

# СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ АУДИОИНФОРМАЦИИ

## 5.1. ЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ПК

Звуковая система ПК в виде звуковой карты появилась в 1989 г., существенно расширив возможности ПК как технического средства информатизации.

Звуковая система ПК — комплекс программно-аппаратных средств, выполняющих следующие функции:

- запись звуковых сигналов, поступающих от внешних источников, например микрофона или магнитофона, путем преобразования входных аналоговых звуковых сигналов в цифровые и последующего сохранения на жестком диске;
- воспроизведение записанных звуковых данных с помощью внешней акустической системы или головных телефонов (наушников);
- воспроизведение звуковых компакт-дисков;
- микширование (смешивание) при записи или воспроизведении сигналов от нескольких источников;
- одновременная запись и воспроизведение звуковых сигналов (режим *Full Duplex*);
- обработка звуковых сигналов: редактирование, объединение или разделение фрагментов сигнала, фильтрация, изменение его уровня;
- обработка звукового сигнала в соответствии с алгоритмами объемного (трехмерного — *3D-Sound*) звучания;
- генерирование с помощью синтезатора звучания музыкальных инструментов, а также человеческой речи и других звуков;

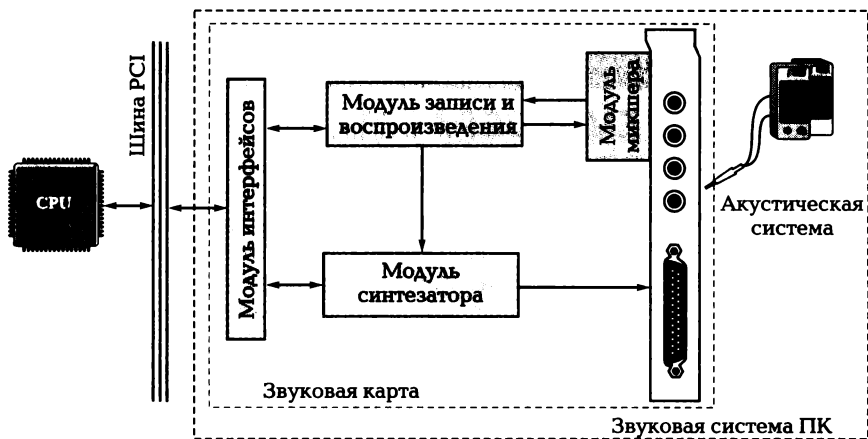


Рис. 5.1. Структура звуковой системы ПК

- управление работой внешних электронных музыкальных инструментов через специальный интерфейс MIDI.

Звуковая система ПК конструктивно представляет собой звуковые карты либо устанавливаемые в слот материнской платы, либо интегрированные на материнскую плату или карту расширения другой подсистемы ПК. Отдельные функциональные модули звуковой системы могут выполняться в виде дочерних плат, устанавливаемых в соответствующие разъемы звуковой карты.

Классическая звуковая система, как показано на рис. 5.1, содержит модуль записи и воспроизведения звука; модуль синтезатора; модуль интерфейсов; модуль микшера; акустическую систему.

Первые четыре модуля, как правило, устанавливаются на звуковой карте. Причем существуют звуковые карты без модуля синтезатора или модуля записи и воспроизведения цифрового звука. Каждый из модулей может быть выполнен либо в виде отдельной микросхемы, либо входить в состав многофункциональной микросхемы. Таким образом, Chipset звуковой системы может содержать как несколько, так и одну микросхему. Конструктивные исполнения звуковой системы ПК претерпевают существенные изменения.

Однако назначение и функции модулей современной звуковой системы (независимо от ее конструктивного исполнения) не меняются. При рассмотрении функциональных модулей звуковой карты принято пользоваться терминами «звуковая система ПК» или «звуковая карта».

Модуль записи и воспроизведения звуковой системы осуществляет аналого-цифровое и цифроаналоговое преобразования в режиме программной передачи звуковых данных или передачи их по каналам DMA (*Direct Memory Access* — канал прямого доступа к памяти).

Звук, как известно, представляет собой продольные волны, свободно распространяющиеся в воздухе или иной среде, поэтому звуковой сигнал непрерывно изменяется во времени и пространстве.

*Запись звука* — это сохранение информации о колебаниях звукового давления в момент записи. В настоящее время для записи и передачи информации о звуке используются аналоговые и цифровые сигналы. Другими словами, звуковой сигнал может быть представлен в аналоговой или цифровой форме.

Если при записи звука пользуются микрофоном, который преобразует непрерывный во времени звуковой сигнал в непрерывный во времени электрический сигнал, получают звуковой сигнал в аналоговой форме. Поскольку амплитуда звуковой волны определяет громкость звука, а ее частота — высоту звукового тона, постольку для сохранения достоверной информации о звуке напряжение электрического сигнала должно быть пропорционально звуковому давлению, а его частота должна соответствовать частоте колебаний звукового давления.

На вход звуковой карты ПК в большинстве случаев звуковой сигнал подается в аналоговой форме. В связи с тем что ПК оперирует только цифровыми сигналами, аналоговый сигнал должен быть преобразован в цифровой. Вместе с тем акустическая система, установленная на выходе звуковой карты ПК, воспринимает только аналоговые электрические сигналы, поэтому после обработки сигнала с помощью ПК необходимо обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый.

*Аналого-цифровое преобразование* представляет собой преобразование аналогового сигнала в цифровой и состоит из следующих основных этапов: дискретизации, квантования и кодирования. Схема аналого-цифрового преобразования звукового сигнала представлена на рис. 5.2.

Предварительно аналоговый звуковой сигнал поступает на аналоговый фильтр, который ограничивает полосу частот сигнала.

Дискретизация сигнала заключается в выборке отсчетов аналогового сигнала с заданной периодичностью и определяет

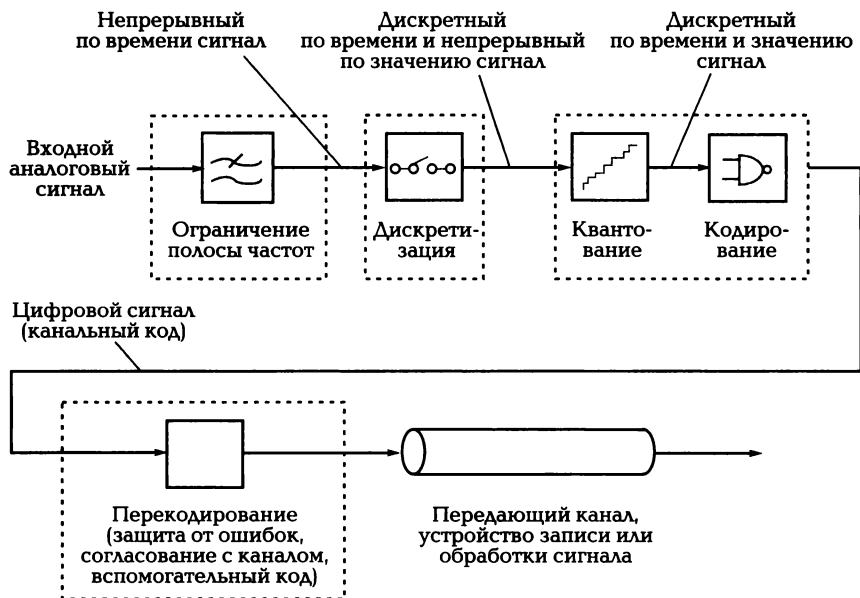


Рис. 5.2. Схема аналого-цифрового преобразования звукового сигнала

ся частотой дискретизации. Причем частота дискретизации должна быть не менее удвоенной частоты наивысшей гармоники (частотной составляющей) исходного звукового сигнала. Поскольку человек способен слышать звуки в частотном диапазоне от 20 Гц до 20 кГц, максимальная частота дискретизации исходного звукового сигнала должна составлять не менее 40 кГц, т.е. отсчеты требуется проводить 40 000 раз в секунду. В связи с этим в большинстве современных звуковых систем ПК максимальная частота дискретизации звукового сигнала составляет 44,1 или 48 кГц.

**К в а н т о в а н и е** по амплитуде представляет собой измерение мгновенных значений амплитуды дискретного по времени сигнала и преобразование его в дискретный по времени и амплитуде. На рис. 5.3 показан процесс квантования по уровню аналогового сигнала, причем мгновенные значения амплитуды кодируются 3-разрядными числами.

**К о д и р о в а н и е** заключается в преобразовании в цифровой код квантованного сигнала. При этом точность измерения при квантовании зависит от числа разрядов кодового слова. Если значения амплитуды записать с помощью двоичных чисел и задать длину кодового слова  $N$  разрядов, число возможных значений кодовых

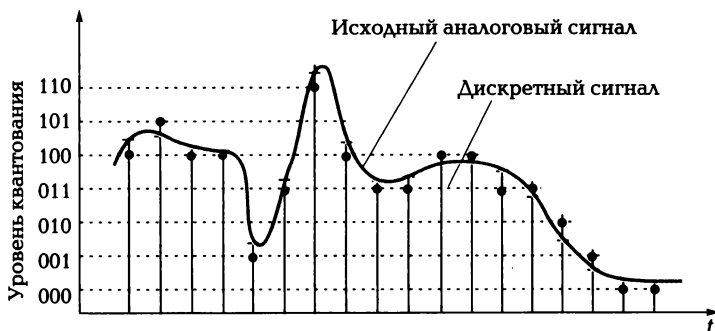


Рис. 5.3. Дискретизация по времени и квантование по уровню аналогового сигнала

слов будет равно  $2^N$ . Столько же может быть и уровней квантования амплитуды отсчета. Например, если значение амплитуды отсчета представляется 16-разрядным кодовым словом, максимальное число градаций амплитуды (уровней квантования) составит  $2^{16} = 65\,536$ . Для 8-разрядного представления соответственно получим  $2^8 = 256$  градаций амплитуды.

Аналого-цифровое преобразование осуществляется специальным электронным устройством — *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*, в котором дискретные отсчеты сигнала преобразуются в последовательность чисел. Полученный поток цифровых данных, т.е. сигнал, включает как полезные, так и нежелательные высокочастотные помехи, для фильтрации которых полученные цифровые данные пропускаются через цифровой фильтр.

*Цифроаналоговое преобразование* в общем случае происходит в два этапа, как показано на рис. 5.4. На первом этапе из потока цифровых данных с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП) выделяют отсчеты сигнала, следующие с частотой дискретизации. На втором этапе из дискретных отсчетов путем сглаживания (интерполяции) формируется непрерывный аналоговый сигнал с помощью фильтра низкой частоты, который подавляет периодические составляющие спектра дискретного сигнала.

Для записи и хранения звукового сигнала в цифровой форме требуется большой объем дискового пространства. Например, стереофонический звуковой сигнал длительностью 60 с, оцифрованный с частотой дискретизации 44,1 кГц при 16-разрядном квантовании, для хранения требует на винчестере около 10 Мбайт.

Для уменьшения объема цифровых данных, необходимых для представления звукового сигнала с заданным качеством, использу-

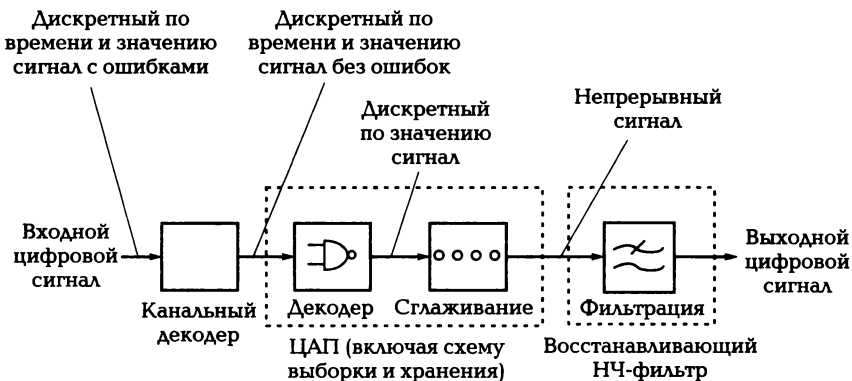


Рис. 5.4. Схема цифроаналогового преобразования

ют компрессию (сжатие), заключающуюся в уменьшении количества отсчетов и уровней квантования или числа битов, приходящихся на один отсчет.

Подобные методы кодирования звуковых данных с использованием специальных кодирующих устройств позволяют сократить объем потока информации почти до 20 % первоначального. Выбор метода кодирования при записи аудиоинформации зависит от набора программ сжатия — кодеков (кодирование-декодирование), поставляемых вместе с программным обеспечением звуковой карты или входящих в состав операционной системы.

Выполняя функции аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований сигнала, модуль записи и воспроизведения цифрового звука содержит АЦП, ЦАП и блок управления, которые обычно интегрированы в одну микросхему, также называемую кодеком. Основными характеристиками этого модуля являются: частота дискретизации; тип и разрядность АЦП и ЦАП; способ кодирования аудиоданных; возможность работы в режиме *Full Duplex*.

Частота дискретизации определяет максимальную частоту записываемого или воспроизводимого сигнала. Для записи и воспроизведения человеческой речи достаточно 6...8 кГц; музыки с невысоким качеством — 20...25 кГц; для обеспечения высококачественного звучания (аудиокомпакт-диска) частота дискретизации должна быть не менее 44 кГц. Практически все звуковые карты поддерживают запись и воспроизведение стереофонического звукового сигнала с частотой дискретизации 44,1 или 48 кГц.

Разрядность АЦП и ЦАП определяет разрядность представления цифрового сигнала (8, 16 или 18 бит). Большинство звуковых

карт оснащено 16-разрядными АЦП и ЦАП. Некоторые звуковые карты оснащаются 20- и даже 24-разрядными АЦП и ЦАП, что повышает качество записи-воспроизведения звука.

*Full Duplex* (полный дуплекс) — режим передачи данных по каналу, в соответствии с которым звуковая система может одновременно принимать (записывать) и передавать (воспроизводить) аудиоданные. Однако не все звуковые карты поддерживают этот режим в полном объеме, поскольку не обеспечивают высокое качество звука при интенсивном обмене данными.

### 5.3. МОДУЛЬ СИНТЕЗАТОРА

Электромusикальный цифровой синтезатор звуковой системы позволяет генерировать практически любые звуки, в том числе и звучание реальных музыкальных инструментов. Принцип действия синтезатора иллюстрирует рис. 5.5.

Синтезирование представляет собой процесс воссоздания структуры музыкального тона (ноты). Звуковой сигнал любого музыкального инструмента имеет несколько временных фаз. На рис. 5.5, *a* показаны фазы звукового сигнала, возникающего при нажатии

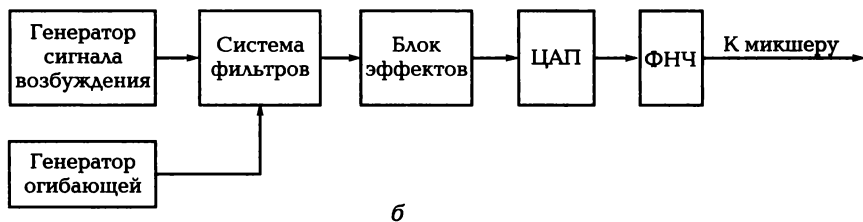
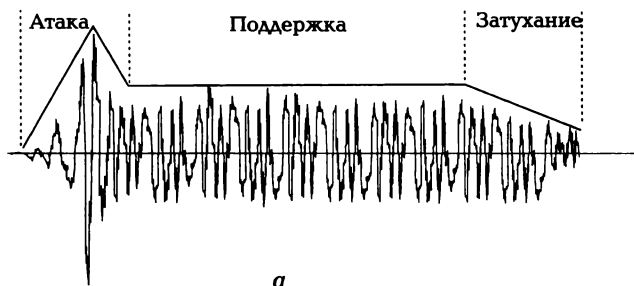


Рис. 5.5. Принцип действия современного синтезатора:  
*a* — фазы звукового сигнала; *б* — схема синтезатора

клавиши рояля. Для каждого музыкального инструмента вид сигнала будет своеобразным, но в нем можно выделить три фазы: атаку, поддержку и затухание. Совокупность этих фаз называется *амплитудной огибающей*, форма которой зависит от типа музыкального инструмента. Длительность а т а к и для разных музыкальных инструментов изменяется от единиц до нескольких десятков или даже до сотен миллисекунд. В фазе, называемой п о д д е р ж к о й, амплитуда сигнала почти не изменяется, а высота музыкального тона формируется во время поддержки. В последней фазе, з а т у х а н и ю, соответствует участок достаточно быстрого уменьшения амплитуды сигнала.

В современных синтезаторах звук создается следующим образом. Цифровое устройство, использующее один из методов синтеза, генерирует так называемый сигнал возбуждения с заданной высотой звука — ноту, которая должна иметь спектральные характеристики, максимально близкие к характеристикам имитируемого музыкального инструмента в фазе поддержки, как показано на рис. 5.5, б. Далее сигнал возбуждения подается на фильтр, имитирующий амплитудно-частотную характеристику реального музыкального инструмента. На другой вход фильтра подается сигнал амплитудной огибающей того же инструмента. Далее совокупность сигналов обрабатывается с целью получения специальных звуковых эффектов, например эха (реверберация), хорового исполнения (хорус). Далее производятся цифроаналоговое преобразование и фильтрация сигнала с помощью фильтра низких частот (ФНЧ). Основные характеристики модуля синтезатора:

- метод синтеза звука;
- объем памяти;
- возможность аппаратной обработки сигнала для создания звуковых эффектов;
- полифония — максимальное число одновременно воспроизводимых элементов звуков.

*Метод синтеза звука*, использующийся в звуковой системе ПК, определяет не только качество звука, но и состав системы. На практике на звуковых картах устанавливаются синтезаторы, генерирующие звук с использованием следующих методов.

Метод синтеза на основе частотной модуляции (*Frequency Modulation Synthesis* — FM-синтез) предполагает использование для генерации голоса музыкального инструмента как минимум двух генераторов сигналов сложной формы. Генератор несущей частоты формирует сигнал основного тона, частотно-моду-

лированный сигналом дополнительных гармоник, обертонов, определяющих тембр звучания конкретного инструмента. Генератор огибающей управляет амплитудой результирующего сигнала. FM-генератор обеспечивает приемлемое качество звука, отличается невысокой стоимостью, но не реализует звуковые эффекты.

Синтез звука на основе таблицы волн (*Wave Table Synthesis* — *WT-синтез*) производится с использованием предварительно оцифрованных образцов звучания реальных музыкальных инструментов и других звуков, хранящихся в специальной ROM, выполненной в виде микросхемы памяти или интегрированной в микросхему памяти WT-генератора. WT-синтезатор обеспечивает генерацию звука с высоким качеством. Этот метод синтеза реализован в современных звуковых картах.

*Объем памяти* на звуковых картах с WT-синтезатором может увеличиваться за счет установки дополнительных элементов памяти (ROM) для хранения банков с инструментами.

*Звуковые эффекты* формируются с помощью специального эффект-процессора, который может быть либо самостоятельным элементом (микросхемой), либо интегрироваться в состав WT-синтезатора. Для подавляющего большинства карт с WT-синтезом эффекты реверберации и хоруса стали стандартными.

## 5.4. МОДУЛЬ ИНТЕРФЕЙСОВ

---

Модуль интерфейсов обеспечивает обмен данными между звуковой системой и другими внешними и внутренними устройствами.

*Интерфейс PCI* обеспечивает широкую полосу пропускания (например, версия 2.1 — более 260 Мбит/с), что позволяет передавать потоки звуковых данных параллельно. Использование шины PCI позволяет повысить качество звука, обеспечив отношение сигнал/шум свыше 90 дБ. Кроме того, шина PCI обеспечивает возможность кооперативной обработки звуковых данных, когда задачи обработки и передачи данных распределяются между звуковой системой и CPU.

*Интерфейс MIDI* (*Musical Instrument Digital Interface* — цифровой интерфейс музыкальных инструментов) регламентируется специальным стандартом, содержащим спецификации на аппаратный интерфейс: типы каналов, кабели, порты, при помощи которых MIDI-устройства подключаются один к другому, а также описание порядка обмена данными — протокола обмена информацией между MIDI-устройствами. В частности, с помощью MIDI-команд мож-

но управлять светотехнической аппаратурой, видеооборудованием в процессе выступления музыкальной группы на сцене. Устройства с MIDI-интерфейсом соединяются последовательно, образуя своеобразную MIDI-сеть, которая включает контроллер — управляющее устройство, в качестве которого может быть использован как ПК, так и музыкальный клавишный синтезатор, а также ведомые устройства (приемники), передающие информацию в контроллер по его запросу. Суммарная длина MIDI-цепочки не ограничена, но максимальная длина кабеля между двумя MIDI-устройствами не должна превышать 15 м.

Подключение ПК в MIDI-сеть осуществляется с помощью специального MIDI-адаптера, который имеет три MIDI-порта: ввода, вывода и сквозной передачи данных, а также два разъема для подключения джойстиков.

Звуковая система ПК может иметь специальный интерфейс для подключения дочерних плат. За счет установки дочерней платы можно увеличить полифонию звуковой системы и изменить метод синтеза. В частности, если применялся FM-синтез, то можно добавить WT-синтез. В этом случае дочерняя плата устанавливается в специальный разъем на звуковой плате Wave Table Connector и обычно содержит WT-синтезатор и микросхему памяти с библиотекой инструментов.

Профессиональная звуковая система содержит последовательные интерфейсы *S/PDIF* (*Sony/Philips Digital Interface Format*) и (или) *AES/EBU* (*Audio Engineers Society/European Broadcast Union*) для обмена сигнала в звуковой форме с внешними устройствами.

*S/PDIF* — интерфейс фирм Sony и Philips для бытовой аппаратуры, который представляет собой упрощенный вариант для студийной звуковой и радиоаппаратуры.

*AES/EBU* обеспечивает передачу монофонического или стереофонического сигнала с переменной частотой и в соответствии с протоколами интерфейса RS-422.

В состав звуковой карты входит интерфейс для подключения приводов CD-ROM.

## 5.5. МОДУЛЬ МИКСЕРА

---

Модуль микшера звуковой карты выполняет:

- коммутацию (подключение/отключение) источников и приемников звуковых сигналов, а также регулирование их уровня;

- микширование (смешивание) нескольких звуковых сигналов и регулирование уровня результирующего сигнала.

К числу основных характеристик модуля микшера относятся:

- число микшируемых сигналов на канале воспроизведения;
- регулирование уровня сигнала в каждом микшируемом канале;
- регулирование уровня суммарного сигнала;
- выходная мощность усилителя;
- наличие разъемов для подключения внешних и внутренних приемников/источников звуковых сигналов.

Источники и приемники звукового сигнала соединяются с модулем микшера через внешние или внутренние разъемы. Внешние разъемы звуковой системы: *Joystick/MIDI* — для подключения джойстика или MIDI-адаптера; *Mic In* — для подключения микрофона; *Line In* — линейный вход для подключения любых источников звуковых сигналов; *Line Out* — линейный выход для подключения любых приемников звуковых сигналов; *Speaker* — для подключения головных телефонов (наушников) или пассивной акустической системы.

Программное управление микшером осуществляется либо средствами Windows, либо с помощью программы-микшера, поставляемой в комплекте с программным обеспечением звуковой карты.

*Стангарт Sound Blaster* поддерживает приложения в виде игр для DOS, в которых звуковое сопровождение запрограммировано с ориентацией на звуковые карты семейства Sound Blaster.

*Стангарт Windows Sound System (WSS)* фирмы Microsoft включает звуковую карту и пакет программ, ориентированный в основном на бизнес-приложения.

## 5.6. ЦИФРОВАЯ ЗВУКОВАЯ СИСТЕМА

Основные направления развития звуковой системы ПК отражены в разработанной компанией Intel спецификации Audio Codec 97 (AC 97). Архитектура звуковой системы ПК в соответствии со спецификацией Audio Codec 97 дана на рис. 5.6. В такой звуковой системе имеет место разделение функций обработки аналоговых и цифровых сигналов между устройствами — звуковым кодеком (*Audio Codec, AC*), аналоговой микросхемой ввода-вывода и цифро-

### Источники цифровых звуковых сигналов

### Источники аналоговых звуковых

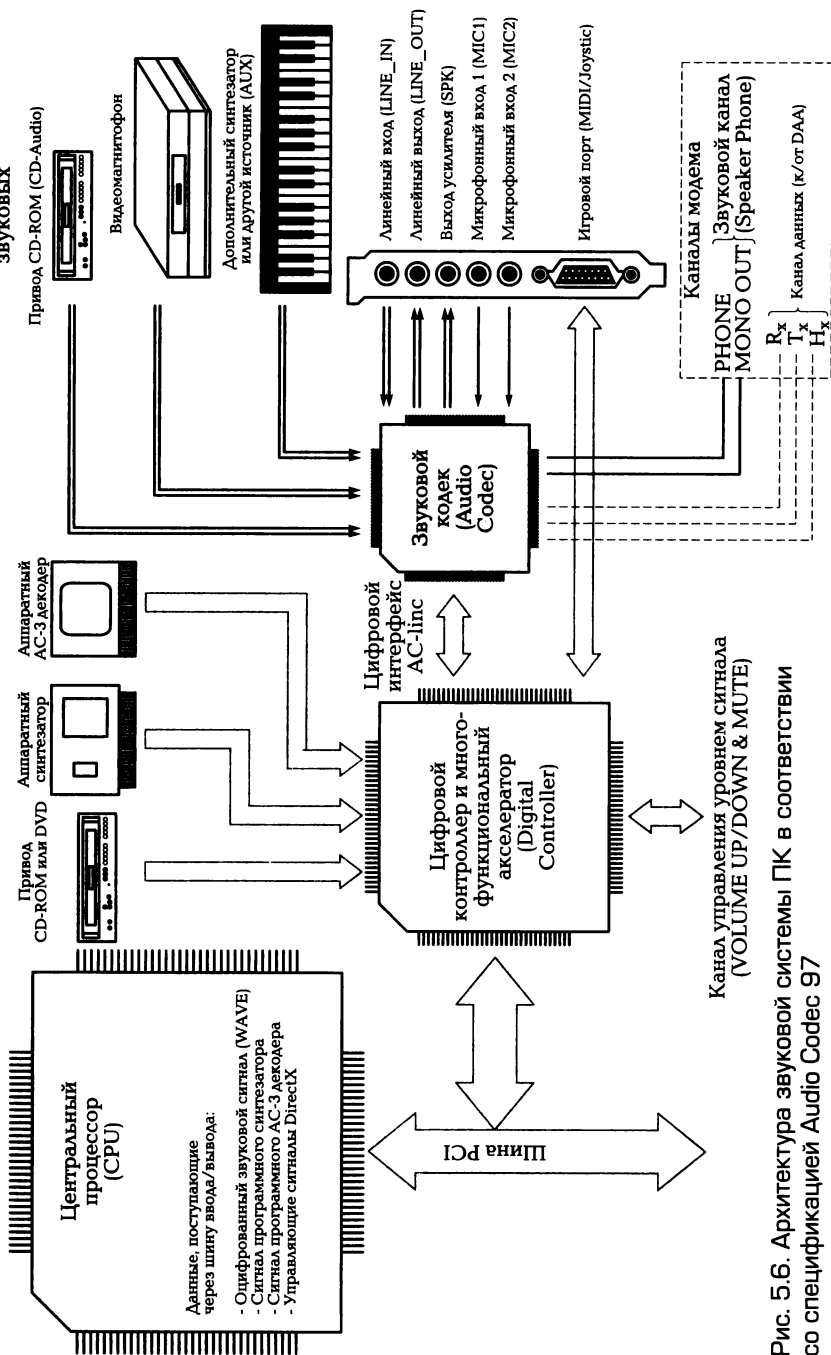


Рис. 5.6. Архитектура звуковой системы ПК в соответствии со спецификацией Audio Codec 97

вым контроллером (*Digital Controller, DC*). Соединяет эти устройства специальный цифровой интерфейс AC-linc. Качество звука значительно повышается за счет соединения аналоговой и цифровой микросхем с помощью цифровой линии связи, невосприимчивой к электрическим помехам, имеющим место внутри корпуса ПК. В звуковой системе используются шины с развитым интерфейсом и широкой полосой пропускания PCI, USB, IEEE 1394.

Спецификацией AC 97 предусмотрена возможность расширения архитектуры системы и построения многофункциональной системы ПК, выполняющей звуковые и телекоммуникационные функции.

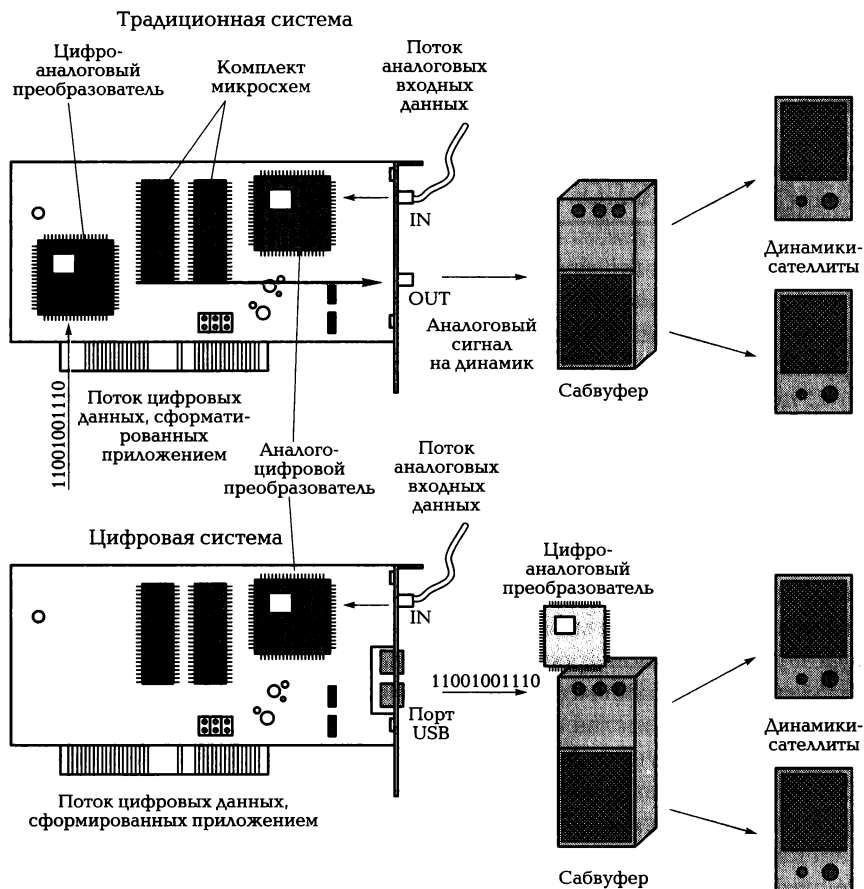


Рис. 5.7. Варианты подключения аналоговой и цифровой акустических систем на базе USB

При подключении цифровой акустической системы на базе USB цифроаналоговый преобразователь выносится за пределы насыщенного электрическими помехами корпуса ПК и размещается, например, в колонках акустической системы, как это показано на рис. 5.7. По кабелю передаются звуковые сигналы в цифровой форме, свободные от помех, повышается качество воспроизведения звука.

Системы *Digital Ready* являются следующим поколением PCI-звуковых систем. В этих системах цифровой контроллер и другие звуковые устройства с интерфейсом PCI обрабатывают потоки звуковой информации, а затем направляют их к внешним устройствам по интерфейсу USB или IEEE 1394. Звуковые системы *Digital Ready* могут иметь смешанную конфигурацию, т. е. включать как аналоговые, так и цифровые периферийные устройства.

Системы *Digital Only* выпускаются с интерфейсом USB и работают только с цифровым звуком. Для ввода-вывода данных применяются внешние микрофоны и колонки с интерфейсом USB.

## 5.7. ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ЗВУКА

3D-звук является неотъемлемой частью мультимедийного компьютера. Понятие 3D-звук, или трехмерный звук, подразумевает расположение источников звука в трехмерном пространстве вокруг слушателя.

С целью повышения реалистичности звуковой модели для слушателя используются различные технологии.

Например, окклюзии (*occlusion* — звуки, проходящие через препятствие) используются для моделирования источников звука, расположенных в другом помещении или за стеной. При этом моделируют разнообразные типы стен различной толщины из разных материалов. Обструкции (*obstruction* — звуки, задерживаемые препятствием) используются для моделирования дифракции, т. е. явления огибания звуковой волной препятствия, в частности, колонн, балок и т. д.

Математическое моделирование процессов распространения звуков в пространстве и восприятия его человеком производится на базе HRTF-функций (*Head Related Transfer Function*). Эти функции являются фактически интегральным Фурье-преобразованием временной зависимости давления звуковой волны на барабанную перепонку от импульса сигнала источника звука — HRIR (*Head Related Impulse Response*). При различных положениях головы человека HRIR-функции для каждого уха будут разными, что требует при моделировании создания библиотеки HRTF-фильтров.

При использовании для прослушивания акустической системы возникает проблема обеспечения воспроизведения *бинаурального звука*, т.е. звуков, предназначенных для каждого уха. Для решения этой проблемы используется технология *transaural stereo*, чаще называемая алгоритмом *crosstalk cancellation (CC)* — устранение перекрестных помех, т.е. звуковых сигналов, не предназначенных для конкретного уха и являющихся для него помехой. Применение алгоритмов *CC* позволяет создать ощущение расположения источников звуков в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Действие *HRTF*-функции зависит от частоты звука, поскольку с помощью этой функции наиболее эффективно интерпретируются звуки в диапазоне 3... 10 кГц. Определение местоположения источника звука частотой ниже 1 кГц основано на определении времени задержки разных по фазе сигналов для каждого уха, что позволяет определить только общее расположение (слева или справа) источников звука, но не обеспечивает пространственное восприятие звучания. Восприятие звуков частотой свыше 10 кГц дано не каждому человеку, поскольку определяется индивидуальным строением ушной раковины.

Установлено, что для качественного воспроизведения 3D-звука необходимо использовать дискретизацию с частотой не менее 22 кГц, 16-разрядное кодирование, акустическую систему, содержащую не менее четырех колонок, *HRTF*-функции с алгоритмами *CC* и систему фильтров для воспроизведения звуков, насыщенных высокочастотными компонентами.

Различные компании используют свои оригинальные технологии для создания 3D-звука.

*Digital Ear (цифровое ухо)* — технология компании *Sensaura* заключается в том, что для измерения *HRTF*-функции используется математическая модель человеческого уха, построенная на основе экспериментальных исследований его работы. При моделировании принималось во внимание огромное многообразие размеров и форм ушей, что в дальнейшем использовалось для создания обширной библиотеки *HRTF*-функций. В результате каждый пользователь этой технологии сможет настроить воспроизведение 3D-звука с учетом индивидуальных особенностей.

*Malti Drive* — эта технология заключается в использовании *HRTF*-функций на всех парах акустических колонок с использованием алгоритмов *Transaural Cross-talk Cancellation (TCC)*, которые в отличие от стандартных алгоритмов *CC* обеспечивают лучшие характеристики звука в низкочастотной области. При этом у пользователя имеется возможность, управляя алгоритмом *TCC*, настраи-

вать звучание для себя. Для использования HRTF-функций с алгоритмами ТСС для всех пар акустических колонок требуется большой объем вычислительных ресурсов. Технология Malti Drive рассчитана на совместное применение с алгоритмами Masco FX и Zoom FX.

*Masco FX* — обеспечивает ощущение близкого расположения источника звука к слушателю, почти вплотную. Это достигается за счет точного моделирования распространения звуковой энергии в трехмерном пространстве вокруг головы слушателя. Алгоритм Masco FX предназначен для интерфейсов и игр. Если в драйвер звуковой карты встроена поддержка Masco FX, то можно услышать писк комара в ухе, свист ветра в ушах и другие аналогичные звуки.

*Zoom FX* — при моделировании предполагает не точечный источник звука, а наличие у него конечных размеров и определенной сложности, что достигается представлением одного источника звука в виде совокупности точечных источников.

*Environment FX* — технология, которая позволяет воспроизводить эффект реверберации, имитируя распространение звуковой волны в любом помещении и поле отраженных звуков, затухающее со временем. Environment FX позволяет моделировать различные типы акустики помещений и ориентирована на воспроизведение через многоколоночную акустическую систему с использованием технологии Malti Drive.

*Wavetracing* — технология компании Aureal, основана на расчете распространения отраженных и прошедших через препятствия звуковых волн на основе геометрии среды.

*Environmental Audio Extensions (EAX)* — технология компании Creative, направлена на создание звучания окружающей среды, чтобы обеспечить в играх ощущение реальности происходящего с помощью звука. Эта звуковая среда создается за счет моделирования отражения звуков и ревербераций, исходящих со всех сторон от слушателей.

## 5.8. АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Акустическая система (АС) непосредственно преобразует звуковой электрический сигнал в акустические колебания и является последним звеном звуковоспроизводящего тракта.

Практически все современные компьютерные колонки многополосные. Для воспроизведения широкого диапазона частот, воспринимаемых человеческим ухом, в один корпус устанавливается несколько динамиков, чаще всего два — высокочастотный (от 1 до

15... 20 кГц) и среднечастотный (от 200 Гц до 10 кГц). Низкочастотный динамик выносится в отдельный корпус, чтобы его звучание не мешало другим.

На рынке представлены колонки с двумя разными типами динамиков. В первом типе основой является так называемый конусный излучатель, или диффузор. Принцип действия таких динамиков основан на взаимодействии переменного магнитного поля магнитной катушки с полем постоянного магнита. В результате получается достаточно мощный звук и неплохие басы. В другом типе динамиков вместо диффузора используется плоская мембрана. В этом случае колонки теряют в мощности и широте частотного диапазона, зато приобретают очень миниатюрные размеры (особенно в глубину). Таким образом, динамики с плоской мембраной используются в основном в бюджетных системах в связке с сабвуфером.

В состав АС, как правило, входят несколько звуковых колонок, каждая из которых может иметь один или несколько динамиков. Число колонок в АС зависит от числа компонентов, составляющих звуковой сигнал и образующих отдельные звуковые каналы.

Например, стереофонический сигнал содержит два компонента — сигналы левого и правого стереоканалов, что требует не менее двух колонок в составе стереофонической акустической системы. Звуковой сигнал в формате Dolby Digital содержит информацию для шести звуковых каналов: два фронтальных стереоканала, центральный канал (канал диалогов), два тыловых канала и канал сверхнизких частот. Следовательно, для воспроизведения сигнала Dolby Digital акустическая система должна иметь шесть звуковых колонок.

В основном АС для ПК состоит из двух звуковых колонок, которые на начальном этапе обеспечивали воспроизведение стереофонического сигнала. Современные технологии пространственного позиционирования источника звука из числа рассмотренных в подразд. 5.7 позволяют с помощью двух колонок воспроизводить объемное звуковое поле.

Обычно каждая колонка в АС для ПК имеет один динамик. При этом современные модели акустических систем позволяют воспроизводить звук практически во всем слышимом частотном диапазоне благодаря применению специальной конструкции корпуса колонок или громкоговорителей. Воспроизведение низких частот достигается, в частности, путем применения или специальной конструкции корпуса колонок или громкоговорителей (*технология Bass Reflex*).

Для воспроизведения низких и сверхнизких частот с высоким качеством в АС помимо двух колонок используется третий звуко-

вой агрегат — сабвуфер (*Subwoofer*). Такая трехкомпонентная АС для ПК состоит из двух так называемых сателлитных колонок, воспроизводящих средние и высокие частоты (примерно от 150 Гц до 20 кГц), и сабвуфера, воспроизводящего частоты ниже 150 Гц.

Отличительная особенность АС для ПК — возможность наличия собственного встроенного усилителя мощности. АС со встроенным усилителем называется *активной*. *Пассивная* АС усилителя не имеет.

Главное преимущество активной АС состоит в возможности подключения к линейному выходу звуковой карты. Питание активной АС осуществляется либо от батареек (аккумуляторов), либо от электрической сети через специальный адаптер, выполненный в виде отдельного внешнего блока или модуля питания, устанавливаемого в корпус одной из колонок.

Выходная мощность акустических систем для ПК может изменяться в широком диапазоне и зависит от технических характеристик усилителя и динамиков. Если система предназначена для озвучивания компьютерных игр, достаточно мощности 10 Вт на колонку для помещения средних размеров. При необходимости обеспечения хорошей слышимости во время лекции или презентации в большой аудитории возможно использовать одну АС, имеющую мощность до 30 Вт на канал.

С развитием технологий и стандартов 3D-звука распространение приобрели *многоколоночные АС*. Первые многоканальные акустические системы имели обозначение 4.0, в состав которых соответственно входят четыре колонки: две фронтальные и две тыловые. Подобная акустика дает неплохие эффекты в играх, создавая трехмерный звук. В АС 4.1 входит сабвуфер, однако эти системы все равно четырехканальные: низкочастотные сигналы в них выделяются с помощью специального кроссовера (фильтра).

Системы 5.1 обладают полноценным 6-канальным звуком. В их состав помимо сабвуфера входят две фронтальные, две тыловые колонки для создания окружающего звукового фона и одна центральная колонка (центральный канал), который необходим для соответствия формату Dolby Digital, используемому в фильмах на DVD-дисках. Системы 5.1 минимально необходимы для домашнего кинотеатра. 8-канальные системы 7.1 и 7.2 в принципе очень похожи. В них добавлены еще два динамика — тыловые центральные. Кроме того, в системе 7.2 появился дополнительный сабвуфер, хотя «басовый» канал остался единым. Подобная акустическая система обеспечивает звук формата Dolby Digital Surround EX или DTS

Surround EX, как в кинотеатрах. Во многих качественных системах 5.1, 7.1 и 7.2 можно встретить звуковые процессоры, которые декодируют многоканальный звук в соответствии с определенными форматами: для акустики 5.1 — это Dolby Digital, DTS и Dolby Prologic, а для 7.1 и 7.2 — Dolby Digital Surround EX и DTS Surround EX. Именно наличие этого компонента позволяет использовать компьютерную акустику для домашнего кинотеатра.

Основные характеристики АС:

- полоса воспроизводимых частот;
- чувствительность;
- коэффициент гармоник;
- мощность.

Полоса воспроизводимых частот (*Frequency Response*) — это амплитудно-частотная зависимость звукового давления, или зависимость звукового давления (силы звука) от частоты переменного напряжения, подводимого к катушке динамика. Полоса частот, воспринимаемых ухом человека, находится в диапазоне от 20 до 20 кГц.

Чувствительность звуковой колонки (*Sensitivity*) характеризуется звуковым давлением, которое она создает на расстоянии 1 м при подаче на ее вход электрического сигнала мощностью 1 Вт. В соответствии с требованиями стандартов чувствительность определяется как среднее звуковое давление в определенной полосе частот. Чем выше значение этой характеристики, тем лучше АС передает динамический диапазон музыкальной программы. Разница между самыми «тихими» и самыми «громкими» звуками современных фонограмм 90... 95 дБ и более. АС с высокой чувствительностью достаточно хорошо воспроизводят как тихие, так и громкие звуки.

Коэффициент гармоник (*Total Harmonic Distortion — THD*) оценивает нелинейные искажения, связанные с появлением в выходном сигнале новых спектральных составляющих. Коэффициент гармоник нормируется в нескольких диапазонах частот. Например, для высококачественных АС класса Hi-Fi этот коэффициент не должен превышать: 1,5 % в диапазоне частот 250... 1 000 Гц; 1,5 % в диапазоне частот 1 000... 2 000 Гц и 1,0 % в диапазоне частот 2 000... 6 300 Гц. Чем меньше значение коэффициента гармоник, тем качественнее АС.

Электрическая мощность (*Power Handling*), которую выдерживает АС, является одной из основных характеристик. Однако нет прямой взаимосвязи между мощностью и качеством вос-

произведения звука. Максимальное звуковое давление зависит, скорее, от чувствительности, а мощность АС в основном определяет ее надежность.

Часто на упаковке АС для ПК указывают значение пиковой мощности акустической системы, которая не всегда отражает реальную мощность системы, поскольку может превышать номинальную в 10 раз. Вследствие существенного различия физических процессов, происходящих при испытаниях АС, значения электрических мощностей могут отличаться в несколько раз. Для сравнения мощностей различных АС необходимо знать, какую именно мощность указывает производитель продукции и какими методами испытаний она определена.

Среди производителей высококачественных и дорогостоящих АС — фирмы Creative, Yamaha, Sony, Aiwa. АС более низкого класса выпускают фирмы Genius, Altec, JAZZ Hipster.

Некоторые модели колонок фирмы Microsoft подключаются не к звуковой карте, а к порту USB. В этом случае звук поступает на колонки в цифровом виде, а его декодирование производит небольшой Chipset, установленный в колонках.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Какие основные функции выполняет звуковая система ПК?
2. Какие основные компоненты входят в состав звуковой системы ПК?
3. Исходя из каких соображений выделяется частота дискретизации сигнала в процессе аналого-цифрового преобразования?
4. Перечислите основные этапы аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований.
5. Какие основные параметры характеризуют модуль записи и воспроизведения звука?
6. Какие применяются методы синтеза звука?
7. Какие функции выполняет модуль микшера, и что относится к числу его основных характеристик?
8. Каким образом производится математическое моделирование при создании 3D-звука?
9. Чем отличается структура 4.0 акустической системы от 5.1?