройство, непосредственно связанное с центральным процессором и предназначенное для *данных*, оперативно участвующих в выполнении арифметико-логических операций (ГОСТ 22492-82) [2] (стр. 11).

Оператор (в FM-синтезаторах) - два управляемых генератора, имеющие и средства формирования огибающей их колебаний (фазы атаки, спада, удержания и затухания) (стр. 272).

Операционная система (ОС) (operating system) - система программ, предназначенная для обеспечения определенного уровня эффективности цифровой вычислительной системы за счет автоматизированного управления ее работой и предоставляемого пользователям набора услуг (ГОСТ 15971-84). Программные компоненты ОС обеспечивают управление вычислениями и реализуют такие функции, как планирование и распределение ресурсов, управление вводом-выводом информации, управление данными [11] (стр. 8).

Оптический принцип хранения - основан на изменении оптических свойств участка носителя: степени прозрачности или коэффициента отражения (стр. 296).

Оптическое разрешение сканера - разрешение по горизонтали, определяемое разрешением ПЗС-линейки (измеряется в dpi) (стр. 263).

Организация системы - модель, на основе которой могут строиться многие конкретные системы [7] (стр. 6).

ОС – операционная система (стр. 8)

Основная память (ОП) (main storage) - *оперативная память* в аспекте ее основного назначения: хранения исполняемых в данный момент программ и оперативно необходимых для этого данных [3] (стр. 11).

Основной информационный канал CD - несет звуковую информацию (стр. 309).

Основной канал сообщений USB (default pipe, он же control pipe 0) - используется для доступа к конфигурационной информации всех устройств и поддерживает только управляющие передачи (стр. 170).

Основные функциональные элементы ЭВМ - один или несколько взаимосвязанных *центральных процессоров; основная (центральная) память; периферийные (внешние) устройства*; вспомогательные блоки (устройства); аппаратные (технические) коммуникационные средства (аппаратные средства внутренней коммуникационной среды ЭВМ) (стр. 10).

П

Пакет HDA - начинается с *тега потока* (stream tag), идентифицирующего поток и указывающего число блоков в пакете, за тегом следуют блоки отсчетов (стр. 278).

Пакетный режим (Burst Mode) - скоростной режим пересылки пакетов данных без указания текущего адреса внутри пакета (стр. 87).

Память (memory, storage) - функциональная часть ЭВМ, предназначенная для приема, хранения и выдачи *данных*; различают внутреннюю (*оперативную, основную*) и внешнюю память [3] (стр. 10).

Панорамирование (panning) - отображение заданной области (стр. 243).

Параллельные принтеры - в них за один цикл печати печатается целиком строка (стр. 256).

ПВВ - процессор ввода-вывода (стр. 21).

ПДП - прямой доступ к памяти (стр. 47).

Передачи массивов данных (bulk data transfers) в USB - это передачи без каких-либо обязательств по своевременности доставки и по скорости (стр. 168).

Перезаписываемые диски (CD-RW, они же CD-E) - под отражающим слоем имеют регистрирующий слой, который может менять свое состояние между поликристаллическим и аморфным (стр. 311).

Периферийные интерфейсы ввода-вывода (периферийные ИВВ) – интерфейсы, осуществляющие обмен между портами ввода-вывода устройств (хост-адаптеров этих интерфейсов), подключенных к ИВВ хоста, и контроллерами ПУ. Эти интерфейсы и контроллеры ПУ, как правило, не используют системные ресурсы для реализации этого обмена (стр. 17, 56).

Периферийные устройства (ПУ) - устройства ЭВМ, не входящие в состав центральной части ВС и предназначенные для взаимодействия ВС с объектами внешнего мира (стр. 12).

ПЗС - прибор с зарядовой связью (стр. 262).

ПИВВ - периферийные интерфейсы ввода-вывода (стр. 129)

Пикосеть (piconet) - сеть в рамках Bluetooth, образуемая устройствами, разделяющими один физический канал (то есть «знающими» одну и ту же последовательность перескоков и код доступа) (стр. 150).

Пиксел (ь) - точка экрана, которой соответствует ячейка видеопамати, которая сканируется схемами видеоадаптера синхронно с движением луча монитора (стр. 236, 237).

ПК - персональный компьютер (стр. 8).

ПKN - преобразователь цифровых кодов в напряжение постоянного тока (стр. 198).

Пластины (platter) жестких дисков - обычно изготавливают из алюминиевых сплавов, иногда из керамики, стекла или композитных материалов (стр. 303).

Плоттер (графопостроитель) - устройство, способное выводить изображение, описание которого дается, как правило, в векторной форме (стр. 255).

ПНК - преобразователь напряжения в цифровые коды (стр. 198).

ПНТКВИ - промежуточные носители твердых копий визуальной информации (стр. 232).

ПО - программное обеспечение (стр. 7).

Повторная инициализация FireWire - определение структуры соединений (дерева), назначение физических адресов всем узлам и, если требуется, избрание ведущего устройства (мастера) циклов, диспетчера изохронных ресурсов и контроллера интерфейса (стр. 177).

Поле (field) - часть записи, имеющая функционально самостоятельное значение и обрабатываемая в программе как отдельный элемент данных [3] (стр. 16).

Полигон - элемент поверхности, чаще всего треугольник, имеющий трехмерные координаты вершин и описание поверхности (цвет, узор) (стр. 243).

Полубайтный режим (Nibble Mode) - ввод байта через параллельный порт (LPT-порт) в два цикла (по 4 бита), используя для приема линии состояния. Этот режим обмена подходит для любых адаптеров, поскольку задействует только возможности стандартного порта (стр. 157).

Порт (в SAS) - это группа трансиверов (от 1 до 128) с одинаковыми SAS-адресами, подключенных к другой группе трансиверов с одинаковыми (но другими) SAS-адресами (стр. 184).

Порт хаба - разъем подключения сетевого кабеля Ethernet (стр. 223).

Последовательные принтеры - в них за один цикл печати формируется один символ (стр. 256)

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) (read only memory, ROM) - запоминающее устройство, непосредственно связанное с центральным процессором и предназначенное для данных, оперативно участвующих в выполнении арифметико-логических операций (ГОСТ 22492-82) [2] (стр. 11).

Поток (stream) HDA - представляет собой логическое (виртуальное) соединение между буферами в ОЗУ и кодеком, организуемое отдельным каналом DMA. В состав потока может входить несколько каналов данных HAD (стр. 278).

Потоковый канал (streaming pipe) USB - доставляет данные от одного конца канала к другому, он всегда однонаправленный (стр. 169).

Прерывание - процесс переключения ЦП с одной программы на другую по внешнему сигналу с сохранением информации для последующего возобновления прерванной программы (стр. 34).

Прерывания (interrupts) USB - передачи спонтанных сообщений, которые должны выполняться с задержкой не большей, чем требует устройство (стр. 168).

Прикладной уровень SAS (application layer) - для протокола SSP определяет процедуры выполнения команд SCSI согласно архитектурной модели SAM. Для протокола SMP прикладной уровень определяет функции, необходимые для идентификации устройств, выяснения топологии домена и управления экспандерами. Для протокола STP прикладной уровень SAS не вводит каких-либо особенностей по сравнению с SATA (стр. 186).

Принтер - это устройство, способное выводить изображение, как правило, текста на бумагу или пленку (стр. 255).

Принцип таймаута - принцип, согласно которому ответ от запрашиваемого устройства должен быть получен за наперед заданный интервал времени (стр. 35).

Приостановка - процесс, при котором средства управления, работающие автономно от ЦП, задерживают его работу на время цикла памяти, при этом ОЗУ непосредственно занято приемом или выдачей информации для другого устройства (стр. 35).

Программа - упорядоченная последовательность *команд*, подлежащая обработке (стр. 10).

Просодический признак - Ритм: средство эмоционального воздействия на слушающего. Способствует выражению смысловых отношений (стр. 282).

Протокол - совокупность правил и соглашений, определяющих работу функциональных устройств и процедур в процессе взаимодействия (связи) (стр. 15, 55).

Протокол канального уровня (data link protocol) - протокол взаимосвязи, регламентирующий установление, поддержание, разъединение информационного логического канала [2] (стр. 15, 55, 216).

Протокол физического уровня (physical protocol) - протокол, регламентирующий механические, электрические, функциональные и процедурные характеристики интерфейса между вычислительной машиной и средой передачи сигналов [2] (стр. 15, 55, 216).

Процедура paging - используется для установления соединения в пикосетях Bluetooth (стр. 152).

Процедура опроса inquiry - используется для определения адресов окружающих устройств, а также определения значений их часов в пикосетях Bluetooth (стр. 152).

Процессор (processor) - устройство или функциональная часть цифровой вычислительной системы, предназначенная для интерпретации *программы* (ГОСТ 15971-84) [2], [3] (стр. 10).

Процессор ввода-вывода (ПВВ) (input-output processor) - специализированный процессор, предназначенный для ввода и вывода потока данных и распределения данных между отдельными процессами [2] (стр. 21).

ПЭВМ – персональная ЭВМ (ПК) (стр. 9).

Р

Рабочий магнитный слой - основан на оксиде железа, оксиде хрома (более прочный), на никелевых сплавах или других магнитотвердых материалах (стр. 303).

Разборчивость речи - определяется первыми тремя формантами (стр. 281).

Разделяемая память (совместно используемая память) (shared storage) - память, для которой предусмотрены средства, обеспечивающие возможность ее одновременного использования двумя или более процессорами [2] (стр. 11).

Разрешающая способность АЦП - определяется величиной кванта и характеризует наименьшее различимое изменение входной аналоговой величины (стр. 198).

Разрешение принтера - шаг точек печати, измеряется в dpi (dot per inch — число точек на дюйм) (стр. 259).

Растривание - представление пикселя группой соседних точек (растром) (стр. 259).

Растровый метод вывода изображения - подразумевает, что некий рисующий инструмент, способный оставлять видимый след, сканирует всю поверхность, на которую выводится изображение. Траектория движения инструмента постоянна и не зависит от выводимого изображения, но инструмент может рисовать, а может и не рисовать отдельные точки траектории (стр. 235).

Регенерация изображения - процесс постоянного сканирования видеопамати (стр. 237).

Регистры палитр - служат для преобразования цветов, закодированных битами видеопамати, в реальные цвета на экране видеомонитора (стр. 253).

Режим EPP (EPP Mode) - двунаправленный обмен данными (EPP означает Enhanced Parallel Port). Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно во время цикла обращения к порту (стр. 157).

Режим ECP (ECP Mode) - двунаправленный обмен данными с возможностью аппаратного сжатия данных по методу *RLE* (Run Length Encoding) и использования FIFO-буферов и DMA (ECP означает Extended Capability Port). Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно (стр. 157).

Режим совместимости (Compatibility Mode) - однонаправленный (вывод) по протоколу Centronics. Этот режим соответствует SPP-порту (стр. 157).

Речевой сигнал - имеет иерархическую организацию, при которой образы одного уровня объединяются в более сложные образы следующего уровня по определенным правилам (281).

С

СВВ визуальной информации ПК - включает в себя устройства *видеосистемы ПК*, устройства *системы взаимодействия с промежуточными носителями твердых копий визуальной информации* и *устройства непосредственного ввода визуальной информации* (стр. 232).

СВВ ВС - система ввода-вывода вычислительной системы (стр. 21).

СВВ хоста ВС - система (подсистема) ввода-вывода центральной части (хоста) ВС (стр. 22).

СВВ хоста ЭВМ - система (подсистема) ввода-вывода центральной части (хоста) ЭВМ (стр. 22).

СВВ ЭВМ - система ввода-вывода ЭВМ (стр. 22).

Секвенсоры - наборы потенциометров и коммутирующих ключей (стр. 272).

Сервопривод - привод, обеспечивающий точное позиционирование по сигналу обратной связи (стр. 304).

Сетевой адаптер - коммуникационное ПУ используемое для подключения компьютера к локальной вычислительной сети (стр. 223).

Сеть с инфраструктурой - беспроводная ЛВС, в которой в «поле зрения» группы узлов имеется *точка доступа* (access point), которая централизованно координирует их работу. Здесь точка доступа находится в заведомо привилегированном положении (стр. 227).

Сеть с расширенной инфраструктурой - беспроводная ЛВС, в которой несколько точек доступа, соединенных между собой (проводной или беспроводной сетью); клиентские узлы находятся в радиусе действия одной или нескольких точек доступа. Клиентские узлы по мере перемещения (или изменения условий приема) могут переходить от одной точки доступа к другой (стр. 227).

Сжатие движущихся изображений - включает *внутрикадровое* (intraframe compression) и *межкадровое* (interframe compression) сжатие (стр. 240).

Сигнал (signal) - физический процесс или явление, несущий сообщение (информацию) о событии, состоянии объекта наблюдения либо передающий команды управления [2] (стр. 13).

Символ (character, symbol) - знак, единица алфавита [3], кодируется, как правило, байтом. В этом случае байт образует неделимую для обработки совокупность двоичных разрядов (стр. 16).

Синтез речи по правилам - он предполагает использование электронной (или математической программно реализуемой) модели голосового тракта человека, т.е. синтезатора (стр. 284).

Синтез системы - это процесс порождения функций и структур, необходимых и достаточных для получения определенных результатов [7] (стр. 6).

Синтезатор - обеспечивает имитацию звучания музыкальных инструментов и воспроизведение различных звуков (стр. 266).

Синтезаторы звуков - используют для имитации голосов обычных музыкальных инструментов, человеческого голоса, различных шумов и создания оригинальных звуков (стр. 270).

Система - это совокупность методов, процедур, программ и технических средств, объединенная определенными взаимоотношениями с целью выполнения определенной функции [2] (стр. 6).

Система (подсистема) ввода-вывода вычислительной системы (СВВ ВС) - совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих обмен информацией между ОЗУ и объектами внешнего мира (стр. 21).

Система (подсистема) ввода-вывода хоста ЭВМ - аппаратные (технические) средства СВВ хоста ВС, которые включают в себя все средства внутренней коммуникационной среды хоста (стр. 22).

Система (подсистема) ввода-вывода центральной части (хоста) ВС (СВВ хоста ВС) - совокупность программных и аппаратных (технических) средств, обеспечивающих обмен данными между ОЗУ и портами устройств, подключенных к ИВВ хоста (стр. 22).

Система (подсистема) ввода-вывода ЭВМ (СВВ ЭВМ) (компьютера, ПК) - аппаратные (технические) средства СВВ ВС. (стр. 22).

Системное программное обеспечение - четыре группы взаимосвязанных программных средств: *операционные системы, сервисные программы, инструментальные программные средства и программы диагностики, тестирования и наладки* технических средств ВС [6] (стр. 7).

Системный подход (system approach) - комплексное взаимосвязанное последовательное рассмотрение всех факторов, путей и методов решения задачи в конкретных условиях [3] (стр. 5).

Системотехника - теория и практика разработки и эксплуатации технических и организационных систем на основе *системного подхода* [3] (стр. 5).

Сканеры - растровые устройства ввода изображения с промежуточного носителя (бумаги или пленки) (стр. 262).

Скан-код - номер клавиши, идентифицирующий ее расположение на клавиатуре (стр. 290).

Скорость записи и считывания - определяется как отношение объема записываемых или считываемых данных ко времени, затрачиваемому на эту операцию. В затраты времени входят и время доступа, и время передачи данных (стр. 297).

Скорость передачи данных (Transfer Speed, Transfer Rate, XFER) - определяется как производительность обмена данными, измеряемая после завершения поиска данных (стр. 297).

Слот (slot) - специальный разъем ("щелевого" типа) в компьютере, в который вставляется печатная плата устройства [15] (стр. 19).

Совокупное состояние СВВ - состояние всех участвующих в операции ввода-вывода компонентов (стр. 41).

Содержание речевого сообщения - определяется изменениями кратковременного спектра речевого сигнала (стр. 282).

Соединение PCI Express (PCI Express Link) - это два встречных симплексных канала, соединяющих два компонента (стр. 106).

Соединение SSP (SSP-connection) - временная связь между трансиверами инициатора и целевого устройства (стр. 185).

Сообщение - произвольное количество информации с явно или неявно указанными началом и концом и предназначенное для передачи. [1] (стр. 13).

Сопряжение - синоним интерфейса (стр. 19).

Специализированные ПИБВ - используются для подключения к хосту ПК специализированных периферийных устройств (клавиатура, PS/2 Mouse, музыкальные инструменты, накопители на жестких и оптических дисках), у которых их контроллеры находятся в едином конструктиве с исполнительными устройствами (стр. 129).

Спрайт (sprite) - небольшой прямоугольный фрагмент изображения, который может перемещаться по экрану как единое целое (стр. 242).

Среднее ухо - содержит слуховые косточки и стремечко (стр. 281).

Средства доступа к носителю - узлы записи и считывания, а также (для подвижных носителей) привод и механизмы позиционирования (стр. 298).

Стадия передачи данных (data stage) - предназначена в протоколе управляющих передач USB для отправки дополнительной управляющей информации (стр. 171).

Стадия передачи состояния (status stage) - предназначена в протоколе управляющих передач USB для уведомления хоста о факте завершения исполнения команды (стр. 172).

Стадия установки (setup stage) - предназначена в протоколе управляющих передач USB для передачи управляющего сообщения от хоста к устройству USB (стр. 171).

Стандартный интерфейс (standard interface) - унифицированный интерфейс, используемый для стандартного подключения внешних устройств к каналам ввода-вывода; средство сопряжения двух систем или их частей, в котором все параметры отвечают предварительным соглашениям и широко используются в других устройствах [3] (стр. 19).

Стереофония - двухканальная передача и хранение звуковой информации (стр. 267).

Стримеры - это устройства с магнитным принципом хранения на ленточных носителях последовательного доступа, обеспечивающие возможность работы со сменными носителями - картриджами и кассетами с магнитной лентой (стр. 313).

Структура системы - это фиксированная совокупность элементов (объектов) и связей между ними [7] (стр. 6).

Т

Твердотельная память - флэш-памяти, EEPROM и др., 296

Технологии xDSL - основаны на превращении абонентской линии обычной телефонной сети из аналоговой в цифровую, что и отражено в их названии (Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия) (стр. 221).

Тональный звук - имеет дискретный спектр, с *основным тоном* и *гармониками*, частота которых кратна частоте основного тона (первая гармоника является основным тоном) (стр. 270).

Точки доступа WLAN - устройства различного исполнения (настольные, настенные, специальные уличные) выполняющие как правило функции моста, связывающего WLAN с сетями Ethernet. Специально для точек доступа разработан стандарт IEEE 802.3af. Питание к точкам доступа может подаваться по тому же медному кабелю (витая пара), которым они подключаются к коммутаторам или хабам Ethernet (стр. 228).

Транзакция - групповая операция; обработка запроса; входящее сообщение [14] (стр. 90).

Транзакция на шине USB - это последовательность обмена пакетами между хостом и ПУ, в ходе которой может быть передан или принят один *пакет данных* (возможны транзакции, в которых данные не передаются) (стр. 168).

Трансивер PHY (PHYsical) - приемник и передатчик последовательного интерфейса, которые реализуют физический уровень взаимодействия (стр. 184).

Транспортный уровень SAS (transport layer) - определяет структуры кадров и транспортные сервисы для протоколов SSP, STP и SMP (стр. 186).

ТТЛ-схемы - интегральные схемы, выполненные по технологии ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) (стр. 97).

Туннель (tunnel) - устройство с двумя интерфейсами Hyper Transport (HT) (стр. 66).

У

УАПП - универсальный асинхронный приемопередатчик (стр. 159).

УСАПП - универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик (стр. 50).

УВВ речевых сообщений - устанавливает соответствие между отдельными элементами речевого сигнала и символическими представлениями, используемыми в ЭВМ (стр. 282).

УВвДС - устройства ввода дискретных сигналов (стр. 194).

УВывДС - устройства вывода дискретных сигналов (стр. 194).

Удаленное пробуждение (remote wakeup) - это единственный случай на USB, когда сигнальную инициативу проявляет устройство (а не хост) (стр. 174).

Узкий (narrow) порт (в SAS) - содержит один трансивер (стр. 184).

Универсальные ПИВВ - используются для подключения к хосту ПК разнообразных ПУ с интегрированными контроллерами (стр. 129).

Уровень PHY SAS (PHY layer) (уровень физического устройств) - определяет последовательную передачу данных (кодирование 8B/10B) и специальную «внеполосную» (OOB) сигнализацию для служебных целей (стр. 186).

Уровень порта SAS (port layer) - уровень, являющийся прослойкой между канальным и транспортным уровнем, обеспечивающий установление и разрыв соединений в портах (стр. 186).

Уровень транзакций PCI Express (transaction layer) - верхний уровень архитектуры, отвечающий за сборку и разборку *пакетов TLP (Transaction Layer Packet* - пакет уровня транзакций) (стр. 107).

УСПП - универсальных синхронный приемопередатчик (стр. 49).

Устройства (Devices) USB - хабы, функции или их комбинации (стр. 165).

Устройства ввода-вывода (УВВ) - совокупность устройств, находящихся между интерфейсом ввода-вывода центральной части ЭВМ (ИВВ системного уровня) и внешними интерфейсами ввода-вывода (внешними ИВВ), т. е., в общем случае, понятие УВВ более общее, чем понятие ПУ (стр. 30).

Устройства последовательного доступа - устройства, в которых произвольное чередование операций записи и чтения, относящихся к произвольным адресам блоков, либо невозможно, либо затруднительно (стр. 297).

Устройства постраничной печати - в них за один цикл печати формируется страница (стр. 256)

Устройства хранения с прямым доступом (Direct Access Storage Device, DASD) - устройства, в которых возможно обращение к блокам данных по их адресам в произвольном порядке и, что важно, допускается произвольное чередование операций записи и чтения блоков (стр. 297).

Устройство SCSI (SCSI Device) - это, как *хост-адаптер*, связывающий шину ИВВ SCSI с какой-либо внутренней шиной ИВВ хоста компьютера, так и *контроллер целевого устройства* (target controller), с помощью которого устройство подключается к шине периферийного ИВВ SCSI (адаптер целевого устройства) (стр. 178).

Ухо - состоит из ушной раковины, среднего и внутреннего уха (стр. 281).

Ушная раковина - направляет звуковые волны на барабанную перепонку, вызывая ее колебания (стр. 281).

Ф

Файл (file) - набор данных на логическом уровне рассмотрения [2] (стр. 16).

Факс-модем (fax-modem) - модем, позволяющий передавать и принимать факсимильные изображения, совместимые с обычными факс машинами (стр. 217).

ФАПЧ - фазовая автоподстройка частоты (стр. 173).

Физическая модель - совокупность материальных объектов [7] (стр. 7).

Физическая операция ввода-вывода или обращения к памяти - это процесс (шинный цикл), во время которого генерируются электрические сигналы на линиях интерфейсов, обеспечивающих доступ к данной ячейке (порту) (стр. 52).

Физическая реализация интерфейса - состав и характеристики линий передачи, конструкция средств их подключения (например, разъем), вид и характеристики сигналов (стр. 57).

Физический адрес - адрес, формируемый на адресных выводах процессора (стр. 52).

Физический адрес ячейки памяти или порта ввода-вывода - адрес, формируемый на интерфейсах коммуникационной среды хоста для обращения к данной ячейке или порту (регистру) (стр. 52).

Физический интерфейс подключения (PHY) - состоит из разъема и трансформаторов гальванической развязки (стр. 225).

Физический канал связи Bluetooth - канал, характеризующийся определенной псевдослучайной последовательностью используемых частот и кодом доступа, передаваемым в начале каждого пакета (стр. 150).

Физический уровень PCI Express (physical layer) - изолирует канальный уровень от всех подробностей передачи сигналов (стр. 108).

Физический уровень SAS (physical layer) - определяет коннекторы, кабели и электрические параметры приемопередатчиков (стр. 186).

Физическое устройство USB - устройство, которое должно иметь адаптер USB, обеспечивающий полную поддержку протокола USB, выполнение стандартных операций (конфигурирование и сброс) и предоставление информации, описывающей устройство (стр. 166).

Фонема - наименьший компонент речевого сигнала, так называемый базовый звук, позволяющий отличать произносимые высказывания на определенном языке или диалекте. Общее число фонем в различных языках составляет 20 - 60: для русского языка - 44, для английского - 40. Набор фонем определяет наименьшее число распознаваемых элементов языка (стр. 282).

Фон-неймановская архитектура (von Neumann architecture) - организация ЭВМ, при которой вычислительная машина состоит из двух основных частей: линейно-адресуемой памяти, слова которой хранят команды и элементы данных, и процессора, выполняющего эти команды [3] (стр.9).

Фонологический алфавит - совокупность элементов речевого сигнала, каждому из которых можно поставить в соответствие определенное символическое (кодированное) представление в ЭВМ (стр. 282).

Форманта - частота области резонанса (стр. 271).

Формат кадра CD - поле синхронизации, собственно данные, контрольный код и субкод (стр. 310).

Форматирование верхнего уровня - заключается в формировании логической структуры диска (таблиц размещения файлов, корневого каталога и т. п.), соответствующей файловой подсистеме применяемой ОС (стр. 301).

Формирования речевого сообщения по образцам - восстановление аналогового сигнала, заранее закодированного и введенного в память системы вывода речи (стр. 284).

Фотопринтеры - отличаются от обычных принтеров улучшенной передачей полутонов (стр. 260).

Фрейм-граббер (frame grabber) - инструмент захвата видеокadra (стр. 240).

Функция системы - это правило получения результатов, предписанных целью (назначением) системы [7] (стр. 6)

X

Хаб (hub) Ethernet - многопортовый повторитель, обеспечивающий трансляцию сигнала (битового потока), принятого на одном порту, на все остальные порты (стр. 223).

Хост-адаптер (host adapter) USB - адаптер, обеспечивающий связь шины ИБВ USB с шиной ИБВ хоста компьютера. Хост-адаптер выполнен на базе хост-контроллера USB (стр. 165).

Хост-адаптер SCSI - адаптер, связывающий шину ИБВ SCSI с какой-либо внутренней шиной ИБВ хоста компьютера (стр. 178, 181).

Хост-контроллер USB - контроллер, который совместно с корневым хабом (root hub), организует точки подключения устройств USB к хосту и управляет циклами обмена по шине ИБВ USB (стр. 165).

Ц

ЦАП - цифроаналоговый преобразователь (стр. 194).

ЦВМ - цифровая вычислительная машина (стр. 9)

Центральная часть вычислительной системы (main frame) - часть технических средств цифровой вычислительной системы, в состав которой входят объединенные единым управлением центральный процессор, основная память, каналы ввода-вывода, необходимые для выполнения программы после ее ввода (ГОСТ 15971-84) [2], [10] (стр. 12).

Центральный процессор (ЦП) (central processor) - процессор, выполняющий в данной цифровой вычислительной системе основные функции по обработке данных и управлению работой других частей этой системы (ГОСТ 15971-84) [2] (стр. 10).

Центральный процессорный элемент (central processing unit (CPU)) - центральное обрабатывающее устройство (стр. 10).

Цилиндр (cylinder) - совокупность всех треков с одинаковыми номерами (стр. 300).

Цифровая вычислительная машина - ВМ, в которой информация представляется и обрабатывается в цифровой кодированной форме (стр. 9).

Цифровой аудиоканал, он же аудиокодек - обеспечивает возможность моно- или стереофонической записи и воспроизведения аудиофайлов (стр. 265).

Цифровой вычислительный комплекс (вычислительный комплекс) (computer complex) - часть цифровой вычислительной системы, представляющая ее технические средства, имеющая в своем составе более одной центральной части и предназначенная для обработки данных под управлением программ, находящихся в памяти" (ГОСТ 15971-84) [2] (стр. 5).

ЦП - центральный процессор (стр. 10).

Ч

Частотная манипуляция (ЧМн), (Frequency Shift Keying -FSK) (аналог – частотная модуляция) – способ передачи двоичных данных при котором значениям «0» и «1» информационной последовательности соответствуют определённые частоты синусоидального сигнала при неизменной амплитуде (стр. 150).

Ш

Шина адреса - совокупность адресных линий интерфейса (стр. 16).

Шина данных - линии интерфейса, используемые для передачи данных (стр. 16).

Шина интерфейса - все линии, входящие в состав интерфейса (стр. 16).

Шина управления - совокупность линий, по которым передаются управляющие сигналы, сигналы состояния и пр. (стр. 16).

Широкий порт (в SAS) - содержит два и более трансиверов (стр. 184).

Штампованные (печатные) диски CD - имеют рельефную верхнюю сторону прозрачной основы, покрытую светоотражающим напылением (стр. 311).

Шумовые звуки - имеют спектр гармоник, непрерывный в какой-то области звукового диапазона (стр. 270).

Э

ЭВМ - электронная вычислительная машина (стр. 9).

Эквалайзер - многополосный регулятор тембра (стр. 266).

Эквалайзер - устройство или компьютерная программа, позволяющая выравнивать амплитудно-частотную характеристику звукового канала (стр. 274).

Экспандеры - устройства SAS, служащие для объединения конечных устройств в сложных конфигурациях (стр. 185).

Электрический принцип хранения - основан на пороговых эффектах в полупроводниковых структурах (стр. 296).

Электронная вычислительная машина (ЭВМ) - ВМ, элементной базой которой являются электронные компоненты и схемы (стр. 9).

Электронная цифровая вычислительная машина (ЭЦВМ) - ЭВМ, элементной базой которой являются цифровые электронные схемы (стр. 9).

Элементы речевого сигнала фонологического алфавита - определенные звуки (фонемы, аллофоны), слоги, слова и словосочетания (стр. 282).

ЭЛТ - Электронно-лучевая трубка (стр. 233).

Эффект Керра - изменение поляризации света под действием магнитного поля (стр. 308).

ЭЦВМ (ЦЭВМ) - электронная (цифровая) цифровая (электронная) вычислительная машина

Английские

А

AC-3 (аудиокодкк-3 или система 5,1) - шестиканальная цифровая система объемного звучания Dolby Digital (стр. 273).

AC'97 - аудиокодек (стр. 275).

AC-Link - цифровой интерфейс аудиокодека AC'97 и MC'97 (стр. 276).

ADC (Analog-Digital Converter) - аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (стр. 194).

ADPCM (Adaptive Differential Pulse-Code Modulation) - адаптивная ДИКМ (стр. 269).

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) - асимметричная цифровая линия (стр. 221).

ADSR (Attack – Decay – Sustain – Release) - обобщенная модель музыкальных звуков (стр. 271).

AES/EBU (Audio Engineers Society/European Broadcast Union) - студийный цифровой аудио интерфейс, разработанный этими организациями (стр. 126).

AGP (Accelerated Graphic Port) - порт ускоренной графики. Был введен для подключения графических видеоадаптеров с 3D-акселераторами (стр. 103).

AGP (Accelerated Graphics Port) - скоростной ИВВ хоста специально предназначенный для подключения мощных графических видеоадаптеров (стр. 62).

AHCI (Advanced Host Controller Interface) - спецификация контроллера для SATA 2 (стр. 138).

AMR - разъем расширения AC-Link (стр. 276).

AMR (An isotropic Magneto-Resistance) - эффекте анизотропии сопротивления полупроводников в магнитном поле (стр. 304).

AN (Alpha-Numerical) - алфавитно-цифровой (стр. 237).

APA (All Points Addressable) - «все точки адресуемы», синоним графического режима (стр. 236).

APIC (Advanced Programmable Interrupt Controller) - усовершенствованный программируемый контроллер прерываний, в котором число входов запросов увеличено до 24, дополнительные восемь входов могут использоваться периферийными устройствами, установленными на системной плате (стр. 63, 99).

ASPI (Advanced SCSI Programming Interface) - усовершенствованный интерфейс программирования для SCSI (стр. 182).

ATA (Advanced Technology Attachment) (стр. 137)

ATN (ATteNtion) - внимание (стр. 209).

Audio-CD - аудио компакт-диски (стр. 309).

AVO (Audio-Visual Objects) - аудиовизуальные объекты, используемые в MPEG-4 (стр. 242).

В

В-кадры (B - bi-directional) - являются двунаправленными, они ссылаются и на предыдущий, и на следующий кадры (стр. 241).

BDA (BIOS data area) - область данных ROM BIOS (стр. 53).

BIOS (Basic Input-Output System) - базовая система ввода-вывода (стр. 8, 50, 52).

Bit rate - интенсивность битового потока (стр. 268).

BPI (Bit Per Inch) - число битов на дюйм (стр. 300).

Burst Mode - скоростной режим пересылки пакетов данных без указания текущего адреса внутри пакета (стр. 87).

Bus Master (busmastering) - монопольный режим работы с шиной интерфейса расширения системы. В этом режиме определенное устройство (bus master) может дать команду другим устройствам прекратить работу с шиной [14], [15] (стр. 21).

С

CAMAC (Computer Automated Measurement And Control) - система компьютерной автоматизации измерений и контроля (стр. 210).

CAN (Campus-Area Network) - кампусная сеть, объединяющая локальные сети близко расположенных зданий (стр. 191).

CCD (Couple-Charged Device) - прибор с зарядовой связью (стр. 262).

CD Single - миниатюрные CD-диски (стр. 310).

CDMA (Code-Division multiple Access – множественный доступ с разделением кодов) - стандарт цифровой мобильной телефонной связи (стр. 221).

CD-R (Recordable CD) - записываемый компакт-диск (стр. 310).

CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory) - компакт-диск, предназначенный только для чтения (стр. 309).

CD-RW (Rewritable CD) - перезаписываемый компакт-диск (стр. 311).

CD-WORM (Write Once, Read Many) - однократная запись, многократное чтение (стр. 310).

CGA (Color Graphics Adapter) - цветной графический адаптер с разрешением 640 × 200 (стр. 117).

ChLCD (Cholesteric Liquid Crystal Display) - дисплеи на базе холестерических жидких кристаллов (стр. 248).

CHS (Cylinder, Head, Sector) - трехмерная адресация информации на магнитных дисках (стр. 138, 297).

CIC (Controller-in-Charge) - ответственный контроллер (стр. 208).

CLKE (Clock Estimated) - часы сканируемого устройства пикосети Bluetooth (стр. 151).

CLKN (Clock Native) - часы мастера пикосети Bluetooth (стр. 151).

CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black) - базисные цвета цветной печати (бирюзовый, пурпурный, желтый, черный) (стр. 260).

CNR - разъем расширения AC-Link (стр. 276).

COM-порт (Communications Port) - коммуникационный порт (стр. 158).

CPU (Central Processing Unit) - центральный процессорный элемент (центральный процессор) (стр. 10, 233).

CR (Control Register) - регистр управления SPP (стр. 155).

CRC (Cyclic Redundancy Check) - контроль целостности передаваемых данных с помощью циклического избыточного контрольного кода (стр. 301).

CRC (Cyclic Redundancy Check) - циклический контрольный код (стр. 109).

CRT (Cathode Ray Tube) - ЭЛТ (Электронно- (Катодно-) Лучевая Трубка) (стр. 235, 244).

CRT Controller (контроллер ЭЛТ) - является компонентом видеоадаптера в задачи которого входит согласованное формирование сигналов сканирования видеопамати (адрес и стробы чтения), а также вертикальной и горизонтальной синхронизации видеомонитора. В текстовом режиме контроллер ЭЛТ формирует и аппаратный курсор (стр. 251).

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением столкновений (коллизий) (стр. 225).

D

DA (Destination Address) - MAC-адрес получателя (стр. 225).

DAC (Digital-to-Analog Converter) - цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) (стр. 253, 268).

DASD (Direct Access Storage Device) - устройства хранения с прямым доступом (стр. 297).

DAV (Data Valid) - данные готовы (стр. 209).

DAV/NRFD/NDAC - трехсигнальная схема IEEE-488.1 (стр. 207).

DCE (Data Communication Equipment) - оконечная аппаратура каналов данных (АКД) (стр. 159).

DDWG (Digital Display Working Group) - рабочая группа по цифровым дисплеям (стр. 122).

Dedicated servo - выделенная сервоповерхность (стр. 305).

DIM (Device Identified Messages) - идентификатор устройства (стр. 51).

DIME (Direct Memory Execute) - технология, при которой графический акселератор является мастером шины IBB AGP и может пользоваться основной памятью компьютера для своих нужд, например, при трехмерных построениях (стр. 243).

Display - устройство отображения (стр. 244).

DivX - название программного кодека для MPEG-4 (альтернатива стандартному кодеку от Microsoft) (стр. 242).

DL (Dual Layer) - двухслойные DVD (стр. 312).

DLT (Digital Linear Tape) - цифровая лента с линейной записью (стр. 313).

DMA (Direct Memory Access) - прямой доступ к памяти (стр. 47).

DMI (Digital (Direct) Media Interface) - последовательный дуплексный интерфейс (2 GB/s) соединения северного и южного хабов (стр. 66).

Dolby Surround Pro Logic - объемное (обволакивающее-surround) звучание (стр. 272).

DotCLK - частота вывода пикселей в графических режимах или точек разложения символов в текстовом режиме (стр. 251).

DPCM (Differential Pulse-Code Modulation) - дельта-ИКМ (стр. 269).

dpi (dot per inch) - число точек на дюйм (стр. 259).

DPMS (Display Power-Management Signaling) - управление энергопотреблением дисплея (стр. 120).

DR (Data Register) - Регистр данных SPP (стр. 154).

DS (Dual Sided) - двусторонние DVD (стр. 312).

DSL (Digital Subscriber Line) - цифровая абонентская линия (стр. 221).

DSP (Digital Signal Processor) - цифровой сигнальный процессор (стр. 206).

DT (Double Transition) - двойная синхронизация данных при которой на действительность данных указывают и спад, и фронт синхронизирующего сигнала (стр. 183).

DTE (Data Terminal Equipment) - аппаратура передачи данных (АПД) (Стр. 159).

DVD (Digital Versatile Disk) - универсальный цифровой диск (стр. 312).

DVD (Digital Video Disk) - диск для цифровой видеозаписи (стр. 312).

DVD-плеер - аппаратный или программный декодер MPEG-2, позволяющий воспроизводить видеозаписи с DVD-Video и Super Video CD (стр. 242).

E

Е-экспандеры (edge expander) - устройства, из которых собираются *наборы Е-экспандеров* (edge expander device set), обеспечивающие подключение конечных устройств SAS (стр. 185).

EBDA (Extended BIOS Data Area) - расширенная область данных ROM BIOS (стр. 53).

ECC (Error Checking and Correcting) - обнаружение и коррекция ошибок (стр. 301).

ED (Extra-High Density) - экстра высокая плотность (емкость дискеты 2,88 Мбайт) (стр. 303).

EGA (Enhanced Graphics Adapter) - усовершенствованный графический адаптер с разрешением 640 × 350, и с 16 цветами (стр. 117).

EISA (Enhanced Industry Standard Architecture) - расширенная архитектура промышленного стандарта ISA (стр. 61, 87).

EOF (End of Frame) - конец кадра USB (стр. 170).

EOI (End Of Identify) - конец идентификации (стр. 209).

ESDI (Enhanced Small Device Interface) - расширенный интерфейс малых устройств, появился как развитие ST-506 (стр. 116).

ESONE (European Standards of Nuclear Electronics) (стр. 210).

Ethernét (эзернет, от лат. Aether - эфир) - пакетная технология передачи данных преимущественно в локальных компьютерных (вычислительных) сетях (ЛВС) (стр. 223).

F

FC-AL - кольцевая топология Fibre Channel (стр. 188).

FCI (Flux Changes per Inch) - число изменений потока на дюйм (стр. 300).

FCP (Fibre Channel Protocol) - протокол для интерфейса Fibre Channel с соответствующим физическим уровнем FC-PH и другими (стр. 180).

FC-PH - физический уровень Fibre Channel (стр. 188).

FC-SW - топология Fibre Channel с коммутационной фабрикой (стр. 188).

FHS - пакет, передаваемый опрашиваемым устройством в ответ на пакет опроса по каналу сканирования пикосети Bluetooth (стр. 151).

Fibre Channel (FC) - интерфейс высокоскоростных коммуникаций между компьютерами и периферийным оборудованием, широко используемый в сетях хранения данных (Storage Area Network, SAN) (стр. 188).

FM (Frequency Modulation) - частотная модуляция (ЧМ) (стр. 266, 300).

FM Music Synthesizer - синтезатор с частотной модуляцией (стр. 266).

FM- синтезатор - основан на модуляции частоты одного звукового генератора (несущей) сигналом от другого звукового генератора, частоты генераторов соизмеримы (стр. 272).

FMD - флуоресцирующие многослойные диски (оптические) (стр. 312).

FPDMA (First Party Direct Memory Access) - принцип организации системы накопитель - хост - память, позволяющий контроллеру хост-адаптера выбирать в режиме busmastering подходящую область в хост-памяти для чтения/записи поставленными в очередь командами (стр. 138).

FRAM - ферроэлектрическая память (стр. 315).

FS (Full Sped) - полная скорость (стр. 165).

F-экспандеры (fanout expander) - служат для объединения множества наборов E-экспандеров и конечных устройств (стр. 185).

G

GAN (Global-Area Network) - глобальная сеть (стр. 191).

Gap - зазор (стр. 301).

GMR (Giant Magneto-Resistive) - сверхвысокий магниторезистивный эффект (стр. 304).

GPB (General Purpose Interface Bus) - интерфейсная шина общего назначения, известная у нас как КОП (Канал Общего Пользования) (стр. 62, 191, 207).

GPP (Generic Packetized Protocol) - обобщенный пакетный протокол, реализуемый любым пакетным интерфейсом (стр. 180).

GPS (Global Positioning System) - глобальная система навигации (стр. 314).

GSM (Global System for Mobile communications) - цифровая мобильная телефонная связь (стр. 221).

GUI (Graphic User Interface) - графического интерфейса пользователя (стр. 243)

Н

HD (High Density) - высокая плотность (емкость дискеты 1,44 Мбайт) (стр. 303).

HD DVD (High Density DVD) - DVD высокой плотности, работают с лазером с короткой длиной волны (405 нм) (стр. 312).

HDA (Head Disk Assembly) - диск с головками в сборке (стр. 303).

HDA (High Definition Audio) - многоканальный звук (стр. 277).

HDC (Hard Disk Controller) - контроллер НЖМД (стр. 305)

HDD (Hard Disk Drive) - накопители на жестких магнитных дисках (стр. 303).

HDSL (High Data-Rate Digital Subscriber Line) - высокоскоростная технология передачи данных по симметричным медным проводам (абонентским линиям) (стр. 221).

HGC (Hercules Graphics Card) - аналог MDA (стр. 117).

High Color - 15 бит на пиксел — 32 768 цветов; или 16 бит на пиксел — 65 536 цветов (стр. 237).

HP-GL - язык управления графопостроителями (плоттерами) (стр. 262).

HPiB (Hewlett-Packard Interface Bus) - интерфейсная шина Hewlett-Packard (стр. 206).

HS (High Sped) – высокая скорость (стр. 165).

HVD (High-Voltage Differential) - высоковольтная дифференциальная версия SCSI (стр. 183).

I

I²S (Inter I²C Sound) - интерфейс, предназначенный для передачи двухканального (стерео) PCM-потока (ИКМ-потока) между микросхемами цифровых аудиосистем (стр. 126).

IDE (Integrated Drive Electronics) (стр.137).

IEEE 1284 (Стр. 157).

IEEE 1394-1995 – Стандарт, определяет архитектуру шины, основанную на трехуровневой модели, и протоколы, обеспечивающие автоматическое конфигурирование, арбитраж и передачу изохронного и асинхронного трафиков. В стандарте определены три возможные скорости передачи сигналов по кабелям: 98,304, 196,608 и 393,216 Мбит/с, которые округляют до 100, 200 и 400 Мбит/с и обозначают как S100, S200 и S400 соответственно. Стандартизованы кабель и 6-контактный разъем, позволяющий передавать сигналы и питание (стр. 177).

IFC (InterFace Clear) - очистка интерфейса (стр. 209).

INCITS (InterNational Committee for Information Technology Standards) - международного комитета по стандартизации в области информационных технологий (стр. 139).

IOP (Input/Output Processor) - процессор ввода-вывода (стр. 51).

IrDA (Infrared Data Association) - ассоциация разработчиков систем инфракрасной передачи данных (стр. 146).

IrLAP (IrDA Infrared Link Access Protocol) - модификация протокола HDLC, отражающая нужды ИК-связи (протокол канального уровня) (стр. 147).

IRP (Input/Output Request) (стр. 167).

ISA (Industry Standard Architecture) - интерфейс расширения ввода-вывода, применявшийся в первых моделях PC и ставший промышленным стандартом (стр. 86).

iSCSI - транспортный протокол для доставки команд, данных и информации состояния SCSI в любые IP-сети, используя обмен IP-дейтаграммами (стр. 180).

ISO (International Standards Organization) - Международная организация стандартов (МОС) (стр. 216).

I-кадры (I - означает intra) - ключевые кадры, кодированные без ссылок на другие (то есть содержащие полное описание статического изображения) (стр. 241).

L

LAN (Local-Area Network) - локальные вычислительные сети (ЛВС), позволяют объединять компьютеры, расположенные в ограниченном пространстве (стр. 191).

Layer 1 - слой MPEG-1, выполняющий компрессию звуковой информации на психофизической основе (стр. 270).

Layer 2 - слой MPEG-1, повышает точность представления и более эффективно упаковывает звуковую информацию (стр. 270).

Layer 3 - слой MPEG-1, применяющий сложные наборы фильтров и нелинейное квантование звуковой информации (стр. 270).

LBA (Logical Block Address) - *линейная* адресация логических блоков на магнитных дисках (стр. 138, 297).

LCD (Liquid Crystal Display) - дисплеи на жидкокристаллических панелях (ЖК-дисплеи) (стр. 246).

LCoS (Liquid Crystal on Silicon) - жидкие кристаллы на кремнии (стр. 249).

LEP (Light Emission Plastics) - светоизлучающий пластик (стр. 247).

LIA (Lead-In Area) - вводная зона (стр. 309).

LIMDOW (Light Intensity Modulation Direct OverWrite) - непосредственная перезапись с модуляцией интенсивности луча – одна из технологий записи на МОД (стр. 308).

LLC (Logical Link Control) - Уровень логического звена (УЛЗ) (стр. 217).

LLC1 - протокол, обеспечивающий передачу сообщений без установления соединения и без подтверждения (стр. 217).

LLC2 - протокол, обеспечивающий передачу с установлением соединения и подтверждением (стр. 217).

LLC3 - протокол, обеспечивающий передачу без установления соединения, но с подтверждением (стр. 217).

LOA (Lead-Out Area) - выводная зона (стр. 309).

LPC (Low Pin Count - малое число выводов) - интерфейс, предназначенный для локального подключения устройств, ранее использовавших шину X-Bus или ISA: контроллеров НГМД, последовательных и параллельных портов, клавиатуры, BIOS и т. п. (стр. 111).

lpi (lines per inch) - число линий на дюйм (стр. 259).

LS (Low Sped) - низкая скорость (стр. 165).

LUN (Logical Unit Number) - номер логического устройства SCSI, представляющий периферийные устройство или его часть (стр. 181).

LVD (Low-Voltage Differential) - низковольтная дифференциальная версия SCSI (стр.183).

М

MAC (Media Access Control) - Уровень доступа к среде (УДС) (стр. 217).

MAN (Metropolitan-Area Network) - сеть городского масштаба (стр. 191).

MC'97 - модемный кодек (стр. 276).

MCA (Micro Channel Architecture) - интерфейс системного уровня, разработанный фирмой IBM для ПК PS/2 (стр. 88).

MDA (Monochrome Display Adapter) - текстовый монохромный видеоадаптер с разрешением 720 точек × 350 строк (стр. 117).

MFM (Modified Frequency Modulation) - модифицированная частотная модуляция (МЧМ) (стр. 115, 300).

MIDI-In (Входной порт MIDI) - представляет собой вход интерфейса «токовая петля», гальванически развязанного от приемника оптроном с быстродействием не хуже 2 мкс. (стр. 130).

MIDI-Out (Выходной порт MIDI) - представляет собой выход источника тока, гальванически связанного со схемой устройства. На выход подается информационный поток от данного устройства (стр. 130).

MIDI-Thru (Транзитный порт MIDI) - служит только для ретрансляции входного потока, по электрическим свойствам он аналогичен выходному (стр. 130).

MIDI-контроллер - устройство, на котором играют, как на музыкальном инструменте (чаще всего это клавиатура) которое формирует поток сообщений, отражающий события исполнения (нажатие и отпускание клавиш) в реальном времени (стр. 131).

MIDI-секвенсор (sequencer) - устройство, позволяющее перехватывать, хранить и редактировать (включая комбинирование, наложение и генерацию) поток MIDI-сообщений и воспроизводить его в заданном темпе (стр. 131).

MLC (multi-level cell) - многоуровневые ячейки (стр. 314).

Motorola 6845 - микросхема, применяемая в самых первых моделях видеоадаптеров в качестве контроллера ЭЛТ. Ее регистровая (программная) модель поддерживается современными видеоадаптерами при эмуляции адаптеров CGA и MDA (стр. 251).

MP3 - звуковые файлы с расширением MP3 обрабатываются аудиокодеками MPEG-1 Layer 3 и MPEG-2 Layer 3 (стр. 270).

MPEG (Moving Picture Expert Group) - группа экспертов в области движущихся изображений, MPEG занимается и аудиокодеками (стр. 241).

MPEG-1 — стандарт ISO/IEC 11172, 1992 г. - Полное название «Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1,5 MBit/s» раскрывает его суть: кодек предназначен для записи и воспроизведения движущихся изображений и связанного с ними аудио сопровождения на цифровом носителе с потоком данных до 1,5 Мбит/с (стр. 241).

MPEG-2 (ISO/IEC 13818, 1995 г.) - кодек для высококачественной передачи изображений, аудиоинформации и данных при потоке 2 - 80 Мбит/с, обеспечивающий несколько уровней качества (стр. 241).

MPEG-4 - стандарт, ориентированный на интерактивное использование мультимедиа и сетевых коммуникаций (стр. 241).

MPEG-плеер - декодер MPEG-1, обеспечивающий воспроизведение с компакт-дисков форматов MPEG-1 (CD-I, VideoCD) (стр. 242).

MRH (Magnetoresistance Head) - магниторезистивные головки (стр. 304).

MT/s (Mega Transfer/sec) - миллион передач в секунду (MT/c) (стр. 179).

Multimode LVD - универсальные устройства LVD (стр. 183).

N

NCQ (Native Command Queuing) - аппаратная установка очередности команд (стр. 138).

NDAC (Not Data ACcepted) - данные не приняты (стр. 209).

NIC (Network Interface Card) - сетевая интерфейсная карт (сетевой адаптер) (стр. 225).

NLQ. (Near Line Quality) - качество печати, близкое к гладким буквам пишущих машинок (стр. 257).

NMT (Nordic Mobile Telephone) - аналоговый стандарт мобильной связи в диапазоне частот от 453 до 468 МГц (стр. 221).

NRFD (Not Ready For Data) - не готов к приему (стр. 209).

NTSC (National Television Standards Committee) - национальный комитет по телевизионным стандартам (США). (стр. 123).

NVRAM - энергонезависимая память конфигурации в EISA (стр. 88).

O

OLEDs (Organic Light-Emitting Diode displays) - органические светодиодные дисплеи (стр. 247).

OTG (On-The-Go) - связь «на ходу» (USB без ПК) (стр. 167).

P

PA (Program Area) - зона данных CD-R и CD-RW (стр. 310).

PATA (Parallel ATA) - параллельный интерфейс ATA (стр. 137).

PC - Personal Computer (стр. 8, 233).

PCA (Power Calibration Area) - зона для калибровки мощности лазера (в этой зоне делаются пробные записи) (стр. 310).

PCI (Peripheral Component Interconnect - взаимодействие периферийных компонентов) - интерфейс системного уровня, был предложен фирмой Intel в 1992 году (стандарт PCI 2.0 - в 1993) в качестве альтернативы локальной шине ИВВ VLB/VLB2 (стр. 62, 90).

PCI Express - новая архитектура соединения компонентов, введенная под эгидой PCI SIG, известная и под названием *3GIO* (3-Generation Input/Output – ввод-вывод 3-го поколения) (стр. 105).

PCL (Printer Control Language) - язык управления печатью на лазерных принтерах фирмы Hewlett-Packard (стр. 261).

PCM (Pulse-Code Modulation) - импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) (стр.126, 268).

PDM (Pulse Density Modulation) - плотностно-импульсная модуляция (стр. 268).

PGA (Professional Graphics Adapter) - видеостандарт, разработанный фирмой IBM, поддерживающий разрешение 640 × 480 (стр. 118).

PHY - (PHYsical) - физический уровень (стр. 184).

PHY - физический интерфейс подключения сетевого адаптера, состоящий из разъема и трансформаторов гальванической развязки (стр. 225).

PIN-диод - разновидность диода, в котором между областями электронной (n) и дырочной (p) проводимости находится собственный (нелегированный, англ. intrinsic) полупроводник (i-область) (стр. 146).

PIO (Programmed Input/Output) - программируемый ввод-вывод (стр. 141).

Pixel - сокращение от picture element - элемент изображения (стр. 235).

Plug and Play ISA Specification - аппаратно-программная спецификация разработанная компаниями Intel и Microsoft в 1994 г (стр. 88).

PMA (Program Memory Area) - зона для промежуточного хранения ТОС (координат начала и конца треков) сеанса записи. При закрытии сеанса эта информация переписывается в LIA данного сеанса (стр. 310).

PostScript - язык описания страниц, выводимых на лазерный принтер (стр. 262).

PRML (Partial Response Maximum Likelihood) - максимальная правдоподобность при неполном отклике), технология кодирования пришедшая из области телекоммуникаций (стр. 306).

P-кадры (P - predicted) - содержат описание отличий текущего кадра от предыдущего (стр. 241).

Q

QD (Quadr-Density) - учетверенная плотность (емкость дискеты 720 Кбайт) (стр. 303).

QIC (Quarter Inch Cartridge) - четвертьдюймовый картридж (стр. 314).

QPI (Quick Path Interconnect) - скоростной двухточечный (25,6 GB/s) дуплексный интерфейс соединения процессора Intel Core i7 с северным хабом IOH X58 (стр. 66).

R

RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line) – xDSL технология с адаптивным изменением скорости передачи в зависимости от качества линии (стр. 221).

RAM (Random Access Memory) - оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) (стр. 11).

REN (Remote ENable) - разрешить работу в удаленном режиме (стр. 209).

RGB Analog - интерфейс с аналоговой передачей сигналов яркости базисных цветов (стр. 117).

RGB TTL - интерфейс, применявшийся в мониторах для видеоадаптеров MDA, HGC, CGA и EGA (стр. 117).

RLL (Run-Length Limited encoding) - кодирование с ограничением длины серий (стр. 300).

RLL 2.7 - схема кодирования, в которой число неперемагничиваемых ячеек лежит в диапазоне от 2 до 7 (стр. 300).

ROM (Read Only Memory) - постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) (стр. 11, 52).

S

S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) - цифровой последовательный интерфейс (и форматы данных) для передачи аудиосигналов между блоками бытовой цифровой аудиоаппаратуры типа плееров на DAT (Digital Audio Tape) или CD-ROM и т.п. (стр. 126).

SA (Source Address) - MAC-адрес источника (стр. 225).

SAM (SCSI Architecture Model) - архитектурная модель SCSI (стр. 179).

Sample rate - частоты дискретизации (стр. 268).

SAS (Serial Attached SCSI) - устройства SCSI с последовательным интерфейсом, совместимым с интерфейсом SATA (стр. 180, 184).

SAS-адрес - это глобально уникальный 64-битный идентификатор, который присваивается каждому SAS-порту и каждому SAS-экспандеру (стр. 184).

SATA 3 - новая спецификация SATA (стр. 139).

SBC (SCSI-3 Block Commands) - команды для устройств памяти прямого доступа (стр. 179).

SBP (Serial Bus Protocol) - протокол последовательной шины, реализуемый интерфейсом IEEE 1394 (FireWire,) (стр. 180).

SCC (SCSI-3 Controller Commands) - команды для хост-контроллеров (стр. 179).

SCSI (Small Computer System Interface) - системный интерфейс малых компьютеров (произносится «скази»), предназначен для соединения устройств различных классов (стр. 62, 178).

SCSI ID - идентификатор SCSI устройства (стр. 182).

SDSL (Single-Line Digital Subscriber Line) - симметричная высокоскоростная DSL (стр. 221).

SGC (SCSI-3 Graphic Commands) - команды для принтеров и сканеров (стр. 179).

SIP (SCSI-3 Interlocked Protocol) - протокол обмена традиционного интерфейса, физически реализуемый интерфейсом SPI (стр. 180).

SL (Single Layer) - однослойные DVD (стр. 312).

SLC (single-level cell) - одноуровневые ячейки (стр. 314).

SMBus (System Management Bus) - дополнительный внутренний последовательный интерфейс (стр. 63).

SMC (SCSI-3 Medium Changer Commands) - команды для устройств смены носителей (стр. 179).

SMI (System Management Interrupt) - прерывание системного управления (стр. 166).

SMM (System Management Mode) - режим системного управления (стр. 166).

SMP (Serial Management Protocol) - протокол управления экспандерами SAS (промежуточными интерфейсными устройствами), обеспечивающими связь конечных устройств (инициаторов и целевых устройств) (стр. 184).

SOF (Start Of Frame) - пакет-маркер USB (стр. 170).

SPC (SCSI-3 Primary Commands) - набор общих команд SCSI-3 (стр. 179).

SPI (SCSI-3 Parallel Interface) - параллельный интерфейс SCSI-3 (стр. 180).

SPP (Standard Parallel Port) – стандартный параллельный порт (стр. 154).

SR (Status Register) - Регистр состояния SPP (стр. 155).

SRQ (Service ReQuest) - запрос обслуживания (стр. 209).

SS (Single Sided) - односторонние DVD (стр. 312).

SSA (Serial Storage Architecture) - архитектура, обеспечивающая объединение большого числа узлов подключения устройств через последовательный интерфейс (стр. 180).

SSA-S3P (Serial Storage Architecture SCSI-3 Protocol) - транспортный протокол для использования транспортного и физического уровней (SSA-TL и SSA-PH) архитектуры SSA (Serial Storage Architecture) (стр. 180).

SSC (SCSI-3 Stream Commands) - команды для устройств памяти последовательного доступа (стр. 179).

SSP (Serial Storage Protocol) - последовательный протокол памяти, реализованный на архитектуре последовательной памяти SSA (Serial Storage Architecture) (стр. 180, 184).

SSP-connection - временная связь (соединение) между трансиверами инициатора и целевого устройства (стр. 185).

ST (Single Transition) - классическая синхронизация данных при которой на действительность данных указывает спад синхронизирующего сигнала (стр. 183).

STP (Serial ATA Tunneling Protocol) - протокол организации туннелей для взаимодействия с дисковыми устройствами Serial ATA (этот протокол используется, если устройство SATA подключается к экспандеру) (стр. 184).

S-Video (Separate Video) - интерфейс, использующий отдельные 75-омные сигнальные линии: Y для канала яркости и синхронизации и C для сигнала цветности. По линии C передается поднесущая частота, модулированная цветоразностными сигналами (burst signal). Стандартный 4-контактный разъем S-Video типа mini-DIN (стр. 124)

System ROM BIOS - системный модуль ROM BIOS (стр. 52).

T

Tape device - накопители на магнитной ленте (стр. 297).

TDM (Time Division Multiplexing) - метод временного мультиплексирования (стр. 276).

TF (Thin Film) - тонкая пленка (стр. 303).

TFT (Thin Film Transistor) - тонкопленочные транзисторы (стр. 246).

TOC (Table Of Content) - таблица содержания, в которой описаны координаты каждого трека и выводной зоны CD (стр. 309).

Token packet - пакет-маркер (маркер транзакции USB) (стр. 171).

True Color - «истинный цвет» (24 бита — 16,7 миллиона цветов) (стр. 237).

TV-тюнер - устройство приема видеосигналов с радиочастотного входа (антенны), в сочетании с оверлейной платой позволяет просматривать телепрограммы на обычном мониторе компьютера (стр. 240).

TWAIN (Tool Without An Interesting Name) - драйвер и графический интерфейс, обеспечивающие взаимодействие сканера с прикладными пакетами ПО (стр. 264).

TXT(text) - текстовый режим (стр. 237).

U

UADSL (Universal ADSL) - улучшенный вариант ADSL (стр. 221).

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - универсальный асинхронный приемопередатчик (стр. 159).

USB (Universal Serial Bus) - универсальная последовательная шина, является промышленным стандартом расширения архитектуры PC (стр. 20, 164).

USB Functions - предоставляют системе дополнительные возможности, например подключение к цифровой телефонной сети ISDN, подключение принтера, акустических колонок с цифровым интерфейсом и т. п. По сути дела функция - это периферийное устройство со встроенной в него интерфейсной частью USB (стр. 165).

USB Hubs - обеспечивает дополнительные точки подключения устройств к шине (стр. 165).

V

V.44 - протокол сжатия данных (стр. 218).

VDSL (Very High Data-Rate Digital Subscriber Line) - очень высокоскоростная xDSL (стр. 221).

VESA (Video Electronics Standards Association) - ассоциация стандартов для видеоэлектроники (стр. 89).

VHS (Video Home System) - качество изображения на уровне кассетного видеомagnetофона (стр. 241).

VLB (VESA Local Bus) – интерфейс системного уровня, разработанный ассоциацией стандартов по видеоэлектронике (стр. 62).

VLB (VESA Local Bus) - стандартизованный 32-битный ИВВ хоста, разработанный ассоциацией стандартов по видеоэлектронике; практически представляет собой ИВВ процессора i80486, основные линии шины которого выведены на разъемы (слоты) системной платы (стр. 89).

Voice coil actuator - привод с *подвижной катушкой* (стр. 304).

VR-шлем - шлем виртуальной реальности (стр. 251).

W

WAN (Wide-Area Network) - широкомасштабная сеть (стр. 191).

WLAN (Wireless LAN) - беспроводные локальные сети (стр. 226).

WT (Wave Table) - волновая таблица (стр. 266, 272).

WT Music Synthesizer - синтезатор с табличным синтезом (хранит в своей памяти образцы сигналов натуральных инструментов) (стр. 266).

WT-синтезаторы - имеют память, в которой хранятся *волновые таблицы* (WT) - оцифрованные образцы звуков. Для извлечения звука процессор синтезатора извлекает из памяти подходящий образец и воспроизводит его с требуемыми параметрами (стр. 272).

X

xDSL - технологии, основанные на превращении абонентской линии обычной телефонной сети из аналоговой в цифровую, что и отражено в их названии (Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия) (стр. 221).

Алфавитный указатель

Русский

А

Абстрактная модель, 7
 Автопарковка, 305
 Автоповтор передачи скан-кода, 290
 Автотрекинг, 311
 Адаптер PS/2 Mouse, 132
 Адаптер клавиатуры, 132
 Адаптер, 19, 47
 Адаптер GPIB – PCI, 208
 Адаптеры беспроводных сетей, 227
 Адаптивный физический канал пикосети, 151
 Аддитивный метод синтеза, 271
 АДИКМ (адаптивная ДИКМ), 269
 Адрес (Min:Sec:Frac) блока CD, 310
 Адрес информационного блока CD, 310
 Адрес устройства USB, 167
 Адресация, 72
 АКК (адаптер канал-канал), 228
 Активная матрица (active matrix), 246
 Активные колонки (active speakers), 266
 Активные стерео очки, 250
 Активные устройства вывода, 256
 Акустическая труба, 280
 Акустическая частотная характеристика, 280
 Алгоритм, 10
 Аллофон, 283
 Алфавит, 13
 Анализ системы, 6
 Аналоговая вычислительная машина. 9
 Аналоговые звуковые карты, 274
 Аналоговые интерфейсы звуковых адаптеров, 125
 Антенны для WLAN, 228
 Аперийодический режим передачи, 70
 Апертурная решетка (aperture grilles), 245
 Аппаратная поддержка окон (hardware windowing), стр. 242
 Аппаратный интерфейс, 15, 55
 Аппаратный принт-сервер, 262
 Арбитраж, 72
 Архитектура Hyper Transport, 65
 Архитектура PCI Express, 106
 Архитектура USB, 164
 Архитектура вычислительной системы, 9
 Архитектура ЭВМ, 9
 Архитектура, 9
 Архитектурная модель SAS, 186
 Асинхронная передача, 70
 Асинхронное параллельное выполнение операций, 33
 Асинхронные ПУ, 29

Асинхронный принцип управления, 31
 Асинхронный режим передачи, 162
 Аудиокодек HDA, 278
 Аудиокодек AC'97, 275
 Аудиокодек, 265
 Аудиокодеки MPEG, 269
 Аудиокодер MPEG-1, 269
 Аудиокодер MPEG-2, 270
 Аудиопоток в цифровом виде, 266
 Аудиосистема ПК, 265
 Аудиофайл, 265
 АЦП двойного интегрирования, 202
 АЦП непосредственного считывания, 202
 АЦП последовательного приближения, 201
 АЦП, 194
 Аэродинамическая подъемная сила, 303

Б

Базовый физический канал пикосети, 151
 Базовый фонологический элемент, 287
 Байт, 13
 Балансный (парафазный) передатчик, 78
 Барабанная перепонка, 281
 Барабанный сканер, 263
 Белый шум, 270
 Беспроводные линии связи, 80
 Бета-режим, 178
 Бета-сигнализация, 178
 Бинауральное восприятие, 267
 Бистабильные ЖК-структуры, 248
 Бит, 13
 Битовая карта изображения, 237
 Блок внешнего интерфейса видеоадаптера, 254
 Блок интерфейса монитора, 254
 Блок обмена с внешней памятью, 297
 Блок пакета HDA, 278
 Блок страничной переадресации, 52
 Блок управления данными, 44
 Блок управления позиционированием, 305
 Блок управления шпиндельным двигателем, 305
 Блок электроники НЖМД, 305
 Блочные команды обмена, 37
 Боковая подсветка (side light), 246
 «Болванка» (target), 311
 Буфер FIFO, 48
 Буферизированные ПУ, 30
 Буферная память накопителя, 305
 Буферная память, 11

В

Ввод абсолютных координат точек, 291
 Ввод-вывод через канал прямого доступа в память, 46
 Ввод-вывод, отображенный на память, 43
 Ведущий контроллер, 16

Вектор прерывания, 46
 Векторная система прерываний, 34
 Вертикальная развертка, 235
 Верхний уровень модели SAM, 179
 Взаимодействие устройств PCI, 92
 Взаимодействия с устройствами
 через системный интерфейс, 50
 Взрывные, звонкие и глухие
 согласные, 283
 Вибросимуляторы, 294
 Видеоадаптер, 233, 251
 Видеокамера с графическим
 процессором, 290
 Видеокарта, 233
 Видеоконтроллер, 234
 Видеомонитор, 233
 Видеооверлейная плата, 239
 Видеопамять, 234, 237, 252
 Видеоплата, 233
 Видеочипсеты, 251
 Виды связи, 67
 Винчестер, 303
 Виртуальная память, 52
 ВК (вычислительный комплекс), 192, 216
 Внешнее запоминающее устройство
 (ВЗУ), 11
 Внешние ИВВ PC/AT, 61
 Внешние ИВВ, 190
 Внешние модемы, 220
 Внешние ПУ, 30
 Внешний ИВВ, 17
 Внешний интерфейс, 16
 Внешняя память, 11
 Внешняя часть ЭВМ, 21
 Внутреннее ухо, 281
 Внутренние модемы, 220
 Внутренние ПУ, 30
 Внутренний интерфейс, 17
 Внутренний машинный язык, 10
 Внутренняя память, 10, 11
 Внутренняя шина видеоадаптера, 254
 Внутрикадровое сжатие, 240
 Волновая таблица (WT), 272
 Волновое сопротивление, 115
 Вращающийся блок головок, 314
 Время доступа к CD ROM, 310
 Временная диаграмма HDA Link, 279
 Время доступа (access time), 297
 Время реакции на прерывание, 34
 Встраиваемые ПУ, 30
 Встроенные сервометки (embedded
 servo), 305
 Вторичный физический интерфейс, 187
 Выбор величины кванта, 197
 Выбор шага дискретизации, 196
 Выборки (samples), 267

Выделенная сервоповерхность (dedicated
 servo), 305
 Высокоскоростные ПУ, 29
 Вычислительная машина (BM), 8
 Вычислительная сеть, 5, 191
 Вычислительная система (BC), 5, 7
 Вычислительная техника (BT), 5
 Вычислительный комплекс, 5, 192, 216

Г

Газо-плазменные панели (gas plasma), 247
 Гамма-коррекция, 253
 Геликоидальное сканирование, 314
 Герконовые контакты, 289
 Гермоблок, 303
 Гибкий майларовый диск, 302
 Гибридная BM, 9
 Гигабайт, 297
 Главный мост HT, 65
 Гласные фонемы, 283
 Глобальная система координат (global, или
 world, coordinate system), 243
 Глубина сканирования, 263
 Глубина цвета, 263
 Глубина ямок (pits) - 0,125 мкм, 309
 Глухой звук, 280
 Головка (head), 300
 Головка записи, 296
 Головки записи-считывания НГМД, 302
 Голографические оптические диски, 313
 Голосовой тракт 280
 Голосовой тракт женщины, 281
 Голосовой тракт мужчины, 281
 Голосовые связки, 280
 Горизонтальная развертка, 235
 Графические примитивы, 260
 Графические чипсеты, 251
 Графический 3D конвейер, 244
 Графический адаптер, 233
 Графический акселератор, 243
 Графический видеоадаптер AGP, 103
 Графический процессор, 234
 Графический режим видеоадаптера, 236
 Графический сопроцессор, 243

Д

Данные, 13
 Датчик индекса, 302
 Датчик нулевого цилиндра (трека), 302
 Датчик смены носителя, 303
 Датчики на эффекте Холла, 289
 Датчики типа дискеты, 303
 Двигатель шпинделя, 300
 Двухнаправленная конечная точка 0
 (EP0), 167
 Двухнаправленная линия, 76
 Двуполярные ПКН, 200
 Двухпроводная линия, 77
 Девиация (отклонение) частоты, 150

Дельта-кадр (delta frame), 240
 Дельта-сигма АЦП, 268
 Демодулятор, 217
 Дескриптор транзакции, 175
 Детектор сервометок, 305
 Джойстик, 292
 Джойстики с механической обратной связью, 292
 Диапазон частот, воспринимаемых человеческим ухом, 266
 Диапазоны электромагнитных волн, 81
 Дигитайзер (планшет), 291
 ДИКМ (Дельта-ИКМ), 269
 Динамический диапазон сканирования, 264
 Динамическое реконfigurирование, 177
 Диски DVD, 312
 Диски FMD, 312
 Диски Бернулли, 306
 Дискретизация неравномерная, 196
 Дискретизация по времени, 267
 Дискретизация равномерная, 195
 Дискретизация, 195
 Дискретный интерфейс RGB TTL, 117
 Дисплей, 233
 Дисплейный адаптер, 233
 Дифтонг, 283
 Дифференциальное описание кадров, 240
 Дифференциальный приемник, 78
 Док-станция, 278
 Домен SAS, 185
 Дополнительные функции видеоадаптера, 254
 Дорожка (трек), 296
 Драйвер USB, 165
 Драйвер ветви (ДВ), 211
 Драйвер МП, 211
 Драйвер устройства, 8
 Драйвер хост-контроллера, 165
 Дуплексная передача, 67

Е

Европейский звукояд, 270
 Емкость (capacity) ВЗУ, 297

Ж

Живое видео, 239
 ЖК-дисплей, 246

З

Заголовок сектора, 301
 Задержка автоповтора (typematic delay), 290
 Задняя подсветка (back light), 246
 Замкнутая система управления, 195, 304
 Запись, 16
 Запрос прерывания, 34, 49
 Запросчик (requester), 106
 Звонкий звук, 280
 Звуковая карта (звуковой адаптер), 265
 Звуковые адаптеры PC, 273

Звуковые карты Analog, 275
 Звуковые карты Digital Only, 275
 Звуковые карты Digital Ready, 275
 Знакогенератор, 238, 252
 Знакоместо, 237
 Знакосинтезирующая печать, 256
 Зона данных, 310

И

ИВВ системного уровня, 84
 ИВВ хоста в архитектуре PC, 62
 ИВВ хоста, 17
 Игольчатые принтеры (dot matrix printer), 256
 Идентификатор устройства, 51
 Иерархия команд взаимодействия ЦП с ПВВ, 40
 Избыточность речевого сигнала, 282
 Изолированный ввод-вывод, 43
 Изотропные антенны, 81
 Изохронная передача, 266, 278
 Изохронные передачи USB, 168
 ИКМ (Импульсно-Кодовая Модуляция), 268
 Импеданс, 115
 Индексный маркер, 300
 Индексы трека, 309
 Индуктивные считывающие головки, 300
 Инициатор транзакций PCI, 90
 Инструментальная погрешность, 198
 Инструментальные средства, 8
 Интегрированные ПУ, 30
 Интеллект видеоадаптера, 242
 Интеллектуальная система ввода-вывода, 51
 Интерполяционное разрешение сканера, 263
 Интерфейс (радиоинтерфейс) Bluetooth, 149
 Интерфейс AC-Link, 276
 Интерфейс ATA (Advanced Technology Attachment), 137
 Интерфейс Centronics, 155
 Интерфейс ESDI, 116
 Интерфейс Fibre Channel, 188
 Интерфейс HDA Link, 278.
 Интерфейс I²S (Inter I²C Sound), 126
 Интерфейс IEEE-488, 206
 Интерфейс IrDA, 146
 Интерфейс LPC, 111
 Интерфейс MIDI, 130
 Интерфейс PS/2 Mouse, 131, 136
 Интерфейс RGB Analog, 117
 Интерфейс RS-232C, 159
 Интерфейс RS-422, 161
 Интерфейс RS-423, 161
 Интерфейс RS-485, 161
 Интерфейс SCSI, 178

Интерфейс ST-506 (ST-412), 116
 Интерфейс ввода-вывода (ИВВ), 17
 Интерфейс ввода-вывода звуковой информации PC/AT, 61
 Интерфейс видеомонитора PC/AT, 61
 Интерфейс джойстика, 61
 Интерфейс игровых устройств, 127
 Интерфейс клавиатуры, 60, 131, 135
 Интерфейс манипулятора мышь, 60
 Интерфейс модема, 60
 Интерфейс НГМД, 61, 114
 Интерфейс памяти (шина М), 59
 Интерфейс параллельный АТА, 139
 Интерфейс периферийных БИС (шина X), 60
 Интерфейс принтера, 60
 Интерфейс, 14, 55
 Интерфейсы EIA-RS-422, RS-423A и RS-485, 161
 Интерфейсы видеомониторов, 117
 Интерфейсы звуковых адаптеров, 125
 Интерфейсы подключения плоттеров, 261
 Интерфейсы подключения принтеров, 262
 Интерфейсы устройства USB, 167
 Интерференционные картины (голограммы), 313
 Интерференция и замирание сигнала, 149
 Информативные признаки речи, 281
 Информационная совместимость ЭВМ, 26
 Информационная совместимость, 57
 Информационные средства BIOS, 8
 Инфракрасный лазер, 309
 Исполнитель (completer), 106

К

Кабели подключения модемов, 160
 Кабель USB, 172
 Кабельная система ЛВС, 223
 Кабельные модемы, 222
 Кадр (frame) блока данных CD, 310
 Кадр HDA, 278
 Кадр видеоизображения, 236
 Кадры USB, 170
 Кадры и микрокадры USB, 170
 КАМАК, 210
 Камкордеры, 177
 Канал ввода-вывода, 36
 Канал данных HDA, 278
 Канал прямого доступа к памяти, 36
 Канал сообщений (message pipe) USB, 169
 Канал чтения-записи НЖМД, 305
 Канал, 13
 Каналы USB, 169
 Канальные сообщения MIDI, 130
 Канальный уровень SATA, 143
 Канальный уровень протокола USB, 171
 Квадрофония, 267, 273
 Квантование по уровню, 267

Квантование, 195
 Кванты информации, 13
 Квитирование, 70
 Кибер-перчатки, 294
 Киберпространство, 292
 Киберхватка, 294
 Кибер-шлем, 293
 Килобайт, 297
 ККПД СМ, 211
 Клавиатура АТ, 289
 Клавиатура ХТ, 289
 Клавиатура, 289
 Класс задач информационно-справочного, логического и статистического характера, 25
 Класс задач управления объектами и процессами, 25
 Класс мини-ЭВМ, 27
 Класс научно-технических задач, 25
 Класс персональных ЭВМ, 26
 Класс супер-ЭВМ, 28
 Класс управляющих микро-ЭВМ, 27
 Класс ЭВМ общего назначения, 27
 Классификация ПУ, 28
 Классы решаемых задач, 25
 Классы ЭВМ, 26
 Кластер, 192, 216
 Клиентские каналы USB (client pipes), 170
 Ключевой кадр (key frame), 240
 КМОП-схема, 79
 КНИ (коэффициент нелинейных искажений), 267
 Кодек, 240
 Кодирование по схеме 8B/10B, 108
 Кодовая таблица, 13
 Коды Рида-Соломона, 302
 Коллизии в пикосетях Bluetooth, 153
 Команда, 10
 Команды Hayes, 217
 Команды ИВВ PCI, 98
 Команды рисования (drawing commands), 242
 Команды управления печатью, 261
 Комбинированный интерфейс, 74
 Коммуникационная среда, 13
 Коммутатор (switch) Ethernet, 223
 Коммутатор (switch) PCI Express, 107
 Коммутатор (switch) HT, 66
 Коммутатор головок, 305
 Коммутатор запросов прерываний, 100
 Компаратор, 201
 Компилятивный синтез, 283
 Компоненты видеоадаптера, 251
 Компоненты СВВ аналоговых сигналов, 198
 Компоненты устройств PCI, 92
 Конвейеризация обращений к памяти, 103

Конвертор VGA-TV, 239
 Конвертор, 19
 Конечная точка (Endpoint, EP) в USB, 167
 Конечное устройство SAS (end device), 185
 Конструирование речевого сообщения, 283, 286
 Конструктивная совместимость, 57
 Конструкция НЖМД, 303
 Контроллер HDA, 278
 Контроллер атрибутов, 252
 Контроллер ввода-вывода, 47
 Контроллер видеоадаптера, 233
 Контроллер крейта (КК), 211
 Контроллер крейта CC-08, 215
 Контроллер НЖМД (Hard Disk Controller, HDC), 305
 Контроллер устройства хранения, 298
 Контроллер целевого устройства SCSI, 178
 Контроллер электронно-лучевой трубки, 234
 Контроллер ЭЛТ (6845), 251
 Контроллер, 14
 Контроллеры SATA, 143
 Конфигурационные регистры устройств PCI, 92
 Конфигурация устройства USB, 167
 Конфигурирование ИВВ хоста, 85
 Конфигурирование устройств PCI, 101
 Концентратор, 223
 Концептуальная модель, 7
 Координатные диски, 290
 КОП (Канал Общего Пользования), 207
 Корневой комплекс (root complex) PCI Express, 106
 Коррекция ошибок, 219
 Коэффициент гармоник, 267
 Коэффициент перекрытия, 32
 КПДП, 18, 46
 Крейт, 210
 Курсор, 238
 Кэш-память, 11

Л

Лазер с длиной волны 635/650 нм, 312
 Лазерные принтеры, 258
 ЛВС (Локальные вычислительные сети), 191
 Линейная (включая серпантинную) запись, 313
 Линейная адресация логических блоков, 297
 Линейный адрес, 52
 Линиатура, 259
 Линии интерфейса, 16
 Листопротяжный (рулонный) сканер, 263
 Логическая организация МК, 212
 Логическая структура СВВ, 39
 Логическая топология USB, 166

Логический адрес, 52
 Логический программный канал ввода-вывода хоста, 18
 Логический системный интерфейс, 50
 Логическое групповое кодирование, 300
 Логическое устройство USB, 167
 Локальный интерфейс (шина L), 59
 ЛПМ, 313
 Люминофор, 235, 245

М

Магистраль ветви (МВ), 211
 Магистраль крейта (МК), 210
 Магистрально-радиальный интерфейс, 75
 Магистрально-цепочный интерфейс, 75
 Магистральный интерфейс, 72
 Магнитная лента, 296
 Магнитный диск, 296
 Магнитный принцип хранения, 296
 Магнитооптические устройства, 296
 Магниторезистивные головки, 304
 Малые ИВВ ПК, 114
 Малые ИВВ PC/AT, 61
 Малый ИВВ, 17, 114
 Малый интерфейс, 17
 Манипуляторы-указатели, 290
 Манчестерский код, 70
 Маркер транзакции USB, 171
 Маршрутизатор (router), 223
 Маршрутизация в домене SAS, 186
 Маскирование прерываний, 45
 Мастер пикосети, 150
 Мастер шины устройств PCI, 92
 Мастер шины, 51
 Математическая модель, 7
 Матрица точек экрана, 236
 Матрицы знакомест, 237
 Матричные дисплеи, 245
 Матричные игольчатые принтеры, 256
 Машинное слово, 13
 Мегабайт, 297
 Межкадровое сжатие, 240
 Мелодический звук, 270
 Мера точности, 195
 Метод доступа, 297
 Методы компрессии звуковой информации, 269
 Методы модуляции, 300
 Методы синтеза звуков, 270
 Механическое разрешение сканера, 263
 Микроконтроллер мыши, 290
 Миниатюрные манипуляторы, 291
 Мини-джек, 125
 МККТТ V.24/ V.28, 159
 Многоголосый синтезатор, 271
 Многоканальные АЦП и ЦАП, 203
 Многократная запись, 311

Многомашинная вычислительная система, 9
 Многотембровый синтезатор, 271
 Многофазные шпиндельный двигатель, 302
 МОД (магнитооптический диск), 307
 Модель слуховой системы человека, 281
 Модем для шины PCI, 220
 Модем, 217
 Модемы для выделенных линий, 222
 Модулированный электронный луч, 235
 Модульные синтезаторы, 272.
 Модулятор, 217
 Монитор, 244
 Монофонический, 271
 Монохромный монитор, 245
 Мост (bridge) HT, 66
 Мост PCI Express-PCI, 107
 Мосты, 62
 МТ/с (миллион передач в секунду), 179
 Мультиадаптер, 60
 Мультимедийный ПК, 234
 МЧМ, 300
 Мышь (mouse), 290
 МЭК 516, 212
 МЭК 625, 207

Н

Набор сигналов интерфейса PCI Express, 109
 Назначение каналов AC'97, 277
 Назначение СВВ хоста, 30
 Накладные затраты прерывания, 34
 Наклонно-строчная (геликоидальная) запись, 313
 Накопители на магнитной ленте, 297
 Направление (вектор) поляризации, 246
 Насыщенность пиксела, 259
 НГМД, 302
 Нелинейные передаточные характеристики, 267
 НЖМД, 303
 Нижние уровни модели SAM, 180
 Низкоскоростные ПУ, 29
 Низкоуровневое форматирование, 301
 Номер конечной точки USB устройства, 167
 Носители информации CD, 311
 Носовые согласные, 283
 Нота, 270
 Нуль-модемный кабель, 160

О

Обнаружение отключения устройств USB, 174
 Обнаружение подключения устройств USB, 173
 Обработка видеоизображений, 239
 Обратная связь, 304

Обратный ход луча, 235
 Обрезиненный шарик, 290
 Обслуживание на физическом уровне, 44
 Объекты внешнего мира, 12
 Объем стандартного диска CD-DA, 310
 Одноголосый синтезатор, 271
 Одноканальный передатчик, 78
 Однократная запись, 311
 Однократно записываемые диски (CD-R), 311
 Однонаправленная линия, 76, 77
 Однополярные ПКН, 199
 Однопроводная линия, 77
 Одноранговое взаимодействие устройств, 51
 Одноранговые устройства, 90
 ОЗУ, 11
 Октава, 270
 Оперативная память, 11
 Оператор (в синтезаторе), 272
 Операционная система (ОС), 8
 Операционные регистры устройств PCI, 92
 Операция ввода, 12
 Описание речевого сигнала, 284
 Оптическая мышь (optical mouse), 290
 Оптический принцип хранения, 296
 Оптическое разрешение сканера, 263
 Оптрон, 80
 Организация обменов по USB, 170
 Организация сетей Ethernet, 223
 Организация системы, 6
 Основная клавиатура, 289
 Основная память, 11
 Основной канал сообщений USB (default pipe, он же control pipe 0), 170
 Основной канал сообщений USB, 170
 Открытые оптопары (светодиод-фотодиод), 290
 Отличительные особенности AGP, 103
 Оцифрованное изображение, 263
 Оцифровка звуковых сигналов, 267

П

Пакет ACK, 171
 Пакет HDA, 278
 Пакет NAK, 171
 Пакет NYET, 171
 Пакет STALL, 171
 Память, 10
 Панорамирование (panning), 243
 Параболические антенны, 80
 Параллельная идентификация монитора, 118
 Параллельно-параллельный интерфейс, 68
 Параллельные матричные принтеры, 257
 Параллельные принтеры, 256
 Параллельный интерфейс, 68

- Пассивная матрица (passive matrix), 246
- Пассивные колонки, 266
- Пассивные устройства вывода, 256
- Пассивные стереоочки, 250
- ПДП, 18
- Передачик с открытым коллектором, 79
- Передача по двунаправленной линии, 79
- Передача по оптоволоконным линиям, 80
- Передача по схеме «запрос-ответ», 70
- Передачи массивов данных в USB, 168
- Перезаписываемые диски (CD-RW, они же CD-E), 311
- Перекус информации, 68
- Переменный состав оборудования, 26
- Перескок несущей частоты, 149
- Периодический сигнал давления, 280
- Периодический сигнал, 280
- Периферийная часть ЭВМ, 21
- Периферийные ИВВ PC/AT, 60
- Периферийные интерфейсы ввода-вывода, 129
- Периферийные устройства, 12
- Периферийный ИВВ, 17
- Перо планшета (дигитайзера), 291
- Персональная ЭВМ, 9
- Перфолента и перфокарта, 296
- Петля гистерезиса, 300
- ПЗС-линейка, 262
- ПЗУ, 11
- Пикосети Bluetooth, 149
- Пикосеть 150
- ПКН, 198
- Планшет, 291
- Планшетные плоттеры, 260
- Планшетный сканер, 263
- Пластины (platter) жестких дисков, 303
- Плоский дисплей, 245
- Плотностно-импульсная модуляция (Pulse Density Modulation, PDM), 268
- Плотность записи, 300
- Плоттер (графопостроитель), 255, 256, 260
- ПНК, 198
- Повторная инициализация FireWire, 177
- Подвижные магнитные домены, 296
- Подключение к беспроводным сетям (Wi-Fi), 226
- Подсистема ввода-вывода визуальной информации, 232
- Подсистема взаимодействия с пользователем, 192, 232
- Подсистема внешней памяти, 193, 296
- Подсистема связи с объектами управления, 191, 194
- Поколения ИВВ хоста, 84
- Поле атрибутов, 238
- Поле, 16
- Поликарбонатная основа, 311
- Полифонический, 271
- Полнопрофильная печать, 256
- Полугласные, 283
- Полудуплексная передача, 67
- Полутон, 270
- Полутоновая печать, 259
- Поляризация оптика, 308
- Поляризованный отраженный луч, 296
- Поперечная плотность записи, 309
- Порт (в SAS), 184
- Порт ввода-вывода, 18
- Порт хаба, 223
- Порт, 18, 49
- Последовательная идентификация монитора, 118
- Последовательная магистраль (МП), 211
- Последовательно-параллельный интерфейс, 69
- Последовательные принтеры, 256
- Последовательный интерфейс, 67
- Поток (stream) HDA, 278
- Потоковая машина, 9
- Потоковый канал (streaming pipe) USB, 169
- Преамбула, 70
- Предварительная обработка изображения, 263
- Предметная область дисциплины "Интерфейсы периферийных устройств", 22
- Прерывания USB, 168
- Прерывания сообщениями – MSI, 101
- Прерывания устройств PCI, 93
- Прерывания, 32, 34
- Привод позиционирования головок, 302
- Приказ, 39
- Прикладная звукотехника, 266
- Прикладное ПО, 7
- Принтер, 255
- Принцип распознавания образов, 287
- Принцип таймаута, 35
- Приоритеты прерываний, 34
- Приостановки, 32, 35
- Программа-монитор, 44
- Программа, 10
- Программа-драйвер, 44
- Программирование ввода-вывода, 42
- Программная организация ввода-вывода, 39
- Программная совместимость ЭВМ, 26
- Программное обеспечение (ПО), 7
- Программное обеспечение ввода-вывода, 42
- Программные модули BIOS, 52
- Программные средства BIOS, 8
- Программные средства ВС, 7
- Программный ввод-вывод с прерываниями программы, 45

Программный канал ввода-вывода, 36
 Программный несовмещенный ввод-вывод, 45
 Программы диагностики, 8
 Прогрессивная развертка, 236
 Промежуточные согласные, 283
 Промежуточный интерфейс, 57
 Пропускная способность PCI Express, 108
 Пропускная способность PCI, 99
 Пространство сообщений (message space), 106
 Протокол IrCOMM, 148
 Протокол IrLAN, 148
 Протокол PCI, 94
 Протокол USB, 171
 Протокол канального уровня, 15, 55
 Протокол согласования режимов, 224
 Протокол физического уровня, 15, 55
 Протокол, 15, 55
 Процессор ввода-вывода (ПВВ), 21, 37
 Процессор, 10
 Прямое управление шиной, 51
 Прямой доступ к памяти, 18
 Прямой ход луча, 235
 Психофизические свойства звуковосприятия, 269
 Пузырьковые (термоструйные) принтеры (bubble-jet), 258
 Пьезоэлектрические принтеры, 257

Р

Радиальный интерфейс, 72
 Разбиение кадра по вертикали, 250
 Разбиение кадра по горизонтали, 250
 Разборчивость речи, 281
 «Разбросанная» сеть, 150
 Развязка (гальваническая, кондуктивная, электрическая), 194
 Разрешающая способность, 198
 Разрешение принтера, 259
 Разъем DB-9, 117
 Разъем Mini-B, 172
 Разъем Mini-A, 172
 Разъем Mini-AB, 172
 Разъем A, 172
 Разъем B, 172
 Разъемы USB, 172
 Разъемы устройств SAS, 187
 Растеризация, 244
 Растр, 235
 Растрирование, 260
 Расширенная (enhanced) клавиатура, 289
 Расщепитель изображения, 250
 Регистр, 11
 Регистровая память, 11
 Регистры адаптера клавиатуры, 134
 Регистры палитры, 253
 Редукционная машина, 9

Режимы передачи ATA, 141
 Резистивная сетка R-2R, 199
 Резонанс, 280
 Резонатор, 280
 Рекалибровка, 115
 Рендеринг, 244
 Ресивер, 126
 Речевая информация, 280
 Рулонные плоттеры, 260
 Руль, 292
 Ручной сканер, 263
 Ряд Фурье, 270

С

Самосинхронизирующий код, 69, 300
 Сброс шины USB, 173
 СВВ аналоговых и дискретных сигналов, 194
 СВВ визуальной информации, 192
 СВВ ВС, 22
 СВВ звуковой информации, 192
 СВВ непосредственного взаимодействия с пользователем, 193
 СВВ хоста ВС, 22
 СВВ ЭВМ, 22
 СВВ, 22, 30
 Сверхбыстродействующие ПУ, 29
 Сверхвысокий магниторезистивный эффект, 304
 Светодиодные принтеры, 259
 Светоотражающий слой, 309
 Северный мост, 62
 Северный хаб, 64
 Секвенсоры, 272
 Сектор (sector), 300
 Селектор сегмента, 52
 Селектор смещения внутри сегмента, 52
 Сенсорная панель (touch pad), 291
 Сенсорные панели, 292
 Сервисные программы, 8
 Сервисы BIOS Int 13h, 116
 Сервоинформация, 301
 Сервометки, 305
 Сервопривод, 304.
 Сетевая вычислительная система, 5
 Сетевой адаптер, 223, 225
 Сетевые функции сетевого адаптера, 226
 Сжатие данных, 219
 Сжатие движущихся изображений, 240
 Сигнал, 13
 Сигнал/шум, 267
 Сигнальный интерфейс USB, 173
 Символ, 16
 Символьный режим видеоадаптера, 237
 Симметричная мультипроцессорная вычислительная система, 10
 Симметричный мультипроцессор, 10
 Симплексная передача, 67

- Синтез речевого сигнала по образцам, 283
 - Синтез речевого сигнала по правилам, 284
 - Синтез системы, 6
 - Синтезатор, 270, 283
 - Синхронизация в пикосети, 152
 - Синхронная передача, 69
 - Синхронные ПУ, 29
 - Система 7.1, 273
 - Система автоматического
 - конфигурирования PCI, 91
 - Система ввода речевых сообщений, 287
 - Система ввода-вывода (СВВ), 21
 - Система ввода-вывода звуковой
 - информации, 265
 - Система виртуальной ориентации, 251
 - Система интерфейсов ЕС ЭВМ, 58
 - Система интерфейсов мини- и микро-ЭВМ, 58
 - Система команд КВВ, 39
 - Система принятия решений, 287
 - Система эталонных описаний, 288
 - Система, 6
 - Системное ПО, 7
 - Системные драйверы, 51
 - Системные сообщения MIDI, 130
 - Системный ИВВ, 17
 - Системный интерфейс (шина S), 59
 - Системный подход, 5
 - Системотехника, 5
 - Системы виртуальной ориентации
 - (СВО), 293
 - Сканирование экрана, 235
 - Скан-код, 290
 - Скорость автоповтора (typematic
 - rate), 290
 - Скорость записи и считывания, 297
 - Скорость передачи данных (Transfer Speed,
 - Transfer Rate, XFER), 297
 - Скорость передачи данных CD ROM, 310
 - Слот, 18
 - Слоты расширения, 85
 - Слуховые косточки и стремячко, 281
 - Слуховые нервы, 281
 - Сменные носители информации, 297
 - Совмещенная синхронизация, 117
 - Совокупное состояние СВВ, 41
 - Согласные фонемы, 283
 - Содержание речевого сообщения, 282
 - Соленоидный привод головок, 304
 - Сообщение, 13
 - Сопряжение, 19
 - Состояние J, 173
 - Состояние K, 173
 - Состояние SE0, 173
 - Спектральная форма звука, 280
 - Спецификации SCSI, 179
 - Спиральная дорожка, 309
 - Спиральный трек, 297
 - Спрайт (sprite), 242
 - Сравнительные характеристики ИВВ
 - хоста PC-совместимых ПК, 86
 - Среда интерфейса, 76
 - Среднее ухо, 281
 - Среднескоростные ПУ, 29
 - Средства доступа к носителю, 298
 - Стадия передачи данных, 171
 - Стадия передачи состояния, 172
 - Стадия установки, 171
 - Стандарт IEEE 1284, 157
 - Стандартный интерфейс, 19
 - Стандарты MPEG, 241
 - Старт-бит, 162
 - Стартовый сигнал (бит), 70
 - Стереочки, 250
 - Стереопара кадров, 250
 - Стереосигнал, 272
 - Стереофоническое и объемное
 - воспроизведение, 272
 - Стереофония, 267
 - Стоп-бит, 162
 - Стоповый сигнал (бит), 70
 - Стримеры, 297, 313
 - Строка видеоизображения, 236
 - Струйные принтеры, 257
 - Струйные рулонные плоттеры, 261
 - Структура интерфейсов ПЭВМ IBM
 - PC/AT, 59
 - Структура речевого сигнала, 282
 - Структура системы, 6
 - Структурная схема синтезатора, 285
 - Стык C2, 159
 - Субканалы, 309
 - Сублимационные (термодиффузионные)
 - принтеры, 258
 - Субтрактивный метод синтеза, 271
 - Схема с тремя состояниями, 79
 - Схема управления двигателем, 303
 - Схемы выборки - хранения, 202
 - Схемы кодирования (data encoding
 - scheme), 300
- Т**
- Таблица содержимого, 309
 - Тайм-аут, 71
 - Тайм-слоты, 150
 - Тактильная обратная связь, 294
 - Твердая копия (hard copy), 255
 - Твердокрасочные (Solidink) принтеры, 258
 - Твердотельная память, 296
 - Твердотельные устройства хранения, 314
 - Текстовый режим видеоадаптера, 237
 - Теневая маска, 245
 - Теорема Котельникова (Найквиста), 196
 - Теория места, 281
 - Терабайт, 297
 - Терменвокс, 271

Терминатор распределенный, 115
 Терминатор, 115
 Термомагнитный способ записи, 307
 Термопринтеры, 257
 Технические средства ВС, 8
 Технология LcoS, 249
 Токовая петля, 79
 Тонвал, 314
 Тонкопленочная (Thin Film, TF) технология, 303
 Топология сетей Ethernet, 223
 Точка доступа (access point), 227, 228
 Точка Кюри, 307
 ТПЭЛ-дисплеи, 247
 Традиционные прерывания PCI, 99
 Транзакции PCI, 94
 Транзакция на шине USB, 168
 Транзисторы с плавающим затвором, 314
 Трансивер PHY (PHYsical), 184
 Транспортный уровень SATA, 143
 Трансформация 3D объектов, 244
 Трек (дорожка), 300, 309
 Трекбол, 290
 Трехмерная адресация CHS, 297
 Трехмерная графика, 243
 Трехфазные синхронные двигатели, 303
 ТТЛ-схем, 79
 Туннельный эффект, 247, 314
 Тупик, или пещера (cave) HT, 66
 Турбулентность воздушного потока, 280

У

УАПП, 49
 УВВ речевых сообщений, 282
 УввДС, 194
 УвывДС, 194
 Углы Эйлера, 294
 Угол рыскания (азимут) - Yaw (Azimuth), 293
 Угол возвышения (угол места) - Pitch (Elevation), 293
 Угол крена (наклона) - Tilt (Roll), 294
 Узкий (narrow) порт (в SAS), 184
 Указательные устройства (pointing devices), 290
 Умножение частоты передачи данных, 104
 Универсальные ПИВВ, 153
 Управляющий микроконтроллер НЖМД, 305
 Уровни иерархии СВВ, 40
 УСПП, 49
 Установление соединения в пикосети, 152
 Устройства ввода-вывода (УВВ), 30
 Устройства виртуальной реальности, 292
 Устройства отображения, 244
 Устройства последовательного доступа, 297
 Устройства постраничной печати, 256

Устройства с кассетными жесткими дисками, 307
 Устройства хранения на магнитных дисках, 299
 Устройства хранения с неподвижным носителем, 296
 Устройства хранения с подвижным носителем, 296
 Устройства хранения с прямым доступом, 297
 Устройство SCSI, 178
 Устройство отображения, 233
 Ухо, 281
 Ушная раковина, 281

Ф

Фазовая манипуляция, 150
 Фазы музыкального звука, 271
 Файл, 16
 Факс-модем, 217
 ФАПЧ, 173
 Ферромагнитный слой, 302
 Физическая модель, 6
 Физическая реализация МК, 214
 Физическая топология USB, 166
 Физические каналы Bluetooth, 149
 Физический адрес, 52
 Физический интерфейс SATA, 144
 Физический интерфейс USB, 166
 Физический интерфейс, 55
 Физический канал опроса (inquiry scan) пикосети, 151
 Физический канал связи Bluetooth, 150
 Физический канал сканирования страниц (page scan) пикосети, 151
 Физический уровень PCI Express, 108, 109
 Физический уровень SATA, 143
 Физический уровень протокола USB, 171
 Физическое устройство USB, 166
 Фиксированные носители информации, 297
 Флэш-память USB, 315
 Флэш-память, 314
 Фонема, 283
 Фон-неймановская архитектура, 9
 Фонологический алфавит, 282
 Форманта, 271
 Формантные частоты, 280
 Форманты голосового тракта, 280
 Формат Bitmap, 240
 Формат блока (сектора) CD-ROM, 310
 Формат знакоместа, 238
 Формат кадра CD, 310
 Формат матрицы знакомест, 238
 Формат сектора, 301
 Форматирование дисков, 301
 Форматы данных, 161
 Фотопринтеры, 260

Фотоэлектрические датчики, 290
 Фрейм-граббер, 124, 240
 Фрикативные согласные, 283
 Функции драйвера, 44
 Функции СВВ, 30
 Функциональная клавиатура, 289
 Функция системы, 6

Х

Хаб (hub) Ethernet, 223
 Хаб USB, 166
 Хаб, 63
 Хабовая архитектура, 63
 Хабы USB, 175
 Характеристики интерфейсов, 67
 Характеристики KBB, 37
 Хост (host) HT, 66

Хост ЭВМ, 20

Хост-адаптер SCSI, 178, 181
 Хост-адаптер USB, 20
 Хост-адаптер, 51
 Хост-контроллер USB, 20, 175
 Хост-контроллер, 16
 Хост-центричность, 164
 Хранящий слой, 311

Ц

ЦАП, 194
 Цветная печать, 259
 Цветной монитор, 245
 Цветные матричные принтеры, 257
 Цветовое пространство в координатах
 Y-U-V, 239
 Цветокоррекция без потерь, 263
 Целевое устройство PCI, 90
 Центральная часть вычислительной
 системы, 12

Центральная часть ЭВМ, 20

Центрально-синхронный принцип
 управления, 31
 Центральный процессор (ЦП), 10
 Цепочный интерфейс, 74
 Цикл обмена по LPC, 111
 Цилиндр (cylinder), 300
 Цилиндрические магнитные домены, 315
 Цифровая вычислительная машина, 9
 Цифровая клавиатура (numeric
 keypad), 289
 Цифровой аудиоканал, 265
 Цифровые интерфейсы звуковых
 адаптеров, 126
 Цифровые технологии в звуковых
 картах, 275

Ч

Частота основного тона, 280
 Частотная манипуляция, 150
 Частотная модуляция (Frequency
 Modulation, FM), 300
 Частота вращения 360 об./мин., 302

Чередование кадров, 250
 Чередование строк, 250
 Чересстрочная развертка, 236
 Чипсет, 62
 ЧМ, 300

Ш

Шаг витков спирали - 1,6 мкм, 309
 Шаг дискретизации, 195
 Шаг матрицы зерен экрана (dot pitch), 245
 Шаговые двигатели, 302
 Шина интерфейса, 16
 Шинно-мостовая архитектура, 62
 Шины с полным разделением, 76
 Шины с полным совмещением, 76
 Ширина дорожки (ямки - pits) - 0,5
 мкм, 309
 Широкий порт (в SAS), 184
 Шлем виртуальной реальности, 293
 Штампованные (печатные) диски CD, 311
 Шумовой сигнал, 280

Щ

Щелевая маска (slot mask), 245

Э

ЭВМ, 9
 Эквалайзер, 274
 Экспандер, 185
 Эксцентриситет, 309
 ЭЛД (электролюминесцентный
 дисплей), 247
 Электрическая совместимость, 57
 Электрический интерфейс, 55
 Электрический принцип хранения, 296
 Электролюминесцентные тонкопленочные
 дисплеи, 247
 Электронная вычислительная машина, 9
 Электронная пушка, 245
 Электронное чернило, 248
 Электрофоретические отражающие
 дисплеи, 248
 Электрофотографическая печать, 258
 Элементы речевого сигнала
 фонологического алфавита, 282
 Эмуляция ISA DMA, 98
 Этапы работы УВв, 29
 Этапы работы УВыв, 29
 Эффект Керра, 308
 Эхоподавление, 221
 ЭЦВМ, 9

Ю

Южный мост, 62
 Южный хаб, 64

Английский

10 Gigabit Ethernet (10GE), 224
 1000BaseT, 224
 100BaseT4, 224

100BaseTX, 224
 10BaseT, 224
 10GbaseT, 224
 16450, 163
 16550, 163
 26AWG, 222
 2D-ускоритель, 234
 3D-монитор, 250
 3D-мышь, 290
 3D-ускоритель, 234

A

AC-3, 267
 AC'97 Digital Controller, 276
 AC'97, 275
 ACCESS Bus, 119
 Access point, 227
 Access time, 297
 AC-Link, 275, 276
 Active matrix, 246
 Active negation, 183
 Active speakers, 266
 ADC (Analog-Digital Converter), 194
 Ad-hoc, 226
 ADPCM (Adaptive Differential Pulse-Code Modulation), 269
 ADSL, 221
 ADSR, 271
 AFH (Adaptive Frequency Hopping), 151
 AGP (Accelerated Graphic Port), 103
 AGP 1.0, 105
 AGP 2.0, 105
 AGP 3.0, 105
 AMD 760, 63
 AMD 762, 65
 AMR (Anisotropic Magneto-Resistance), 304
 AN (Alpha-Numerical), 237
 APA (All Points Addressable), 236
 Aperture grilles, 245
 ARL (Advanced RLL), 301
 ASCII-коды, 161
 ASK IR (Amplitude Shifted Keyed IR), 146
 ASK IR, 147
 ASPI (Advanced SCSI Programming Interface), 182
 ATA (Advanced Technology Attachment), 137
 ATAPI (ATA Package Interface), 138
 ATIP (Actual Time In Pregroove), 311
 AT-команды, 217
 Audio-CD, 309
 Autonegotiation, 224
 AVO (Audio-Visual Objects), 242

B

B-кадры, 241
 Back light, 246
 BD (Blu-ray Disk), 312.
 BD_ADDR (Bluetooth device address), 150

BDA (*BIOS data area*), 53
 BD-R, 312
 BD-RE, 312
 BD-ROM, 312
 Bernoulli removable media drive, 306
 BIOS, 8
 Bit stuffing, 171
 Bitmap, 240
 BLUE (синий), 117
 Bluetooth Mouse, 291
 Bluetooth, 149
 BPI (Bit Per Inch), 301
 Bubble-jet, 258
 Burst signal, 124
 Bus Master, 18, 51
 Bus mastering, 51
 Bus Mouse, 290
 Bus Network, 177

C

CAMAC, 210
 CAN (Campus-Area Network), 191
 Capacity, 297
 Card Bus, 94
 CD (Color Display), 117
 CD (Compact Disk), 309
 CD Single, 310
 CD-DA (Audio-CD), 309
 CD-E, 311
 CDMA, 221
 CD-R (Recordable CD), 310
 CD-Recorder, 310
 CD-ROM Mode mn, 310
 CD-ROM, 309
 CD-RW (Rewritable CD), 311
 CD-WO (Write Once), 311
 CD-WORM (Write Once, Read Many), 310
 CD-Writer, 310
 CFA (Compact Flash Association), 138
 CFA (Compact Flash), 315
 ChLCD (Cholesteric Liquid Crystal Display), 248
 CHS (Cylinder, Head, Sector), 138, 297
 CIC (Controller-in-Charge), 208
 CIJ (Continuous InkJet), 257
 Client pipes USB, 170
 Client pipes, 170
 CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black), 260
 COM-порт, 158
 Composite sync, 118
 Composite video, 124
 Compact PCI (CPCI), 94
 Completion, 97
 Configuration Read, 101
 Configuration Write, 101
 Control pipe 0 USB, 170
 CPU (Central Processing Unit), 10, 233.
 CRC (Cyclic Redundancy Check), 301

CRT (Cathode Ray Tube), 235
 CRT Controller, 251
 CSMA/CD, 225
 CSN (Card Select Number), 88
 CSw (Client Software), 165
 CyberGrasp (киберхватка), 294
 Cylinder, 300

D

DA (Destination Address), 225
 DAC (Digital-to-Analog Converter), 194, 253
 268
 DASD (Direct Access Storage Device), 297
 DAT (Digital Audio Tape), 267
 Data stage, 171
 DAV/NRFD/NDAC, 207
 DB-25P, 160
 DB-25S, 160
 DB-9, 117
 DB-9P, 160
 DB-9S 160
 DCE (Data Communication Equipment), 159
 DDC (Display Data Channel), 119
 DDC1, 119
 DDC2AB, 119
 DDC2B, 119
 DDMA, 99
 DDMA-механизм, 273
 Dedicated servo, 305
 Default pipe USB, 170
 Delta frame, 240
 DFP (Digital Flat Panel), 121
 DIAC (Dedicated Inquiry Access Code), 150
 Digital Link, 177
 DIME (Direct Memory Execute), 105, 243
 Disconnect, 97
 Display, 244
 DivX, 242
 DL (Dual Layer), 312
 DLT (Digital Linear Tape), 313
 DMA (Direct Memory Access), 47
 DOD (Drop On Demand), 257
 Dot matrix printer, 256
 Dot pitch, 245
 DotCLK, 251
 DPCM (Differential Pulse-Code
 Modulation), 269
 dpi (dot per inch), 259
 Drawing commands, 242
 DS (Dual Sided), 312
 DSD (Direct Stream Digital encoding), 268
 DSL, 221
 DSP, 206
 DSTN (Double Super Twisted Nematic), 246
 DT (Double Transition), 183
 DTE (Data Terminal Equipment), 159
 DVD (Digital Versatile Disk), 312
 DVD (Digital Video Disk), 312

DVD-плеер, 242
 DVI (Digital Visual Interface), 121

E

E-экспандер (edge expander), 185
 EBDA (Extended BIOS Data Area), 53
 ECC (Error Checking and Correcting), 301
 ECD (Enhanced Color Display), 117
 Echo-cancellation, 221
 ECU (EISA Configuration Utility), 88
 ED (Extra-High Density), 303
 EDID (Extended Display Identification), 119
 EHC (Enhanced Host Controller), 165
 E-IDE, 141
 E-ink, 248
 EISA (Extended ISA), 87
 Embedded SCSI controller, 178
 Embedded servo, 305
 End device SAS, 185
 Endpoint (EP), 167
 Endpoint 0 (EP0), 167
 EOF (End of Frame), 169
 ESDI, 116
 ESONE, 210
 Ethernet, 223
 Executive mode, 105
 EZ135, 307

F

Fast Ethernet, 224
 Fast SCSI-2, 179
 FC-AL, 188
 FCI (Flux Changes per Inch), 300
 FCP (Fibre Channel Protocol), 180
 FC-PH, 188
 FC-SW, 188
 FDC (Floppy Drive Controller), 115
 FDC AT#2, 116
 FDC AT#1, 116
 FDD – Floyd Disk Drive, 114
 FDM, 221
 FED (Field Emission Display), 249
 FHS, 151
 Fibre Channel (FC), 188
 FireWire, 177
 Flat panel display, 245
 Floptical drives, 306
 FM (Frequency Modulation), 300
 FMD, 312
 FM-синтезаторы, 272
 FPDI-2, 120
 FRAM, 315
 Frame grabber, 240
 Frames USB, 170
 FS (Full Sped), 165
 F-экспандеры (fanout expander), 185

G

Game port, 126
 GAN (Global-Area Network), 191

Gap, 301
 GART (Graphics Address Remapping Table), 105
 Gas plasma, 247
 GIAC (General Inquiry Access Code), 150
 Gigabit Ethernet (GE), 224
 Global coordinate system, 243
 GMR (Giant Magneto-Resistive), 304
 GPIB – PCI, 208
 GPIB, 206
 GPP (Generic Packetized Protocol), 180
 GPS (Global Positioning System), 314
 Gr (Graphics), 236
 Graphic 3D pipeline, 244
 GREEN (зеленый), 117
 GSM, 221
 GUI (Graphic User Interface), 243

H

(H+V) Sync, 118
 H.Sync, 118
 Hard copy, 255
 Hardware windowing, 242
 HCD (Host Controller Driver), 165
 HD DVD (High Density DVD), 312
 HD DVD-R, 312
 HD DVD-ROM, 312
 HD DVD-RW, 312
 HD, 303
 HDA (Head Disk Assembly), 303
 HDA (High Definition Audio), 277
 HDA Link, 278
 HDC (Hard Disk Controller), 305
 HDD (Hard Disk Drive), 303
 HDSL, 221
 Head, 300
 HID (Human Interface Device), 292
 High Color, 237
 HomeRF, 227
 Host Bridge, 65
 HPD (Hot Plug Detect), 122
 HP-GL, 262
 HP-SIR (Hewlett-Packard Slow Infra Red), 146
 HS (High Sped), 165
 HS-488, 207
 Hub, 223
 HVD (High-Voltage Differential), 183
 Hyper Transport (HT), 65

I

I²C, 119
 I²O (Intelligent Input/Output), 51
 I²S (Inter I²C Sound), 126
 I8042, 131
 i8250, 163
 i8272, 116
 ICH-6, 65
 IDE (Integrated Drive Electronics), 137

ID-less format, 302
 IEEE 1284, 157
 IEEE 1394, 177
 IEEE 1394a, 177
 IEEE 1394b, 178
 IEEE 802.11, 227
 IEEE 802.2, 217
 IEEE 802.x, 217
 IEEE-488, 206
 IEEE-488.1, 207
 IEEE-488.2, 207
 IEEE-802.11 DFIR, 227
 IEEE-802.11a, Wi-Fi5, 227
 IEEE-802.11b Wi-Fi, 227
 IEEE-802.11-DS, 227
 IEEE-802.11-FH, 227
 IEEE-802.11g, 227
 iLink, 177
 InkJet, 257
 Input/Output Request (IRP), 167
 Inquiry, 152
 INT 09h, 132
 INT 14h, 158
 INT 74h, 132
 Intel Core i5, 67
 Intel Core i7, 66
 Intens. (повышенная яркость), 117
 Interframe compression, 240
 IOP (Input/Output Processor), 51
 IrDA FIR (IrDA4PPM), 147
 IrDA HDLC, 147
 IrDA SIR, 147
 IrOBEX (IrDA Object Exchange Protocol), 148
 IRQ 1, 132
 IRQ 12, 132
 ISA (Industry Standard Architecture), 86
 ISA-16, 86
 ISA-8, 86
 ISCSI, 180
 ISO, 216
 ISO/IEC 11172, 1992 г., 241
 ISO/IEC 13818, 1995 г., 241
 ISP (Integrated System Peripheral), 88
 I-кадры, 241

J

Jack, 125
 Jaz, 307
 Joystick, 292

K

K56flex, 218
 Key frame, 240

L

LAN (Local-Area Network), 191
 LBA (Logical Block Address), 297
 LBA-48, 143
 LCoS (Liquid Crystal on Silicon), 249

LED-линейка, 259
 LEP (Light Emission Plastics), 247
 LIA (Lead-In Area), 309
 Lighting, 244
 LIMDOW, 308
 Line In, 126
 Line Out, 126
 LLC, 217
 LLC1, 217
 LLC2, 217
 LLC3, 217
 LOA (Lead-Out Area), 309
 LPC (Low Pin Count), 111
 LPCM (Linear PCM), 268
 Lpi (Lines per inch), 259
 LPT-порт, 154
 LS (Low Speed), 165
 LS-120 (Laser Servo 120 Мбайт), 306
 LUN (Logical Unit Number), 181
 LVD (Low-Voltage Differential), 183

M

MAC, 217
 MAC-адрес, 225
 Main frame, 12
 MAN (Metropolitan-Area Network), 191
 Master-Absort, 97
 MC (Miniature Card), 315
 MC'97, 276
 MCA (Micro Channel Architecture), 84
 MCS-48, 289
 Mega Transfer/sec (MT/s), 179
 Message pipe USB, 169
 Mezzanine bus, 90
 Mic In, 126
 MIDI (Musical Instrument Digital Interface), 130
 MIDI channel messages, 131
 MIDI system messages, 131
 MIDI-In, 130
 MIDI-Out, 130
 MIDI-Thru, 130
 MIDI-клавиатура, 266
 Miniature Card, 315
 Mini-DIN, 135
 Mini-PCI, 94
 MLC (multi-level cell), 314
 MM/24AWG, 222
 MMAC(HiSWANa), HiperLAN/2, 227
 MMC/RS-MMC (Multi Media Card), 315
 MNP-4, 219
 MNP-7, 219
 MOD (Magneto-Optical Drives), 307
 Motorola 6845, 251
 Mouse, 290
 MP3, 270
 MPEG (Moving Picture Expert Group), 241
 MPEG-1, 241

MPEG-2, 241
 MPEG-4, 241
 MPEG-декодер, 234
 MPEG-плеер, 242
 MRH (Magneto-Resistance Head), 304
 MSI (Message Signaled Interrupts), 101
 MSI, 51
 MT/s (Mega Transfer/sec), 179
 Multi Media Connection, 177
 Multimode LVD, 183

N

NAND (И-HE), 314.
 Narrow SCSI, 179
 NCITS T11, 188
 NEC PD765, 116
 NED (Nanotube Emissive Display), 249
 NIC (Network Interface Card), 225
 NLQ. (Near Line Quality), 257
 NMT-450, 221
 NOR (ИЛИ-HE), 314
 NRZ (No Return Zero), 116
 NRZI, 301
 NTSC, 123

O

OHC (Open Host Controller), 165
 OLEDs, 247
 Optical mouse, 290
 OTG (On-The-Go), 167

P

P&D (Plug-and-Display), 121
 PA (Program Area), 310
 PABN LCD (Post-Aligned Bistable Nematic LCD), 249
 Paging, 152
 PAL (Phase Alternate Line), 123
 Panning, 243
 Passive matrix, 246
 PC (Personal Computer), 8, 233
 PC Speaker, 265
 PC/PCI- механизм , 273
 PC'99 - требования к аудиосредствам, 274
 PCA (Power Calibration Area), 310
 PCI (Peripheral Component Interconnect), 90
 PCI 1.0, 93
 PCI 2.0, 93
 PCI 2.1, 93
 PCI 2.2, 93
 PCI 2.3, 93
 PCI 3.0, 94
 PCI BIOS, 102
 PCI Bus Master, 93
 PCI Concurrency, 90
 PCI Express Link, 106
 PCI Express, 64, 105
 PCI Fast Write, 104
 PCI Interrupt Steering, 102
 PCI Peer Concurrency, 91

PCI SIG (PCI Special Interest Group), 105
 PCI SIG, 94
 PCI-to-PCI Bridge, 91
 PCI-X 1.0, 94
 PCI-X 2.0, 94
 PCI-X, 90
 PCL (Printer Control Language), 261
 PCM (Pulse-Code Modulation), 268
 PDC (Power Disk Cartridge), 307
 PDM (Pulse Density Modulation), 268
 PHY, 225
 Piconet, 150
 Pitch (Elevation), 293
 Pits, 309
 Pixel, 235
 Platter, 303
 Playback, 265
 Plug and Play BIOS Specification, 88
 PM (Power Management), 100
 PMA (Program Memory Area), 310
 PME, 100
 PnP (Plug and Play), 88
 PnP BIOS, 88
 Postmasking, 270
 PostScript, 262
 Pregroove, 311
 Premasking, 270
 PRML (Partial Response Maximum Likelihood), 305
 PS/2 Mouse, 132
 PS/2-Mouse, 291
 PXI, 94
 Р-кадры, 241

Q

QD, 303
 QIC (Quarter Inch Cartridge), 314
 QPI (Quick Path Interconnect), 66

R

R-2R, 199
 RADSL, 221
 RAM, 11
 RAMDAC (Random Access Memory Digital to Analog Converter), 253
 Rasterization, 244
 Recording, 265
 RED (красный), 117
 Reed-Solomon code, 302
 Remote wakeup, 174
 Removable media drives, 307
 Removable media, 297
 Rendering, 244
 Retry, 97
 RGB Analog, 117
 RGB TTL, 117
 RJ-45, 233
 RLL (Run Length Limited), 116
 RLL 1.7, 301

RLL 2.7, 300
 RLL 3.9, 301
 ROM Video BIOS, 234
 ROM, 11
 Router, 223
 RS-232C, 158

S

S100, 177
 S1600, 178
 S200, 177
 S3200, 178
 S400, 177
 S800, 178
 SA (Source Address), 225
 SACD (Super-Audio CD), 268
 SAM (SCSI Architecture Model), 179
 Samples, 267
 SAN, 188
 SAS (Serial Attached SCSI), 180, 184
 SAS-1.1, 188
 SATA (Serial ATA), 64, 138, 142
 SB 16 (Sound Blaster), 273
 SBA (Side Band Address), 104
 SBC (SCSI-3 Block Commands), 179
 SBP (Serial Bus Protocol), 180
 Scatter net, 150
 SCC (SCSI-3 Controller Commands), 179
 SCSI Device, 178
 SCSI ID, 182
 SCSI-1, 179
 SCSI-2, 179
 SCSI-3, 179
 SD/mini-SD (Secure Digital), 315
 SDSL, 221
 SECAM (Sequence de Couleurs avec Memoire), 124
 Secondary physical link, 187
 SED (Surface-conduction Electron-emitter Display), 249
 Serial Mouse, 291
 Serial SCSI, 179
 Setup stage, 171
 SFF-8484, 188
 SGC (SCSI-3 Graphic Commands), 179
 Shadow mask, 245
 Side light, 246
 SIP (SCSI-3 Interlocked Protocol), 180
 SL (Single Layer), 312
 SLC (single-level cell), 314
 Slot mask, 245
 Slot, 18
 Small PCI, 94
 SMC (SCSI-3 Medium Changer Commands), 179
 SMC (Smart Media Card), 315
 SMI (System Management Interrupt), 166
 SMM (System Management Mode), 166

SMP (Serial Management Protocol), 184
 SMP (Symmetric multiprocessor), 10
 SMP-соединение, 185
 Soft-модем, 220
 Solidink, 258
 Sony Mini Disk, 310
 SparQ, 307
 SPC (SCSI-3 Primary Commands), 179
 Speaker Out, 126
 SPI (SCSI-3 Parallel Interface), 179, 180
 Spindle motor, 300
 Splitter, 221
 Sprite, 242
 SS (Single Sided), 312
 SSA (Serial Storage Architecture), 180
 SSC (SCSI-3 Stream Commands), 179
 SSP (Serial SCSI Protocol), 184
 SSP-connection, 185
 ST (Single Transition), 183
 ST-506 (ST-412), 116
 STALL, 168
 Status stage, 172
 STN (Super Twisted Nematic), 246
 Storage Area Network, SAN, 188
 STP (Serial ATA Tunneling Protocol), 184
 STP-соединение, 185
 Stream HDA, 278
 Streaming pipe USB, 169
 Super DLT, 313
 S-Video (Separate Video), 124
 Switch, 223
 SyJet, 307
 SyQuest, 307

T

T.M.D.S, 120
 Tandberg, 314
 Tape device, 297
 Target controller, 178
 Target-abort, 97
 TDM (Time Division Multiplexing), 276
 TF (Thin Film), 303
 TFT (Thin Film Transistor), 246.
 TFT LCD-дисплеи, 246
 Tilt (Roll), 294
 Time-out, 97
 Tiny TP (IrDA Transport Protocol), 148
 TOC (Table Of Content), 309
 Touch pad, 291
 TrackBall, 290
 Transfer Speed, Transfer Rate (XFER), 297
 Transformation, 244
 True Color, 118, 237
 TV-тюнер, 234
 TWAIN (Tool Without An Interesting Name), 264
 Twisted-Pair Ethernet, 224
 TXT(text), 237

Typematic delay, 290

U

UADSL, 221
 UART, 159
 UHC (Universal Host Controller), 165
 Ultra DMA, 142
 Up plugging, 110
 USB – GPIB, 208
 USB (Universal Serial Bus), 164
 USB 1.0, 164
 USB 2.0, 164
 USB 3.0, 164
 USB Functions, 165
 USB Hubs, 165
 USB -IF (USB Implementers Forum, Inc.), 164
 USB Mouse, 291
 USB Wireless, 164
 USB, 20
 USB D (USB Driver), 165

V

V.21, 218
 V.22, 218
 V.32, 218
 V.34, 218
 V.42bis, 219
 V.44, 218
 V.90, 218
 V.92, 218
 V.Sync, 118
 VDSL, 221
 VESA DMT (Discrete Monitor Timing), 118
 VESA GTF (Generalized Timing Formula Standard), 118
 VGA (Video Graphics Array), 118
 VHS (Video Home System), 241
 Video (включить/выключить луч), 177
 Video Capture, 240
 Video memory, 237
 Video overlay board, 239
 Viewspace-to-window transform, 244
 VOS (Virtual Orientation System), 293
 VRAM (Video RAM), 237
 VR-контроллеры, 293
 VR-шлем, 250
 VR-шлем, 293

W

WAN (Wide-Area Network), 191
 WAV, 265
 WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), 227
 Wide SCSI, 179
 Wi-Fi (Wireless Fidelity), 227
 Windows-акселераторы, 243
 Win-модем, 220
 WLAN, 226
 World-to-viewspace transform, 244

Write Protect, 115
WT-синтезаторы, 272

X

X3.131-1986, 179
xDSL, 221

Y

Yaw (Azimuth), 293

Z

Zip, 306

Список литературы

1. Ларионов А. М., Горнец Н. Н. Периферийные устройства в вычислительных системах: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая шк., 1991. – 336 с., ил.
2. Программные средства вычислительной техники: Толковый терминологический словарь-справочник. - М.: Издательство стандартов, 1990. - с. 368.
3. Першиков В. И., Савинков В. М. Толковый словарь по информатике. - М.: Финансы и статистика, 1991. - 543 с.
4. Цилькер Б. Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2004. - 668 с.: ил.
5. Нешумова К. А. Электронные вычислительные машины и системы. Учеб. для техникумов спец. ЭВТ. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Высш. шк., 1989. - 366 с.: ил.
6. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В. Л. Бройдо - СПб.: Питер, 2002. - 688 с.: ил.
7. Основы теории вычислительных систем. Под ред. С. А. Майорова. Учеб. пособие для вузов. М., "Высш. школа", 1978. - 408 с.: ил.
8. Гук М. Аппаратные средства РС. Энциклопедия , 3-е изд.- СПб: Питер, 2006. -1027 с.: ил.
9. Корнеев В. В. Параллельные вычислительные системы. М.: «Нолидж», 1999. -320 с.: ил.
10. Зайденберг В. К., Зимарев А. Н., Степанов А. М. Англо-русский словарь по вычислительной технике: Ок. 37000 терминов/ Под редакцией Е. К. Масловского. - М.: Рус. Яз., 1987.
11. Пятибратов А. П. и др. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник/ А.П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А.А. Кириченко; Под ред. А. П. Пятибратова. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 400 с.: ил.
12. Бройдо В. Л., Ильина О. П. Архитектура ЭВМ и систем: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2006. - 718 с.: ил.
13. Морс С. П., Алберт Д. Д. Архитектура микропроцессора 80286: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990. - 304 с.: ил.
14. Колиснеченко Д. Н. Англо-русский толковый словарь компьютерных терминов. 3-е изд. - СПб.: Наука и техника. 2009. - 288 с.: ил.
15. Новый англо-русский словарь-справочник пользователя ПК/ Сост. А.О. Гавриленко, О.А. Гавриленко. - 5-е изд. -СПб.: КОРОНА-Век. 2008. - 384с.
16. Мячев А. А. Система ввода-вывода ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1983. - 168 с.: ил.
17. Рудометов Е., Рудометов В. Материнские платы и чипсеты - СПб: Питер, 2000. - 256 с.: ил.
18. Мячев А. А. и др. Интерфейсы систем обработки данных: Справочник/ А.А. Мячев, В. Н. Степанов, В. К. Щербо; Под ред. А. А. Мячева. - М.: Радио и связь, 1989. - 416 с.: ил.
19. Гук М. Ю. Шины PCI, USB и FireWire. Энциклопедия. - СПб.: Питер, 2005. - 540 с.: ил.
20. Гук М. Аппаратные средства РС. Энциклопедия , 2-е изд.- СПб: Питер, 2001. - 928 с.: ил.
21. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия - СПб: Питер, 2002. - 528 с.: ил.
22. Гук М. Аппаратные средства РС. Энциклопедия - СПб: Питер Ком, 1998. - 816 с.: ил.
23. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия - СПб: Издательство "Питер", 2000. - 576 с.: ил.
24. Лагутенко А.И. Модемы. Справочник пользователя / Оформление А. Лурье -СПб.- «Лань», 1997. - 368 с., ил

25. Хаммел Р. Л. Последовательная передача данных: Руководство для программиста: Пер. с англ. - М.: Мир, 1996. - 752 с., ил.
26. Ан П. Сопряжение ПК с внешними устройствами / Пей Ан; Пер. с англ. Мерещука П.В. - 2-е изд., стер. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2004. - 320 с.: ил.
27. Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 496 с.: ил.
28. Гук М. Интерфейсы устройств хранения: ATA, SCSI и другие. Энциклопедия. СПб.: Питер, 2007. - 447 с.: ил.
29. Гук М. Дисковая подсистема ПК. СПб.: Питер, 2001. - 336 с.: ил.
30. Кулаков В. Программирование дисковых подсистем. СПб.: Питер, 2002. - 768 с.: ил.
31. Кулаков В. Программирование на аппаратном уровне: Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. - 496 с.: ил.
32. Данкан Р. Профессиональная работа в MS-DOS: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993. - 509 с.: ил.
33. Несвижеский В. Программирование аппаратных средств в Windows. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 880 с.: ил.
34. Гук М. Аппаратные средства IBM PC – СПб.: Питер, 1996. – 224 с.: ил.
35. 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.
36. Мелехин В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.Ф. Мелехин, Е.Г. Павловский. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 560 с.
37. Джордейн Р. Справочник программиста персональных компьютеров типа IBM PC, XT и AT: Пер. с англ./ Предисл. Н.В. Гайского. -М.: Финансы и статистика, 1992. - 544 с.: ил.
38. Кулаков В. Программирование на аппаратном уровне: Специальный справочник. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. - 848 с.: ил.
39. Григорьев В.Л. Видеосистемы ПК фирмы IBM. – М.: Радио и связь, 1993. - 192 с.: ил.
40. Гук М. Интерфейсы ПК: справочник. - СПб.: ЗАО Издательство «Питер», 1999. - 416 с.: ил.
41. Щебро В. К. и др. Стандарты по локальным вычислительным сетям: Справочник/ В. К. Щебро, В. М. Киреичев, С. И. Самойленко; Под ред. С. И. Самойленко - М.: Радио и связь, 1990. - 304 с.: ил.
42. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. №-е изд. - СПб.: Питер, 2007. - 958 с.: ил.
43. Ирвин ДЖ., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 448 с.: ил.
44. Семенов А. Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. - М.: КомпьютерПресс, 1998. - 302 с. - ил.
45. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. 2-е изд., испр. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. - 528 с.: ил.
46. Попов С.Н. Аппаратные средства мультимедиа. Видеосистема PC/ Под ред. О.В. Колесниченко, И.В. Шишигина - СПб.: БХВ-Петербург; Арлит. 2000. - 400с.: ил.
47. Воронов М.А., Родин А.В., Тюнин Н.А. Ремонт мониторов. Выпуск 12. 2-е издание. Москва: "СОЛОН-Р" 2000. - 299с.: ил.
48. Самарин А.В. Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция и применение - М.: СОЛОН-Р, 2002. 304с.:ил.

49. Речь и ЭВМ/ Под ред. Васильева. -М.:Знание, 1989, 63с.
50. Асмаков С., Елманова Н., Пахомов С., Татарников О. Перспективные технологии: итоги и прогнозы // Компьютер пресс. 2008. № 1
51. Колесниченко О., Шарыгин М., Шишигин И. Лазерные принтеры. –СПб.: ВHV -Санкт-Петербург, 1997.- 272 с., ил.
52. Гинзбург А., Милчев М., Солоницын Ю. Периферийные устройства. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.: ил.
53. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с., ил.
54. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ С.В. Якубовский, Л.И.Лиссельсон, В.И. Кулешова и др.; под ред. С.В. Якубовского. М.: Радио и связь. 1990. – 496 с.: ил.
55. Заярный В.П., Евстратов И.В., Сарана Д.В., Романов Р.Н. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами в стандарте КАМАК: Учебно-методическое пособие по системному программированию функциональных модулей в стандарте КАМАК. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2003. - 60 с.
56. Эрглис К. И. Интерфейсы открытых систем. Учебный курс. Изд-во "Горячая линия-Телеком". Москва, 2000.
57. Николин В.А. Компакт диски и CD-устройства. – СПб.: Издательство Лань, 1997. - 112 с.: ил.
58. Михайлов В. И., Князев Г. И., Макарычев П. П. Запоминающие устройства на оптических дисках. – М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.: ил.
59. Микропроцессорный комплект K1810: Структура, программирование, применение: Справочная книга/ Ю.М. Казаринов и др. - М.: Высш. школа, 1990. - 269 с.: ил.
60. Вегнер В.А. и др. Аппаратура персональных компьютеров и ее программирование. IBM PC/XT/AT и PS/2. М: Радио и связь, 1995. - 224с. - (Библиотека системного программиста).
61. Фролов Л. В., Фролов Г. В. Аппаратное обеспечение персонального компьютера. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1997. - 304 с. (Библиотека системного программиста; Т. 33).
62. Новиков Ю. В., Карпенко Д. Г. Аппаратура локальных сетей: функции, выбор, разработка/ Под общей редакцией Ю. В. Новикова. – М., Издательство ЭКОМ, 1998. - 288 с.: ил.
63. Аналого-цифровое преобразование./ Под ред. Уайта Костера. М.: Техносфера, 2007. - 1016 с.: ил. (ISRN 978-5-94836-146-8).
64. Павлов В.А. Концепция преподавания дисциплин цикла "Система ввода-вывода ПК" (специальность 220100 "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети")// Вестник Саровского Физтеха, 2004г, №6, стр. 19.
65. Партыка Т Л., Попов И. И. Периферийные устройства вычислительной техники: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 432 с.: ил. – (Профессиональное образование).
66. Авдеев В. А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 848 с.: ил.
67. Агуров П. В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 576 с.: ил.

Краткое оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Часть I. Состав, структура и организация системы ввода-вывода	25
Глава 1. Состав и структура системы ввода-вывода.	25
Глава 2. Логическая организация системы ввода-вывода	39
Глава 3. Интерфейсы системы ввода-вывода	55
Часть II. Внутренние интерфейсы ввода-вывода РС-совместимых персональных компьютеров	84
Глава 4. Интерфейсы ввода-вывода системного уровня	84
Глава 5. Малые интерфейсы ввода-вывода	114
Глава 6. Периферийные интерфейсы ввода-вывода	129
Часть III. Внешние интерфейсы ввода-вывода	190
Глава 7. Подсистемы системы ввода-вывода	190
Глава 8. Подсистема связи с объектами управления.	194
Глава 9. Подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам	216
Глава 10. Подсистема взаимодействия с пользователем	232
Глава 11. Подсистема внешней памяти	296
Термины и сокращения	317
Алфавитный указатель	346
Список литературы	364

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Контрольные вопросы	23
 Часть I. Состав, структура и организация системы	
ввода-вывода	25
 Глава 1. Состав и структура системы ввода-вывода	
1.1. Системы ввода-вывода	25
1.2. Решаемые классы задач и их требования к средствам СВВ	25
1.3. Переменный состав оборудования и классы ЭВМ	26
1.4. Классификация и характеристики периферийных устройств	28
1.5. Функции системы ввода-вывода и ее структура	30
1.5.1. Назначение СВВ	30
1.5.2. Основные функции СВВ и способы их реализации	30
1.5.3. Средства совмещения операций обработки и ввода-вывода	33
1.6. Канал ввода-вывода	36
Контрольные вопросы	37
 Глава 2. Логическая организация системы ввода-вывода	
2.1. Логическая структура СВВ	39
2.2. Логическая организация систем ввода-вывода ЭВМ общего назначения	40
2.2.1. Элементы иерархии СВВ ЭВМ общего назначения	40
2.2.2. Иерархия команд	40
2.2.3. Совокупное состояние СВВ	41
2.3. Логическая организация СВВ в мини- микро-ЭВМ и ПК.	43
2.3.1. Особенности организации СВВ мини- микро-ЭВМ и ПК	43
2.3.2. Способы организации обмена в мини-, микро-ЭВМ и ПК	45
2.3.3. Контроллеры (адаптеры) ввода-вывода	47
2.4. Особенности организации ввода-вывода в ПК	50
2.4.1. Общие замечания по организации ввода-вывода в современных ПК	50
2.4.2. Взаимодействие программ с периферийными устройствами	50
2.4.3. Системный модуль ROM BIOS	52
Контрольные вопросы	53
 Глава 3. Интерфейсы системы ввода-вывода	
3.1. Понятие «интерфейс»	55
3.2. Понятие аппаратного интерфейса и его характеристики	57
3.3. Организация интерфейсов	67
3.3.1. Классификационные признаки	67
3.3.2. Последовательная и параллельная передача информации	67
3.3.3. Синхронная и асинхронная передача информации	69
3.3.4. Соединение устройств и организация линий интерфейса	72
3.4. Среда интерфейса	76
Контрольные вопросы	83
 Часть II. Внутренние интерфейсы ввода-вывода РС-совместимых персональных	
компьютеров	84
 Глава 4. Интерфейсы ввода-вывода системного уровня	
4.1. Общие сведения	84
4.2. Интерфейс ввода-вывода хоста ISA и EISA.	86
4.2.1. Общие характеристики	86

4.2.2. Спецификация Plug and Play для ИВВ ISA	88
4.3. Интерфейс ввода-вывода хоста VLB.	89
Контрольные вопросы к разделам 4.1 – 4.3	90
4.4. Интерфейс ввода-вывода хоста PCI	90
4.4.1. Общие сведения	90
4.4.2. Организация ИВВ хоста PCI и PCI-X	90
4.4.2.1. Общие сведения	90
4.4.2.2. Взаимодействие устройств	92
4.4.2.3. Спецификации PCI и PCI-X	93
4.4.3. Протокол, транзакции и команды интерфейсов PCI и PCI-X	94
4.4.3.1. Протокол и транзакции	94
4.4.3.2. Команды ИВВ PCI	98
4.4.4. Прямой доступ к памяти, эмуляция ISA DMA (PC/PCI, DDMA)	98
4.4.5. Пропускная способность ИВВ PCI и PCI-X	99
4.4.6. Прерывания PCI - INTx#, PME#, MSI и SERR#	99
4.4.6.1. Общие сведения о прерываниях PCI	99
4.4.6.2. Традиционные прерывания PCI - INTx#	99
4.4.6.3. Сигнализация событий управления энергопотреблением - PME#	100
4.4.6.4. Прерывания сообщениями – MSI.. . . .	101
4.4.7. Конфигурирование и BIOS устройств PCI и PCI-X	101
4.4.7.1. Конфигурирование устройств	101
4.4.7.2. PCI BIOS	102
Контрольные вопросы к разделу 4.4	102
4.5. Интерфейс ввода-вывода хоста AGP.	103
4.6. Интерфейс ввода-вывода хоста PCI Express	105
4.6.1. Общие сведения	105
4.6.2. Элементы и топология соединений PCI Express	106
4.6.3. Архитектурная модель PCI Express	107
4.6.3.1. Структурные компоненты модели	107
4.6.3.2. Передача пакетов и пропускная способность соединения	108
4.6.4. Физический уровень и конструктивы PCI Express	109
4.7. Интерфейс LPC	111
Контрольные вопросы к разделам 4.5 – 4.7	113
Глава 5. Малые интерфейсы ввода-вывода	114
5.1. Общие сведения	114
5.2. Малые ИВВ персональных компьютеров	114
5.2.1. Интерфейс НГМД	114
5.2.2. Интерфейс ST-506 (ST-412) и ESDI жестких дисков	116
5.2.3. Интерфейсы видеомониторов	117
5.2.3.1. Общие сведения	117
5.2.3.2. Дискретный интерфейс RGB TTL.	117
5.2.3.3. Аналоговые интерфейсы RGB	117
5.2.3.4. Цифровые интерфейсы P&D, DVI и DFP.	120
5.2.3.5. Телевизионные интерфейсы	123
5.2.4. Интерфейсы звуковых адаптеров	125
5.2.5. Интерфейс игровых устройств: Game порт	127
Контрольные вопросы	127
Глава 6. Периферийные интерфейсы ввода-вывода	129
6.1. Общие сведения	129
6.2. Специализированные периферийные интерфейсы ввода-вывода ПК	130
6.2.1. Интерфейс MIDI	130

6.2.2. Интерфейсы клавиатуры и PS/2 Mouse	131
6.2.2.1. Общие сведения	131
6.2.2.2. Адаптер клавиатуры и PS/2 Mouse	132
6.2.2.2.1. Общие сведения	132
6.2.2.2.2. Программно доступные регистры адаптера	134
6.2.2.3. Интерфейсы: адаптер - клавиатура и адаптер - PS/2 Mouse	134
6.2.2.3.1. Общие сведения	134
6.2.2.3.2. Интерфейс клавиатуры	135
6.2.2.3.3. Интерфейс PS/2 Mouse	135
6.2.3. Периферийные ИВВ IDE - ATA/ATAPI и SATA	137
6.2.3.1. Общие сведения	137
6.2.3.2. Параллельный интерфейс ATA	139
6.2.3.2.1. Общие сведения	139
6.2.3.2.2. Физический интерфейс	139
6.2.3.2.3. Назначение сигналов ATA	140
6.2.3.2.4. Режимы передачи данных для устройств ATA	141
6.2.3.2. Интерфейс Serial ATA	142
6.2.3.2.1. Общие сведения	142
6.2.3.2.2. Физический интерфейс SATA	144
Контрольные вопросы к разделам 6.1 и 6.2	145
6.3. Беспроводные периферийные ИВВ	146
6.3.1. Общие сведения	146
6.3.2. Инфракрасный интерфейс IrDA	146
6.3.2.1. Общие сведения	146
6.3.2.2. Протоколы спецификации IrDA	147
6.3.2.3. Приемопередатчики и ИК-адаптеры	148
6.3.3. Радиointерфейс Bluetooth	149
6.3.3.1. Общие сведения	149
6.3.3.2. Физические каналы и пикосети	149
6.3.3.3. Синхронизация и установление соединений	152
Контрольные вопросы к разделу 6.3	153
6.4. Универсальные периферийные интерфейсы ввода-вывода	153
6.4.1. Общие сведения	153
6.4.2. Универсальный параллельный периферийный ИВВ - LPT-порт.	154
6.4.2.1. Общие сведения	154
6.4.2.2. Традиционный LPT-порт	154
6.4.2.3. Стандарт IEEE 1284	157
6.4.3. Универсальный последовательный периферийный ИВВ - COM-порт (RS-232C).	158
6.4.3.1. Общие сведения	158
6.4.3.2. Интерфейс RS-232C	159
6.4.3.3. Родственные интерфейсы RS-422A, RS-423A и RS-485	161
6.4.3.4. Асинхронный режим передачи	162
6.4.3.5. Микросхемы асинхронных приемопередатчиков	163
Контрольные вопросы к разделам 6.4.1 – 6.4.3	163
6.4.4. Универсальный периферийный ИВВ USB.	164
6.4.4.1. Общие сведения	164
6.4.4.2. Архитектура USB	164
6.4.4.3. Топология ИВВ USB	166
6.4.4.4. Модель передачи данных	167
6.4.4.4.1. Общие сведения	168
6.4.4.4.2. Запросы, пакеты и транзакции	168

6.4.4.4.3. Каналы	169
6.4.4.5. Организация обменов по USB	170
6.4.4.5.1. Кадры и микрокадры	170
6.4.4.5.2. Протокол USB	171
6.4.4.6. Физический интерфейс	172
6.4.4.6.1. Кабели и разъемы.	172
6.4.4.6.2. Сигнальный интерфейс	173
6.4.4.7. Хабы USB	175
6.4.4.8. Хост-контроллер	175
Контрольные вопросы к разделу 6.4.4.	175
6.4.5. Периферийный ИВВ IEEE 1394 – FireWire	176
6.4.5.1. Общие сведения	176
6.4.5.2. Спецификации	177
Контрольные вопросы к разделу 6.4.5	178
6.4.6. Универсальный периферийный ИВВ SCSI.	178
6.4.6.1. Общие сведения	178
6.4.6.2. Спецификации SCSI	179
6.4.6.3. Архитектурная модель SAM	179
6.4.6.4. Хост-адаптер SCSI	181
6.4.6.5. SCSI с параллельными шинами	182
6.4.6.5.1. Общие сведения	182
6.4.6.5.2. Версии параллельного ИВВ SCSI	182
6.4.6.6. Устройства SCSI с последовательным интерфейсом – SAS	184
6.4.6.6.1. Общие сведения	184
6.4.6.6.2. Устройства, порты и соединения SAS	184
6.4.6.6.3. Топология домена и маршрутизация	185
6.4.6.6.4. Архитектурная модель SAS	186
6.4.6.6.5. Физический уровень SAS	186
6.4.7. Периферийный ИВВ Fibre Channel	188
Контрольные вопросы к разделам 6.4.6 – 6.4.7	189
Часть III. Внешние интерфейсы ввода-вывода	190
Глава 7. Подсистемы системы ввода-вывода	190
7.1. Общие сведения	190
7.2. Подсистема связи с объектами управления	191
7.3. Подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам	191
7.4. Подсистема взаимодействия с пользователем	192
7.5. Подсистема внешней памяти	193
Контрольные вопросы	193
Глава 8. Подсистема связи с объектами управления.	194
8.1. Система ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов	194
8.1.1. Общие сведения	194
8.1.2. Выбор параметров аналого-цифрового преобразования	195
8.1.3. Компоненты системы ввода-вывода аналоговых сигналов	198
8.1.3.1. Общие сведения	198
8.1.3.2. Преобразователи цифрового кода в напряжение постоянного тока	199
8.1.3.3. Преобразователи напряжения постоянного тока в цифровой двоичный	200
8.1.3.4. Многоканальные АЦП и ЦАП	203
8.1.4. Структура и управление системой ввода-вывода аналоговых сигналов	204
Контрольные вопросы к разделу 8.1	206

8.2. Интерфейс IEEE-488 (GPIB)	206
8.2.1. Общие сведения	206
8.2.2. Линии и сигналы интерфейса	208
Контрольные вопросы к разделу 8.2	210
8.3. Интерфейсы системы КАМАК	210
8.3.1. Общие сведения	210
8.3.2. Интерфейс магистрали крейта	212
8.3.2.1. Общие сведения	212
8.3.2.2. Логическая организация	212
8.3.2.3. Физическая реализация	214
8.3.2.4. Контроллеры крейта	214
Контрольные вопросы к разделу 8.3	215
Глава 9. Подсистема подключения к вычислительным сетям и вычислительным комплексам	216
9.1. Общие сведения	216
9.2. Подключение ПК к вычислительным сетям	216
9.2.1. Общие сведения	216
9.2.2. Модемы и факс-модемы	217
9.2.2.1. Общие сведения	217
9.2.2.2. Модемы для телефонных линий	219
9.2.2.3. Технологии xDSL и кабельные модемы	221
9.2.2.4. Модемы для выделенных линий	222
9.2.3. Подключение к проводным локальным сетям	223
9.2.3.1. Общие сведения	223
9.2.3.2. Организация сетей Ethernet	223
9.2.3.3. Сетевые адаптеры	225
9.2.4. Подключение к беспроводным сетям (Wi-Fi)	226
9.3. Объединение ЭВМ в многомашинные ВК	228
Контрольные вопросы	230
Глава 10. Подсистема взаимодействия с пользователем	232
10.1. Общие сведения	232
10.2. Подсистема ввода-вывода визуальной информации	232
10.2.1. Общие сведения	232
10.2.2. Видеосистема ПК	233
10.2.2.1. Общие сведения	233
10.2.2.2. Принципы вывода изображений	235
10.2.2.2.1. Общие сведения	235
10.2.2.2.2. Графический режим	236
10.2.2.2.3. Текстовый режим	237
10.2.2.2.4. Обработка видеоизображений	239
10.2.2.2.5. Стандарты MPEG	241
10.2.2.2.6. «Интеллект» видеоадаптера	242
10.2.2.2.7. Трехмерная графика	243
10.2.2.2.8. Графический 3D-конвейер	244
10.2.2.3. Устройства отображения	244
10.2.2.3.1. Общие сведения	244
10.2.2.3.2. Электронно-лучевой дисплей	245
10.2.2.3.3. Матричные дисплеи	246
10.2.2.3.4. Трехмерный вывод изображения и виртуальная реальность	250
10.2.2.4. Видеоадаптеры	251
10.2.2.4.1. Общие сведения	251

10.2.2.4.2. Компоненты видеоадаптера	251
Контрольные вопросы к разделу 10.2.2.	254
10.2.3. Устройства ввода-вывода, использующие носители твердых копий визуальной информации	255
10.2.3.1. Общие сведения	255
10.2.3.2. Принтеры и плоттеры	255
10.2.3.2.1 Общие сведения	255
10.2.3.2.2. Матричные игольчатые принтеры	256
10.2.3.2.3. Термопринтеры	257
10.2.3.2.4. Струйные принтеры	257
10.2.3.2.5. Твердокрасочные и сублимационные принтеры	258
10.2.3.2.6. Лазерные и светодиодные принтеры	258
10.2.3.2.7. Цветная печать и фотопринтеры	259
10.2.3.2.8. Плоттеры.	260
10.2.3.2.9. Форматы данных	261
10.2.3.2.10. Интерфейсы принтеров и плоттеров.	262
10.2.3.3. Сканеры	263
Контрольные вопросы к разделу 10.2.3.	264
10.3. Подсистема ввода-вывода звуковой информации	265
10.3.1. Общие сведения	265
10.3.2. Аудиосистема ПК	265
10.3.2.1. Общие сведения	265
10.3.2.2. Краткий экскурс в прикладную звукотехнику	266
10.3.2.2.1. Общие сведения	266
10.3.2.2.2. Оцифровка звуковых сигналов.	267
10.3.2.2.3. Методы компрессии звуковой информации	269
10.3.2.2.4. Методы синтеза звуков	270
10.3.2.2.5. Стереофоническое и объемное воспроизведение	272
10.3.2.3. Звуковые адаптеры PC	273
10.3.2.3.1. Общие сведения	273
10.3.2.3.2. Аналоговые звуковые карты	274
10.3.2.3.3. Цифровые технологии в звуковых картах	275
10.3.2.3.4. Аудиокодек AC'97	275
10.3.2.3.4.1. Общие сведения	275
10.3.2.3.4.2. Цифровой интерфейс AC-Link	276
10.3.2.3.5. Многоканальный звук — High Definition Audio	277
10.3.2.3.5.1. Общие сведения	277
10.3.2.3.5.2. Интерфейс HDA Link	278
Контрольные вопросы к разделу 10.3.2.	279
10.3.3. Система ввода-вывода речевой информации	280
10.3.3.1. Общие сведения	280
10.3.3.2. Механизмы формирования и восприятия речи человеком	280
10.3.3.3. Структура речевого сигнала	282
10.3.3.4. Формирование речевых сообщений и подсистемы вывода речи	283
10.3.3.4.1. Общие сведения	283
10.3.3.4.2. Формирование речевого сообщения по образцам	284
10.3.3.4.3. Синтез речевых сообщений по правилам	284
10.3.3.5. Система ввода речевых сообщений	287
Контрольные вопросы к разделу 10.3.3.	289
10.4. Устройства непосредственного механического и осязательного (тактильного) взаимодействия	289
10.4.1. Общие сведения	289

10.4.2. Клавиатура	289
10.4.3. Манипуляторы-указатели — мышь, трекбол	290
10.4.4. Планшеты	291
10.4.5. Игровые устройства — джойстик, руль, педали	292
10.4.6. Устройства виртуальной реальности	292
10.4.6.1. Общие сведения	292
10.4.6.2. Шлемы виртуальной реальности	293
10.4.6.2.1. Общие сведения	293
10.4.6.2.2. Системы виртуальной ориентации	293
10.4.6.3. Кибер-перчатки	294
Контрольные вопросы к разделу 10.4	295
Глава 11. Подсистема внешней памяти	296
11.1. Принцип действия и назначение устройств хранения	296
11.2. Основные характеристики устройств хранения	297
11.3. Интерфейсы устройств хранения	298
11.4. Устройства хранения на магнитных дисках	299
11.4.1. Общие сведения	299
11.4.2. Накопители на гибких магнитных дисках	302
11.4.3. Накопители на жестких магнитных дисках — винчестеры	303
11.4.3.1. Общие сведения	303
11.4.3.2. Конструкция НЖМД	303
11.4.3.3. Блок электроники НЖМД	305
11.4.4. Сменные магнитные диски большой емкости	306
11.4.4.1. Диски на гибких носителях	306
11.4.4.2. Сменные носители с дисками на жесткой основе	307
11.4.5. Магнитооптические диски	307
11.5. Оптические диски — CD, DVD и др.	308
11.5.1. Общие сведения	308
11.5.2. Диски CD, CD-R, CD-RW	309
11.5.2.1. Общие сведения	309
11.5.2.2. Носители информации CD	311
11.5.3. Диски DVD	312
11.5.4. Диски FMD	312
11.5.5. Голографические оптические диски	313
11.6. Ленточные устройства — стримеры.	313
11.7. Твердотельные устройства хранения	314
11.7.1. Общие сведения	314
11.7.2. Флэш-память USB	315
Контрольные вопросы	316
Термины и сокращения	317
Алфавитный указатель	346
Список литературы	364

Учебное издание

ПАВЛОВ Виктор Александрович

***ИНТЕРФЕЙСЫ
ПЕРИФЕРИЙНЫХ
УСТРОЙСТВ***

Учебное пособие для вузов

Подписано к печати 17.12.10 Формат 60×84 ¹/₈. Усл. Печ. л 43,7.
Тираж 200 экз. Заказ № 5354

Отпечатано в полном соответствии с качеством представленных оригиналов
В ГУП РМ «Республиканская типография „Красный Октябрь”»
430000, Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, 55а
E-mail: tko-saransk@mail.ru