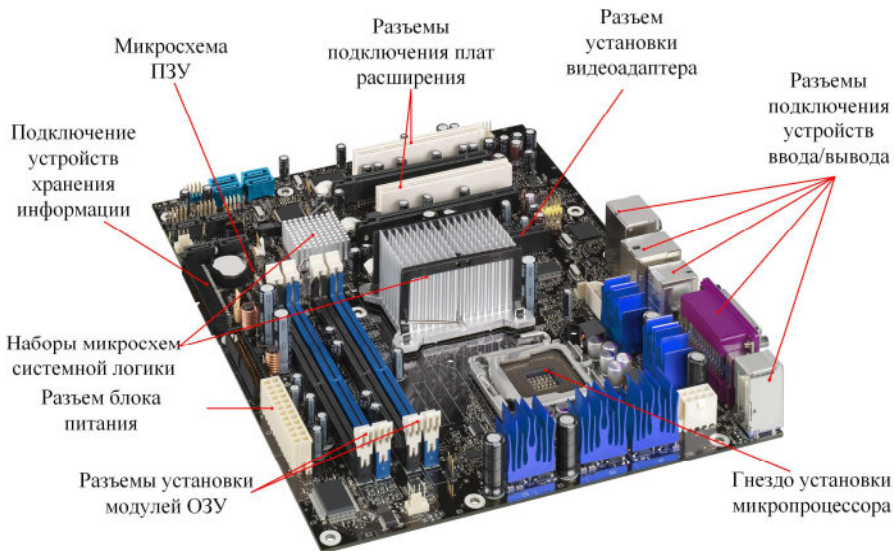


И. В. ТЮРИН

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА



Тамбов

• Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» •

2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

И. В. ТЮРИН

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов
технических специальностей и направлений



Тамбов
• Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» •
2019

УДК 004(075.32)

ББК 32.97я723

Т98

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Теоретическая и экспериментальная физика»
ФГБОУ ВО «ТГУ им. Г. Р. Державина»

И. И. Пасечников

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Энергообеспечение предприятий и теплотехника»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

А. Н. Грибков

А. Н. Грибков

Т98 **Тюрин И. В.**

Вычислительная техника : учебное пособие / И. В. Тюрин. –
Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. –
112 с. – ISBN 978-5-8265-2099-4

Представлены базовые сведения в области средств вычислительной техники. Рассмотрены основы математического аппарата функционирования компьютерной техники. Приведены классификация и основные технические характеристики ЭВМ. Даны сведения о составе, устройстве и принципах действия типовых функциональных узлов цифровой техники, а также компонентов и узлов микропроцессорной компьютерной техники. Изложены принципы взаимодействия технического и программного обеспечения ЭВМ, представлены сведения о сетях передачи данных, методах и средствах коммуникационного взаимодействия. Рассмотрены основные компоненты программного обеспечения ЭВМ, приведены примеры различных программных пакетов и информационных систем, применяемых на различных этапах жизненного цикла электронных средств.

Предназначено для студентов технических специальностей и направлений.

УДК 004(075.32)

ББК 32.97я723

ISBN 978-5-8265-2099-4

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2019

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

<i>AGP</i>	– <i>Accelerated Graphics Port</i> – ускоренный графический порт
<i>ASCII</i>	– <i>American Standard Code for Information Interchange</i> – американский стандартный код для информационного обмена
<i>ATA</i>	– <i>Advanced Technology Attachment</i> – усовершенствованная технология подключения
<i>BIOS</i>	– <i>Basic Input / Output System</i> – базовая система ввода/вывода
<i>CD</i>	– <i>Compact Disk</i> – компакт-диск
<i>CF</i>	– <i>Compact Flash</i> – тип внешней флэш-памяти
<i>CGA</i>	– <i>Color Graphics Adapter</i> – цветной графический адаптер
<i>CIS</i>	– <i>Contact Image Sensor</i> – контактный сенсор изображения
<i>CISC</i>	– <i>Complete Instruction Set Computer</i> – компьютер с полным набором инструкций (команд)
<i>CMOS</i>	– <i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i> (см. КМОП)
<i>CNR</i>	– <i>Communications and Networking Riser</i> – разъём подключения плат расширения, выполняющих сетевые и коммуникационные функции
<i>CPU</i>	– <i>Central Processing Unit</i> – центральный процессорный блок
<i>DIN</i>	– <i>Deutsches Institut für Normung</i> – Немецкий институт стандартизации
<i>DOS</i>	– <i>Disk Operation System</i> – дисковая операционная система
<i>dpi</i>	– <i>dot per inch</i> – внесистемная единица измерения разрешения изображения, выражаемая в точках на дюйм
<i>DRAM</i>	– <i>Dynamic RAM</i> – динамическое RAM
<i>DVD</i>	– <i>Digital Versatile (Video) Disc</i> – цифровой многоцелевой (видео) диск

- DVI* – *Digital Visual Interface* – цифровой видеоинтерфейс
- EEPROM* – *Electrically EPROM* – электрически стираемая EPROM (см. ПЗУ ЭС)
- EGA* – *Enhanced Graphics Adapter* – улучшенный графический адаптер
- FDD* – *Floppy Disk Drive* (см. НГМД)
- FIFO* – *First In – First Out* – первый вошёл – первый вышел (порядок работы конвейера при записи/чтении команд)
- FREEBSD* – *Free Berkley Software Design* – UNIX-подобная программная разработка университета Беркли со свободным кодом
- GPU* – *Graphics Processing Unit* – графическое процессорное устройство
- HDD* – *Hard Disk Drive* (см. НЖМД)
- HDMI* – *High Definition Multimedia Interface* – интерфейс для мультимедиа высокой чёткости
- iCOMP* – *Intel Comparative Microprocessor Performance* – индекс сравнительной оценки производительности микропроцессоров компании *Intel*
- ISO* – *International Standards Organization* – Международная организация по стандартизации
- LINUX* – *Linus UNIX* – UNIX-подобная ОС разработчика Линуса Торвальдса
- MDA* – *Monochrome Display Adapter* – монохромный адаптер дисплея
- MMC* – *Multi Media Card* – тип внешней флэш-памяти
- MP3* – *MPEG 3-го уровня* (см. *MPEG*)
- MPEG* – *Moving Picture coding Experts Group* – группа экспертов по кодированию подвижных изображений (название группы стандартов кодирования мультимедийной информации)
- NAND* – *Not AND* – И-НЕ (логическая функция)
- NOR* – *Not OR* – ИЛИ-НЕ (логическая функция)

<i>PCI</i>	– <i>Peripheral Component Interconnect</i> – шина взаимодействия периферийных компонентов
<i>PCMCIA</i>	– <i>Personal Computer Memory Card International Association</i> – международная ассоциация по разработке стандартов на модули памяти и другие платы расширения для ПК
<i>RAM</i>	– <i>Random Access Memory</i> – память с произвольным доступом (см. ОЗУ)
<i>RGB</i>	– <i>Red, Green, Blue</i> – красный, зелёный, синий (аддитивная цветовая модель, описывающая способ синтеза цвета для цветовоспроизведения)
<i>RISC</i>	– <i>Reduce Instruction Set Computer</i> – компьютер с сокращённым набором инструкций (команд)
<i>ROM</i>	– <i>Read Only Memory</i> – память только для чтения (см. ПЗУ)
<i>SAS</i>	– <i>Serial Attached SCSI</i> – последовательный <i>SCSI</i>
<i>SCSI</i>	– <i>Small Computer System Interface</i> – интерфейс малых вычислительных систем
<i>SD</i>	– <i>Secure Digital</i> – тип внешней флэш-памяти
<i>SM</i>	– <i>Smart Media</i> – тип внешней флэш-памяти
<i>SoC</i>	– <i>System-on-a-Chip</i> – системы на кристалле (технология изготовления микросхем)
<i>SSD</i>	– <i>Solid-State Drive</i> – твёрдотельное устройство
<i>UNICS</i>	– <i>UNIplicated Information and Computing System</i> – однослойная информационная и компьютерная система
<i>UNIX</i>	– см. <i>UNICS</i>
<i>USB</i>	– <i>Universal Serial Bus</i> – универсальная последовательная шина
<i>VGA</i>	– <i>Video Graphics Array</i> – видеографический массив
<i>ABM</i>	– аналоговая ЭВМ
<i>АЛУ</i>	– арифметико-логическое устройство
<i>АРМ</i>	– автоматизированное рабочее место
<i>АЦП</i>	– аналого-цифровой преобразователь
<i>АЦПУ</i>	– алфавитно-цифровое печатающее устройство

БИС	–	большая интегральная схема
ГВМ	–	гибридная ЭВМ
ЕСКД	–	Единая система конструкторской документации
ЖК	–	жидкий кристалл
ИМС	–	интегральная микросхема
МДНФ	–	минимальная дизъюнктивная нормальная форма
МКНФ	–	минимальная конъюнктивная нормальная форма
НГМД	–	накопитель на гибких магнитных дисках
НЖМД	–	накопитель на жёстких магнитных дисках
ОЗУ	–	оперативное запоминающее устройство
ПЗС	–	прибор с зарядовой связью
ПЗУ	–	постоянное запоминающее устройство
ПК	–	персональный компьютер
ПО	–	программное обеспечение
ПЭВМ	–	персональная ЭВМ
САПР	–	система автоматизированного проектирования
СБИС	–	сверхбольшая интегральная схема
СВТ	–	средство вычислительной техники
СДНФ	–	совершенная дизъюнктивная нормальная форма
СКНФ	–	совершенная конъюнктивная нормальная форма
УГО	–	условное графическое обозначение
ФЭУ	–	фотоэлектронный умножитель
ЦАП	–	цифроаналоговый преобразователь
ЦВМ	–	цифровая ЭВМ
ЭЛТ	–	электронно-лучевая трубка

ВВЕДЕНИЕ

Средства вычислительной техники (СВТ) используются практически во всех сферах деятельности современного человека. Информатизация общества непрерывно растёт, что в свою очередь требует постоянного развития компьютерной техники. Возникнув несколько тысячелетий назад, первые примитивные СВТ были направлены исключительно на облегчение выполнения простейших арифметических действий, а современные ЭВМ позволяют не только выполнять сложнейшие математические расчёты, но и обрабатывать текст, графику, видео и звук. Микроминиатюризация электронной компонентной базы и появление однокристальных микроЭВМ привело к широчайшему внедрению микропроцессорных СВТ во всевозможные технические устройства, и к настоящему времени такие СВТ окружают человека со всех сторон. Они используются во всех видах космической и наземной радиосвязи, в медицинской технике, на транспорте, в средствах промышленной автоматизации, в бытовой радиоэлектронной аппаратуре и технике специального назначения. Любое современное электронное средство, использующее СВТ, можно рассматривать как симбиоз аппаратных и программных средств, поэтому к полному отказу устройства может привести сбой как в техническом, так и в программном обеспечении СВТ.

Глубочайшая информатизация, охватившая все слои общества за счёт использования глобальных коммуникационных сетей, приносит не только благо, но и таит ряд серьёзных угроз, связанных как с безопасностью персональной информации, так и сведений государственного масштаба. Известно, что важная информация зачастую оценивается значительно выше, чем стоимость технических средств, с помощью которых она была создана. Уинстон Черчилль говорил, что тот, кто владеет информацией, владеет всем миром. Желających владеть миром, а соответственно и информацией, тоже немало, поэтому такое широкое распространение в последние годы получили различные виды так называемых киберпреступлений, а также настоящие информационные войны, направленные на достижение корпоративных и даже государственных целей.

Такое массовое применение СВТ и рост глобальных вызовов требует не только высококвалифицированных инженеров и технических специалистов для проектирования и обслуживания, ремонта и модернизации вычислительной техники, но и программистов и специалистов в области информационной безопасности. Современные специалисты в областях конструирования электронных микропроцессорных средств, инфокоммуникационных технологий и систем связи должны

обладать целым рядом компетенций в сервисно-эксплуатационной, проектно-конструкторской, производственно-технологической, экспериментально-исследовательской и организационно-управленческой профессиональной деятельности.

Целью данного учебного пособия является формирование основополагающих знаний о принципах функционирования отдельных компонентов и узлов СВТ, способах представления информации в ЭВМ, базовых сетевых технологиях и особенностях взаимодействия программного и аппаратного обеспечения СВТ для успешного освоения студентом целого ряда специальных дисциплин в рамках образовательной программы.

Учебное пособие структурировано по главам. В первой главе приводятся сведения общего характера об СВТ. Во второй главе рассматриваются основы математического аппарата, используемого в СВТ различного назначения. В третьей главе даются сведения о стандартных узлах и устройствах вычислительной техники, в том числе о процессорах, устройствах ввода-вывода информации, шинах и интерфейсах, с помощью которых осуществляется взаимодействие компонентов компьютера.

Учебное пособие учитывает все требования Федеральных государственных образовательных стандартов 3-го поколения, предъявляемые к подготовке бакалавров всех форм обучения в учебных заведениях высшего образования при изучении дисциплин «Вычислительная техника», «Вычислительная техника и САПР», «Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств» по направлениям «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Конструирование и технология электронных средств».

Материалы пособия могут быть полезны студентам и другим техническим направлениям и специальностям.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СРЕДСТВАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

С развитием научных знаний и формированием представления об окружающем мире, человечество преодолело длинный путь развития общества, и на определённом этапе этого пути люди столкнулись с проблемой, связанной с обработкой накопленной информации. Создание всё более сложных технических систем требовало множества математических расчётов, многие из которых ручным способом выполнить было затруднительно либо вовсе невозможно. Поэтому автоматизация вычислительных операций с древних времён была приоритетным направлением развития науки и техники.

К настоящему времени нет такой сферы деятельности человека, в которой не использовались бы разнообразные средства вычислительной техники – персональные компьютеры (ПК), микроконтроллеры для управления техническими объектами, калькуляторы и супер-ЭВМ. Вычислительная техника используется на транспорте, в медицине, научных исследованиях, в сфере экономики и образовании. Любое современное промышленное предприятие для выпуска своей продукции использует различные СВТ для управления производственным оборудованием и технологическими процессами. В свою очередь, развитие вычислительной техники привело к тому, что информация в обществе стала приобретать всё большее значение, и стала представлять собой очень важный нематериальный ресурс, обладание которым позволяет добиться успешного решения поставленных задач. Появление и широкое распространение электронных средств массовой информации, возникновение глобальных коммуникационных сетей для обмена и передачи потоков информации привело к возможности оперативного информационного взаимодействия целых слоёв населения и формирования массового сознания. Именно поэтому так называемые «информационные войны» стали типичным событием нашего времени.

1.1. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Необходимость проводить простые арифметические операции появились с самого начала существования человека. С развитием прогресса постоянно возникала потребность в новых технических объектах, что приводило к увеличению научных знаний и, соответственно, усложнению математических вычислений и инженерных расчётов. Поэтому издревле люди изыскивали различные средства для проведения вычислений [1 – 5]. Упрощённо все типы СВТ можно разделить на

ручные, механические и электронно-счётные, поэтому часто историю развития СВТ также связывают с возникновением тех или иных типов счётных инструментов и выделяют немеханический, механический и электронно-вычислительный периоды. В этой связи следует заметить, что указанные периоды развития не имеют четко очерченных временных границ, поскольку СВТ различных типов зачастую создавались и развивались независимо друг от друга. Так, счёты, возникнув ещё в XV в., благополучно просуществовали до конца XX в.

Традиционно этапы развития электронной компьютерной техники принято связывать с типом основной элементной базы (лампы, полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, микропроцессоры), используемой в ЭВМ, и называть поколениями. Рассмотрим их основные особенности.

1-е поколение (1944 – 1954 гг.). В машинах этого поколения использовались электровакуумные приборы, что приводило к большим энергетическим затратам. Компьютеры этого поколения отличались значительными габаритами и массой при общей невысокой надёжности и вычислительной мощности. Типичными примерами машин 1-го поколения в Европе являются Z4 К. Цузе (1950 г.), а в Америке – *ENIAC* и *EDVAC*. В Советском Союзе под руководством академика С. А. Лебедева в 1952 г. была создана вычислительная машина типа БЭСМ-1 («быстродействующая электронная счётная машина») (рис. 1.1, *а*). Она содержала около 5000 ламп и могла выполнять около 8000 операций в секунду. Трёхадресное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), выполненное на ртутных трубках, имело ёмкость 1024 слова по 39 двоичных разрядов каждое. На то время это была самая быстродействующая ЭВМ в Европе, уступая лишь американской *IBM 701*. Большой вклад в развитие отечественной вычислительной техники также



а



б

Рис. 1.1. Отечественные ЭВМ первого и второго поколений:

а – академик С. А. Лебедев представляет БЭСМ-1;

б – суперкомпьютер БЭСМ-2

внесли академики М. В. Келдыш, В. М. Глушков, В. С. Семенихин и др. Программы для машин первого поколения уже можно было составлять не на машинном языке, а на языке ассемблера.

2-е поколение (1955 – 1964 гг.). Вычислительные машины второго поколения были выполнены уже на полупроводниковых приборах. В то время разработка ЭВМ велась в двух направлениях. Первое связано с созданием дорогостоящих машин-гигантов (мейнфреймов), требующих больших помещений, систем охлаждения, зато обладающих значительной (на тот период времени) вычислительной мощностью и предназначенных для проведения сложных и ответственных вычислений. Второе направление основано на разработке мини-ЭВМ, хотя и не отличающихся высокой производительностью, зато имеющих небольшие габариты, массу и стоимость, поэтому применение таких ЭВМ стало приобретать массовый характер. В США наибольшее распространение получили транзисторные ЭВМ *PDP-1* (рис. 1.2, *а*) и *CDC 6600* (рис. 1.2, *б*) соответственно.

Разработка программ для этих ЭВМ осуществлялась на первых языках высокого уровня – *FORTRAN*, *ALGOL*, *COBOL* и др. Интересно отметить, что первая в мире компьютерная игра была написана студентами Массачусетского технологического института для компьютера *PDP-1*. Этот компьютер имел быстродействие 200 000 операций в секунду и в 1961 г. стал самым мощным в мире.

Наиболее успешным отечественным суперкомпьютером 2-го поколения, безусловно, является БЭСМ-6, разработка которого завершена в 1966 г. (см. рис. 1.1, *б*). Среднее быстродействие машины – 1 млн операций в секунду. Основное ОЗУ имело ёмкость 32 768 слова по 50 двоичных разрядов каждое. Заложенные в конструкцию машины самые современные на тот момент времени требования автоматизации



а



б

Рис. 1.2. Американские ЭВМ 2-го поколения:
а – машина *PDP-1* (1961 г.); *б* – машина *CDC 6600* (1964 г.)

программирования, возможности многозадачной работы в режиме мультипрограммирования с разделением времени и другие особенности, позволили серийно выпускать эту ЭВМ вплоть до 1987 г. Кроме машин серии БЭСМ, серийно выпускались менее мощные ЭВМ типов «Наири», «Минск», «Урал» и др.

3-е поколение (1965 – 1977 гг.). Вместо дискретных полупроводниковых приборов в функциональных узлах ЭВМ стали использоваться интегральные микросхемы (ИМС) малой степени интеграции, что позволило существенно повысить производительность и надёжность, увеличить объём оперативной памяти, снизить габариты, массу, энергопотребление и стоимость. Программное обеспечение становится дорогим, поэтому появляется тенденция к созданию государственных и межгосударственных систем обработки данных, совместимых на уровне стандартов. Эта стандартизация привела к появлению так называемых семейств ЭВМ, совместимых между собой на программно-аппаратном уровне. Наиболее известными зарубежными ЭВМ 3-го поколения того времени являются машины типа *IBM 360*, а наиболее мощными отечественными компьютерами – семейство программно совместимых ЭВМ, которое было названо «Единая система электронных вычислительных машин», или сокращённо ЕС ЭВМ (рис. 1.3). Самой производительной отечественной ЭВМ того периода была машина ЕС-1060 с 32-разрядной архитектурой, быстродействием около 2 млн операций в секунду и оперативной памятью до 16 Мб. Стандарт ЕС ЭВМ был на то время одним из самых передовых в мире; наиболее продвинутые машины этого семейства не уступали, а по некоторым функциональным возможностям превосходили самые мощные американские аналоги. Проект ЕС ЭВМ предусматривал развитие отечест-



а



б

Рис. 1.3. Отечественные ЭВМ 3-го поколения:

а – машина ЕС-1030 (1972 г.); *б* – печатающее устройство ЕС-7038

венных машин в течение нескольких этапов – рядов, характеризующихся введением новой элементной базы, улучшенными техническими характеристиками и программным обеспечением. Так, в сериях устройств третьего и четвёртого рядов был запланирован и частично реализован ряд технических усовершенствований, не имевших аналогов в машинах семейств *IBM 360/370*. Например, реализовывались специализированные вычислительные блоки – векторные и матричные процессоры, а также процессоры, работавшие на иных физических принципах (оптический) и др. После 1991 года все эти разработки были остановлены.

4-е поколение (с 1971 г. и по настоящее время). В эти годы активно разрабатываются и производятся большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС), позволяющие разместить на одном кристалле десятки тысяч элементов. В 1971 году фирмой *Intel* был выпущен первый четырёхразрядный микропроцессор 8004, и в мире вычислительной техники появилось ещё одно направление – микропроцессорное. Вскоре появился восьмиразрядный процессор, а в 1973 г. был создан процессор *Intel 8080*, который мог адресовать 64 Кбайт памяти и на базе которого в 1975 г. фирма *IBM* выпустила свой первый персональный компьютер. Модель имела 16 Кбайт памяти, встроенный интерпретатор языка *BASIC* и встроенный кассетный накопитель на магнитной ленте. Усовершенствованный вариант микропроцессора – *Intel 8088*, имеющий 8-разрядную шину данных и работающий на частоте 4,77 МГц, позволил 12 августа 1981 г. фирме *IBM* представить свой компьютер *IBM PC* (рис. 1.4), который оказался настолько удачным, что дал начало целому семейству компьютеров.

Параллельно с разработками *IBM* свой первый персональный компьютер изготовили Стивен Джобс и Стив Возняк, которому дали



a



б

Рис. 1.4. Первый персональный компьютер *IBM PC*:
a – внешний вид; *б* – микросхема процессора *Intel 8088*

название *Apple-1*. Возникшая в небольшой гаражной мастерской фирма *Apple* к настоящему времени стала гигантом компьютерной индустрии.

Вскоре фирма *Intel* освоила выпуск новой серии 16-разрядных процессоров – *Intel 80286*. Соответственно, появилась и новая модель *IBM PC*. Она получила название *IBM PC AT*. Следующий этап – разработка 32-разрядных микропроцессоров *Intel 80386* и *Intel 80486*, а в 1995 г. были разработаны процессоры *Pentium*, усовершенствованные модификации которых широко применяются во всём мире. Другой гигант микропроцессорной техники – фирма *AMD*, которая первоначально выпускала клоны процессоров *Intel*, вскоре стала производить собственные микропроцессоры для платформы *IBM PC*, и на сегодняшний день процессоры фирм *Intel* и *AMD* применяются в большей части мирового парка персональных компьютеров.

Советские разработки микропроцессоров 1980-х гг. (например, микропроцессорного семейства «Эльбрус») из-за огромной популярности компьютеров *IBM* и *Apple* в то время не нашли широкого применения. Электронная промышленность смогла освоить только 8-разрядный аналог микропроцессора *Intel*, поэтому 16- и 32-разрядные персональные ЭВМ (ПЭВМ) появились после 1990 г. Наиболее известными ПЭВМ той эпохи стали модели ЕС-1840, на базе процессора КМ1810ВМ86 – аналога процессора *Intel 8086*, и ЕС-1842 с процессором КМ1810ВМ86М, совместимым с процессором *Intel 80286*. Эти ПЭВМ стали последними самыми производительными советскими компьютерами, выполненными полностью на отечественной элементной базе (рис. 1.5).

В настоящее время в России одним из главных разработчиков отечественных микропроцессоров является ЗАО «МЦСТ», выпускающее линейку микропроцессоров «Эльбрус», а также специализированное программное обеспечение для компьютеров на базе этих процесс-

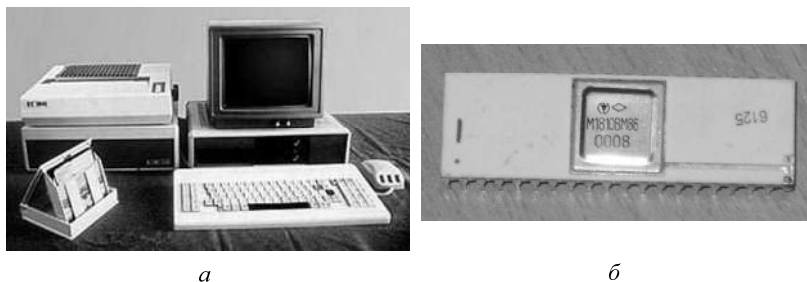


Рис. 1.5. Советский персональный компьютер ЕС-1841:
а – внешний вид; *б* – микросхема процессора КМ1810ВМ86

соров. Наиболее мощным является процессор «Эльбрус-4С» (1891ВМ8Я), представляющий собой четырёхядерный универсальный высокопроизводительный микропроцессор. Области применения микропроцессоров «Эльбрус-4С» – серверы, рабочие станции, мощные встраиваемые вычислители, предназначенные для работы с повышенными требованиями к информационной безопасности, надёжности и к воздействию внешних дестабилизирующих факторов (рис. 1.6). Особенности архитектуры «Эльбрус» позволяют эффективно применять микропроцессор в системах цифровой интеллектуальной обработки сигналов, в математическом моделировании, инженерных расчётах и других сферах с повышенными требованиями к вычислительной мощности.

5-е поколение (с 1991 г. и по настоящее время). Микропроцессорное направление развития ЭВМ, направленное на появление у средств вычислительной техники принципиально новых возможностей: взаимодействие с помощью человеческой речи и визуальных изображений, способность самообучаться, делать логические суждения, вести общение с человеком и т.д. В 1991 году в Японии предполагалось создать первый прототип компьютеров пятого поколения. Несмотря на то, что большинство поставленных целей в полной мере не были достигнуты и к настоящему времени, проект стимулировал исследования в области искусственного интеллекта, баз знаний и экспертных систем.

В завершении обзора развития ЭВМ следует отметить, что с течением времени наблюдается всё более гладкий переход от одного поколения к другому, при этом новое поколение характеризуется не только сменой элементной базы, а обладает комплексными особенностями, связанными с изменением логической архитектуры, программного обеспечения, пользовательского интерфейса и появлением новых сфер применения.

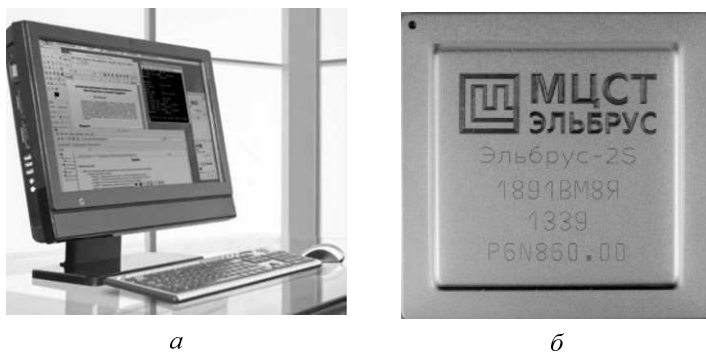


Рис. 1.6. Моноблочный персональный компьютер КМ4-Эльбрус:
а – внешний вид; *б* – микросхема процессора «Эльбрус-2С»

1.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Появление первых электронных СВТ открыло новую эру в приёме, получении, обработке и хранении разнообразной информации, и вскоре ЭВМ стали широко применяться сначала в научных исследованиях, конструкторском проектировании и производстве, а затем и в быту. В настоящее время практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, в которой бы не применялась компьютерная техника. Мировой парк СВТ состоит из весьма разнородных компьютеров по целевому назначению и вычислительным способностям, поэтому для сравнения параметров различных ЭВМ выделяют ряд технических и эксплуатационных характеристик, общих для ЭВМ всех типов (быстродействие, производительность, надёжность, разрядность, ёмкость памяти, стоимость и др.) [1, 4, 6].

Быстродействие ЭВМ характеризуется числом команд, выполняемых ей за единицу времени. Современные ЭВМ имеют очень высокие характеристики по быстродействию, измеряемые миллиардами операций в секунду. Быстродействие компьютера во многом зависит от тактовой частоты работы процессора.

Тактовая частота определяется параметрами специального генератора, вырабатывающего периодические колебания определённой частоты f . Единица измерения частоты – *герц* получила своё название в честь немецкого физика Генриха Герца. Одному колебанию, совершенному за одну секунду, соответствует частота в один Гц. Наименьший интервал времени, через который повторяются мгновенные значения периодического сигнала, называется периодом T . Следовательно, в общем виде тактовая частота будет представлять собой отношение $f = 1/T$ (рис. 1.7).

Микросхемы большинства современных компьютеров работают в диапазоне частот от нескольких миллионов до миллиардов Гц. Наименьшей единицей измерения времени для процессора как логического устройства является период тактовой частоты, часто называемый

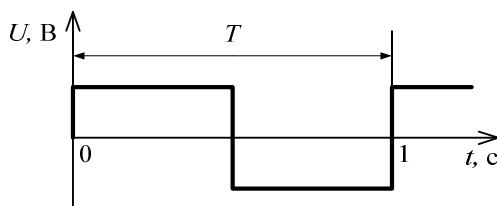


Рис. 1.7. Временное представление сигнала частотой 1 Гц

тактом. На каждую операцию обычно затрачивается как минимум один такт. Иногда быстродействие компьютера сопоставляют с тактовой частотой и оценивают в мега- или в гигагерцах. В первых микропроцессорах на выполнение одной команды затрачивалось 12 тактов, а в новейших процессорах за счёт множественных усовершенствований внутренней архитектуры удалось добиться одновременного выполнения нескольких команд за один такт. Следовательно, время, затрачиваемое на выполнение команд, при одной и той же тактовой частоте для разных типов процессоров будет отличаться. Поэтому сравнение по быстродействию различных типов ЭВМ не в полной мере обеспечивает корректность таких оценок. В связи с этим в последнее время вместо быстродействия ЭВМ чаще характеризуют производительностью.

Производительность – это объём работ, осуществляемых ЭВМ за единицу времени. Поскольку определение производительности различных ЭВМ является важной практической задачей, были предложены к использованию относительные характеристики производительности, рассчитываемые на основе специальных тестовых задач по работе с математическими операциями. В этом случае производительность обычно оценивают количеством операций с плавающей запятой в секунду и выражают в *flop/s* (флопсах) – акроним от англ. *Floating point Operations Per Second*. Обычный персональный компьютер имеет производительность около 10^{11} флопс, а вычислительная мощность суперкомпьютеров достигает 10^{16} флопс. Например, производительность первого компьютера *ENIAC* (1946 г.) составляла всего около 500 флопс, а одной из наиболее мощной современной компьютерной системы – китайской *Tianhe-2* (2013 г.) превышает 33,8 петафлопс. Необходимо отметить, что в действительности ни одно тестовое измерение не может полностью описать производительность такого сложного устройства, как процессор или целый компьютер из-за комплексной взаимосвязи разнородных внутренних и внешних факторов, воздействующих на компоненты ЭВМ. Тем не менее, с определённой степенью достоверности тестовые программы можно успешно использовать для сравнения различных компонентов и систем. Например, фирма-изготовитель микропроцессоров *Intel* для оценки производительности разработала целый ряд тестов, результаты которых сводятся в особое числовое значение, получившее название индекса *iCOMP* (от англ. *Intel Comparative Microprocessor Performance* – индекс сравнительной оценки производительности микропроцессоров компании *Intel*). При его определении учитываются математические операции с плавающей запятой, и операции, необходимые для выполнений мультимедийных приложений.

Ёмкость памяти является ещё одной важной характеристикой ЭВМ. Компьютерная память – часть вычислительной системы, представляет собой совокупность технических устройств и процессов, обеспечивающих запись, хранение и воспроизведение информации в ЭВМ. Память в вычислительных устройствах имеет иерархическую структуру и обычно предполагает использование нескольких запоминающих устройств, имеющих различные характеристики. К настоящему времени создано множество устройств, предназначенных для хранения данных, основанных на использовании самых разных физических эффектов. В иерархию компьютерной памяти обычно входят:

- внешняя, энергонезависимая память очень большой ёмкости, в которой массивы информации хранятся на различного рода внешних носителях – магнитных и оптических дисках, магнитных лентах, устройствах флэш-памяти и др.;

- внутренняя, энергозависимая оперативная память, в которой временно хранятся входные, выходные и промежуточные данные, используемые во время работы процессором ЭВМ.

Поскольку единицей исчисления количества информации в вычислительной технике является бит, то независимо от того, на каких физических принципах и в какой системе счисления функционирует компьютер, ёмкость памяти обычно измеряется в единицах, производных от бита – байтах, килобайтах и т.д.

Разрядность ЭВМ называется количество битов (разрядов), одновременно обрабатываемых этим устройством. Чем выше разрядность, тем выше производительность компьютера. Большинство современных СВТ представляют собой 32- или 64-разрядные системы.

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик СВТ является **надёжность**. Надёжность является одним из важнейших показателей качества СВТ и выражает прежде всего свойство изделия функционировать и сохранять свои параметры в течение определённого срока в заданных условиях. В соответствии с ГОСТ Р 27.002–2009, устанавливающим основную терминологию и определения в области надёжности технических систем, надёжностью называется свойство готовности, учитывающее влияние свойств безотказности и ремонтнопригодности, и поддержка технического обслуживания.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭВМ

Знание классификации ЭВМ необходимо для выбора наиболее подходящих вычислительных средств для той или иной сферы человеческой деятельности. К настоящему времени сложилось несколько основных подходов к классификации электронной вычислительной техники [1 – 5]. Важными классификационными признаками являются:

- принцип действия;
- используемая элементная база;
- назначение (сфера применения);
- габаритные размеры и функциональные возможности.

По принципу действия все вычислительные машины можно условно разделить на три большие класса: аналоговые ЭВМ (АВМ); цифровые ЭВМ (ЦВМ) и гибридные ЭВМ (ГВМ).

Аналоговые вычислительные машины работают с информацией, представленной в непрерывной (аналоговой) форме, т.е. в виде непрерывного ряда значений какой-либо физической величины (обычно электрического напряжения) во времени. АВМ чаще всего используются для моделирования линейных и нелинейных процессов, описываемых дифференциальными уравнениями. Достоинством АВМ является возможность анализа непрерывных процессов, где по каким-либо соображениям дискретизация нежелательна. Основными недостатками АВМ являются низкая точность получаемого решения, невозможность оперативного перехода между различными задачами, ограниченные возможности представления результатов. В настоящее время имеют ограниченное применение.

Цифровые вычислительные машины работают с информацией, представленной в дискретной форме. Наиболее широкое применение получили ЦВМ с электрическим представлением дискретной информации – электронные цифровые вычислительные машины. Удобство ввода, хранения и обработки информации в ЦВМ, а также возможность их использования в различных областях (от решения научных задач до бытового применения) сделали ЦВМ наиболее массовыми вычислительными машинами, поэтому часто под аббревиатурой ЭВМ подразумевают именно цифровые вычислительные машины.

Гибридные вычислительные машины работают с информацией, представленной как в цифровой, так и в аналоговой форме, поэтому они совмещают в себе достоинства АВМ и ЦВМ. ГВМ обычно используются для решения задач управления сложными техническими системами, например, при управлении технологическими процессами.

По используемой элементной базе все ЭВМ подразделяют на:

- 1-е поколение (ЭВМ на электровакуумных приборах);
- 2-е поколение (ЭВМ на дискретных полупроводниковых приборах);
- 3-е поколение (ЭВМ на ИМС малой и средней степени интеграции);
- 4-е поколение (ЭВМ на микропроцессорах);
- 5-е поколение (ЭВМ на параллельно работающих сверхсложных микропроцессорах с параллельно-векторной структурой, одновременно выполняющих десятки операций).

Следует заметить, что каждое последующее поколение ЭВМ обладает по сравнению с предыдущими гораздо лучшими характеристиками. Так, производительность и ёмкость памяти от поколения к поколению увеличивается, как правило, на порядок. Перспективным направлением считается разработка ЭВМ 6-го поколения, которое предусматривает использование оптоэлектронной элементной базы и нейросетевой структуры, моделирующей архитектуру биологических систем.

По назначению ЭВМ разделяют на три типа:

- 1) универсальные (общего назначения);
- 2) проблемно-ориентированные;
- 3) специализированные.

Универсальные ЭВМ предназначены для решения различных научных и инженерно-технических задач, отличающихся сложностью алгоритмов и большим объёмом обрабатываемых данных. Они обычно реализуются в виде мощных вычислительных комплексов в вычислительных центрах коллективного пользования. Характерными чертами универсальных ЭВМ являются высокая производительность, разнообразие форм обрабатываемых данных при большом диапазоне их изменения и высокой точности их представления, обширный перечень выполняемых операций, большая ёмкость оперативной памяти, а также развитая организация системы ввода-вывода информации, обеспечивающая подключение разнообразных внешних устройств.

Проблемно-ориентированные ЭВМ предназначены для решения ограниченного круга задач, например, управлением технологическими установками, регистрацией, накоплением и обработкой небольших объёмов данных; выполнением несложных расчётов по простым алгоритмам. ЭВМ данного типа обладают ограниченными по сравнению с универсальными ЭВМ аппаратными и программными ресурсами.

Специализированные ЭВМ используются для решения узкого круга специфичных задач или реализации строго определённой группы функций. Такая узкая ориентация ЭВМ позволяет чётко специализировать их структуру, существенно снизить их сложность и стоимость при сохранении высокой производительности и надёжности их работы. К специализированным ЭВМ можно отнести, в частности, программируемые микроконтроллеры специального назначения, адаптеры и контроллеры, выполняющие логические функции управления отдельными техническими устройствами, устройства согласования и сопряжения работы узлов вычислительных систем.

По габаритным размерам и функциональным возможностям ЭВМ обычно разделяют на:

- сверхбольшие (суперЭВМ);
- большие (мэйнфреймы);

- малые (миниЭВМ);
- сверхмалые (микроЭВМ).

К **сверхбольшим** относятся мощные многопроцессорные вычислительные комплексы с быстродействием сотни миллионов – десятки миллиардов операций в секунду. Они используются для решения сверхсложных научных задач, анализа процессов, требующих обработки огромных массивов информации. Для своего размещения требуют значительных площадей (до нескольких сотен квадратных метров), потребляют огромную мощность и требуют для своего обслуживания целого штата специалистов. Высокая стоимость производства и обслуживания суперЭВМ не обеспечивает возможности их массового применения, поэтому такими ЭВМ обладают лишь экономически развитые страны. В настоящее время самыми мощными суперЭВМ в мире являются следующие:

- *Tianhe-2* (Китай, 2013 г.) с производительностью 33,8 петафлопс;
- *Titan* (США, 2012 г.) с производительностью 16,32 петафлопс;
- *K computer* (Япония, 2011 г.) с производительностью 10,51 петафлопс.

Самым мощным суперкомпьютером России 2014 г. является система «Ломоносов» в Научно-исследовательском вычислительном центре МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, введенная в эксплуатацию в 2012 г., занимающая площадь 252 м² и обладающая пиковой производительностью около 1,7 петафлопс при энергопотреблении 2,6 МВт.

Большие ЭВМ, как и сверхбольшие, для своего размещения требуют большую площадь, но в отличие от сверхбольших обладают более скромной вычислительной мощностью. За рубежом компьютеры этого класса называют мэйнфреймами (*mainframe*). Штат обслуживания большой ЭВМ составляет несколько десятков человек. На базе таких суперкомпьютеров создают вычислительные центры, основными направлениями работы которых являются решение научно-технических задач, работа в вычислительных системах с пакетной обработкой информации, работа с большими базами данных, управление вычислительными сетями и их ресурсами. Использование мэйнфреймов в качестве больших серверов вычислительных сетей коллективного пользования в последние годы наиболее востребовано. Например, ресурсы размещенного в МГУ им. М. В. Ломоносова суперкомпьютера «Чебышев» предназначены для поддержки фундаментальных научных исследований и учебного процесса, а использование вычислительных ресурсов производится только в режиме удаленного доступа.

Малые ЭВМ (миниЭВМ) обладают хотя и более низкими по сравнению с мэйнфреймами возможностями, но зато характеризуются меньшими габаритами, энергопотреблением и, соответственно, меньшей стоимостью. Такие компьютеры используются крупными предприятиями, научными учреждениями и некоторыми университетами. Наряду с использованием для управления технологическими процессами, малые ЭВМ успешно применяются для вычислений в многопользовательских вычислительных системах, в системах автоматизированного проектирования, в системах моделирования несложных объектов, в системах искусственного интеллекта. Для организации работы с малой ЭВМ требуется специальный небольшой вычислительный центр.

Сверхмалые (микроЭВМ) обладают самыми скромными вычислительными способностями, зато являются самыми недорогими, простыми, удобными в эксплуатации, и поэтому самыми распространенными. В свою очередь, микроЭВМ можно разделить на однокристальные ЭВМ, персональные, специальные и портативные, как показано на рис. 1.8.

Однокристальные микроЭВМ представляют собой микрокомпьютеры, технологически выполненные на одном кристалле БИС. В состав такой микросхемы входят основные компоненты компьютера – память, процессор, шины ввода-вывода, интерфейсы для связи с внешними устройствами. В последнее время в такую микросхему стали встраивать и другие сопутствующие схемы – сопряжения с устройствами ввода-вывода.

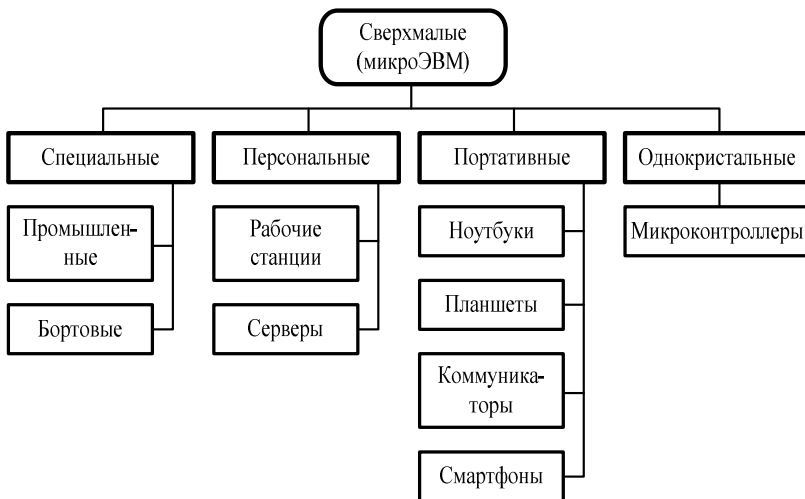


Рис. 1.8. Классификация сверхмалых ЭВМ

да, счётчиков и генераторов импульсов и пр. За рубежом такие БИС получили название *SoC* (от англ. *System-on-a-Chip* – системы на кристалле). Программное обеспечение вводится в БИС в процессе её изготовления и не предусматривает каких-либо изменений. Разновидностью однокристальных микроЭВМ являются микроконтроллеры, характерной особенностью которых является большое число портов ввода-вывода и возможность программирования пользователем с учётом специфики того объекта, для которого предназначен микроконтроллер. Большинство современных микроконтроллеров позволяют при необходимости изменять программное обеспечение без демонтажа микросхемы из изделия, т.е. являются перепрограммируемыми. Стоимость однокристальных микроЭВМ невысокая. Основная область их применения – решение однотипных задач в системах управления техническими средствами, сбор и обработка данных от датчиков и управление исполнительными устройствами в системах автоматизации.

В настоящее время персональные компьютеры используются повсеместно. Их основное назначение – поиск и обработка информации, составление типовых форм отчётной документации, вывод результатов исследования, подготовка разнородных текстов, разработка и оформление технической документации, выполнение инженерных расчётов, выполнение проектирования различных технических объектов.

Персональный компьютер повышенной вычислительной мощности, специализированный для выполнения определённого вида работ (инженерное проектирование, математическое моделирование, обработка видеоинформации и пр.), называют **рабочей станцией**.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) создают на базе рабочих станций или обычных ПЭВМ. В состав типовых устройств АРМ обычно входят одно- или многопроцессорная микро-ЭВМ, устройства ввода-вывода информации (клавиатура, мышь, дисплей, сканер, принтер, плоттер) и другие периферийные устройства.

Персональный компьютер, выделенный для обработки запросов от всех рабочих станций вычислительной сети, и обладающий повышенной производительностью и значительными объёмами внешней и внутренней памяти, называют **сервером**. Сервер предоставляет этим станциям доступ к общим системным ресурсам (вычислительным мощностям, базам данных, библиотекам программ, принтерам, факсам и др.) и распределяет эти ресурсы.

Специальные персональные компьютеры, предназначенные для использования в производственных условиях, называют **промышленными**. Они контролируют технологический процесс производства товарной продукции, осуществляют управление технологическими линиями и станками. Часто специализированные компьютеры встраива-

ют непосредственно в объект управления (**бортовые компьютеры**). Учитывая специфические условия их работы на объекте размещения, к специальным компьютерам предъявляют повышенные требования по надёжности, устойчивости к различным внешним воздействующим факторам (термическим, механическим, климатическим и др.). Поэтому обычные персональные компьютеры не могут использоваться в качестве промышленных и бортовых.

Портативные компьютеры обычно используются вне постоянного рабочего места – во время командировок, совещаний, полевых испытаний новой техники, обработки результатов эксперимента в производственных условиях и т.д. Масса портативных компьютеров колеблется в пределах от 0,1 до 4 кг. Самым распространенным и привычным типом портативных компьютеров является **ноутбук** (от англ. *notebook* – блокнот). Другой тип портативных компьютеров – **планшетные компьютеры**. В отличие от ноутбуков, они не имеют клавиатуры, но снабжены небольшим сенсорным экраном. Управление планшетным компьютером производится прикосновениями к экрану пальцами или специальным стилусом. Наименьшими по габаритам и массе из портативных компьютеров являются **коммуникаторы** и **смартфоны**. С их помощью можно читать книги, набирать небольшие тексты, заметки, подключаться к Интернету и многое другое.

1.4. ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Несмотря на то, что первая электронная вычислительная техника появилась ещё в конце 1940-х гг., архитектура и принципы функционирования цифровых ЭВМ, заложенные фон Нейманом, остались в целом теми же и сегодня. В упрощённом виде структурная схема любой цифровой ЭВМ обязательно содержит три основных компонента – блок центрального процессора, блок памяти и блок интерфейсов, как показано на рис. 1.9 [1 – 5].

Самым сложным является устройство центрального процессора. Он представляет собой программно-управляемое устройство, которое обрабатывает информацию и осуществляет её распределение между основными компонентами ЭВМ. Обработка информации процессором состоит в выполнении арифметических и логических операций над данными, представленными в виде кодовых комбинаций. Последовательность операций задается командами, также представляющими собой комбинации кодов. Упорядоченный набор команд для выполнения конкретной задачи называется программой. Процессор не только обрабатывает данные, но и управляет процессом обработки информации,

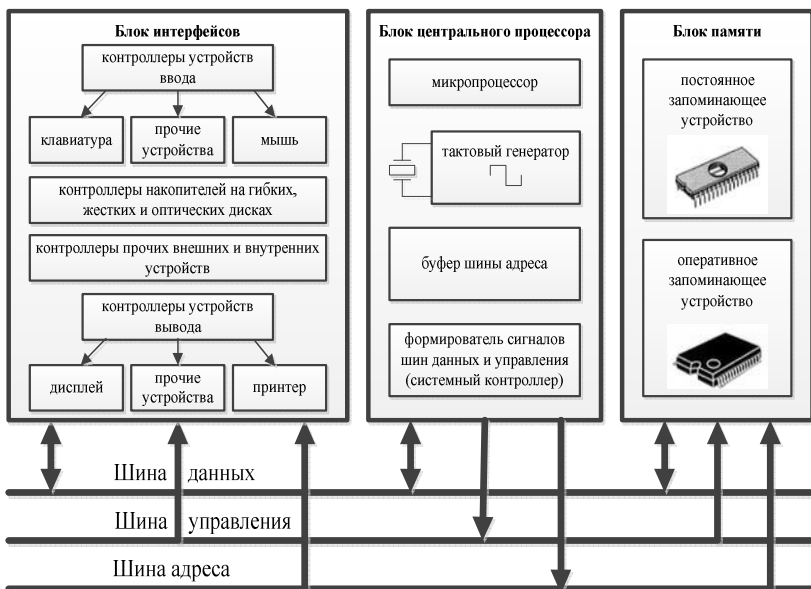


Рис. 1.9. Упрощённая структурная схема ЭВМ

контролирует шаги исполняемой программы, вызывает из запоминающего устройства очередную команду и данные, выполняет требуемую операцию, а полученный результат сохраняет в памяти и(или) отправляет на устройства вывода.

Память ЭВМ состоит из постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), которое допускает только чтение хранимой в нём информации, и оперативного запоминающего устройства, позволяющего как считывать из него данные, так и записывать новые. В сущности, память можно представить в виде совокупности однотипных ячеек, в каждой из которых хранится закодированная информация. Например, для внесения в память одного информационного бита достаточно одноразрядной ячейки, в которую можно записать логическую 1 или 0.

Разрядность ячейки памяти ЭВМ определяется разрядностью **шины данных** процессора. Другими словами, разрядность шины данных определяет количество разрядов, над которыми одновременно могут выполняться операции, т.е. определяет скорость передачи данных между микропроцессором, памятью и другими устройствами. Большинство современных микропроцессоров имеют 32- или 64-разрядную шину данных. При 64-разрядной шине данных скорость передачи в два раза выше, чем у 32-разрядной шины.

Для того, чтобы выделить из массива информации, хранящейся в памяти, требуемые данные, каждой ячейке памяти присваивается специальный номер, называемый **адресом**. Максимальное количество ячеек памяти, к которым можно осуществлять непосредственный доступ по индивидуальному адресу, формирует объём адресного пространства, и определяется разрядностью **шины адреса** процессора. Например, 32-разрядная шина адреса позволяет обращаться к 2^{32} ячейкам памяти.

Блок интерфейсов предназначен для связи ЭВМ с аппаратурой для ввода/вывода информации и обычно включает в себя функциональные узлы для сопряжения с клавиатурой, дисплеем, манипулятором типа «мышь», принтером и другими внешними и внутренними устройствами.

Взаимосвязь между всеми компонентами ЭВМ осуществляется центральным процессором по **шине управления** (системной шине). Разрядность шины управления также непосредственно влияет на производительность ЭВМ, поэтому, чем выше разрядность, тем лучше. Шины управления современных систем, как правило, выполняют 32- и 64-разрядными.

Поскольку рассмотренная структурная схема является основой любой ЭВМ, то вне зависимости от того, каковы габариты, функциональные возможности и прочие классификационные признаки цифровой вычислительной машины, существуют определённые функциональные узлы, присущие каждому компьютеру. К таким основным узлам относят: центральный процессор, внешние запоминающие устройства, устройство управления, различные периферийные устройства ввода/вывода и источник электропитания.

Главной частью ПК является системный блок, внутри которого сосредоточены основные узлы компьютера. Наиболее важным компонентом, установленным в системном блоке, является **системная**, или **материнская плата**. В англоязычной терминологии её обычно называют *mainboard* [6]. На этой плате размещены основные узлы ЭВМ – центральный процессор с теплоотводом, память (ПЗУ и ОЗУ), шины данных, адреса и управления, контроллеры ввода/вывода, шин, контроллеры накопителей на гибких, жёстких и оптических дисках, контроллеры прочих внешних устройств, а также дополнительные разъёмы для плат расширения и гнезда подключения различных внешних устройств.

Взаимодействие микропроцессора с узлами компьютера осуществляется с помощью схем, выполненных по интегральной технологии [1, 3, 6], которые получили название **северного** и **южного мостов**. Эти

названия обусловлены расположением этих микросхем на системной плате. Ближе к микропроцессору находится северный мост, а южный мост расположен ниже, рядом с разъёмами для подключения внешних запоминающих устройств. Южный мост содержит контроллеры для работы с дисковыми устройствами, клавиатурой, мышью и другой аппаратурой. С северным мостом микропроцессор обменивается информацией напрямую, а с южным – через северный мост.

На системной плате имеются также разъёмы, часто называемые **слотами** (от англ. *slot* – щель, паз) для установки модулей оперативной памяти. Оперативная память используется микропроцессором в процессе обработки информации. Обмен с ОЗУ микропроцессор осуществляет через северный мост.

Северный мост также задействован для передачи результатов обработки информации на экран дисплея, который подключён к мосту через специальную электронную схему. Эта схема размещается на отдельной плате, называемой **видеокартой (видеоадаптером)**, или в виде СБИС на самой материнской плате. В этом случае говорят об **интегрированном** видеоустройстве. Видеокарта устанавливается на материнскую плату в специальный слот.

Кроме того, на системной плате обычно предусматривают несколько свободных разъёмов (от одного до пяти) для установки дополнительных плат, расширяющих возможности ПК. Типичными примерами плат расширения служат сетевые карты для обеспечения возможности работы ПК в рамках компьютерной сети и звуковые карты для качественного вывода аудиоинформации. Качественные и дорогие материнские платы, предназначенные для работы в составе ПК повышенной производительности, имеют наибольшее количество свободных слотов расширения. На простых и недорогих материнских платах электронные схемы, реализующие функции сетевого компьютерного взаимодействия и обработки звука, зачастую выполняют в виде отдельных СБИС и интегрируют в саму системную плату.

Остальные компоненты, смонтированные внутри системного блока – накопители на жёстких дисках, *CD*- и *DVD*-приводы, дисководы гибких магнитных дисков и флэш-карт памяти и другие устройства, соединены с материнской платой при помощи проводов и кабелей.

Питание на системную плату подводится от блока питания, который обеспечивает питающими напряжениями 5 и 12 В все функциональные узлы, входящие в её состав. Кроме того, от блока питания электроэнергию получают также и все остальные компоненты системного блока.

1.5. ПРИНЦИПЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Термин «**информация**» (от лат. *informatio* – «разъяснение, изложение, осведомлённость») в настоящее время не имеет строгого определения и в сущности обозначает некоторые сведения о чем-либо, совокупность каких-либо данных, знаний, сообщений и т.п. Роль информации в обществе приобретает всё большее значение, она стоит в одном ряду с такими фундаментальными понятиями, как вещество и энергия. Активно используемая обществом информация рассматривается как важный ресурс наряду с интеллектуальными, энергетическими и материальными ресурсами. Следует заметить, что переработка полученной информации приводит к появлению новой информации. Теорией информации занимаются такие научные направления, как кибернетика и информатика [7, 8].

Передача информации обычно предполагает наличие двух объектов – источника информации и её потребителя – приёмника (адресата) информации. Чтобы информация могла быть передана от источника к приёмнику, состояние источника необходимо отразить во внешней среде, воздействующей на приёмные органы адресата. Материальные объекты, посредством которых происходит перенос информации от источника к приёмнику, называются **носителями информации**. Например, при общении людей информация между ними передаётся с помощью звуковых колебаний, визуальных образов, запахов и прочего и улавливается органами чувств. ЭВМ, являясь полностью искусственной технической системой, требует принципиально иной способ введения в неё информации. Другими словами, информацию, представленную в виде, понятном для людей, необходимо преобразовать в форму, пригодную для обработки компьютером [1 – 5]. Преобразование множества состояний источника информации в множество состояний носителя информации называется **кодированием**. В сущности, код представляет собой набор некоторых условных знаков (символов) и правил их составления. Организованная последовательность этих символов называется **кодовой комбинацией**. С этой точки зрения алфавит, т.е. набор букв, представляет собой код, с помощью которого можно преобразовать устную речь в рукописный или печатный текст. Для записи мелодии используется набор символов в виде нотных знаков. Информацию, полученную с помощью измерительных приборов, можно записать в виде чисел, а для передачи и хранения этой информации удобно представить её в виде электрических сигналов. При этом каждому значению напряжения, тока или фазы этих сигналов ставится в соответствие определённое значение интересующего нас параметра.

В цифровой вычислительной технике применяются двоичные (бинарные) коды, для которых количество условных знаков равно двум (знаки «0» и «1»). Из этих символов составляется кодовая комбинация в виде последовательности нулей и единиц, образуя числа в двоичной системе счисления. Таким образом, всего двух символов достаточно для кодировки любой информации.

Использование двоичного кода позволяет дать количественную оценку информации, т.е. узнать, сколько информации содержит то или иное сообщение. Извлечение информации предусматривает получение ответа на интересующий нас вопрос и связано с совершением какого-либо действия. Таким действием может стать визуальное наблюдение события, снятие показаний прибора, консультация со специалистом, чтение книги (в частности, текста данного учебного пособия) и т.п. Однозначный ответ полностью снимает неопределённость, а неточный – снижает, но не устраняет неопределённость. Для количественной оценки информации, как правило, анализируется переход от неопределённости к определённости с использованием вероятностных методов. Эти методы позволили сформировать подход к оценке количества информации как к мере уменьшения неопределённости знаний. Эта мера неопределённости, или непредсказуемости информации, называется **энтропией**. В соответствии с этим подходом можно утверждать, что если некоторое сообщение приводит к уменьшению неопределённости наших знаний, то такое сообщение содержит информацию. Сообщения всегда содержат информацию о каких-либо событиях, которые могут реализоваться с различными вероятностями. **Количество информации I** для событий с различными вероятностями при отсутствии информационных потерь в канале передачи информации численно равно энтропии и определяется по формуле, предложенной американским ученым, основателем теории информации Клодом Шенноном:

$$I = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i, \quad (1.1)$$

где N – количество возможных событий (сообщений); p_i – вероятность появления i -го события (сообщения).

Необходимо подчеркнуть, что количество информации принимает только положительное значение. Поскольку вероятность отдельных событий p_i меньше единицы, то $\log_2 p_i$ является отрицательной величиной и для получения положительного значения количества информации в формуле (1.1) перед знаком суммы стоит знак минус.

Если вероятность появления отдельных событий одинаковая и они образуют полную группу событий, т.е. $\sum_{i=1}^N p_i = 1$, то формула

Шеннона преобразуется к виду, предложенному американским учёным Ральфом Хартли:

$$I = \log_2 N. \quad (1.2)$$

Логарифмическую меру информации (1.2) часто называют **хартлиевским количеством информации** или **мерой Хартли**.

Рассмотрим назначение логарифмов в формулах Шеннона и Хартли на следующем примере. Будем последовательно присваивать аргументу N значения, выбираемые из ряда чисел: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и т.д. Чтобы определить, какое событие из N равновероятных событий произошло, для каждого числа ряда необходимо последовательно проводить операции выбора из двух возможных событий. Подставляя различные значения N в формулу (1.2) и с учетом того, что вероятность наступления события равна единице, получим следующий ряд чисел: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 и т.д. Этот ряд можно считать соответствующим значениям функции I в мере Хартли (1.2). Последовательность значений чисел, которые принимает аргумент N , представляет собой ряд чисел, образующих геометрическую прогрессию, а последовательность значений чисел, которые принимает функция I , будет являться рядом, образующим арифметическую прогрессию. Таким образом, логарифм в формулах (1.1) и (1.2) устанавливает соотношение между рядами, представляющими геометрическую и арифметическую прогрессии.

Как уже отмечалось выше, информацию перед обработкой, передачей и хранением необходимо подвергнуть кодированию. Поскольку в цифровой вычислительной технике в основном используется двоичное кодирование, при котором используется знаковая система, состоящая из символов «0» и «1», то в формулах (1.1) и (1.2) основание логарифма равно двум.

В соответствии с вероятностным подходом к определению количества информации, два символа двоичной знаковой системы можно рассматривать как два различных возможных события. Именно по этой причине за единицу меры информации принято такое количество информации, которое содержит сообщение, уменьшающее неопределённость знания в два раза. Такая единица для оценки количества информации при условии двоичного кодирования получила название **бит** (от англ. *binary digit* – двоичная цифра).

Следующей по величине единицей измерения количества информации является **байт**, представляющий собой последовательность, составленную из восьми бит, т.е. $1 \text{ байт} = 2^3 \text{ бит} = 8 \text{ бит}$.

В вычислительной технике и информатике также широко используются кратные байту единицы измерения количества информации, однако в отличие от метрической системы мер, где в качестве множителей кратных единиц применяют коэффициент 10^n , в кратных единицах измерения количества информации используется коэффициент 2^n . Выбор этот объясняется тем, что компьютер работает с числами не в десятичной, а в двоичной системе счисления.

Кратные байту единицы измерения количества информации вводятся следующим образом:

1 Килобайт (Кбайт) = 2^{10} байт = 1024 байт;

1 Мегабайт (Мбайт) = 2^{10} Кбайт = 1024 Кбайт;

1 Гигабайт (Гбайт) = 2^{10} Мбайт = 1024 Мбайт;

1 Терабайт (Тбайт) = 2^{10} Гбайт = 1024 Гбайт и т.д.

Вероятностный подход используется и при определении количества информации, представленной с помощью знаковых систем. Если рассматривать символы алфавита как множество возможных сообщений N , то количество информации, которое несёт один знак алфавита, можно определить по формуле (1.1). При равновероятностном появлении каждого знака алфавита в тексте сообщения количество информации определяют по формуле (1.2).

Количество информации, которое несёт один знак алфавита, тем больше, чем больше знаков входит в этот алфавит. Количество информации V , содержащееся в сообщении, закодированном с помощью знаковой системы и содержащем определённое количество знаков, определяется с помощью формулы

$$V = K \log_2 N, \quad (1.3)$$

где K – количество знаков в сообщении; N – количество знаков в алфавите (мощность алфавита).

Следует заметить, что для удобства вычислений логарифмов по основанию 2 (поскольку большинство калькуляторов работают только с десятичными логарифмами), в соотношениях (1.1) – (1.3) можно использовать формулу перевода

$$\log_2 N = \frac{\log_{10} N}{\log_{10} 2}. \quad (1.4)$$

Для пояснения вышеизложенного рассмотрим несколько практических примеров.

Пусть необходимо оценить, какое количество информации можно получить после реализации одного из пяти событий. Вероятности событий составляют: $p_1 = 0,2$; $p_2 = 0,1$; $p_3 = 0,3$; $p_4 = 0,4$; $p_5 = 0,2$.

Подставляя заданные значения вероятностей в формулу (1.1) и с учетом (1.4), получим искомое количество информации в битах:

$$\begin{aligned}
 I &= -\sum_{i=1}^5 p_i \frac{\log_{10} p_i}{\log_{10} 2} = \\
 &= -\left(p_1 \frac{\log_{10} p_1}{\log_{10} 2} + p_2 \frac{\log_{10} p_2}{\log_{10} 2} + p_3 \frac{\log_{10} p_3}{\log_{10} 2} + p_4 \frac{\log_{10} p_4}{\log_{10} 2} + p_5 \frac{\log_{10} p_5}{\log_{10} 2} \right) = \\
 &= -\left(0,2 \frac{\log_{10} 0,2}{\log_{10} 2} + 0,1 \frac{\log_{10} 0,1}{\log_{10} 2} + 0,3 \frac{\log_{10} 0,3}{\log_{10} 2} + 0,4 \frac{\log_{10} 0,4}{\log_{10} 2} + 0,2 \frac{\log_{10} 0,2}{\log_{10} 2} \right) = \\
 &= -(-0,464 - 0,332 - 0,521 - 0,529 - 0,464) = 2,31.
 \end{aligned}$$

Полученный результат выразим в байтах:

$$I = 2,31/8 = 0,28875 \text{ байт.}$$

Рассмотрим другой пример. Пусть требуется определить количество символов в алфавите, с помощью которых было передано сообщение объемом 4 Кбайт, содержащее 8192 знака.

Решение задачи основано на использовании формулы (1.3), однако для её использования необходимо перевести заданный объем сообщения из килобайт в биты:

$$V = 4 \text{ Кбайт} = 4096 \text{ байт} = 32768 \text{ бит.}$$

Определим количество бит, приходящееся на один символ (количество информации, содержащейся в одном символе) алфавита:

$$I = 32768/8192 = 4 \text{ бит.}$$

Тогда согласно (1.3), мощность алфавита составит $N = 2^I = 2^4 = 16$ знаков.

Для представления информации в ЭВМ используются разные правила кодирования. Так, для ввода всех символов с клавиатуры компьютера, используют восьмиразрядные двоичные комбинации нулей и единиц. Различные кодовые комбинации соответствуют строчным и прописным буквам латинского и русского алфавитов, арабским цифрам, знакам препинания и математических операций, а также некоторым специальным символам (#, @, \$) и др. Максимальное количество таких комбинаций составляет $2^8 = 256$.

Таблица, в которой всем символам компьютерного алфавита поставлены в соответствие порядковые номера, называется таблицей ко-

дировки. Международным стандартом для ЭВМ стала таблица кодов *ASCII* (от англ. *American Standard Code for Information Interchange* – американский стандартный код для информационного обмена), структура которой отражена в табл. 1.1. Особенностью этой таблицы кодировки является то, что она, в сущности, состоит из двух равных частей. При этом набор символов с порядковыми номерами от 0 до 127 (первая половина таблицы) строго фиксирован и является мировым промышленным стандартом для всех производителей аппаратного и программного обеспечения СВТ. Эта часть таблицы содержит 31 специальный символ для управления процессом вывода текста на экран или на печатающее устройство, подачи звукового сигнала, разметки текста и пр., а также строчные и прописные буквы латинского алфавита и некоторые другие знаки. Вторая половина таблицы (символы с порядковыми номерами от 128 до 256), может иметь различные варианты (часто называемые кодовыми страницами), и в первую очередь предназначена для размещения национальных алфавитов, отличных от латинского.

1.1. Структура кодовой таблицы *ASCII*

Порядковые номера символов		Назначение
десятичный код	двоичный код	
0 – 31	00000000 – 00011111	Специальные символы для управления выводом текста на экран или печать, подачи звукового сигнала, разметки текста и т.п.
32 – 127	00100000 – 01111111	Стандартная часть таблицы. Сюда входят строчные и прописные буквы латинского алфавита, десятичные цифры, знаки препинания, всевозможные скобки, математические, денежные и другие символы
128 – 255	10000000 – 11111111	Альтернативная часть таблицы (кодовая страница). В русских национальных кодировках в этой части таблицы размещаются символы русского алфавита

Для русского алфавита в настоящее время действуют пять различных кодировок кириллицы, реализованных в кодовых страницах *KOI8-R*, *Windows*, *DOS*, *Macintosh* и *ISO*. Вследствие этого иногда возникают проблемы с переносом текста на кириллице из одной программной системы в другую. Исторически одним из первых отечественных стандартов кодирования русских букв на компьютерах был КОИ8 (Код Обмена Информацией, 8-битный). Эта кодировка применялась ещё в 1970-е гг. на компьютерах серии ЕС ЭВМ. В настоящее время используется в русифицированных версиях *UNIX*-подобных операционных систем (*Linux*, *FreeBSD*, *Solaris* и др.).

С середины 1980-х до конца 90-х гг. наибольшей популярностью во всём мире обладала операционная система *DOS* (*Disk Operation System*). В русифицированных версиях *DOS* использовалась кодовая страница *CP866* (*Code Page 866*). Для сохранения режима совместимости со старой текстовой информацией эта кодовая страница поддерживается во всех новых операционных системах.

Компьютеры фирмы *Apple*, работающие под управлением операционной системы *Mac OS* (от англ. *Macintosh Operation System*), используют свою собственную кодировку *Mac*.

Кроме того, Международная организация по стандартизации (*International Standards Organization, ISO*) утвердила в качестве стандарта для русского языка ещё одну кодировку под названием *ISO 8859-5*.

Сейчас наиболее распространённой во всём мире является операционная система *Microsoft Windows*, в различных версиях которой основной кодировкой для русского языка является кодовая страница *CP1251*.

В конце 1990-х годов для решения проблем стандартизации символьного кодирования был введен международный стандарт *Unicode*. Это 16-разрядная кодировка, в которой на каждый символ отводится не один, как в *ASCII*, а целых два байта памяти. Такая кодовая таблица допускает включение до 65 536 символов. Полная спецификация стандарта *Unicode* включает в себя все существующие, вымершие и искусственно созданные алфавиты мира, а также множество математических, музыкальных, химических и прочих символов.

Таким способом в память компьютера осуществляется ввод текстовой информации. Ввод графической информации (рисунки, фотографии, чертежи и т.п.) также выполняется в виде двоичных кодовых комбинаций. В сущности, картинка в памяти компьютера представляет собой совокупность точек, окрашенных в два цвета (чёрно-белый рисунок) или в один из цветовых оттенков (цветное изображение). Пусть разрешение рисунка, определяемое количеством точек – пикселей (от англ. *pixels*), формирующим изображение, составляет 1280 в гори-

зонтальном и 1024 в вертикальном направлении. Тогда общее количество пикселей составит $1280 \times 1024 = 1\,310\,720$. Для обозначения каждого пикселя изображения можно использовать двоичные цифры. Если рисунок чёрно-белый, то таких цифр будет две, например, чёрной точке будет соответствовать цифра 1, а белой – 0. В этом случае весь рисунок займет в памяти 1 310 720 бит, или 163,84 Кбайт.

В случае цветного изображения, объём занимаемой им памяти существенно возрастает и зависит от количества цветовых оттенков, которые могут принимать отдельные пиксели, формирующие эту картинку. Известно, что любой цвет получается путём смешивания трёх базовых цветов: красного (*Red*), зелёного (*Green*) и синего (*Blue*). Представление цвета в компьютере при помощи этих трёх составляющих получило название *RGB*-кодирования. Каждый цвет занимает в памяти 1 бит, поэтому для хранения цвета, состоящего из трёх составляющих, требуется 3 бита двоичного кода, при этом количество цветовых комбинаций составит $2^3 = 8$. Такими характеристиками обладали первые цветные видеоадаптеры. Конечно, восьми цветовых оттенков недостаточно для формирования полноценного цветного изображения. Человеческий глаз способен улавливать огромное количество (по некоторым оценкам, до 10 млн) цветовых оттенков, поэтому вскоре для кодирования цвета добавили четвертый бит, управляющий интенсивностью (яркостью) свечения базовых цветов, что позволило использовать 16-цветную палитру. Дальнейшие исследования показали, что очень большое количество цветовых оттенков можно получить при раздельном управлении интенсивностью базовых цветов, причём для интенсивности каждого из базовых цветов можно выделять больше одного бита видеопамати. Количество бит, выделенных для записи цвета одного пикселя, называется глубиной цвета, а максимальное количество цветов зависит от глубины цвета. Например, для получения цветовой гаммы в 256 цветов требуется 8 бит памяти на каждый пиксель, поскольку $256 = 2^8$. В современных компьютерах для хранения и отображения цветной графической информации в основном используется 24- или даже 32-битное *RGB*-кодирование, позволяющее представить 2^{32} различных цветовых оттенков, что даже больше, чем способен различить глаз человека, поэтому за рубежом такое высококачественное кодирование графической компьютерной информации часто называют *True Color* (от англ. «Истинный цвет»). Общий объём памяти, необходимый для хранения цветного изображения, легко оценить по формуле

$$I = RC, \quad (1.5)$$

где R – разрешение изображения, пикселей; C – хроматическое число (количество разрядов кодирования), бит/пиксель.

Например, в случае 32-разрядного двоичного кодирования изображения разрешением $1024 \times 768 = 786\,432$ пикселей потребуется $I = 786\,432 \times 32 = 25\,165\,824$ бит, или 3 Мбайт памяти.

Поток видеоданных можно представить в виде быстро сменяющихся друг друга неподвижных кадров, и при большой скорости смены кадров, оцениваемой в количестве кадров за секунду, необходимый объём памяти для хранения изображения можно определить, добавив в формулу (1.5) дополнительные сведения:

$$I = RCKt ,$$

где K – скорость смены кадров, кадр/с; t – длительность видеопотока, с.

Например, если, как и в случае предыдущего примера, для хранения одного кадра видеoinформации требуется 3 Мбайт памяти, а в течение секунды друг друга сменяют 24 кадра, то для записи потребуется $I = 3 \times 24 = 72$ Мбайт памяти. Легко видеть, что объём занимаемой памяти для хранения всего одной секунды видеoinформации достаточно велик. Нетрудно подсчитать, что видеофильм высокого разрешения продолжительностью один час для компьютерного представления потребует $I = 72 \times 3600 = 259\,200$ Мбайт, или 253,125 Гбайт. Такой объём занимаемой памяти очень велик даже по современным меркам (ведь на жёстком диске ПК ёмкостью 1 Тбайт уместится всего 4 таких видеофильма). Решением этой проблемы является разумный компромисс между качеством изображения и объёмом занимаемой им памяти, поэтому большинство видеокадров имеют разрешение 320×200 или 640×480 пикселей.

Звуковую информацию также можно представить двоичным кодом. Вначале с помощью микрофона звуковые колебания преобразуются непрерывно в изменяющийся во времени гармонический электрический сигнал. Затем такой сигнал делают прерывистым (дискретным). Этот процесс получил название **дискретизации**, или **квантования** [1 – 5].

Принципы дискретизации сигнала показаны на рис. 1.17. Выполняются два процесса дискретизации – по времени и по уровню. Исходный непрерывный электрический сигнал имеет бесконечное множество значений и определён в каждый момент времени. Квантование по времени состоит в том, что берутся отсчёты с интервалом времени T (рис. 1.10, *a*). В этом случае непрерывный аналоговый сигнал заменяется последовательностью отсчётов, величина которых может быть равна значению сигнала в данный момент времени. Академик В. А. Котельников доказал, что для передачи непрерывно изменяющихся по периодическому закону сигналов достаточно передавать их мгновенные значения с интервалом, вдвое превышающим период колебаний при максимальной частоте изменения этих сигналов.

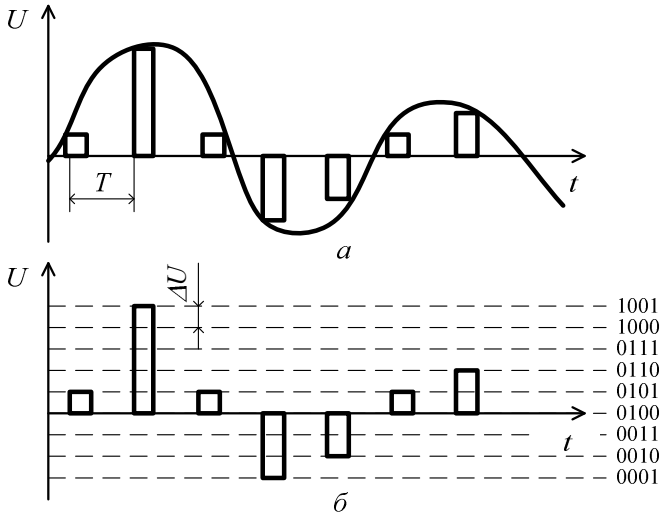


Рис. 1.10. Принципы дискретизации непрерывного сигнала:
a – квантование по времени; *б* – квантование по уровню

При квантовании по уровню все возможные непрерывные значения электрического сигнала разбиваются на n уровней. Следовательно, в каждый момент времени звуковому сигналу может быть присвоено значение максимального достигнутого в данный момент уровня. Для простоты на рис. 1.10, *б* показано всего девять возможных уровней, а соответствующие им двоичные кодовые комбинации показаны на этом же рисунке справа.

Таким образом, для передачи, хранения и обработки текстовой, графической, видео- и аудиоинформации можно применять двоичные кодовые комбинации. Такое внутреннее представление информации используется в современных средствах вычислительной техники. Ввод информации от внешних источников осуществляется при помощи различных специальных технических устройств (клавиатура, сканер, видеокамера, звукозаписывающая аппаратура и др.), обладающих возможностью преобразовать входящий разнородный информационный поток в упорядоченный набор двоичных кодовых комбинаций.

Важно подчеркнуть, что ввести в ЭВМ те или иные исходные данные вовсе не означает, что компьютер самостоятельно «догадается», какие операции с ними необходимо совершить.

Сложность задач, решаемых с помощью различных СВТ, таких как обработка массивов информации, проектирование технических

объектов, управление технологическими процессами и производствами, автоматизация различных сфер деятельности и пр., требует использования разнообразного программного обеспечения, в котором математический аппарат реализован в разнообразных и зачастую очень сложных алгоритмах [9].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные этапы развития прошли средства вычислительной техники от момента возникновения до нашего времени?
2. В чём заключаются основные особенности и отличия различных поколений развития электронной компьютерной техники?
3. Какие технические и эксплуатационные характеристики электронных СВТ являются общими для ЭВМ всех типов?
4. Каким образом оценивают быстродействие и производительность ЭВМ?
5. Как тактовая частота микропроцессора компьютера влияет на его быстродействие?
6. Каково назначение компьютерной памяти и в каких единицах измеряют её ёмкость?
7. Что понимают под разрядностью ЭВМ?
8. Что определяет надёжность СВТ в соответствии с ГОСТ Р 27.002–2009?
9. Какое событие называют отказом; какие виды отказа могут возникнуть в системе?
10. Какие основные количественные показатели наиболее часто используют для оценки надёжности СВТ?
11. Как выполняют классификацию ЭВМ по принципу действия?
12. В чём особенности классификации ЭВМ по типу используемой элементной базы?
13. Каким образом классифицируют ЭВМ по сфере применения?
14. Как проводят классификацию ЭВМ по габаритным размерам и функциональным возможностям?
15. Какие ЭВМ относят к классу сверхбольших?
16. Каковы области применения больших и малых ЭВМ?
17. Какие ЭВМ относят к классу сверхмалых?
18. Как выполняют классификацию сверхмалых ЭВМ?
19. Из каких основных узлов состоит упрощённая структурная схема цифровой ЭВМ?
20. Каким образом осуществляется взаимосвязь между основными узлами ЭВМ?

21. Какие основные функциональные узлы входят в состав персонального компьютера?
22. На каких принципах основано представление информации в цифровых вычислительных устройствах?
23. Как производят оценку количества информации?
24. В чём заключается сущность двоичного кодирования информации?
25. В каких целях применяются таблицы кодировок?
26. Какую структуру имеет кодовая таблица ASCII?
27. Каким образом осуществляют ввод графической информации в память ЭВМ?
28. В чём состоят особенности хранения видеоинформации?
29. Как выполняют представление звуковой информации двоичным кодом?
30. В чём состоит сущность процесса дискретизации сигнала?

Глава 2

ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Являясь одними из наиболее сложных искусственных технических систем, электронные СВТ воплотили в себе новейшие достижения в областях цифровой схмотехники, конструирования и технологии электронных средств, материаловедения, инфокоммуникационных технологий и др. Математический аппарат настолько глубоко интегрирован в компьютерную технику, что для того, чтобы разобраться в принципах функционирования ЭВМ, специалист должен обладать необходимыми компетенциями не только в сфере радиоэлектроники и в области информационных технологий, но и чётко представлять себе роль и место математического аппарата в СВТ.

Особенности различных областей применения СВТ определяют специфику используемых информационных технологий, выражаемую в виде применяемых математических моделей, методов ввода и кодирования информации, алгоритмов и программного обеспечения. Так, математическую основу функционирования узлов ЦВМ составляют переключательные функции, базирующиеся на положениях теории множеств и алгебры логики.

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ

К настоящему времени известно множество способов представления чисел [1 – 4]. Графически число изображается символом или группой символов некоторого алфавита. Такие символы называют цифрами. Совокупность определённых правил записи чисел называется **системой счисления**.

В математике основание системы счисления принято указывать в десятичной системе в нижнем индексе. Например, одно и то же число можно записать как $724_{(10)}$ (десятичная система) или как $2D4_{(16)}$ (шестнадцатеричная система). Иногда при указании шестнадцатеричной системы в индексе используют латинскую букву *h* (от англ. *hexadecimal* – шестнадцатеричный).

К настоящему времени из всех позиционных систем наиболее часто в вычислительной технике используются двоичная, восьмеричная, десятичная и шестнадцатеричная системы счисления. Рассмотрим их более подробно.

Десятичная система – наиболее привычная для нас система счисления, поскольку она постоянно используется в повседневной жизни. Основанием этой системы счисления является число 10, и она включает в себя следующий набор цифр:

{0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9}.

Любое целое число N в десятичной системе счисления представляется в виде конечной линейной комбинации степеней числа 10:

$$N_{(10)} = \sum_{i=0}^{k-1} n_i p^i, \quad (2.1)$$

где n_i – целые числа соответствующих разрядов i , удовлетворяющие неравенству $0 \leq n_i \leq 9$; k – количество разрядов целой части числа N ; p – основание системы счисления (для десятичной системы $p = 10$).

Заметим, что один десятичный разряд в данной системе счисления иногда называют декадой.

Например, число 724 согласно (2.1) представляется в десятичной системе в виде

$$N_{(10)} = 724 = 7 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 4 \times 10^0.$$

Двоичная система счисления – позиционная система счисления с основанием 2. Поскольку цифровая вычислительная техника построена на логических схемах, имеющих только два элементарных состояния – включено и выключено, то компьютеру удобно работать с информацией, представленной в двоичном виде. В связи с этим двоичная система счисления используется практически во всех современных компьютерах и прочих СВТ.

В двоичной системе счисления числа записываются с помощью набора, состоящего всего из двух цифр:

{0; 1}.

Любое целое число N в двоичной системе счисления представляется в виде конечной линейной комбинации степеней числа 2, и формула (2.1) преобразуется к виду

$$N_{(2)} = \sum_{i=0}^{k-1} n_i 2^i, \quad (2.2)$$

где n_i – целые числа соответствующих разрядов i из множества {0; 1}; k – количество разрядов целой части числа N .

Например, число 1011010100 согласно (2.2) представляется в двоичной системе в виде

$$N_{(2)} = 1011010100 = 1 \times 2^9 + 0 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

В десятичной системе этому числу соответствует 724.

Достоинством двоичной системы служит простота и удобство для обработки компьютером. Недостатком её является громоздкость записи и сложность для восприятия человеком.

Восьмеричная система счисления – позиционная целочисленная система счисления с основанием 8. Для представления чисел в ней используются цифры из набора

$$\{0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7\}.$$

Восьмеричная система чаще всего используется в областях, связанных с цифровыми устройствами. Характеризуется лёгким переводом восьмеричных чисел в двоичные и обратно, путём замены каждого восьмеричного числа разрядов на соответствующие триады двоичных чисел.

Любое целое число N в восьмеричной системе счисления представляется в виде конечной линейной комбинации степеней числа 8, и формула (2.1) переписется в виде

$$N_{(8)} = \sum_{i=0}^{k-1} n_i 8^i, \quad (2.3)$$

где n_i – целые числа соответствующих разрядов i , удовлетворяющие неравенству $0 \leq n_i \leq 7$; k – количество разрядов целой части числа N .

Например, число 1324 согласно (2.3) представляется в восьмеричной системе в виде

$$N_{(8)} = 1324 = 1 \times 8^3 + 3 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 4 \times 8^0.$$

Десятичным эквивалентом этого числа, как и в предыдущем примере, является число 724.

Восьмеричная система счисления раньше была достаточно популярной в программировании и часто использовалась в компьютерной документации, однако в настоящее время почти полностью вытеснена шестнадцатеричной системой.

Шестнадцатеричная система счисления – позиционная система счисления по целочисленному основанию 16. В качестве шестнадцатеричных цифр используется набор, состоящий из десятичных цифр от 0 до 9 и латинских букв от A до F для обозначения десятичных цифр в диапазоне от $10_{(10)}$ до $15_{(10)}$:

$$\{0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; A; B; C; D; E; F\}.$$

Любое целочисленное N в шестнадцатеричной системе счисления представляется в виде конечной линейной комбинации степеней числа 16, и формула (2.1) примет вид

$$N_{(16)} = \sum_{i=0}^{k-1} n_i 16^i, \quad (2.4)$$

где n_i – целые числа соответствующих разрядов i , удовлетворяющие неравенству $0 \leq n_i \leq F$; k – количество разрядов целой части числа N .

Так, число $2D4$ согласно (2.4) представляется в шестнадцатеричной системе в виде

$$N_{(16)} = 2D4 = 2 \times 16^2 + D \times 16^1 + 4 \times 16^0.$$

Десятичным количественным эквивалентом этого числа также является число 724.

Теоретические сведения о существовании различных систем счисления будут неполными без рассмотрения практических способов взаимного преобразования чисел между различными системами счисления. Специалисту в области вычислительной техники и цифровой инфокоммуникационной аппаратуры нередко приходится оперировать числами, представленными в разных системах счисления, и осуществлять переход от одной системы счисления к другой (например, при программировании микроконтроллера, программно-аппаратной реализации алгоритма кодирования информации и в других подобных ситуациях).

2.2. ОСНОВЫ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

Теоретической основой функционирования СВТ, разработки алгоритмического и программного обеспечения ЭВМ являются специальные математические дисциплины, одной из которых является алгебра логики. Основоположником этой дисциплины был английский математик XIX столетия Джордж Буль, поэтому иногда алгебру логики называют булевой алгеброй. Её аппарат широко используют для описания схем цифровых устройств, их оптимизации и проектирования.

Алгебра логики относится к разделу математической логики, в котором изучаются логические операции над высказываниями [9, 11]. Необходимо отметить, что под высказыванием понимается всякое предложение, в котором содержится смысл утверждения (истинности) или отрицания (ложности). Одно и то же высказывание не может одновременно являться истинным и ложным. Рассматриваются только два значения высказывания: истинное или ложное (1 или 0). Отдельные высказывания принято обозначать заглавными буквами латинского алфавита A, B, C, \dots . Если высказывание (суждение) истинно, то записывают: $A = 1$. Запись $C = 0$ означает, что высказывание C ложно. Такое условие алгебры логики приводит к соответствию между

логическими высказываниями в математической логике и двоичными цифрами в двоичной системе счисления, что позволяет описывать работу схем цифровых устройств и проводить их анализ и синтез с помощью алгебры логики.

Алгебра логики предусматривает множество логических операций. Однако три из них заслуживают особого внимания, так как с их помощью можно описать все остальные, такие как эквивалентность \leftrightarrow («тогда и только тогда, когда»), импликация \rightarrow («следовательно»), сложение по модулю два \oplus («исключающее или»), штрих Шеффера $|$, стрелка Пирса \downarrow и др. Такими главными логическими операциями являются конъюнкция (И) или (AND), дизъюнкция (ИЛИ) или (OR) и отрицание (НЕ) или (NOT). Обычно конъюнкцию обозначают знаками $\&$ или \wedge , дизъюнкцию – \vee , а отрицание – чертой над переменной, обозначающей высказывание.

При конъюнкции истина сложного выражения возникает лишь в случае истинности всех простых выражений, из которых состоит сложное. Во всех остальных случаях сложное выражение будет ложно.

При дизъюнкции истина сложного выражения наступает при истинности хотя бы одного входящего в него простого выражения или двух сразу. Бывает, что сложное выражение состоит более, чем из двух простых. В этом случае достаточно, чтобы одно простое было истинным, и тогда все высказывание будет истинным.

Отрицание – это унарная операция, так как выполняется по отношению к одному простому выражению или по отношению к результату сложного. В результате отрицания получается новое высказывание, противоположное исходному.

Логические операции удобно описывать так называемыми таблицами истинности, отражающими результаты вычислений сложных высказываний при различных значениях исходных простых высказываний. Простые высказывания обозначаются переменными (например, x и y). В таблице 2.1 приведены основные результаты бинарных логических операций.

Приведенные в табл. 2.1 функции f над переменными x , y имеют следующие значения:

$$f_1(x, y) = x \& y = x \cdot y = x \wedge y = \min(x, y) \text{ – конъюнкция (И);}$$

$$f_2(x, y) = x \vee y = \max(x, y) \text{ – дизъюнкция (ИЛИ);}$$

$$f_3(x, y) = x \equiv y = x \leftrightarrow y \text{ – эквивалентность;}$$

$$f_4(x, y) = x \oplus y \text{ – сумма по модулю два (исключающее ИЛИ);}$$

2.1. Бинарные логические операции

x	y	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{16}
0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

$f_5(x, y) = x \leftarrow y = x \subset y$ – импликация от y к x ;

$f_6(x, y) = x \rightarrow y = x \supset y$ – импликация от x к y ;

$f_7(x, y) = x \downarrow y$ – стрелка Пирса (функция Вебба, ИЛИ-НЕ);

$f_8(x, y) = x | y$ – штрих Шеффера (И-НЕ);

$f_9(x, y), f_{10}(x, y)$ – инверсии импликаций f_5 и f_6 ;

$f_{11} - f_{14}$ – функции одного аргумента;

f_{15}, f_{16} – тождества.

Алгебра логики устанавливает целый ряд законов, с помощью которых возможно преобразование логических (переключательных) функций $f(x, y)$. Так как высказывания в алгебре логики строятся над непустым множеством, над элементами которого определены три основных операции – конъюнкции, дизъюнкции и отрицания, то законы преобразования логических функций аналогичны законам преобразования множеств [9]. Впоследствии булева алгебра была обобщена от логики высказываний путём введения характерных для логики высказываний аксиом. Это позволило рассматривать, например, логику кубитов, тройственную логику (когда есть три варианта истинности высказывания: «истина», «ложь» и «не определено») и др.

Проблема минимизации логических функций решается на основе применения законов склеивания и поглощения с последующим перебором получаемых дизъюнктивных форм и выбором из них оптимальной (минимальной). Существует большое количество методов минимизации логических функций [12]. Все они отличаются друг от друга спецификой применения операций склеивания и поглощения, а также различными способами сокращения переборов. Среди аналитических методов наиболее известным является метод Квайна–Мак-Класки, среди графич-

ческих – метод с применением диаграмм Вейча. Графические методы минимизации отличаются большей наглядностью и меньшей трудоёмкостью, однако их применение эффективно при малом числе переменных ($n \leq 5$). Более подробно переключательные функции и методы их минимизации рассмотрены в п. 2.5, 2.6 пособия.

Алгебра логики послужила основным математическим инструментом при синтезе различных цифровых устройств (в том числе и ЭВМ). Она легко преобразуется в битовую логику: истинность высказывания обозначается одним битом (0 – ЛОЖЬ, 1 – ИСТИНА). Поэтому при проектировании цифровых устройств, анализе их схем с использованием средств САПР широко используется технический способ задания функций алгебры логики с помощью так называемых логических функциональных элементов. К таким элементам относят всякие технические устройства с n входами x_1, x_2, \dots, x_n и одним выходом y , обладающим двумя устойчивыми состояниями, которые кодируются символами «0» и «1».

В качестве примера на рис. 2.1 приведены условные графические обозначения (УГО) функциональных элементов, реализующих приведенные в табл. 2.1 логические операции [9].

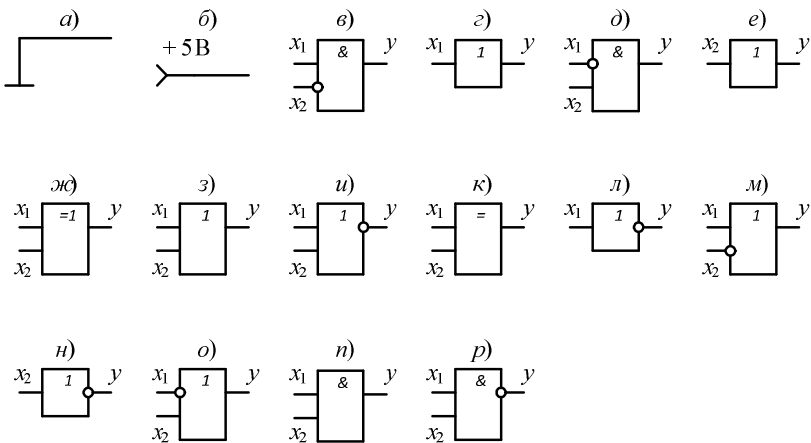


Рис. 2.1. Реализация функций алгебры логики на функциональных элементах:

a – логический «0»; *b* – логическая «1»; *v* – запрет x_1 ; *z* – повторение x_1 ;

d – запрет x_2 ; *e* – повторение x_2 ; *zh* – сложение по модулю два;

z – дизъюнкция; *u* – стрелка Пирса; *k* – эквивалентность; *l* – отрицание x_1 ;

m – импликация x_1 ; *n* – отрицание x_2 ; *o* – импликация x_2 ; *n* – конъюнкция;

p – штрих Шеффера

Результатом технической интерпретации логических функций является законченная схема цифрового устройства. В ходе работ над проектом обычно придерживаются следующей последовательности этапов:

- словесное описание;
- формализация словесного описания работы схемы;
- запись переключательных функций в дизъюнктивной (конъюнктивной) совершенной нормальной форме по таблицам истинности;
- минимизация логических зависимостей в целях их упрощения;
- представление полученных выражений в выбранном логически полном базисе элементарных функций;
- построение схемы устройства;
- виртуальная проверка работоспособности полученной схемы с использованием компьютерных средств;
- макетирование и отладка опытных образцов;
- запуск в производство.

Наиболее важными и ответственными, с точки зрения функционирования разрабатываемого изделия, являются этапы получения переключательных функций, их минимизация и синтез электрической схемы устройства.

2.3. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Любое логическое выражение, составленное из n переменных x_p , $p = \overline{1, n}$, с помощью конечного числа операций алгебры логики можно рассматривать как некоторую функцию n переменных, которая может принимать в зависимости от двух возможных значений переменных x_p (0 или 1) также только два значения: 0 либо 1. Такие функции являются весьма удобным инструментом для описания, анализа и синтеза переключательных схем, выходные сигналы которых характеризуются лишь двумя уровнями напряжения: высоким (уровень 1) и низким (уровень 0). Именно поэтому такие логические функции называются **переключательными** [1, 3, 12].

В общем виде такие функции можно записать в виде

$$f(v) = f(x_p), \quad p = \overline{1, n}.$$

Поскольку каждая переменная x_p может принимать только два значения, то и количество всех возможных комбинаций значений этих переменных конечно. Обозначая через e_p значение конкретной переменной x_p (0 или 1), введём понятие **области определения функций n переменных**, которой является совокупность точек n -мерного про-

странства, причём каждая из точек задаётся определённой комбинацией значений этих переменных:

$$x_n = e_n, \dots, x_p = e_p, \dots, x_1 = e_1,$$

где e_p принимает значения 0 или 1, а $p = \overline{1, n}$.

Точки, задающие область определения функции $f(v)$, обозначим в виде

$$v_i = (e_1, \dots, e_p, \dots, e_n),$$

где $e_1 \dots e_p \dots e_n$ – n -разрядные двоичные числа.

Все точки области определения функции n переменных можно пронумеровать с помощью десятичных чисел i . Поскольку имеется 2^n различных n -разрядных двоичных чисел, то и область определения функции n переменных состоит из 2^n точек:

$$v \in \{v_0, v_1, \dots, v_{2^n-1}\}.$$

Для задания функции $f(v)$ следует указать её значения во всех точках области определения, т.е. следует задать значения $f(v_i) = 0$ или 1, где $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$.

Каждой конкретной функции n переменных можно поставить в соответствие 2^n -разрядное число, составленное из значений $f(v_i) = 0$ или 1 ($i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$), которые она принимает в 2^n точках области определения. Поскольку всего имеется 2^{2^n} различных 2^n -разрядных двоичных чисел, то и число различных функций n переменных равно 2^{2^n} .

Необходимо отметить, что функции n переменных не всегда зависят от всех переменных x_1, \dots, x_n . Такие функции называются **вырожденными**. В частности, функция $f_0(v)$, равная нулю во всех точках v_i , и функция $f_1(v)$, равная единице во всех точках v_i , ($i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$), не зависят ни от одной переменной. Эти функции называются константой нуль и константой единица соответственно.

Особый интерес представляют следующие невырожденные функции двух переменных x_2 и x_1 , названия которым даны по используемым для их образования операциям алгебры логики:

$$f(x_2, x_1) = x_2 \vee x_1 \text{ – дизъюнкция (ИЛИ);}$$

$$f(x_2, x_1) = x_2 \& x_1 \text{ – конъюнкция (И);}$$

$$f(x_2, x_1) = \overline{x_2 \& x_1} \text{ – функция И-НЕ;}$$

$f(x_2, x_1) = \overline{x_2 \vee x_1}$ – функция ИЛИ-НЕ;

$f(x_2, x_1) = x_2 \oplus x_1$ – сумма по модулю два.

Область определения данных функций состоит из четырёх точек: $v_0 = (0; 0)$, $v_1 = (0; 1)$, $v_2 = (1; 0)$ и $v_3 = (1; 1)$, поскольку $2^n = 2^2 = 4$.

Так как область определения любой функции n переменных конечна, то она может быть задана таблицей значений $f(v_i) = a_i = 0$ или $f(v_i) = a_i = 1$, которые она принимает в точках v_i , где $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$. Такие таблицы называются таблицами истинности.

Функции двух переменных исключительно важны в силу того, что любая функция n переменных может быть получена из них методом **суперпозиции**, т.е. подстановкой этих функций вместо переменных в другие функции. Такая подстановка возможна на основании того, что области значений функций и переменных совпадают (0 и 1).

Функция n переменных $f(v)$ называется **полностью определённой**, если её значения $f(v_i) = a_i = 0$ или $f(v_i) = a_i = 1$ заданы во всех 2^n точках v_i области определения.

Если значения функции $f(v_i) = a_i$ не заданы ни в одной точке v_i , то она называется **полностью неопределённой** и обозначается $f(v_i) = \hbar$, где \hbar – символ, обозначающий полную неопределённость.

Если значение функции не задано хотя бы в одной точке v_i , то она называется **не полностью определённой**. Не определённое в точке v_i значение функции задают произвольным коэффициентом c_i , значение которого носит неопределённый характер. Иногда значение этого коэффициента указывают специальным символом Φ , в котором совмещены цифры 0 и 1, что подчёркивает неопределённость c_i . Поэтому, если в точке v_i значение функции не задано, то $f(v_i) = c_i = \Phi$.

Не полностью определённые функции доопределяют произвольным способом, задавая $c_i = 0$ или $c_i = 1$. Если значения функции не заданы в m точках, то функцию можно доопределить 2^m способами, так как имеется 2^m различных m -разрядных двоичных чисел, соответствующих различным способам доопределения функции в m точках. Таким образом, не определённой в m точках функции соответствует множество из 2^m полностью определённых функций.

Теории переключательных функций посвящено много работ, среди которых следует выделить [13 – 15] как наиболее фундаментальные.

Алгебра логики обладает интересным свойством, которое получило название **принципа двойственности**: если в каком-либо тождестве произвести взаимную замену символов 0 и 1 (если они имеются) и операций дизъюнкции и конъюнкции, то в результате также будет по-

лучено тождество. Два связанных между собой таким образом тождества называются двойственными тождествами. Законы двойственности определяют способ отыскания инверсных функций, представляющих собой дизъюнкцию и конъюнкцию двух переменных.

В теории переключательных функций особое значение имеет **теорема разложения Шеннона**, которая утверждает, что любую функцию $f(v)$ можно разложить по переменной x_p в форме

$$f(x_1, \dots, x_p, \dots, x_n) = \bar{x}_p \& f(x_1, \dots, 0, \dots, x_n) \vee x_p \& f(x_1, \dots, 1, \dots, x_n). \quad (2.5)$$

Заметим, что разложение функции n переменных

$$f(v) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.6)$$

представляет собой дизъюнкцию 2^n членов вида $f(e_n, \dots, e_p, \dots, e_1) \& (x_n^{e_n} \dots x_p^{e_p} \dots x_1^{e_1})$:

$$\begin{aligned} f(v) &= \bigvee_{i=0}^{2^n-1} f(e_n, \dots, e_p, \dots, e_1) \& (x_n^{e_n} \dots x_p^{e_p} \dots x_1^{e_1}) = \\ &= \bigvee_{i=0}^{2^n-1} f(v_i) \& \prod_{p=1}^n x_p^{e_p} = \bigvee_{i=0}^{2^n-1} a_i \& K_i(v), \end{aligned} \quad (2.7)$$

где $K_i(v) = x_n^{e_n} \dots x_p^{e_p} \dots x_1^{e_1} = \prod_{p=1}^n x_p^{e_p}$ – невырожденная функция n переменных, получившая название **минимального терма**, или **минтерма** (под **термом** понимают переменные и их инверсии, конъюнкции и дизъюнкции).

Минтермы обладают следующими свойствами:

$$K_i(v) = \begin{cases} 1, & \text{если } v = v_i, \\ 0, & \text{если } v = v_j \neq v_i; \end{cases}$$

$$K_i(v) \& K_j(v) \equiv 0, \text{ если } i \neq j;$$

$$\bigvee_{i=0}^{2^n-1} K_i(v) \equiv 1.$$

Последнее свойство дало другое название минтерма – **конституента единицы** (конституента – совокупность переменных, соединённых знаком конъюнкции).

По аналогии с минтермом, **максимальным термом**, или **макстермом** называют функцию n переменных $M_i(v) = \overline{K_i(v)} = \overline{\prod_{p=1}^n x_p^{e_p}} = \bigvee_{p=1}^n \overline{x_p^{e_p}}$.

Макстермы обладают следующими свойствами:

$$M_i(v) = \begin{cases} 0, & \text{если } v = v_i, \\ 1, & \text{если } v = v_j \neq v_i; \end{cases}$$

$$M_i(v) \vee M_j(v) \equiv 1, \text{ если } i \neq j;$$

$$\prod_{i=0}^{2^n-1} M_i(v) \equiv 0.$$

Благодаря последнему свойству минтерм иногда называют **конституентой нуля**.

Форма (2.7) представления функции n переменных (2.6) называется **совершенной дизъюнктивной нормальной формой** (СДНФ). В этом названии термин «совершенная форма» означает, что все члены имеют одинаковую размерность, а термин «нормальная форма» – то, что в выражении, задающем функцию, последовательно выполняются не более двух операций алгебры логики [12]. Другими словами, выражение (2.7) является разложением по всем переменным функции (2.6) по теореме Шеннона (2.5).

Поскольку значения функции a_i принимают значения нуля или единицы, то $a_i \& K_i(v) = 0$, если $a_i = 0$ и $a_i \& K_i(v) = K_i(v)$, если $a_i = 1$. Поэтому СДНФ функции можно представить в виде

$$f(v) = \bigvee_{i_1} K_{i_1}(v). \quad (2.8)$$

Совершенную конъюнктивную нормальную форму (СКНФ) представления функции нескольких переменных (2.6) легко получить, используя способ, основанный на записи СДНФ инверсной функции $\overline{f(p)}$. На основании (2.7) запишем СДНФ инверсной функции:

$$\overline{f(v)} = \bigvee_{i=0}^{2^n-1} \overline{a_i} K_i(v).$$

Из данного соотношения на основании принципа двойственности можно записать, что

$$f(v) = \overline{\bigvee_{i=0}^{2^n-1} \bar{a}_i K_i(v)} = \prod_{i=0}^{2^n-1} \overline{\bar{a}_i K_i(v)} = \prod_{i=0}^{2^n-1} [a_i \vee \overline{K_i(v)}].$$

После упрощения (согласно определению макстермов) следует, что

$$f(v) = \prod_{i=0}^{2^n-1} [a_i \vee M_i(v)]. \quad (2.9)$$

Такая форма представления функции (2.6) и называется СКНФ.

Поскольку значения функции a_i принимают значения нуля или единицы, то $a_i \vee M_i(v) = M_i(v)$, если $a_i = 0$ и $a_i \vee M_i(v) = 1$, если $a_i = 1$. Поэтому СКНФ функции (2.9) можно представить в виде

$$f(v) = \prod_{i_0} M_{i_0}(v). \quad (2.10)$$

В качестве примера рассмотрим функцию $f(v)$ трёх переменных x_1, x_2 и x_3 , заданную таблицей истинности (табл. 2.2). Составим СДНФ и СКНФ представления этой функции.

Из таблицы 2.2 видно, что $a_1 = a_2 = a_5 = a_7 = 1$. Тогда на основании (2.8) можно записать, что

$$\begin{aligned} f(v) &= K_1(v) \vee K_2(v) \vee K_5(v) \vee K_7(v) = \\ &= (\bar{x}_1 \& \bar{x}_2 \& x_3) \vee (\bar{x}_1 \& x_2 \& \bar{x}_3) \vee (x_1 \& \bar{x}_2 \& x_3) \vee (x_1 \& x_2 \& x_3). \end{aligned} \quad (2.11)$$

Такое представление и является СДНФ функции $f(v)$, заданной табл. 2.2.

Из таблицы 2.2 также следует, что $a_0 = a_3 = a_4 = a_6 = 0$. Тогда на основании (2.10) можно записать, что

2.2. Таблица истинности

Вес, i	Состояния входов			Состояние выхода, a_i	Вес, i	Состояния входов			Состояние выхода, a_i
	x_1	x_2	x_3			x_1	x_2	x_3	
0	0	0	0	0	4	1	0	0	0
1	0	0	1	1	5	1	0	1	1
2	0	1	0	1	6	1	1	0	0
3	0	1	1	0	7	1	1	1	1

$$\begin{aligned}
 f(v) &= M_0(v) \& M_3(v) \& M_4(v) \& M_6(v) = \\
 &= (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \& (x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \& (\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \& (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3).
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Данное выражение и является СКНФ функции $f(v)$, заданной табл. 2.2.

Обычно на практике составляется либо СДНФ, либо СКНФ форма переключательной функции, поскольку они одинаково полно дают представление о состоянии выхода устройства. Однако, если множество состояний выхода a_i содержит больше элементов, значение которых равно единице, то в целях сокращения математической записи удобнее использовать СКНФ, в противном случае – СДНФ.

Важной задачей является техническая реализация полученных математических представлений переключательных функций в виде цифрового устройства. Выполним электрическую принципиальную схему такого устройства на функциональных логических элементах (см. п. 2.2), работа которого определяется СДНФ (2.11) и СКНФ (2.12) представления функции в рассмотренном выше примере. Соответствующие им схемы показаны на рис. 2.2 и 2.3 соответственно.

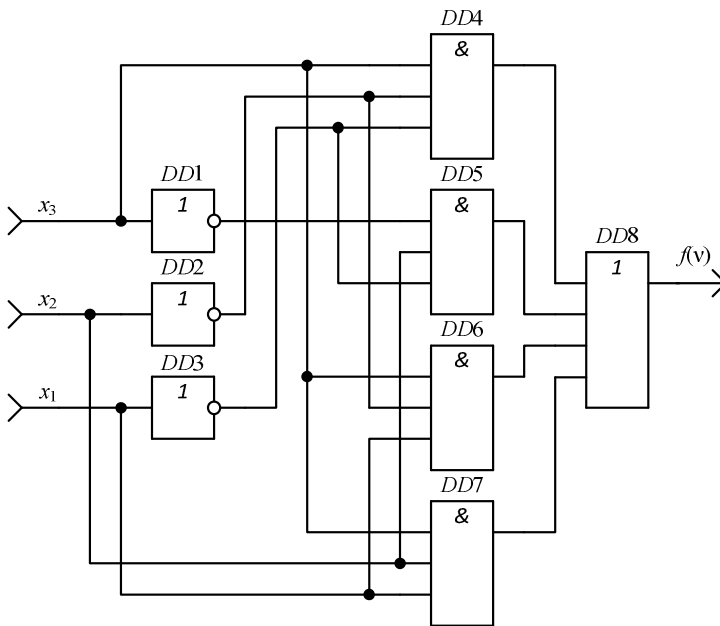


Рис. 2.2. Схемотехническая реализация СДНФ функции

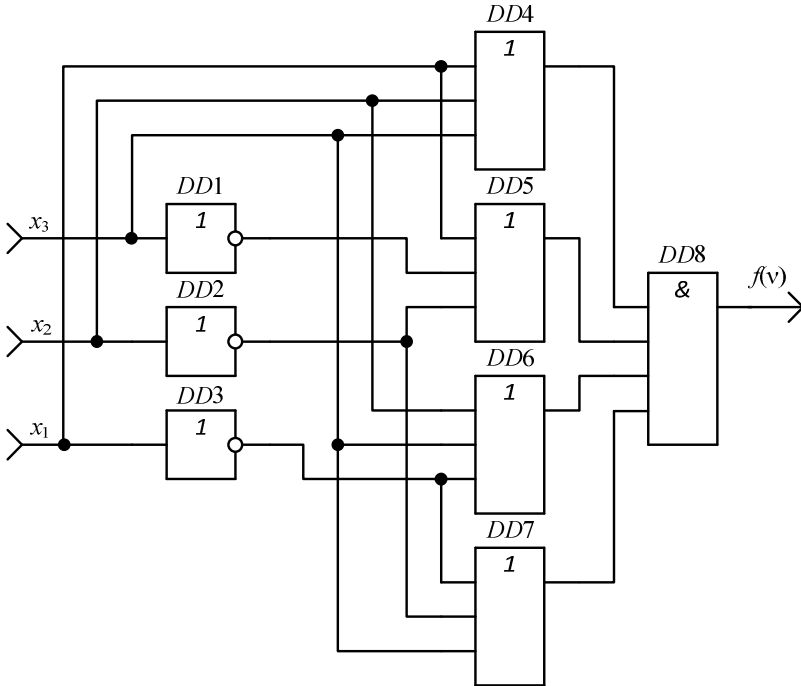


Рис. 2.3. Схемотехническая реализация СКНФ функции

Следует заметить, что здесь и далее по тексту данного учебного пособия (кроме особо оговорённых случаев) во всех изображениях схем использованы УГО, регламентированные актуальными стандартами Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), в частности ГОСТ 2.743–91 – «Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники», а сами схемы выполнены с учётом требований ГОСТ 2.702–2011 «Правила выполнения электрических схем» [16].

Как видно из рис. 2.2, для схемотехнической реализации СДНФ (2.11) задействовано восемь базовых функциональных логических элементов: три инвертора (НЕ) $DD1 - DD3$, четыре трёхходовых конъюнктора (ЗИ) $DD4 - DD7$ и дизъюнктор на четыре входа (4ИЛИ) $DD8$. На входы схемы x_1 , x_2 и x_3 с генератора подаётся последовательность логических сигналов в соответствии с таблицей истинности 2.2, на выходе – состояние a_i , определяемое комбинацией входных сигналов в текущий момент времени. В соответствии с (2.11) элементы $DD1 - DD3$ осуществляют инверсию входных сигналов $x_1 - x_3$, четыре

элемента $DD4 - DD7$ соответствуют четырём группам конъюнкций сигналов (операции в скобках), над результатами которых осуществляется дизъюнкция элементом $DD8$.

Схемотехническая реализация СКНФ (2.12), представленная на рис. 2.3, выполнена аналогичным образом. Здесь задействовано также восемь базовых функциональных логических элементов: три инвертора (НЕ) $DD1 - DD3$, четыре дизъюнктора (ЗИЛИ) $DD4 - DD7$ и конъюнктор (И) $DD8$. На входы схемы x_1 , x_2 и x_3 с генератора подается последовательность логических сигналов в соответствии с таблицей истинности 2.2, на выходе – состояние a_i , определяемое комбинацией входных сигналов в текущий момент времени. В соответствии с (2.12), элементы $DD1 - DD3$ осуществляют инверсию входных сигналов $x_1 - x_3$, четыре элемента $DD4 - DD7$ соответствуют четырем группам дизъюнкций сигналов (операции в скобках), над результатами которых осуществляется элементом конъюнкция $DD8$.

Часто состояния входов и выходов цифровых схем вместо таблиц истинности представляют временными диаграммами, которые позволяют в более наглядной форме изучить работу проектируемого устройства. Так, на рис. 2.4 показаны временные диаграммы работы схем, изображённых на рис. 2.2 и 2.3.

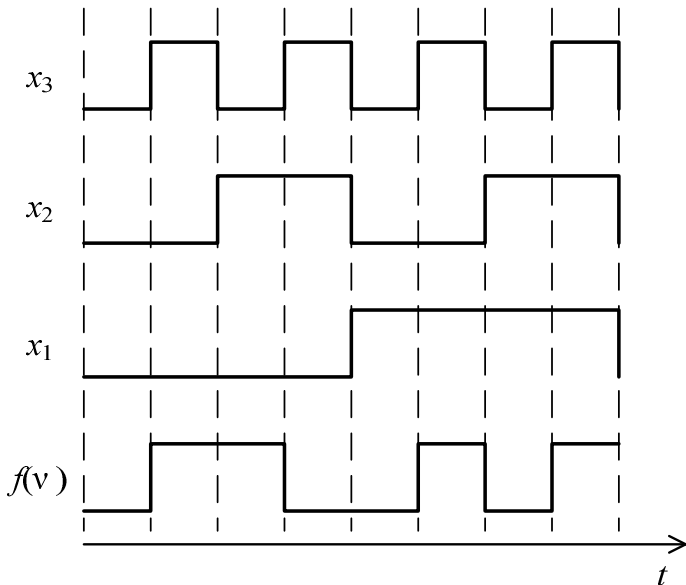


Рис. 2.4. Временные диаграммы работы схем

Для удобства схемотехнического проектирования, в настоящее время на рынке программных продуктов существует множество специализированного ПО, предназначенного для моделирования и анализа электрических принципиальных схем как аналоговых, так и цифровых устройств. Компьютерное моделирование позволяет специалисту выполнить виртуальное проектирование устройства, проанализировать режимы его работы и тем самым устранить возможные схемотехнические ошибки на ранних этапах проекта, до изготовления натуральных макетов и опытных образцов [7 – 9]. К таким наиболее известным программным продуктам следует отнести *NI Multisim* корпорации *National Instruments* (США), *Micro-Cap* фирмы *Spectrum Software* (США) [26]. Из ответственных программ схемотехнического моделирования следует отметить *SimOne*, разработчик ООО «Эремекс».

У всех этих производителей можно загрузить демонстрационную версию программы, чтобы ознакомиться с её функциональными возможностями, сравнить с альтернативными вариантами и принять решение о целесообразности её приобретения. Так, студенческую версию *Micro-Cap* можно бесплатно скачать с официального сайта разработчика по адресу: <http://www.spectrum-soft.com/demofrom.shtm>. Для этого необходимо заполнить приведённую на сайте регистрационную форму, после чего на указанный в ней адрес электронной почты придёт ссылка для загрузки программы. В этой версии присутствуют некоторые ограничения – на число компонентов моделируемой схемы (не более 50), количество элементов в библиотеке компонентов и некоторые другие. Тем не менее, для моделирования простейших узлов цифровых устройств её возможностей вполне достаточно.

2.4. МИНИМИЗАЦИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Поскольку переключательные функции являются математически моделями некоторых реальных цифровых схем, то для того, чтобы синтезировать наиболее оптимальное с точки зрения аппаратных затрат цифровое устройство, его математическую модель, представленную в виде СДНФ или СКНФ, преобразуют к соответствующему виду с использованием рассмотренных в п. 2.2 законов алгебры логики. Преобразование СДНФ или СКНФ переключательной функции к минимальному виду аналитической записи называется процессом **минимизации** логической функции. Чем проще логические выражения, описывающие переключательные функции, тем проще и дешевле реализующая их схема. Однако результат минимизации функции с помощью законов и тождественных преобразований алгебры логики во многом зависит от опыта разработчика и не всегда является очевид-

ным. Поэтому разработан ряд алгоритмов, формализующих и автоматизирующих подобные преобразования.

Рассмотрим один из графических методов минимизации функции n переменных, предложенный американским учёным Эдвардом В. Вейчем в 1952 г. Вейч разработал специальные диаграммы-карты, в которые можно записать все единичные значения контермов функции, входящих в СДНФ или все нулевые значения дизтермов функции, входящих в СКНФ той или иной переключательной функции. Следует заметить, что **конъюнктивным термом**, или **контермом** функции называется конъюнкция любого числа первичных термов (переменных) x_p при условии, что каждый первичный терм с индексом p входит в неё не более одного раза. Аналогично, **дизъюнктивным термом**, или **дизтермом** функции называется дизъюнкция любого числа первичных термов x_p , если каждый первичный терм с индексом p входит в неё не более одного раза.

Диаграммы Вейча представляют собой табличный способ задания логических функций и состоят из клеток, каждая из которых соответствует определённой точке v_i области определения функций. Следовательно, диаграммы Вейча для функции n переменных состоят из 2^n клеток и отображают n -мерное пространство на плоскость. Несомненным достоинством метода является наглядность и простота использования при небольшом числе переменных ($n \leq 6$).

На рисунке 2.5, *a* – *в* показаны диаграммы для минимизаций функций двух, трёх и четырёх переменных соответственно.

Минимизация функции n переменных методом диаграмм Вейча заключается в следующем. Каждой клетке диаграммы в случае минимизации СДНФ соответствует определённый единичный контерм.

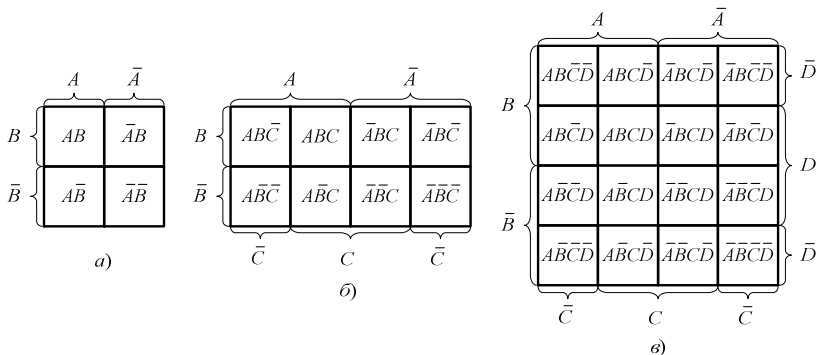


Рис. 2.5. Диаграммы Вейча для логических функций:

a – двух переменных; *б* – трёх переменных; *в* – четырёх переменных

Единичные контермы, входящие в СДНФ переключательной функции, заносятся в соответствующие клетки диаграммы. Все диаграммы построены таким образом, что рядом расположенные единицы по горизонтали или вертикали склеиваются между собой в соответствии с законом склеивания алгебры логики. Один и тот же единичный контерм можно использовать для склеивания с несколькими другими контермами в целях получения наиболее простого окончательного выражения. Цель всех операций – получить как можно меньшее число прямоугольников (в том числе квадратов), чтобы число членов СДНФ исходной функции уменьшилось, получив в итоге **минимальную дизъюнктивную нормальную форму** (МДНФ). При минимизации СКНФ выполняются аналогичные действия относительно нулевых дизтермов, чтобы в результате, сократив число членов СКНФ, получить **минимальную конъюнктивную нормальную форму** (МКНФ).

Формировать прямоугольники можно только при включении в них хотя бы одного нового члена. Склеивание можно осуществлять и путём замыкания крайних рёбер в «бочку». Таким образом, полученная диаграмма Вейча геометрически образует цилиндр. На рисунке 2.6, *a – d* приведены примеры склеивания контермов единицы для функций двух

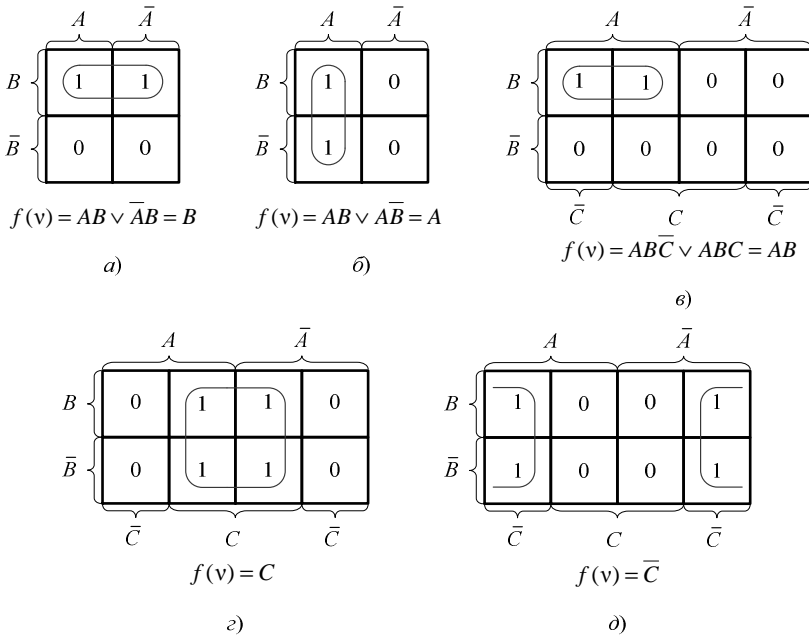


Рис. 2.6. Примеры для иллюстрации правил склеивания

и трёх переменных. Поскольку для функции трёх переменных диаграмма представляет как бы развёртку цилиндра, разрезанного по \bar{C} , то единицы, расположенные по краям диаграммы (рис. 2.6, д), считаются расположенными рядом.

Минимизация переключательных функций методом диаграмм Вейча включает в себя следующие шаги:

1) проводится занесение в соответствующую диаграмму контермов единиц, входящих в СДНФ (дизтермов нуля в СКНФ) исходной функции;

2) используя правила склеивания, находят минимальные термы – минтермы из имеющихся контермов или дизтермов;

3) находится искомая МДНФ (или МКНФ) исходной СДНФ (или СКНФ) переключательной функции путём выбора совокупности минтермов, покрывающих все единичные контермы (или нулевые дизтермы) диаграммы.

Рассмотрим использование метода диаграмм Вейча для минимизации СДНФ (2.11) и СКНФ (2.12) функции трёх переменных x_1, x_2 и x_3 , заданной табл. 2.2 (см. пример из п. 2.3).

Полученные диаграммы Вейча для СДНФ и СКНФ представлений переключательной функции приведены на рис. 2.7 а, б. Используя рассмотренные выше правила склеивания, получаем МДНФ

$$f(p) = (\bar{x}_2 \& x_3) \vee (x_1 \& x_3) \vee (\bar{x}_1 \& x_2 \& \bar{x}_3) \quad (2.13)$$

и МКНФ переключательной функции

$$f(p) = (x_2 \vee x_3) \& (\bar{x}_1 \vee x_3) \& (x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \quad (2.14)$$

соответственно.

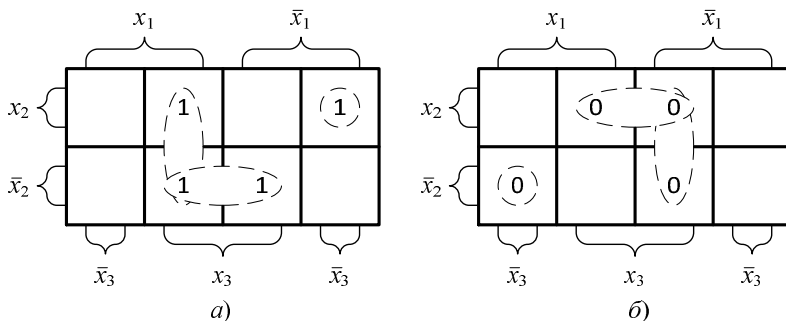


Рис. 2.7. Диаграммы Вейча:
а – для СДНФ функции; б – для СКНФ функции

Для схемотехнической реализации МДНФ (2.13) задействовано семь базовых функциональных логических элементов (рис. 2.8): три инвертора (НЕ) $DD1 - DD3$, два двухвходовых конъюнктора (И) $DD4 - DD5$, один трёхвходовый конъюнктор (ИИ) $DD6$ и дизъюнктор на три входа (ИЛИ) $DD7$. На входы схемы x_1, x_2 и x_3 с генератора подаётся последовательность логических сигналов в соответствии с таблицей истинности (см. табл. 2.2), на выходе – состояние a_i , определяемое комбинацией входных сигналов в текущий момент времени. В соответствии с (2.13), элементы $DD1 - DD3$ осуществляют инверсию входных сигналов $x_1 - x_3$, элементы $DD4 - DD6$ соответствуют трём группам конъюнкций сигналов (операции в скобках), над результатами которых осуществляется дизъюнкция элементом $DD7$.

Схемотехническая реализация МКНФ (2.14), представленная на рис. 2.9, выполнена аналогичным образом. Здесь задействовано также семь базовых функциональных логических элементов: три инвертора (НЕ) $DD1 - DD3$, два двухвходовых дизъюнктора (ИЛИ) $DD4 - DD5$, один трёхвходовый дизъюнктор (ИЛИИ) $DD6$ и конъюнктор на три входа (ИИ) $DD7$. На входы схемы x_1, x_2 и x_3 с генератора подаётся последовательность логических сигналов в соответствии с таблицей истинности (см. табл. 2.2), на выходе – состояние a_i , определяемое комбинацией входных сигналов в текущий момент времени. В соответствии с (2.14), элементы $DD1 - DD3$ осуществляют инверсию входных

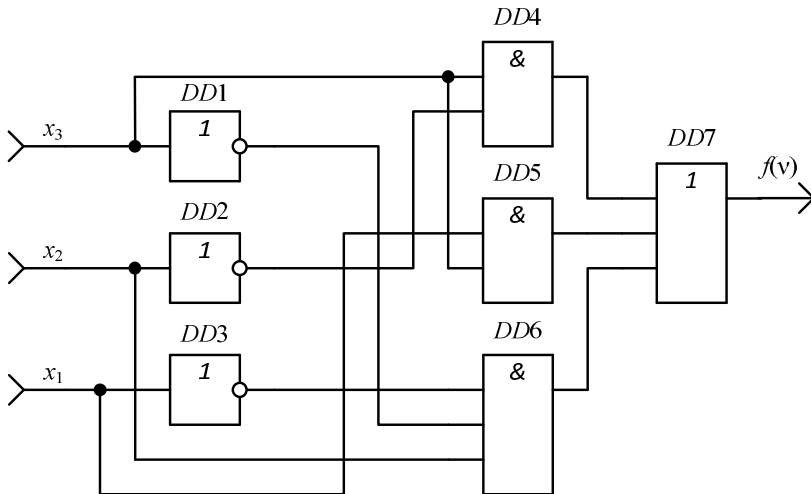


Рис. 2.8. Схемотехническая реализация МДНФ функции

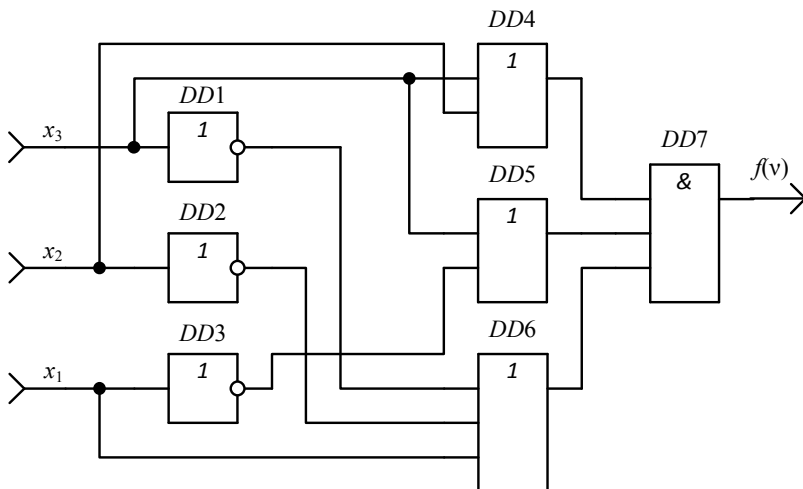


Рис. 2.9. Схематическая реализация МКНФ функции

сигналов $x_1 - x_3$, элементы $DD4 - DD6$ соответствуют трём группам дизъюнкций сигналов (операции в скобках), над результатами которых осуществляется конъюнкция элементом $DD7$.

Поскольку минимальный вид аналитической записи не изменяет логику работы самой переключательной функции, то временные диаграммы работы схем рис. 2.8 и 2.9 будут полностью идентичны графикам, показанным на рис. 2.4 в предыдущем параграфе учебного пособия.

Модификацией диаграмм Вейча являются **карты Карно**, предложенные в 1953 г. американским физиком Морисом Карно из *Bell Laboratories* – научно-исследовательского центра в области телекоммуникаций, электронных и компьютерных систем. Они позволяют изображать на плоскости прямоугольника контермы единицы (дизтермы нуля) для переключательной функции, содержащей более четырёх переменных.

В отличие от диаграмм Вейча, в которых отдельным строкам и столбцам соответствуют отдельные переменные, в картах Карно им можно присваивать значения нескольких переменных. При этом должны быть представлены все возможные комбинации этих переменных, например: AB , $A\bar{B}$, $\bar{A}B$ и $\bar{A}\bar{B}$. Таким образом, общее количество переменных минимизируемой логической функции может быть больше, чем в случае использования диаграмм Вейча, хотя сам процесс минимизации протекает точно так же, как и в методе диаграмм Вейча.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются позиционные системы счисления от непозиционных?
2. Какие системы счисления наиболее часто используются в вычислительной технике?
3. Как осуществляется представление чисел в десятичной, двоичной, восьмеричной и шестнадцатеричной системах счисления?
4. По каким правилам выполняется перевод целых чисел в десятичную систему счисления?
5. Как перевести целое число из одной системы счисления с основанием p_1 в другую с основанием p_2 ?
6. Как выполняется перевод смешанных чисел в новую систему счисления?
7. По каким правилам на практике выполняют перевод восьмеричных и шестнадцатеричных чисел в двоичную систему счисления и обратно?
8. Каким практическим способом удобно представлять двоичные числа их десятичным эквивалентом?
9. Какие объекты изучает алгебра логики?
10. Какие основные логические операции используются в алгебре логики?
11. Что представляют собой и каково назначение таблиц истинности?
12. В чём заключается технический способ задания функций алгебры логики?
13. Какие логические функции называют переключательными?
14. Что представляет собой область определения функции нескольких переменных?
15. Какие функции n переменных называют полностью определёнными, полностью неопределёнными и не полностью определёнными?
16. Какие функции n переменных называют вырожденными?
17. В чём заключается принцип двойственности?
18. Как формулируется теорема разложения Шеннона?
19. Что представляют собой минимальные термы и каковы их свойства?
20. Какими свойствами обладают максимальные термы?
21. Каким образом получают совершенную дизъюнктивную нормальную форму представления функции n переменных?
22. Как представить функцию n переменных в совершенной конъюнктивной нормальной форме?

23. Каким образом по таблице истинности составить СДНФ или СКНФ переключательной функции?
24. Как осуществляют схемотехническую реализацию математических представлений переключательных функций?
25. В каких целях состояния входов и выходов цифровых устройств отображают графически в виде временных диаграмм? Как сопоставить таблицу истинности с временными диаграммами?
26. Какие современные информационные технологии используются для схемотехнического моделирования?
27. Что представляет собой минимизация переключательной функции, и в каких целях её проводят?
28. Какие методы используют для минимизации логических функций?
29. В чём заключается сущность метода диаграмм Вейча?
30. Какие этапы включает в себя минимизация функций методом диаграмм Вейча?
31. В чём отличия карт Карно от диаграмм Вейча?

Глава 3

КОМПОНЕНТЫ И УЗЛЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Типовые функциональные узлы цифровой электроники являются основой построения электронных модулей высших уровней конструктивной иерархии – ячеек и блоков. Ячейка представляет собой функциональный узел, выполненный на основе печатного монтажа. Основу ячейки составляют ИМС и другие электронные компоненты [16]. Примерами ячеек служат системная плата, видеоадаптер и другие типовые узлы, входящие в состав ЭВМ.

К настоящему времени сформировался определённый подход к составу типовых узлов компьютерной техники, которые в зависимости от технических характеристик СВТ, могут иметь различную схемотехническую и практическую реализацию. Так, например, процессор современного персонального компьютера выполнен в микроминиатюрном интегральном исполнении, а процессор суперЭВМ может занимать целый шкаф с размещёнными в нём блоками и ячейками. Поэтому вне зависимости от того, какой вычислительной мощностью и эксплуатационными возможностями обладает то или иное СВТ, состав его основных компонентов и узлов будет одинаковым и соответствовать типовой структуре ЭВМ, рассмотренной в п. 1.4.

Для лучшего представления о работе ЭВМ в целом и протекающих процессах в её отдельных узлах в частности необходимо хорошо знать работу входящих в её состав компонентов, как по отдельности, так и при их совместном взаимодействии. Поскольку наибольшее распространение сейчас получили персональные компьютеры, то в данной главе описание основных компонентов и узлов СВТ будет проводиться в основном применительно к ПЭВМ как к наиболее яркому и представительному классу современных СВТ.

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРОПРОЦЕССОРАХ

Центральный процессор персонального компьютера является самым важным и, как правило, самым дорогостоящим его компонентом, обеспечивающим все вычисления и обработку данных. В технической литературе названию центрального процессора соответствует аббревиатура *CPU* (от англ. *Central Processing Unit* – центральный процессорный блок). Слово «Unit», или «блок» в расшифровке аббревиатуры указывает на то, что центральный процессор может быть реализован не только в микроминиатюрном интегральном исполнении (микроЭВМ), так и в виде отдельного электронного блока (суперЭВМ). Выполненный по интегральной полупроводниковой технологии центральный процессор получил название **микрпроцессора**.

Для решения широкого круга различного рода задач микропроцессор должен обладать алгоритмически полной системой команд. Несмотря на то, что минимальная алгоритмически полная система команд процессора может состоять всего из одной или нескольких универсальных команд, использование процессоров с минимальными по числу операций системами команд ведёт к неэкономичному использованию информационных ёмкостей памяти и значительным затратам времени на выполнение больших программ. В связи с этим в микропроцессоры встраиваются специальные аппаратные средства, позволяющие реализовать десятки и даже сотни команд и обеспечить возможность компактной записи алгоритмов.

Практически во всех современных микропроцессорных системах используются сложные и развитые системы команд. Их ядро, состоящее из набора универсальных команд, реализуется аппаратным способом в центральном микропроцессоре. Кроме того, специализированные части наборов системы команд реализуются вспомогательными или периферийными микропроцессорами, получившими название **сопроцессоров**. Эти расширяющие возможности обработки данных специальные арифметические или логические микропроцессоры позволяют ускорить исполнение определённых команд и тем самым сократить общее время выполнения программы.

В июне 1978 года *Intel* выпустила микропроцессор *I8086*, который содержал набор команд под кодовым названием *x86*. Этот набор команд до сих пор поддерживается в самых современных микропроцессорах, таких как *Core I7* и *AMD FX*, что обеспечивает совместимость программного обеспечения по принципу «снизу вверх». Первым компьютером, использующим микропроцессор *I8086*, стал ПК фирмы *IBM*, поэтому исторически сложилась традиция: семейство компьютеров, использующих микропроцессоры, совместимые с *I8086*, называть *IBM-совместимыми*.

Характеристики микропроцессоров как функциональных узлов включают значение тактовой частоты, формат обрабатываемых данных, количество и тип команд, методы адресации данных, число внутренних регистров общего и специального назначения и их разрядность, возможности организации и адресации стека, параметры виртуальной памяти и информационную ёмкость адресуемой памяти. Большое значение имеют средства построения системы прерываний программ, построения эффективных систем ввода-вывода данных и развития интерфейса [1, 3, 6].

Классификацию микропроцессоров обычно осуществляют по семи основным направлениям – физической основе функционирования, назначению, виду обрабатываемой входной информации, количеству

одновременно выполняемых программ, полноте и порядку выполнения набора команд, по характеру временной организации работы и числу ИМС, образующих микропроцессорный комплект.

Так, по физической природе функционирования выделяют микропроцессоры, работа которых основана на различных физических принципах действия: электрических, оптических, оптоэлектрических, пневматических, гидравлических и даже биологических.

По назначению различают универсальные и специализированные микропроцессоры. К универсальным относят такие микропроцессоры, в системе команд которых заложена алгоритмическая универсальность. В таких микропроцессорах выполняемый состав команд позволяет получить преобразование информации в соответствии с любым заданным алгоритмом, что обеспечивает применение универсальных микропроцессоров для решения широкого круга разнообразных задач. Производительность универсальных микропроцессоров слабо зависит от проблемной специфики решаемых задач.

Специализированные микропроцессоры предназначены для решения определённого класса задач (иногда даже только одной конкретной задачи). Их существенными особенностями являются простота управления, компактность аппаратных средств, низкая стоимость и малая мощность потребления. Специализация микропроцессора, т.е. его проблемная ориентация на ускоренное выполнение отдельных функций, позволяет резко увеличить его эффективную производительность при решении определённых задач. Среди специализированных микропроцессоров можно выделить микроконтроллеры, ориентированные на выполнение сложных последовательностей логических операций; математические сопроцессоры, предназначенные для повышения производительности при выполнении арифметических операций; микропроцессоры для обработки входных данных в различных областях применений и т.д.

По виду обрабатываемых входных сигналов различают цифровые и аналоговые микропроцессоры. Хотя сами микропроцессоры являются цифровыми устройствами, однако они могут иметь встроенные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Поэтому входные аналоговые сигналы передаются в микропроцессор через АЦП, обрабатываются и после обратного преобразования в ЦАП поступают на выход. С архитектурной точки зрения, такие микропроцессоры представляют собой аналоговые функциональные преобразователи сигналов и называются аналоговыми микропроцессорами. Они выполняют функции любой аналоговой схемы (генераторов колебаний, модуляторов, смесителей, фильтров, кодеров и декодеров сигналов и пр.), заменяя дискретные узлы, состоящие из операционных усилителей,

катушек индуктивности, конденсаторов и т.д. Применение аналогового микропроцессора значительно повышает точность обработки аналоговых сигналов, а также расширяет функциональные возможности устройства за счёт программной реализации различных алгоритмов обработки сигналов. Отличительная черта аналоговых микропроцессоров – способность к переработке большого объёма числовых данных, т.е. к выполнению операций сложения и умножения с большой скоростью. Аналоговый сигнал, преобразованный в цифровую форму, обрабатывается в реальном масштабе времени и передаётся на выход обычно в аналоговой форме через ЦАП. При этом согласно теореме Котельникова частота квантования аналогового сигнала должна вдвое превышать верхнюю частоту сигнала. Сравнение цифровых микропроцессоров проводится сопоставлением времени выполнения ими списков операций, а сравнение аналоговых микропроцессоров проводится по количеству эквивалентных звеньев аналого-цифровых фильтров – рекурсивных фильтров второго порядка. Производительность аналогового микропроцессора определяется его способностью быстро выполнять операции умножения: чем быстрее осуществляется умножение, тем больше эквивалентное количество звеньев фильтра в аналоговом преобразователе и тем более сложный алгоритм преобразования цифровых сигналов можно задавать в микропроцессоре. Одним из направлений дальнейшего совершенствования аналоговых микропроцессоров является повышение их универсальности и гибкости.

По количеству одновременно выполняемых программ различают одно- и многопрограммные микропроцессоры. В однопрограммных микропроцессорах в один момент времени может выполняться только одна программа. Переход к выполнению следующей программы происходит только после завершения текущей. В многопрограммных микропроцессорах одновременно может выполняться несколько программ. Организация мультипрограммной работы микропроцессорных систем позволяет осуществить контроль за состоянием и управлением большим числом источников или приёмников информации.

По полноте и порядку выполнения набора команд различают микропроцессоры с полным и сокращённым наборами команд. Микропроцессоры с полным набором команд – *CISC* (от англ. *Complete Instruction Set Computer*) имеют неизменную разрядность слова данных и фиксированный набор команд. Каждая команда представляет собой определённую последовательность микрокоманд. На её выполнение может затрачиваться несколько машинных циклов (обращений к внешней памяти), каждый из которых включает в себя от 1 до 12 рабочих тактов. Микропроцессоры с сокращённым набором команд – *RISC* (от англ. *Reduce Instruction Set Computer*) имеют небольшой набор час-

то используемых команд одинакового формата, которые могут быть выполнены за один такт. Более сложные или редко используемые команды реализуются на программном уровне. Тем не менее, за счёт значительного повышения скорости выполнения сокращённого набора команд, средняя производительность *RISC*-процессоров оказывается выше, чем у процессоров *CISC*.

По характеру временной организации работы выделяют синхронные и асинхронные микропроцессоры. К синхронным относят такие микропроцессоры, в которых начало и конец выполнения операций задаются устройством управления (т.е. время выполнения операций не зависит от вида выполняемых команд и величин операндов). Асинхронные микропроцессоры позволяют определить начало выполнения каждой следующей операции по сигналу окончания выполнения предыдущей. Для более эффективного использования каждого компонента микропроцессорной системы в состав асинхронно работающего устройства вводят специальные электронные цепи, обеспечивающие его автономное функционирование. Закончив работу над какой-либо операцией, процессор вырабатывает сигнал запроса, означающий его готовность к выполнению следующей операции.

По числу ИМС в микропроцессорном комплекте различают однокристалльные, многокристалльные и многокристалльные секционные микропроцессоры. Однокристалльные микропроцессоры получаются при реализации всех аппаратных средств процессора в виде одной ИМС большой или сверхбольшой степени интеграции. Возможности однокристалльных микропроцессоров ограничены технологическими ресурсами полупроводникового кристалла и корпуса. Поэтому более широко распространены многокристалльные микропроцессоры, а также многокристалльные секционные микропроцессоры. В таком процессоре его логическая структура разбивается на функционально законченные части и реализуется либо в виде нескольких БИС, в совокупности образующих микропроцессорный комплект, либо в виде одной микросборки, объединяющей несколько полупроводниковых кристаллов (процессорных секций). В последние годы появились микропроцессоры, на одном кристалле которых размещаются несколько процессорных секций (ядер).

С момента выхода первого ПК в 1981 г. процессорные технологии развивались в четырёх основных направлениях [6]:

- 1) увеличение количества активных компонентов и плотности их размещения на кристалле;
- 2) подъём тактовой частоты;
- 3) повышение разрядности внутренних регистров;
- 4) увеличение количества ядер (т.е. процессорных секций) в одной микросхеме.

3.2. ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО МИКРОПРОЦЕССОРА

Несмотря на значительное различие по классификационным характеристикам и основным параметрам процессоров различных производителей, все они имеют сходную внутреннюю структуру, которую можно упрощённо разделить на операционный и интерфейсный блоки. Операционный блок, выполняющий функции управления и обработки данных, содержит арифметико-логическое устройство, микропроцессорную память (за исключением сегментных регистров), модуль микропрограммного управления, объединённых в узел обработки данных, и устройство управления. Узел обработки данных предназначен для выполнения команд. Устройство управления обеспечивает синхронизацию работы устройств микропроцессора, выработку управляющих сигналов и сигналов состояния для обмена с другими компонентами, анализ и соответствующую реакцию на сигналы других устройств ЭВМ. Интерфейсный блок, или устройство связи с магистралью содержит набор сегментных регистров микропроцессорной памяти, набор регистров команд, представляющих собой регистры памяти для хранения кодов команд, выполняемых в ближайшие такты работы и сумматор адреса. Интерфейсный блок обеспечивает формирование физического адреса памяти и адреса внешнего устройства, выбор команд из памяти, обмен данными с запоминающими устройствами, внешними устройствами, а также другими процессорами по магистрали.

Обобщённая структура типичного микропроцессора представлена на рис. 3.1. Рассмотрим назначение и особенности функционирования входящих в неё блоков.

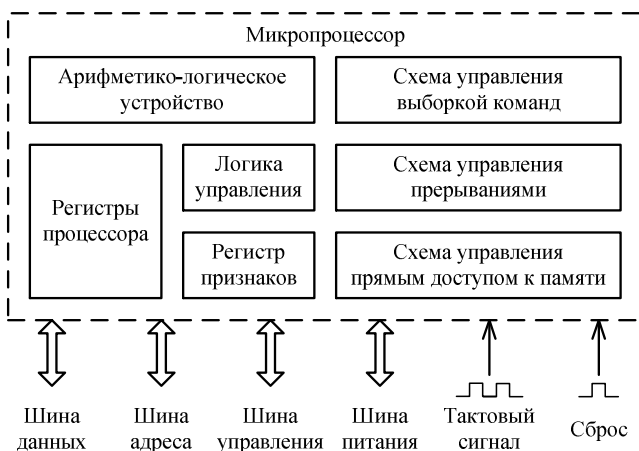


Рис. 3.1. Обобщённая внутренняя структура микропроцессора

Схема управления выборкой команд выполняет чтение команд из памяти и их дешифрацию. Ранние 8-разрядные микропроцессоры не могли одновременно выполнять текущую команду и осуществлять выборку следующей команды, но уже в 16-разрядных микропроцессорах появляется так называемый конвейер (очередь) команд, позволяющий выбирать несколько следующих команд, пока выполняется предыдущая. Два процесса идут параллельно, что ускоряет работу процессора. Конвейер представляет собой небольшую внутреннюю память процессора, в которую при малейшей возможности (при освобождении внешней шины) записывается несколько команд, следующих за исполняемой. Читаются эти команды процессором в том же порядке, что и записываются в конвейер. В зарубежной литературе этому принципу соответствует аббревиатура *FIFO* (от англ. *First In – First Out*, т.е. первый вошёл – первый вышел). Если выполняемая команда предполагает переход не на следующую ячейку памяти, а на удалённую (с меньшим или большим адресом), то в этом случае конвейер бесполезен, и его приходится сбрасывать. Поскольку такие команды встречаются в программах сравнительно редко, то конвейер существенно повышает производительность микропроцессора.

Развитием идеи конвейера стало использование внутренней кэш-памяти процессора, которая заполняется командами, пока процессор занят выполнением предыдущих команд. Чем больше объём кэш-памяти, тем меньше вероятность того, что её содержимое придётся сбросить при команде перехода. Скорость обработки команд, находящихся во внутренней памяти, гораздо выше, чем тех, которые расположены во внешней памяти. В кэш-памяти могут храниться и данные, которые обрабатываются в данный момент, это также ускоряет работу. Для большего ускорения выборки команд в современных микропроцессорах применяют совмещение выборки и дешифрации, одновременную дешифрацию нескольких команд, несколько параллельных конвейеров команд, предсказание команд переходов и некоторые другие методы.

Арифметико-логическое устройство (см. рис. 3.1) предназначено для обработки информации в соответствии с полученной процессором командой. Примерами обработки могут служить логические операции дизъюнкции, конъюнкции и др., т.е. побитные операции над операндами, а также различные арифметические операции. Над какими числами проводится операция, куда помещается её результат – все определяется выполняемой командой. Если команда сводится всего лишь к пересылке данных без их обработки, то АЛУ не участвует в её выполнении. Быстродействие АЛУ во многом определяет производительность процессора. Причём важна не только частота тактового сигнала, которым тактирует-

ся АЛУ, но и количество тактов, необходимое для выполнения той или иной команды. В быстродействующих АЛУ время выполнения команды составляет один такт, а сама работа АЛУ осуществляется на максимально достижимой частоте. Один из путей повышения производительности АЛУ состоит в снижении количества выполняемых АЛУ команд, что привело к созданию *RISC*-микропроцессоров с уменьшенным набором команд. Другой путь повышения производительности микропроцессора – использование нескольких параллельно работающих АЛУ. Техническая реализация АЛУ осуществляется на основе сумматоров, принципы работы которых рассмотрены в [1, 3].

Выполнение операций над числами с плавающей запятой и других сложных математических операций в системах на базе первых процессоров реализовали последовательностью более простых команд, оформленных в виде специальных подпрограмм, однако вскоре были разработаны специальные вычислители – **математические сопроцессоры**, которые заменяли основной процессор во время выполнения таких команд. В современных микропроцессорах математические сопроцессоры входят в структуру как составная часть.

Регистры процессора (см. рис. 3.1) представляют собой по сути ячейки очень быстрой памяти и служат для временного хранения различных кодов: данных, адресов и служебных кодов. Операции с этими кодами выполняются предельно быстро, поэтому, чем больше внутренних регистров, тем лучше. Кроме того, на быстродействие процессора сильно влияет разрядность регистров. Именно разрядность регистров и АЛУ называется внутренней разрядностью процессора, которая может не совпадать с внешней разрядностью.

По отношению к назначению внутренних регистров существует два основных подхода. Согласно первому подходу, каждому регистру отводится строго определённая функция. С одной стороны, это упрощает организацию микропроцессора и уменьшает время выполнения команды, но с другой – снижает гибкость, а иногда и замедляет работу программы. Например, некоторые арифметические операции и обмен с устройствами ввода/вывода проводятся только через один регистр-аккумулятор, в результате чего при выполнении некоторых процедур может потребоваться несколько дополнительных пересылок между регистрами. Второй подход состоит в том, чтобы все (или почти все) регистры сделать равноправными, что с одной стороны, обеспечивает универсальность, но с другой стороны, приводит к усложнению структуры микропроцессора. Первого подхода придерживается компания *Intel*, второй подход реализуется в микропроцессорах фирмы *DEC*. Существуют и промежуточные решения, например, в некоторых микропроцессорах фирмы *Motorola* половина универсальных регистров

выделяется для данных, а другая половина – для адресов. Набор регистров процессора приведен на рис. 3.2. Рассмотрим его состав более подробно [3, 10].

В первую группу входят **регистры общего назначения**. В современных микропроцессорах фирм *Intel* и *AMD*, начиная с модели 80386, имеются восемь 32-разрядных регистров общего назначения *EAX, EBX, ECX, EDX, ESI, EDI, EBP* и *ESP*. В первых микропроцессорах 8086/80286 доступны были лишь 16-разрядные регистры *AX, BX, CX, DX, SI, DI, BP* и *SP*. При необходимости возможна работа с половинами регистров, поскольку они разделены на старшую и младшую половину, называемые *AH* и *AL, BH* и *BL* и т.п. Физически эти регистры в микропроцессоре размещаются внутри АЛУ и имеют следующие назначения:

– **регистр-аккумулятор** (*Accumulator register*) *EAX/AX/AH/AL* применяется для хранения промежуточных данных;

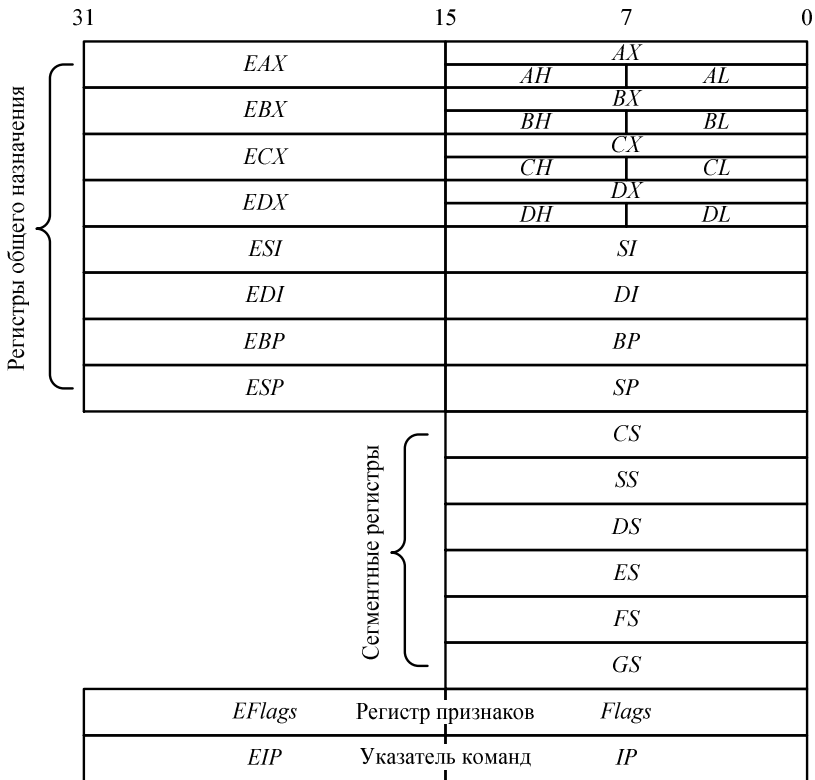


Рис. 3.2. Набор регистров микропроцессора

- **базовый регистр** (*Base register*) *EBX/BX/BH/BL* применяется для хранения базового адреса некоторого объекта в памяти;
- **регистр-счётчик** (*Count register*) *ECX/CX/CH/CL* применяется в командах, производящих некоторые повторяющиеся действия;
- **регистр данных** (*Data register*) *EDX/DX/DH/DL*, так же как и регистр-аккумулятор, хранит промежуточные данные, причём в некоторых ситуациях его использование обязательно, а в отдельных случаях он используется неявно.

Следующие два регистра предназначены для поддержки так называемых цепочечных операций, в которых выполняется последовательная обработка цепочек элементов. Каждый из этих двух регистров может иметь длину 32, 16 или 8 бит:

- **регистр индекса источника** (*Source Index register*) *ESI/SI* в цепочечных операциях содержит текущий адрес элемента в цепочке-источнике;
- **регистр индекса приёмника** (*Destination Index register*) *EDI/DI* в цепочечных операциях содержит текущий адрес в цепочке-приёмнике.

Два оставшихся регистра общего назначения предназначены для работы с особой структурой данных – стеком:

- **регистр указателя стека** (*Stack Pointer register*) *ESP/SP* содержит указатель на вершину стека в текущем сегменте стека;
- **регистр указателя базы кадра стека** (*Base Pointer register*) *EBP/BP* предназначен для организации произвольного доступа к данным внутри стека.

Такое разделение регистров имеется во всех современных микропроцессорах. Значительная часть внутренних операций компьютеров проводится с использованием регистров общего назначения.

Следующая группа из шести регистров помогает микропроцессору обращаться к памяти. Эти регистры получили название **сегментных**, поскольку каждый из них помогает обращаться к определённому сегменту (области) памяти. В первых микропроцессорах размер сегментов составлял всего 64 Кбайт, а в современных процессорах длина сегмента переменная и варьируется от одного байта до 4 Гбайт. **Регистр сегмента кода** *CS* программы показывает, в каком месте памяти размещается программа. **Регистр сегмента данных** *DS* локализует используемые программой данные. **Регистр дополнительного сегмента** *ES* дополняет сегмент данных. **Регистр сегмента стека** *SS* определяет стек компьютера. В микропроцессорах *Intel* 80386 и выше имеются ещё два дополнительных сегментных регистра *FS* и *GS*, предназначенных для адресации памяти.

Регистр указателя команды IP/EIP определяет ту точку, где выполняется программа. **Регистры указателя стека SP** и **указателя базы BP** помогают следить за информацией в стеке – области памяти, где хранится информация о текущих действиях компьютера. **Регистры индекса источника SI** и **индекса получателя DI** помогают программам пересылать большие блоки данных из одного места в другое.

Регистр признаков (регистр состояния, или регистр флагов) Flags/EFlags (см. рис. 3.2) занимает особое место, хотя он также является внутренним регистром микропроцессора. Содержащаяся в нём информация представляет собой двоичное слово, характеризующее различные состояния микропроцессора. Каждый бит этого слова (так называемый флаг) содержит информацию о результате предыдущей команды. Например, есть бит нулевого результата, который устанавливается в том случае, когда результат выполнения предыдущей команды – нуль, и очищается в том случае, когда результат выполнения команды отличен от нуля. Эти биты (флаги) используются командами условных переходов, например, командой перехода в случае нулевого результата. В этом же регистре иногда содержатся флаги управления, определяющие режим выполнения некоторых команд. В качестве примера на рис. 3.3 показан состав и назначение битов регистра признаков типичного микропроцессора.

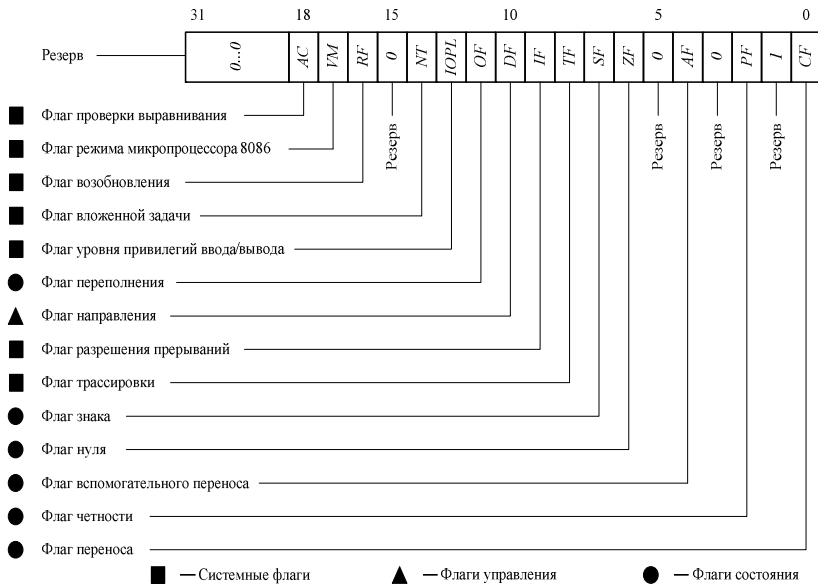


Рис. 3.3. Содержимое регистра флагов

Схема управления прерываниями (см. рис. 3.1) обрабатывает поступающий на микропроцессор запрос прерывания, определяет адрес начала программы обработки прерывания (адрес вектора прерывания), обеспечивает переход к этой программе после выполнения текущей команды и сохранения в памяти текущего состояния регистров микропроцессора. По окончании программы обработки прерывания процессор возвращается к прерванной программе с восстановленными из памяти значениями внутренних регистров.

Схема управления прямым доступом к памяти (см. рис. 3.1) служит для временного отключения микропроцессора от внешних шин и приостановки работы процессора на время предоставления прямого доступа запросившему его устройству.

Логика управления (см. рис. 3.1) организует взаимодействие всех узлов микропроцессора, перенаправляет данные, синхронизирует работу микропроцессора с внешними сигналами, а также реализует процедуры ввода и вывода информации.

Таким образом, в ходе работы микропроцессора схема выборки команд выбирает последовательно команды из памяти, затем эти команды выполняются, причём в случае необходимости обработки данных подключается АЛУ. На входы АЛУ могут подаваться обрабатываемые данные из памяти или из внутренних регистров. Во внутренних регистрах хранятся также коды адресов обрабатываемых данных, расположенных в памяти. Результат обработки в АЛУ изменяет состояние регистра признаков и записывается во внутренний регистр или в память (как источник, так и приёмник данных указывается в составе кода команды). При необходимости информация может переписываться из памяти (или из устройства ввода/вывода) во внутренний регистр или из внутреннего регистра в память (или в устройство ввода/вывода).

Внутренние регистры любого микропроцессора обязательно выполняют две служебные функции:

- 1) определяют адрес в памяти, где находится выполняемая в данный момент команда (функция счётчика команд или указателя команд);
- 2) определяют текущий адрес стека (функция указателя стека).

В различных микропроцессорах для каждой из этих функций может отводиться один или два внутренних регистра. Эти два указателя отличаются от других не только своим специфическим – служебным, системным назначением, но и особым способом изменения содержимого. Хранимую в них информацию программы могут изменять только в случае крайней необходимости, так как любая ошибка может вызвать сбой в работе компьютера, выражаемый «зависанием», порчей содержимого памяти, нарушением нормальной работы программного обеспечения.

Содержимое указателя, или счётчика команд (см. рис. 3.2) изменяется следующим образом. В начале работы системы, например, при включении электропитания, в него заносится определённое значение – первый адрес программы начального запуска. Затем, после выборки из памяти каждой следующей команды, значение указателя команд автоматически увеличивается на единицу, поэтому последующая команда будет выбираться из следующего по порядку адреса памяти. При выполнении команд перехода, нарушающих последовательный перебор адресов памяти, в указатель команд принудительно записывается другое значение, соответствующее новому адресу в памяти, начиная с которого адреса команд снова будут перебираться последовательно. Такая же смена содержимого указателя команд проводится при вызове подпрограммы, возврата из неё, а также в начале обработки прерывания и после его окончания.

Чтобы микропроцессор мог совершать различные операции над данными, в соответствующие регистры должны быть занесены необходимые значения операндов и код требуемой операции. Управление работой микропроцессора осуществляют с помощью специальных команд.

3.3. КОМАНДЫ МИКРОПРОЦЕССОРА

Команда микропроцессора состоит из особой инструкции, называемой **кодом операции** (в зарубежной литературе ей соответствует аббревиатура *INS* – *Instruction*). Разрядность команд обычно совпадает с разрядностью микропроцессора, причём форматы команд очень сильно зависят от его внутренней структуры. Команда микропроцессора может состоять только из кода операции, когда не требуется указывать адрес операнда (т.е. тех данных, над которыми команда производит какое-либо действие), или может состоять из кода операции, адресов операндов и данных. На рисунке 3.4 показаны примеры построения команд для простейшего восьмиразрядного процессора.

Если для кода операции используется восьмидесятибитное двоичное слово – 1 байт, то при помощи этого слова можно закодировать 256 операций. В процессе разработки системы команд микропроцессора для той или иной операции может быть определён любой код, поэтому именно системой команд и определяется конкретное семейство процессоров. Следует заметить, что для выполнения одной и той же операции над разными регистрами процессора назначаются разные машинные коды. Упорядоченная последовательность таких кодов образует программу. Очевидно, что человеку запоминать эти многочисленные коды очень непросто, поэтому при программировании в машинных кодах ошибку легко совершить и очень трудно её отыскать,

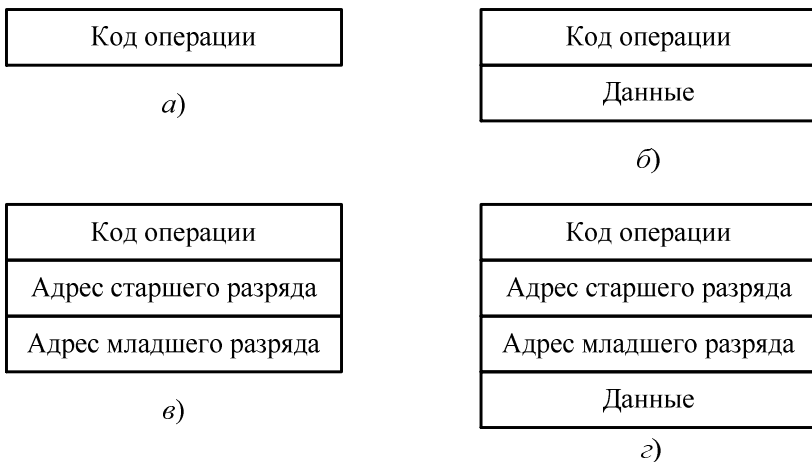


Рис. 3.4. Форматы команд микропроцессора:

а – однобайтовая команда; *б* – двухбайтовая;

в – трёхбайтовая; *г* – четырёхбайтовая

особенно если верный и ошибочный коды различаются всего на один бит. Даже если для сокращения объёма записи вместо двоичного кода воспользоваться шестнадцатеричным, это не слишком увеличит читабельность программы. В качестве примера на рис. 3.5 приведён фрагмент листинга 32-разрядной программы, записанной в машинных кодах.

Чтобы увеличить наглядность исходного текста программы и при этом снизить объём запоминаемой человеком информации, для каждой операции микропроцессора ввели специальные мнемонические обозначения, основанные на сокращении английских слов, обозначающих различные операции. Так, для операции копирования используется мнемоническое обозначение *MOV*, суммирования – *ADD*, вычитания – *SUB*, умножения – *MUL* и т.д.

Для полного обозначения команды используется мнемоническое обозначение операции и используемые ею операнды, которые перечисляются через запятую. При этом обычно операнд-приёмник информации записывается первым, а операнд-источник информации вторым. Например:

MOV AX, 5 {скопировать число 5 в регистр *AX*}

MOV BX, 3 {скопировать число 3 в регистр *BX*}

ADD AX, BX {сложить содержимое регистров *AX* и *BX*

и поместить результат в регистр *AX*}

```

0000000000 4D 5A 90 00 03 00 00 00 04 00 00 00 FF FF 00 00
0000000010 B8 00 00 00 00 00 00 40 00 00 00 00 00 00 00
0000000020 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0000000030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 08 01 00 00
0000000040 0E 1F BA 0E 00 B4 09 CD 21 B8 01 4C CD 21 54 68
0000000050 69 73 20 70 72 6F 67 72 61 6D 20 63 61 6E 6E 6F
0000000060 74 20 62 65 20 72 75 6E 20 69 6E 20 44 4F 53 20
0000000070 6D 6F 64 65 2E 0D 0D 0A 24 00 00 00 00 00 00 00
0000000080 CD DB D8 FD 89 BA B6 AE 89 BA B6 AE 89 BA B6 AE
0000000090 66 98 86 AE 88 BA B6 AE 89 BA B6 AE 8A BA B6 AE
00000000A0 F2 A6 BA AE 88 BA B6 AE D4 98 BD AE 8A BA B6 AE
00000000B0 0A A6 B8 AE 9C BA B6 AE D4 98 BC AE E9 BA B6 AE
00000000C0 76 9A B2 AE 8B BA B6 AE EB A5 A5 AE 84 BA B6 AE
00000000D0 89 BA B7 AE 15 BA B6 AE 66 98 87 AE A1 BA B6 AE
00000000E0 4E BC B0 AE 88 BA B6 AE 52 69 63 68 89 BA B6 AE
00000000F0 75 1D 01 00 00 10 00 00 00 A0 01 00 00 00 40 00

```

Рис. 3.5. Фрагмент листинга программы в машинных кодах

Несмотря на то, что общий объём исходного текста программы увеличивается, скорость написания и особенно отладки программ в таком виде возрастает. Теперь вместо одного текста программы в бумажном или электронном виде придётся хранить два текста: один для восприятия человеком (исходный текст программы), а другой для микропроцессора (загрузочный модуль). Язык программирования, в котором для обозначения машинных команд используются мнемонические обозначения, называется ассемблером. Преобразование (трансляцию) программы, записанной в мнемоническом виде, в машинные коды является рутинной работой, которую можно поручить специальной компьютерной программе.

3.4. ШИНЫ И ИНТЕРФЕЙСЫ

В основу современных ЭВМ заложен так называемый **магистрально-модульный принцип**, благодаря которому можно комплектовать любую необходимую конфигурацию компьютера из набора стандартных модулей, обмен информацией между которыми осуществляется с помощью шин. Магистраль, или системная шина компьютера включает в себя несколько многоуровневых шин различного назначения: **данных, адреса и управления**. В пункте 1.4 при описании состава структуры ЭВМ (см. рис. 1.14) этим шинам давалась лишь краткая характеристика с точки зрения их функционирования в составе ЭВМ в целом. Теперь рассмотрим каждую компоненту магистрали компьютера более подробно.

Шина данных используется для передачи различного рода информации (в том числе, и команд процессора) между функциональ-

ми узлами компьютера. Производительность и разрядность шины данных являются основными характеристиками центрального процессора, определяющими быстродействие, с которым данные передаются в микропроцессор или из него. Чем больше линий электрической связи имеет шина данных, тем больше битов информации можно передать за одно и то же время. Современные микропроцессоры имеют 64-разрядные внешние шины данных, что позволяет передавать в системную память (или получать из неё) одновременно 64 бит (8 байт) данных.

Для лучшего понимания представим себе, что шина – это автомагистраль с движущимся по ней транспортом. Если шоссе имеет всего по одной полосе движения в каждую сторону, то по ней в одном направлении в определённый момент времени может проехать только одна машина. Чтобы увеличить пропускную способность дороги вдвое, её придётся расширить, добавив ещё по одной полосе движения в каждом направлении. Точно так же по мере развития СВТ возрастало и количество линий в шинах. Первый 8-разрядный процессор можно сравнить с однополосной дорогой, поскольку за один момент времени передаётся всего один байт информации. 16-разрядный процессор способен обрабатывать по два байта, поэтому его можно сравнить с двухполосной дорогой. Дорога с двумя полосами в каждом направлении представляет 32-разрядную шину, способную передавать по четыре байта, а 64-разрядную шину можно сравнить с восьмиполосным шоссе, по которому данные передаются в процессор и обратно.

Однако, когда были созданы 64-разрядные шины, разработчики микросхем столкнулись с такой ситуацией: увеличение производительности невозможно из-за слишком больших сложностей с синхронизацией всех 64 битов. Специалисты пришли к выводу, что уменьшение количества линий позволяет значительно увеличить скорость передачи данных, тем самым достигнув больших полос пропускания. В связи с этим новые процессоры обладают 4- или 16-разрядными шинами данных, которые, тем не менее, характеризуются большей пропускной способностью, чем 64-разрядные шины, на смену которым они пришли.

Ещё одно улучшение, реализованное в новых процессорах, – возможность использования нескольких шин для различных задач. Традиционная процессорная архитектура предполагала передачу всех данных по одной шине. Сейчас же для обмена данными с набором микросхем, памятью и разъёмами графических карт используются разные физические шины данных.

Шина адреса представляет собой набор проводников, по которым передаётся адрес ячейки памяти, в которую необходимо отправить (или считать) информацию. Как и в шине данных, по каждому

проводнику передаётся один бит, соответствующий одной цифре в адресе. Увеличение количества проводников (разрядов), используемых для формирования адреса, позволяет увеличить число адресуемых ячеек. Разрядность шины адреса определяет максимальный объём памяти, адресуемой процессором.

Если шину данных мы сравнивали с автомагистралью, а её разрядность – с количеством полос движения, то шину адреса можно ассоциировать с нумерацией домов на улице. Число линий в шине эквивалентно количеству цифр в номере дома. Например, если номера домов не могут состоять более чем из двух цифр (десятичных), то количество домов на ней не может быть больше ста, а при трёхзначных номерах количество возможных адресов возрастёт до 1000 (от 0 до 999).

В компьютерах применяется двоичная система счисления, поэтому при 2-разрядной адресации можно выбрать только четыре ячейки (с адресами 00, 01, 10 и 11), т.е. 2^2 , при 3-разрядной – восемь (от 000 до 111), т.е. 2^3 , и т.д. К примеру, в ранних процессорах 8086 и 8088 использовалась 20-разрядная шина адреса, поэтому они могли адресовать 2^{20} (1048576) байт, или 1 Мбайт памяти. Современные процессоры *Intel Core 7* и *AMD Phenom II* способны адресовать до 1 Тбайт памяти.

Шина управления включает в себя управляющие сигналы, которые служат для временного согласования работы различных устройств компьютера, для определения направления передачи данных, для определения форматов передаваемых данных и т.д. Эта шина не имеет такой же чётко выраженной структуры, как шина данных или шина адреса. В шину управления условно объединяют набор линий, передающих различные управляющие сигналы от процессора на все периферийные устройства и обратно. К такого рода сигналам относят следующие:

- сигнал чтения информации (*RD*);
- сигнал записи данных (*WR*);
- сигнал инициализации устройств компьютерной памяти (*MREQ*);
- сигнал инициализации портов ввода/вывода (*IORQ*);
- сигнал готовности узла (*Ready*);
- сигнал сброса (*Reset*).

Для того, чтобы прочесть байт из ячейки памяти, процессор сначала устанавливает на шине адреса адрес нужной ячейки. Затем он устанавливает сигнал *MREQ* в активное состояние (уровень логического 0). Этот сигнал поступает на устройства памяти и служит разрешением для их работы. В это же время уровень сигнала *IORQ* устанавливается равным логической 1, что делает порты ввода/вывода неактивными.

В следующий момент времени микропроцессор переводит в активное состояние сигнал *RD*. Этот сигнал поступает как на устройства памяти, так и на порты ввода/вывода. Однако порты не реагируют на него, так как они отключены высоким уровнем сигнала *IORQ*. Устройство памяти, напротив, получив управляющие сигналы *RD* и *MREQ*, выдаёт на шину данных байт информации из той ячейки памяти, адрес которой поступает на него по шине адреса.

Процесс записи данных в память происходит в следующей последовательности: сначала центральный процессор выставляет на адресную шину адрес нужной ячейки памяти. Затем на шину данных он выставляет байт, предназначенный для записи в эту ячейку. После этого активизируется сигнал *MREQ*, разрешающий доступ к модулю памяти. И уже затем процессор устанавливает сигнал *WR* в активное (логический 0) состояние. По этому сигналу происходит запись байта в ячейку памяти, адрес которой присутствует на шине адреса.

Некоторые виды памяти работают очень медленно. Они могут не успеть выдать информацию или произвести её записать так быстро, как это способен сделать центральный процессор. Для согласования работы медленных устройств памяти с быстрыми процессорами существует сигнал *Ready* (готовность). Сразу после того, как процессор установит сигнал чтения или записи в активное состояние, устройство памяти устанавливает сигнал *Ready* в пассивное состояние (логический 0). Такой уровень сигнала означает, что внешнее устройство не готово, т.е. ещё не выполнило команду. Сигнал *Ready* поступает на процессор, и он переходит в режим ожидания. Когда устройство памяти выполнит команду, оно установит сигнал в активное состояние (логическая 1). Процессор, получив этот сигнал, возобновляет работу. Сигнал *Ready* применяется и в случае работы с медленными портами ввода/вывода.

Операции чтения и записи с портами ввода/вывода происходят аналогично операциям чтения/записи с ОЗУ. Различие лишь в том, что вместо сигнала *MREQ*, в активное состояние переходит сигнал *IORQ*, разрешающий работу портов.

Шины составляют основу системной платы персонального компьютера и служат для передачи сигналов компонентам системы. Существует определённая иерархия шин, которая выражается в том, что каждая более медленная шина соединена с более быстрой. Современные компьютерные системы включают в себя три, четыре или более шины. Каждое системное устройство соединено с какой-либо шиной, причем определённые устройства (чаще всего, это наборы микросхем) служат мостом между шинами. Рассмотрим наиболее известные спецификации шин, используемых в ПЭВМ [3, 6].

1. **Шина процессора.** Эта высокоскоростная шина является ядром системной платы. Она используется в основном микропроцессором для передачи данных между памятью и северным мостом чипсета (см. п. 1.4). В системах на базе процессоров *Pentium* эта шина работает на частоте 66, 100, 133, 200, 266, 400, 533, 800 или 1066 МГц и имеет ширину 64 разряда (8 байт).

2. **Шина PCI** (от англ. *Peripheral Component Interconnect* – шина взаимодействия периферийных компонентов). Эта 32-разрядная шина работает на частоте 33 МГц и используется, начиная с систем на базе процессоров *Intel* 80486. В настоящее время существует реализация этой шины с частотой 66 МГц. Она находится под управлением контроллера *PCI* – компонента северного моста или контроллера набора микросхем системной логики. На системной плате устанавливаются разъемы, обычно четыре или более, в которые можно подключать сетевые адаптеры, *SCSI*- и видеоадаптеры, а также другое оборудование, поддерживающее этот интерфейс.

3. **Шина PCI Express** представляет собой более производительный вариант шины *PCI*. Системные платы и микропроцессорные системы, поддерживающие эту шину, появились на рынке в середине 2004 года. Шина *PCI Express* представляет собой линии связи с дифференциальными сигналами, которые может передавать северный или южный мост. Быстродействие *PCI Express* выражается в количестве линий. Каждая двунаправленная линия обеспечивает скорость передачи данных 2,5 или 5 Гбит/с в обоих направлениях (эффективное значение – 250 или 500 Мбайт/с). Разъем с поддержкой одной линии обозначается как *PCI Express* × 1. Видеоадаптеры *PCI Express* обычно устанавливаются в разъем × 16, который обеспечивает скорость передачи данных 4 или 8 Гбайт/с в каждом направлении.

4. **Шина AGP** (от англ. *Accelerated Graphics Port* – ускоренный графический порт). Эта 32-разрядная шина работает на частоте 66 (*AGP 1x*), 133 (*AGP 2x*), 266 (*AGP 4x*) или 533 МГц (*AGP 8x*), обеспечивает пропускную способность до 2133 Мбайт/с и предназначена в первую очередь для подключения видеоадаптера. Она соединена с северным мостом или контроллером памяти набора микросхем системной логики.

Некоторые современные системные платы содержат специальный разъем, получивший название *Communications and Networking Riser (CNR)*. Этот специализированный разъем предназначен для плат расширения, обеспечивающих выполнение сетевых и коммуникационных функций. Следует заметить, что этот и подобные ему разъемы не являются универсальным интерфейсом шины, поэтому лишь немногие из специализированных плат *CNR* присутствуют на потребительском

рынке. Как правило, такие платы прилагаются к какой-либо определённой системной плате. Их конструкция позволяет легко создавать как стандартные, так и расширенные системные платы, не резервируя на них место для установки дополнительных микросхем. Большинство системных плат, обеспечивающих стандартные сетевые функции и функции работы с модемом, созданы на основе шины *PCI*, так как разъёмы *CNR* имеют узкоспециализированное назначение.

В современных системных платах имеются также скрытые шины, предназначенные для соединения компонентов наборов микросхем, для которых не предусмотрено никаких гнезд или разъёмов.

3.5. УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ

Современные компьютеры могут обрабатывать самую разнообразную информацию – числовую, текстовую, табличную, графическую, мультимедийную. Ввод данных в компьютер предусматривает использование специальных технических устройств, осуществляющих преобразование входной информации к виду, пригодному для ввода в ЭВМ. В зависимости от вида входной информации и способа её ввода в компьютер, наибольшее распространение в настоящее время получили такие устройства ввода, как клавиатура, мышь и сканер. Клавиатура и мышь – неотъемлемые атрибуты любого ПК, чуть реже применяется сканер. Иногда используются и более специфические устройства ввода, например, видекамера, цифровой фотоаппарат, графический планшет, световое перо. Обладая высокими техническими возможностями, компьютерные системы зачастую используются для разнообразных электронных игр. Ввиду их чрезвычайно высокой популярности, мировой индустрией компьютерных игр были разработаны специальные игровые устройства ввода – джойстик, геймпад, руль и др.

3.5.1. Клавиатура

Клавиатура является одним из важнейших устройств компьютера для ввода команд и данных от пользователя в систему и представляет собой комплект расположенных в определённом порядке клавиш.

За время, прошедшее с момента выпуска первой модели ПК, компания *IBM* разработала несколько типов компьютерных клавиатур. ещё один тип клавиатуры разработан фирмой *Microsoft*. Сейчас эти типы стали промышленными стандартами, которых придерживаются практически все производители совместимого оборудования.

Различают следующие основные типы клавиатур [3, 6]:

- 83-клавишная клавиатура *PC XT*;
- 101-клавишная расширенная клавиатура *AT*;

– 104-клавишная расширенная клавиатура *IBM/Windows*.

В настоящее время наибольшее распространение получил последний тип клавиатуры (рис. 3.6), поэтому основное внимание будет уделено именно ему.

Для удобства использования все клавиши клавиатуры по своему основному назначению условно разделены на несколько групп:

- функциональную;
- алфавитно-цифровую;
- управляющую;
- управления курсором;
- специализированную;
- дополнительной цифровой панели.

В верхней части клавиатуры (рис. 3.6) располагается блок так называемых функциональных клавиш (от *F1* до *F12*). Функции этих клавиш определяются в зависимости от общесистемного или прикладного программного обеспечения ЭВМ. Функции отдельных функциональных клавиш, а также комбинации их совместного использования с другими клавишами клавиатуры составляют часть интерфейса отдельно взятой компьютерной программы, однако существует и ряд универсальных назначений, применяемых наиболее широко. Например, при нажатии *F1* на экран выводится встроенный справочник по программе (часто называемый просто «справкой» или «помощью»), а нажатие *Esc* приводит к прерыванию текущей операции.

Ниже группы функциональных клавиш располагается блок алфавитно-цифровых клавиш клавиатуры (рис. 3.6). К нему относятся клавиши для ввода букв, цифр, знаков пунктуации и арифметических действий, а также специальных символов. В стандартной клавиатуре *PC/AT* этот блок состоит из 47 клавиш. Для некоторых языков, отличных от английского, в которых число букв в алфавите больше 26, про-

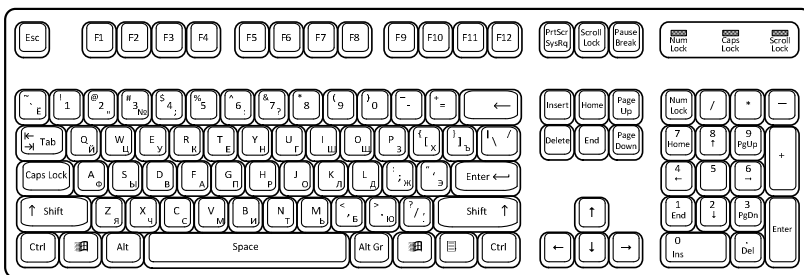


Рис. 3.6. Русифицированная 104-клавишная клавиатура *IBM/Windows*

изводители клавиатур выпускают клавиатуры с дополнительными клавишами в алфавитно-цифровом блоке. Тем не менее, для русского алфавита с его 33 буквами специальные клавиатуры не производятся, поскольку все буквы русского алфавита успешно размещаются на клавишах стандартной клавиатуры. Существует несколько вариантов конфигурации расположения клавиш в алфавитно-цифровом блоке (так называемых «раскладок» клавиатуры). Наиболее распространён вариант *QWERTY*, названный по сочетанию одноименных клавиш латинского алфавита во втором сверху ряду блока (в русском варианте раскладка ЙЦУКЕН), приведённый на рис. 3.6. На её основе созданы большинство раскладок для языков, использующих латиницу.

Группу управляющих клавиш (см. рис. 3.6) образуют клавиши-модификаторы *Shift*, *Ctrl*, *Caps Lock*, *Alt* и *Alt Gr* (называемый также «правый *Alt*»). Они предназначены для управления изменением (модификации) действий других клавиш. Включение верхнего регистра клавиш (при отключённом *Caps Lock*) осуществляется нажатием и удержанием клавиши *Shift*. Нажатие и удержание клавиши *Alt Gr* используется для перехода на второй уровень клавиатуры. Клавиши-модификаторы используются очень часто, поэтому все они имеют увеличенный размер, а клавиши *Shift* и *Ctrl* даже продублированы по обеим сторонам блока алфавитно-цифровых клавиш. Кроме перечисленных клавиш, в данную группу также входят клавиши *Tab*, *Backspace* и *Enter*, с помощью которых можно осуществлять табуляцию, удалять символ слева от курсора и подтверждать ввод введённых команд соответственно. Эти клавиши тоже имеют увеличенный размер.

Справа от управляющих клавиш в виде перевёрнутой буквы «Т» располагаются четыре клавиши для управления электронным указателем – курсором (см. рис. 3.6). Нанесённые на клавиши стрелки показывают направление перемещения курсора. Несмотря на то, что в последние годы функции позиционирования курсора «возложены» на механический манипулятор типа «мышь», клавиши управления курсором также часто используются пользователями как сами по себе (для перемещения между отдельными символами текста), так и в сочетании с другими клавишами (например, в некоторых приложениях их совместное нажатие с клавишей *Ctrl* приводит к перемещению курсора между словами или абзацами текста).

Над клавишами управления курсором находится блок специализированных клавиш, разделённых на две части (см. рис. 3.6). Первая часть образована шестью клавишами, сгруппированными в два ряда – *Insert*, *Delete*, *Home*, *End*, *Page Up* и *Page Down*. Эти клавиши ориентированы для работы с определённым программным обеспечением (изначально в основном с редакторами текстов, но впоследствии стали

использоваться и в других компьютерных программах). Вторая часть специализированных клавиш расположена чуть выше, в одном ряду с группой функциональных клавиш и состоит из трёх клавиш – *PrtScr/SysRg*, *Scroll Lock* и *Pause/Break*. Эти клавиши предназначены для выполнения специфических функций – снимка экрана (*Screenshot*), остановки выполнения программы и некоторых других.

В правой части клавиатуры, как видно из рис. 3.6, расположена дополнительная цифровая панель. Основное назначение клавиш цифровой панели – дублирование функций клавиш алфавитно-цифрового блока относительно ввода цифр и арифметических операторов. Клавиши этой панели более удобно использовать для ввода чисел и знаков арифметических операций, чем клавиши алфавитно-цифрового блока.

3.5.2. Мышь

Компьютерная мышь представляет собой механический манипулятор, предназначенный для позиционирования графических объектов на экране монитора компьютера. Считается, что мышь изобрёл в 1964 г. американский ученый Дуглас Энгельбарт, работавший в то время в Стэнфордском исследовательском институте, расположенном в городе Менло-Парк. Его изобретение тогда было названо «указатель XY-координат для дисплея», а своё современное название «мышь» устройство получило благодаря проводу, который, по мнению изобретателя, был похож на мышинный хвост [3].

У современной мыши обычно бывают две или три клавиши. Между двумя крайними клавишами современных мышей с 1996 г. располагают специальное колесико, которое позволяет осуществлять прокрутку документов вверх-вниз и другие дополнительные функции. Конструктивно мышь состоит из пластикового корпуса, сверху которого находятся кнопки, соединённые с микропереключателями, а внутри корпуса располагаются датчики перемещения, которые в процессе «эволюции» компьютерной мыши претерпели наибольшие изменения.

Любая мышь подключается к компьютеру тремя основными способами: через последовательный коммуникационный интерфейс *RS-232*, через порт *PS/2* или при помощи универсальной последовательной шины *USB*. Взаимодействие мыши с компьютером осуществляется программно-аппаратным способом с использованием соответствующих драйверов.

3.5.3. Сканер

Сканером (от англ. *scanner*) называется устройство, позволяющее вводить в компьютер изображения объектов, которые могут быть

представлены в виде текста, рисунков, слайдов, фотографий на плоских носителях изображений, а также изображения объёмных объектов небольших размеров. Процесс преобразования визуальной информации в цифровую для последующей передачи в компьютер с помощью сканера называется **сканированием**. Цифровое изображение при этом разбивается на элементарные частицы – пиксели, каждому из которых соответствует определённый код яркости и цветового оттенка.

Сканеры принято классифицировать по нескольким признакам [3]:

- возможности оцифровки цветного изображения;
- способу формирования изображения;
- особенностям конструкции;
- разрешающей способности;
- способу подключения к ЭВМ.

По первому классификационному признаку все сканеры можно разделить на чёрно-белые и цветные. Обычно у цветных сканеров цветное разрешение 24 или 32 бита, т.е. каждый пиксел изображения кодируется 24- или 32-разрядным двоичным словом. Если сканер чёрно-белый, то речь идёт о том, сколько градаций серого может различить фотоэлемент сканера. На качество сканирования, особенно цветного, сильно влияет цветовая чувствительность сканирующего элемента. Чем больше его цветовой диапазон, тем плавнее получаются цветовые переходы и тем правдивее выглядит полученное изображение. Хорошие цветные сканеры способны давать изображение практически фотографического качества.

По способу формирования изображения различают сканеры на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и светодиодной сканирующей головки, выполненной по технологии *CIS* (от англ. *Contact Image Sensor* – контактный сенсор изображения).

ПЗС – это твёрдотельный электронный фотоприёмник, состоящий из множества миниатюрных полупроводниковых фоточувствительных элементов, которые формируют электрический заряд, пропорциональный интенсивности падающего на них света, и конструктивно выполняются в виде матриц или линеек.

Кроме ПЗС-матриц, в качестве светочувствительных приборов применяются фотоэлектронные умножители. Фотоэлектронный умножитель изобретён советским инженером Л. А. Кубецким в 1930 г. ФЭУ представляет собой электровакуумный прибор, внутри которого расположены электроды – катод, анод и диноды. Световой поток от объекта сканирования вызывает эмиссию электронов из катода. В соответствии с законом фотоэффекта фототок эмиссии прямо пропорционален интенсивности падающего на него светового потока. Вылетаю-

щие из катода электроны под действием разности потенциалов между катодом и ближайшим к нему электродом – динодом притягиваются к нему и выбивают с его поверхности вторичные электроны, число которых многократно превышает первичный электронный поток с катода. Коэффициент усиления зависит от свойств материала и количества динодов. Напряжение, прямо пропорциональное освещённости катода ФЭУ, снимается с анода и затем преобразуется в цифровой код. Фотоэлектронные умножители дороги, поэтому большой популярности не получили.

Сравнительно недавно появилась новая технология формирования изображения – *CIS*. Сканирующая головка, выполненная по *CIS*-технологии, имеет три основных компонента – источник света, специальную цилиндрическую линзу (или набор линз), а также приёмный элемент с электронной начинкой для формирования выходного аналогового сигнала и синхронизации с другими компонентами сканера, выполненными на единой печатной плате. В качестве источника света у большинства сканеров с контактным датчиком используются светодиоды, излучение которых отражается от сканируемого изображения, и, пройдя через линзу, фокусируется на датчике изображения, который представлен фототранзисторами, выполненными по технологии *CMOS*. На выходе получается аналоговый сигнал, который усиливается и подаётся на вход АЦП. В том случае, если необходимо сканировать цветное изображение, источником света служат светодиоды трёх основных цветов (красный, зелёный, синий). При многих достоинствах, главными из которых является низкая стоимость и энергопотребление, технологии *CIS* имеет и ряд существенных недостатков. Первым из них является то, что светодиоды в составе одной линейки имеют различия в интенсивности свечения, причём разница может достигать 50%. Другой недостаток связан с тем, что светодиоды красного цвета способны при одинаковой силе тока через них отдавать практически вдвое больше световой энергии, чем светодиоды синего и зелёного цвета. Третий недостаток связан со снижением интенсивности свечения с течением времени. Поэтому производители сканеров прибегают к достаточно сложной процедуре калибровки сканирующего элемента, производимой перед каждым сканированием.

По конструктивным особенностям различают **ручные, планшетные, барабанные, роликовые и проекционные сканеры**.

Для любого сканера, независимо от его типа, важно разрешение, которое он поддерживает. Оно обычно составляет от 100 до нескольких тысяч *dpi* (от англ. *dot per inch* – точек на дюйм). Наибольшее разрешение имеют барабанные сканеры, немного меньше – планшетные. У качественных планшетных сканеров разрешение может достигать

4000 – 6000 *dpi*. А вот у ручных и роликовых сканеров оно обычно не превышает 150 – 300 *dpi*, что впрочем, вполне пригодно для сканирования текстов. Для того, чтобы сканировать фотографии, чтобы впоследствии просматривать их на мониторе компьютера, разрешения 600 *dpi* вполне достаточно. Для распознавания текста, больше 300 *dpi* обычно тоже не требуется. Часто разрешение по горизонтали и вертикали сканера неодинаково. Например, разрешение 2400×1200 *dpi* означает, что датчик способен отсканировать оригинал с разрешением 2400 *dpi*, а вот шаг двигателя, который перемещает этот датчик, ограничен 1/600 дюйма.

По способу подключения к ЭВМ различают сканеры, использующие последовательный, параллельный коммуникационные интерфейсы, шину *USB*, а также интерфейс *SCSI* (от англ. *Small Computer System Interface* – интерфейс малых вычислительных систем).

В комплект поставки сканеров любых типов входит специальная программа – драйвер, предназначенная для управления процедурой сканирования и настройки основных параметров сканера. Кроме драйвера, производители часто предоставляют дополнительные программные средства для работы со сканированными изображениями.

3.6. УСТРОЙСТВА ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ

С момента возникновения первых цифровых ЭВМ проблема представления выходной информации в наглядной и доступной для восприятия человеком форме всегда была актуальной и представляла практический интерес, поэтому постоянно ведутся работы по разработке новых и модернизации существующих типов устройств вывода информации. С развитием СВТ некоторые устройства вывода вследствие различных причин к настоящему времени практически не используются (например, в современных ЭВМ вывод результатов на перфокарты и перфоленты уже не применяется), однако на смену устаревшим устройствам вывода непрерывно приходят новые. Современные компьютеры занимаются не только математическими вычислениями, но и способны обрабатывать поток мультимедийной информации в реальном масштабе времени, что требует производительных аудио-видеоустройств для представления получаемого результата.

Основным устройством вывода любого персонального компьютера является монитор, изображение на котором формируется видеоадаптером. Современные видеоадаптеры способны вырабатывать изображение фотографического качества, а мониторы – отображать его. Другим типичным устройством вывода компьютера является звуковая плата, позволяющая в аудиоформе доводить до пользователя опреде-

лённую информацию. Несмотря на всё большее внедрение форм электронного документооборота, и тенденцию к переходу на безбумажную технологию, представление результатов работы в традиционной печатной форме по-прежнему актуально. Поэтому такие устройства вывода, как разнообразные принтеры и плоттеры, очень востребованы, и ими оснащаются большинство рабочих станций. Рассмотрим наиболее популярные устройства вывода более подробно.

3.6.1. Видеоадаптеры и мониторы

Монитор является необходимым посредником в обмене информацией между человеком и ЭВМ, его значимость в конфигурации современного ПК не менее важна, чем у клавиатуры и мыши, однако появился он значительно позже других устройств вывода. В первых компьютерных мониторах текст отображался только в одном цвете (как правило, зелёном, белом или оранжевом). Затем появились цветные мониторы, увеличился размер экрана, а жидкокристаллические панели перекочевали из портативных компьютеров на рабочие столы пользователей.

Система отображения компьютера состоит из двух главных компонентов:

- **монитор** (дисплей) обычно представляет собой жидкокристаллический экран или переднюю панель электронно-лучевой трубки, но может быть и широкоформатным телевизором, плазменной панелью и видеопроектором;

- **видеоадаптер** (графический адаптер или видеоплата) в большинстве компьютерных систем представляет собой плату расширения, вставляемую в один из разъёмов системной платы (см. рис. 1.19). В некоторых системах он интегрирован в саму системную плату или в её набор микросхем системной логики, однако и такие компьютеры можно дополнить обособленным и более производительным отдельным видеоадаптером, использующим шину *AGP*, *PCI* или *PCI Express*.

Видеоадаптер обеспечивает интерфейс между компьютером и монитором, передавая сигналы, которые превращаются в видимое изображение на экране монитора. С момента появления первого видеоадаптера по наши дни было разработано несколько стандартов, каждый последующий из которых обеспечивал более высокие разрешение и глубину цвета.

Существует три типа видеоадаптеров: дискретные видеоадаптеры, видеоадаптеры с графическим процессором, интегрированным на системной плате компьютера, и видеоадаптер на основе набора микросхем с интегрированным графическим ядром.

Дискретные видеоадаптеры выполнены в виде отдельных плат расширения. При этом обеспечивается наивысшее быстродействие, большой объём памяти, а также поддержка наибольшего количества функций.

Интегрированные видеоадаптеры более дешёвые, однако их производительность и функциональные возможности существенно ниже, чем у дискретных видеоадаптеров. Интегрированные видеоадаптеры часто встречаются в бюджетных персональных компьютерах и ноутбуках.

Современный видеоадаптер состоит из следующих частей:

- графический процессор;
- видеоконтроллер;
- видео-ПЗУ;
- видео-ОЗУ;
- ЦАП;
- система охлаждения;
- интерфейс видеовыхода;
- интерфейс передачи данных.

Рассмотрим эти части более подробно.

Графический процессор занимается расчётами выводимого изображения, освобождая от этой обязанности центральный процессор, проводит расчёты для обработки команд трёхмерной графики. В зарубежной литературе ему соответствует аббревиатура *GPU* (от англ. *Graphics Processing Unit* – графическое процессорное устройство). *GPU* является основой графической платы, именно от него зависят быстродействие и возможности всего устройства. Современные графические процессоры по сложности мало чем уступают центральному процессору компьютера, и зачастую превосходят его как по числу транзисторов, так и по вычислительной мощности, благодаря большому числу универсальных вычислительных блоков.

Видеоконтроллер отвечает за формирование изображения в видеопамяти, даёт команды ЦАП на формирование сигналов развёртки для монитора и осуществляет обработку запросов центрального процессора.

Видео-ПЗУ (в зарубежной терминологии *Video ROM*) – постоянное запоминающее устройство, в которое записаны *BIOS* видеокарты (от англ. *Basic Input/Output System* – базовая система ввода-вывода), экранные шрифты, служебные таблицы и т.п. ПЗУ не используется видеоконтроллером напрямую, к нему обращается только центральный процессор.

Видео-ОЗУ выполняет роль буфера кадров, в котором хранится изображение, генерируемое и постоянно изменяемое графическим процессором и выводимое на экран монитора. В видеопамяти хранятся также промежуточные, не видимые на экране элементы изображения и

другие данные. Цифроаналоговый преобразователь служит для преобразования изображения, формируемого видеоконтроллером, в уровни интенсивности цвета, подаваемые на аналоговый монитор. Возможный диапазон цветности изображения определяется только параметрами ЦАП. Чаще всего, ЦАП видеоадаптера имеет четыре основных блока: три цифроаналоговых преобразователя, по одному на каждый цветовой канал – красный (*Red*), зелёный (*Green*), синий (*Blue*) – *RGB*, и статическое ОЗУ для хранения данных о гамма-коррекции. Большинство ЦАП имеют разрядность 8 бит на канал, что даёт по 256 уровней яркости на каждый основной цвет, и в сумме составляет 16,7 млн цветов (а гамма-коррекция предоставляет возможность отображать исходные 16,7 млн цветов в гораздо большее цветовое пространство).

Система охлаждения видеоадаптера предназначена для сохранения температурного режима графического процессора и видеопамати в пределах допустимых значений.

Отличительной чертой современных видеоадаптеров является встроенный графический ускоритель, ориентированный на работу с 3D-графикой. Ядра видеоускорителей от основных производителей – *AMD* и *NVIDIA* обычно встроены в графический процессор видеоадаптера и унифицированы для использования их в разных областях – от компьютерных игр до профессионального трёхмерного моделирования.

Мониторы, используемые с ПЭВМ, выпускаются с разным типом, размером и разрешающей способностью экрана. Существуют два основных типа мониторов – на жидких кристаллах (ЖК) и на базе электроно-лучевых трубок (ЭЛТ).

Размеры экранов мониторов принято определять в дюймах. Большинство мониторов выпускается с размерами экранов от 15 до 30 дюймов (от 38 до 80 см) по диагонали. Мониторы с диагональю экрана меньше 15 дюймов, чаще применяются в компактных портативных системах. Выпускаются мониторы и с размером экрана свыше 30 дюймов, однако используются они преимущественно как телевизоры или мультимедийные панели. В случае ЖК-мониторов, физические размеры экрана по диагонали равны размерам видимой области. У ЭЛТ-мониторов размер видимой области приблизительно на один дюйм меньше заявленного диагонального размера.

Разрешающая способность монитора определяет размер минимального участка изображения, который можно различить на экране. Характеризуется числом элементов разложения по горизонтали и вертикали экрана. Чем больше пикселей, тем детальнее изображение формируется на экране. С развитием технологий разрешающая способность, обеспечиваемая видеоадаптерами, непрерывно растёт.

В цветном мониторе каждый элемент изображения – пиксель состоит из трёх компонентов красного (*Red*), зелёного (*Green*) и синего (*Blue*) цветов (цветовая модель *RGB*). Изменяя интенсивность каждого компонента, можно определить общий цвет и яркость пикселя, получая любой оттенок произвольной интенсивности. Физическая геометрия *RGB* зависит от типа дисплея и обычно представлена прямоугольными полосами или круглыми точками. Как правило, в ЖК-мониторах три компонента пикселя расположены в форме вертикальных полос, образующих повторяющийся узор. В ЭЛТ-мониторах также используются вертикальные полосы, однако могут применяться и наклонные полосы, а также триады точек.

В последние годы ЖК-мониторы благодаря небольшой массе, малым габаритным размерам и хорошей цветопередаче практически вытеснили с рынка ЭЛТ-мониторы. По сравнению с классическими мониторами на электронно-лучевой трубке, у ЖК-мониторов есть целый ряд преимуществ: плоский экран без бликов и очень низкий уровень энергопотребления (всего около 5 Вт). По цветопередаче ЖК-мониторы уже приблизились к характеристикам ЭЛТ-мониторов. Основным недостатком ЖК-мониторов является меньший, чем у ЭЛТ-мониторов, угол обзора.

Принцип работы ЖК-монитора основан на том, что в жидкокристаллическом экране поляризационный светофильтр создаёт две отдельные световые волны и пропускает только ту, плоскость поляризации которой параллельна его оси. Располагая в ЖК-мониторе второй светофильтр так, чтобы его ось была перпендикулярна оси первого, можно полностью предотвратить прохождение света (экран будет тёмным). Вращая ось поляризации второго фильтра, т.е. изменяя угол между осями светофильтров, можно изменить количество пропускаемой световой энергии, а значит, и яркость экрана. В цветном жидкокристаллическом экране есть ещё один дополнительный светофильтр, который имеет три ячейки на каждый пиксель изображения – по одной для отображения красной, зелёной и синей точек.

3.6.2. Устройства печати

Несмотря на всё более возрастающую роль электронного документооборота, представление информации в печатном виде занимает до 90% объёма всей документации, а количество представляемых отчётных форм ежегодно увеличивается, поэтому компьютерные печатающие устройства занимают очень важное место среди прочей компьютерной периферии. Основными устройствами печати современного компьютера являются принтеры и графопостроители (плоттеры). Принтером (от англ. *Print* – печать) называется печатающее устройст-

во, предназначенное для перевода текста или графики на бумажный носитель из электронного вида малыми тиражами (от единиц до сотен) без создания печатной формы. Этим принтеры отличаются от полиграфического оборудования, которое за счёт печатной формы обеспечивает крупные тиражи (сотни и более экземпляров).

Графопостроитель (плоттер) представляет собой устройство для автоматического вычерчивания с большой точностью рисунков, схем, сложных чертежей, карт и другой графической информации на бумажном носителе формата вплоть до А0 или кальке.

Классификацию принтеров осуществляют по различным признакам. Так, по возможности печати графической информации принтеры делятся на алфавитно-цифровые (с возможностью печати ограниченного набора символов) и графические.

По принципу переноса изображения на носитель различают следующие типы принтеров:

- ударно-шрифтовые (алфавитно-цифровые – АЦПУ) – барабанные, на основе лепесткового печатающего устройства с электромагнитным приводом. С начала 1990-х годов не выпускаются;
- матричные;
- струйные;
- лазерные;
- сублимационные;
- термопринтеры;
- 3D-принтеры.

По количеству цветов печати различают монохромные (одноцветные) и цветные принтеры, а по способу соединения с источником данных (интерфейсу) выделяют проводные и беспроводные принтеры.

Во многих организациях, в первую очередь, связанных с разработкой различного рода технической документации – промышленных предприятиях, научно-исследовательских институтах и др., для высококачественной печати графической документации на больших форматах бумажных носителей широко применяются графопостроители или плоттеры.

Для обеспечения работы принтеров и плоттеров в составе ЭВМ используется специальный драйвер, который входит в комплект поставки устройства, и который также можно загрузить с веб-сайта официального производителя данного оборудования.

3.7. УСТРОЙСТВА МАГНИТНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Практически в любых ЭВМ для хранения информации используются носители, основанные на использовании принципов магнетизма.

При использовании магнитных устройств хранения, поток двоичных данных превращается в небольшие металлические намагниченные частички, расположенные на плоском диске или на ленте в виде узора. Этот магнитный рисунок впоследствии может быть восстановлен в изначальный поток двоичной информации.

Головка чтения/записи в любом дисковом накопителе состоит из П-образного ферромагнитного сердечника и намотанной на него катушки (обмотки), по которой может протекать электрический ток. При пропускании тока через обмотку, в сердечнике (магнитопроводе) головки создаётся магнитное поле (рис. 3.7). При переключении направления протекающего тока, полярность магнитного поля также изменяется. Другими словами, головки представляют собой электромагниты с изменяемой полярностью [6].

Магнитное поле в сердечнике частично распространяется в окружающее пространство благодаря зазору в основании П-образного сердечника. Если вблизи зазора располагается ферромагнетик, которым является рабочий слой носителя, то магнитное поле в нём локализуется, поскольку подобные вещества обладают меньшим магнитным сопротивлением, чем воздух. Магнитный поток, пересекающий зазор, замыкается через носитель, что приводит к поляризации его магнитных частиц (доменов) в направлении действия поля.

Магнитное поле, генерируемое головкой чтения/записи, отклоняется от конца сердечника, используя поверхность близлежащего ферромагнитного носителя в качестве кратчайшего пути к другому концу магнита. При прохождении поля через рабочий слой, находящийся непосредственно под сердечником, происходит поляризация магнитных частиц, что приводит к их ориентации по направлению действия магнитного поля. Полярность или направление поля, которое индуцируется в среде магнитного носителя, определяется направлением электрического тока, проходящего через обмотку. Смена направления электрического тока приводит к изменению полярности магнитного поля.

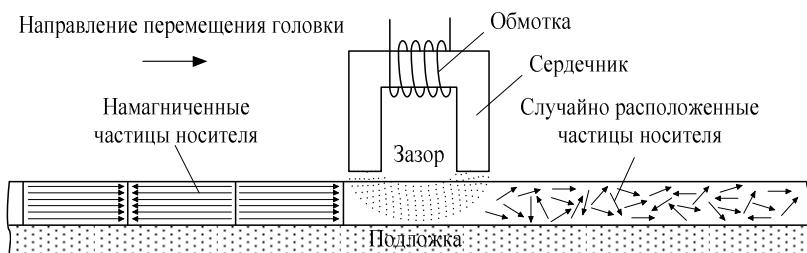


Рис. 3.7. Принцип работы головки чтения/записи

При прохождении магнитного поля через носитель частицы, оказавшиеся под зазором сердечника, ориентируются по направлению действия поля, которое индуцируется головкой чтения/записи. Когда отдельные магнитные домены частиц выстраиваются в определённом направлении, их магнитные поля прекращают компенсировать друг друга, что приводит к появлению на этом участке отчётливого магнитного поля. Это локальное поле генерируется множеством магнитных частиц, которые в данном случае функционируют как одно целое, создавая общее поле, имеющее единое направление.

Таким образом, в результате протекания переменного тока импульсной формы в обмотке головки чтения/записи на вращающемся диске образуется последовательность участков с различной по знаку (направлению) остаточной намагниченностью. Причём наиболее важными в аспекте последующего воспроизведения записанной информации оказываются те зоны, в которых происходит смена направления остаточного магнитного поля или просто зоны смены знака.

Магнитная головка записывает данные на диск, размещая на нём зоны смены знака. При записи каждого бита информации в специальных областях на диске располагаются последовательности зон смены знака. Эти области называются битовыми ячейками. Геометрические размеры такой ячейки зависят от тактовой частоты сигнала записи и скорости, с которой перемещаются относительно друг друга головка и поверхность диска. Ячейкой перехода называется такая область на диске, в которую можно записать только одну зону смены знака. При записи отдельных битов данных или их групп в ячейках формируется характерный «узор» из зон смены знака, зависящий от способа кодирования информации. Это связано с тем, что в процессе переноса данных на магнитный носитель каждый бит (или несколько битов) с помощью специального кодирующего устройства преобразуется в серию электрических сигналов, не являющихся точной копией исходной последовательности импульсов.

При записи напряжение прилагается к головке, и по мере изменения его полярности регистрируемая полярность магнитного поля также изменяется. Зоны смены знака записываются в тех точках, в которых происходит изменение полярности. Следует заметить, что во время считывания головка выдаёт не совсем тот сигнал, который был записан; вместо этого она генерирует импульс напряжения, или выброс, только в тех точках, в которых она пересекает зону смены знака. Когда знак меняется с положительного значения на отрицательное, генерируется отрицательный выброс и наоборот. Этот эффект является следствием того, что ток, генерируемый в обмотке, пересекает линии магнитного поля под углом. Так как головка перемещается параллельно

линиям магнитного поля, созданного ей на носителе, ток в головке генерируется только в том случае, если она пересекает зону смены знака, т.е. головка ведёт себя подобно детектору зон смены знака, выдавая импульсы напряжения при каждом пересечении такой зоны.

Амплитуда сигнала, поступающего с головки при считывании, очень мала, поэтому для усиления сигнала используются специальные высокочувствительные усилительные схемы. После усиления сигнал поступает на дешифратор, который приводит поток данных к такому виду, который идентичен поступающему на накопитель при выполнении записи.

Рассмотренный принцип чтения/записи информации используется во всех устройствах магнитного хранения данных. За долгий период развития СВТ магнитные накопители прошли длинный эволюционный путь, в ходе которого непрерывно совершенствовались технологии повышения плотности записи, что привело к созданию малогабаритных и ёмких устройств. В современной вычислительной технике наибольшее распространение получили следующие типы устройств магнитного хранения данных:

- накопители на гибких магнитных дисках;
- накопители на жёстких магнитных дисках;
- накопители на магнитных лентах.

Накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД), часто называемый также дисководом гибких дисков, представляет собой такое устройство, в котором в качестве хранилища данных используется **гибкий магнитный диск**, выполненный на лавсановой подложке, покрытой ферромагнитным веществом и помещённый в защитный пластиковый корпус. Гибкий магнитный диск часто называют дискетой (от англ. *diskette*). За рубежом гибкий магнитный диск известен также под английским названием *floppy disk*, а накопителю на гибких магнитных дисках соответствует аббревиатура *FDD* (от англ. *Floppy Disk Drive* – дисковод гибких дисков).

НГМД получили массовое распространение с 1970-х гг., придя на смену магнитным лентам и перфокартам. К недостаткам дискет следует отнести небольшой объём хранимых данных, малую механическую прочность (легко случайно испортить, повредив тонкий пластиковый корпус) и чувствительность к внешним электромагнитным полям. Поэтому дискета не может являться надёжным долговременным хранилищем информации.

В настоящее время дисководы, равно как и дискеты для них, уходят в историю.

Накопитель на жёстких магнитных дисках (НЖМД) представляет собой такое устройство, в котором в качестве хранилища данных используются магнитные диски, выполненные на жёстком алюминии-

вом или стеклянном основании, покрытом ферромагнитным веществом. В отличие от НГМД, жёсткие диски не являются сменными носителями, вместе с накопителем они составляют единую конструкцию, выполненную в металлическом герметичном жёстком корпусе (рис. 3.8) [3, 6].

За рубежом жёсткий магнитный диск известен также под английским названием *hard disk*, а накопителю на гибких магнитных дисках соответствует аббревиатура *HDD* (от англ. *Hard Disk Drive* – дисковод жёстких дисков).

НЖМД применяются практически в любом компьютере. Ёмкость современных накопителей достигает десятков Тбайт, в большинстве накопителей обмен данными осуществляется по высокоскоростному интерфейсу *Serial ATA*, который обеспечивает скорость передачи данных до 300 Мбайт/с. За счёт металлического корпуса, выполняющего роль экрана, жёсткие диски более устойчивы к внешним электромагнитным полям, чем дискеты. Однако НЖМД более подвержены механическим воздействиям (вибрация, удары), а также чувствительны к существенному изменению атмосферного давления.

В последние годы в связи с удешевлением производства НЖМД широкую популярность приобрели так называемые внешние накопители на жёстких дисках, которые подключаются к ПЭВМ по стандартным коммуникационным интерфейсам, специально разработанным для жёстких дисков (*ATA*, *Serial ATA*, *SCSI*), а также последовательной шине *USB*.

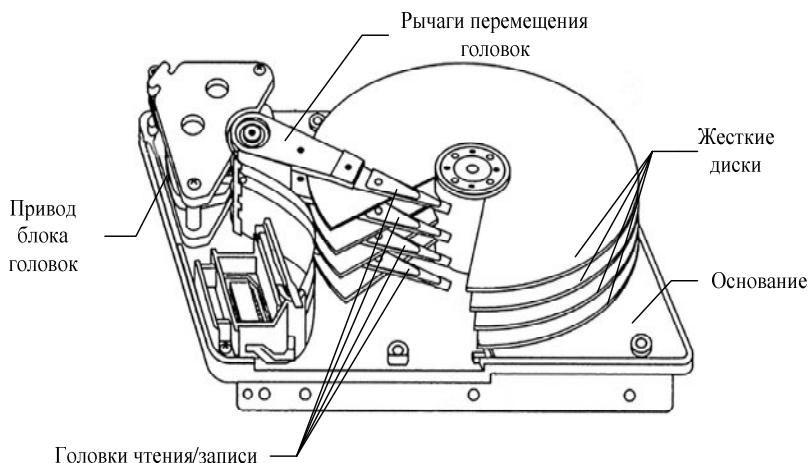


Рис. 3.8. Устройство НЖМД

3.8. УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

В устройствах оптического хранения данных запись и считывание информации осуществляются на вращающийся диск с помощью лазерного луча, а не магнитного поля. Следует заметить, что первоначально оптические устройства могли только считывать информацию с дисков, массово изготовленных промышленным способом, но затем появились технологии, которые позволили обеспечить запись дисков на любом ПК. В то время считалось, что вскоре оптические диски полностью заменят собой магнитные носители для хранения информации. Однако выяснилось, что быстродействие и плотность записи оптических дисков намного отстают от аналогичных показателей магнитных жёстких дисков, поэтому оптические носители информации по-прежнему являются только средством архивирования и распространения данных, а жёсткие диски так и остались основным операционным средством долгосрочного хранения информации.

Стандарты компьютерных оптических технологий можно разделить на три основные группы [3]:

- 1) *CD (CD-ROM, CD-R, CD-RW)*;
- 2) *DVD (DVD-ROM, DVD-RAM, DVD-RW, DVD-R, DVD+RW, DVD+R)*;
- 3) *DVD с повышенной плотностью (HD-DVD и Blue-ray)*.

Наиболее распространёнными оптическими накопителями являются компакт-диски *CD* и *DVD*, *CD-ROM* (от англ. *Compact Disc Read-Only Memory* – память только для чтения на компакт-диске) и *DVD-ROM* (от англ. *Digital Versatile Disc Read-Only Memory* – память только для чтения на цифровом многоцелевом диске) – это оптические носители информации, предназначенные только для чтения данных. Другие форматы: *CD-R*, *CD-RW*, *DVD-R*, *DVD-RW* позволяют записывать данные на оптический-диск, а благодаря технологии *DVD* существенно повышается ёмкость такого оптического диска. Так, ёмкость обычных дисков *CD* не превышает 700 Мбайт, а на диске *DVD* можно разместить до 17,08 Гбайт информации (хотя наиболее распространены диски с ёмкостью до 4,7 Гбайт). Доступ к данным на компакт-диске осуществляется на порядок быстрее, чем к дискете, но всё же значительно медленнее, чем к жёсткому диску.

Компакт-диск представляет собой поликарбонатную пластину диаметром 120 мм и толщиной 1,2 мм, в центре которой расположено отверстие диаметром 15 мм. Штампованное или литое основание пластины физически является одной спиральной дорожкой, которая начинается на внутренней и заканчивается на внешней части диска. Шаг между витками спирали этой дорожки равен 1,6 мкм. Компакт-диск,

если смотреть на него со стороны считывания, вращается против часовой стрелки. Если рассмотреть спиральную дорожку под микроскопом, то станет видно, что она состоит из приподнятых участков, которые, тем не менее, называются впадинами – *pits*, и плоских поверхностей между ними, называемых площадками – *lands*. Приподнятый участок дорожки называется впадиной по той причине, что при штамповке диска формовка его верхней части (т.е. профиля дорожки) осуществляется таким образом, что выступы действительно становятся углублениями, сделанными в поликарбонатной пластине.

Лазерный луч, используемый для считывания данных компакт-диска, может свободно пройти сквозь прозрачный пластик, поэтому отформованная поверхность диска покрывается отражающей металлической плёнкой (обычно алюминиевой), поверх которой напыляется тонкий слой защитного акрилового лака, на который наносится текст или красочное изображение.

Считывание информации представляет собой процесс регистрации колебаний луча маломощного лазера, отражённого от металлической поверхности диска. Лазер посылает сфокусированный луч света на нижнюю часть диска, а светочувствительный фоторецептор улавливает отражённый луч. Луч лазера, попавший на площадку (плоскую поверхность дорожки – *lands*), всегда отражается обратно; в свою очередь, луч, попавший во впадину на дорожке (*pits*), не отражается.

Диск вращается над лазером и приёмником отражённого луча (рецептором). Лазер непрерывно излучает свет, а фоторецептор воспринимает набор отражённых световых вспышек, повторяющих рисунок впадин и площадок, по которым проходит лазерный луч. Всякий раз, когда луч лазера пересекает границы впадины, изменяется состояние отражённого сигнала. Каждое изменение отражённого сигнала, вызванного пересечением границы впадины, преобразуется в бит со значением логической единицы. Микропроцессор накопителя пересчитывает переходы «светлый/тёмный» и «тёмный/светлый» (т.е. границы впадины) в число логических единиц. Область, не содержащая переходов, представляется логическим нулём. Полученный набор двоичных разрядов затем преобразуется в цифровые данные или звук.

Глубина отдельных впадин, образующих дорожку компакт-диска, равна 0,125 мкм, а ширина 0,6 мкм. Минимальная длина впадин или площадок составляет 0,9 мкм, максимальная – 3,3 мкм [3, 6] (рис. 3.9).

Высота впадины относительно плоскости площадки имеет особое значение, так как она непосредственно связана с длиной волны луча лазера, используемого при чтении диска. Высота впадины составляет ровно 1/4 часть длины волны лазерного луча. Таким образом, луч лазера, попавший на площадку, проходит расстояние, которое на поло-

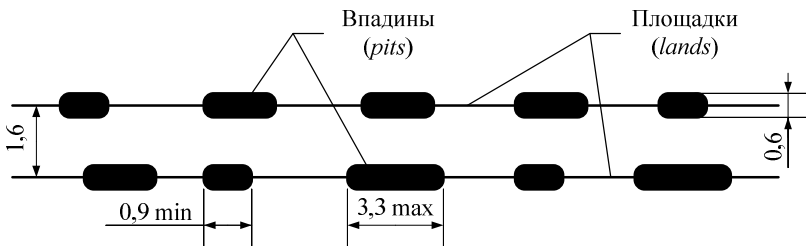


Рис. 3.9. Геометрические параметры дорожки компакт-диска (мкм)

вину длины волны ($1/4 + 1/4 = 1/2$) больше расстояния, пройденного лучом, отразившимся от впадины.

Это означает, что световой луч, отражённый от впадины, на $1/2$ длины волны не совпадает по фазе со световыми лучами, отражаемыми от поверхности диска. Волны, находящиеся в противофазе, гасят одна другую, тем самым значительно уменьшая количество отражаемого света. В результате впадины, несмотря на покрытие металлической отражающей плёнкой, становятся «чёрными», поскольку не отражают свет.

Считывающее устройство, используемое в дисковом устройстве *CD* или *DVD*, представляет собой маломощный лазер с длиной волны $780 \cdot 10^{-9}$ м и мощностью около 1 мВт. Поликарбонатная пластмасса, используемая при изготовлении компакт-дисков, имеет коэффициент преломления 1,55. Таким образом, свет проходит через пластмассу диска в 1,55 раза медленнее, чем через окружающую среду. Так как частота света остается постоянной, это приводит к сокращению длины волны в пределах диска с тем же коэффициентом. Следовательно, длина волны, равная $780 \cdot 10^{-9}$ м, уменьшается до $500 \cdot 10^{-9}$ м, поскольку $\frac{780 \cdot 10^{-9}}{1,55} = 500 \cdot 10^{-9}$ м. Одна четвертая часть от $500 \cdot 10^{-9}$ м составляет $125 \cdot 10^{-9}$ м, или 0,125 микрона, что и определяет высоту впадины.

Следует заметить, что устройства, предназначенные для двух типов оптических носителей – *CD* и *DVD*, оснащены двумя лазерами. Первый имеет длину волны $780 \cdot 10^{-9}$ м, а второй – $650 \cdot 10^{-9}$ м. Так что выход из строя одного из лазеров приведёт к невозможности работы с определённым типом носителей, в то время как другой тип дисков будет считываться как ни в чем не бывало.

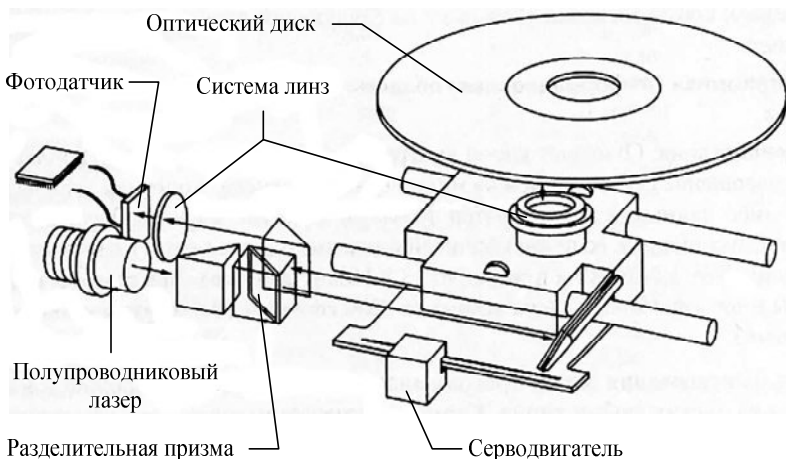


Рис. 3.10. Принцип работы оптического накопителя

В основе работы оптического накопителя (рис. 3.10) лежит применение отражённого луча полупроводникового лазера от поверхности диска. Отражённый свет регистрируется фотодетектором.

Алгоритм работы накопителя включает следующие этапы [6].

1. Полупроводниковый лазер генерирует маломощный инфракрасный луч, который попадает на отражающее зеркало.

2. Сервопривод по командам, поступающим от встроенного микропроцессора, смещает подвижную каретку с отражающим зеркалом к нужной дорожке на компакт-диске.

3. Отражённый от диска луч фокусируется линзой, расположенной под диском, отражается от зеркала и попадает на разделительную призму.

4. Разделительная призма направляет отражённый луч на другую фокусирующую линзу.

5. Последняя линза направляет отражённый луч на фотодатчик, который преобразует световую энергию в электрические импульсы.

6. Сигналы с фотодатчика декодируются встроенным микропроцессором и передаются в компьютер в виде данных.

Существует два основных типа записываемых компакт-дисков и накопителей: записываемые *CD-R (Recordable)* и перезаписываемые *CD-RW (Rewritable)*. Но, так как *CD-RW* примерно вдвое дороже носителей *CD-R*, причём последние вдвое быстрее и совместимы со всеми (даже старыми) системами, *CD-R* продолжают пользоваться большим спросом.

Цифровые универсальные *DVD*-диски используют ту же оптическую технологию, что и *CD*-диски, и отличаются только более высокой плотностью записи. Стандарт *DVD* значительно увеличивает объём памяти и, следовательно, объём приложений, записываемых на компакт-дисках. *CD-ROM* могут содержать максимум 737 Мбайт данных (80-минутный диск), что до недавнего времени являлось неплохим показателем. К сожалению, этого уже недостаточно для многих современных приложений, особенно при активном использовании видеoinформации. *DVD* могут содержать уже до 4,7 Гбайт (однослойный диск) или 8,5 Гбайт (двухслойный диск) данных на каждой стороне, что примерно в 11,5 раза больше по сравнению со стандартными *CD*-дисками. Ёмкость двухсторонних *DVD*, естественно, в два раза выше ёмкости односторонних. Однако в настоящее время для считывания данных со второй стороны приходится переворачивать диск.

3.9. УСТРОЙСТВА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ФЛЭШ-ПАМЯТИ

В последние годы очень широкое распространение получил особый вид миниатюрных устройств для хранения данных – на основе флэш-памяти. Флэш-память представляет собой особый тип микросхем памяти *EEPROM*, которая может стираться и заполняться данными несколько десятков тысяч раз. Флэш-память можно использовать для сохранения любых компьютерных данных, однако всё же исторически основное её применение – цифровая фотография. Сейчас выпускается всё больше устройств на основе флэш-памяти, в том числе *MP3*-плееров, а также флэш-накопителей в виде *USB*-брелоков, которые являются альтернативой другим сменным накопителям, таким как дискеты и перезаписываемые оптические диски.

Флэш-память относится к категории устройств длительного хранения [6]. Данные в ней хранятся в виде блоков, а не байтов, как в обычных модулях памяти. Флэш-память также используется в современных компьютерах в качестве микросхем *BIOS*, с возможностью перезаписи информации. Перед записью новых данных флэш-память должна быть стёрта. По сравнению с традиционными накопителями на вращающихся магнитных носителях, флэш-накопители являются монолитными (в них нет подвижных частей), поэтому их часто называют *SSD*-накопителями (от англ. *Solid-State Drive* – твёрдотельное устройство).

Существуют два основных технологических типа флэш-памяти, которые называются *NOR* (от англ. *Not OR* – ИЛИ-НЕ) и *NAND* (от англ. *Not AND* – И-НЕ). Флэш-память *NOR* работает подобно памяти *DRAM*, обеспечивая высокую скорость произвольного доступа и

возможность побайтового считывания данных. Чаще всего, память *NOR* используется в качестве *Flash*-ПЗУ системных плат, мобильных телефонов и других устройств, для которых может потребоваться обновление прошивки.

Флэш-память *NAND* похожа на устройство хранения, поскольку данные считываются и записываются блоками, а не побайтно. Наиболее часто память типа *NAND* используется в устройствах хранения файловых данных – таких как *SSD*, *USB*-брелоки, цифровые камеры, музыкальные плееры и т.п. Память *NAND* отличается более высокой плотностью по сравнению с *NOR*, а значит, на единице площади можно сохранить больше данных.

Высокая производительность, низкие требования при перепрограммировании и небольшой размер устройств флэш-памяти и накопителей *SSD* делают их полноценным дополнением при использовании в портативных компьютерах и цифровых камерах в качестве хранителей информации.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие типы флэш-памяти:

- *CompactFlash Card (CF)*;
- *SmartMedia Card (SM)*;
- *MultiMediaCard (MMC)*;
- *Secure Digital Card (SD)*;
- *PCMCIA ATA Flash Card*;
- *Memory Stick/Memory Stick Pro*;
- *xD-Picture Card*;
- накопители *Solid-State Drive (SSD)*;
- флэш-карты *USB*.

Все эти типы устройств показаны на рис. 3.11, *a – u*.

Широкое распространение карт памяти в различных цифровых устройствах обусловило необходимость их сопряжения с компьютером для обмена разного рода информацией (например, переписать сделанные снимки с цифрового фотоаппарата на жёсткий диск компьютера для последующего просмотра или передачи по сети). Эти задачи выполняют специальные устройства – картридеры (от англ. *Card reader*), содержащие часто по несколько различных разъёмов и подключаемые по интерфейсу *USB* к ПЭВМ.

Различают внешние и внутренние картридеры. Внешние представляют собой отдельное устройство, а внутренние изготавливаются в виде модуля, устанавливаемого в свободный отсек системного блока (рис. 3.12).

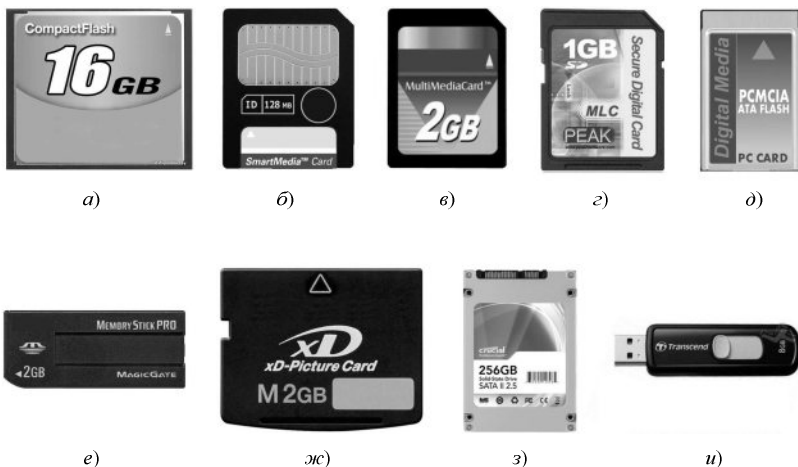


Рис. 3.11. Основные типы флэш-памяти
a – CompactFlash Card; б – SmartMedia Card; в – MultiMediaCard; г – Secure Digital Card; д – PCMCIA ATA Flash Card; е – Memory Stick Pro; ж – xD-Picture Card; з – накопитель Solid-State Drive; и – флэш-карта USB



Рис. 3.12. Типичный внутренний картридер

Современные картридеры обеспечивают подключение большинства популярных форматов флэш-карт памяти. Многие модели ноутбуков оснащены встроенными картридерами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова роль и назначение центрального процессора в составе ПЭВМ?
2. Какие параметры характеризуют работу микропроцессора?
3. Как осуществляют классификацию микропроцессоров?
4. Что представляет собой обобщённая внутренняя структура микропроцессора?

5. Как в микропроцессоре выполняется управление выборкой команд?
6. В каких целях используется арифметико-логическое устройство?
7. Что представляют собой регистры микропроцессора?
8. Какой набор регистров содержит типичный микропроцессор *Intel*?
9. На какие группы делится набор регистров микропроцессора?
10. Какими особенностями обладает регистр флагов? Каков его состав?
11. Для каких целей в состав микропроцессора включена схема управления прерываниями?
12. Что понимают под командой микропроцессора?
13. Какие форматы имеют команды микропроцессора?
14. Какая взаимосвязь прослеживается между командами микропроцессора, программой в машинных кодах и программой на ассемблере?
15. Какие шины обязательно входят в состав магистрали компьютера?
16. Что представляет собой и каково назначение шины данных?
17. В каких целях используется шина адреса?
18. Каково назначение шины управления?
19. Какие стандартные спецификации шин используются в ПЭВМ?
20. Какие устройства используются для ввода информации в ЭВМ?
21. Какие разновидности клавиатур для ПЭВМ получили наибольшее распространение?
22. Каков состав и устройство типичной 104-клавишной клавиатуры *IBM/Windows*?
23. Какие типы корпусов используются в современных клавиатурах?
24. Какими конструктивными особенностями обладают мыши с шаровым приводом?
25. В чём заключаются конструктивные отличия оптических мышей?
26. Какими способами выполняют подключения клавиатур и мышей к компьютеру?
27. Как осуществляют классификацию сканеров?
28. Какой принцип используется в работе сканера на основе приборов с зарядовой связью?
29. В чём особенности сканеров с фотоэлектронными умножителями?
30. Какими достоинствами и недостатками обладают сканеры со светодиодной сканирующей головкой?

31. В чём состоят особенности использования ручных, планшетных, барабанных, роликовых и проекционных сканеров?
32. Какие устройства в составе ЭВМ применяются для вывода информации?
33. Какие компоненты включает в себя система отображения компьютера?
34. Каким основным стандартам разрешения и глубины цвета должен удовлетворять видеоадаптер?
35. Из каких компонентов состоит типичный видеоадаптер?
36. Какие задачи решает графический процессор видеоадаптера?
37. Каково назначение видеоконтроллера?
38. В каких целях в видеоадаптере используются постоянная и оперативная виды памяти?
39. Зачем в видеоадаптере применяют цифроаналоговый преобразователь?
40. Какие основные интерфейсы видеовыходов используются в современных видеоадаптерах?
41. Какие технические характеристики используются для сравнения мониторов?
42. Как обеспечить оптимальный выбор разрешающей способности изображения на экране монитора с учётом особенностей видеоадаптера?
43. Как формируется изображение на экране цветного монитора?
44. В чём принципиальные отличия между ЖК- и ЭЛТ-мониторами?
45. Какие устройства в современном компьютере используются для вывода графической и текстовой информации на печать?
46. Как выполняют классификацию принтеров?
47. Какими достоинствами и недостатками обладают различные типы принтеров?
48. В чём особенности функционирования 3D-принтеров?
49. По каким признакам осуществляют классификацию графопостроителей?
50. В каких устройствах хранения данных используются магнитные носители информации?
51. В чём состоит принцип работы головки чтения/записи накопителя на магнитных дисках?
52. Какова область применения и особенности функционирования НГМД?
53. Какими конструктивными особенностями обладает НЖМД?
54. Какова роль стримеров среди прочих устройств магнитного хранения данных?

55. Какими достоинствами и недостатками обладают различные типы устройств магнитного хранения данных?
56. В каких устройствах хранения данных используются оптические диски?
57. Какие группы стандартов включают в себя компьютерные оптические технологии?
58. Как осуществляется считывание информации с оптического носителя?
59. В чём состоят особенности записи информации на оптический диск?
60. Какими достоинствами и недостатками обладают устройства хранения данных с оптическими носителями?
61. Какие основные разновидности устройств хранения информации на основе флэш-памяти используются в современной вычислительной технике?
62. Как осуществляется подключение различных устройств флэш-памяти к ПЭВМ?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные сведения о вычислительной технике составляют основу инженерных знаний в области проектирования, производства и сервисного обслуживания микропроцессорных устройств различного назначения. Тенденция к постоянному усложнению СВТ, увеличению их функциональных возможностей и улучшению технических характеристик без снижения надёжности и качества требует использования передовых технологий и новых материалов. Глобализация социально-экономического пространства и тесная интеграция производственных мощностей различных стран на фоне усиливающейся конкуренции между разработчиками и производителями ЭС также дают мощный импульс для развития радиоэлектроники. Поэтому регулярно появляются сообщения о новых технологиях изготовления микропроцессоров, о применении новых видов носителей информации, о новых способах защиты СВТ от несанкционированного доступа, о новейших информационных технологиях. Особенно быстро происходит освоение новейших разработок в области конструирования микропроцессорной аппаратуры специального назначения, медицинской и космической техники. Типичными примерами являются развитие инфокоммуникационных средств, вычислительной техники и программного обеспечения за последние десять лет.

Процессы проектирования, производства электронной аппаратуры в настоящее время уже немыслимы без использования современных информационных технологий. Спектр существующего программного обеспечения охватывает все стадии жизненного цикла изделия и позволяет автоматизировать процессы проектирования аппаратуры. Использование специализированных систем автоматизированного проектирования, предназначенных для схемотехнического моделирования, проектирования печатных плат, разработки и оформления конструкторской документации, проведения маркетинговых исследований, выполнения инженерных расчётов позволяет значительно ускорить разработку прототипов технических устройств, снизить число возможных ошибок, удешевить производство и повысить качество выпускаемой продукции. Квалифицированный технический специалист должен свободно владеть средствами вычислительной техники, иметь навыки работы с различными пакетами САПР и уметь выполнять грамотное обслуживание микропроцессорного оборудования. Только в этом случае специалист будет соответствовать современным требованиям производства и бизнеса, и будет востребован на рынке труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Келим, Ю. М. Вычислительная техника : учеб. пособие / Ю. М. Келим. – М. : Академия, 2005. – 384 с.
2. Партыка, Т. Л. Вычислительная техника : учеб. пособие / Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 608 с.
3. Тюрин, И. В. Вычислительная техника и информационные технологии : учеб. пособие / И. В. Тюрин. – Ростов н/Д : Феникс, 2017. – 462 с.
4. Бройдо, В. Л. Архитектура ЭВМ и систем : учебник / В. Л. Бройдо, О. П. Ильина. – СПб. : Питер, 2006. – 718 с.
5. Баула, В. Г. Архитектура ЭВМ и операционные среды : учебник / В. Г. Баула, А. Н. Томилин, Д. Ю. Волканов. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2012. – 336 с.
6. Мюллер, С. Модернизация и ремонт ПК / С. Мюллер ; пер. с англ. – 19-е изд. – М. : Вильямс, 2011. – 1072 с.
7. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие / Ю. Л. Муромцев, Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин и др. – М. : Академия, 2010. – 384 с.
8. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов и др. – СПб. : Лань, 2018. – 412 с.
9. Муромцев, Д. Ю. Математическое обеспечение САПР : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Лань, 2014. – 464 с.
10. Юров, В. И. Assembler : учебник / В. И. Юров. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 637 с.
11. Лавров, И. А. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов / И. А. Лавров, Л. Л. Максимова. – 5-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 256 с.
12. Пухальский, Г. И. Цифровые устройства: учеб. пособие / Г. И. Пухальский, Т. Я. Новосельцева. – СПб. : Политехника, 1996. – 885 с.
13. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон ; пер. с англ. – М. : Иностранная литература, 1963. – 832 с.
14. Миллер, Р. Теория переключательных схем / Р. Миллер ; под ред. П. П. Пархоменко ; пер. с англ. – М. : Наука, 1970. – Т. 1. – 416 с.
15. Миллер, Р. Теория переключательных схем / Р. Миллер ; под ред. П. П. Пархоменко ; пер. с англ. – М. : Наука, 1971. – Т. 2. – 304 с.
16. Конструирование узлов и устройств электронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 540 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	3
Введение	7
Глава 1. Общие сведения о средствах вычислительной техники . . .	9
1.1. Этапы развития средств вычислительной техники	9
1.2. Основные характеристики электронной вычислительной техники	16
1.3. Классификация ЭВМ	18
1.4. Основы функционирования цифровой вычислительной техники	24
1.5. Принципы представления информации в цифровых вы- числительных устройствах	28
Контрольные вопросы	38
Глава 2. Основы математического аппарата средств вычисли- тельной техники	40
2.1. Общие сведения о системах счисления	40
2.2. Основы алгебры логики	43
2.3. Переключательные функции	47
2.4. Минимизация переключательных функций	56
Контрольные вопросы	62
Глава 3. Компоненты и узлы вычислительной техники	64
3.1. Общие сведения о микропроцессорах	64
3.2. Внутреннее устройство микропроцессора	69
3.3. Команды микропроцессора	76
3.4. Шины и интерфейсы	78
3.5. Устройства ввода информации	83
3.5.1. Клавиатура	83
3.5.2. Мышь	86
3.5.3. Сканер	86
3.6. Устройства вывода информации	89
3.6.1. Видеоадаптеры и мониторы	90

3.6.2. Устройства печати	93
3.7. Устройства магнитного хранения данных	94
3.8. Устройства оптического хранения данных	99
3.9. Устройства хранения данных на основе флэш-памяти	103
Контрольные вопросы.	105
Заключение	109
Список литературы	110