



Б. Я. МЕЕРЗОН

# АКУСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗВУКОРЕЖИССУРЫ

ЧАСТЬ III

# ГУМАНИТАРНЫЙ ИНСТИТУТ ТЕАВИДЕНИЯ И РАДИОВЕДЕНИЯ имени М. А. Литовчина



Б. Я. МЕЕРЗОН

## Акустические основы звукорежиссуры

## Курс лекцій на І та ІІ курсах звукорежисерського факультета

Часть 3

**ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗДНЕЕ**  
обозначенного здесь срока

Москва  
ФИТР  
2002

УДК 621.39:612.85  
ББК 32.871  
М 42

Рекомендовано к печати решением Ученого совета  
Гуманитарного института телевидения  
и радиовещания имени М. А. Литовчина (ГИТРи)

**М 42 Мирзоян Б. Я.**

Акустические основы звукорежиссуры: Часть 3: Курс лекций на 1 и 2 курсах звукорежиссерского факультета: Учебное пособие. М.: Гуманитарный институт телевидения и радиовещания им. М. А. Литовчина, 2002. — 102 с.

ISBN 5-94237-004-4 (ч. 3)

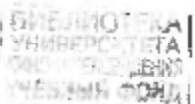
Курс лекций известного специалиста и педагога Б. Я. Мирзояна — это первый шаг в становлении профессионального звукорежиссера, заключающий фундамент для дальнейшего, более углубленного практического освоения предмета. Звукорежиссер — профессия, требующая знаний из различных областей культуры и науки. Источники лекций посвящены интересам акустики и звукотехники. Для студентов университета звукорежиссерского факультета.

24187

УДК 621.39:612.85  
ББК 32.871

Фотографии для обложки — Д. Романцов

ISBN 5-94237-004-4 (ч. 3)



© ГИТР, 2002

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Раздел IV. ЗАПИСЬ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ</b>	<b>5</b>
Тема 4.1. Основные сведения о звукозаписи	1
Тема 4.2. Фотографическая система звукозаписи	5
Тема 4.3. Механическая система записи и воспроизведения звука	40
Тема 4.4. Магнитная запись звука	55

## РАЗДЕЛ IV. ЗАПИСЬ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

### ТЕМА 4.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗВУКОЗАПИСИ.

Звукозапись — это процесс передачи звуковых сигналов с помощью специального устройства на движущееся тело. В процессе звукозаписи изменяется физическое состояние и/или форма поверхности материала. Эти изменения могут быть подобны форме звукового сигнала — такую запись называют аналоговой. Запись можно вести, применяя колодные пылалки — это кодовая запись. В принципе коды могут быть самыми различными, но все в дальнейшем будут интересовать только те, что связаны с цифровой компьютерной звукозаписью и, соответственно, с цифровой записью звука. Материал, используемый при звукозаписи и сохраняющий информацию насчет звука, называется носителем записи. Среди носителей после записи звуковой информации в виде череды аналоговых или кодовых изменений физического состояния материала называют фонограммой, а место расположения фонограммы на носителе — дорожкой. Воспроизведение — процесс, обратный звукозаписи, его конечная цель — восстановление сигналов звуковой информации.

Известно достаточно много способов и, соответственно, систем звукозаписи. Ниже мы упомянем только те, что нашли и находят применение в профессиональной звукозаписи, их можно разбить на следующие группы: фотографическая, механическая, магнитная, оптическая и магнитооптическая.

### ТЕМА 4.2. ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗВУКОЗАПИСИ

Фотографической запись применяются в производстве кинокартин. Звуковой сигнал  $U_{\text{вх}}$  через усилитель  $Y$  поступает на специальное устройство — модулятор света  $MC$ , где излучается на световой луч, падающий на светочувствительную кинопленку (рис. 62). Запись звука ведется на звуковые дорожки, размещаемые у края пленки. Используется тот же химический процесс, что и при фотографировании гибкогелей.

Для модуляции света использовались два способа. Первый основан с международной светового луча при его преломлении, широкое применение этот способ нашел в первые годы звукового кинематографа. Фонограмма представляла изменение преломления зеркальных пленок вдоль дорожки. Такая запись называлась как продольная фотографическая запись звука. Более широко, и, в принципе, до сих пор, применяется поперечная запись.

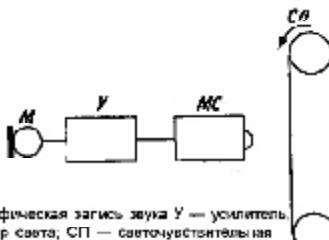


Рис. 62. Фотографическая запись звука  $U$  — усилитель;  $MC$  — модулятор света;  $CP$  — светочувствительная пленка

В этом случае модулятором является сканер, перемещающий световой пятно в направлении, ортогональном оси звуковой дорожки. Размах этих колебаний меняется пропорционально уровню записываемого сигнала. Плотность зернистости фонограммы меняется относительно слабо и не является элементом, несущим информацию — она заключена в изменении ширины засечки на дорожке.

Необходимость во вспомогательных фотохимических процессах — проплавлении и закреплении негативной фонограммы, копирования и новой проплавки и закрепления позитива — известный и существенный недостаток фотографической записи звука.

Процесс воспроизведения звука с фотографической фонограммы показан на рисунке 63. Свет от лампы фокусируется оптической системой  $OO$  в узкий луч и падает на звуковую дорожку кинопленки  $KP$ . В соответствии с шириной (или плотностью при продольной записи) обвещенного участка фонограммы засекается проходящий световой поток. Модулированный таким образом свет попадает на фотодиод — фотодиод, через который протекает ток, пропорциональный плотности светового

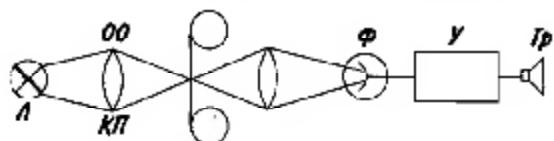


Рис. 63. Воспроизведение фонограммы кинопленки.  $OO$  — оптическая система;  $KP$  — кинопленка;  $\Phi$  — фотодиод;  $Y$  — усилитель;  $GR$  — громкоговоритель

потоки, а значит подобный спидометру на фотографической фонограмме. Этот сигнал затем усиливается усилителем У и может быть воспроизведен, например, громкоговорителем Г.

Фотографическая система записи звука и воспроизведения удобна в киноизделии для получения синхронных с изображением фонограмм. Этим область ее применения и ограничена, причина — в низких качественных показателях системы записи и сложности обработки киноленты.

#### ТЕМА 4.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

Механические звукозапись — исторически первая попытка зафиксировать звук и затем воспроизвести его. Первоначально механическая запись велась на покрытых воском папках, потом на листах, а ее во всех случаях использовали оптический принцип. К такой драме же крепится резь... Под действием звуковых колебаний диафрагма перемещается — разойдет соответственно резец канавки, с глубиной, изменением которой повторяют форму записанного сигнала. После передачи к системе записи в широтными перемещениями резца, ритм которых пропорционален частоте звука. При воспроизведении это звукосниматель перемещается над канавкой, соединяя колебания в соответствии с ее наклонами или изменениями глубины. Игла толкает диафрагму, которая повторяет движение при записи звука. Перемещения диафрагмы воспроизводят соответствующие изменения звукового давления, существовавшие в момент записи звука. Конечно, точность соответствия звукозаписанного и воспроизводящего звука в описанной системе не идеальна. Но сохранение определенного подобия очевидно.

Рассмотренная схема механической записи звука, в общем, оказалась на редкость консервативной от Эдисона до наших дней, хотя и претерпела многое: технологические усовершенствования, главная цель которых всегда заключалась в повышении степени точности сигналов на входе и выходе. А для этого требовалось расширение частотного диапазона канала записи/воспроизведения, снижение шума и коэффициента нелинейных искажений.

Примером массового широкорадиофонии фонограмм, выполненных на основе механической записи, являются всем известные и до последнего времени широко распространенные граммофонные пластинки. Процесс производства граммофонных пластинок довольно сложный.

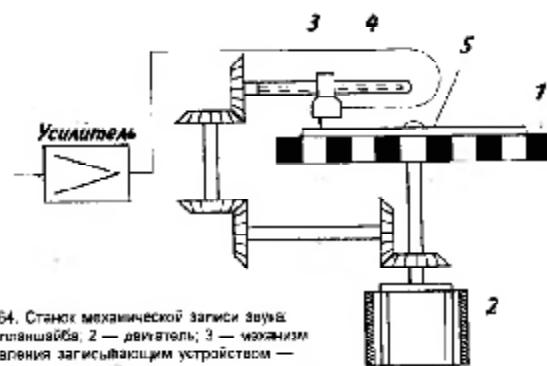


Рис. 64. Станок механической записи звука:  
1 — плинтус; 2 — двигатель; 3 — механизм управления записывающим устройством —  
4; 5 — записывающий диск

Станок механической записи звука (рис. 64) имеет массивную плинтусу, прижимающую к движение двигателем. Последний связан также с механизмом перемещения записывающего устройства (рекордером) в радиальном направлении. Запись ведется на гладильном диске, покрытом цианистым лаком. Этот диск крепится на поверхности плинтуса. К рекордеру, управляемому преобразователем электрической якорной и механической, подводится ток звуковой частоты. В современной практике производства граммофонных пластинок записи, обычно, осуществляются на магнитофонах, а уже потом магнитная фонограмма переносится на станок описанным здесь способом. Рекордер снабжен резцом, крепящимся в папке, параллельный поверхности вращающегося диска. Постепенно, двигаясь от края диска к центру, рекордер своим резцом прорезает в лаковом покрытии диска спиральную извилистую канавку. Изменение этой канавки по форме повторяет форму записываемых звуковых колебаний и тем больше, чем больше размеров этих колебаний. Выполненная так запись — исходная для матрицы, с которой затем прессованием изготавливают граммофонную пластинку.

Оригинал или мастер-диск делают так лаковую поверхность исходного диска поверх уже сделанной записи, испытуя определенные химические процессы, серебрят. Тонкий слой серебра необходим как хорошо проводящий электрол. Далее в дело вступают талкантические процессы.

На серебре израшивают слой металлов (никеля, затем меди). Слой серебра точно повторяет сделанный при механической записи рисунок. Механика сохранила его. Теперь остается удалить слой лака — и металлическая копия первичной записи готова. Однако, эта копия является негативной — там, где на даковом диске были углубления, на металлической поверхности получились выступы, и наоборот. Так получают первый оригинал, с помощью которого уже можно начинать пластики. Однако эта негативная хромика — быстро изнашивается, поэтому процесс гальванического копирования продолжают, чтобы сохранить первый оригинал и обеспечить высокий тираж пластиков. Итак, с первого оригинала снимают несколько позитивных металлических копий (вторые оригиналы). Вторые оригиналы — исходные материалы для снятия третьих оригиналов (новых негативных копий), откуда и появляются эти звуки в качестве магнитных прессований пластинок. Ресурс каждой такой магниты — около 1000 пластинок, материалы для их изготовления — особые синтетические смолы (например, винилит и др.).

Звук с граммофонной пластинки воспроизводится с помощью звукоизлучателей — электромагнитных или пьезоэлектрических преобразователей механической энергии в электрическую.

Изда звукоизлучатель при воспроизведении движется по канавке и, следя за извилинами, колеблется, повторяя гибкость речи при записи. В результате на выходе звукоизлучателя формируются переменные электрические колебания звуковых частот, их усиливают и подают на громкоговоритель. Время воспроизведения граммофонных пластинок звонят от их индивидуальности, скорости вращения и шага записи, т. е. от расстояния между складками канавок — дорожками записи. В настоящее время применяется несколько стандартных скоростей вращения пластинок: 78, 45 и 33 об/мин. Соответственно и устройство воспроизведения граммофонных записей — проигрыватели имеют различные, переключающиеся скорости вращения диска. Большая длительность воспроизведения может быть записью. При малой скорости вращения и синхронизацию между шагом записи плотность «ушкошек» канавок или дорожек возрастает, длительность записи/воспроизведения растет, причем пропорционально квадрату уменьшения называемых параметров. Надо сказать, что канавочная зависимость информационной плотности записи от размеров минимального элемента характерна для всех поверхностных носителей. Современные долгиграющие пластинки имеют очень высокие качественные показатели звучания.

#### ТЕМА 4.4. МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ЗВУКА

Несколько более 60 лет назад на фирме BASF была создана первая магнитная лента и тем самым заложен фундамент современной магнитной записи. Сейчас трудно представить радиовещание, телевидение, студии фонодной записи звука, впрочем как и компьютерную технику, исследовательские лаборатории, быт современного человека без магнитной записи. Многие годы эти технологии и используемые к ним носители совершенствуются, не покидающей границы сохраняются. Сегодня рядом с ленточными магнитофонами все чаще появляются дисковые накопители — о них мы поговорим в следующей главе. Но магнитофоны продолжают использоваться по сей день — и эти ситуации, вероятно, сохранятся в обозримом будущем.

##### 4.4.1. Принципы магнитной записи информации

В основе магнитной записи лежит явление намагничивания ферромагнитных материалов. Их способность сохранять это состояние после прекращения действия поля, причем практически неограниченно долго. Запись выполняется с помощью специального устройства — записывающей головки, возбуждающей переменное магнитное поле. Относительно этой головки и в контакте с ней перемещается носитель с ферромагнитным рабочим слоем. На этом слое остается след остаточного намагничивания. След — это дорожка записи, остаточное намагничивание — сигнальный, в упрощенных записях звука — фонограмма. Считывающие фонограммы — процесс, обратный рассматривому. Магнитное поле носителя, перемещающегося относительно считывающей головки, возбуждает в нем индукционный электрический ток — фактически электрический сигнал звуковой частоты.

В этой главе речь пойдет только об аналоговой записи магнитных сигналов. Любые аналоговые преобразования, как уже отмечалось, опираются на принцип подобия. Это значит, что при любых преобразованиях единство во всех звеньях каналов записи/считывания сохраняется относительная форма сигнала. Любое нарушение подобия ведет к недопустимым искажениям — фазохиру, как называлась в разделе II очень неприятному. Главное задание разработчиков магнитофонов, в задачи и обслуживание поставлено их технической персоналы, заключается в обеспечении требований максимально возможного сохранения подобия в каналах записи и воспроизведения. Задача это не простая и, естественно, не имеющая точного решения. Ответовения были, есть и будут. Их не

избежать, но можно и, потому, необходи́мые снизить до зонимального до-пустимого уровня. Это путь компромисса, о который буквально под-ружене́е магнитной записи.

Прежде чем перейти к описаниею процессов магнитной за́писи и воспроизведения, необходимо вспомнить некоторые определения и явления, относящиеся к основам теории магнитного поля.

#### 4.4.2. О физике магнитной записи

Напряженность магнитного поля в традиционно обозначается ла-тинской буквой  $H$ . Если в этом поле разместить магнитоинвариантный материал, то он намагничивается, т. е. в нем возникает магнитная индукция. Величина намагниченности материала обозначается латинской буквой  $I$ , в магнитное поле, содействующем им, оценивается по потоку магнитной индукции  $\Phi$ . В действующей системе единиц измерений СИ за единицу магнитного потока принимается 1 вебер (Вб). Однако чаще используется производная этой единицы: нВБ (нановебер) —  $10^{-9}$  Вб и пВБ (пиковебер) =  $10^{-12}$  Вб. Поток магнитной индукции пропорционально полю магнитной награженности. Коэффициент пропорциональности  $\mu$ , называемый магнитной проницаемостью, различен для разных веществ, поэтому при одинаковой той же напряженности магнитного поля его индукции в разных средах будет разный.

По магнитным свойствам все материалы делят на три группы: пармагнитные, диамагнитные и ферромагнитные. Пармагнитные материалы практически не восприимчивы к магнитному полю, их магнитная проницаемость близка к единице и почти не отличается от магнитной проницаемости вакуума. Пармагниты реагируют на магнитное поле, но относительно слабо. Очевидно в том, что при стоянке полю магнитной индукции в них исчезает, что делает пармагнитники простую бесполезностью для магнитной записи.

Магнитная проницаемость диамагнитных веществ сближены и магнитное поле буквально аннулирует их. Они применяются в магнитных головках, где эффективно осуществляют фокусирование поля рассеяния. Без линзострической проекции поля в рабочем зазоре они не выйдут из-под руки.

Ферромагнитики — вещества, в которых явлением Носелета ма-гнетизма обладают собственные магнитные моменты. Т. е. представляют собой магниты. Для таких материалов энергетически выгодной может оказаться дальнняя утилизированность, когда в достаточном большом (в сравнении с якобым рассеянием) объеме моменты атомных на-

сителей магнитного поля выстроеныся в одном направлении. Такая среда (нарекоторой критической температуре, называемой точкой Кюри) распадается на домены — области, где магнитные моменты ориентированы спонтанно.

Собственные магнитные моменты доменов, при этом, могут быть ориентированы случайно и конечная намагниченность — скажемая нут-леной. Однако внешнее магнитное поле, с напряженностью выше некото-рой пороговой, способно выстроить магнитные моменты доменов пре-имущественно в одном направлении. В последней фразе есть некоторые оговорки, касающиеся существенно важных моментов. Если внешнее магнитное поле переключает магнитные моменты доменов разом в од-ном направлении — это хорошо, но для цифровой записи. А вот в сре-дах, в которых ориентирующее действие магнитного поля оказывается «примущественно», т. е. в определенных границах направляемость магнитного поля и поля магнитной индукции оказываются противоречивыми, обеспечивается подобие — как раз то, что надо для аналоговой записи. К склонному следует добавить, что ферромагнетики при температурах ниже точки Кюри обладают «памятью» и способны сохранять остано-вленную намагниченность достаточно долго — десятки и более лет практи-чески без изменений! А это то, что нужно для записи и долговременного хранения. При этом магнитное состояние вещества обратимо вновь из-действуя магнитным полем, что можно видоизменить любым нужным образом, т. е. переписать информацию.

Ферромагнетики — наиболее общий случай магнитоупорядоченного состояния веществ, поддающегося внешнему управлению. В магнитной записи применение нашел более узкий класс ферромагнетиков — ферро-магнитные материалы (ферромагнетики). К ним относятся железо, ко-бальт, никель и сплавы этих элементов переходной (по таблице Менделеева) группы металлов.

#### 4.4.3. Намагничивание ферромагнетиков, гистерезис

График зависимости намагниченности от величины напряженности внешнего магнитного поля позволяет наглядно представить интересное и сложное явление магнетизма, называемое гистерезисом. Это явление исключительно важно для понимания процессов магнитной записи, потому что в нем следует поговорить подробнее. Намагниченность материала, как и напряженность магнитного поля, — векторные функции поля. Очевидно важно знать величину (модуль) вектора и его направление. График

на рис. 65 построек в предположении, что магнитный вектор содержит пространственные ортогональные, но меняет направление на  $180^\circ$ , что удобно принимается за положительные и отрицательные направления  $H$ . То же самое можно сказать и об положительных и об отрицательных значениях вектора магнитной индукции, а следовательно, намагниченности  $I$ .

При возрастании намагниченности поля от нуля до значений, близких к  $I_{max}$ , намагниченность тела возрастает от нуля до  $+I_{max}$  по кривой ОМ, называемой начальной кривой намагничивания. На этой кривой практически нет линейных участков, что говорит о нелинейном взаимодействии магнитной индукции. Причина — извратимость величины магнитной проницаемости ферромагнитного материала от напряженности внешнего магнитного поля.

При значениях напряженности, близких к  $I_{max}$ , рост намагниченности замедляется, а потом практически вовсе прекращается. Наступает момент так называемого магнитного насыщения (на графике ему соответствует точка М с координатами  $H_{max}$ ,  $I_{max}$ ). При уменьшении напряженности магнитного поля  $H$  намагниченность также падает, но этот процесс идет медленнее, уже не по начальной кривой намагничивания, а по новой — MN. Важно обратить внимание, что при нулевой величине поля ( $H=0$ ) намагниченность сокращает некое положительное значение  $+I_{max}$ . Именно это нелинейное намагничивание и лежит в основе магнитной записи.

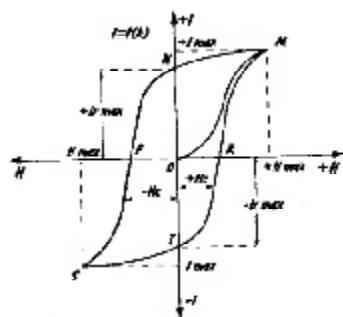


Рис. 65. Зависимость намагниченности от напряженности внешнего магнитного поля. Петля гистерезиса

Для того, чтобы устранить остаточную намагниченность, необходимо далее мешать напряженность внешнего магнитного поля, нараставшая его, но в сторону отрицательных величин. Тогда намагниченность станет все быстрее уменьшаться и достигнет нулевой отметки при отрицательном значении напряженности внешнего магнитного поля, равном некоторой величине  $H_c$ . Это выражается зоной минимума поля, преодолевшая остаточную намагниченность, называется коэрцитивной силой. Значения остаточной намагниченности и коэрцитивной силы являются параметрами, определяющими характеристики свойства ферромагнитного материала.

Продолжим изменения зоной минимума поля и продолжим при этом за изменением магнитного состояния материала. При дальнейшем увеличении напряженности поля в сторону отрицательных значений намагниченность сразу возрастает, но с полярностью противоположного знака, и достигает S — точки пересечения при  $-H_{max}$ . Мешая напряжение внешнего магнитного поля от  $-H_{max}$  до  $+H_{max}$ , можем построить вторую ветвь кривой, известной как петля гистерезиса.

Итак, при изменении напряженности внешнего магнитного поля намагниченность ферромаг-

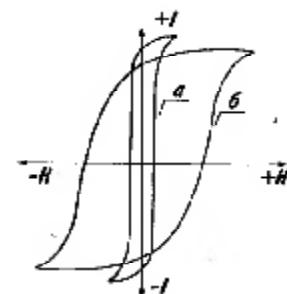


Рис. 66. Петля гистерезиса (нулевой и магнитомаркированный) в магнитомаркирующем материале

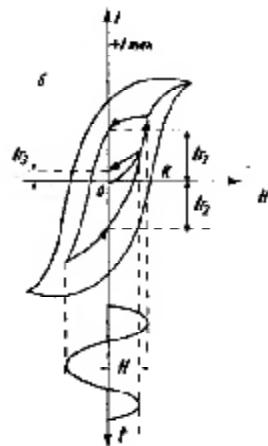


Рис. 67. Частные циклы гаммаизменения

нитной ереля магнетов по кривой MNPSRM (рис. 65), называемой предельной петлей гистерезиса. По форме петли и судят о магнитных свойствах материала. Широкая петля гистерезиса указывает на магнито-жесткий материал с большой коэрцитивной силой. Применяются они для изготовления постоянных магнитов и носителей магнитной записи. Напротив, магнитомягкие материалы имеют узкую петлю гистерезиса, связывающие участки кривой бинки к вертикали. Это материалы с малой коэрцитивной силой и большой магнитной проницаемостью. Намагниченность у них быстро растет при малых напряженности поля. Такие материалы находят широкое применение для изотропных сердечников трансформаторов, магнитных головок, т. е. таких устройств, которые должны служить коротким проводником магнитного потока и легко перемагничиваться без больших затрат энергии (рис. 66).

Если действующее на материал магнитное поле не достигает величины, вызывающей намагниченение до насыщения, то изменение магнитного состояния происходит по кривым, лежащим внутри предельной петли гистерезиса, но так называемым частным ветвям перемагничивания (рис. 67).

#### 4.4.4 Схема аппарата магнитной записи и его отдельные узлы

Большинство современных магнитофонов — стереофонические и отличаются от монофонических конструкции только тем, что имеют спаренные стереофонические головки записи и воспроизведения, а также по два усилителя записи и, соответственно, по два усилителя воспроизведения. Оба канала записи — воспроизведения стереофонического магнитофона: монофоничны. Поэтому далее ограничимся описанием монофонического варианта магнитофона (рис. 68).

Современный магнитофон — сложное радиоэлектронное устройство, тем не менее сохранившее телеграфическую связь с предшественниками. И расширяется из тех же узлов, что и первые его аналоги. Любой магнитофон начинается с лентопротяжного механизма. Его функции просты, но ответственные: равномерное перемещение магнитной ленты — носителя записи относительно магнитных головок, установленных. Чаще всего — по это не правило — на его верхней пленке. Назначение узлов ленты и воспроизведения очевидно, несколько этого мы скажем, зачем нужен генератор тока высокой частоты стирания и подмагничивания. В современных магнитофонах в качестве носителя записи употребляется тонкая алюминиевая лента с основой из ацетата, поливинилхлорида или полизифира. Поверх этой ленты наносится слой ферролака — связую-

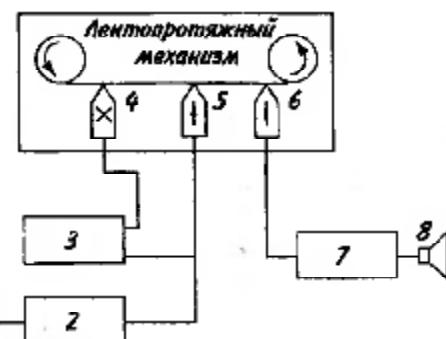


Рис. 68. Аппарат магнитной записи: 1 — микрофон; 2 — усилитель; 3 — генератор тока высокой частоты; 4 — головка стирания; 5 — головка записи; 6 — головка воспроизведения; 7 — усилитель; 8 — громкоговоритель

щим веществом с меднайими частицами порошка окислов железа или же язо-кобальтового феррита и различных добавок. По действующему отверстию для студийной профессиональной звукозаписи магнитная лента имеет ширину 6,25 мм (1/4 дюйма). Однако все более широко начинки применяются носители с иными параметрами. В бытовых кассетных магнитофонах используется более узкая лента — шириной 3,81 мм, в профessionальных, предназначенных для иногородской записи магнитофона, применяется лента более широкая: 1/2, 1 и даже 2 дюйма.

Каждая запись — именно то нему звуковые сигналы, например преобразованные с помощью микрофона в электрические колебания звуковых частот, поступают через усилитель к записывающему элементу — головке записи. Это электромагнит, чья катушка из медного провода («бобина») намотана на кольцевой (тороидальный) сердечник (в покоящемся время его форма близка к прямоугольной). Как видите, сердечник без внешнего кожуха показан на рис. 69. Сердечник собирается из двух половинок, их основа — магнитомягкие материалы: пермалой, нафакел или сплавы на основе феррита.

Монофоническая студийная запись ведется по всей ширине ленты. Поэтому высота сердечника головки должна соответствовать размеру ленты, т. е. 6,25 мм. Стереофонические магнитные головки — это две

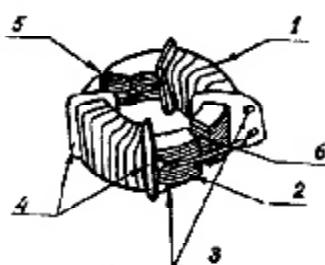
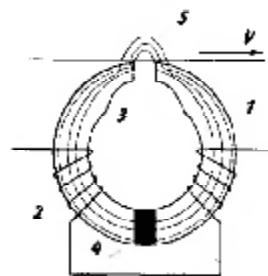


Рис. 69. Магнитная головка: 1 — обмотка; 2 — сердечник из феррита; 3 — выводы обмотки; 4 — каркас; 5 — передний (рабочий) зазор; 6 — задний зазор

самостоятельные головки, механически соединенные в единой конструкции. Запись ведется одновременно на двух дорожках (верхней и нижней), каждая из которых имеет ширину 2,75 мкм. Между ними остается пустой разделительный промежуток. Токи звуковой частоты, приложенные к обмоткам головки записи, создают в катушке переменное магнитное поле. Магнитные силовые линии замыкаются через сердечники головок, создавая в нем ток магнитной индукции. В сердечнике две половинки, между ними при сборке с передней и задней стороны головки оставлены зазоры. Передний, так называемый рабочий зазор (ширина 10–20 мкм) заполняется немагнитным материалом, имеющим большое магнитное сопротивление (например, фольгой из бериллиевой бронзы). Благодаря этому образуется магнитное поле рассеяния, магнитные силовые линии выходят из сердечника наружу, замыкаются через рабочий слой, проколотый у рабочего зазора магнитной ленты, и намагничивают ее. С противоположной стороны сердечника головки записи размещена второй дополнительный зазор (ширина около 150–300 мкм). Он нужен для того, чтобы при воспроизведении магнитофона на запись, ток мгновенно возрастающий в обмотке головки, не намагничила ее сердечник. Форма магнитного потока головки записи показана на рис. 70.

Магнитная лента, пересекая магнитные силовые линии потока рассеяния головки, намагничивается. Ее намагничиваемость меняется по длине ленты от точки К точке, следуя изменениям звуковой частоты, подаваемой в обмотку головки записи. Допустим, что записанный таким образом



Ток записи

Рис. 70. Магнитная головка: 1 — сердечник магнитопровода (такие линии — магнитные полюсы); 2 — обмотка; 3 — рабочий зазор; 4 — дополнительный зазор; 5 — поле рассеяния магнитного потока, воздействующего на носитель записи

сигнал — это путь постоянных магнитов, концы которых замыкаются с помощью линзами, облучающими магнитное поле в непосредственной близости от ленты (рис. 71). Напряженность поля зависит, как уже было сказано, от величины силы тока в обмотке головки записи в момент прохождения ленты, и линия намагничивания участков — от частоты этого тока  $f$  и скорости движения ленты. Связь между длиной пиццы записи, т.е. отрезком ленты на котором умещается полный цикл колебаний намагничиваемости с частотой и скоростью движения ленты выражается формулой  $\lambda = V/f$ . Например, при скорости движения ленты 381 мм/с и частоте записанного тона 1000 Гц длина водны записи будет  $\lambda = 381/1000 = 0,381$  мкм = 381 мкм.

Канал воспроизведения — та часть цикла магнитной звукозаписи, которая формирует считываемый звуковой сигнал. При воспроизведении лента перемещается с той же скоростью, что и при записи, она соприкасается со вторым электромагнитом — головкой воспроизведения. Эта головка, в принципе, подобна головке записи и имеет мало чем отличающееся от нее. Однако, рабочий зазор ее более узкий (не более двух микрон), дополнительного защелки зазора — не имеет. В стереофонических вариантах головка воспроизведения, подобно головке записи содержит два обычных в одно конструкции головки, расположенные одна над другой. При воспроизведении магнитное поле, сформированное

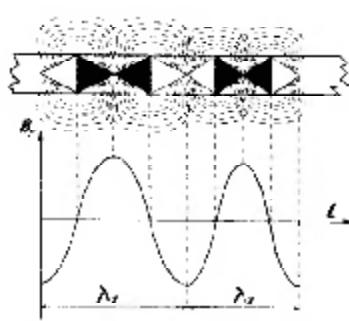


Рис. 71. Магнитная фонограмма при двух различных  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

соответствующим участком ленты, намагничивает сердечник головки воспроизведения. Переменный магнитный поток ленты замыкается через сердечник головки, (рис. 72) и, воздействует на обмотку, возбуждает в ней переменную с. д. с. электромагнитной индукции.

Сигналы, спомимые магнитной головкой в виде написанной с. д. с. очень мелы (порядка единиц милливольта). Поэтому напряжение звукового сигнала с воспроизводящей головки по ходу экранированному проводу подается на вход усилителя воспроизведения, где оно усиливается примерно в 1000 раз.

В студийных магнитофонах усилитель воспроизведения работает на выходную линию, миниатюрный пульт или усилитель мощности внешнего контрольного устройства. По принятому у нас стандарту каскадный выходной уровень студийного магнитофона составляет +6 дБи (1,55 В).

В магнитофонах, предназначенных для любительских целей, непосредственно на выходе усилителя воспроизведения подключается громкоговоритель. А для работы на шунтирующую линию предусматривается дополнительное выходное устройство с уровнем сигнала около 300 мВ. Головка воспроизведения в магнитофонах размещена за головкой записи по ходу ленты. Это позволяет контролировать запись и немедленно устранять возможные дефекты.

Генератор тока высокой частоты — специальное устройство, обеспечивающее стирание уже сделанных записей и подмагничивание ленты.

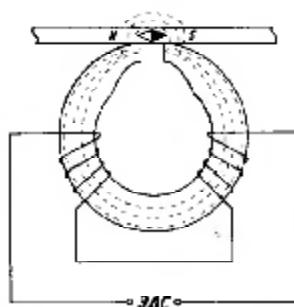


Рис. 72. Воспроизведение фонограммы с магнитной ленты.

Возможность многократного использования носителя записи — самое главное преимущество магнитной звуко записи. Магнитную фонограмму можно неоднократно уничтожить размагничивающим током, создаваемым стирающей головкой. Эта головка установлена до (по ходу ленты) головки записи. Ее конструкциявшебна головкам записи в воспроизведении, но шире и не содержит более (500 мкм). В обмотку стирающей головки подается ток высокой (ультразвуковой) частоты (обычно, более 80 кГц) от генератора, который включается одновременно с режимом записи магнитофона. Высокочастотное поле буквально встраивает магнитный материал, разрушая любую созданную ранее в нем магнитную упорядоченность и тем готовит к новой записи. Генератор тока высокой частоты создает синусоидальные колебания не только для стирания записи, но и для так называемого подмагничивания ленты, устрашающего пальцевые изъязвления при записи.

Подробнее процессы, происходящие в носителе записи при стирании и записи, будут рассмотрены ниже. Сейчас же важно отметить, что только при одновременном воздействии на ленту магнитного поля, создаваемого током размагничивания, и поля звуковой частоты записываемость ленты оказывается пропорциональной магнитному полю записываемого сигнала. Это и есть условие подобия — это то и необходимо для того, чтобы звуковая информация записывалась без нелинейных искажений.

#### 4.4.5 Лентопротяжный механизм

Лентопротяжный механизм — был и остается самым важным узлом магнитофона, он решает, казалось бы простую, задачу равномерного перемещения магнитной ленты относительно накидных пластик. Но именно здесь конструкторами и технологами фирм, разработавшими магнитофоны, и приходится решать совсем не простые задачи, чтобы выполнить основные требования к механизму: постоянная скорость перемещения ленты, отсутствие вибраций и подергиваний, плавная и бесступенчатая работа механизма.

В стационарных аппаратах обычно употребляются механизмы с прямым двигателем (рис. 73). Лента перемещается роликом-насадкой на валу ведущего двигателя и прижимается к нему свободно вращающимся обрезиненным тормозным роликом. Зазор между этими двумя приводящими дисками датчика ленты зависит с постоянной скоростью, зависящей только от количества оборотов ведущего двигателя и от диаметра насадки на его валу.

В современных магнитофонах размещение магнитных наковок соответствует стандартизированному способу записи ленты — рабочим слоем внутрь рулона. Об этом надо помнить потому, что старый стандарт записи ленты отличался от современного — к нам могут попасть старые записи, нанесенные на сердечник рабочим слоем наружу. Их перед воспроизведением необходимо перемотать — то избежали искажений зву-



Рис. 73. Лентопротяжный механизм профессионального магнитофона (фирма Ecler).

чания. И еще, о попутно и само по себе разумеющимся: ведущий двигатель должен обладать высоким постоянством числа оборотов и малой зависимостью скорости вращения от изменений параметров сети электропитания (напряжения и частоты). В магнитофонах старых конструкций (например, в отечественном аппарате типа М33-28 или вентереком STM-210) — сии до сих пор работают в некоторых ступенях — в качестве ведущего применялись гистерезисные синхронные двигатели, у которых число оборотов вала, хотя и не зависит от напряжения сети, но одновременно определяется ее частотой. Поэтому из-за нестабильности частоты сети электропитания число оборотов таких двигателей, а следовательно и скорость движения магнитной ленты, могли меняться на 1–1,5 %. Это усложняло монтаж музыкальных фонограмм и вносило ошибки в хромометриях передач.

В современных магнитофонах применяются ведущие двигатели, работающие от ступенчатых, стабилизованных квартир генераторов, благодаря чему их скорость вращения поддерживается строго постоянной. Скорость движения ленты  $V$  (см/с) определяется диаметром ведущего ролика  $d$  (мм) и числом его оборотов  $n$  (об/мин). Она выражается по формуле:

$$V = \pi d n / 600 \text{ см/с.}$$

В настоящее время используется несколько стандартных скоростей движения магнитной ленты: 76,2; 38,1; 19,05; 9,53 и 4,76 см/с.

Последние две скорости применяются в репортажных магнитофонах и магнитофонах, предназначенных для любительских записей. Для профессиональной студийной записи в основном используют скорость 38,1 см/с. Два ведущих двигателя лентопротяжных механизмов имеют различные механические характеристики, их кратность момента зависит от скорости вращения (чем меньше оборотят в минуту центр ротора двигателя, тем большим становится врачающий момент). Правый двигатель обеспечивает плавное погружение ленты на сердечник или катушку, закрепленную на его валу. Левый двигатель при записи и воспроизведении обычно работает, получая относительно небольшое напряжение. Он подтормаживает ленту, созидающее этим легкое натяжение ленты гарантирует ее достаточное плотное прилегание к магнитным головкам. Этот же двигатель, когда на него включается полное напряжение, служит для обратной перемотки ленты после записи или воспроизведения.

Важную роль в работе лентопротяжного механизма играют тормозные устройства. Торможение двигателей используется для быстрой

остановки ленты, они же препятствуют обративанию ленты при загрузке и остановках. Торможение должно быть достаточно сильным и вместе с тем плавким, чтобы не допустить чрезмерного натяжения, приводящего к обрыву и растягиванию ленты. Управление лентопротяжным механизмом осуществляется с помощью клавиатуры, размещенной на панели управления.

Несколько слов следует сказать об особенностях конструкции любительских магнитофонов, предназначенных для бытового применения. Обычно в них используется лента с универсальной головкой и одним усилителем, которые с помощью соответствующей коммутации выполняют последовательные функции записи, либо воспроизведения (рис.74). Лентопротяжные механизмы в таких аппаратах, как правило, шагомоторные. Перемотка ленты осуществляется от общего двигателя с помощью механических передач. Лента движется с различными скоростями (19,05; 9,53 или 4,76 см/с). Немногаяется она либо на катушках, либо находится в закрытых кассетах. Любительские записи производятся не по всей ширине ленты, а по более узким дорожкам: двум или четырем. Для этого сдвоенная головная головка должна быть меньше по высоте, а ее рабочий зазор расположен так, чтобы записывать или воспроизводить только одну из дорожек. Стандартное расположение дорожек записи двух и четырехдорожечных фонограмм для катушечных и кассетных магнитофонов приведено на рисунках 75 и 76.

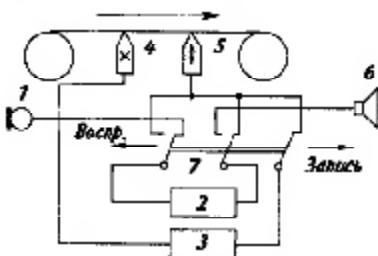


Рис.74. Бытовой магнитофон с универсальным усилителем:  
1 — микрофон; 2 — универсальный усилитель; 3 — генератор язычковой частоты;  
4 — головка записи; 5 — универсальная головка; 6 — приемокомпьютер; 7 — переключатель

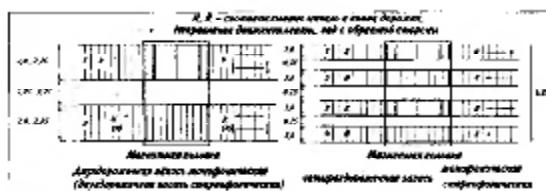


Рис.75. Дорожки катушечных магнитофонов

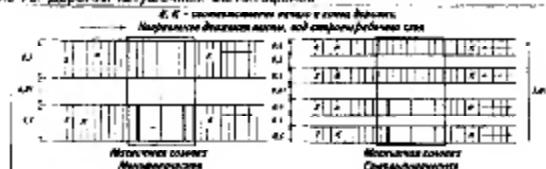


Рис.76. Дорожки кассетных магнитофонов

#### 4.4.6 Магнитные процессы в носителе записи при стирании

Уничтожение старых записей — достаточно ответственный момент, надо либо намагнитить ленту во всей длине так, чтобы ее намагниченность была близка к насыщению, либо полностью размагнитить ленту. В настоящее время применяется высокочастотное стирание, т. е. размагничивание ленты под воздействием магнитного поля высокой частоты. Головка стирания шагомотически включается при установке режима «запись». Это поле наиболее интенсивно непосредственно перед рабочими зazorами и постепенно убывает по обе стороны от него, складываясь на ноль. Ширина рабочего зазора около 500 мкм (рис. 77).

Стирание головкой перемагничивает ленту в максимумах практически до насыщения, затем, когда лента проходит через зону убывающей интенсивности поля, соответственно снижают поля намагничивания и постепенно лента размагничивается до нуля. Процесс размагничивания происходит по постепенному стиранию, начиная с наименее частных полей гистерезиса, как это показано на рис. 78. Важно правильно выбрать частоту тока стирания. Этот выбор должен быть согласован со скоростью движения ленты. Практическая частота тока стирания выбирается в интервале 70 - 80 кГц.

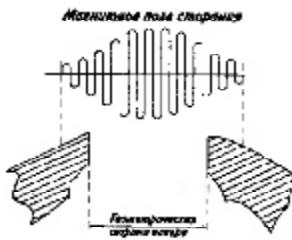


Рис. 77. Магнитное поле у звёзда струйной головки

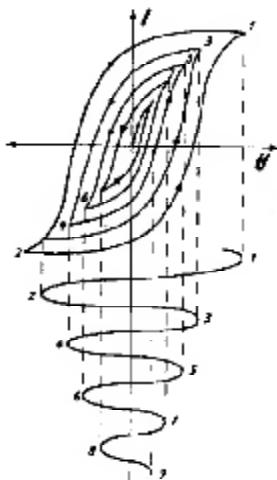


Рис. 78. Размагничивание полем высокой частоты

#### 4.4.7 Магнитные процессы при записи

Магнитная лента движется, соприкасаясь с головкой записи и прилегая к ее рабочему якорю. Магнитные склонные линии, как уже сказано выше, выходят у рабочего якоря из сердечника и образуют поток рассеяния. На рис. 79 показано, как происходит намагничивание ленты, если в обмотке головки записи про текает только ток записи звуковой частоты. Под воздействием магнитного поля рассеяния с напряженностью  $H_1$  (на рисунке приведены три варианта напряженности), некий участок магнитной ленты приближается некую начальную скорость  $v_1$  и затем, когда он покидает поле рассеяния головки, начальная скорость ленты сдвигается во остаточной величине  $H_2$ . Последующий участок ленты под действием изменяющегося магнитного поля имеет уже иную величину остаточной намагниченности  $H_3$  и т. д. Из рисунка видно, что края на магнитизации, а также переключения на остаточную намагниченность — все это присущи существенно нелинейные, а значит, способные внести в сигнал искажения. Это хорошо видно, если построить график зависимости остаточной намагниченности ленты от напряженности действующего магнитного поля, показанный на рис. 80. Идеальной характеристикой была бы

прямая линия, любые отклонения от нее — присуща искаженной форма сигнала.

Чтобы спрятать характеристику зависимости остаточной намагниченности ленты от напряженности поля записи в обмотке головки вместе с током звуковой частоты подается ток высокой частоты — это называют током подмагничивания. Частота этого тока по мере его перехода в пятьдесят долей квадратного миллисекунды меняет свою частоту записывающего звукового синтеза (к примеру, в стереосистемах магнитофоны МОУ-109А частота тока подмагничивания 210 кГц). Ток подмагничивания создает магнитное поле высокой частоты, которое воздействует на ленту вместе с полем звуковых частот. В плуже, когда звуковой сигнал отсутствует, поле подмагничивания действует подобно стирательному полю и циклически перемагничивает ленту, осуществляя ее добавочное размагничивание. Поле подмагничивания и звука суммируются повсюду показательному на рис. 81.

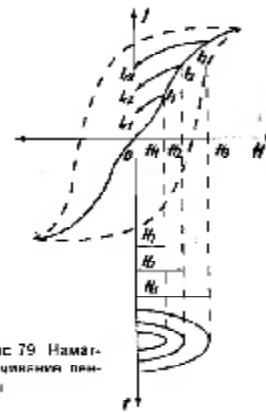


Рис. 79. Намагничивание пленки

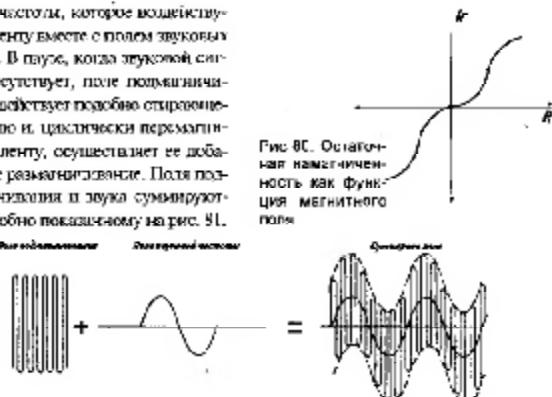


Рис. 80. Остаточная намагниченность как функция магнитного поля

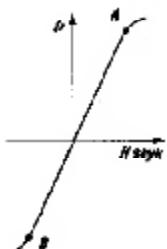


Рис. 82. Остаточная намагниченность как функция звукового поля с подмагничиванием

Даже бесцельное сравнение рис. 82 и рис. 80 подтверждает их принципиальное различие — большой прямолинейный участок из рис. 82 показывает, что условия подобия при записи с подмагниченным высокочастотным полем соблюдаются. Продолжит, как бы, спрямление характеристики намагниченности носителя записи и, кроме того, возрастает ее крутизна. Это значит, что нелинейные искажения звукового сигнала становятся весьма малыми, отдача ленты выше, а значит для намагничивания до необходимого уровня требуемый ток записи — меньше.

Следует отметить, что от правильного выбора величины тока подмагничивания записывает фактически все качественные показатели звукозаписи: динамический диапазон, частотная характеристика и классификация подмагниченных искажений. Сложность в том, что у разных типов лент свой оптимальный режим подмагничивания. Поэтому магнитофон перед записью должен быть тщательно настроен на специальный тип магнитной ленты.

#### 4.4.8. Примескождения при записи и коррекции частотной характеристики при воспроизведении фонограммы

Частотная характеристика — самая важная характеристика любой системы звукопередачи. Это замечание в полной мере можно отнести и к магнитной звукозаписи. Главная задача очевидна — записи и воспроизведения в совокупности должны обладать такой амплитудно-частотной характеристикой, которая обеспечила бы прекращение произведенных записей без частотных искажений. Но иному об этом можно сказать, так: соотношения амплитуд различных частотных составляющих звукового сигнала на выходе магнитофона должны быть такими же, что и на входе. Однако при магнитной звукозаписи и воспроизведении происходит замыкание (ослабление) низких и высоких частот

звукового диапазона. При этом в процессе записи происходит особенно заметный захват высоких звуковых частот. Этот захват, обусловленный потерями в головке записи и самой ленте, не одинаков по величине для лент разных типов. Захват оказывается тем сильнее, чем выше частота сигнала и меньше скорость движения ленты. Частотная характеристика процесса записи может быть представлена кривой, показанной из рис. 83, где приведена типичная зависимость остаточного магнитного потока ленты от частоты тока в головке записи, когда ток по амплитуде одинаков во всех частотах.

Процесс воспроизведения также зависит от частоты. Как известно из курса физики, э. д. с. электромагнитной индукции пропорциональны скорости изменения магнитного потока, взаимодействующего с витками катушки. Поэтому в схемотеке воспроизводящей головки э. д. с. тем больше, чем быстрее меняется во времени магнитный поток ленты, т.е. чем выше частота записываемого сигнала. Догадаемся, что мы записываем на ленте сигналы разных звуковых частот с условием, что магнитный поток ленты на всех частотах одинаков, частотная характеристика проходит воспроизведение в этом случае — наклонная (б.Бусктыч) прямая, то есть э. д. с. возрастает в два раза при удвоении частоты звукового сигнала (рис. 84). Однако такая частотная характеристика незадача только теоретически и требует идеальную головку воспроизведения и исключение малых рабочих зазоров.

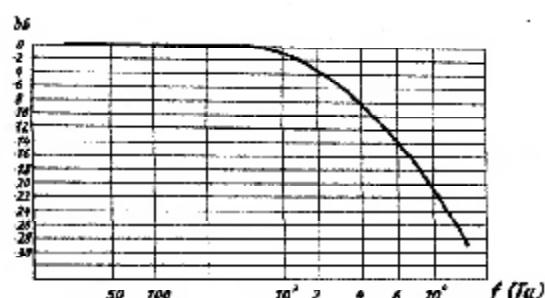


Рис. 83. Частотная характеристика магнитной записи

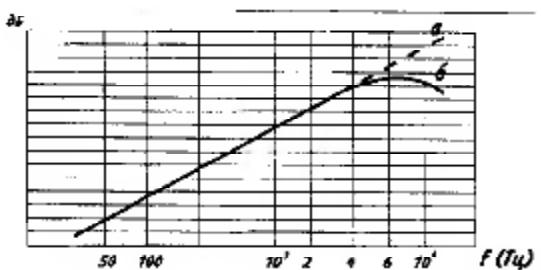


Рис. 84. Частотная характеристика воспроизведения

В реальных условиях линейным полем частотной характеристики воспроизведения является до известного предела. Когда длина волны записи  $\lambda$  вань, как уже было сказано, равна  $\lambda = V/f$  становится симметричной с шириной рабочего зазора воспроизводящей головки, цениются т. н. искажения потери, резко понижающие, в. д. с. на высоких звуковых частотах. Кривая на рис. №4<sub>6</sub> более реально отражает частотную характеристику воспроизведения. Суть этого явления показано на рис. 85. Воздействие магнитного потока на обмотку головки воспроизведения тем больше, чем сильнее реализуются величины магнитных индукций участков носителя записи у левого и правого краев рабочего зазора. Эта разница растет, пока в процессе увеличения частоты сигнал каждого элементарного магнита (его физические размеры соответствуют окончанию длины волны записи) не станет равной ширине рабочего зазора (имеется в виду действующая ширина рабочего зазора, превышающая геометрическую). При дальнейшем укорочении длины волны записи в зазоре уже размещается более одного элементарного магнита, при этом действие соседнего, противоположного направлению магнита, производствует первому и уменьшает магнитный поток. Когда полная длина ярма записи станет равной ширине рабочего зазора, действие двух элементарных магнитов, сильные линии которых направлены навстречу друг другу,互相 компенсируются, и засигналенный поток станет равным нулю. Сигнал с такой длиной волны не будет воспроизведен.

Чем выше скорость движения магнитной ленты, тем короче длина волны записи, соответствующая какой-либо спредлессной частоте звука.

сигнала. Поэтому, чтобы уменьшить залп высших частот при воспроизведении на магнитофонах с малыми скоростями движения пленки, рабочий зазор воспроизводящей головки делают узким — шириной сколько 2 микрон. Частотная характеристика записи-воспроизведения определяется как перемножение рассмотренных выше сигналов, представлено на рис. 86. Ее форма симметрично не удовлетворяет.

Эту характеристику необходимо исправить — линеаризовать, используя стандартные методы компенсации с помощью глиссандино подибравших частотных характеристик усилителей магнитофона, причем эта компенсация может быть осуществлена в принципе в любом из усилителей — записи и воспроизведения. Однако, если приспособиться к ряду особенностей процесса звукозаписи и распределения звуковой энергии в спектрах музыкальных инструментов и человеческого голоса, то можно заметить, что целесообразнее компенсировать потери на высших звуковых частотах в усилителе записи, выбирать его частотную характеристику такой, чтобы ток в обмотке головки записи начинал возрастать примерно с частотой 1000 Гц. Этот метод компенсации известен под наименованием «преглавление».

При исполнении музикального произведения звуковая энергия на высших частотах обладает меньшей интенсивностью, чем на средних, поэтому высокие звуковые колебания поступают на запись с меньшими амплитудами. Гашение высших частот в усилителе записи улучшает в этом диапазоне перекрытие полезным сигналом шумов самой ленты (см. следующий параграф). Но во избежание нелинейных искажений полем частотной характеристики записи на самых высоких частотах звукоизго-

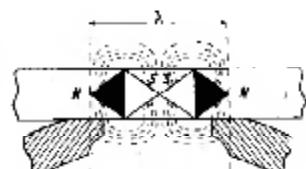


Рис. 85. Ограничение частотной характеристики на волнах записи, ограниченных по длине в рабочем зазоре

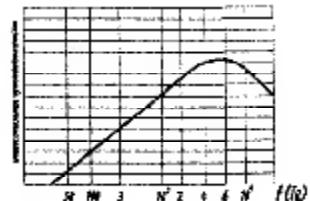


Рис. 86. Частотная характеристика канала записи-воспроизведения без коррекции

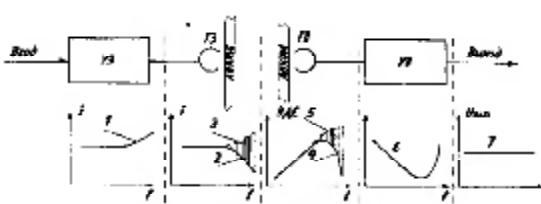


Рис. 87. Частотная коррекция в сквозном канале: 1 — подъем тока записи на высоких частотах (частотные предискоррекции); 2 — частотная характеристика функции намагничивания ленты; 3 — потери на самонамагничивание; 4 — характеристики а. д. с. воспроизведения головки; 5 — щелевые потери при воспроизведении; 6 — кривая усиителя воспроизведения; 7 — частотная характеристика входного сигнала.

длительности не должен превышать  $8+10$  дБ (т. е. уровень на этих частотах не должен быть больше уровня низких и средних звуковых частот более чем в  $2,5-3$  раза). Это недостаточно, чтобы скомпенсировать полностью потери на высоких частотах, возникающие как при записи, так и при воспроизведении. Поэтому дополнительная коррекция по высшим звуковым частотам осуществляется уже в усилителе воспроизведения. В нем же корректируются (подгружаются) низкие частоты, воспроизводимые головкой края средних. Предискоррекция, применяемая в усилителе записи, и коррекция в усилителе воспроизведения выпрямляют результатирующую частотную характеристику сквозного канала записи — воспроизведения. Принцип записи частотных предискоррекций и частотной коррекции в сквозной канал магнитофона понятен по рис. 87.

#### 4.4.9 Технические характеристики аналоговой магнитной звукозаписи.

Магнитофон, даже исправный, может стать источником искажений, резко снижающих чистоту фонограммы. Эти искажения различны по субъективному восприятию и причина их возникновения также не одинаковы. Чаще всего на практике встречаются частотные искажения. Как известно, звуковой диапазон частот — это колебания с частотами  $20+20000$  Гц, для исправленной звукопередачи необходимо, чтобы колебания всех слышимых частот записывались на ленту и воспроизводились с нее по уровню одинаково. С этим юзиной качество магнитофона определяется его частотной характеристикой. В действительности эта характеристика не бывает

линейной во всем диапазоне звуковых частот, но если в интервале, притом за рабочий диапазон (для профессиональных магнитофонов от  $31,5$  до  $18000$  Гц), выходное напряжение меняется линейно, то гарантированность частотной характеристики уже вызывается. Впрочем, стационарный пологий дугопуск, то практические частотные искажения мало заметны на слух и ими можно пренебречь.

В процессе эксплуатации магнитофона частотные искажения чаще всего проявляются как ослабления (зазал) высоких частот звукового диапазона при записи или воспроизведении. Причиной этих искажений может стать, например, неподание рабочего зазора головки палью или порошком, отставшим от магнитной ленты. Надо помнить, что любые нарушения нормального контакта уменьшают путь на высоких частотах. Поэтому при работе с магнитофоном приходится особенно прятаться следить за характером прилегания дуги к головкам и время от времени аккуратно спиртом или деревянной палочкой очищать с их поверхности приставшую пыль. Следует также иметь в виду, что рабочие зазоры головок записи и воспроизведения должны быть строго параллельны друг другу и перпендикулярны направлению движущейся ленты. Взаимный перекос головок на относительноебольшой угол в несколько угловых минут независимый для звуков, может громче хранить звучаний на слух звуки высоких частот. Перекос зазора воспроизводящей головки сдвигает а. д. с. на высоких частотах, т. к. это равносильно увеличению шага шага рабочего зазора (рис. 88). Обычно положение головок тщательно регулируют и устанавливают в процессе профилактических измерений и настройки магнитофонов.

Причиной записи высоких звуковых частот при записи может стать и неправильный подбор ленты. Магнитофон способен записывать на ленту какого-то определенного типа. Переход на другой тип ленты требует и соответствующей перестройки канала записи магнитофона. Иные типы частотные искажения звучания.

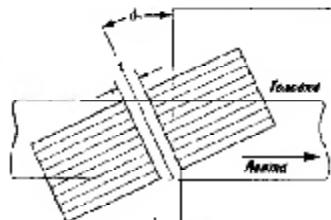


Рис. 88. Перекос рабочего зазора магнитной головки

К нелинейным искажениям ведут любые нарушения пропорциональности или подобия между мгновенными значениями выходных напряжений и соответствующими мгновенными значениями уровня подавлено на запись сигнала. Эти искажения воспринимаются на слух как резкое, неприятное искажение тембра, сопровождаемое своеобразным скрежетом и хрипом. Если усилители исправляют в режиме подмагничивания, устроившийся при настройке магнитофона для определенного типа ленты выбрано правильно, то причину нелинейных искажений нужно иска- з в чрезмерно больших уровнях сигналов, приходящих на вход магнито- фона и вызывающих перегрузку ленты. Следует помнить, что лента — наименее слабое звено в канале магнитной записи: при больших уровнях сигналов и, следовательно, больших напряженностих магнитного поля в головке, пропорциональность междуudem записи и начальной напряженностью ленты нарушается, из-за того, что характеристика полемагнитичности ленты прямолинейна лишь до определенных пределов. Это значит, что лента может быть полиномом без искажения его формы лишь до определенной величины. Более сильное намагничивание влечет нелинейные искажения, превышающие норму и заметные на слух.

Классификация нелинейных искажений (точнее, коэффициент гармоник) скользкого канала записи-воспроизведения для студийных магнитофонов высокого класса качества не должен быть больше 1,5–2 % при максимальном уровне записи. Это требование и ограничивает допустимый уровень записи. Об уровне записи или о степени намагничиваемости ленты судят по плавные магнитного потока, который создается синхронизированной записью на ленте. В профессиональной записи используются дорожки разной ширины (стereo, моно, двухоружечные, четырехоружечные), поэтому возникает проблема узкофокусной измерений. За меру уровня записи, поэтому, принимают усиленную величину магнитного потока ленты т. е. величину потока, который бы создавалась лентой будь она шириной в 1 метр. В соответствии с этим, за единицу измерения уровня записи принимается удельная величина магнитного потока, выраженная в нановеберах на метр ширины дорожки записи ( $\text{nB}/\mu$ ).

320  $\text{nB}/\mu$  — это международный стандарт поминального значения уровня записи на магнитной ленте, при скоростях движения ленты 38,1 и 19,05 см/с. Он и определяет максимально допустимый уровень магнитической записи, соответствующий установленной на измерительном уровне отметке 0 дБ. Для стереофонических записей стандартом предусматривается увеличение максимального уровня записи примерно на 4 дБ, т. е.

до 510  $\text{nB}/\mu$ . Этому предусматривается компенсация потерь качества из-за более узких дорожек записи. Для малых скоростей записи, в частности для компакт-касетных магнитофонов, работающих на скорости ленты 4,76 см/с, стандартизован уровень в 230  $\text{nB}/\mu$ .

К специфическим искажениям, характерным только для систем звукоаппарата относится дисторзион звука, причина которой скрепа в колебаниях скорости движения ленты. Если отклонение от нормальной скорости ленты превышает мелкими, с частотой меньше пульса герца, то звук, как говорят, «линист». Быстрые перкуссионные изменения скорости воспринимаются на слух как вибрации или дробление, особенно заметное на протяжных звуках. Где более чистые колебания скрепы вызывают искажения тембра звука, то характеру положения на изолиниях искажения. Причины вибрации обычно следует искать в вибрации ведущего вала или в другом неисправностях неизолированных механизмов.

Помехи три магнитной записи и воспроизведения могут резко ухудшить качество звучания фонограммы. Чаще всего источниками шума являются усиленные записи и их воспроизведение. Если при включении магнитофона прослушивается сильный шум или треск, необходимо, в первую очередь, определить, какая из усилителей является ее источником. Для этого надо выключить аппарат на воспроизведение (можно без ленты) и установить максимальную громкость, выключить, вспомогательные линии в канале воспроизведения. Если усиливается воспроизведение работает нормально, а шум пропадает при записи, то реместа, как правило, требует усиления записи. Шумы усиливателей появляются характерной особенностью магнитной системы звукозаписи. Однако следует помнить, что помехи, поступающие с головки воспроизведения на усилитель, всегда маят на уровне (порядка единиц милливатт), поэтому шумы усиливателя сплюнки и часто становятся одним из заметных дефектов звучания.

Магнитной системе записи звука свойственны и свои специфические шумы и помехи. Например, мешающий шум может возникнуть, как результат случайной намагничиваемости металлических деталей лентопротяжного механизма (направляющих роликов, сердечников головок, окраин, вала ведущего двигателя). Поэтому необходимо периодически и плавильно ручником сопрягаться с лентой детали лентопротяжного механизма, пользуясь для этого специальным устройством — размагничивающим электромагнитом. Но основным источником шума при звукозаписи является сама магнитная лента. Шум ленты в основном вызывается

засоренной структурой рабочего слоя. Он заполнен микрокристаллами магнитного порошка. Шероховатость рабочего слоя, неизбежно присущая его толщине и концентрации магнитного порошка, приводит к увеличению шума ленты, который наиболее заметен с продолжением в паузу и поэтому часто называется шумом паузы. Надо отметить, что ленты производители наспильных лент уделяют много внимания сокращению частоты магнитного порошка по размерам, ориентации их при пронесении рабочего слоя. Всё эти меры приводят к снижению шума паузы.

Уровень шума сквозного канала магнитофона принят померять по отношению к максимальному уровню записи. Для этого устанавливают чистую ленту на магнитофон и записывают измерительный синусоидальный сигнал с частотой 1000 Гц с максимальным допустимым уровнем. Затем, не изменяя установки регуляторов усиления, включают измерительный сигнал и прижимают пропесс записи. Измеряя уровень сигналов, считанных с фонограммы, — измерительного и в паузе, можно судить о величине уровня собственного шума сквозного канала магнитофона. Выраженность в децибелах относительные величины уровня шума к уровню полезного сигнала (соответствующему максимальному допустимому при записи) для студийных магнитофонов по стандарту не должны быть выше 60–64 дБ. Это означает, что напряжение шума по крайней мере в 1000 раз меньше напряжения максимального уровня полезного сигнала.

Однако шума отличается другой вид помехи, т. н. модуляционный шум. Он возникает только при наличии записываемого сигнала. Этот шум вызывает очень быстрые и хаотические изменения уровня намагниченностей ленты при записи сигнала и их причиной скрыта в асимметричности структуры рабочего слоя ленты или в непостоянном контакте ленты и головки записи, вызываемом амплитудной модуляцией сигнала. Эти, т. н. структурные или контактные модуляционные шумы, они зависят, в основном от качества ленты и могут быть, в какой-то мере уменьшены правильным выбором типа полимеризаций.

Еще одна причина — продольные колебания движущейся ленты, что ведет к беспорядочным и ненормальным уходам частоты записываемого сигнала (так называемая частотная модуляция). Модуляционный шум особенно заметен на протяжных звуках. Он, к примеру, прослушивается на звуках фортепиано и проявляется в виде характерного хруста и поскрипывания. Модуляционные шумы, вызванные продольными колебаниями ленты — их еще называют «эффектом струны», можно снизить, если исключить головки записи и воспроизведения, имеющиеся для ленты точками опоры.

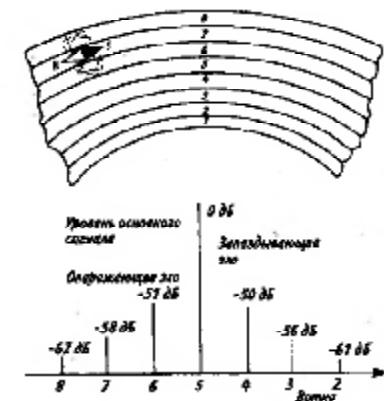


Рис. 89. Когираффент\*

установить працівніший звук, інсідія когираффента (компенсує) коливання ленты.

Магнитный запись гроуна еще один, непримитивнейший на слух, дефект, получивший название когираффента. Этот термин очисточно отражает сущность явления. При длительном хранении участки ленты, намотанной на сердечник или катушку, с высоким уровнем намагничивания, находящимся в контактировании с ними витки. Скользящие витки контактным способом сдвигаются при воспроизведении, прослушиваются как интонационное эхо. Этот эффект показан на рис. 89.

Когираффент особенно заметен, когда с участками высокого уровня намагничивания соседствуют те, где сигнал слаб, и, еще более, если они соприкасаются с паузой. Сигналы когираффента могут отставать от основного сигнала (запаздывающий когираффент, воспринимаемый как эхо) или предшествовать ему (опережающий когираффент). Опережающий когираффент или опережающее эхо из-за своей неестественности наиболее неприятно воспринимается на слух.

К сожалению, реалистичных мер борьбы с когираффентом нет — это данность способа записи и хранения лент в рулонах. Однако в случаях,

когда ведется запись речевых литературно-роматических перелов, изобилующих паузами и поэтому наиболее подверженных стилему копирефлексу, следует обратить внимание на выбор ленты. Ведущина изображенного копирефлекса обычно указывается предприним-поставщиком в паспортах на ленту каждого полива. Словес, который можно в связи с этим дать консультантам, берите ленту с минимальной величиной копирефлекса. Кроме того, в некоторых случаях, можно максимальный уровень записи несколько снизить (например на 3 дБ). Это не увеличит разницу между основным и скопированным сигналами, но сделает копирефлекс максимальным на слух, поскольку для сигналов, весьма малые по абсолютной величине, будут звукорядом глумом ленты.

#### 4.4.10 Измерительные ленты для проверки и настройка магнитофона

Для настройки магнитофонов широко используются измерительные ленты, причем это практика поддержана международными и отечественными стандартами. Стандартизация настройки магнитофонов необходима для того, чтобы иметь возможность обменяться фонограммами, т. е. чтобы запись, сделанная на одном магнитофоне, могла быть воспроизведена на любом другом аппарате с теми же качественными показателями.

Магнитные измерительные ленты (ЛИМ) обычно выпускаются в расчёте на определенный тип аппарата и режим — скрепки ленты, звенофонический или стереофонический вариант, катушечный или кассетный. Измерительные ленты содержат, как правило, 3 части. Первая — «У» предназначена для проверки и установки усиления канала воспроизведения. Вторая — «Ч» содержит сигналы проверки частотной характеристики канала воспроизведения и установки положения рабочих зазоров магнитных головок. Третья — «Д» позволяет проверить коэффициент детонации магнитофона.

Часть «У» измерительной ленты — это запись синусоидального сигнала с частотой 1000 Гц и максимально допустимым уровнем намагниченности, при котором наименьшие искажения не превышают нормированную спишаром величину. Для наиболее употребительных скоростей движения ленты 38,1 и 19,05 см/с этот уровень для монофонических записей соответствует усилию остаточному магнитному полюку ленты 320 нВб/м, а для стереофонических — 510 нВб/м. Поэтому для настройки монофонических магнитофонов следует пользоваться одной измерительной лентой, маркируемой как ЛИМ-1, а для стереофонических других — ЛИМ-2.

Для бытовых кассетных магнитофонов эталонный уровень записи определяется для частоты 315 Гц и ражен 250 нВб/м. Выпускаются специальные измерительные ленты для проверки бытовых магнитофонов.

Чтобы настроить магнитофон на запись, необходимо воспроизвести часть «У» измерительной ленты и регулятором усиления канала записи произведения добиться такого уровня сигнала на выходе магнитофона, при котором указатель измерителя уровня (при времени интегрирования 5 мс) показывает 100 % (0 дБ). Затем надо установить на магнитофоне чистую ленту и подать на вход усилителя записи сигнал с частотой 1000 Гц, используя любой подходящий источник — им может быть, например, звуковой генератор или фонограмма, воспроизводимая другим магнитофоном. Записанный сигнал воспроизводят, не меняя установленное по измерительной ленте усиление канала воспроизведения, и регулятором уровня записи устанавливают уровень сигнала на выходе магнитофона уровня, соответствующий 100 % измерителя уровня. Естественно, что намагниченность записи окажется той же, что и эталонная на измерительной ленте.

В процессе студийной записи приходится постоянно сравнивать звучание программы, записываемой и записанной. В студийных условиях сделать это достаточно просто с помощью коммутации контрольных агрегатов и измерителей уровня на вход или на выход магнитофона, следует лишь проследить, чтобы абсолютные величины направления сигналов на входе и выходе магнитофона были одинаковы (например, 1,55 В). Регуляторы усиления магнитофонных усилителей являются линии усилительными, и при записи программы они не используются. Необходимый выходной уровень поддерживается с помощью регуляторов уровня микшерного пульта так, чтобы плавки уровня плавающие по измерителю уровня на выходе магнитофона, по возможности не выходили за отметку «100%» шкалы измерителя уровня.

Часть «Ч» измерительной ленты содержит записи ряда сигналов отдельных частот от 31,5 до 18000 Гц с такими уровнями, чтобы частотная характеристика измерительной ленты, т. е. зависимость ее остаточного магнитного потока от частоты сигналов, соответствовала спишарной характеристике записи.

Форма этой частотной характеристики по принципу спишару гравиметрическая лишь в области низких и средних звуковых частот и плавно переходит на высоких частотах диапазона (рис. 90), причем крутизна спада частотной характеристики различна для разных складов движе-

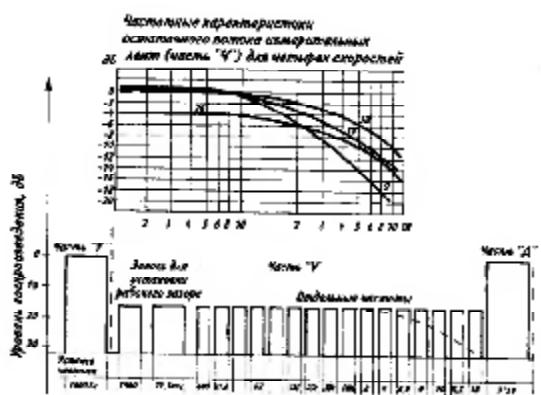


Рис. 90. Частотная характеристика ЛИМ

ния ленты и тем больше, чем меньше скорость. В качестве опорной частоты, с которой по уровню сравнивается другая частоты, берется частота 1000 Гц (или кассетных измерительных лент со скоростью движения ленты 4,76 см/с в качестве опорной берется частота 315 Гц). Часть «Ч» измерительной ленты записывается с таким уровнем, чтобы на спиральной частоте уровня звукогенератора ленты был в 16 раз (на 20 дБ) меньше максимального допустимого установочного уровня записи, т.е. был бы ради 32 или 25 мВб/м, соответственно для профессиональной и кассетной аппаратуры.

Перед сигналами, служащими для проверки частотной характеристики канала воспроизведения, измерительная лента (часть «Ч») содержит запись сигнала с частотой 12500 Гц, предназначенный для установки правильного положения рабочего зазора головки. Этот сигнал записан на магнитофоне, передний зазор записывающей головки которого заранее перенесен вправо на направление движения ленты. На стереофонической измерительной ленте ЛИМ-2, кроме этого сигнала для той же цели на обеих дорожках записывается сигнал «белого» шума, который известен, как обладающий максимальной широкой полосы частот звукового диапазона.

Как проверить частотную характеристику и насколько правильно установлены рабочие зазоры головок проверяемого магнитофона? На магнитофоне устанавливают часть «Ч» измерительной ленты и воспроизводят ее. К выходу усилителя воспроизведения подключают электронный генератор. (С некоторой меньшей точностью подобную проверку можно сделать и по измерительным уровням). Прежде всего проверяется положение рабочего зазора головки воспроизведения и происходит установка головки «по азимуту».

Для этого, наблюдая за индикацией прибора на выходе магнитофона, с помощью специальных регулировочных винтов находят такое положение головки, при котором отсутствия на сигналах широких звуковых частот становится максимальной. Это положение головки и является нормальным. Такой способ не применяется для стереофонического магнитофона, способ установки головки из-за относительно малой точности. Причины в том, что на более узких дорожках записи четко выраженный максимум отдачи при изменении ориентации зазора отсутствует. В этом случае прибегают к воспроизведению записанных на измерительной ленте сигналов белого шума, а настройку головки производят по специальному прибору — генометру.

Генометр — это некое подобие осциллографа, на экране которого, при подаче на его вход двух сигналов, изображаются фигуры, по форме которых можно судить о соотношении фаз в левом и правом каналах. Причем, если в сигналах присутствуют колебания многих частот (что характерно для широковещательного белого шума), то только при правильной установке рабочего зазора головки по вертикали, обнаруживается синфазность всех составляющих сигнала в обоих каналах, и фигура на экране генометра приобретает вид, близкий к вертикальной прямой линии. Установка головки производится при этом, как обычно, с помощью регулировочных винтов.

Далее проверяется частотная характеристика канала воспроизведения. Делается это следующим образом. Замерив показания прибора при воспроизведении сигнала опорной частоты (1000 Гц), наблюдают за изменениями выходного напряжения в зависимости от изменений частоты воспроизводимых сигналов. Частотную характеристику канала воспроизведения считают нормальной в том случае, если выходное напряжение магнитофона при воспроизведении измерительной ленты существенно не изменяется (допускаются лишь небольшие отклонения выходного уровня в пределах 1 дБ на средних частотах и 3 дБ на

краях рабочего диапазона). Убедившись, что кашы воспроизведения в норме, устанавливают частоту ленту и записывают подаваемые на вход магнитофона от звукового генератора сигналы, одинаковые по амплитуде, но разные по частоте. Тех же способом, что и при установке головки воспроизведения, регулируют положение рабочего зазора головки записи и проверяют по максимальному выходному напряжению магнитофона параллельность ее рабочего зазора рабочему зазору головки воспроизведения.

Далее проверяется частотная характеристика записи записи. Это делается сравнением исходных напряжений при записи измерительных сигналов с напряжениями, создаваемыми на выходе магнитофона при воспроизведении на нем измерительной ленты (части «3»). Отклонения этих двух характеристик друг от друга также не должны превышать 1,5 дБ на средних частотах и 3 дБ на крайних. Частотные характеристики каналов записи и воспроизведения измеряются в области высоких частот по мере истечения головки, а каналы записи — еще и в зависимости от типа применяемой ленты. Поэтому усилители обычно имеют выведенные под панно регуляторы коррекции по высоким частотам, которые используются при профакустических проверках и полиграфии аппаратуры.

Часть «Д» измерительной ленты представляет собой запись сигнала с частотой 3150 Гц, произведенной на магнитофоне с помощью язычков колебаниями скорости записи.

При воспроизведении такой записи на используемом магнитофоне измеряют с помощью специального прибора — дистантометра выраженное в процентах отклонение величины колебаний скорости воспроизведения к ее среднему значению. При этом соизмеряются детонометром снябкаются специальными фильтрами, которые пришли в соответствие показания прибора с воспроизведением на слух вибраций, возникающих из-за колебаний скорости записи (дистонии).

Измерительные ленты изготавливаются с особой щипательностью на сплошном оборудовании для этого рабочих местах. При их записи используются наборы генераторов колебаний звуковых частот, прецизионные магнитофоны, комплексы контрольных приборов. При записи измерительных сигналов их уровень поддерживается с высокой точностьюручную или автоматически. Для записи измерительных лент используются специально обработанные магнитные ленты, обладающие высокой равномерностью чувствительности по всей своей длине.

#### 4.4.11. Монтаж и хранение магнитных фонограмм

Монтаж занимает важное место в звукозаписи — собственное это производство превращается из музыкальной промышленности в индустрию звукозаписи. При монтаже используют из выполненных записей неупорядоченные магниты, делаются заготовленные заранее вставки, вводят различные звуковые эффекты и многое, многое другое. Большую часть истории звукозаписи основными средствами монтажа были ножницы и клей. Они и сейчас остаются рабочими инструментом монтажера по звуку на местах студий Радио, — особенно старых, государственных. Сейчас доминируют электронные средства монтажа, но термин «склейка», который на слух в любой монтажной аппаратной, возвращают к истокам монтажа. С них, пожалуй, стоит начать.

Имея достаточный набор, можно обрести ножницами вырезать из фонограммы фрагменты, абзацы, фразы, слова и даже отдельные звуки. Резать ленту удобно на пластинах, место склейки определяют на слух. Если пауза короткая, то ее точное место на ленте находят, выключив двигатели магнитофона и вручную, придерживая пальцами прямой и левый рулоны, медленно передвигают ленту по головке воспроизведения.

Сращивать ленту следует спиральной склеивающей лентой, а стартовые типы лент на ацетатной основе можно склеивать сплошным клеем. Магнитную ленту сращивают так: концы ленты раскладываются встык и соединяются кусочком линии склеивающей ленты, наложенной на место монтажа с той стороны, которая лицом рабочего слоя. Края склеивающей ленты аккуратно подрезаются по ширине магнитной ленты. Сращивание ленты встык (еще один термин из прошлого, заимствованный современными системами), позволяет делать склейки в середине музыкального произведения без заминок из слух потерять синхронию и/or ритм.

При механическом монтаже важно помнить о «мелочах»: например ножницы, которыми производится монтаж, не должны, даже случайно, быть начагнанными, в противном случае место склейки внесет в фонограмму неизвестные другие пятна. Следует время от времени размагничивать ножницы размагничивающим электромагнитом.

К началу и концу отмодифицированной фонограммы подклеивается специальная лента без магнитного слоя, так называемый рикорд, его назначение — дать возможность лентолиту при запуске набирать и сблюстимую скорость, он также предохраняет запись от обрывов при зарядке. На начальном рикорде, имеющем длину около 2–2,5 м карандашом исправляется или

Есть такое же машинное название записи. Конечный ракорд должен быть короче — около 1 м. Частовая разметка ракордов облегчает работу с фонограммами. По действующим стандартам применяется следующая частовая разметка ракордов:

Скорость движения ленты, см/с	Цвет
76,2	белый
38,1	зелёный
19,05	жёлтый
9,53	синий
Стереофонии	
38,1	зелёно-белый (полосатый)
19,05	жёлто-белый (полосатый)

Хранить чистую ленту и готовые фонограммы следует в специальных картонных коробках в вертикальном положении в помещении с температурой не выше  $12 \pm 3^\circ\text{C}$  и относительной влажностью воздуха не более 50–60 %. Длительное воздействие на ленту температуры выше 20–30°C (например, хранение при воздействии прямых солнечных лучей), а также повышенной влажности резко уменьшают сроки хранения ленты. Очень важно также следить за тем, чтобы вблизи от записанных лент не находились источники сильных магнитных полей: трансформаторы, электродвигатели и др.

Те же многогодий опыт хранения записей на магнитной ленте показывает, что и при самых оптимальных условиях хранения, лента со временем лефтеризуется, высыпает и качество записи ухудшается. Гарантированный срок хранения фонограмм, таким образом, ограничен, примерно, 15–20 годами. Поэтому, для создания архивов звукозаписей, фонограммы по магнитной ленте, пустяк и с записью рекомендуется перевести в цифровую форму и хранить на новой основе (например, на компакт-дисках).

Все, о чем сказано выше, относится к той части магнитной звукозаписи, которую можно назвать «катушечной» или «рулонной». Когда же сменили катушки кассеты, встали проблемы. Действительно, с магнитными кассетами не подойдешь, а если они нуждаются в клее, ее пронес и лешевле выбросить. Одного понимания кассетной записи достаточно для постановки вопроса о поиске альтернативных методов мон-

тажа. Однако, действительные причины иные и глубже. Техника управления и автоматизации уже в 70-х годах вышли на уровень, когда решение задачи дистанционного управления магнитофонами — в это тоже входит, что и электронного монтажа, стало целом «техники». Но случайно развитие электронных систем монтажа видео и звукашло практически параллельно.

Собственно, извея электронного монтажа достаточно очевидны. Имеется группа воспроизводящих магнитофонов, на которых установлены ленты с первичными записями. Требуется запись с воспроизведенного перенести на записывающий аппарат, где в пульте последовательности по фрагментам будет скрипачи компоновки программы. Минимальный состав электронной монтажной — три аппарата. Реализация рассмотренной схемы требует выполнения нескольких важных условий. Все магнитофоны в монтажной должны иметь одинаковыми, обеспечивающими дистанционное управление ими с единого пульта. Но современные аппараты отвечают этому требованию. Однако важно, чтобы каждая команда или протокол управления воспринималась всеми аппаратами монтажной. А вот здесь единствообразие, глядя на теоретически принятые фирмами производители не было, что повлекло массу неприятностей. Впрочем, современная цифровая техника и здесь нашла универсальные решения. Известно, сколько же долгих и мучительных поисков нужных фрагментов записи, при этом должны быть обеспечены режимы поститочно точного выхода на отыскиваемый участок. За этим скрывается далеко не простая задача точного контроля перемещения лент в магнитофонах, возможности быстрого — в режиме ускоренной перекотки выхода на заданные точки фонограмм. Этого мало, в определенных режимах управление всеми магнитофонами монтажной, перемещением лент, операциями воспроизведения/запись и многим другим должно быть согласовано или же жестко синхронизовано. Здесь очень много аналогий — и не случайно с высокомонтажом.

Звукорежиссер, приступая к монтажу программы, должен удерживать в памяти и контролировать весь исходный материал. Это общее условие, но при электронном монтаже оно особенно актуально. Формально, простой монтаж встает и здесь трет. Надо найти требуемый фрагмент и «вставить» его с уже смонтированной частью, перенеся без пропусков на записывающий аппарат. После этого можно отправляться за следующим фрагментом. В действительности все не так просто. При такой работе вряд ли бы стоило связываться с электронным монтажом.

Главное в современных системах монтажа — это ее интеллектуальность. Основная идея в том, что после репетиций со звукорежиссером (можно использовать и термин «коренной монтаж»), система должна иметь плавающее представление о размещении материала по используемым источникам, порядку их выхода в компонуемую программу, специальным эффектам и многому другому. Системы должны знать по адресу загробных материалов, кинематику их поиска в кратчайшее время. В принципе, можно отыскать требуемый фрагмент, ориентируясь на пачные счётчики метражи пленки, но такой поиск будет потерян, хотя в качестве первого, грубого уровня системы поиска вполне годится. Уже на первых этапах развития электронного монтажа стало ясно, что нужны специальные метки — укзатели. Самое простое — расстановка меток звукорежиссером. Такая система меток аналого в сущности, поскольку ориентируется на положение границ фрагмента. Не несет информации о его размещении (преге) на ленте. Следующий привычный этап снязки введение специальных временных кодов, которые вместе с паспортом сущности информируют о его «географии».

Современная техника позволяет теперь множества. Звукорежиссер может проходить несколько фрагментов, соединять их, ввести нужные эффекты, проделать многое другое. Главное в том, что он может затем предварительно услышать сценарий, оценить, принять или отвернуть те или иные решения. Он может внести изменения в продуманное и вновь проанализировать — и, только достигнув уровня согласия со своим восприятием, он даст команду записать на монтируемую оригинал. Более того автоматизация на современном уровне позволяет звукорежиссеру шаг за шагом проходить всю работу, прослушивать и исправлять незаписанные решения. Управляемый системой компьютер, при этом, фиксирует все утвержденные команши, сохраняет их в памяти и потом в автоматическом режиме, используя «лист монтажных решений», выполняет «истинный монтаж».

Электронный монтаж вывел к жизни термин «многосторонняя перезапись», за которым стоят серьезные проблемы. Чем сложнее монтаж, чем больше источников используется, тем многостороннее эффекты — тем больше перезаписей требуется. Каждый перезапись сигналограммы — это для аналоговой магнитной записи — заметные потери качества. Здесь и вступают в противоречие творческие позиции звукорежиссера и требования к техническому качеству записи. В аналоговой записи постепенно выявлялось еще одно противоречие — система управления монтажом и другими

функциями быстро стала цифровой, а то чём уделяют внимание все недостатки аналога. Эти противоречия удалось снять только в окончательно цифровых системах, о которых речь пойдет ниже.

#### 4.3. Многодорожечная запись

Еще задолго до появления первых многодорожечных магнитофонов в студиях применялся способ разделной, поочередной записи отдельных голосов и групп музыкального инструмента на обычных магнитофонах, с последующим их свертыванием, т. е. сложением друг на друга при перезаписи («запись с наложениями»).

Этот способ использовался, в основном, для получения различных звуковых эффектов при записи сценической музыки. Практически это делалось так: сценическая записывалась, например, аккомпанемент, который затем подавался из один из входов микшерного центра для перезаписи и свертывания по воспроизведению с малым уровнем громкости через установленный в студии громкоговоритель (или на головные телефоны). В студии у микрофона, включенного на другой вход микшерного пульта располагается солист, который испытывает свою партию под уже записанный аккомпанемент. В треке микшерного пульта происходит смешивание синтеза аккомпанемента и сольной партии, причем соотношение уровней между звуками компонентов звучания подбирается и регулируется звукорежиссером. С выхода пульта суммарный сигнал поступает на вход второго магнитофона, на котором и производится окончательная запись уже полного произведения.

Этот классический метод записи давал возможность наивыгоднейшим образом расположить микрофоны для каждого исполнителя или группы исполнителей, т. е. заботясь об их акустическом разделении и о том звучании, которое они могли бы складывать звучание других исполнителей. Наконец, метод записи с наложениями позволяет получать разнообразные специальные звуковые эффекты с помощью особых трековых приемов, например, записи дубля, в котором партии обоих голосов исполнителяются одним и тем же певцом, запись какого либо музыкального инструмента в несколькослойном ему регистре и т. д. Прием записи с наложениями можно было бы повторить несколько раз подряд и таким образом записать раздельно каждую симфоническую группу, требующую своей специфической окраски звучания.

Однако, запись с наложениями имеет существенный недостаток, ограничивающий область ее применения. Этот недостаток заключается в

тум, что в технологический процесс производства готовой фонограммы включается перезапись, которая, как известно, при аналоговом методе перезаписи, вносит свои дополнительные искажения. Поэтому там, где требуется повышенное качество записи предпочтителен пользоваться специальными многодорожечными магнитофонами. Эти магнитофоны имеют 4, 8, а некоторые 24, а иногда и 32 и даже 48 разделенных каналов записи и воспроизведения. Такой магнитофон позволяет записывать звучание музыкального произведения во время, каждой группы на отдельной дорожке записи. Затем, при воспроизведении сигналы со всех дорожек совмещаются в миксерном пульте и перезаписываются по обычному магнитофону с узкой лентой (6,25 мм), для получения окончательного, прессованного для прослушивания в домашних условиях, монофонической или двухканальной стереофонической фонограммы.

Первыми простейшими профессиональными многодорожечными магнитофонами появились в начале 70-х годов. Это были аналоговые четырехдорожечные магнитофоны для работы на лентах 2 дюйма. Позже стали выпускаться, как уже упоминалось выше, восьмик-, четырнадцати-, двадцати четырех- и даже сорока восьмидорожечные аппараты.

Однако, упрощенная схема многодорожечного магнитофона может быть показана на примере самого простого четырехдорожечного аппарата (рис. 91).

Магнитные головки многодорожечных аналоговых магнитофонов состоят как бы из конусов головок, конструктивно отъединенных и расположенных друг над другом (рис. 92). Головки, входящие в эту систему, выполняют соответствующие функции записи, воспроизведения и стирания каждой из записанных программ по определенности. Дорожки записи на широкой ленте располагаются так, чтобы между ними оставались достаточно широкие промежутки чистой ленты, необходимые для того, чтобы исключить взаимное проникание сигналов из одного канала в другие. Для точного совпадения во времени звучания отдельных оркестровых партий, записываемых на различных дорожках, рабочие зажигают все системы каждой из магнитных головок выполненной строго на одной вертикали друг над другом.

Известны два способа многодорожечной записи: параллельный и последовательный. При параллельной записи все группы исполнителей записываются одновременно, каждая на дорожку своего канала.

Исполнители и микрофоны должны быть расположены в студии так, чтобы каждый микрофон, скоммутированный на вход одного из канала

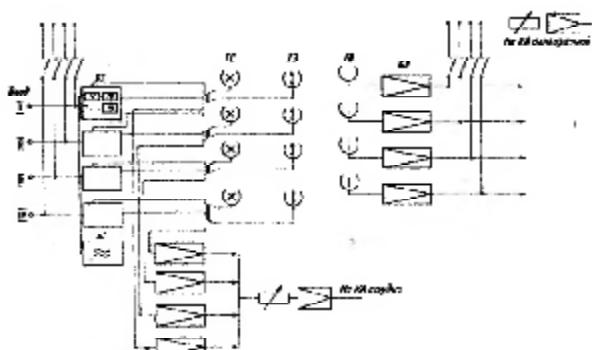


Рис. 91. Блок-схема многодорожечного магнитофона.

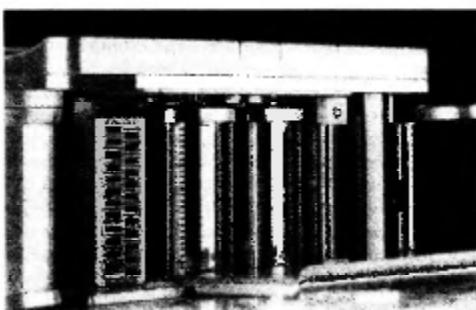


Рис. 92. Блок магнитных головок 24-х дорожечного магнитофона.

лов микшерного пульта, воспринимают бы звуки и основным только от единой группы исполнителей.

Предназначенный для многоканальной записи микшерный пульт, разумеется, должен иметь число выходных каналов, соответствующее числу дорожек записи магнитофона. И не только в этом заключается отличие микшерного пульта, предназначенного для многоканальной записи от обычного. Вс-церых, на входах каждого канала такого пульта на запись должен быть установлен измеритель уровня. И во-вторых, схема пульта, предназначенная для многодорожечной записи должна содержать дополнительное смесительное устройство для возможности контрольного прослушивания всех каналов, подаваемых на запись на две котрольные громкоговорители звукорежиссерской аппарелии, непосредственно в процессе записи.

Когда запись закончена, лента перемещается, магнитофон выключается на воспроизведение и осуществляется микширование (сведение) сигналов всех каналов. Суммарный сигнал записывается на магнитную ленту обычного монофонического или стереофонического магнитофона.

Такой способ изготавления фонограмм имеет возможность звукорежиссера при микшировании и перезаписи регулировать уровень программ отдельных каналов, корректировать частотные характеристики, вводить в них, при необходимости, сигналы искусственной реверберации, а также применять различные другие эффекты. При этом все операции сведения и микширования производятся в отсутствие исполнителей, и звукорежиссер в спокойной обстановке может более тщательно с помощью многочисленных проб найти оптимальный режим микширования и обработки сигналов для достижения наилучшего музыкального баланса и наиболее интересных окрасок звучания.

Трудность в достижении достаточно полного акустического разделения звуковых сигналов от разных источников в студии, без конфликто во времени теряется смысл записи на многодорожечном магнитофоне, делает более эффективными другой, последовательный способ многодорожечной записи, очень широко применяемый при записи, разделяющейся, танцевальной и, поп-музыки.

При последовательной записи различные группы оркестра записываются поочередно разное время, каждая на отдельную дорожку широкой магнитной ленты. Например, на первую дорожку записывается группа инструментов, исполняющих аккомпанирующую, ритмическую партию (контрабас, ударные инструменты, иногда гитара и т. п.). Далее

по второму каналу записывается другая группа инструментов, например скрипки.

При этом звукорежиссер подбирает для них оптимальный режим звукопередачи, который в общем случае может и не совпадать с предыдущим реалиям (но по количеству микрофонов и их расположению, ни по характеристикам направленности).

Чтобы звучание всех партий, записанных на разных дорожках магнитной ленты, сошло по времени и точно сработался ритмический рисунок произведения, звукорежиссер и исполнители на утилизированной в студии громкоговорительной на малом уровне громкости подаются сигнал записи горнее ритмической партии, который для них является своего рода синхронизирующей. Не следует иметь в виду, что, если мы имеем дело с гитаристом на микрофоном, то этот синхронизирующий сигнал должен поступать на громкоговоритель в студии не с головки воспроизведения первого канала, а с его головки записи. Действительно, если это будет не так, то исполнители каждый раз будут вступать позже, запаздывая по отношению к ритму первой партии на время прохождения ленты от головки записи до головки воспроизведения. Именно поэтому сигнал синхронизации считается с синхронизирующей парижкой записи, которые, являются универсальными, в случае, когда левые каналы не включены на запись, переключаются в режим воспроизведения и коммутируются на усиление при прослушивании, установленные в каналах синхронизации. (Естественно, эта особенность конструкции актуальна только для аналогового магнитофона).

Аналогично, под исключением уже записанных двух оркестровых партий, прослушиваемых в студии для задания ритма, записывается на третью дорожку новая группа инструментов (например, духовых) и т. д. Распределение головок приема по группам зависит прежде всего от характера и инструментовки произведения, а также от акустических характеристик студии. Поэтому вопрос решается звукорежиссером по-разному для каждого конкретного случая. Дальнейшее микширование и перезапись производится так же, как и при способе параллельной записи.

Применение исключительной, покадровой записи отдельных групп инструментов оркестра или отдельных исполнителей дает возможность использовать многочисленные 'триковые' приемы, часто весьма эффектные, для некоторой прописки так называемой развлекательной музыки. Например, записав аккомпанемент на скорость 38,1 см/с, можно переключить магнитофон на скорость 19,05 см/с и партию фортельяно

занимать на второй дорожке с узкой полосой скорости. Естественно, что синхронизирующий сигнал будет в студии прослушиваться исполнителем также вдвое медленнее и на октаву выше нормального звучания. Следуя этому неестественному ритму, певец должен сыграть свою партию. При воспроизведении для записи звуковых сигналов с обеих дорожек в один канал магнитофон вновь переключает на скорость 38,1 см/с, а результат чего тональность записанной на второй дорожке партии фортепиано трансформируется на октаву выше, и на фоне «оркестра» записанного аккомпанемента зазвучит инструмент с высоким, несколько «стеклянным» тембром, резко отличающимся от нормального, свойственного фортепиано тембра, но иногда придающим звучанию этой записи оригинальные и весьма эффектные краски.

Разумеется, частные промахи записи, в крайней мере не могут удовлетворить звукоиздателя, если он столкнется со сложными партитурами современной музыки (такими, как например, некоторые сочинения А. Шнитке). Что уж говорить о современных оркестровых ансамблях, оркестрах которых часто специальное предназначение для утилизированного звукового тембрового разделения голосов и совершенно воспринятенного для живого исполнения музыкального баланса.

Для привнесения звукорежиссеру максимальной свободы при обработке звукового материала, профессиональные студии звукозаписи стали приобретать 8-, 16-, 24-дорожечные аналоговые магнитофоны фирм STUDER, TELEUNKEN и некоторыми другие. Для того периода развития студийной техники эти аппараты полностью удовлетворили технологическим потребностям студий. Лучшие образцы из них были 24-дорожечные, записи на ленте шириной 2" и, несмотря на то что каждая из дорожек записи имела ширину меньше двух миллиметров, качественные показатели записи (в том числе и шумы звука) практически не отличались от самых качественных записей, сделанных на лучших студийных стереофонических магнитофонах. Сложность возникла лишь при сведение всех дорожек, на узкий источник. Шумы всех дорожек при этом суммировались и в сведенной фонограмме их уровень становился неприемлемым. Приходилось, как обязательную меру при многодорожечной записи использовать приобретенные отдельно компьютерные системы шумоподавления типа Tektronix или Delby-SR.

Таким образом, многодорожечная запись, если к ней предъявлены жесткие требования по техническому качеству звучания, дело достаточно накладное.

Правда, малые, полупрофессиональные студии уже в то время стали оснащаться более дешевыми минидорожечными магнитофонами, выполненным необходимые технологические операции, но уступающие лучшим образцам подобной техники по техническим параметрам. Ни пример, стал популярен вполне привычный 16-дорожечный магнитофон G-16 известной фирмы POSTEX, рассчитанный на работу с 1/2 — линейной лентой. Этот магнитофон оборудован весьма объемной памятью и антиискажением ленты обеспечиванием быстрый поиск нужного места фонограммы в процессе записи и монтажа. В схеме магнитофона G-16 предусмотрена система шумоподавления Delby C.

По прошествии времени магнитофоны этицились цифровыми. Цифровые магнитофоны существенно повысили качество записи, дали возможность практически внедрить электронный монтаж фонограмм, т. е. комбинировать отдельные монтажные фрагменты в определенной последовательности, путем их перезаписи. Облегчивши проблемы с автоматизацией технологического процесса, стали широко использоваться для этого цифровые адресно — временные копии.

Цифровые многоканальные магнитофоны по способу записи могут быть структурированы к двум видам: либо это магнитофоны с неподвижными головками и прямой или однодорожечной записи, либо с вращающимися головками и наклонно спиральной записью.

Из многоспектальных форматов для студийной, профессиональной цифровой записи с неподвижными головками конкретно пособными оказались форматы семейства DASH (от английского digital audio stationary heads — цифровая запись звука с неподвижными головками) и форматы семейства Prodigy (от английского professional digital — профессиональный цифровой).

Но различия между этими форматами заключаются лишь в деталях, а эксплуатационные характеристики у этих модификаций многодорожечных магнитофонов практически одинаковы.

Значительно более разнообразен ассортимент многодорожечных магнитофонов с вращающимися головками. Их модификаций можно перечислить десятками.

Но сегодня, практически все фирмы производители многодорожечных магнитофонов придерживаются одного из двух наиболее перспективных форматов.

Формат ADAT предложен фирмой Alesis. Он и расшифровывается как Alesis Digital Audio Tape. В нем для записи используется обычные кассеты или линейного видео S-VHS с лентой шириной 1/2".

В этом формате выпускают цифровые многодорожечные магнитофон-

ны несколько извеcтных среди специалистов фирм. Это, естественно, Alesis, в. кроме того, Fostex, Studer, Radavine и многие, многие другие.

Сравнительно низкая цена магнитофона, а также недорогой стандартный монитор, стал затем быстрым распространением магнитофонов ADAT во всем мире.

Примечательность синхронной работы нескольких магнитофонов-мониторов позволяет использовать ADAT в серьезных профессиональных студиях.

С форматом ADAT соперничает второй не менее известный специалист формат — DTRS ( Digital Tape Recording System). Его придерживаются фирмы Tascam и Sony. Магнитофоны формата DTRS рассчитаны на классы Videc-8, с лентой шириной 8мм. Кстати, для магнитофонов формата DTRS фирмы Quantegy выпустил и специальную предназначенную для цифровой звукозаписи карту под наименованием DAC, рассчитанную на 30, 60 и 113 минут длительности звучания.

Некоторые фирмы при компактизации магнитофонов способы используют модульный принцип. Они выпускают относительно недорогой бюджетный магнитофонный модуль. Потребитель сам решает, сколько ему нужно дюрожек, и определяет, сколько потребуется модулей. Модули устанавливаются один на другой — так набирается система. Всё конструкции ориентированы на системы с большим числом каналов — до 128.

В настолее время с цифровыми многодорожечными магнитофонами соревнуют конкурируют и многодорожечные устройства записи на жестких магнитных дисках и звуковые рабочие станции. Запись на локальных носителях имеет преимущество по времени записи по ленте, благодаря тому, что она является системой со свободным доступом, т. е. дает возможность параллельно множеству цепочекционирующим устройствам воспроизведения, не тратя время на перемотку ленточного носителя. Это результат, очевидно облегчает монтаж фонограмм. Подробнее об этой аппаратуре разговор пойдет ниже. И все же несмотря на это есть звукоусиcчи, предполагающие ленточные аппараты.

#### 4.6. Цифровая звукозапись и обработка сигнала

О применении в студии звукозаписи цифровых магнитофонов упоминалось уже в предыдущих лекциях. Теперь вопросы цифровой звукозаписи будут рассмотрены более подробно.

Попытки использовать технику дискретных (импульсных) сигналов для обработки и передачи звука предпринимались многократно, но до

начала 80-х годов эти попытки не имели особого успеха. И только позже, когда в студии появились первые цифровые аппараты стало ясно, что переход на цифровую технику открывает новые широкие возможности для совершенствования методов обработки сигналов и их записи. Этому способствовали несколько внутренних технологических революций в микроэлектронике, связанных с переходом на все более высокие уровни интеграции. В микроэлектронике это означает, почти буквально, что электронные устройства, ранее умещающиеся, разве что, в шкафу, умещались до карманного размера. Можно было бы многое рассказать о последовательном технологическом переходе, потрясшего в последние годы компьютерную технику, видео и телевидение. Для нас же важно, что эти события не обошли и технику звукозаписи и обработки звука.

##### 4.6.1 Аналогово-цифровое преобразование.

Копирование, пожалуй, — единственный способ передачи информации, обес печивающий возможность её затем приывать и расшифровывать. Информация не материальна, но доставка ее от одного клиента к другому требует вполне материальных средств, в том числе и носителей. Среди бесконечного множества способов кодирования любой информации широкая выигрышнейший способ — это прямой единичностью. Собственно, цифровой код содержит только два символа: ноль, генерирующий об отсутствии сдвигий, и единица, сообщающая, что они есть. Использование этого предельно упрощенный язык общения и разработано на всю информационную среду человечества. Звукозапись здесь — не исключение.

Все начинается с аналого-цифрового преобразования. Цель этой операции — замене непрерывной и главно меняющейся кривой (она может представлять уровень звукового давления акустической волны, например, на выходе усилителя звука или напряжения на ленте) на последовательность импульсов с постоянной тактовой частотой. В этой последовательности отсутствие импульса или его отрицательный тик называется «нуль» (логический «0»), а присутствие или положительное значение — «единица» (логический «1»).

Среди методов цифрового представления звуковых сигналов наибольшее значение имеют импульсно-кодовая модуляция — ИКМ (английская аббревиатура PCM). Процедура аналого-цифрового преобразования (АЦП) при ИКМ состоит из трех стадий: дискретизации, квантования и кодирования. При этом, квантование и кодирование, как правило, осуществляются одновременно общим функциональным блоком, но при ана-

лиже качественных показателей метода ИКМ удобно эти операции рассматривать раздельно.

Итак, для осуществления ИКМ, прежде всего, входной сигнал ограничивается по частоте и обрабатывается схемой "выборка-хранение". На этом этапе, через равные промежутки времени, в частотной, которую называют частотой дискретизации отсчетов или выборок, — определяют действующее значение аналогового сигнала. Таким образом, непрерывный аналоговый сигнал преобразуют в поток импульсов, следующих с частотой дискретизации. При этом величина отдельного импульса равна соответствующему значению отсчета аналогового сигнала, что показано на рис. 93.

Далеко не очевидно, что интегрованный процесс, принципиально неизменный во времени и пространстве можно представить последовательностью импульсов. Эта проблема получила свое окончательное решение только в нашем веке — целиком в начале, в десятых пятилетиях.

Самый фундаментальный вывод заключается в том, что информация, передаваемая любыми носителями, если она спрагичена во времени, ограниченна и ее уровнемому эквиваленту модуляции носителя, может быть передана полностью с дискретным и конечным набором информационных единиц со звуковым «раз» и «нет». Это — одна из последних формулировок теоремы Шеннона. Мы ссылаемся еще по одному теорему, доказанную пятым лицом российской связи в 1926 г. В. Котельниковым, из которого следует, что ограниченный по полюсе частот сигнал может быть представлен дискретным набором сигналов определенной формы. Все указанные показывают разные стороны одной многосторонней медали. Его смысл в том, что все спрагиченное или дискретно изначально или может быть представлено, причем таким, в дискретном виде. Эти строгие математические соображения и лежат в фундаменте цифровой техники.

Частота дискретизации звукового сигнала выбирается на основании теоремы отсчетов Котельникова. Для неискаженной передачи нецифрового сигнала, занимавшего определенную полосу частот, необходимо, как

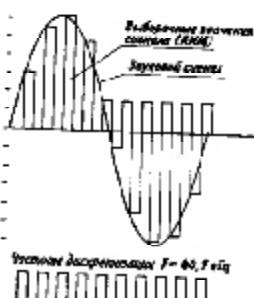


Рис. 93. Дискретизация звукового сигнала.

задается из этой теории, чтобы частота дискретизации была бы не менее, чем в два раза больше наименьшей частоты передаваемого сигнала. Таким образом звуковой сигнал с полной частотой до 20 кГц должен быть разбит минимум на 40 000 отсчетов в секунду.

В настоящее время в цифровой аппаратуре различного назначения находят применение различные частоты дискретизации сигнала. Прежде всего это 32 кГц — ее применяют в основном в системах связи и вещания, где наименьшая частота сигнала 15 кГц. В лазерных проигрывателях компактных дисков и на некоторых бытовых цифровых магнитофонах (программ, иногда и профессиональных) наименьшая воспроизводимая частота может достигать 20 кГц, поэтому частота дискретизации должна превышать 40 кГц. Здесь принят частота 44,1 кГц. В студийной аппаратуре звукозаписи (стандарт AES/EBU) чаще всего применяется 48 кГц.

Таким образом, как вытекает из изложенного, наименьшая частота преобразованного методом ИКМ в цифровой виде звукового сигнала ограничена частотой дискретизации преобразователя. Дело в том, что спектр дискретизированного сигнала обладает периодической структурой. Кроме низкочастотной части, отображающей сам звуковой сигнал, он имеет еще и высокочастотные колебания в виде боковых полос с центром в точках кратных частоте дискретизации. (Рис. 94). Если спектр звукового сигнала перед преобразованием не ограничивать, то его высокочастотная часть может наложитьсь на смежную боковую полосу. При этом в преобразованном сигнале возникнут неоднозначные искажения, в виде паразитных высокочастотных

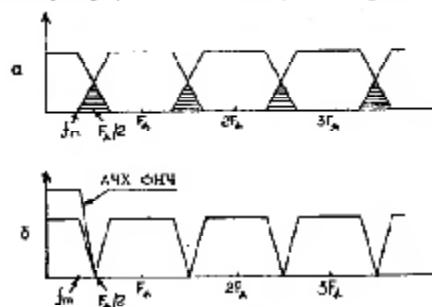


Рис. 94. Спектр дискретизированного сигнала: а) — без ФНЧ, б) — с ФНЧ

только составляющих. Звукание будет безнадежно искажено.

Чтобы избежать этого явления, в ходе преобразования устанавливается фильтр плавких частот (ФНЧ) с частотой среза равной половине частоты дискретизации — т. е. антиaliasинг фильтр. Но характеристика этого фильтра должна иметь очень кругой фронт, что выполнить достаточно сложно.

Из-за этого, а также, стремясь получить возможность расширить полосу передаваемого звукового сигнала, в современных преобразователях ИКМ часто используют повышенную частоту дискретизации (переприсоединение), напр. 96 кГц и выше.

Следующим шагом преобразования сигнала в цифровой код является уровневое квантование (рис. 95).

Квантование по уровню также связано с ограничением сигнала — теперь по динамическому диапазону. Здесь важным параметром является отношение сигнал/шум, которое определяет число уровней квантования, позволяющее с максимальной точностью и без потерь передать информацию.

Квантование проходит следующим образом. Весь динамический интервал звукового сигнала разбивается на число разрядных урavий (зон), пропорциональное  $2^k$  (где  $k$  — разрядность квантования). Каждой зоне присваивают (если нечего по порядку) номер, выраженный в двоичных информационных единицах — битах. Уровень линейного отсчета сравнивают с уровнями зон и присваивают ему номер зон, в пределах которой он находится.

Этот номер в дальнейшем и представляет собой величину конкрет-

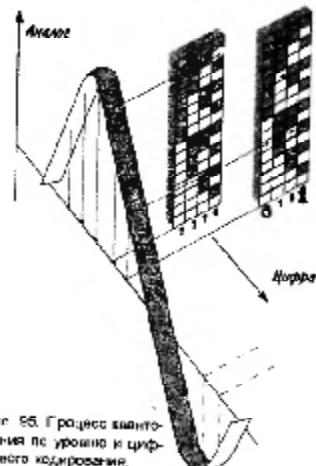


Рис. 95. Процесс квантования по уровню и цифрового кодирования.

ного отсчета (выборки). Величина эта кодируется, т. е. выражается последовательностью единичных и нулевых импульсов, которое в цифровой системе счисления представляют номер уровня зонк отсчета. Группа цифр (импульсов в сигнале) называется кадром (или фреймом) сигналом, представляющим величину линейного отсчета во всех дальнейших преобразованиях.

Международные соглашения, как по частотам дискретизации, так и по числу уровней квантования структурируются на уровнях, близких к оптимальным и одновременно удобных с позиций реализации. Точность цифровой информации, в принципе, может быть сколь угодно высокой. Однако, практически, из-за ступенчатости процесса квантования, цифровым сигналам свойственно конечное разрешение, и преобразование «аналог-цифра» всегда сопровождается небольшими ошибками, вызывающими специфические искажения сигнала, наиболее заметные на высоких уровнях. Эти искажения называются шумом квантования. Теоретически, при соблюдении определенных условий, цифровое преобразование слышимых изменений в сигнале, включая специфические шумы, вносить не должно. В действительности, шумы квантования — основной фактор, определяющий шумы цифровой системы. Необходимая точность (разрешающая способность) системы выбирается из следующих соображений: отношение сигнал/шум должна быть по величине не хуже, чем в аналоговой записи при использовании систем шумоподавления (например, DOLBY SR или Telco), т. е. не ниже 90 дБ. Практически, отношение сигнал/шум в цифровой аппаратуре определяется только ошибкой квантования и равно:

$$A = 20 \lg 2^n,$$

где  $A$  — отношение сигнал/шум,  $n$  — число бит. Это соотношение можно переписать так:

$$A = n \cdot 20 \lg 2 = n \cdot 6 \text{ дБ}.$$

Последнее соотношение несет важную информацию: каждый бит, улучшает отношение сигнал/шум на 6 дБ. Это по идее может быть очень полезно для цифровых систем. Например, мы хотим, чтобы в нашей системе шумы не превышали 96 дБ, для этого теоретически необходимо иметь число разрядов квантования (число бит)  $n = 96/6 = 16$  бит.

При этом, число зон квантования или разрешимых значений шаблонов звукового сигнала составляет  $2^n = 65536$ . Или, другими словами, каждая измеряемая амплитуда может быть представлена с точностью до 1/65536 от ее максимальной возможной величины. И тем не менее, на со-

ных тихих местах скопления, когда уровень сигнала малъ, даже эти столь небольшие ошибки квантования воспринимаются тревожившими слушателей в виде шума. Разумеется, шум квантования будет тем ниже, чем меньше шаг квантования, или, что то же самое, чем большее число разрядов квантования. Очевидно, также, что избыток шума сильно зависит от уровня преобразуемого аналогового сигнала. Если его амплитуда мала, то становятся ощущимыми характерные искажения, обусловленные появлением высших гармоник из-за забытой «формы шума квантования». Причем, на слух это воспринимается именно как искажения, а не как шум.

Следить влияние таких искажений можно — как ни парадоксально это звучит — с помощью добавления другого шума. Если применять во входной сигнал так называемый "белый шум" (шум, амплитуда которого практически постоянна в широком диапазоне частот), то корреляция (связь) между шумами квантования и амплитудой сигнала нарушается. При этом воспроизведенный сигнал уже не будет выделять искажения. Добавление такого шумогасящего маскирующего сигнала с и. дither'ом является весьма важной частью процесса преобразования.

Выше мы не оговаривали специально, но подразумевалось, что разбиение по зонам уровневого квантования равномерное. Однако существуют и другие весьма эффективные способы квантования сигналов, с использованием принципа компандирования, при котором ступени (ширины)

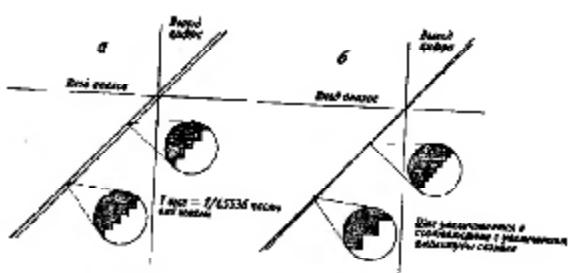


Рис. 96. Уровневое квантование. а — линейное; б — негиней-ое.

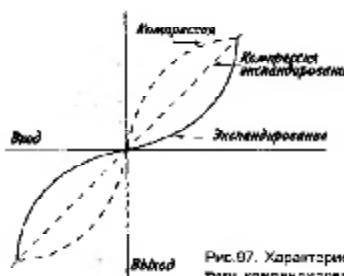


Рис. 97. Характеристики компандирования

зон (диапазонов) квантования уменьшаются с уменьшением уровня сигнала и, за счет этого, увеличивается линейчатский диапазон отображаемых сигналов (рис. 96).

В приложении к равномерному квантованию относительно легко поддается сплайнинг и нормированию. А вот техника компандирования (компрессия с последующим экспандированием) требует точного определения и сопряжения характеристик этих двух операций. Форма этих характеристик показана на рис. 97.

Мнения специалистов относительно возможной формы различны. В настящее время для АЦП стандартизовано только равномерное (линейное) квантование. Число уровней квантования или разрядов квантования слове достаточно важно. Цифровая техника звукозаписи стартовала, опираясь на 16 разрядов, но выяснилось, что этого мало. Теперь работают системы, в которых применяется квантование на 20, 24, и в некоторых случаях на 32 уровня. Не от хорошей жизни идет процесс индивидуализации числа уровней квантования. Этого требуют условия идентичности звука при прямом прослушивании и воспроизведении после цифрового кодирования — декодирования. Однако за этим стоит машинический фактор параллельного потока информации. Например, при дискретизации с частотой в 48 кГц и 16-битового уровенного квантования, полный поток цифрового звука составляет  $48000 \cdot 16 = 768$  Мб/с. При передаче стереосфирической пары этот поток удваивается и составляет 1,536 Мб/с. Если считать, что для передачи по каналу связи (или какому либо другому) одного бита потребуется одна периода несущей волны, то необходимо для передачи полного потока частот в Мб/с по числовому выражению совпадет с потоком информации в Мб/с. Правда, современная техника позволяет передать около 0,5 бита на каждый период, но это проблемы не решает. Если аналоговый звук занимает полосу в 20 кГц, то цифровой поток того же звукового сигнала потребует около и более мегабитрии по диску чистот. Это число за удовольствие сканеризации звука, с которой надо и приходится считаться.

Бит — это цифровая единица информации, но в цифровой технике используется еще один термин — байт. Он означает ходок с целью длиной в 8 бит. Принято в терминалогии обозначать бит буквой «б», а байт «Б».

Итак, процесс разрушения звука и его прекращения в последовательность кодовых посылок завершен. Поясн преобразованные, таким образом, звуки представляют собой череду импульсов, в которой пропуск называет энте, наличие «эза». Группа импульсов этого потока, несущая информацию об одном уровне звукового сигнала или об уровне его отсчета, составляет кодовую единицу. Длина кодового слова  $n$  — это просто число импульсов в группе, несущей информацию об уровне сигнала в точке конкретного отсчета.

В последние времена все более широкое распространение получают методы аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования на основе использования схема-демпера модуляции, когда каскадизация осуществляется всего одним приемником, но с частотой в десятки и сотни раз более высокой, чем та которая используется в ИКМ (до 2.8 МГц).

В процессе такого преобразования фазализируются и выражаются в цифровом виде не амплитуда выборок аналогового сигнала, а направление их изменения. Если амплитуда возрастает, то на выходе преобразователя будет «1», а если уменьшается — то «0». Нулевой уровень кодируется чередующимися «нульми» и «единицами».

Основная идея такого метода состоит в том, что спектр шума квантования, возникающего в процессе квантования с макром разрешением преобразуется так, что в полные звуковых частот его уровень понижается, а в области высоких частот, за пределами слышимого звука — повышается.

Затем полученный цифровой поток обрабатывается прореживающим фильтром низших частот (фильтр — делитель) с получением в результате последовательности отсчетов необходиимой разрешенности.

#### 4.6.2 Цифровое кодирование.

Наше помимо, что в любом случае, после аналого-цифрового преобразования цифровой сигнал в устройстве, называемое кодиратором, подвергается специальной кодировке с целью его упорядочения в слова и предложений строго определенной длины, дополняется служебными символами, обозначающими начало слов и предложений, а также информацию о способе и объеме сокращений.

Прежде всего остается определить в пункте приема кодовой посылки начало кодового слова. Сама последовательность вполне беззапятых импуль-

сов сошает проблему формирования сигналов флаги. Конечно цифровые матрицы считать умеет и способна через нужное число импульсов определить, где кончилось одно и началось другое слово — брато все эти символы длины. Но любой сбой, а от этого не избежавшим и инциденты, ведет к невозможности читать текст дальше.

Поэтому начало каждого цифрового слова обозначается т.н. "флагом" — служебной комбинацией, состоящей из группы символов, служащие повторять которую с практической невозможностью или, точнее, ее крайне редко можно встретить. С флагом начинают читать и более крупное сечение явлений — цифровое предложение. Длительность цифрового предложения зависит от характера текста. В видео она определяется длительностью телевизионного поля. В звуке, если это не оправождение для кино и видео, исключаясь привязки по длительности предложения не столь очевидны. Однако они также определяются, например это 1 миллисекунда, принятая для цифрового радиовещания и цифрового звукового сопровождения в телевидении. Помимо флагов и кодовых комбинаций звуковых отсчетов цифровое предложение оснащает ряд служебных символов. Все это проясняется, как это уже было сказано в кадрах, роль которых цифровой технике чрезвычайно велика.

Цифровое сканирование, уплотнение, компрессия — это различные термины, определяющие одно и тоже. Конечная цель компрессии — вычеркивание всей избыточной информации. Теоретики предполагают утверждать, что звуковой сигнал — случайный процесс. Однако практически всегда последовательности отсчетов сигнала связаны с его присущими значениями. Такие связь называются коррелированными, в временном интервале, в котором можно проследить эти связи, называют временным коррелипции. Корреляционные связи могут быть достаточно длительны. Определение характера корреляции, можно с определенной точностью предсказать, каким будет сигнал через некоторое промежуток времени. Это означает, что вовсе не обязательно передавать всю информацию, а только ее наборочные значения и некоторые коэффициенты сканирования. Этим можно достигнуть существенной экономии по передаваемому потоку данных. В телевидении сканирование особенно актуально. Для звука это значение не столь велико из-за существенные меньшие потоков информации и более коротких корреляций. Тем не менее и здесь сканирование подразумевается.

Основная задача любой системы сканирования сводится к вычленению из, так называемой, постоянной составляющей передаче различия между

препринающей и последующей посылками. Этот процесс можно распространить на скорость изменения информации, ускорение и т. п. Несколько глубоко можно проникнуть в шоссные моменты считали и эффективно сжало его зависит от объема используемой оперативной памяти. Мы еще вернемся к роли памяти в цифровой обработке и, в частности, скажем о информации, но уже сейчас надо подчеркнуть, что это — решающий фактор.

В цифровых звуковых каналах записи, записи чисто прибегают к скажем по линамагнитному диску — к обходе алгоритмов компрессии. Такая компрессия производится простым вычеркиванием части битов кодовых слов, которые считаются несущественными. Они, в принципе, восстанавливаются на грампластинке. Вся эта строится на различном «удалении» битов разных разрядов. Так, ошибки в битах мицелий разрядов, несущих информацию о малых уровнях звукового сигнала, менее заметны, чем ошибки в битах с информацией о громких звуках. Можно привести такой пример. Бит самого младшего разряда влияет на конечный результат не более, чем одна часть из 65000 нечетных символов (при 16-битовом квантовании). Если можно говорить о заметности таких искажений, то лишь в случаях очень «твёрдых» и тихих пассажей. Для громкого звука или быстрых переходов подобные потери никакой роли не играют.

Сам процесс сокращения кодовых слов начинается со старших битов, то начальный всегда игнорируется, поскольку несет знаковую информацию. Следующий, если он совпадает со старшим, вычеркивается. То же делается и далее — вычеркиваются все последующие одинаковые значения. Случай, когда из 5 старших битов кодового слова одинаковы последовательно часто встречается, поэтому уже этот примитивный процесс достаточно эффективен. Процесс вычеркивания может быть продолжен. Однако действия устройства компрессии или кодера должны быть сообщены приемной стороне — декодеру. С этой целью и состав кодовых слов (приложения) включает машинобные коэффициенты.

Еще одна ступень — защита информации. Цифровой поток однотипных импульсов может поглощать поражение в любом месте. Выпадение сигналов в звукозаписи из-за дефектов носителя неизвестно читать. В аналоговых системах с этим надо считаться, но и только! В цифровых системах можно активно противостоять ошибкам. Защита от ошибок это специфика цифровых систем и сводится она к внесению в цифровой поток специальных символов защиты. Самая простая система —

проверка кодового слова на четность. Есть более сложные системы защиты, связанные с введением специальных символов. Их положение в кодовом предложении, связь со временем сходных элементов, являются всей информацией о достоверности предложенного. Если посылка признается ошибочной, кодовое слово или предложение заменяют, предшествующим или пропускают интервалами по нескольким соседним элементам. Эта операция связана с уже упомянутой коррелированностью звукового сигнала.

Еще одна операция, спаянная с кодированием, обес печивающая его защиту от ошибок. Это перемежение или скремблерование. Любые каналы передачи вносят огражденные искажения. Ошибки — это неизбежное, но в цифровых системах борются с ними можно.

Перемежение или скремблерование — это один из способов, если не избежать ошибки, то ее замаскировать. Самые непредвиденные, а при записи особенно, — групповые ошибки, когда всплывает достаточно длинный и связанный во времени кусок. По известному правилу на первомющем и принимающем концах исходную информацию перемешивают так, что каждый бит звуковой информации занимает в предложении как бы случайное положение. Все соседние элементы после перемешивания никак не связаны с ним. Колебание перегибаний попытки преследует несколько целей. Одна генерирует сигнал в шумоподобный, что делает спектр сигнала близким к равномерному. Другая позволяет разнести биты конкретного Кодового слова по всему предложению случайным образом. Если групповая ошибка, возникшая, например, при записи из-за шарнира, разрушает звук на определенном участке, то перемежение до записи превращает эту довольно непрятную ошибку в набор хаотически разбросанных коротких импульсов, ухудшающих, конечно, восприятие, но не их риски, как выведение.

За результирующими (флаговыми) идут, обычно, биты управления, а также дополнительной информации. Для разных систем эти группы битов различны, но они несут важную информацию о том как, где и что можно читать. В частности, стереофонический сигнал передается в одном цифровом потоке поблочно. В преамбулу, а также в концевые слова информационного блока, могут вводиться символы обнаружения и защиты от ошибок. Наиболее простой способ обнаружения ошибок основан на проверкой на четность определенной группы кодовых символов. Применяются и более изощренные методы. Самая простая модель действий, после обнаружения ошибки — замена пораженного участка

издущающим. Это возможно именно потому, что близкое прошлое и будущее друг от друга отличаются мало. Такой подход оправдывает себя при трактовке очень широкого, почти неограниченного объема событий. Возможны и более сложные выходы, связанные с анализом поведения сигнала в нескольких прецессирующих выборках. Здесь еще точнее удается предсказать первоначальное значение сигнала. Надо сказать, что предсказание требует достаточно развитой операционной памяти. Чем больше объем информации хранится в таковой памяти, тем точнее предсказание.

После пресмуты ищут кодовые слова информационного блока. После канального кодирования, перемежания и других операций, в том числе связанных с вычеркиванием необязательной части информационного потока длина кодовых слов может и практически всегда отлична от той, которая формируется при цифро-аналоговом преобразовании. Тем не менее разница на кодины слова остается. Выигрыши получили авторы на конкретных системах перечисли звукового предложения, однако в целом формирование кодовых слов и предложений в любой цифровой системе происходит по схожим правилам. Различия возможны, но они относятся к деталям.

Процесс обратного преобразования последовательности полученной в аналоговом сигнале называется **цифро-аналоговым преобразованием**, а устройства для его осуществления — цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП).

На выходе ЦАП получается ступенчатый аналоговый сигнал, величина ступенек которого равна численному значению соответствующих отсчетов. Чтобы из ступенчатого сигнала получить гладкую кривую, его необходимо пропустить через фильтр высших частот.

Ницровой звук — это надо помнить — дорогое удовольствие. Вместо полосы в 20 кГц аналогового сигнала для звуковой мышки цифрового звука требуется в пол сотни раз больше. Схипы и другие ухищрения позволяют снизить потребную полосу в несколько раз, но это не возвращает в аналоговое русло. Так почему же цифровая техника упорно внедряется в практику? Естественно, что у нее есть определенные преимущества, существенные и ценности цифровых технологий, несмотря на их расточительность по полосам частот, энергопотреблению и другим факторам. Вернемся, совершенствование технологии цифровых микроядер практически уже стало обвинением цифровой техники в излишествах по энергопотреблению и ряду других технико-экономических факторов.

Для любого аналогового сигнала помехи и искажения — беда. Цифровой сигнал — это последовательность импульсов. Их формируют поглощально и потеряя их форму из-за шума или нелинейных искажений и каналов передачи практически не влияет на качество принятого сигнала. Импульс может быть искажен, но для системы важно принять простое решение: наличествует импульс или отсутствует. Более того, приняв решение, что импульс поступил, любая цифровая система немедленно регенирирует его, копирует, восстанавливает этот импульс в его первоначальной форме. Утилизация формы и упрощенность передачи информации — важные преимущества цифровых систем. За этим уже говорилось, скрывается возможность обнаружения ошибок и восстановления потерянной информации.

Аналогоевые системы чрезвычайно консервативны и в качестве главного условия нормального функционирования требуют сохранения формы сигнала во всех преобразованиях. Цифровые, напротив, от столь формальных ветоей не зависят: Их суть в «да» или «нет». Страго говоря, переход к цифровым представлениям и последующее восстановление звука теоретически можно выполнить так, что сигнал на выходе будет неподличим от сигнала на входе. Но все это только теоретические посылки. В действительности разницы есть и она слышна. Надо сказать, что в нашей стране, да и за рубежом, есть немало профессиональных звукорежиссеров, не приемлющих цифровой звук, как слишком жесткий. Вернемся, положение времелана предъявляет и к транзисторным усилителям монстры. Не случаен последний зарыв интереса к ламповой аппаратуре звуковых студий. Многие считают — и к этому следует отнести серьезно — что ламповая аппаратура дает мягкий, более приятный звук.

Этим зачечанием хотелись бы обратить внимание на важную проблему соотношения нового и старого. Без сомнения, цифровые системы обработка звуковых сигналов перспективны и, вероятнее всего, будут доминировать в будущем, но и, казалось бы, устаревшие и склонные к системам, сохраниют ресурсы жизнеспособности, достаточные для их эффективного развития.

#### 4.6.3. Цифровая магнитная запись на магнитные носители

При переходе от традиционной аналоговой звукотехники к цифровому способу передачи сообщений и к записи звукового сигнала в цифровой форме требуются, естественно, совершенно новые подходы к разработке аппаратуры. Существуют цифровые магнитофоны разных конст-

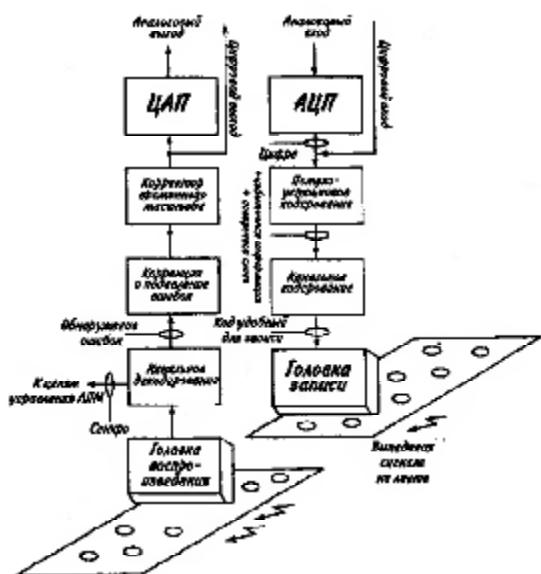


Рис. 98. Структурная схема цифрового магнитофона.

рукций: с продольной многошарежечной записью с неподвижными головками, а также с пакетно-строчной записью, осуществляемой вращающимися головками. Однако есть принципы, остающиеся общими для всех цифровых магнитофонов, в каком бы формате они не работали. Обобщенную схему, иллюстрирующую эти принципы, можно увидеть на структурной схеме, представленной на рис. 98.

На входе любого цифрового магнитофона даже последних выпусков имеется преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму. Затем выполняется уже расшифровка нанесенных перекодировок с целью повышения помехоустойчивости, о чем говорилось выше. Затем выполняется канальное кодирование. Цель канального кодирования — приспособле-

ние информационного потока к конкретному каналу. С габаритами канального кодирования, если это надо, информацию распараллеливают, разводят на несколько дорожек синхроформата. Разумеется это связано с усложнением аппаратуры. Воспроизведение записанной в цифровом виде звуковой информации происходит в последовательности, обратной процессу записи.

Считанный головками воспроизведение кодированый сигнал поддается канальному декодированию. Продцес воспроизведения цифровых сигналов сопровождается обнаружением ошибок и их корректировкой.

Известны две основные факторы, которые загружают решение проблемы записи и воспроизведения цифровых сигналов — это выпадение сигнала (Drop out) и колебания скорости магнитной ленты (детонация). При записи цифровых сигналов, которая отличает очень высокая скорость (достигающей 1000 бит/км), выпадение склоняется куда заметнее, чем при аналоговой записи. Действительно, для записи одного бита требуется отрезок ленты около 1 микрона.

Поэтому даже микроскопические дефекты рабочей поверхности магнитных головок или шпиндельной ленты, а также мгновенные нарушения контакта между головками и лентой могут вызвать потерю многих бит. Надо сказать, что в процессе эксплуатации ленты число параллельных участков с осипающимся порошком, нарастает, что делает работу с магнитом все более актуальными.

Упомянутое выше добавление набыточной информации и проверочных слов, с помощью которых ошибки обнаруживаются, и повторяются коррекции, частично решает проблему. Однако такие потери, как выпадения, практически полностью не устранимы, но их влияние можно существенно снизить, используя цифровые методы. В случаях, когда кор-

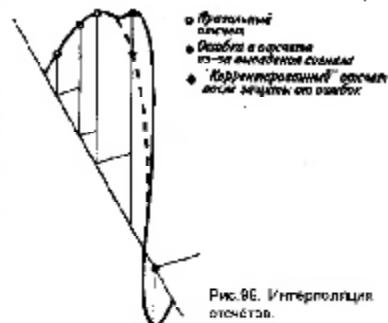


Рис. 96. Интерполяция отсчетов.

рекции неизбежна, ошибки подавляются (маскируются), путем интерполяции отсутствия. Один из возможных принципов интерполяции поясняется рис. 99.

В цифровой магнитной записи, кроме того, используются специальные схемы — корректоры временных искажений (их еще называют корректорами временного масштаба). Основа корректора — блок оперативной памяти или спиральное запоминающее устройство (ОЗУ).

Хотелось бы сказать несколько слов об этом устройстве, хотя читатели вероятно давно насыщены о нем.

В цифровой технике есть два устройства, роль которых надо признать ведущей. Это, во-первых, процессор — управляющее звено всей системой и оперативная память, функция которой не менее важна, т. к. она поставляет процессору необходимую для его работы информацию. В данный момент важно отметить одну принципиальную особенность ОЗУ любых систем — это возможность выборки любой находящейся в памяти информации в пределах одного такта работы машины. Именно на это и указывает слово «оперативная».

Считывающий сигнал проходит через ОЗУ корректора, которое выполняет функцию управляемой линии задержки. Объем ОЗУ достаточно велик, чтобы хранить звуковой сигнал в несколько миллисекунд и даже десятков миллисекунд. При обнаружении групповой ошибки, не поддающейся исправлению с помощью проверочных кодов, начинается процесс сравнения информационного блока поровнянского участка с предшествующими и последующими блоками. На основании этого сравнения принимается решение о характере текущих изменений сигнала и вероятных значениях кодовых слов испорченной посыпалки. На основе этих данных процессор корректора вычеркивает пораженный участок, заменяя его на интерполированный.

Современные цифровые магнитофоны обладают высоким качеством и параметрами их совершенно недостойными для аналоговой аппаратуры. Однако, следует заметить, что схемы цифровых магнитофонов достаточно сложны и требуют применения самой совершенной электроники. В настоящее время наибольшее распространение в студиях звукозаписи получили кассетные цифровые магнитофоны в формате DAT (от английского digital audio tape).

Запись в них производится зрачивающимися головками на ленте шириной 3,81 мм в конечном размере 73 × 54 × 16,5 мм. Записывающие и воспроизводящие головки расположены на диске, вращающемся с большой

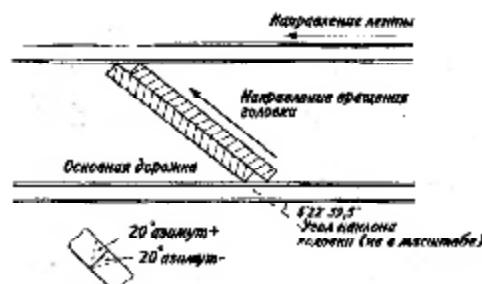


Рис. 100. Формат DAT.

той скоростью внутри цилиндрического барабана с пазом по всей его окружности.

Магнитные ленты охватываются барабаном по питевой линии. Рабочие поверхности головок слегка выступают за пределы внешней цилиндрической поверхности барабана и входят в социклирование с лентой. При движении ленты и вращении диска головки протягивают на ленте наклонные линии — строчки. Поэтому такой способ записи называется наклонно — строичным. Так как вращение диска, на котором установлены головки, практически равно по направлению движению ленты, относительная скорость записи весьма велика. Это делает возможным записывать частоту, нежели в аналоговом совершенство недоступном для записи на обычных для аналоговых магнитофонов скоростях движения ленты. Расположение строчек на цифровой фонограмме формата DAT изображено на рис. 100.

Важным достоинством цифровых магнитофонов является стабильность их характеристики. У аналоговых магнитофонов по мере старения головок качественные показатели ухудшаются. Для поддержания ширине головок магнитофона в допустимых пределах приходится применять специальную профилактику, регулировку и подстройку. А вот качественные параметры цифрового магнитофона весьма стабильны.

И наконец, нельзя не упомянуть об одном из серьезных недостатков аналоговой записи, отсутствие которого у цифровых аппаратов является их очень серьезным преимуществом, коротко уже упомянуто выше. Речь идет

о накоплении помех и искажений при перезаписи. Практически каждая перезапись ухудшает характеристики пищущей фомограммы примерно на 3 дБ. Этот недостаток в цифровой записи исключен почти полностью, от чисто-ли последовательно сделанных копий качество звучания практически не зависит и сохраняется тем же, каким оно было в оригинале.

Улучшение качества звучания фонограммы — безусловно является основной целью создания цифровых магнитофонов.

Износ магнитной ленты и возникающие в процессе воспроизведения первичномерности ее контакта с головками оказывается и на аналоговых и на цифровых магнитофонах. Однако, в цифровой записи имеются широкие возможности коррекции в системах защиты от ошибок, что позволяет сократить искажение качества звука. Зато надо при этом помнить, что в тех случаях, когда ошибка выходит за пределы доступной коррекции, качество сигнала ухудшается очень резко, что линия становится совершенно непроязываемой. То же самое относится и к максимальному превышению уровня сигнала над допустимыми пределами. Если при аналоговой записи случайные кратковременные перегрузки магнитной ленты, не превышающие 2–3 дБ, спушкальность искажения не заметна, то при записи цифровой, в этих случаях возникают настолько заметные искажения, что не заметить их невозможно. Именно из-за этого, звукопрежиссе-рия практике, при цифровых записях, вынуждены более тщательно контролировать и поддерживать уровень записи с помощью тональностью, предусматривая измерительную задатку на случайные перегрузки ("headroom").

Преимущество цифровой аппаратурой, в том числе магнитофонов, как это странно, если обратить внимание на явное усложнение, сервисное обслуживание аппаратуры окажывается заметно проще, а диагностику неисправностей современная техника измерений превращает в автоматическую процедуру. В цифровых магнитофонах очень мало узлов, которых требуют периодической регулировки. Вообще говоря, при нормальной эксплуатации магнитофона она может не потребоваться вовсе.

До сегошнего дня, к сожалению, единственный стандарт на параметры стиков аппаратов разных производителей цифровой аппаратуры не стандартизован и в конструкциях магнитофонов разных фирм, предусматриваются разъемы для подключения внешних устройств с помощью интерфейсов, разных форматов: AES/EBU, S/PDIF, SPDIF и др. Это крайне неудобно, но с этим приходится считаться.

Выше мы не говорили о требованиях к магнитной ленте для цифровой

записи звука. Они существенно отличны от тех, что известны по аналоговой записи. Самое главное в том, что в цифровой записи не требуется, а даже просто не желательно, полобис. Нужны материалы, штампованные из которых имеет упругость, практические параллельные вертикальной оси. Такая форма краевой близка к характеристике переключателя. Именно это и нужно в цифровой технике. Такую характеристику имеют металлы перегибаемой группы и их сплавы. Именно, в частности и из-за этого, появилась металлизированная магнитная лента. Металлизация осуществляется несколькими способами. Это может быть осаждение металла на основу в специальных ваннах с использованием химических процессов. Разработан и широко используется в производстве лент процесс вакуумного напыления. И, наконец, применяется металлогорючевая лента, по своим рабочим характеристикам близкая к ленте, используемой в форматах видеозаписи VHS-8 и Hi-8. Производство магнитного порошка для магнитного слоя цифровой ленты требует довольно сложной технологии. Но главная в подробности химического состава порошка, заметим, что очень важный моментом является обработка порошка для придания ему антикоррозийных свойств. Сложность состоит в том, что частицы металла имеют микронного размера, обладают высочайшей химической активностью и необходимо принять меры по защите яи от коррозии. Поэтому каждая частица металлогорючика покрыта защитной пленкой. В оставшемся производстве магнитных металлогорючевых лент близко к классическому процессу основу покрывают суспензией магнитных частиц и связующего материала.

#### 4.6.4. Запись на дисковые носители информации.

Все носители информации можно разбить на два больших класса в зависимости от способа доступа к данным. Это во первых — носители с последовательным или линейным доступом к данным. Английское их обозначение Sequential Access Media или Linear Access Media. В этих устройствах для того, чтобы перейти от одного участка данных к другому, нужно перемотать все данные, лежащие между этими участками. Классический пример — лента на магнитофоне.

Второй класс — устройства с произвольным доступом к данным. На английский язык это переводится — Random Access Media. Их ещё называют Non-Linear Access Media (носители с Нелинейным доступом к данным). В этих носителях доступ к любому другому участку данных выполняется за счёт переназначения читающего элемента по кратчайшему пути. Классическим примером устройства произвольного доступа

го доступа можно считать граммофонику.

Ещё совсем недавно вся технологическая цепочка звукозаписи и звукового вещания была основана целиком на использовании в качестве носителя записи магнитной ленты 6,3 мм.

Появившиеся в последние годы станции цифрового монтажа и обработка звука, и цифровые видеотехнические станции, являясь яркими представителями компьютерной технологии, вытеснили монополизм традиционных технологических методов звукозаписи, подготовки материала для издания и собственно процесса вещания. С момента инвестации компьютерной технологии в звуковую промышленность, за смену ленточных носителей пришли — носители дисковые, т. е. имеющие в приложении доступом к данным.

Диски, используемые в звуковой индустрии, можно разбить на три группы: магнитные, оптические и магнито-оптические.

По сравнению с лентой, дисковые носители представляют ползователю ряд полезных возможностей.

Как уже было сказано, ленточный носитель — это последовательно организованная память, в которой нужный фрагмент можно найти, перемотав всю запись. Дисковая память позволяет это сделать быстрее и изящнее. Информация на диске организуется (стичинками, в цифровой форме), не непрерывно, а порциями (блоками) в виде концентрических дорожек, каждая из которых состоит, в свою очередь, из секторов (блоков). Каждый сектор информации хранится на диске, однозначно адресуясь номером дорожки и номером сектора в дорожке. Здесь для поиска нужного фрагмента перемотка не нужно, а, т. н. время доступа к нему зависит от времени переключения наклонения головки, перемещающейся в радиальном направлении над поверхностью вращающегося диска и ожидания того момента, когда необходимый участок врачающегося диска "попадет" под головку. По сравнению с ленточными системами — поиск практически мгновенен.

На этом основана система недорогого монтажа (о них речь пойдет ниже). Компьютеризация систем обработки видео и звука во многом связана с возможностями вспомогательных систем, в основе которых лежит дисковая память.

#### 4.6.5. Жесткие магнитные диски

Это основные устройства памяти современных компьютеров. Важную роль они играют в цифровых рабочих звуковых станциях, в гостелевое-

время на их базе конструируют компактные аппараты специально для записи и монтажа звука. Жёсткий диск — это круглая металлическая пластина из алюминиевого сплава (алюминия), с магнитным покрытием. Диаметр — 3,5 дюйма. Миниатюрные магнитные головки стартаны, запись и считывание размещены на каретке, перемещающей их в радиальном направлении. Для того, чтобы читать или записывать звук в реальном масштабе времени, скорость вращения диска должна быть очень велика. Для таких скоростей для нормальной работы необходима очень прецизионная механика. И кроме всего выпонить это удаётся, если носитель информации и устройство для записи/чтения представляют собой единое целое. Такая совместная конструкция и носит название накопителя, или жёсткому магнитному диску (Hard Disk — хард-диск). У него есть ещё одно, сохранившееся со времен первого жёсткого диска название — винчестер. В основном, это внутренние устройства цифровых систем. Но часто используют и как внешние, когда требуется существенно расширить память. Самые дисковые модули: конструируются так, чтобы можно было просто заменением увеличивать объём памяти. Сейчас, особенно с подключением внешних блоков, общий объём памяти может достигать гигабайт, десятки и сотни гигабайт, терабайт. Если это сократить с объёмами программного времени, то речь идет о часах и даже сутках накопленных звуковых программ. (Два спички: 1 гигабайт это три часа монолиты).

#### 4.6.6. Оптическая система звукозаписи

Фотографическая запись, о которой мы уже упоминали, когда-либо речь об аналоговой записи, строго говоря, — один из возможных вариантов оптической записи сигналов, выдаваемых только специфическими особенностями носителя. Но с появлением лазеров многие особенности электромагнитных волн видимого диапазона стали доступны для новых видов практического применения. Излучение лазера можно сфокусировать в пятно, размеры которого менее микрометра. Причем при переходе от красной части спектра к синей доступная плотность записи возрастает на порядок. По теоретической плотности записи оптическая превосходит все до сих пор известное в сотни и тысячи раз. Причем речь идет о поверхностной записи. Особенность оптики в том, что она, в принципе, допускает объемную запись, где миллиметровое возрастание плотности — только пачка. Это не экскурс в будущее. Уже разработаны и стандартизованы двухслойные оптические диски, предложены и вот-вот будут реализованы многослойные — к примеру из 10 слоев. Ведутся се-

ральные эксперименты по гигиографической записи, где 100 слов — только начальная перспектива. Таким образом, оптическая запись информации, в потенции, сущит накопление колоссальных информационных массивов, буквально компактно упакованных.

Естественно, звукозапись мимо столь интересных возможностей не пропала.

Всем в настоящие времена хорошо знакомы изготовленные в заводских условиях, устойчивые к внешним воздействиям, удобные в обращении звуковые компакт-диски (CD). Если сравнивать компакт-диски с традиционной аналогичной грамзаписью, становится заметным множеством их преимуществ. При стандартизованных для CD параметрах аналогично-цифрового преобразования звукового сигнала (44,1 кГц — частота дискретизации и 16-битное разрядное квантование) это, прежде всего, — высокое качество звука. Поскольку считывание оптической и без механических контактов, компакт-диски практически не изнашиваются. При малых размерах, доступное время воспроизведения звуковых программ заметно превосходит всё возможное для механических систем. Не удивительно, что компакт-диски быстро завоевывают потребительский рынок, вытесняя с него обычные грамзаписи.

Стартом на рынке бытового воспроизведения звука, компакт-диски постепенно стали северять и профессиональную звукозапись, потому что в них принципиальную и привычную магнитофонную запись Сверживающие началом было на первых порах то, что подобно грамзаписи, компакт-диски предлагали неизменскую программу, тиражируемую с помощью пресса. Но затем, появление дисков с возможностью вначале однократной, а затем и многократной записи существенно изменило ситуацию. Широкие возможности автоматизации процессов воспроизведения цифровых компакт-дисков, благодаря использованию в них кодов управления и отображения информации, а также малому времени доступа к заданному фрагменту фонограммы, стати, если и дополнительные, но весомые аргументы профессионального применения лазерных дисков в звуковых студиях — фонодисков, радиовещания и телевидения.

Прежде, чем предложить тему полезно о лазере — приборе, который у всех на слуху, говорить подробнее. С каждым годом его роль и значение все более возрастают. Термин «лазер» — это аббревиатура английской фразы *Light Amplification Stimulated Emission of Radiation* или по нашему «вынужденное излучение света с усилением». Что такое лазер, понять трудно,

до тех поры специальную подготовку. Но есть хорошая аналогия, позволяющая специалистам по звуку представить, что может скрываться «за ты» нужденным излучением. Представьте большой, просто колоссальный симфонический оркестр в сцене, превышающем численность живущих на Земле людей более, чем в миллион миллиардов раз. При этом каждый исполнитель не считается с окружающими и играет, что захочет и как захочет. Какофония — слабое определение этого выступления подобного коллектива! Естественно, световое излучение нагретых тел, — результат столь же неспонтанной деятельности неспециализированных источников. Директор превращает совокупность исполнителей в оркестр. Оптический рэйттер лазера стимулирует или, по иному, заставляет шинуть вНогу все оптические опцилляторы. В итоге лазер отличается от обычных источникников света, как регулируемая арматура от геймера!

Обычно, лазер — источник монохромного излучения или, по иному, с одной длиной волны. Причём, это источник направленного излучения или, по оптической терминологии, точечный. Теории показывают, что излучение монохромного точечного источника можно сфокусировать в пучко, размер которого близок к дифракционному пределу — диаметр в половину длины волны, и это в оптическом диапазоне заметно менее микра.

Отсюда и следуют уже упомянутые орбиты плотности записи. Возможно, фокусировка лазерного излучения имеет еще одно следствие, на которое мы в дальнейшем будем ссылаться. Мощность сфокусированного излучения лазера возрастает пропорционально отдалению плоской зоны излучения и фокусированного пучка. Поэтому не стоит увлекаться температурой в миллиметрах греющих в фокальном пятне даже миниатюрных лазеров.

Оптическая логика начинается (при записи) и завершается (при воспроизведении) с помощью луча миниаторного телевидения лазера ( поэтому компакт-диски часто называют «дисками из пластиковых линз»). В качестве носителя записи используется диск из специального прозрачного пластика стандартного диаметра 120 мм и толщиной 1,2 мм. Однако надо помнить, что сейчас предложены и вероятно скоро найдут применение диски из стекла.

При записи фонограмм на компакт-дисках применяются специальные методы цифрового кодирования, которые позволяют минимизировать ухудшения сигнала в случае повреждения носителя.

Упрощенная схема оптической системы записи представлена на рис. 101.

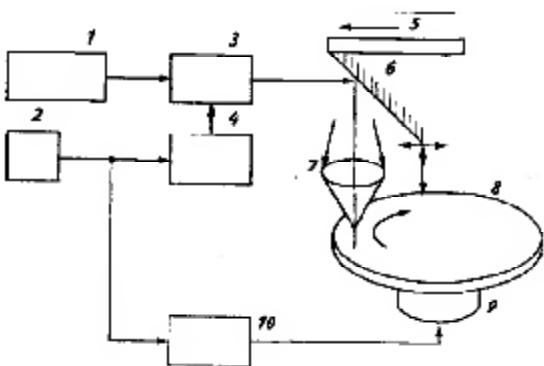


Рис. 101. Спиральная запись на компакт-диске:  
1 — лазер; 2 — источник цифрового звукового сигнала; 3 — модулятор света; 4 — устройство сопряжения; 5 — привод оптической системы (линзы); 6 — зеркало; 7 — подвижная линза; 8 — диск с рабочими системами; 9 — привод диска; 10 — система автоматической регулировки

Луч лазера фокусируется с помощью специальной линзопризменной оптической системы и наносится цепью на поверхности вращающегося диска. При каждом из малой мощности излучения (горизонт мишикет), сфокусированный луч в состоянии испарять легкоплавкий материал поверхности диска присущую стотысячную долю секунды. Модулятор света преобразует непрерывное излучение в перепеваемый с большой скоростью поток импульсов. На рисунке модулятор показан как имеющее по отношению к лазеру устройство. Странно говоря, в аппаратуре записи на компакт-диски практически используются полупроводниковые лазеры, в которых модулируемый сигналом тока, проходит через лазерный диод, это — пример внутренней модуляции. В процессе испарения материаланосителя формируются микроминиатюрные хратры — углубления овальной формы шириной 0,6 микм и глубиной около 0,1 микм. Для сравнения заметим, что диаметр человеческого волоса примерно 50 микм. Эти углубления называют гравирами. Условно эти в цифровом коде соответствуют логической единице, где отсутствие — нуль. Путь расположены по спирали подобно звуковой дорожке на обычной грампластинке. Однако эта спираль начинается от внутреннего края диска и раскручивается к краю, шаг между двумя соседними дорожками около 1,6 микм. В целом на компакт-диске умещается 41250 дорожек.

Считывание информации с компакт-диска также производится с помощью лазера. Но мощность лазера, необходимая при считывании, может в быть в сотни раз ниже используемой при записи (нет необходимости испарять материал!).

Считыванием лазер проигрывателя компакт-дисков обвещает фонограмму снизу (рис. 102) и его луч отражается от непротонутой поверхности диска и рассеивается на углублениях (гравиях). Отраженный луч направляется на фотодиод, который воспринимает сигнал. В то моменты, когда луч рассеивается поглощает свет. Полученная таким образом логичная информация, снимаемая с выхода фотодиода, соответствующим образом обрабатывается и преобразуется в звуковой сигнал. На поверхность компакт-диска нанесен прозрачный слой, защищающий записанную информацию от возможных повреждений. Между считыванием устройством и диском нет механического контакта — в этом винтаже преимущество оптических дисков, поскольку отсутствуют механические повреждения, характерные для магнитной записи из-за контакта между головкой и магнитным материалом.

Оптические головки записи/считывания содержат лазер, подвижную линзу и систему слежения за дорожкой. При вращении диска расстояние между оптической головкой и диском из-за вертикальных биений может меняться. Перемещение линзы необходимо, чтобы в любых условиях поддерживать точную фокусировку луча. Этими перемещениями управляет специальная система автоФокусировки. Микроенес размытия сфокусированного луча лазера и ширины дорожки ставят еще одну непре-

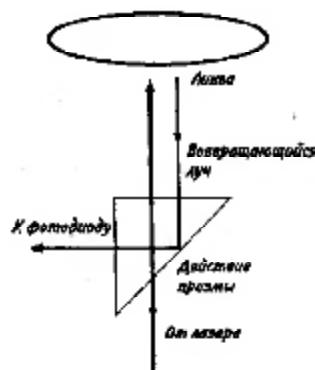


Рис. 102. Упрощенная схема считывания информации с компакт-диска

тую задачу точного определения позиции светового пятна на дорожке. Это задача решается системой автоматического слежения за дорожкой. При изготовлении компакт-дисков их формирует - наносят специальный спиральный профиль. Дорожка запись расширяется между соседними витками этого профиля. Допплеровский луч овещает профиль, при этом отраженный сигнал изменяется по уровню при смещении пятна в радиальном направлении. Изменение яркости следящего пятна и является сигналом ошибки для системы слежения.

В процессах записи, считывания или поиске требуются фрагменты фонограммы. Оптическая головка перемещается в радиальном направлении. Это обеспечивается сервомотором. Положение внутренней дорожки, с которой начинается запись, отслеживается автоматически. При радиальном перемещении считающего устройства ведется счет пройденных дорожек; при этом считающее устройство можно быстро установить на любую из 41250 дорожек. Диаметр внутренней дорожки 50 мм, а внешней 116 мм. Таким образом, длина дорожки, приходящейся на один оборот диска, непрерывно меняется. Это обстоятельство необходимо учитывать. Чтобы сохранить постоянной линейную скорость перемещения светового пятна центр дорожки или, что тоже самое, пропущенную плотность записи надо менять частоту вращения диска, снижая ее примерно с 500 об/мин на внутренней дорожке до 200 об/мин на внешней. Частота вращения определяется специальной схемой управления по тактам импульсом, появляющимся при пересечении следящим световым пятном формирующего профиля. По этим импульсам определяется номер дорожки, с которой ведется считывание.

Следующая проблема — запись и воспроизведение стереофонической программы т.е. двух каналов левого и правого. На компакт-дисках применяется способ «многократной записи информации» от двух каналов на одну дорожку.

В связи с тем, что плотность записи (количество знаков, несущих информацию, на единицу длины дорожки записи) в цифровых лентах очень велика, даже самые незначительные ляфекты рабочей поверхности диска или попавшие на нее пылинки могут привести к ошибкам считывания информации и к заметным искажениям воспроизведения. Поэтому для защиты от ошибок при записи компакт-дисков используется специальное корректирующее кодирование, дающее возможности обнаруживать и исправлять ошибки кода непосредственно в процессе воспроизведения. Даже крупные ошибки, вызванные, например, параллельными повреждени-

ми до 2,5 мм дорожки на диске, с помощью такого кода автоматически восстанавливаются и не влияют на качество воспроизведения.

Звук на компакт дисках записывается в виде последовательности цифровых линий. Не раз можно записать цифровой звук, то можно записать и любые цифровые данные. С точки зрения компьютерной технологии любой компакт-диск представляет собой массив информации, который можно читать, но нельзя записывать. На компьютерном языке это обозначается сокращением ROM (read only memory) — память только для чтения. Поэтому для компьютера любой компакт-диск (в том числе и звуковой) представляет собой CD-ROM, то есть память для чтения (но не для записи). Здесь мы видим один из примеров того, как звуковая технология пришла в компьютерную, а не наоборот.

Информация на оптическом компакт-диске может быть представлена в различных форматах (CD-DA, CD-ROM, CD-I).

Для домашнего проигрывания, да и для радиовещания чаще всего используются компакт-диски в формате CD-DA. Английское сокращение CD-DA (compact disk — digital audio), или по иному — CD-Audio, обозначает именно звуковой компакт-диск.

В этих случаях, для их воспроизведения используются CD-плееры (проигрыватели компакт-дисков). Они могут быть профессиональные или бытовые, но все их отличие состоит только в изложности. Качественные характеристики звука при воспроизведении определяются, в основном, компакт-диском, а не плеером.

В компьютерной технологии также существуют свои устройства для использования компакт-дисков. Эти устройства носят название CD-ROM приводов и устанавливаются они непосредственно в системный блок персонального компьютера.

Как правило, CD-ROM привод имеет два режима работы. Во-первых, он может работать, как обычный CD-плеер, то есть проигрывать звуковой компакт-диск. Для этого же кортусе у привода имеется аудиогенный стереовыход на головные телефоны. Во-вторых, компьютер может считывать с компакт-диска цифровые данные. В этом режиме многие современные CD — ROM приводы поддерживают 2-х, 4-х, 16-и, а иногда даже и 52-х кратную скорость вращения диска, что позволяет считывать данные во много раз быстрее.

Например, для копирования звукового компакт-диска, со стандартным звучанием 74 минуты, на жесткий магнитный диск требуется обычно около 5 минут времени.

При чтении (но, не проигрывании) звукового компакт-диска с использованием CD-ROM привода, цифровой звук попадает на т. н. звуковую карту компьютера, где, после цифро-аналогового преобразования поступает на выход в виде аналогового сигнала стандартного уровня. Такой путь сигнала позволяет выполнять функции обычного проигрывателя компакт-дисков.

После первичной оптической записи для тиражирования оригинала выполняется целый ряд технологических операций. Производственный процесс изготовления партии компакт-дисков для потребителей достаточно сложен, требует специального оборудования и производится в жестких условиях.

#### Записываемые компакт-диски (CD-R)

Однако, наряду с промышленным способом массового изготовления компакт-дисков тиражированием, в настоящее время применяется и аппаратура цифровой считывательской записи по шифрую пластинку. Это оборудование, получившее название CD-Recordable (CD-R), т. е. рекордер компакт-дисков, используется для записи специальные записываемые диски CD-R (буква "R" в этом случае означает Recordable — записываемый), которые имеют внешний вид как и обычные компакт-диски, но отличаются тем, что имеют покрытие из специального легкоплавкого материала. Если на этот слой нанести луч мощного лазера, то на нем выжигаются углубления идентичные тем пятам, что нанесены на поверхности обычного компакт-диска. Метод записи основан на нагревании материала и необратим в принципе. Потом, с помощью того же лазера, по наименьшей мощности, эта записанная информация может быть считана.

У пользователей появляется возможность выпускать интимные или мелкосерийные звуковые диски. Именем их компакт-дисков снабжаются музыкальные библиотеки, что довольно пидулько в мире.

Системы СДИК сегодня, пожалуйста, когда речь идет о формировании архивов звуковых материалов; ведь в один компакт-диск вмещается до 80 минут записи, доступ к воспроизведению любого фрагмента практически мгновенный, в срок хранения фототреков, степенью по этой технологии, по признанию специалистов, достигает 100 лет.

На компакт-диске могут быть записаны любые треки, но главное это различные музыкальные фрагменты, которые могут быть использованы для эпизодов гендерации и радиовещания, в рекламных роликах.

Современные рекордеры имеют небольшие размеры (как CD-ROM

привод), доступны по цене и, следовательно, получают все большее распространение.

Как правило, современные рекордеры поддерживают большое количество форматов данных, в том числе и CD-Audio, т. е. могут записывать информацию в формате звукового компакт-диска. Такие диски могут также быть воспроизведены на любом CD-плеяере.

В некоторых случаях, прибегают к записи звуковой информации на дисках в форматах CD-ROM в виде компьютерных файлов. Правда воспроизвести такие записи можно только с компьютера. Широко распространенный в радиостудиях CD-плеяер в этом случае бесполезен.

Но, например, для создания профессиональных архивов аудиоматериалов. Европейский радиовещательный Союз (EBU) стандартизовал специальный формат хранения аудиоматериалов — "BWF", на базе компьютерных WAVE — файлов, имеющих присущество по удобству хранения архива в специальных, имеющих большую память серверах, а также обладающих дополнительной защитой информации от возможных потерь, и при этом сжатию хранения.

А любители записей, не прельгающиеся слишком жесткими требованиями к качеству звучания, часто для создания домашних фонотек, а также для обмена звукозаписями по Интернету, используют компьютерный формат MP3 — сокращение от MPEG Layer3, в котором, благодаря сжатию (компрессии) данных, в обычного размера (120 мб) компакт-диск можно уместить десятки часов музыки.

Принцип сжатия данных основывается на т. н. аддитивном кодировании, позволяющим экономить место на диске за счет пропуска вычеркивания из цифрового потока части пылинок различных, с точки зрения восприятия человеком, слабых звуков. Так, например, учитываются такие особенности человеческого слуха, как эффект маскирования стабильных сигналов линейками чистого более интенсивных сигналов диапазона, или воздействие предыдущего момента сигнала, вызывающее временное понижение чувствительности уха к сигналу текущему. Принимается во внимание также неспособность большинства людей различать сигналы, лежащие по интенсивности ниже определенного уровня, причем разного для разных частотных диапазонов.

Степень сжатия, и, соответственно объем дополнительного квантования по установленной схеме, позволяющей минимизировать потерю качества, определяются не форматом, а самим пользователем в момент задания параметров кодирования.

Известно, что на проведённых тестах специально приглашённые опытные эксперты, специализирующиеся на субъективной оценке качества звукания, не могли различить звучание оригинального трека на CD и закодированного в MP3 с коэффициентом сжатия 6:1. Однако, по мнению специалистов, скажем таким образом сигнал последующей обработки в цифровых процессорах (аквалайзерах, подавителях шума и других подобных устройствах) не поддаётся.

#### Перезаписываемые компакт-диски ( CD-RW )

Оптические диски с возможностью стирания информации и многократной перезаписи CD-RW (Rewritable) получили в наше время самое широкое распространение.

Сразу же надо отметить одно чистое недоразумение. Когда речь идет о таких дисках, производители часто воспроизводят их название, как диски с фазовыми переходами. Здесь не имеется в виду физовая мимулигия, а речь идет о фазах агрегированного состояния вещества, более конкретно, о фазах «кристаллическое — аморфное». Для ряда веществ при комнатных температурах устойчивыми и энергетически выгодными могут скрystallizovat'sя две состояния — кристаллическое и стеклообразное (аморфное). Переход между этими состояниями возможен при нагревании до определенной критической температуры. В оптическом отношении для изолированных агрегатных состояний обычно различаются по коэффициенту отражения.

Используемый для рабочего покрытия перезаписываемого диска слой первоначально находится в неизвестном состоянии. Выполняется процесс стирания, который состоит в сарадеином температурном воздействии на поверхность с помостью лазера. В результате поверхность переходит в кристаллическое состояние. После этого происходит процесс записи, который также выполняется с помощью лазера, и результатом чего определенные участки поверхности переходят в аморфное состояние, кодируя тем самым занесенную информацию. Стирание выполняется по типу обычных компакт-дисков на пониженной мощности лазера. Луч лазера отражается по разному от точек поверхности находящихся в разных состояниях.

На рынке появилась целая гамма дисков и устройств для записи/считывания информации по этой технологии. Но настоящим открытием стал предложенный американской фирмой Rambus привод, который может работать, как с дисками CD-ROM, так и с дисками CD-RW.

#### Диски DVD.

Диски DVD это близайшие родственники и наследники общепринятых компакт-дисков CD. Они имеют такие же размеры, строение, как и CD, в принципе так же записываются, изготавливаются и воспроизводятся. Основное различие между ними состоит в том, что носителем DVD можно записать значительно больше информации и воспроизводить её с существенно более высокой скоростью.

DVD представляет собой сокращение от Digital Versatile Disk, что в переводе с английского означает цифровой многофункциональный (многофункциональный) диск. Но русским это сокращение произносится «дай-ди-дз».

Многопрограммными дисками называют потому, что они могут быть использованы в различных сферах применения — быть носителями высококачественной звуковой кинофильмов со стереофоническим многоканальным звуком (кстати, этот вид неизбежно массового признания DVD и был основной предпосылкой для их разработки), или быть носителями только звуковых записей — больших концертов, альбомов и т. д. с набываемыми до настоящего времени характеристиками заух передачи, содержать компьютерные программы, базы и библиотеки данных, а также различные мультимедийные комбинации изображений, звуков и текстов.

Все диски для этих различных целей внешне очень похожи, имеют один и те же диаметр, толщину, посадочное отверстие и во многих случаях могут воспроизводиться на одном и том же плейере (проигрывателе). Когда хотят подчеркнуть их различие или конкретное назначение, то диски с записью кинофильмов называют DVD-Video, с записью только звука — DVD-Audio и с записью компьютерных программ — DVD-ROM.

О дисках часто пишут и говорят без всяких добавлений к буквой DVD. В этом случае обычно имеют в виду цифровые видеодиски с записью кинофильмов, а их наименование иначе трактуют как Digital Video Disk — цифровой видеодиск.

Все перечисленные DVD — это нестираемые носители с уже имеющейся на них записью, изготовленные на предприятии — изготовление. В этом отношении они подобны компакт-дискам CD.

Но кроме таких дисков, с уже имеющейся на них нестираемой записью, полученной на предприятии-изготовителе, в семейство DVD входит записываемые диски DVD-R и многократно перезаписываемые -DVD-RW. Внешне они мало отличаются друг от друга, но на них запись и перезапись может производиться сам пользователь, если, разумеется, его компьютер оснащен соответствующим записывающим устройством.

Несколько слов надо сказать об особенностях технологии изготовления дисков DVD.

Первым и основным требованием при разработке этого вида носителей было простота и очевидность: не повышая стоимости изготавления диска, увеличить его информационную ёмкость за счёт размещения как можно большего числа пятов на такой же как у стандартных CD информационной поверхности. Для этого было решено с помощью полупроводниковового лазера с меньшей длиной волны. Лазер системы DVD имеет длину волны 650 нм или 635 нм (в системе CD — 780 нм), что заметно уменьшает размер пятов, а значит и увеличивает их количество на диске. К тому же шаг дорожек при этом заметно уменьшается. Таким образом удалось получить огромную ёмкость информационного слоя диска равную 4,7 ГБ, что почти в 7 раз больше ёмкости обычных компакт-дисков.

Но и это ещё не всё! Для дальнейшего увеличения дисковой ёмкости были разработаны двухслойные и двусторонние DVD.

Элементарным способом увеличения ёмкости диска является использование двухсторонних дисков, которые состоят из двух базовых прокладок по 0,5 мм склеенных друг с другом обратными сторонами. Это позволяет увеличить ёмкость DVD до 9,4 ГБ. Для DVD была разработана также технология увеличения информационной ёмкости одной стороны диска, путём напечатания на его поверхность двух рабочих слоёв однотипных друг другу. При этом пижити, т. е. первый по ходу луча лазера информационный слой делается полупрозрачным, чтобы лазерный луч мог, пройдя через него, попасть по второму (нережимому) слою.

Использование лазера с двойной фокусировкой даёт возможность считывать данные с каждого из этих слоёв, не переворачивая диски.

На таких двухсторонних DVD можно разместить до 8,5 ГБ данных, а если еще склеить их двусторонними, то получается компактное суперхранилище информации с ёмкостью в 17 ГБ.

Но тем не менее, хоть информационная ёмкость дисков DVD, впрочем, цифровое видео, если его предварительно не сжать, настолько объёмисто, что полностраничный фильм, преобразованный в цифровой вид, заполнит 40 DVD дисков, каждый ёмкостью по 4,7 ГБ. Задача решается методом цифровой компрессии (сжатия) сигнала. Дело в том, что изображение имеет значительную избыточность, т. е., при его переводе в цифровой вид, часто встречаются и, при этом в многочленном количестве, одинаковые или подобные элементы, которые можно идентифицировать и удалить.

Почти 97% цифровых данных, которыми представляется видеозображение, можно удалить без заметного ухудшения качества изображения. Для обеспечения высокого качества изображения, при размещении видеофильма на однослоином DVD ёмкостью 4,7 ГБ используется кодирование цифровых видеоданных с компрессией в формате MPEG-2. Этот формат разработан и стандартизован группой экспертов по движущимся изображениям (Moving Picture Expert Group) и распространяется на широкий круг ТВ систем, от соответствующих качеству VHS (Video Home System) до телевидения высокой четкости (THV).

Технология DVD позволяет получить не только прекрасное видеозображение, но и звук исключительно высокого качества. В частности, длязвучивания кинофильмов, в DVD используется т. н. Surround Sound — многоканальный стереофонический звук с особой обработкой передаваемых сигналов и особым расположением каналных громкоговорителей. Этот способ звукопередачи характеризуется подчёркнутой сильной стереофоническим эффектом. Surround-Sound (Сурроунд-звук) можно перевести с английского, как "окружающий", "обволакивающий" слушателя звук.

Первые системы, или форматы записи — воспроизведения сюрроунд-звучка разработал известный американский изобретатель Рой Долби. Наиболее распространение получила две созданные им системы — Dolby ProLogic и Dolby AC-3 (Audio Coding-3). Кроме них существует несколько других многоканальных сюрроунд-систем: MPEG-2-Audio, DTS (Digital Theatre Sistem) и др.

Кстати, в системе Dolby ProLogic обрабатывается как аналоговые, так и цифровые сигналы. Она способна преобразовывать двухканальный аналоговый стереофонический звук, воспроизведенный, например, видеомагнитофоном формата VHS, в многоканальный сюрроунд-звук. Серийные системы являются ProLogic-усилителями, в которых создаются необходимые для преобразования фазовые сдвиги между звуками отдельных каналов и изменения уровня различных участков звукового спектра. С другой стороны, система Dolby ProLogic (AC-3 Downmix) может многоканальный цифровой сигнал преобразовывать в двухканальный для воспроизведения через обычную пару стереофонических громкоговорителей.

Из всех перечисленных звуковых форматов в дисках DVD используются, в качестве основных два формата сюрроунд-звучка: MPEG-2-Audio или Dolby AC-3 (Dolby Digital).

Обычно эти системы применяют как 6-канальную, называемую чаще

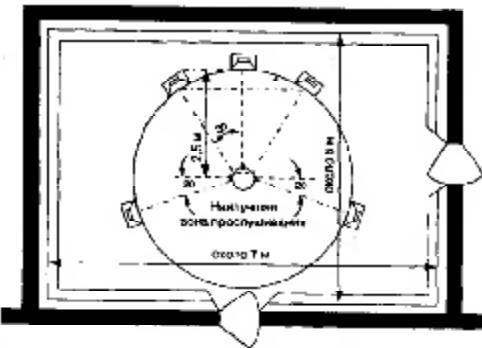


Рис. 103. Расположение громкоговорителей в цифровой 5.1-канальной системе surround — звука.

системами 5.1, имея в виду, установку для воспроизведения пяти основных и одного дополнительного громкоговорителя. На рис. 103 показано расположение громкоговорителей, применяемое в 5.1-канальных системах Dolby AC-3 и MPEG-2-Audio.

Громкоговорители L, C, R, LS и RS называются соответственно передним левым, центральным, передним правым, сюрроунд-левым и сюрроунд-правым. Кроме этих пяти основных каналов существует, применяется дополнительный шестой "суббасканал", или канал LFE (Low Frequency Effects), т. е. канал низкочастотных эффектов (т. н. 0.1 канал). Громкоговоритель этого канала, так называемый *сабвуфер*, расположенный обычно под центральным громкоговорителем или сбоку от слушателя, воспроизводит специально выделенные низкочастотные сигналы ("басы") в диапазоне 16–80 Гц, создавая по ходу фильма естественное опущение, например, раскатов грома, таранов и т. п. Да и для прослушивания некоторых музыкальных произведений, звуковики считают упреждающие басы иногда вполне уместными.

Использование в DVD системы, не реконструируют многоканальный цифровой звук из двухканального, а записывают и воспроизводят орбитальный звук каждого из каналов раздельно. Цифровой звук — все каналы — в этих системах записываются на одной дорожке с применением

компрессии данных (о принципе компрессии см. раздел с описанием звукового формата MP3). В процессе воспроизведения эти обрабатываются декодером, выделяющим и формирующим из общего потока данных сигналы каждого канала для всех гостей громкоговорителей.

Но наряду с многоканальными форматами MPEG-2 Audio и Dolby AC-3 в DVD применяется и двухканальный формат с линейной ИКМ. Этот двухканальный звук воспроизводится или непосредственно через обычные стереосистемы, или посредством ProLogic-декодера преобразуется в 5.1-канальный сурроунд-звук, т. е. воспроизводится так же, как стереозвук с кассет VHS — видеомагнитофона VHS. В линейной ИКМ компрессия не применяется.

Аналогично-цифровые преобразования звука происходят с квантованием (разрешающей способностью по уровню) 16, 20 или 24 бита не отстает с частотой дискретизации 48 или 96 кГц. Такие характеристики обеспечивают очень высокое качество звука, но и обуславливают очень большие потоки аудиоинформации. Это последнее обстоятельство ограничивает возможность при линейной ИКМ реализовать все комбинации числа каналов, частоты дискретизации и разрешения. Поэтому этот формат не является при озвучивании видеофильмов в DVD-Video основным.

А вот для DVD-Audio, то есть для дисков, специально предназначенных для записи только звуковой информации, линейная ИКМ (LPCM) единственным установленным стандартом формата кодирования. При частоте дискретизации 96 кГц и разрешении 20, не говоря уже с 24-х битах на отсчёт, достигается супервысокое качество воспроизведения 74-х минут стереофонической музыки, значительно превосходящее звук с CD.

Пожалуй единственный формат, способный составить конкуренцию DVD-Audio по качеству звука — это разработанный японской фирмой Sony, формат Super Audio CD (SACD), в основе которого лежит технология одноразрядного симплексного кодирования с частотой дискретизации 2,8 МГц. Эта технология, называется и по-иному — Direct Stream Digital (DSD), что по-русски переводится как "трёхмиллионный поток цифр". Об этом способе кодирования уже упоминалось ранее в разделе 4.6.1.

Характеристики DSD — верх межтакт звукорежиссера: динамический диапазон 120 дБ, плоская частотная характеристика в диапазоне до 100 кГц, исключительные подборы, характерные для ИКМ, благодаря исключению из схемы сигма-пента преобразования фильтров, и, в результате, полная верность звуковоспроизведения (*full fidelity*) во всех шести каналах.

лех многоканального сигнала. Разработчики стремились обеспечить как можно более полную интеграцию своего нового стандарта со стандартом CD. Надписи SACD снимаются для формата, для чего используется двухслойная структура (см. выше). DSD пулноматричные хранятся на слое высокой плотности, занимающим объем 4,7 ГБ.

Причём, здесь используется схема компрессии без потерь "Direct Stream Transfer", разработанная фирмой Philips, и позволяющая хранить в формате DSD до 74 минут двухканального стереофонического звука и до 74 минут многоканального (до шести каналов) пулноматричного одновременно.

Слой высокой плотности, укрупненный слою DVD, отражает луч лазера с длиной волны 650 нм. При этом он прозрачен для луча лазера с длиной волны 780 нм. Таким образом, проходя слой высокой плотности, лазер CD считывает данные, расположенные на внутреннем слое диска, на котором содержится CD-версия (ИКМ, 16 бит, 44,1 кГц) того же материала, что и в версии DSD на слое высокой плотности. Версия CD может быть записана на диске отдельно, или её можно получить из DSD данных путём понижения разрядности кода, с помощью специального преобразования (это легко сделать благодаря тому, что частота дискретизации DSD в точности 64-кратна используемой в CD). Таким образом достигается совместимость двух систем — старой и новой.

#### 4.6.7. Магнитооптическая запись

Выше уже многое говорилось о преимуществах оптической записи, но большинство из представителей этого семейства (кроме дисков CD-RW с фазовыми переколами), трудно использовать в работе, требующей оперативности, например, при выдаче программ для распечатывания, из-за не редерсивности такой записи. Нужно и для штигических систем добиться того, что давно стало нормой для магнитной записи: многократно стирать старую информацию и перезаписывать новую. Основной в первый успех на этом пути пришел в связь с магнитооптической записью. Магнитооптическая запись — термоТУ, то есть точный. В принципе речь идет о термомагнитной записи, и вся роль лазера при записи сводится к роли нагревательного инструмента.

Любой ферромагнитный материал имеет барьерю температурную границу (так называемую точку Кюри, выше которой ферромагнитные свойства материала полностью проявляют, но самое главное, что

кризис магнитной восприимчивости вблизи точки Кюри резко стремится вверх и возрастает, если не бесконечно, то во многие тысячи раз). На этом и строится рабочий в магнитооптической записи. Магнитооптические системы записи просты — надо разогреть материал в некоторой точке до температуры, несколько превышающей точку Кюри, и воздействовать на материал магнитным полем, достаточно слабым, чтобы не сжечь след на холмовых участках. При этом, само магнитное поле может быть распределенным, совсем не надо следить за размерами области его локализации. Как только температура разогретой области упадет ниже точки Кюри, ферромагнитный материал зафиксирует магнитное поле — и только в зоне записи. Использованные ныне магнитооптические материалы ориентированы на температуры Кюри, превышающие 100 градусов. Это не случайный выбор. Ниже возникнет зона опасности повышения температуры при прессовании записей до кристаллической, когда возможным оказывается разрушение записи. Более высокие температуры не принесут из-за естественного роста энергии, необходимой для разогрева. Поэтому в качестве материалов для рабочих слоев магнитооптических дисков используют сплавы с элементами группы редких земель.

Магнитооптические системы записи строятся достаточно примитивно. Сфокусированный луч лазера нагревает дисковый носитель, на который осуществляется рассеянное магнитное поле, достаточно слабое, чтобы Кюризести записи не холмовых участках. Однако это достаточно, чтобы в первые моменты оставаться записывать информацию на разогретых участках. Важно, что речь идет именно о первых моментах, когда локализация теплового поля практически не отличается от явлений светового пятна.

Следует сказать несколько слов о некоторых особенностях считывания информации.

Оно может быть только оптическим из-за слишком малых размеров информационного элемента. И в этом случае тоже применяется луч лазера. Для считывания используют магнитооптический эффект Керра. Этот эффект заключается в том, что при взаимодействии луча лазера с намагниченным рабочим слоем диска, происходит поворот плоскости поляризации луча, причем, этот поворот зависит от направления вектора намагниченности среды, через которую луч проходит. Изменения плоскости поляризаций луча преобразуются специальным устройством в изменения его интенсивности. Эти изменения и являются информацией.

ции, счищанной с диска. Плотность записи на магнитооптические диски определяется размером офорсированного светового пятна лазера. Это очень перспективный носитель с очень высокой плотностью записи, на котором достигается высочайшее качество записи звука. Поэтому, магнитооптические (МО) диски находятся в профессиональной аппаратуре специализации для записи оригиналов фонограмм, которые предназначаются для последующего тиражирования. Ведущие фирмы (напр., Sony) предлагают, в частности, аппараты записи, работающие на магнитооптическом диске диаметром 133 мм (5,25 дюйма), ёмкость которого достигает ок. 1,3 ГБ. Другими словами, на нём можно записать с высочайшим качеством 80 минут стереофонического звука с 20-битным кинозвучанием или 100 минут, с, соответствующим качеству CD, 16-битами.

Магнитооптические диски способны выдержать более миллиона перезаписей.

Но более подробно с практической реализацией идеи магнитооптической записи можно познакомиться на примере одного из самых распространенных и популярных представителей этого семейства — мини-дисков.

#### Мини-диск

"Мини-диск" (MD) — это один из последних форматов в эволюции дисковых носителей звуковой информации, разработанный фирмой Sony.

Мини-диски меньше обычных компакт-дисков по размерам (диаметр всего 64 мм), но при этом, они не уступают компакт-дискам в качестве и продолжительности звучания записанной на них музыкальной программы.

Это достигается за счёт сжатия (уплотнения) данных, и отретории которого речь пойдет ниже. Маленький размер MD обеспечивает быстрый доступ к данным в любой точке диска — меньше, чем я 1 секунду.

Формат мини-дисков предусматривает использование двух типов носителей незаписываемые диски типа CD и записываемые, магнитооптические диски. Последние дают возможность производить на них повторные записи, стиря программы записанные ранее. Эта "реверсивность" записываемых мини-дисков делает их прямым наследником записей на магнитной ленте, недоступными при оперативной подложке программ радиовещания и в других подобных случаях. Оба дисковых формата для защиты от механических повреждений помещены в картриджи. Общий вес такого пакета равен приблизительно 0,5 унций (ок. 15 г.).

Незаписываемый мини-диск очень похож на CD. Он записывается заранее обычным для CD оптическим методом, (с помощью лазера), тиражируется в заводских условиях прессованием и предположится только для воспроизведения. Из-за того, что запись в этом формате производится со сжатием данных, записи на этих мини-дисках не совместимы с обычными CD.

Записываемый, или точнее говоря, перезаписываемый диск, в принципе, не является новшеством. Это магнито-оптический носитель, применявшийся уже и ранее в компьютерной технике (CD-MO). Но магнитооптическая среда для мини-диска была усовершенствована, устройство записи стало намного проще, а сама запись требует меньшего потребления энергии.

Как уже упоминалось выше, существуют и другие методы записи на перезаписываемые ("реверсиевые") носители, но для мини-дисков выбран метод модуляции магнитного поля (MFM), как наиболее наилучший и дешевый возможностью производить перезапись практически бесконечное количество (до 1 000 000) раз. Причём, каждый раз при новой записи, старые данные автоматически стираются.

Записываемый магнитооптический мини-диск формируется на подложке из поликарбоната, на котором между двумя слоями диэлектрика расположается магнитоспиральный (рабочий) слой. Наверху этой конструкции наносится отражающий алюминиевый слой, защитный слой и смазка из кремния — органического осадения, по которой должна будет скользить магнитная головка. (Рис. 104).

Магнитооптический слой мини-диска это специальный сплав желез-

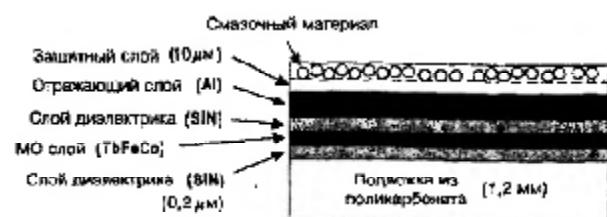


Рис. 104. Сечение мини-диска

за тербия и кобальта (FeTbCo), с очень высокой коэрцитивностью — приблизительно 80 Эрстед (6,4 кА/м). Это нужно для того, чтобы не смотря на то, что магнитная головка не касается поверхности рабочей среды, величина намагничивающего поля оказалась бы достаточной и не потребовалось бы стоя уделителя, которое избежно поскольку бы за собой большее выделение тепла и увеличение потребляемой мощности.

Как уже было сказано, для того, чтобы записать информацию на магнитооптический слой необходимо воздействовать на него не только магнитным полем головки записи, но и одновременно разогреть соответствующую точку носителя до температуры Кюри. Делается это с помощью луча лазера.

Для применения в миинодисках в качестве носителя записи стекла FeTbCo температура, соответствующая точке Кюри примерно равна 185° С.

Более высокие температуры не годятся из-за естественного роста спергии, необходимой для расширения. Обратите внимание на то, что случайное, ошибочное стирание данных на мини-диске практически невозможно, т.к. для этого требуется одновременное воздействие отведененной (выше точки Кюри) температурой магнитного поля.

Итак, для записи на мини-диск магнитная головка изогнувшись поверх лазерного источника на оптической оси с притяжением к другой стороне диска. (Рис. 105).

Лазер

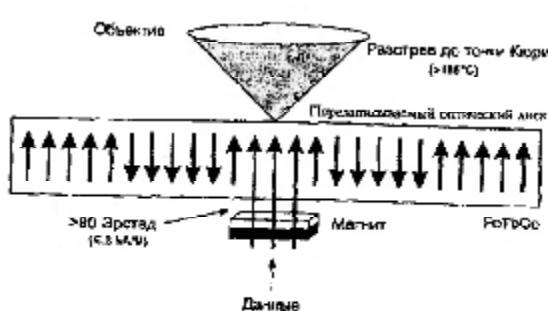


Рис.105 . Запись на мини-диск.

Фокусированный луч лазера нагревает локальную область дискового носителя, на которую воздействует рассеянное магнитное поле головки записи достаточно слабое, чтобы принести запись на локальных участках. Однако его достаточно, чтобы при вращении диска, в первые моменты оставшего разогретого участка записать на нем информацию в выше нанесенные определенной полярности "север" — N, или "юг" — S.

Таким образом, различные поверхности намагниченности градиентельно нарезаются пятен в магнитооптическом слое соответствуют цифровым логическим уровням "1" и "0". Размер такого пятна с записью, а следовательно и плотность записи на магнитоэлектрические диски определяется размером сфокусированного светового пятна лазера и продольной частью цикла рекордирования международного Магнитного поля головки записи. Для этого была разработана специальная головка, которая допускает быстрое перемагничивание (приблизительно в течение 100 нс). Очевидно, что поверхностные слои диска не препятствуют магнитному проникновению рабочего слоя. Запись выполняется износением новых записей на прежние с автоматическим уничтожением последних.

Как уже было сказано, существует два типа дисков и для каждого из них применяется своя система считывания.

Незаписываемый диск (MID-DA) подобен компакт-диску. Для его считывания используется тот же лазер, что и при записи, но не более низком энергетическом уровне.

Отраженный лазерный луч изменяется по интенсивности в зависимости от информации, записанной в виде ямок (углублений) на поверхности диска. Прочтение абсолютно аналогично считыванию обычных компакт-дисков.

Записывающий диск (MID-R) использует другую систему считывания, поскольку данные записаны не системой циклов, а сохранены в виде изменяющейся от точки к точке полярности намагниченности магнитного слоя. В этом случае считывание информации также выполняется лазером.

Лазерный луч падает на дисковую поверхность, проходит через магнитный слой и затем отражается от отраженного слоя. Однако, проходя через магнитный слой, плоскость поляризации лазерного луча изменяется в зависимости от того, с какой полярностью этот слой в данной точке намагничен. Поворот вектора поляризации луча слоя под влиянием магнитной среды, через которую он проходит называется, как уже было сказано, эффектом Керра.

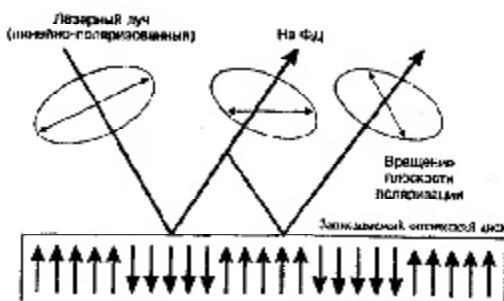


Рис.106. Считывание записываемого диска MD-R.

На рис. 106 изображены принципы считывания информации с записываемых магнитооптических дисков.

Из них, существует два вида считывания мини-дисков:

- считывание незаписываемого диска типа CD, при котором выходной цифровой сигнал такой же, как в CD,
- считывание записываемого диска типа MO, здесь выходной сигнал прерывист, но с изменяющейся поляризацией.

Для считывания информации с дисков обоих типов используется один и тот же двухфункциональный лазер. Однако в оптическую головку системы добавляют (если сравнивать с CD) еще один элемент — поляризационный анализатор, т. н., прием Уолластона (Wollaston). Дело в том, что эффект Керра слаб. Поворот вектора поляризации, даже в самых благоприятных условиях, не превышает одного градуса. К тому же приемники света не реагируют на поляризацию. Задача приемника Уолластона преобразовать угол поляризации в интенсивность света. Далее считывание информации поступает на блок логиков и преобразуется в электрические ВЧ сигналы. Неизвестно в технических подробностях, надо сказать, что такая система рассчитана на считывание информации, как с дисков записываемых (MD-DA), так и с записываемых (MD-R).

Записываемый мини-диск до записи не заполнен, т. е. не содержит никакой информации. Однако, если бы он не имел предварительной

разметки, было бы невозможно производить правильное позиционирование луча лазера, как при записи, так при считывании информации.

Поэтому, каждый MD-R, аналогично CD-R, имеет U-образную физическую канавку, или предкодовую адресов, которая штампуется на диске при его производстве. Предкодовка расположена за спиральной дорожкой данных и имеет специальную конфигурацию, она не стирется и разумеется, на всех дисках совершенно одинаковая. Без неё было бы невозможно осуществить правильное позиционирование при считывании информации с диска. Информации считывания адресной информации со специальных датчиков, после расшифровки сигнала, определяется точный адрес каждой позиции на диске.

На незаписываемом диске расположение дорожек имеет типичную компакт-дисков зону, содержащую отмеченные диско, программируемая зона и окончательная зона. Что касается записываемых дисков то у них, кроме начальной зоны, есть ещё зона, где пользователь записывает свои метки, начальные и конечные адреса музакальных дорожек.

Таким образом мини-диск предоставляет возможность изменять номера дорожек, делить дорожку на части и т. д. Например, если пользователь хочет разделить одну дорожку по длине, в программной зоне музыкальные данные остаются не тронутыми, но адреса и название будут изменены.

Ключевой частью технологии мини-дисков является использование для кодирования и декодирования звукового сигнала методом специального звукового преобразования, которое, зависит от структуры входного сигнала, и основывается на некоторых известных закономерностях психоакустики. Эта система называется ATRAC и имеет цель скжать данные, уплотнить их, сохраняя при этом естественность воспроизведения звука.

В стандарте обычной системы CD (16 бит, 44,1 кГц, два канала) поток данных составляет 1,4 Мбит/с. В процессе записи музыки на мини-диск аналоговые сигналы также подвергаются дискретизации с частотой — 44,1 кГц и кашущейся обычным АЦП, на выходе которого величина потока, как и для CD, также приблизительно равна 1,4 Мбит/с. Но для того, чтобы разместить такое количество данных на диске много меньшего размера, скорость передачи информации в битах должна быть уменьшена. Этую функцию и выполняет система скжки ATRAC, сокращающая скорость передачи данных почти в четырех-пять раз, с 1,41 Мбит/с.

до, приблизительно, 292 Кбит/с. Это дает возможность уменьшить диаметр диска с 120 мм (CD) до 64 мм (мини-диск), при одинаковой 74 минуты длительности звучания в обоих случаях.

Примечем, еще раз подчеркиваем, что уменьшение потока данных не делает вклад на качество передаваемой музыки. Ведь совершенство очевидно, что абсолютно без потерь туда не обойтись. Поэтому программное обеспечение системы должно был таким, чтобы это ухудшение звучания было бы не заметно на слух даже для самых искушенных слушателей. Это возможно достичь, если хорошо изучить и воспользоваться некоторыми известными законами психоакустики.

Известно, например, что чувствительность человеческого слуха не одинакова во разных частотах звукового диапазона. Так, звук определенного уровня струнно воспринимается на определенной частоте, и может оказаться более неприятным на другой частоте, даже с более высоким уровнем. (см. Курс лекций. Раздел I. Тема 1.3).

Анализ музыкального сигнала, поступающего на вход записи, позволяет определить, какие члены спектра лежат ниже своих порогов. Затем они могут быть удалены и скорость передачи информации в битах, таким образом, может быть уменьшена.

Примечем, чувствительность нашего слухового аппарата (ухо — кора головного мозга) в некоторых, т. н. критических диапазонах частот, остается постоянной и не меняется.

Методом субъективной экспертизы определены 25 таких критических диапазонов. Но в ATRAC — системе, ради большей точности передачи, их используется еще большее количество — около 52.

На рис. 107 заметен другой очень важный психоакустический эффект — маскировка сигналов. Если два источника звука звучат одновременно, но с разными уровнями, то более громкий звук будет маскировать более тихий. Например, если во время беседы двух человек, в небе пролетает самолет, то на какое-то время бесслу придется прекратить, из-за полной маскировки голосов значительно превосходящим по громкости шумом крыла.

Кроме того, наблюдается действие т. н. предмаскировки и постмаскировки.

Более громкий звук, появляющийся как раз перед более тихим (в пределах 3 миллисекунд) или после него (в пределах 200 миллисекунд), маскирует этот тихий звук.

Анализирует некоторое количество вводных выборок, на основе изве-

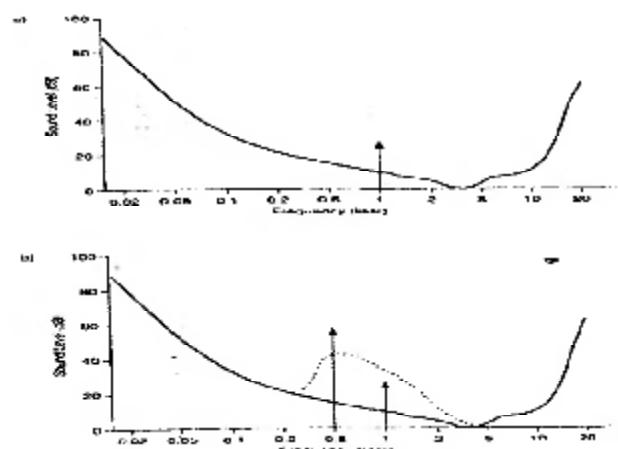


Рис. 107. Психоакустический эффект маскировки сигналов.

стых из психоакустики закономерностей, можно определить какие из компонентов входного сигнала из-за маскировки окажутся неслышими и могут быть удалены с минимальной звуковой искажением.

Сообщения, изложенные выше, используются системой ATRAC для уменьшения скорости входного потока с 1,4 Мбит/с до 292 Кбит/с и выполняются в определенной последовательности.

На основе разложения сигнала в гармонический ряд Фурье, спектр входного сигнала анализируется для определения его частотных составляющих и их соответствующих уровней. Но здесь это производится побочно (в отдельных блоках — сегментах сигнала). Как упоминалось ранее, число критических диапазонов частот определено экспериментально, но в ATRAC используется намного большее количество анализов, временные интервалы которых определяются алгоритмом, в соответствии со структурой входного сигнала.

Длительность каждого блока, который будет проанализирован должна быть максимум — 11,6 мс (или 512 выборок, при частоте дискре-

тизации 44,1 кГц). Принцип, по которому временной интервал блока времени/частоты приходится каждый раз выбирать, сбывается ниже законами психоакустики. Дело в том, что при коротком, импульсном звуке мы можем заметить только постепенно большие скачки уровня. С другой стороны, при плавной музике, когда уровень звука меняется медленно, слух способен зарегистрировать очень тонкие громкостные нюансы. Вот ие основе оценки этих различий, в ATRAC системе и производится выбор, как количества блоков, так и их оптимальной длительности. Когда выбор блоков сделан и в каждом блоке проведен спектральный анализ, с учётом принципов психоакустики, производится собственно преобразование потока данных. При этом скорость передачи данных может быть уменьшена - т. к. неужели, избыточная информация удаляется.

Наконец, распределение битов произведено. Каждый блок времени/частоты прозадизирован. Его уровень определен. Полученные по алгоритму ATRAC скажем цифровые данные уже являются непосредственно звуковыми данными. Они лишь описывают динамический ландшафт линейного спектрального блока в единицах слов с переменным числом бит от 0 до 15, а также одинаковый уровень сигнала, представленный коэффициентом масштабирования. Прототип кодер ATRAC цифровые линии, как и при компрессии CD, обрабатываются схемами помехоизменяющими и канального кодирования.

При воспроизведении мини-дисков выполняются , как и в системе CD демодуляция и декодирование , после чего полученные данные (один слов, масштабные множители линейного спектра) поступают в декодер ATRAC, где производятся обратные вычисления, в результате которых происходит восстановление первоначальных данных.

Поскольку данные на входе и выходе MD устройства записи продерживаются стационарны 16 бит, 44,1 кГц они могут быть непосредственно в цифровой форме скопированы из MD устройства на CD-R и другие цифровые носители. Но MD стандарт использует в себя специальную систему, которая допускает только первое копирование, запрещая второе. Другими словами, нельзя сделать копию с копии. Это делается для защиты ваших записей от незаконного копирования.

Очевидным достоинством системы мини-дисков является повышенная устойчивость проигрывателей MD к вибрации и ударом. Это объясняется тем, что звуковые данные считаются с мини-диска: напоминают быстрее 11,4 Мбит/с), чем это необходимо для ATRAC декодера (292 Кбит/с).

Потому считываемые данные сначала звездятся в предварительный буфер (оперативное запоминающее устройство), откуда и поступают в ATRAC-декодер.

Буферное ОЗУ, помещенное между звукоснимателем и декодером, сохраняет информацию 3 секунды звучания музыки в реальном масштабе времени. Когда оно заполнено, звукосниматель приостанавливает считывание данных до тех пор, пока буфер не будет вновь заполнен. Если проходит свой воспроизведения из-за удара или тряски, звукосниматель имеет достаточно времени (до 3 с) для возврата на правильную дорожку воспроизведения. Когда происходит свой звукосниматель, система обнаруживает недействительный адрес и возвращает звукосниматель к правильной позиции. Импульс к звукоснимателю, толчкам, вибрациям и ударом в процессе воспроизведения информации, особенно ценен в случаях, когда проигрыватель MD эксплуатируется не в стационарных условиях.

Итак, MD формат обеспечивает произвольный доступ, долговечность, мобильность, удобство в эксплуатации, защиту от ударов и возможность многократной перезаписи. Аналоговые цифровые ленты уступают MD, как по долговечности, так и тем, что не имеют присущего дисковых носителям производственного доступа. Этим и объясняется постепенное вытеснение привычных магнитофонов аппаратурой записи и воспроизведения мини-дисков, позже, где быстрая и оперативность формирования звуковых программ является определяющим условием успешной работы.

#### 4.6.8. Звуковые рабочие станции

Первые звуковые рабочие станции появлялись в начале 80-х годов. Ныне — это, пожалуй, самый популярный вид звукового монтажного оборудования.

Рабочие станции изначально строились на базе персональных компьютеров и содержали мощный накопитель данных на жестких дисках. В последние годы появлялись и системы, работающие на магнитооптических дисках. Запись и обработка фоторамм, включая монтаж, с использованием вместе магнитофонов линейного монтажа — принципиально взаимосвязаны, поскольку в чистом виде используется киноплёнкой монтаж.

Термин «линейный» не очень удачен. В действительности в процессах обработки данных и монтажа фоторамм с использованием дисков ничего нелинейного нет. Появился этот термин, скорее всего, как аналог линейному монтажу, выполняемому на базе магнитофонов.

Лентопротяжный магнитофон по сути — и любой, проводимый лазером нанесение информации на ленту, имеет как много времени и усилий уходит на поиск нужных фрагментов — ищущими словами или переводом. Монтируя с применением дисков вместо магнитофона памяти и изначально позиционируя, что он совсем не такой, как линейный. Это единство достоинство — иметь мгновенный доступ к любой точке фрагмента.

Звуковые рабочие станции выпускаются с различными параметрами. Они могут быть рассчитаны на разные частоты дискретизации — 32; 44,1 или 48 кГц и соответственно с разной полосой частот, обычно, от 20–30 Гц до 15 или 20 кГц. Рамкой может оказаться и емкость диска. Она может составлять 200 Мб, что соответствует по длительности фонограммам 1 часу, а может составить 2,16 или 10 часов звучания. Специально для работы в цифровых изогранных выпускаются рабочие станции, которых можно накопить программы общей длительностью в десятки часов и даже суток. Естественно, в зависимости от уровня процессора и заложенных в стационарную функции существенно меняется и стоимость аппарата.

Рабочие станции позволяют работать несколькими выгрузченными дорожками. Виртуальность их называется потому, что на деле таких дорожек нет и они воспроизводятся на экране дисплея только для удобства пользователя.

Более того, воспроизводятся привычные (по линейному монтажу) органы управления, иногда рабочей станции придают выносной пульт, во многих подобный пультам линейного монтажа.

Число виртуальных дорожек может быть 4, 8, 12, 16, 24 — т.е. в соответствии ряду, кратному 4. Некоторые фирмы ориентируются на ряд с базовым числом 8, в именно, 8, 16, 32, 40, 48. Выпускаются станции, позволяющие работать с 64 и даже 128 дорожками одновременно. Принцип кратности понятен, поскольку параллелизм осуществляется путем распараллеливанием за счет установки типовых плат и линеек. Станции с базовым числом дорожек, конечно же, имеют наименьшую стоимость. Переход на более высокие уровни связан с удешевлением, однако, цена растет далеко не пропорционально числу кратности. Покупатель, ориентируясь на свои финансовые возможности и предполагаемую технологию использования выбирает нужный ему вариант.

При этом, практически, все производители гарантируют возможность в дальнейшем состав станции по прошлые покупателя параллелизовать.

Работа со станцией или в режиме дисплея «человек — машина». При этом основным средством общения является экран монитора. На нем,

помимо традиционных дорожек, настраивается меню и органы управления, где, в этом только те, что необходимы для конкретных функций. Переключение на новые органы управления при переходе с одной функции на другую происходит автоматически. Кроме того, в процессе монтажа можно использовать также мышь и выносной пульт.

На экран можно швырять одну, произвольно выбранную, дорожку, группу дорожек в любой комбинации, все дорожки, если компьютер и его диски с рассчитаны на такую рекомендацию. Но самое важное, что на дорожках воспроизводится изображение фонограммы и все ее оценки в процессе обработки.

Все современные звуковые рабочие станции обеспечивают очень полезный режим многослойной записи. Это эффективный помощник, когда, например, надо выделить несколько версий какого-либо фрагмента и быстро выбрать наиболее удачное решения или скомпоновать новую версию из частей уже сделанных. В этом режиме система позволяет записывать слой за слоем все версии на одну дорожку. Естественно, любой из слоев можно прослушать и буквально преиспустить, используя только одну клавишу, воспроизведенную на экране. Многослойный режим, в частности, избавляет оператора от перемещения между дорожками, изменения параметров reverberации, выставления запрета на запись на дорожке, где уже хранится скомпилированный материал, и многое другое. Впрочем, упомянутые перемещения и переносы фрагментов с дорожек на дорожку, также просты в исполнении. Это можно сделать с помощью мыши или клавиш позиционирования также, как при редактировании текста перетаскиваются слова, предложения, абзацы.

Несколько все это всё это одновременно воспроизводится, точно отбуксированы фрагмент в нужном месте, тем более присматривать по меткам, — не проблема. Практически полная свобода перемещений, исключает все трудности, присущие многодорожечной записи, монтажу и сведение фонограмм в линейном варианте.

Работа станции, естественно, обеспечивает все известные звуковые эффекты и не требуют выставки источников, что немаловажно.

Примеры функций, которые сравнительно легко выполняются рабочими станциями, но трудно выполнимы и даже невозможны в линейных системах — многочисленны, их простое перечисление займет слишком много места.

Судя по всему, достаточно, чтобы судить о неограниченных возможностях звуковых рабочих станций. Но, в заключение, надо сказать потреб-

нее и еще об одной уникальной функции — редактировании звука. Эти манипуляции для линейных систем проблематичны, с помощью же линейного монтажа решаются весьма simply.

Поскольку фонограммы воспроизводятся и на ней отчетливо видны, например, случайные импульсные выбросы — их можно попросту стереть. Так же просто извлечь слово и даже пеевшую фразу, а если надо, заменить их другими. Часто, по разным причинам, в том числе и из-за недоработок, особенно, когда речь идет о записи под видео, необходимо замедлить или ускорить или речь или музыку. Рабочие станции допускают, как правило, изменение темпа с сохранением тембра.

Самое удивительное, что все операции, рассмотренные выше, никак не отражаются на материалах, хранящихся на дисках. Сохраненная программа, если и существует, то виртуально. В памяти компьютера хранится только лист монтажных решений — шпаргалка «титров» компьютерных команд. При воспроизведении или перезаписи на магнитофон компьютер, ориентируясь на команды листа монтажных решений, выберет необходимые фрагменты и выстроит их нужном порядке. В линейных системах, если монтаж выполнен, то внести в него правку уже невозможно — требуется перемонтизм и перезапись всего материала, что чревато, особенно для аналоговых систем потерей качества. Всего этого не надо делать в полигейтных системах. К смонтированной программе можно вернуться в любой момент, даже если она уже идет в эфир и внести все необходимые изменения. При этом можно складывать исходный и новые монтажные листы. Это уникальная особенность, которую наиболее интенсивно используют в новейших аппаратах.

Звуковая рабочая станция — достаточно компактный аппарат, заменивший большие монтажные комплексы со всем окружющим оборудованием. Правда, по стоимости они, как правило, заметно дешевле аналогичных по возможностям линейных монтажных аппаратных.

#### Учебное издание

Морозов Борис Яковлевич  
**АКУСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗВУКОРЕЖИССУРЫ**  
Курс лекций на I и II курсах  
звукорежиссерского факультета

#### Часть 3

#### Учебное пособие

Компьютерные переписки Н. Ю. Матюкова  
Художник Алексей Луков

#### Учебное издание

Издательское свидетельство № 02183 от 30.06.2000  
Сдано в набор 30.02.2002 | Полиграфия гензель 25.02-2002.  
Формат 61Х84 1/16. Гарнитура Times E1.  
Объем 6,5 тыс. л. Тираж 500 экз.  
Окончание и рецензия в Издательском центре  
Бумажного института гуманитарных и радиоэлектронных  
им. М. А. Ломоносова (ГИРЭ)  
109102, Москва, Фрунзенская ул., д. 4  
Тел./факс: (095) 238 1971, 238 3345