

З. ВАЙДА

# СОВРЕМЕННАЯ ВИДЕОЗАПИСЬ

*Перевод с венгерского И. С. Балаша  
под редакцией Л. С. Виленчика*



МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ»  
1987

### **Вайда З.**

**В 14** Современная видеозапись: Пер. с венг. — М.: Радио и связь, 1987. — 176 с.; ил.

В книге венгерского автора в популярной форме рассмотрены общие принципы магнитной записи электрических сигналов, свойства телевизионных сигналов, принципы записи широкополосных сигналов на магнитную ленту, основы частотной модуляции с низкочастотной несущей, искажения телевизионного сигнала при магнитной видеозаписи, принципы построения основных узлов современных видеомагнитофонов, особенности магнитной видеозаписи телевизионных программ, принципы цифровой видеозаписи.

Для инженерно-технических работников, связанных с эксплуатацией и ремонтом аппаратуры видеозаписи.

**В** 2402020000-127 74-87  
046 (01) -87

**ББК 32.94**

VAJDA ZOLTÁN

# MÁGNESES KÉPRÖGZÍTÉS

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ  
BUDAPEST 1983

ББК 32.94

В 14

УДК 621.397.6.037.733.2:681.84.083.84

**Редакция переводной литературы**

В  $\frac{2402020000-127}{046(01)-87}$  74-87

© Vajda Zoltán, Budapest, 1983.

© Перевод на русский язык, предисловие и примечания редактора перевода, дополнительный список литературы. Издательство "Радио и связь", 1987.

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Ни одно из направлений радиоэлектроники не развивалось так стремительно, как видеозапись. За два десятилетия с момента своего рождения видеозапись прошла путь от громоздких и ненадежных аппаратов записи сигналов черно-белого изображения до сверхминиатюрных видеокамер (объединяющих в моноблок телевизионную камеру и записывающий видеомagnетофон), сравнимых с носимой кинокамерой и по весу, и по качеству цветного изображения.

Видеозапись стала основой технологии создания телевизионных программ и все шире входит в кинотехнологию. Средства видеозаписи широко применяются в различных отраслях народного хозяйства и научных исследованиях. Это в значительной степени связано с появлением техники полупрофессиональной и бытовой видеозаписи. Эксплуатацией техники видеозаписи занимается широкий круг специалистов самых разных профессий.

Именно на эту категорию читателей в первую очередь рассчитана книга известного венгерского специалиста Золтана Вайды, являющаяся кратким конспектом лекций по технике видеозаписи. Она восполняет определенный пробел в научно-технической литературе по видеозаписи между серьезными монографиями [Д1–Д3], рассчитанными в основном на профессионалов, и блестящей научно-популярной брошюрой [Д4].

Книга З. Вайды является все-таки конспектом, а не курсом лекций, поэтому ей порой не хватает последовательности изложения, некоторые понятия четко не определены. Однако это не мешает цельности восприятия материала.

Следствием стремительного развития техники видеозаписи явилось то, что за время издания книги в Венгрии и перевода на русский язык появилось новое направление — компонентная видеозапись, не нашедшее отражения в книге. Определенное представление об этом можно получить из [Д4, Д5].

Изменились и взгляды на профессиональную студийную цифровую видеозапись. Международный стандарт на нее [Д6, Д7] базируется на международном стандарте на цифровое кодирование в студии [Д8, Д9]. Автор предполагает, что читатель знаком с основами цифрового телевидения и стандартными системами цветного телевидения SECAM, NTSC и PAL. В случае необходимости информацию по этим вопросам советские читатели могут найти в [Д10–Д12].

Следует отметить, что компонентная и цифровая видеозапись — это в значительной степени техника завтрашнего дня, а книга посвящена вопросам современной профессиональной, полупрофессиональной и бытовой видеозаписи. Такая книга издается на русском языке впервые. Можно надеяться, что она окажется полезной широкому кругу специалистов.

## ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Издание своего труда на языке другой страны — всегда большая честь и огромная радость для автора. Выход данной книги в СССР вызывает у меня особое удовлетворение прежде всего потому, что я получаю возможность выразить глубокую благодарность всем моим советским коллегам, с которыми мы на протяжении 25 лет совместно работали в организациях по радиовещанию и телевидению стран—членов СЭВ и у которых я многому научился за эти годы. Приобретенный опыт, несомненно, сказался при написании этой книги, хотя непосредственного участия в решении проблем по данной тематике мы не принимали.

Известно, что добиться прогресса в области знаний можно лишь при условии глубокого изучения ее основ, которые, в свою очередь, могут послужить источником новых мыслей и идей. Поэтому польза книги определяется прежде всего тем, насколько она может помочь читателю овладеть этими основами.

В предлагаемой книге рассматриваются основы магнитной видеозаписи. Приведенные в ней практические решения служат лучшему пониманию и усвоению теоретических положений. Рекомендую свою книгу читателям, надеюсь, что они смогут найти в ней ответы на большинство вопросов, связанных с проблемами видеозаписи, в свете последних технических достижений.

*3. Вайда*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема записи сигналов телевизионного изображения возникла, по всей вероятности, одновременно с телевидением. А с организацией сети телевизионного вещания на территориях с различными часовыми поясами назрела необходимость в ее решении. Первый промышленный образец устройства для записи изображения был разработан в 1956 г. фирмой "Амрех" на базе идей и работ Ч. П. Гинзбурга, Ч. Е. Андерсона, Р. М. Долби и их коллег. Принцип работы этого устройства используется без изменения и в настоящее время. Вначале видеомagnитофон применяли для следящих целей: записывались вечерние программы передачи новостей компании CBS в Нью-Йорке, затем спустя три часа их передавали в Голливуде по местному времени одновременно с передачами в Нью-Йорке. Магнитный носитель не требовал физико-химической обработки, и после стирания информации его снова можно было использовать.

В настоящее время видеомagnитофон стал еще и предметом ширпотреба. В ближайшие годы предвидится значительное увеличение выпуска отечественных видеоприборов. В профессиональной сфере используют видеомagnитофоны системы "Амрех" или так называемого формата Q (поперечно-строчная запись четырьмя вращающимися головками), число которых составляет более 10 000 экземпляров. Наряду с ними спустя некоторое время появились первые серьезные конкуренты — более легкие, требующие меньшего количества ленты профессиональные магнитофоны наклонно-строчной записи с большими функциональными возможностями ускоренного и замедленного просмотра записи, воспроизведения стоп-кадра, электронного монтажа. Современный видеомagnитофон стал в первую очередь средством подготовки, а не воспроизведения программ.

Профессиональные и полупрофессиональные видеомagnитофоны зарубежных марок распространились и в ВНР, а в ближайшее время можно ожидать появления и любительских видеоприборов. В связи с этим цель издания данной книги определяется необходимостью ознакомить читателя с основными проблемами записи телевизионных сигналов и принципами их решения, дать общее представление о применяемых в настоящее время системах. Основная часть работы посвящена аналоговой системе видеозаписи — технике настоящего и ближайшего будущего. Это связано с тем, что в оборудовании и видеозаписи вложены колоссальные средства, которые невозможно возместить за короткое время. Будет сказано несколько слов и о цифровой системе записи телевизионных сигналов, свидетелями рождения которой мы являемся. Основой для создания данной книги послужил специальный курс лекций "Цветное телевидение", прочитанный в Будапештском политехническом институте в 1980 г. На лекциях присутствовали специалисты с большим теоретическим и практическим опытом в области телевизионной техники, некоторые имели прямое отношение к технике магнитной записи. Они были первыми слушателями, и их мнение во многом определило успех подготовки книги к изданию.

К выходу книги в свет имели отношение и многие другие люди. Хочу выразить благодарность техническому директору венгерского радио Г. Хеценашу, без поддержки которого книга не увидела бы свет. Большую благодарность выражаю Е. Форго — прекрасному редактору, во многом способствовавшей тому, чтобы приводимые факты были корректными, а объяснения понятными.

## Глава 1

### ВВЕДЕНИЕ

Аппарат магнитной записи изображения, находящийся между телевизионной камерой и приемным устройством, является одним из элементов системы передачи изображения. С его помощью осуществляется запись видео- и звуковых сигналов, которые могут быть воспроизведены в любое последующее время. Раньше эта проблема решалась средствами кино. Магнитная видеозапись по сравнению с кинофильмами обладает двумя существенными преимуществами: она не требует физико-химической обработки и может быть сразу же воспроизведена; запись с магнитной ленты можно стереть и произвести новую. Аппарат записи изображения состоит из канала магнитной записи-воспроизведения сигналов с целесообразно выбранными параметрами и электронных блоков сопряжения данного канала с каналом передачи изображения. Чтобы понять принцип действия видеозаписывающего устройства, необходимо познакомиться с построением, характеристиками, зависящими от параметров, конструкции, и с ограничениями канала магнитной записи-воспроизведения. Излагать теорию магнитной записи даже в сжатом виде в данной публикации мы не берем на себя смелость. Будем рассматривать только отдельные факты и остановимся на записи синусоидальных сигналов без предварительного подмагничивания, характерной для аналоговых систем видеозаписи.

#### 1.1. КАНАЛ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ-ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СИГНАЛОВ

Выводы обмоток записывающей и воспроизводящей головок являются соответственно входом и выходом канала магнитной записи-воспроизведения сигналов. Под действием тока записи на входе  $i_3(t)$  на выходе появляется напряжение воспроизведения  $u_B(t)$ . Канал характеризуется зависимостью  $u_B$  от  $i_3(t)$ .

Элементы канала магнитной записи-воспроизведения показаны на рис. 1. Принцип действия канала состоит в следующем. Под действием тока  $i_3(t)$ , протекающего по виткам обмотки записывающей головки 1, возникает магнитное поле, которое вследствие высокой магнитной проводимости сердечника головки концентрируется в рабочем зазоре из-за его низкой магнитной проницаемости. Это поле  $\mathbf{H}(x, y, z, i(t))$  оказывает воздействие на рабочий слой носителя записи 2, содержащий частички магнитного материала, который перемещается относительно головки со скоростью  $v_x$ . Благодаря этому носитель намагничивается. Намагниченность  $\mathbf{M}(\xi, \eta, \zeta, v_x)$  является прост-

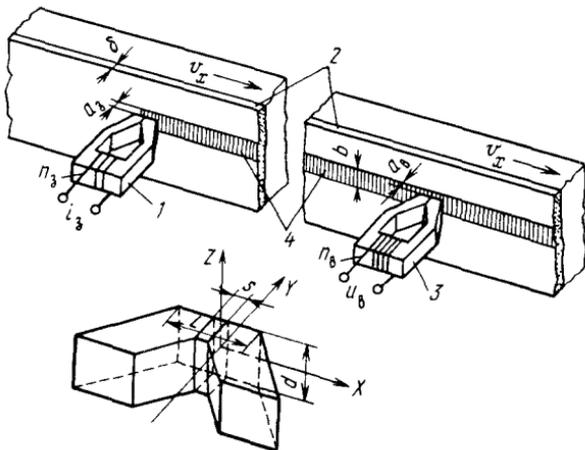


Рис. 1. Канал магнитной записи-воспроизведения:

1—записывающая головка; 2 — носитель магнитной записи (рабочий слой); 3 — воспроизводящая головка; 4 — дорожка записи;  $v_x$  — относительная скорость головка-лента;  $i_3$  — ток, протекающий по обмотке записывающей головки (входной сигнал канала записи-воспроизведения);  $u_B$  — напряжение, возникающее на контактах воспроизводящей головки (выходной сигнал). Параметры, характеризующие канал:  $a_3$  (или  $a_B$ ) — контактное расстояние между записывающей (или воспроизводящей) головкой и носителем записи;  $\delta$  — толщина рабочего (магнитного) слоя;  $b$  — ширина дорожки записи;  $s_3$  (или  $s_B$ ) — ширина рабочего зазора записывающей или воспроизводящей головки;  $d$  — длина зазора головок;  $n_3$  (или  $n_B$ ) — число витков обмоток. Система координат  $XYZ$  привязана к головке, начало координат размещается в плоскости рабочей поверхности головки. Система координат  $\xi, \eta, \zeta$  привязана к носителю записи, ее начало размещается на поверхности рабочего слоя носителя, а оси параллельны осям координат системы  $XYZ$ . В момент времени  $t = t_0$  оси координат  $\eta$  и  $Y$  совмещаются

равноценным отображением временной функции  $i_3(t)$ , т. е. пространственной формой временной функции. Намагниченный носитель может храниться сколь угодно долго, его магнитное состояние не меняется.

Для воспроизведения записанной временной функции носитель вновь перемещается со скоростью  $v_x$  относительно воспроизводящей головки 3. Поскольку магнитная проводимость сердечника головки больше, чем в рабочем зазоре, то зависящий от времени магнитный поток, возникающий под действием намагниченности носителя (которая зависит от места), протекает по сердечнику головки, а следовательно, и обмотки. Изменяющийся во времени поток индуцирует в обмотке напряжение  $u_B(t)$ , которое и является выходным сигналом канала воспроизведения.

Даже после такого краткого описания работы системы возникает необходимость дать ряд важных определений:

а) средством преобразований категорий время—положение (на носителе) и положение — время является относительное движение головки и носителя записи. С точки зрения процесса записи не имеет значения, что по отношению к стороннему наблюдателю перемещается — головка или лента или это проис-

ходит одновременно. Определяющим является их относительное перемещение;

б) характеристику преобразования время—положение определяет скорость перемещения головка—лента  $v_x$ . Преобразование положение—время только тогда является обратным по отношению к преобразованию время—положение, т. е. временная функция  $u_B(t)$  только тогда соответствует  $i_3(t)$ , когда относительная скорость головка—лента одинакова в обоих процессах. Если скорость  $v_x$  в процессе записи не постоянна, то условие воспроизведения без искажений сводится к тому, чтобы каждая элементарная частичка рабочего слоя ленты перемещалась относительно рабочего зора воспроизводящей головки точно с такой же скоростью  $v_x(\xi)$ , с какой она перемещалась относительно записывающей головки;

в) для записи входного сигнала  $i_3(t)$  с временным интервалом  $T$  необходим участок носителя сигналов длиной  $v_x T$ . Если  $T$  — период сигнала, т. е. если частота сигнала

$$f = 1/T,$$

то длина периода записи на ленте

$$\lambda_r = \frac{v_x}{f} \quad (1)$$

( $\lambda_r$  называют длиной волны записи или просто длиной волны);

г) в понятие "канал магнитной записи-воспроизведения" входят независимо (рис. 2):

- записывающая головка как электромагнитный преобразователь;
- взаимодействие записывающей головки и ленты (запись);
- магнитная лента с записью;
- взаимодействие считывающей головки и ленты (воспроизведение);
- воспроизводящая головка как магнитоэлектрический преобразователь.

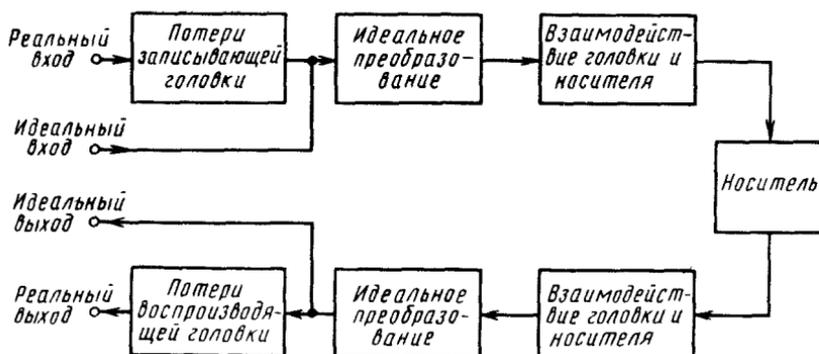


Рис. 2. Структурная схема канала магнитной записи-воспроизведения. Она напоминает линейный канал электросвязи. Однако в то время как передаточная функция линейного канала, состоящего из последовательно включенных четырехполюсников, является произведением передаточных функций отдельных четырехполюсников, здесь такая взаимосвязь отсутствует

При описании преобразователей обычно принято представлять их в виде системы, состоящей из двух элементов: идеального преобразователя и эквивалентной цепи, которая включает в себя все потери реальной системы. Между входом и выходом идеального (без потерь) преобразователя располагается идеальный канал магнитной записи.

### Идеальная головка

Она состоит из сердечника, изготовленного из мягкого магнитного материала с бесконечно большой активной и пренебрежимо малой реактивной проницаемостями, имеющего бесконечное электрическое сопротивление, и из размещенной на нем определенной безземкостной обмотки. Магнитопровод прерывается зазором, ограниченным параллельными плоскостями (см. рис. 1), перпендикулярными плоскостям головки, по которой перемещается носитель.

Зазор заполняется немагнитным электроизоляционным материалом. Независимо от того, какие функции (записи или воспроизведения) выполняет головка для характеристики идеальной головки, достаточно знать четыре параметра:

$n$  — число витков обмотки;

$s$  — ширина рабочего зазора, м;

$d$  — длина рабочего зазора, м;

$L$  — длина рабочей поверхности головки, м.

Может оказаться, что в канале магнитной записи сигналов данные записывающей и воспроизводящей головок будут различны (в этом случае для записывающей головки применяется индекс  $z$ , а для воспроизводящей — индекс  $v$ , например  $s_z$ ,  $s_v$  и т. д.).

### Идеальный носитель сигнала

Он представляет собой ограниченный параллельными плоскостями рабочий слой из однородного жесткого магнитного материала с равномерной магнитной проницаемостью. Для характеристики носителя применяют следующие параметры:  $\delta$  — толщина рабочего слоя носителя, м;  $M_R$  — остаточная намагниченность, А/м;  $H_C$  — коэрцитивная сила, А/м.

Величина, характеризующая взаимодействие головка—лента, определяется как расстояние между рабочими плоскостями головки и ленты (см. рис. 1).

### Воспроизведение

Предположим, что магнитная лента имеет равномерную синусоидальную намагниченность и ее направление совпадает с направлением движения ленты. Тогда

$$M = iM_x + jM_y + kM_z = iM_0 \sin(2\pi x/\lambda_r). \quad (2)$$

Далее, пусть ширина дорожки записи  $b$  на магнитной ленте меньше длины зазора головки  $d$  и пусть рабочая поверхность головки параллельна плоскости рабочего слоя магнитной ленты, а осевая линия зазора перпендикулярна

направлению движения ленты. В этом случае замыкающийся через обмотку головки магнитный поток с хорошим приближением определяется формулой

$$\Phi_B(x) = \mu_0 b \delta M_0 \left[ 1 - \frac{\sin(kL/2)}{(kL/2)} \right] e^{-k a_B} \frac{1 - e^{-k \delta}}{k \delta} \times \frac{\sin(ks^*/2)}{(ks^*/2)} \sin kx, \quad (3)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнитная проницаемость вакуума, В · с / (А · м);  $\delta$  – толщина рабочего слоя носителя, м;  $k = 2\pi/\lambda_T$  – волновая постоянная записи;  $L$  – длина рабочей поверхности головки, м (см. рис. 1);  $a_B$  – расстояние между воспроизводящей головкой и магнитной лентой, м;  $s^* = 1,14s$  – так называемая эффективная ширина рабочего зазора, м (см., например, [81, 105, 134, 141]).

Зная магнитный поток, на основании закона электромагнитной индукции определяем выходное напряжение воспроизводящей головки:

$$u_B(t) = -n_B \frac{d\Phi_B}{dt} = -n_B \frac{d\Phi_B}{dx} \frac{dx}{dt} = -n_B \frac{d\Phi_B}{dx} v_x. \quad (4)$$

Используя зависимость  $kx = \omega t$ , получаем напряжение на контактах одновитковой головки:

$$\begin{aligned} u_B(t) &= \mu_0 b \delta M_0 \omega \left[ 1 - \frac{\sin(kL/2)}{(kL/2)} \right] \times e^{-ka} \frac{1 - e^{-k\delta}}{k\delta} \frac{\sin(ks^*/2)}{(ks^*/2)} \cos \omega t = \\ &= \Phi_0 \omega \alpha_L \alpha_a \alpha_\delta \alpha_s \cos \omega t. \end{aligned} \quad (5)$$

Исследуем каждый из коэффициентов в отдельности.

### Амплитуда сигнала

Первый коэффициент – магнитный поток (или амплитуда)

$$\Phi_0 = \mu_0 b \delta M_0 \quad (6)$$

пропорционален только амплитуде намагничивания, ширине дорожки записи и толщине рабочего слоя носителя.

Бывает, как увидим далее, что рабочий слой носителя не намагничивается полностью по всей толщине. В этом случае поток определяется реально намагниченной толщиной рабочего слоя носителя, а не  $\delta$ . В первом приближении то же самое можно сказать и о ширине дорожки записи: если воспроизводящая головка по какой-либо причине соскальзывает с дорожки записи, то магнитный поток определяется не шириной дорожки записи, а реальной шириной дорожки, по которой перемещается головка. Если же ширина дорожки записи носителя больше длины рабочего зазора головки, то магнитный поток определяется последней.

### Амплитудно-частотная характеристика

Напряжение на выводах головки пропорционально воспроизводимой частоте (вернее, скорости движения ленты при постоянной длине волны) или возрастает на 6 дБ на октаву при повышении частоты. Причина понятна: за-

кон электромагнитной индукции распространяется и на магнитоэлектрическое преобразование. А взятие производной по времени в частотной области означает умножение на  $\omega$ . Следует отметить, что для магнитоэлектрического преобразования могут быть использованы и другие физические явления, с помощью которых можно создать так называемые чувствительные к магнитному потоку головки, напряжение на выходе которых не зависит от  $\omega$  (вернее, от  $\nu$ ). Однако роль таких головок в системах видеозаписи незначительна, и здесь они не рассматриваются. Поскольку в выражении (5) в другие коэффициенты частота не входит, можно констатировать, что в процессе воспроизведения частотная зависимость определяется исключительно законом магнитной индукции.

### Потери, зависящие от длины волны записи

Следующие коэффициенты в (5) зависят от длины волны записи, размеров головки, свойств ленты и взаимного расположения головки и ленты.

Коэффициент

$$\alpha_L = 1 - \frac{\sin(kL/2)}{(kL/2)}, \quad k = 2\pi/\lambda_r, \quad (7)$$

называется зеркальными потерями\* (данная формула является грубым приближением и служит не для расчета величины потерь, а только для наглядной иллюстрации данного явления). Более подробно эта тема рассмотрена в [39 и 141]. Понятие "зеркальные потери" возникло по аналогии с уже укоренившимся понятием "щелевые потери". Если длина волны записи соизмерима с длиной рабочей поверхности головки, то возникают пульсации коэффициента передачи и при дальнейшем увеличении  $\lambda_r$ , т. е.

$$\alpha_L \rightarrow 0, \quad \text{если } \lambda_r \rightarrow \infty, \quad (8)$$

ЭДС головки стремится к нулю (рис. 3). Таким образом, на нижних частотах зеркальные потери ограничивают диапазон длин волн записи.

Коэффициент  $\alpha_a$  называется коэффициентом контактных потерь, являющихся одними из основных в магнитной записи, и определяется как

$$\alpha_a = e^{-\frac{2\pi a_B}{\lambda_r}}$$

или (рис. 4)

$$A_a = 20 \log \alpha_a = -54,6 (a_B/\lambda_r), \quad \text{дБ.} \quad (9)$$

Контактные потери приводят к двум последствиям. С одной стороны, поскольку в реальном устройстве расстояние между головкой и лентой не может быть произвольно уменьшено до желаемого размера, при уменьшении длины волны, вернее, при увеличении частоты наступает крутой спад. Расстояние между лентой и головкой из-за микрошероховатостей поверхности

\* В отечественной литературе коэффициент  $\alpha_L$  называют второй щелевой функцией ( $\alpha_s$  — коэффициентом щелевых потерь). — Прим. ред.

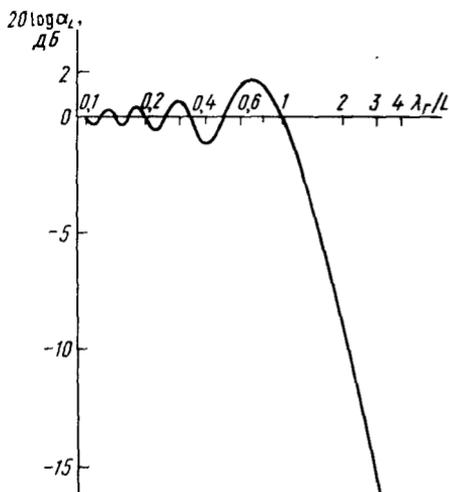


Рис. 3. Зеркальные потери  $\alpha_L$  в соответствии с зависимостью (7)

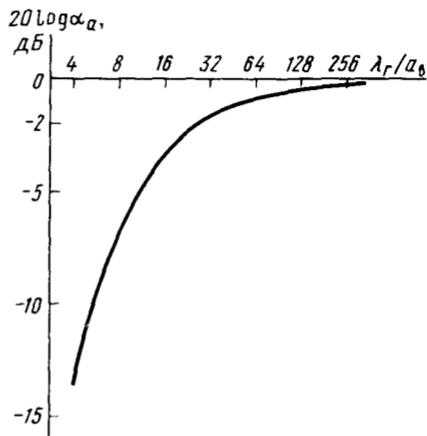


Рис. 4. Контактные потери  $\alpha_a$  в соответствии с зависимостью (9)

головки и ленты не может быть меньше чем 0,3 мкм. Это расстояние при длине волны 1 мкм дает потери в 16,4 дБ. С другой стороны, и это намного существеннее, изменение расстояния между головкой и лентой приводит к значительному изменению амплитуды на малых длинах волн. Используя (9), получаем

$$\frac{dA_a}{A_a} = - \frac{d(a/\lambda)}{(a/\lambda)} \quad (10)$$

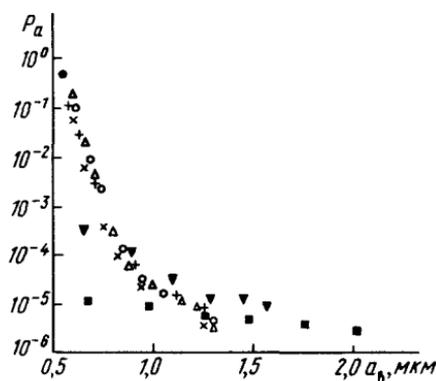
Согласно вышеприведенным числовым примерам изменение расстояния между головкой и лентой на 30 нм вызывает изменение уровня на 1,64 дБ при длине волны 1 мкм (расстояние соответствует длине волны мягкого рентгеновского излучения, которое находится намного ниже нижней границы видимого спектра), т. е. изменение расстояния между головкой и лентой в пределах  $\pm 30$  нм приводит к амплитудной модуляции в пределах  $\pm 20\%$ . На практике изменение расстояния головка–лента больше (рис. 5), и, таким образом, нестабильность амплитуды сигнала в верхней области передаваемой полосы частот следует считать неискоренимой в реальных каналах магнитной записи-воспроизведения.

Коэффициент

$$\alpha_\delta = \frac{1 - e^{-\frac{2\pi\delta}{\lambda_r}}}{2\pi\delta/\lambda_r} \quad (11)$$

называется слойными потерями. Магнитная лента имеет конечную толщину рабочего слоя, и удаленные от головки слои в меньшей степени влияют на

Рис. 5. Распределение вероятности контактного расстояния головка—лента для видеомагнитофона типа JVC B25 с наклонно-строчной системой записи (ширина строчки записи 152 мкм, ширина зазора между строчками записи 89 мкм, ширина рабочего зазора головки 1,3 мкм, относительная скорость головка—лента  $18,4 \text{ мс}^{-1}$  [142])



магнитный поток, протекающий в головке. Таким образом, чем толще рабочий слой носителя, который вызывает магнитный поток  $\Phi_0$  на нижних частотах, тем относительно меньше та "эффективная" толщина носителя, которая определяет магнитный поток на малых длинах волн. Потери  $\delta$  при  $\lambda_r \approx 8,3$  достигают 3 дБ, а далее с уменьшением  $\lambda_r$  магнитный поток падает с крутизной 6 дБ на октаву (рис. 6). Как уже упоминалось, частичное перемагничивание носителя снижает слойные потери. Правда, таким методом получаем более низкий уровень записи на нижних частотах, но результирующая характеристика становится более равномерной (спрямленной).

Со стороны малых длин волн полоса пропускания ограничивается щелевыми потерями  $\alpha_s$ , определяемыми шириной рабочего зазора головки, т. е.

$$\alpha_s = \frac{\sin(\pi s^*/\lambda_r)}{(\pi s^*/\lambda_r)} \quad (12)$$

Вследствие этих потерь наступает полное затухание на длине волны  $\lambda_r = s^*$  (рис. 7). Для того чтобы уменьшить различия между потерями, определяемыми данным выражением, и реальными потерями в зазоре, зависимость которых не может быть записана в явной форме [138], в выражение (12) введена "эффективная" ширина рабочего зазора  $s^* = 1,14s$ .

Выражение (12), соответствующее потерям в зазоре, справедливо только в том случае, когда, как мы и предположили, зазор воспроизводящей головки перпендикулярен направлению движения магнитной ленты, т. е. если зазоры записывающей и воспроизводящей головок параллельны друг другу. (Это предположение отражено в выражении  $M = i M_0 \sin kx$ . Если запись производится головкой с наклонным рабочим зазором, то положение фазы намагниченности изменяется по ширине дорожки записи.) Кроме того, в случае непараллельности зазоров записывающей и воспроизводящей головок возникают дополнительные волновые потери, которые можно отразить в виде предполагаемого увеличения ширины зазора:

$$s = \begin{cases} b \operatorname{tg} \beta, & \text{если } b \leq d, \\ d \operatorname{tg} \beta, & \text{если } b \geq d, \end{cases} \quad (13a)$$

где  $\beta$  — угол между зазорами записывающей и воспроизводящей головок

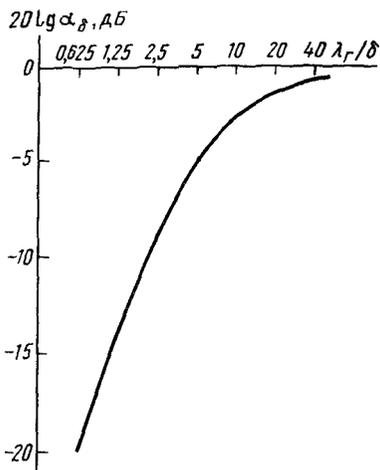


Рис. 6. Слойные потери  $\alpha_\beta$  в соответствии с зависимостью (11)

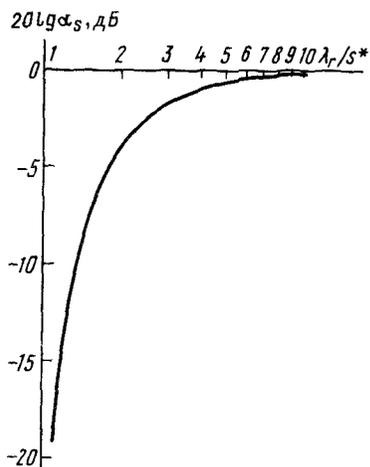


Рис. 7. Щелевые потери  $\alpha_s$  в соответствии с зависимостью (12). ("Эффективная" ширина рабочего зазора примерно на 14 % превышает механическую ширину идеальной головки.)

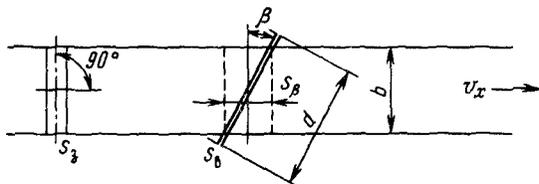


Рис. 8. Рабочий зазор записывающей головки  $s_z$ , перпендикулярный направлению движения ленты  $v_x$ , и рабочий зазор воспроизводящей головки  $s_\beta$ , расположенный под углом  $\beta$ . Во втором случае получается частотная характеристика, соответствующая рабочему зазору, расширенному до проекции длины рабочего зазора на направление перемещения ленты

(рис. 8). Отметим, что в устройствах, где направление движения ленты из-за значительных механических допусков колеблется, изменяющееся во времени отклонение угла наклона зазора возникает даже тогда, когда запись и воспроизведение осуществляются одной и той же головкой. Наряду с колебанием расстояния между головкой и лентой данное явление также является источником флуктуаций амплитуды дорожки записи влияния отклонения зазоров снижается.

Заслуживает внимания и случай, когда зазоры записывающей и воспроизводящей головок параллельны, но не перпендикулярны направлению движения ленты. При этом потери растут так же, как если бы увеличилась ширина зазоров

$$s_v = s / \cos v,$$

(136)

где  $v$  – угол между рабочим зазором и прямой, перпендикулярной движению головки. Из выражения (136) следует, что данным влиянием можно пренебречь, так как отклонение приблизительно до  $26^\circ$  эквивалентно увеличению ширины зазора в пределах 10 %.

Обобщая все вышесказанное, приходим к выводу, что при воспроизведении диапазон передаваемых частот ограничен как сверху, так и снизу. Ограничение сверху определяется шириной зазора, а снизу – внешними размерами головки. При этом низкочастотные и высокочастотные составляющие спектра видеосигнала не воспроизводятся. На практике граничные размеры соответствуют 0,3 мкм и 10 мм. Таким образом, максимальное воспроизводимое отношение верхней граничной частоты канала к нижней может лежать в интервале  $10^4 \dots 3 \cdot 10^4$ . Коэффициент передачи в полосе пропускания очень неравномерен. Это приводит к сильному изменению амплитуды сигнала в диапазоне малых длин волн.

### Процесс записи-воспроизведения

Если характеристики процесса воспроизведения определяются исключительно геометрией системы головка–лента, то на процесс записи помимо геометрических размеров оказывают влияние и магнитные свойства ленты. Процесс записи в противоположность процессу воспроизведения является нелинейным, что частично связано с особенностями материала, а частично – с геометрией: при синусоидальном токе, протекающем по обмотке головки, записанный сигнал сильно отличается от синусоидального. Параметры воспроизводимого видеосигнала зависят от уровня записи: незначительное увеличение тока записи, вызванное какими-либо причинами, приводит к увеличению потерь на верхних частотах. Все эти причины не могут быть проанализированы так же просто, как в случае процесса воспроизведения, из-за отсутствия простых математических моделей процесса записи, с помощью которых можно было бы в замкнутой форме описать многочисленные зависимости.

### Частотная зависимость

Процесс записи, т. е. связь между намагниченностью носителя и магнитным полем, для идеальной головки с хорошим приближением можно считать независимым от частоты. (Согласно [131] процесс намагничивания носителей, обычно используемых в технике магнитной записи, происходит в пределах 10 нс. В ходе исследований носитель намагничивался с помощью специальных головок импульсами, а затем изучалась зависимость остаточной магнитной индукции от длительности импульсов. С уменьшением длительности импульсов до 10 нс форма кривой намагничивания не менялась; при еще меньшей длительности импульсов намагниченность уменьшалась, но могла быть скомпенсирована за счет увеличения напряженности магнитного поля. Таким образом, на ленте с покрытием из  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$  даже с помощью импульсов длительностью 1 нс удалось приблизиться к насыщению. На

основании этого можно считать, что граница верхних частот лежит выше 100 МГц.)

Учитывая, что то же самое было установлено и в процессе воспроизведения, можно сказать, что в идеальном канале магнитной записи потери, зависящие от частоты, не возникают, а это, в свою очередь, означает, что через идеальный канал магнитной записи можно передавать сигнал произвольной частоты, если относительная скорость головка—лента будет выбрана такой, чтобы длина волны сигнала попадала в диапазон полосы пропускания канала.

В реальном канале магнитной записи потери, зависящие от частоты, возникают в первую очередь в головках, но они могут быть скомпенсированы соответствующим выбором материала головки и технологии ее изготовления или с помощью электронной обработки. Таким образом, эти утверждения справедливы для реальных устройств в диапазоне частот до 20 . . . 30 МГц [137].

### Зависимость от длины волны записи

Параметры процесса записи оказывают влияние на коэффициенты  $\Phi_0$ ,  $\alpha_\delta$ ,  $\alpha_a$ , которые были рассмотрены для процесса воспроизведения. Это означает, что если по обмотке идеальной записывающей головки пропускать синусоидальный ток с постоянной в пределах рабочей полосы частот амплитудой  $i \neq i(\omega)$ , то амплитуда магнитного потока, проходящего через воспроизводящую головку, если не учитывать потери, связанные с размерами рабочей поверхности и рабочего зазора ( $\alpha_L = 1$ ,  $\alpha_S = 1$ ), может быть записана в такой же форме, как и в случае воспроизведения, а именно

$$\frac{\Phi_{3-в}}{\Phi_0} = \frac{1 - e^{-k\delta_{3-в}}}{k\delta_{3-в}} e^{-ka_{3-в}}, \quad (14)$$

где  $\delta_{3-в}$  — эффективная толщина рабочего слоя носителя в процессе записи-воспроизведения, а  $a_{3-в}$  — эффективное расстояние между головкой и рабочим слоем. Эти величины определяются не только геометрическими параметрами, но и уровнем записи и магнитными характеристиками материала носителя [11, 76, 87, 97, 98].

С учетом практической значимости, а также с целью облегчения восприятия дальнейшего материала рассмотрим сначала влияние изменения тока записи на амплитуду сигнала.

На рис. 9 представлена зависимость амплитуды магнитного потока от тока записи при заданной длине волны. Видно, что с увеличением тока записи уровень воспроизведения растет до определенного предела, затем рост прекращается, а при дальнейшем увеличении тока на более коротких волнах он даже уменьшается. Местоположение максимума, величина и крутизна уменьшения уровня воспроизведения являются функциями длины волны. На более коротких волнах максимум достигается при меньшем токе записи, и соответственно максимальный воспроизводимый поток уменьшается. Однако при этом увеличивается крутизна спада характеристики после прохождения точки максимума.

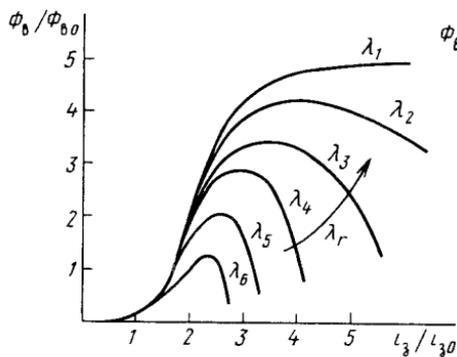


Рис. 9

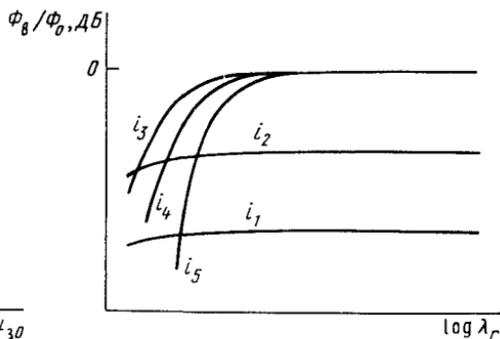


Рис. 10

Рис. 9. Зависимость амплитуды магнитного потока воспроизводящей головки от тока записи при различных значениях длин волн ( $\lambda_{i+1} < \lambda_i < \lambda_{i-1}$ ). Максимум амплитуды с уменьшением длины волны смещается в сторону меньших токов записи

Рис. 10. Частотные характеристики при различных значениях амплитуд тока записи головок ( $i_{i+1} > i_i > i_{i-1}$ )

На рис 10 показаны зависимости уровня от длины волны записи сигнала при различных значениях тока записи. Хорошо видно влияние ранее рассмотренных зависимостей, максимум смещается в сторону более коротких волн, крутизна спада характеристики увеличивается с ростом тока записи.

Из рисунка следует, что в зависимости от характера передаваемого сигнала может быть выбран соответствующий ток записи. Если информационная часть сигнала попадает в область больших длин волн записи, то целесообразно устанавливать такой ток записи, чтобы был получен максимум амплитуды сигнала, несмотря на ухудшение передачи более коротких волн. Вместе с тем если целью является расширение полосы частот видеосигнала, то ток записи следует устанавливать по максимуму амплитуды сигнала в области коротких длин волн записи. При этом необходимо учитывать снижение уровня записи, возникающее на длинных волнах.

Такой геометрический параметр, как ширина рабочего зазора, оказывает относительно малое влияние на видеосигнал [11, 91]. Влияние контактного расстояния головка—лента при записи оказывается более сложным. Предположим, что при каком-то заданном значении контактного расстояния головка—лента  $a_3$  ток записи на длине волны  $\lambda_0$  установлен на максимальный уровень воспроизведения. Если теперь умышленно изменить контактное расстояние головка—лента и одновременно с этим подрегулировать ток записи, причем таким образом, чтобы на длине волны  $\lambda_0$  вновь получился максимальный уровень воспроизводимого сигнала, то из-за увеличения  $a_3$  уровень видеосигнала упадет: потери на высоких частотах увеличатся далеко не пропорционально контактному расстоянию воспроизводящая головка—лента. Однако если, например, на какой-то длине волны ток записи будет установлен

на максимальный уровень при малом значении контактного расстояния записывающая головка—лента и при неизменном значении тока записи отдалить ленту от головки, то искажения видеосигнала, возможно, уменьшатся, так как увеличение контактного расстояния головка—лента аналогично действию уменьшения тока записи. (Аналогия не является полной. Уменьшение тока записи вызывает уменьшение продольной зоны намагничивания ленты, с чем связаны более благоприятные условия для коротких длин записи. А увеличение контактного расстояния головка—лента, с одной стороны, уменьшает толщину перемагничиваемого слоя, с другой — увеличивает длину зоны намагничивания, а это оказывает отрицательное воздействие на запись коротких длин волн. Поэтому данное положение излагается с такой осторожностью.)

Если магнитную ленту достаточно далеко удалить от головки, то уровень записи обязательно уменьшится во всем диапазоне длин волн, так как магнитное поле в зоне центральной линии зозора приблизительно обратно пропорционально расстоянию от головки. Таким образом, на определенном расстоянии от головки попадаем на участки кривых с крутым спадом (см. рис. 9), соответствующим уменьшению магнитного поля.

Итак, влияние магнитных свойств носителя можно определить следующим образом. На длинных волнах максимальный уровень записи (так называемый уровень насыщения) определяется остаточной намагниченностью  $M_R$ . Это следует из выражения (6). Однако при определении максимального уровня записи на более коротких волнах влияние  $M_R$  уменьшается, воспроизводимый сигнал растет до тех пор, пока ниже некоторой длины волны амплитуда сигнала начнет определяться исключительно коэрцитивной силой  $H_C$ . Согласно [76] выходной сигнал (напряжение на выходе воспроизводящей головки) может быть представлен в виде

$$u_B(\lambda_r) \sim M_R^n H_C^m. \quad (15)$$

При этом показатели степени при соответствующей длине волны:

$$\lambda_r = 24 \text{ мкм}: \quad n = 0,75 \text{ и } m = 0,25;$$

$$\lambda_r = 5 \text{ мкм}: \quad n = 0,4 \text{ и } m = 0,6;$$

$$\lambda_r = 1,2 \text{ мкм}: \quad n = 0,08 \text{ и } m = 0,92$$

(условия измерений:  $s_3 = 1,3$  мкм,  $\delta = 4,5$  мкм. Ток записи для каждого носителя устанавливается таким, чтобы при длине волны  $\lambda_r = 1,2$  мкм получился максимальный уровень записи. Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила носителей изменялись соответственно в следующих пределах: 107... 287 и 23,3... 127 кА/м).

Таким образом, для записи коротких длин волн необходим носитель с большой коэрцитивной силой.

До сих пор речь шла только об амплитудно-частотной характеристике канала записи изображения, а фазовая характеристика еще не рассматривалась. В электрических цепях измерение и анализ фазовой характеристики не представляют большой трудности, поскольку входной и выходной сигналы можно

непосредственно сравнить друг с другом. В канале магнитной записи имеется определенная задержка между входным и выходным сигналами, связанная с конечным временем движения магнитной ленты от записывающей головки к воспроизводящей, а также с различием контактного расстояния записывающая головка—лента и воспроизводящая головка—лента. Но если запись и воспроизведение осуществляются одной головкой, то одновременно проанализировать и, следовательно, непосредственно сравнить, входной и выходной сигналы невозможно.

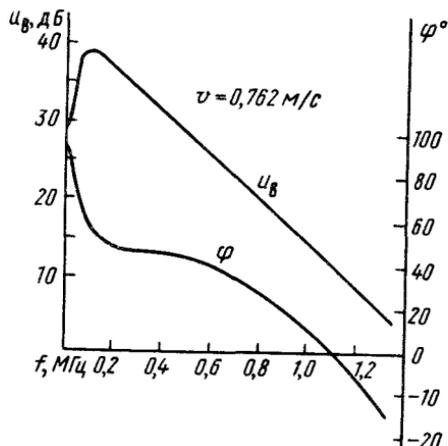
Фазочастотная характеристика (ФЧХ) канала может быть рассчитана теоретически [45] или определена с помощью различных методов измерения [46]. Принцип измерения: на вход канала подаются измерительные сигналы, спектр которых определяется с помощью аналого-цифрового преобразования и преобразование Фурье. Точно так же определяется спектр выходных сигналов, а частное от деления этих двух спектров характеризует коэффициент передачи. На рис. 11 показаны действительная и мнимая части коэффициента передачи (амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики), полученные таким методом.

Амплитудно-частотная характеристика, как и следовало ожидать, имеет вид, описанный ранее. Фаза на нулевой частоте равна  $90^\circ$ , поскольку дифференцирование магнитного потока в головке воспроизведения приводит к сдвигу фазы на  $90^\circ$ . Заметим, что вблизи  $45^\circ$  имеется участок, где фаза не зависит от частоты. Фазовый сдвиг уменьшается с ростом частоты. Приведенная ФЧХ характерна для реального канала магнитной записи: участок в области  $45^\circ$  почти однозначно является следствием потерь в головках, и только фазовые искажения, возникающие от самых низкочастотных составляющих сигнала, можно приписать идеальному каналу.

При этом следует сказать, что идеальный канал магнитной записи не оказывает существенного влияния на зависящие от частоты фазовые сдвиги. Мнимая часть коэффициента передачи не зависит от формы действительной части.

На всех частотах имеется постоянный фазовый сдвиг  $\varphi = \pi/2$ .

Рис. 11. АЧХ и ФЧХ канала магнитной записи-воспроизведения [46]. В отличие от традиционной, шкала частот на оси абсцисс линейна. В диапазоне частот ниже примерно 100 кГц амплитуда сигнала пропорциональна частоте; на втором участке кривой спад прекращается, так как проявляются потери; на третьем участке АЧХ линейно спадает. Из-за дифференцирования фазовая характеристика начинается с  $90^\circ$ , а сдвиг на  $45^\circ$  есть результат потерь в головках. Начиная примерно с 0,7 МГц ( $\lambda_r = 1$  мм) начинают появляться фазовые искажения, возникающие в процессе записи. Условия измерений:  $s_3 = 1,65$  мкм;  $s_B = 0,4$  мкм;  $v_x = 0,762$  мс $^{-1}$ ;  $b = 1,27$  мм; видеолента с магнитным слоем  $SiO_2$



## Нелинейные искажения

На рис. 9 показаны характерные зависимости амплитуды сигнала от тока записи канала магнитной записи-воспроизведения, с помощью которых можно легко установить, что между входным и выходным сигналами даже в грубом приближении не существует линейной зависимости, т. е. канал вносит достаточно сильные нелинейные искажения во всем диапазоне длин волн. Амплитудная характеристика может быть аппроксимирована с помощью степенного ряда, а поскольку она симметрична относительно начала координат, то степенной ряд

$$u_B(i_3) = b_1 i_3 + b_3 i_3^3 + b_5 i_3^5 + \dots \quad (16)$$

будет содержать только нечетные составляющие, где  $b_i$  — коэффициенты, зависящие от частоты. Можно показать, что уменьшение рабочего зазора записывающей головки приводит к некоторому снижению нелинейности канала, возникающей на более длинных волнах [93]. Зависимость нелинейности канала от длины волны, а также влияние на нее параметров процесса записи еще недостаточно изучены. Однако известно, что нелинейность увеличивается с уменьшением длины волны [136]. (Нелинейность может быть значительно снижена за счет пропускания через записывающую головку тока подмагничивания, частота которого значительно выше максимальной частоты записываемого сигнала. Это позволяет осуществить аналоговую запись звука. С одной стороны, подмагничивание увеличивает коротковолновые потери и вследствие достаточно большой верхней граничной частоты телевизионного сигнала техническая реализация данного решения в видеозаписи была бы связана с большими трудностями. С другой стороны, при записи без подмагничивания возникают значительные искажения сигнала, которые, как увидим далее, достаточно сильно влияют на качество изображения.)

## Шум

До этого предполагалось, что магнитный носитель является идеальным в смысле однородности (в магнитном отношении) материала и его поверхность ограничена плоскостью.

На практике ни одно из этих предположений не выполняется. Известно, что магнитный материал состоит из множества отдельных намагничиваемых до насыщения доменов. В размагниченном материале векторы намагниченности различных доменов направлены в разные стороны, т. е. не упорядочены, и поэтому результирующее магнитное поле равно нулю. В намагниченном материале векторы намагниченности упорядочены, в результате чего появляется магнитное поле носителя. Под действием магнитных полей отдельных находящихся в стадии насыщения доменов в воспроизводящей головке возникает магнитный поток, который вследствие неполной упорядоченности магнитных доменов пульсирует случайным образом и, в свою очередь, индуцирует точно так же флуктуирующее напряжение (ЭДС) в обмотке головки. Этот шум (основной) присутствует как на стертой, так и на намагниченной ленте, а его мощность не зависит от уровня полезного сигнала.

Применяемые на практике магнитные носители (за небольшим исключением) являются неоднородными и состоят из магнитных частичек, которые представляют собой отдельные магнитные домены и размещаются в связующем материале в магнитном слое носителя; "идеальным" носителем является такой, у которого частички имеют одинаковую форму и распределены равномерно по всему магнитному слою носителя.

На практике частички образуют скопления. Толщина магнитного слоя имеет статистическую неоднородность: на поверхности носителя возможны выступы и впадины (микрошероховатости). Легко заметить, что данные погрешности оказывают незначительное влияние на шум размагниченного носителя; однако если носитель намагнитить, то магнитный поток воспроизводящей головки будет иметь случайную амплитудную модуляцию. Этот шум появляется исключительно при наличии сигнала и называется модуляционным.

### Основной источник шума

Как было показано выше, АЧХ является далеко не линейной в первую очередь из-за зависящих от длины волны записи потерь, возникающих в процессе воспроизведения. Так как основным источником шума являются магнитные потоки отдельных частичек магнитного материала, находящихся в беспорядочном состоянии на магнитной ленте\*, то вполне естественно, что компенсация потерь, возникающих в процессе воспроизведения, усиливает шум магнитной ленты. Появляющийся на выходе воспроизводящей головки шум имеет далеко не равномерный энергетический спектр, который может быть определен при некоторых допущениях о свойствах носителя записи [88]. Среднее квадратическое значение воспроизведенного напряжения шума, измеренного с помощью прибора с "бесконечно малой" шириной полосы  $dk$ , выраженной через волновое число  $k$ , определяется как

$$du_z^2(k) = \frac{\mu_0^2}{4\pi} q^2 n b v^2 k (1 - e^{-2k\delta}) e^{-2ka_B} dk, \quad (17)$$

где  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума;  $q$  — магнитный момент элементарных частичек,  $A \cdot m^2$  (магнитные моменты элементарных магнитных частичек предполагаются одинаковыми; при этом случае полного магнитного насыщения носителя  $qn = M_s$ );  $n$  — число магнитных частичек, находящихся в единичном объеме,  $m^{-3}$ ;  $b$  — ширина строчки записи, м;  $k$  — волновое число записи,  $m^{-1}$ ;  $\delta$  — толщина рабочего слоя носителя, м;  $a_B$  — расстояние воспроизводящая головка—лента;  $dk = (2\pi/v)dr$  — "бесконечно малая" полоса частот в рабочей полосе пропускания, выраженная через волновое число, м;  $v$  — скорость ленты, м/с.

В случае конечной ширины полосы необходимо  $du_z^2(k)$  проинтегрировать в рабочей полосе частот с целью получения полной мощности шума.

\* Эта составляющая шума называется в отечественной литературе структурным шумом магнитного носителя. — Прим. ред.

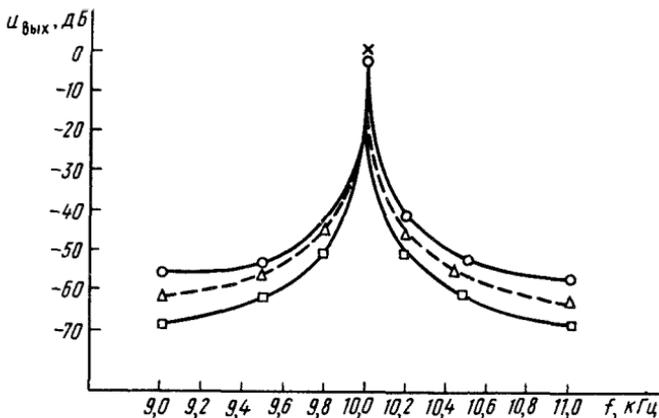


Рис. 12. Изменение под действием модуляционного шума ширины спектральной линии воспроизводимого синусоидального сигнала с частотой 10 кГц, записанного со скоростью 38,1 см/с

Предположив, что в заданной полосе частот магнитный поток носителя постоянен и не зависит от длины волны, на основании вышеизложенного можно записать и волновой энергетический спектр полезного сигнала:

$$u_f^2(k) = \frac{1}{2} [\mu_0 q n \alpha b v (1 - e^{-k\delta}) e^{-ka}]^2, \quad (18)$$

где  $\alpha$  — глубина модуляции (отношение намагниченности при записи к намагниченности насыщения).

С помощью приведенных выше двух выражений можно рассчитать отношение сигнал-шум для любой заданной системы. Однако при расчетах необходимо учитывать, что на соотношение сигнал-шум системы оказывают влияние и шумы головки, и шумы схемы.

### Модуляционный шум

Как было показано выше, модуляционный шум возникает вследствие объемных и поверхностных неравномерностей носителя. Эти неравномерности значительно превышают размеры магнитных частичек носителя. Поэтому становится понятным, почему спектр возникающего шума в первую очередь содержит длинноволновые компоненты. Согласно [132] волновой энергетический спектр модуляционного шума равномерно намагниченного носителя может быть получен умножением волнового спектра полезного сигнала на коэффициент, резко уменьшающийся при уменьшении длины волны:

$$du_{\text{мод } z}^2(k) \sim [(1 - e^{-k\delta}) e^{-ka}]^2 e^{-k/2\sigma}, \quad (19)$$

где  $\sigma$  — величина, характеризующая неоднородность распределения частичек магнитного материала. Не следует забывать, что модуляционный шум прояв-

ляется в виде паразитной амплитудной модуляции только при наличии полезного сигнала и его уровень пропорционален амплитуде полезного сигнала. Если же полезный сигнал синусоидальный с волновым числом  $k_0$ , то волновой энергетический спектр шума можно получить из выражения (19) заменой  $k$  на  $(k - k_0)$  (рис. 12). Отношение сигнал-модуляционный шум характеризует магнитную ленту и в какой-то степени записывающую головку.

## 1.2. ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

### Основные требования

Устройства, предназначенные для записи видеосигналов, помимо требований, которым должны удовлетворять устройства для записи звуковых сигналов, должны обладать:

большой относительной шириной полосы;

большой верхней граничной частотой;

большой временной стабильностью.

Рассмотрим более подробно данные требования.

### Ширина полосы

Относительная ширина полосы телевизионного сигнала с учетом отношения передаваемых граничных частот, нижней порядка 10 Гц и верхней порядка  $4 \dots 6 \cdot 10^6$  Гц, составляет  $4 \cdot 10^5 \dots 6 \cdot 10^5$ . Однако относительная ширина полосы канала магнитной записи, как было показано при обсуждении потерь в канале записи-воспроизведения, зависящих от длины волны, составляет  $10^4$  и ни в коей мере не более  $3 \cdot 10^4$ . Таким образом, требуемая относительная ширина полосы телевизионного сигнала отличается от реализуемой на целый порядок.

Решить данную проблему можно, если вместо прямой записи использовать запись модулированных сигналов, а конкретнее — частотно-модулированных сигналов. При этом исключается влияние изменения амплитуды при магнитной записи. Ниже будет достаточно подробно показано (см. разд. 2.1), что относительная ширина полосы канала может быть меньше  $10^4$  при использовании узкополосной частотной модуляции с малой девиацией и малым индексом модуляции.

Как уже говорилось, процесс перемагничивания магнитной ленты протекает достаточно быстро, поэтому здесь нет смысла принимать во внимание связанные с этим ограничения в области верхних частот, а соответствующие ограничения полосы пропускания головок из-за гистерезисных потерь (потерь в сердечнике) [135, 137] могут быть сняты соответствующим подбором материала головок и их конструкции. Таким образом, данный вопрос также не имеет существенного значения. Самым главным является ограничение снизу по длине волны записи, минимально допустимая величина которой определяется магнитными и механическими свойствами носителя, шириной рабочего зазора головки воспроизведения и параметрами лентопротяжного механизма. Поскольку задана наименьшая длина волны записи и воспроиз-

ведения, а также верхняя граничная частота записываемого сигнала, то задана и максимальная относительная скорость головка—лента.

При определении относительной скорости головка—носитель (в данном случае головка—лента) необходимо помнить, что верхняя граничная частота записываемого сигнала при модуляционной записи не равна верхней граничной частоте видеосигнала, а больше ее. Необходимо, чтобы для несущей частоты  $f_H$  независимо от метода модуляции выполнялось соотношение  $f_H > f_{M \max}$ , где  $f_{M \max}$  — максимальная частота модулирующего сигнала. На практике  $f_H = 1,3 f_{M \max} \dots 1,8 f_{M \max}$ . Таким образом, если передаются первые составляющие боковых полос модулированного сигнала, то верхняя граничная частота

$$f_{ГР} = 2,3 f_{M \max} \dots 2,8 f_{M \max},$$

а при передаче с одной боковой полосой по крайней мере должно выполняться равенство

$$f_{ГР} = f_H = 1,3 f_{M \max} \dots 1,8 f_{M \max}.$$

Поэтому в профессиональных видеомагнитофонах, в которых  $f_{M \max} = 4,2 \dots 6$  МГц, верхняя граничная частота  $f_{ГР} = 9,5 \dots 17$  МГц. В бытовых видеомагнитофонах при необходимости записи преобразованных сигналов цветного изображения с  $f_{M \max} = 2,5 \dots 3$  МГц верхняя граничная частота  $f_{ГР} \approx 5,8 \dots 8,5$  МГц. Если с учетом потерь, описанных в разд. 1.1, принять минимальную длину волны записи  $\lambda_{r \min} \approx 1,0 \dots 2,5$  мкм, то на основании (1) скорость головка—лента для профессиональных видеомагнитофонов будет  $20 \dots 40$  м/с, а для бытовых видеомагнитофонов в предположении записи с двумя боковыми полосами  $5,8 \dots 13$  м/с.

### Отношение сигнал-шум

Требования, предъявляемые к отношению сигнал-шум в системе видеозаписи, по сравнению с требованиями записи звуковых сигналов достаточно умеренные: 95 % телезрителей считают идеальной передачу черно-белого изображения при отношении сигнал-шум 33 дБ [107]. Здесь и далее под отношением сигнал-шум понимаем отношение размаха сигнала яркости (от уровня гашения до уровня белого) к эффективному значению флуктуационной помехи, измеренному в полосе 10 кГц  $\dots$  5 МГц. При измерении отношения сигнал-шум предполагается использование унифицированного взвешивающего фильтра, рекомендованного МККР.

Из-за того что частотная модуляция (ЧМ) с малым индексом модуляции не дает выигрыша в отношении сигнал-шум, магнитный носитель для видеозаписи должен иметь лучшие шумовые характеристики. Вместе с тем под действием ЧМ сигнала носитель намагничивается практически до насыщения, и таким образом получается достаточно высокий уровень сигнала. Это означает, что для требуемого отношения сигнал-шум даже на уровне самых высоких профессиональных требований на магнитной ленте достаточно дорожки записи шириной 250 мкм. Поскольку невозможно изготовить ленты такой ширины и обеспечить ее эксплуатацию и точное перемещение и учитывая

также, что максимальное использование всей поверхности носителя является важной задачей, необходима такая система записи, которая гарантировала бы запись информации на плотно прилегающих друг к другу строчках на ленте, удобной в эксплуатации.

При разработке принципов работы системы видеозаписи можно принять во внимание прерывистый характер телевизионного сигнала: записываемая информация прерывается в строчных и кадровых интервалах гашения. В эти периоды времени необходимо передавать только сигналы синхронизации, но и они могут отсутствовать какое-то короткое время, например в течение нескольких строк, а затем вновь восстанавливаться.

Для решения поставленной задачи напрашиваются два решения. Первое — использование системы записи, при которой лента перемещается с желаемой относительной скоростью головка—лента, а головка является неподвижной. После прохождения некоторого расстояния лента меняет направление перемещения, а головка в это время переходит на соседнюю строчку. Данное решение, несмотря на значительные затраты и длительный период разработки [111], пока не дало положительных результатов.

Другое решение — периодическое прерывание записи, которое осуществляется специальными способами. При этом намагниченная дорожка (строчка записи) перемещается по направлению движения ленты и ее продольной оси. Перемещение ленты обеспечивает только смещение между строчками, а движение в направлении строчек должна обеспечивать головка. Данная проблема может быть решена с помощью диска, на котором размещается головка (или головки). В зависимости от конструкции диска, а также угла между осью диска и продольной осью ленты возможны различные решения. Наиболее приемлемые для практики решения показаны на рис. 13, а, б.



Рис. 13. Возможные варианты расположения диска с головками относительно ленты и строчек записи на ленте:

а — поперечное, б — наклонное, в — дуговое расположение строчек записи по отношению к направлению движения ленты. В магнитной видеозаписи нашли распространение системы с поперечно-строчной и наклонно-строчной записями (типа а и б). Вариант в использовался только для специальных целей [30]. (Поперечное и дуговое расположения были запатентованы итальянцем Л. Марзочи в 1936 году, а наклонное расположение относится к более позднему времени и связывается с именами англичан Д. П. Франклина и Г. Т. Хьюллета.)

## Искажения временного масштаба

Требования, предъявляемые к точности времени задержки, достаточно противоречивы и зависят от условий применения.

Горизонтальная и вертикальная развертки телевизионных устройств надежно синхронизируются, если отклонение частоты полей или частоты строк находится в пределах  $\pm 1\%$  от номинального. Однако если частота строк пульсирует таким образом, что стандартная система развертки не обеспечивает ее отслеживания, то вертикальные линии изображения обрываются и становятся расплывчатыми. Особенно опасны помехи, имеющие период, близкий к длительности поля, но не синхронные с телевизионным сигналом, так как при этом вертикальные линии приобретают хорошо наблюдаемую волнистость.

Многочисленные опыты показывают, что у неподвижного изображения при идеальных условиях наибольшая допустимая ошибка составляет примерно 0,5 элемента изображения [96]. Отсюда допустимая временная ошибка при ширине полосы 5 МГц составляет  $\pm 12,5$  нс [47]. По отношению к длительности строки 64 мкс она равна  $\pm 0,02\%$ . Для студийного оборудования в случае передачи черно-белого изображения данный уровень стабильности частоты строк соответствует рекомендации МККР [13]. В отдельных системах (B, G, H, I, D, K, KI, L) имеется ограничение и по скорости изменения частоты строк, которое составляет максимально 0,05 %/с [17].

Для бытовой аппаратуры эти требования могут быть менее жесткими. В выходном сигнале несегментированных наклонно-строчных систем [60, 61, 62] допустимое отклонение от среднего значения частоты строк составляет  $\pm 0,5\%$ , а размах взвешенного изменения частоты 0,3% (рис. 14).

При записи сигналов цветного телевидения эти требования намного жестче. Чувствительность различных систем цветного телевидения к нестабильности временных задержек различна. Система SECAM, в которой передача цветовой информации осуществляется с помощью частотной модуляции поднесущих частот, малочувствительна к колебаниям частоты и временных задержек,

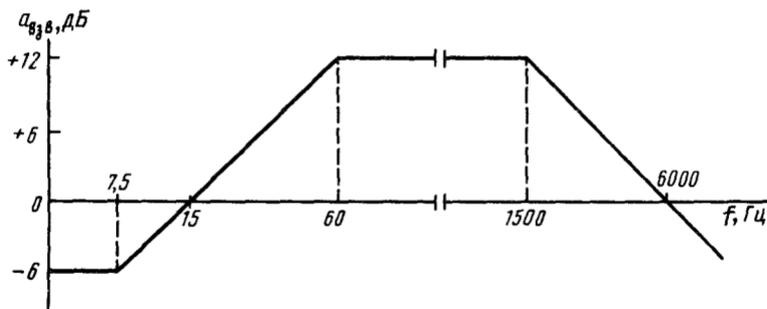


Рис. 14. Взвешивающий фильтр (стандарт разложения 625/50 Гц) для измерения изменений частоты строк. Он учитывает изменение чувствительности инерционной системы синхронизации телевизионных приемников в зависимости от изменения частоты [60]

возникающим вследствие изменения относительной скорости головка—лента. Другое положение существует в системе PAL и особенно в системе NTSC, в которых цветовая информация передается с помощью фазовой модуляции поднесущей. В телевизионных устройствах генератор, восстанавливающий поднесущую, синхронизируется опорным сигналом, который располагается в строчном гасящем интервале (телевизионного сигнала). Полосы захвата и удержание следящей системы ограничены, а постоянная времени выбирается достаточно большой для того, чтобы частота генератора не менялась за время активной части строки. Поэтому если во входном сигнале частота поднесущей меняется, то в изображении меняются насыщенность и цветовой тон. Допуск на цветовую поднесущую  $f_{цп}$  для студийной аппаратуры составляет  $\pm 5$  Гц ( $f_{цп} = 4433618,75$  Гц) в системе PAL и  $\pm 10$  Гц ( $f_{sc} = 3\,579\,545$  Гц) в системе NTSC, что соответствует относительной нестабильности  $\pm 10^{-6}$  и  $3 \cdot 10^{-6}$ . В системе SECAM допустимая нестабильность поднесущих равна  $\pm 2000$  Гц ( $f_{OR} = 4\,406\,250$  Гц,  $f_{OB} = 4\,250\,000$  Гц [17]). Для бытовых устройств приведенные выше рекомендации МЭК дают следующие допуски: PAL  $\pm 150$  Гц; NTSC  $\pm 50$  Гц; SECAM  $\pm 1000$  Гц. Для системы PAL с учетом ее особенностей и тщательных субъективных испытаний устройств видеозаписи в случае частотной модуляции цветовой поднесущей синусоидальной помеховой звуковой частоты изменение временных интервалов допустимо в пределах  $4 \dots 5$  нс, а для модуляции шумом в полосе до  $10$  кГц — в пределах  $2 \dots 5$  нс [28].

Более жестким требованиям и соответствующим уровням должна удовлетворять аппаратура видеозаписи, если предполагается ее использование (в режиме воспроизведения) в качестве одного из студийных источников сигналов изображения, причем таким образом, чтобы запись, воспроизведенная на одном видеомэгнитофоне, могла быть смонтирована с записями, произведенными на других, для обеспечения полной совместимости при микшировании, монтаже и подготовке трюковых программ. В этом случае необходима точная синхронизация воспроизводимого телевизионного сигнала с внешним опорным сигналом. Задержки сигналов всех аппаратов должны совпадать, а нестабильность временных параметров оценивается относительно внешнего опорного сигнала.

К одной группе возможных решений, разработанных для удовлетворения требований к стабильности временных параметров, относится использование механических систем автоматического регулирования, основная задача которых — согласовать скорости продольного перемещения ленты и скорости вращения диска с видеоголовками. Однако это не исключает возможности выдвигания дополнительных условий, например жесткой фазовой синхронизации с внешним или внутренним опорным сигналом. Таким образом, в профессиональных устройствах с поперечно-строчной записью с помощью механических систем автоматического регулирования можно добиться стабилизации временных интервалов в пределах  $0,1$  мкс.

Учитывая, что в системах NTSC и PAL передача цветовой информации осуществляется с помощью фазовой модуляции цветовой поднесущей, становятся понятными те жесткие требования, которые предъявляются к стабили-

зации временных интервалов. Следовательно, для уменьшения цветовых искажений достаточно уменьшить нестабильность воспроизводимой цветовой поднесущей. Принцип такого технического решения заключается в том, что на носитель записывается опорный сигнал, а при воспроизведении частота цветовой поднесущей корректируется по отклонениям частоты опорного сигнала от номинальной. Опорным сигналом может быть специальный сигнал — так называемый пилот-сигнал, который записывается вместе с телевизионным сигналом. В качестве опорного сигнала можно также использовать и опорную цветовую вспышку, передаваемую в строчном гасящем интервале после строчного синхроимпульса. Данный способ может быть реализован даже с уменьшением верхней граничной частоты канала записи-воспроизведения. Из полного цветового сигнала с помощью фильтров верхних и нижних частот выделяются сигналы яркости и цветности. Сигнал цветности включает в себя цветовую вспышку. С помощью частотной модуляции несущей сигналом яркости формируется ЧМ сигнал, а сигнал цветности методом гетеродинирования переносится в область спектра, лежащую ниже нижней боковой полосы ЧМ сигнала, и линейно складывается с ЧМ сигналом. Затем полученный сигнал записывается на ленту. Такой способ компенсации искажений временной развертки используется в бытовых магнитофонах.

К третьей группе возможных технических решений относятся средства, объединенные под одним общим названием "корректоры временных искажений". Принцип действия этих устройств одинаков: задержка сигнала осуществляется электронными средствами, а время задержки регулируется таким образом, чтобы в сигнале за счет дополнительной регулируемой задержки компенсировались искажения временных интервалов. Существующие цифровые корректоры временных искажений, используемые в профессиональных устройствах, обладают широким диапазоном коррекции — до нескольких строк, а допуск на остаточные искажения у них составляет  $\pm 2,5$  нс.

### Выпадения сигнала

При магнитной видеозаписи на качество изображения помимо шумов, помех и временных искажений оказывает влияние еще один параметр — выпадение сигнала. Как было показано, запись телевизионных сигналов связана с необходимостью согласования требуемого диапазона записываемых-воспроизводимых длин волн с возможностями применяемого способа записи. Однако при этом наблюдается исключительная нестабильность амплитуды воспроизводимого сигнала, и в первую очередь из-за нарушения контакта между головками и лентой. Амплитуда воспроизводимого сигнала может уменьшаться ниже допустимого уровня. При этом система с частотной модуляцией уже не обеспечивает передачу сигнала\*. В этом случае на выходе демодулятора существуют практически только помехи, а на изображении появляются горизонтальные шумовые полосы. В хороших видеомагнитофонах заметность выпадений сигнала должна быть уменьшена за счет примене-

---

\* Сигнал упал ниже порогового уровня. — *Прим. ред.*

ния так называемых компенсаторов выпадений. Основные принципы разработанных способов компенсации будут рассмотрены ниже.

### **Требования к функциональным возможностям**

Любая разработка устройств магнитной видеозаписи определяется количеством и особенностями записываемых сигналов, а также требованиями по обеспечению различных режимов работы.

Записывающая аппаратура помимо записи сигналов изображения должна записывать и управляющие сигналы, звуковое сопровождение, а также сигналы управляющих команд.

Звук записывается одновременно с изображением. Может быть выдвинуто требование и по обеспечению многоканальной записи звука. В системах с вращающимися головками для этих целей используются дорожки, расположенные вдоль магнитной ленты. Запись звука осуществляется традиционными в звукозаписи методами с подмагничиванием переменным током.

Первоначально сигналами команд были звуковые сигналы: команды режиссера, "хлопки" или в крайнем случае сигналы команд звуковой частоты, с помощью которых осуществлялось управление видеомагнитофоном или другими подключенными к системе устройствами. В настоящее время этот отдельный канал все в большей степени используется для записи цифровых сигналов. С помощью этих сигналов каждому записанному телевизионному кадру может быть предписано определенное число (номер).

Среди сервисных возможностей, которыми должна обладать аппаратура, в первую очередь следует отметить требование быстрой перемотки ленты в обе стороны. С целью поиска определенной позиции на ленте может возникнуть необходимость управлять приводным механизмом в процессе перемотки и таким образом автоматизировать процесс поиска определенного участка записи.

Важными требованиями являются и простота эксплуатации устройства и обеспечение аппарата простой системой заправки ленты. Полное исключение проблем, связанных с заправкой ленты, обеспечивают только кассеты. В настоящее время кассеты стали использоваться как в бытовых, так и в профессиональных видеомагнитофонах.

Среди особых режимов работы в первую очередь следует указать на возможность ускоренного, замедленного, обратного воспроизведения изображения и получения стоп-кадра. Как увидим далее, система поперечно-строчной записи вращающимися головками для этих целей непригодна. В этом случае в студиях используется специальная аппаратура для записи сигналов изображения на магнитных дисках. В полупрофессиональной и бытовой аппаратуре данная возможность была предусмотрена с самого начала, и новые профессиональные устройства с наклонно-строчной системой записи имеют подобный режим работы.

В ходе эксплуатации студийного видеозаписывающего оборудования возникла необходимость в монтаже видеозаписей. Первоначально монтаж осуществлялся с помощью резки и склейки необходимых фрагментов видеосюжета. В настоящее время применяется исключительно электронный монтаж. В новых бытовых видеомагнитофонах он уже предусмотрен.

Одним из основных условий использования магнитной видеозаписи в студийной практике является взаимозаменяемость записей, естественно, в рамках аналогичных систем видеозаписи. Это означает не только совместимость различных аппаратов одной и той же системы видеозаписи, но и то, что вновь разрабатываемые устройства видеозаписи должны быть пригодны для воспроизведения старых, находящихся в архивах видеозаписей.

В любительской практике основополагающим требованием является обеспечение воспроизведения ранее записанных лент. Сюда примыкают и проблемы быстро и качественно тиражирования видеозаписей.

Указанные выше требования в большей или меньшей степени оказывают влияние на конструктивные решения видеоманитофонов, появляющихся в обращении. В дальнейшем мы будем неоднократно ссылаться на них, а отдельные типы видеоманитофонов рассматривать более подробно.

## Глава 2

### АНАЛОГОВАЯ ВИДЕОЗАПИСЬ

#### 2.1. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ВИДЕОМАНИТОФОНАХ

##### Частотная модуляция

Параметры частотной модуляции, принятой в видеоманитофонах, несколько отличаются от параметров традиционных ЧМ систем связи; поэтому считаем целесообразным остановиться на кратком описании ЧМ системы видеозаписи.

Пусть  $f_H$  — несущая частота,  $f_M$  — частота синусоидального модулирующего сигнала и  $f_D$  — девиация частоты. Предположив, что модуляция линейна, получим мгновенное значение частоты:

$$f_{MГ} = f_H + f_D \cos \omega_M t \quad (20)$$

и напряжения:

$$u = u_H \cos 2\pi \int f_{MГ} dt. \quad (21)$$

Поскольку, однако,

$$2\pi f_{MГ} = \omega_{MГ} = \frac{d\varphi}{dt},$$

т. е.

$$\varphi(t) = \int \omega_{MГ}(t) dt, \quad (22)$$

следовательно\*,

$$\varphi(t) = \omega_H t + \frac{f_D}{f_M} \sin \omega_M t. \quad (23)$$

\* Произвольную начальную фазу при исследовании ЧМ сигналов можно не учитывать. — Прим. ред.

Используя выражение (23), уравнение (21) можно записать в следующем виде:

$$u = u_n \cos(\omega_n t + m \sin \omega_m t), \quad (24)$$

где

$$m = f_D / f_M \quad (25)$$

называется индексом модуляции. Выражение (24) может служить хорошей основой для векторного представления частотно-модулированного сигнала (рис. 15). Следует отметить, что между составляющими  $f_D \cos \omega_m t$  в (20) и  $m \sin \omega_m t$  в (24) имеется сдвиг по фазе на  $\pi/2$ . Следовательно, мгновенное значение частоты в крайних положениях колеблющегося вектора совпадает с несущей частотой, в то время как в главном положении (т. е. в вертикальном) изменение частоты совпадает с девиацией.

На основании (24) можно записать и спектр частотно-модулированного сигнала. С помощью тригонометрических преобразований и соотношений

$$\cos(m \sin \omega_m t) = J_0(m) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m) \cos 2n \omega_m t,$$

$$\sin(m \sin \omega_m t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(m) \sin(2n-1) \omega_m t$$

получим

$$\frac{u}{u_n} = J_0(m) \cos \omega_n t + \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m) \{ \cos[\omega_n + 2n \omega_m] t + \cos[\omega_n - 2n \omega_m] t \} + \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(m) \{ \cos[\omega_n + (2n-1) \omega_m] t - \cos[\omega_n - (2n-1) \omega_m] t \}, \quad (26)$$

где  $J_k(m)$  — функция Бесселя  $k$ -го порядка (в табл. 1 приведены приближенные формулы для расчета первых пяти функций Бесселя). На рис. 16 показаны спектры сигнала при увеличении индекса модуляции: при увеличивающейся девиации частоты и постоянной частоте модулирующего сигнала; при постоянной девиации частоты и уменьшающейся частоте модулирующего сигнала. Интересно отметить, что с увеличением индекса модуляции в спектре ЧМ сигнала содержится больше составляющих с амплитудой выше среднего уровня внутри частотного диапазона, ограниченного удвоенной девиацией. Наоборот, в случае малого индекса модуляции спектр сигнала значительно шире диапазона изменения мгновенной частоты, а сигнал содержит только

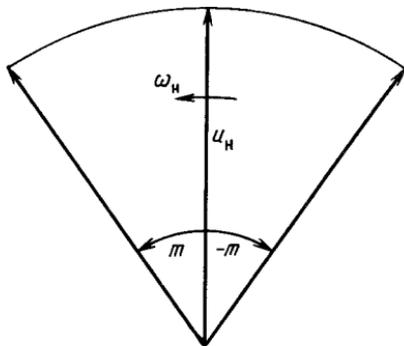


Рис. 15. Векторное представление ЧМ синусоидальной несущей частоты. Вектор несущей частоты колеблется относительно вертикального положения с периодом модулирующего сигнала. Угол отклонения  $\pm m$  (индекс модуляции) задается в градусах или радианах

несколько спектральных составляющих, амплитуда которых больше среднего уровня.

Именно последний случай отвечает условиям магнитной записи телевизионных сигналов. Таким образом, для видеозаписи используется система частотной модуляции с малым индексом модуляции. Другим важным параметром системы является соизмеримость верхней граничной частоты модулирующего сигнала с несущей частотой.

**Т а б л и ц а 1. Приближенные формулы для расчета функций Бесселя**

Если  $x \leq 1$ , то

$$J_0(x) \approx 1 - \frac{x^2}{4},$$

$$J_1(x) \approx \frac{x}{2} \left(1 - \frac{x^2}{8}\right),$$

$$J_2(x) \approx \frac{x^2}{8} \left(1 - \frac{x^2}{12}\right),$$

$$J_3(x) \approx \frac{x^3}{48} \left(1 - \frac{x^2}{16}\right),$$

$$J_4(x) \approx \frac{x^4}{384} \left(1 - \frac{x^2}{20}\right),$$

$$J_5(x) \approx \frac{x^5}{3840} \left(1 - \frac{x^2}{24}\right).$$

Полный ряд

$$J_n(x) = \left(\frac{x}{2}\right)^n \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!(n+k)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k}.$$

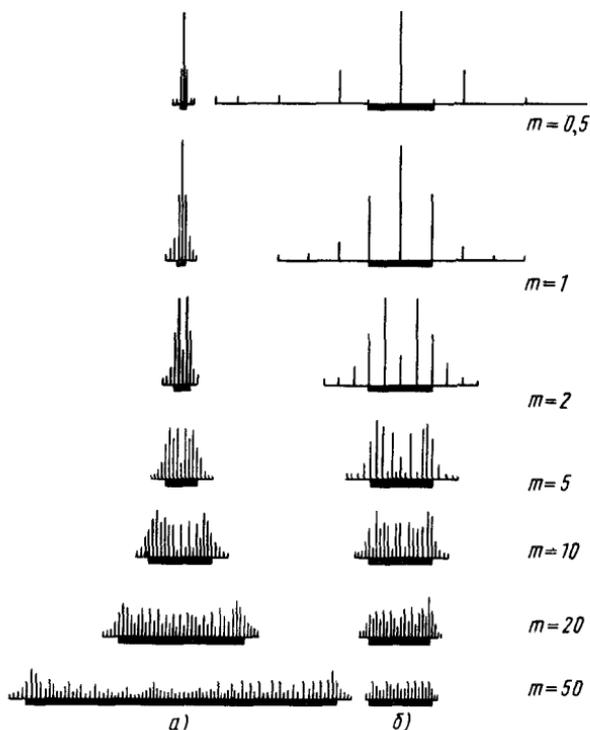


Рис. 16. Спектры частотно-модулированного сигнала в зависимости от индекса модуляции:

*a* — увеличивающаяся девиация частоты и постоянная частота модулирующего сигнала;  
*б* — постоянная девиация частоты и уменьшающаяся частота модулирующего сигнала.  
 Жирными линиями отмечен размах мгновенной частоты (удвоенная девиация)

## Влияние ограничения полосы пропускания и амплитудно-частотной характеристики канала

Влияние параметров канала на качество передачи при частотной модуляции аналитически почти невозможно исследовать, а если и возможно, то только исключительно сложным путем. Поэтому ниже будут даны не строгие выкладки, а качественный анализ, который с достаточной степенью точности позволит описать систему и сделать правильные выводы.

Наши рассуждения базируются на векторном представлении сигнала, при котором легко можно проследить влияние компонент спектра боковых полос. Кроме того, в выражении (20) или (21) начальную фазу или модулирующего сигнала, или несущей частоты можно задать, например, в виде

$$u = u_H \cos(2\pi \int f_{MГ} dt + \theta).$$

В выражении (26) это найдет отражение в том, что вместо  $\omega_H t$  для каждой составляющей следует писать  $\omega_H t + \theta$ . Выберем теперь  $t$  и  $\theta$  таким образом, чтобы  $\omega_H t + \theta = 0$  и  $\omega_M t = \pi/2$ .

Легко заметить, что в данный момент времени  $t$  пары боковых частот (одинакового порядка) имеют соответственно фазы  $\pi/2, 2(\pi/2), 3(\pi/2), \dots, n(\pi/2)$ . Это означает, что результирующий вектор боковых частот первого порядка перпендикулярен вектору  $\omega_H$ , а сами векторы боковых частот вращаются со скоростью  $\pm \omega_M$ . Результирующий вектор боковых частот второго порядка направлен в сторону, противоположную вектору  $\omega_H$ , а сами векторы (рис. 17) боковых частот вращаются с угловой скоростью  $\pm 2\omega_M$  и т. д. Влияние ограничения полосы пропускания легко прослеживается по векторным диаграммам.

На рис. 18, а показана диаграмма, полученная при передаче боковых частот первого порядка. Видно, что вследствие ограничения полосы пропускания возникает амплитудная модуляция, поскольку конец вектора  $\omega_H$  перемещается не по дуге, а по прямой линии и его длина изменяется. Из рисунка видно, что при малом значении  $m$ , если  $J_0(m) \approx 1$  и если пренебречь разностью длины дуги и прямой линии, между индексом модуляции и амплитудой двух составляющих первого порядка будет существовать простая зависимость

$$m \approx 2J_1(m) = 2|u_1(\omega_H + \omega_M)|/u_H,$$

т. е.

$$J_1(m) \approx m/2, \tag{27}$$

что подтверждается данными табл. 1.

Составляющие второго порядка (рис. 18, б) уменьшают амплитудную модуляцию, поскольку, как было показано, векторы, вращаясь со скоростью  $\pm 2\omega_M$ , в значительной степени компенсируют изменения длины результирующего вектора. Поэтому траектория движения результирующего вектора ближе к дуге, чем в предыдущем случае.

Вернемся вновь к рис. 18, а, на котором представлены составляющие первого порядка. Пусть теперь АЧХ передающего тракта обеспечивает уменьше-

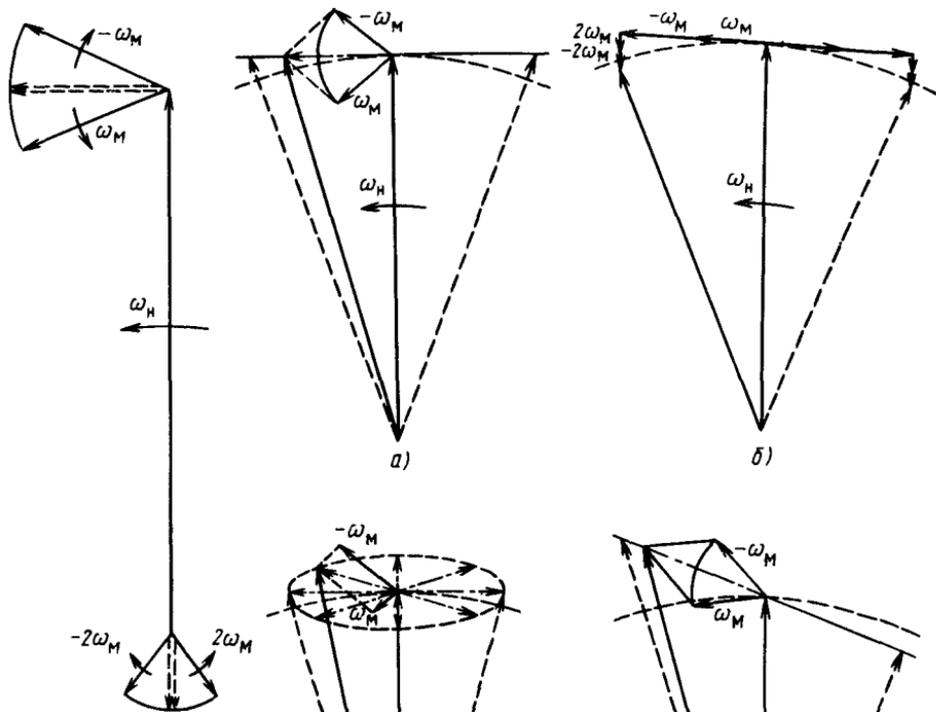


Рис. 17

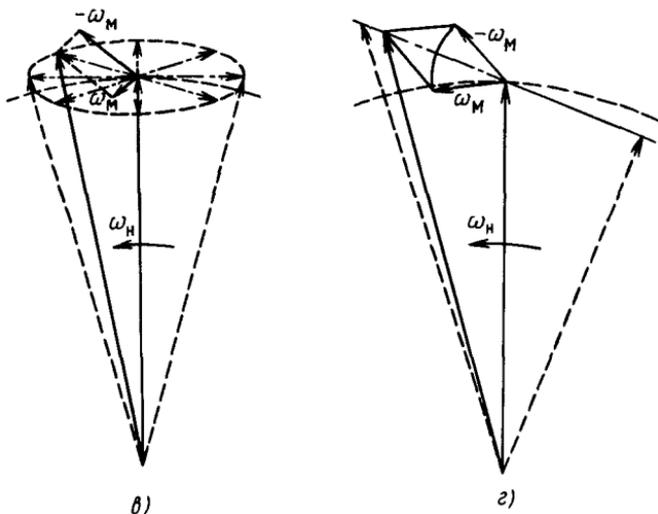


Рис. 18

Рис. 17. Векторная диаграмма боковых частот при частотной модуляции

Рис. 18. Влияние ограничения ширины полосы пропускания канала:

*а* — передача только первых верхней и нижней боковых частот (конец вектора  $\omega_H$  перемещается по прямой линии, поэтому его длина изменяется, т. е. возникает амплитудная модуляция); *б* — влияние вторых боковых частот на амплитудную модуляцию; *в* — влияние уменьшения составляющей верхней боковой частоты на изменение амплитуды (конец вектора перемещается по эллипсу, амплитудная модуляция увеличивается); *г* — влияние фазовых искажений

ние амплитуды только одной составляющей (рис. 18, в) без изменения ее фазы. Видно, что это приводит к увеличению амплитудной модуляции и уменьшению индекса модуляции  $m$ , но не вызывает фазовых искажений. Если одна боковая полоса полностью исчезнет, то в соответствии с принятым допущением (27) индекс модуляции уменьшится вдвое, т. е.

$$m' \approx J_1(m) = u_1/u, \quad (28)$$

и, таким образом, амплитуда демодулированного сигнала уменьшится на 6 дБ. Однако влияние уменьшения амплитуды одной составляющей можно скомпенсировать за счет составляющего увеличения амплитуды другой. В [34] показано, что если АЧХ системы имеет вид

$$\frac{u_{\text{вых}}(\omega)}{u_{\text{вх}}(\omega)} = K + L\omega, \quad (29)$$

где  $K$  и  $L$  – натуральные числа и  $|L| > 0$ , и если частота, при которой  $u_{\text{вых}}(\omega)/u_{\text{вх}}(\omega) = 0$ , не попадает в диапазон  $f_H \pm f_d$ , то такая система полностью аналогична системе с равномерной амплитудно-частотной характеристикой ( $L = 0$ ) и обеспечивает передачу без искажений.

Данная особенность ЧМ сигнала может быть использована для улучшения качества записи-воспроизведения. Если спектр шума системы передачи, например, на верхней боковой полосе интенсивнее, чем на нижней, то целесообразно нижние составляющие усилить, а верхние ослабить, используя фильтр с линейно спадающей частотной характеристикой. Отметим, что результаты [34] относятся к системам с неограниченной полосой. В системах с ограниченной полосой АЧХ вида (29) вызывает нелинейные искажения [143].

Если фазочастотная характеристика канала постоянна (не зависит от частоты) или линейна при изменении частоты (групповое время запаздывания постоянно), то никаких искажений в демодулированном сигнале не происходит. На векторной диаграмме пропорциональность фазового сдвига частоте означает, что, например, вектор составляющей  $\omega_H - n\omega_M$  отстает относительно вектора несущей  $\omega_H$  на столько, на сколько  $\omega_H + n\omega_M$  ее опережает. Таким образом, результирующий вектор не изменяется. Нелинейность фазочастотной характеристики (рис. 18, г) искажает векторную диаграмму: конец результирующего вектора перемещается не по перпендикулярному, а по наклонному к вектору несущей  $\omega_H$  отрезку, из-за чего увеличивается амплитудная модуляция, а в демодулированном сигнале появляются фазовые и нелинейные искажения.

### “Отраженная” боковая полоса

Если  $f_M > f_H/n$ , то  $n$ -я нижняя спектральная составляющая модулированного сигнала попадает в область отрицательных частот  $f_H - nf_M < 0$ , что, естественно, физически невозможно. Однако существует частота

$$nf_M - f_H > 0,$$

полученная из выражения

$$\sin(\omega_H - n\omega_M) = -\sin(n\omega_M - \omega_H),$$

которая расположена на расстоянии

$$f_{3n} = f_n - (nf_M - f_n) = 2f_n - nf_M$$

от несущей частоты, т. е. проявляется в виде составляющей, которая появилась бы при модуляции сигналом с частотой  $f_{3n}$ . При демодуляции такого сигнала наряду с полезным сигналом  $f_M$  имеют место и помехи в виде компонент  $f_{3n}$ , попадающих в полосу передачи (помехи, у которых  $f_{3n} \leq f_M$ , где  $f_M$  — верхняя граничная частота, которую необходимо передать).

Амплитуда демодулированного сигнала может быть приблизительно определена с помощью (28). Поскольку имеется только одна спектральная составляющая с амплитудой  $J_n(m)$  и индексом модуляции

$$m'_{3n} \approx J_n(m),$$

то девиация

$$f_{D3n} = f_{3n} m'_{3n} \approx (2f_n - nf_M) J_n(m)$$

и отношение амплитуд помехи и полезного сигнала

$$\frac{u_n}{u_M} \approx \frac{1}{f_D} (2f_n - nf_M) J_n(m) = (2 \frac{f_n}{f_M} - n) \frac{J_n(m)}{m}. \quad (30)$$

К анализу данной зависимости мы еще вернемся.

### Влияние нелинейных искажений

Система с частотной модуляцией, применяемая для видеозаписи, достаточно чувствительна к нелинейным искажениям канала главным образом потому, что отношение несущей частоты к максимальной частоте модуляции очень маленькое ( $1 < f_n/f_M < 2$ ). Таким образом, часть возникающих из-за нелинейности канала гармонических и комбинационных сигналов попадает в полосу передачи.

Пусть амплитудная характеристика  $u_{\text{вых}}(u_{\text{вх}})$  передающего канала имеет вид

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} + a_2 u_{\text{вх}}^2 + a_3 u_{\text{вх}}^3 \dots, \quad (31)$$

где  $|a_2|, |a_3|, \dots < 1$ . Далее, пусть канал имеет достаточно широкую полосу пропускания и внутри этой полосы равномерную АЧХ. Если на вход канала будет подан синусоидальный сигнал

$$u_{\text{вх}} = u_0 \cos \omega t,$$

то на выходе помимо сигнала с частотой  $\omega$  возникнут и гармонические составляющие

$$u_{\text{вых}} = \frac{a_2}{2} u_0 + (1 + \frac{3a_3}{4}) u_0 \cos \omega t + \frac{a_2}{2} u_0^2 \cos 2\omega t + \frac{a_3}{4} u_0^3 \cos 3\omega t + \dots \quad (32)$$

Теперь подадим на вход канала ЧМ сигнал. Вводя коэффициенты  $k_i$  и подставляя (21) в (31), получаем

$$u_{\text{вых}} \approx k_2 u_H + u_H \cos 2\pi (f_H + f_D \cos \omega_M t) t + k_2 u_H^2 \cos 2\pi (2f_H + 2f_D \cos \omega_M t) t + k_3 u_H^3 \cos 2\pi (3f_H + 3f_D \cos \omega_M t) t + \dots \quad (33)$$

На выходе наряду с исходным ЧМ сигналом появляются вторая, третья и более высокие гармоники несущей частоты, промодулированные исходным сигналом с частотой  $f_M$ , но с соответственно двойной, тройной и т. д. девиацией.

Подключим на выход канала ЧМ детектор с фильтром нижних частот, верхняя граничная частота которого  $f_M$ , так как нет необходимости воспроизводить составляющие, лежащие выше верхней граничной частоты полезного сигнала. Видно, что при этом сигнал на выходе фильтра возникает только тогда, когда спектр ЧМ сигнала состоит из несущей частоты и симметричных боковых частот, описываемых (26), или содержит какие-либо составляющие с частотами  $f_H - f_M \leq f \leq f_H + f_M$ . Последний случай соответствует однополосной частотной модуляции с  $f_M = |f_H - f|$ .

Если, например, канал имеет нелинейность  $l$ -го порядка, то вследствие искажения появляется, кроме всего прочего, и  $l$ -я гармоника несущей частоты  $lf_H$ . Этот сигнал вероятнее всего не попадет в полосу сигнала, так же как и его верхние боковые частоты. Однако помехи, связанные с нижними боковыми частотами  $lf_H$ , могут попасть в полосу пропускания, если

$$lf_H - lf_M \leq f_H + f_M \quad (34)$$

или

$$n \geq (l - 1) \frac{f_H}{f_M} - 1. \quad (35)$$

Как видно из (34), девиация гармонических составляющих несущей частоты и индекс модуляции имеют вид

$$f_{D_1} = lf_D, \quad m_1 = lm.$$

Если коэффициент при  $l$ -й гармонике  $k_l$ , то амплитуда сигнала помехи  $n$ -й нижней боковой частоты  $l$ -й гармоники несущей частоты может быть рассчитана по формуле, аналогичной (30):

$$u_n = \frac{u_M}{f_D} [(l - 1) f_H - lf_M] J(lm) k_l.$$

Отсюда может быть рассчитано отношение помеха-полезный сигнал:

$$\frac{u_n}{u_M} = [(l - 1) \frac{f_H}{f_M} - n] \frac{J_n(lm)}{m} k_l \quad (36)$$

и другие характеристики помехи. В данной системе заданными являются порядок основной нелинейности  $l$  и коэффициент  $k_l$ , который по крайней мере в пределах определенного диапазона частот постоянен. Заданной является также верхняя граничная частота записывающего сигнала  $f_M$ . Таким образом, отношение  $u_n/u_M$ , по сути дела, является функцией несущей частоты  $f_H$ .

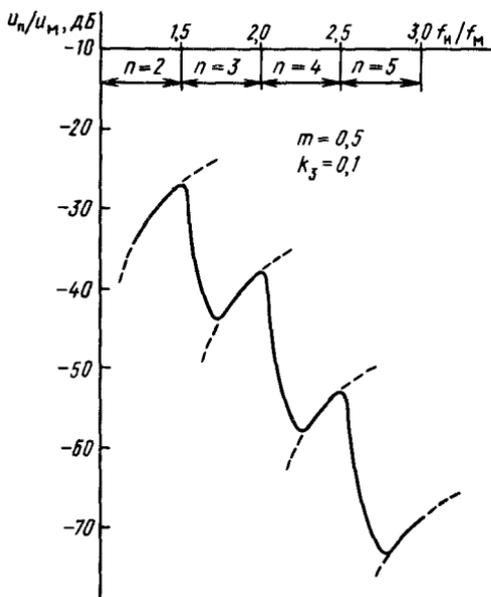


Рис. 19. Зависимость отношения амплитуды помехи, возникающей вследствие нелинейных искажений, к амплитуде полезного сигнала от отношения  $f_n/f_M$ . Участки подъема кривой могут быть рассчитаны с помощью (36) ( $m = 0,5$  и  $k_3 = 0,1$ ). Переходы между участками подъема изображены произвольно

Характер зависимости  $u_n/u_m$  показан на рис. 19. С помощью рисунка можно сделать следующие выводы: если  $f_n/f_M$  мало, то боковая частота гармоники несущей  $lf_n$ , попадающая в полосу пропускания канала, имеет малый порядок и, следовательно, большую амплитуду; если же  $f_n/f_M$  велико, то  $lf_n$  находится далеко от верхней граничной частоты и, таким образом, помехи создают только боковые частоты большего порядка и с соответственно меньшей амплитудой (см. рис. 16).

Поэтому кривая  $u_n/u_m$  имеет ступенчатый характер. Там, где меняется порядок боковой частоты, происходит резкое уменьшение уровня помехи. (Естественно, что скачкообразное изменение с бесконечно крутыми переходами может быть получено только в том случае, когда полоска канала ограничена идеальным фильтром с бесконечной крутизной среза. На самом деле крутизна

среза фильтров конечна, и, таким образом, на частотах в области границ полосы пропускания канала существуют помехи от составляющих боковой частоты с меньшим порядком и большей амплитудой.)

Вместе с тем внутри отдельных ступеней (полок) уровень помех с увеличением  $f_n/f_M$  растет достаточно сильно. Следовательно, целесообразно выбирать отношение  $f_n/f_M$  таким, чтобы обеспечить по возможности наибольшее значение  $n$ , но в то же время отношение должно быть минимальным внутри выбранной полки [34]. Данные соображения справедливы и для помех, вызываемых отраженными боковыми частотами, которые вычисляются согласно (30).

Выше предполагалось, что каналы имеют достаточно широкую полосу и внутри полосы пропускания АЧХ является равномерной. Однако ясно, что канал магнитной записи-воспроизведения совершенно не отвечает этим условиям: полоса пропускания ограничена, а частотная характеристика неравномерна.

Интересно отметить, что вследствие нелинейности канала в сигнале помимо боковых частот гармоник несущей, которые до сих пор только и учитывались, появляются и другие помехи. Как известно, спектр ЧМ сигнала слага-

ется из боковых частот  $f_H + (2n - 1)f_M$  и  $f_H - (2n - 1)f_M$ , симметрично расположенных относительно несущей частоты; при этом в нечетных парах боковых частот верхняя и нижняя боковые частоты имеют одинаковые амплитуды, но различные знаки (см. (26)). В системе с большой полосой пропускания и равномерной АЧХ это приводит к исчезновению некоторых комбинационных помех. В результате получается спектр, описываемый выражением (34). Однако в случае ограниченной полосы пропускания и неравномерности АЧХ одна из разнополярных боковых частот или полностью отсутствует, или ее амплитуда значительно отличается от амплитуды соответствующей помехи противоположной полярности, и, таким образом, исчезновения соответствующей составляющей помехи не происходит, а в спектре сигнала появляются новые составляющие помехи.

Рассмотрим один пример. Первой нечетной парой боковых частот будут  $f_H - f_M$  и  $f_H + f_M$ . В комбинации с несущей они принимают вид

$$(f_H + f_M) - f_H = f_M$$

и

$$f_H - (f_H - f_M) = f_M.$$

В системе с равномерной частотной характеристикой они не играют никакой роли, поскольку имеют одинаковые амплитуды различного знака. Но если, например, в канале боковая частота  $f_H + f_M$  уменьшается по амплитуде, то на выходе ЧМ детектора появляется составляющая  $f_M$ . И поскольку  $f_H/f_M < 2$  и  $f_M < f_M'$ , то составляющая  $f_H - f_M$ , получаемая после демодуляции, может попасть в полосу сигнала в виде помехи, хотя такая составляющая спектра не получается из (34). Измерения подтвердили правильность приведенных рассуждений [133].

### Отношение сигнал-шум

Пусть  $du_{ш}(f_{ш})$  — напряжение шума в окрестности (шириной  $df_{ш}$ ) какой-то частоты  $f_{ш}$ , попадающей в полосу пропускания ЧМ канала. Это напряжение может быть представлено как результат частотной модуляции с малым индексом модуляции. Поскольку возникающие с двух сторон несущей частоты шумовые составляющие некогерентны, то каждую из них можно рассматривать как результат однополосной ЧМ с девиацией

$$m_{ш} = du_{ш}(f_{ш})/u_H$$

и эквивалентной частотой модуляции

$$f_{мш} = (f_H - f_{ш}).$$

При этом на выходе ЧМ демодулятора получим напряжение шума

$$du_{шд}(f_{мш}) = du_{ш}(f_{ш})f_{мш}/u_H, \quad (37)$$

пропорциональное напряжению шума в канале и частоте демодулированного сигнала. Это означает, что в результате демодуляции белый шум ЧМ канала преобразуется в треугольный шум, энергетический спектр которого увеличивается пропорционально квадрату частоты [38].

Из (37) получаем мощность (дисперсию) шума

$$du_{шд}^2(f_{мш}) = du_{ш}^2(f_{ш}) (f_{н} - f_{ш})^2 / u_{н}^2.$$

(При расчетах вместо  $u^2/R$  берем  $u^2$ , поскольку нашей целью является определение отношения сигнал-шум, а в этом случае сопротивление  $R$  сокращается, потому что оно одинаково как для сигнала, так и для шума.) Так как

$$du_{ш}^2(f_{ш}) = \eta(f_{ш}) df_{ш},$$

где  $\eta(f_{ш})$  – энергетический спектр шума,  $V^2/Гц$ ,

$$du_{шд}^2(f_{мш}) = \eta(f_{ш}) (f_{н} - f_{ш})^2 df_{ш} / u_{н}^2, \quad (38)$$

на выходе мощность шума измеренная с помощью прибора с шириной полосы  $2f_{м}$ , будет

$$u_{шд}^2 = \frac{1}{u_{н}^2} \int_{f_{н}-f_{м}}^{f_{н}+f_{м}} \eta(f_{ш}) (f_{н} - f_{ш})^2 df_{ш}. \quad (39)$$

Энергетический спектр шума канала магнитной записи-воспроизведения известен, и, подставляя в (17)  $k = 2\pi f/v$ , получаем

$$\eta(f_{ш}) df_{ш} = \pi \mu_0^2 q^2 n b f_{ш} (1 - e^{-4\pi f_{ш} \delta/v}) e^{-4\pi f_{ш} a_B/v} df_{ш}.$$

Величину  $u_{н}^2$  также можно найти, используя выражение (18), при  $\alpha = 1$ :

$$u_{н}^2 = \frac{1}{2} \mu_0^2 q^2 n^2 b^2 v^2 (1 - e^{-2\pi f_{ш} \delta/v})^2 e^{-4\pi f_{н} a_B/v}.$$

Для оценки мощности шума на выходе предположим, что потерями, зависящими от длины волны, можно пренебречь. В этом случае, подставив вышеприведенные выражения в (39), получим

$$u_{шд}^2 = \frac{16\pi}{3} \frac{f_{н} f_{м}^3}{n b v^2}. \quad (40)$$

Поскольку мощность демодулированного сигнала

$$u_{с}^2 = f_{D}^2/2,$$

то отношение сигнал-шум на выходе ЧМ демодулятора

$$\frac{u_{с}^2}{u_{шд}^2} = \frac{3}{8\pi} \frac{n b v^2 f_{D}^2}{f_{н} f_{м}^3} = \frac{3}{8\pi} \frac{n b v^2}{f_{н} f_{м}} m^2. \quad (41)$$

Выражение (41), дающее совпадающие с измерениями числовые результаты с ошибкой в пределах 6 дБ, имеет важное значение потому, что позволяет проанализировать влияние отдельных составляющих. В то время как уменьшение вдвое ширины дорожки записи приводит к уменьшению отношения сигнал-шум на 3 дБ, уменьшение вдвое относительной скорости движения головка-лента приводит к ухудшению отношения сигнал-шум на 6 дБ. Отсюда видны недостатки использования малого индекса модуляции,

а также то, что с точки зрения мощности шума нежелательно не только увеличение ширины полосы пропускания, но и увеличение несущей частоты.

Для улучшения отношения сигнал-шум применяют два способа: предискажения телевизионного сигнала и обработка ЧМ сигнала с помощью фильтра с линейно падающей АЧХ с крутизной 6 дБ/окт. Они не оказывают влияния на демодулированный сигнал, но вместе с тем, преобразуя энергетический спектр, можно улучшать отношение сигнал-шум (теоретически максимально на 8 дБ) [32].

### Частотная модуляция телевизионным сигналом

Особенности ЧМ передачи исследовались до настоящего момента при модуляции синусоидальным сигналом. Однако в видеоманитофоне записывается полный цветовой телевизионный сигнал, который является далеко не синусоидальным, а его частота, среднее значение и амплитуда неопределенны. Таким образом, эти параметры не могут быть использованы в качестве основных при описании ЧМ системы. Вместе с тем полностью определена структура телевизионного сигнала: временные зависимости, некоторые характерные напряжения и т. д. Предполагаем, что характеристики полного цветового телевизионного сигнала систем PAL, NTSC и SECAM нам известны. Наиболее достоверная, но вместе с тем и объемная информация по данной теме содержится в [17], где можно найти любые параметры по международным стандартам. В дальнейшем будут использованы обозначения, которые фигурируют в [17]: номинальная длительность строки ( $H$ ), номинальная длительность поля ( $\nu$ ), частота цветовой поднесущей в системах PAL и NTSC ( $f_{цп}$ ), частоты поднесущих в системе SECAM ( $f_{ОР}, f_{ОБ}$ ). Подробную информацию о системах сигналов цветного телевидения можно получить, например, в [138].

Параметры частотной модуляции в видеозаписи задаются для характерных уровней телевизионного сигнала: фиксируются частоты, соответствующие уровням вершин синхроимпульсов гашения и белого (табл. 2). Модуляция линейная, т. е. мгновенное значение частоты в рабочем диапазоне пропорционально уровню телевизионного сигнала. Для улучшения отношения сигнал-шум служит предискажение сигнала. В табл. 2 приведены стандартизованные значения постоянных времени целей предискажения. Зная эти данные, по любому заданному телевизионному сигналу можно определить параметры ЧМ сигнала.

На рис. 20 и в табл. 3 приведено несколько примеров. На рис. 20 показан телевизионный сигнал двух строк. С целью упрощения в качестве сигнала яркости выбран сигнал постоянного уровня, который может быть любым в диапазоне от уровня черного до уровня белого. На вертикальной оси отложены стандартизованные частоты ЧМ сигнала для стандарта разложения телевизионного сигнала 625/50 Гц четырехголовочных поперечно-строчных видеоманитофонов с широкой полосой (НВ)\*. На рис. 20, а показан сигнал

\* Отечественные четырехголовочные магнитофоны "Кадр-3", "Кадр-3П" и "Кадр-3ПМ" имеют широкую полосу. — Прим. ред.

Т а б л и ц а 2. Частоты и постоянные времени цепей предсказания телевизионного сигнала, характеризующие модуляцию в некоторых системах видеозаписи

Стандарт записи*	Вариант**	Формат записи*	Частота ЧМ сигнала, МГц					Постоянная времени, нс	
			$f_{yc}$	$f_{yc}$	$f_{yb}$	$t_1$	$t_2$		
Четырехголовочный	а	Узкополосный (ЛВ)	4,95	5,50	6,80	53	160		
		Широкополосный (НВ)	7,16	7,80	9,30	240	600		
		Узкополосный (ЛВ)	4,28	5,00	6,8	26,4	132		
	б	Широкополосный (НВ)	7,06	7,90	10,00	240	600		
В	а		6,76	7,40	8,90	240	600		
	б		7,06	7,90	10,00	240	600		
С	а		7,16	7,68	8,90	180	610		
	б		7,06	7,90	10,00	240	600		
EIA-J-I	а		3,5		4,9	240	600		
	б		3,1		4,5	360	650		
U-Matic	а		3,8 (4,8)		5,5 (6,4)	240(150)	600		
	б		3,8		5,5	240	600		
VCR	а		3,0	3,4	4,4	180	570		
	б		3,6	4,0	5,0	180	570		
VCR-LP	а		3,3		4,8				
VHS***	а		3,8		4,8	325	1300		
	б		3,4		4,4	325	1300		
Betamax	а		3,8		5,2	Стандартизировано			
	б		3,5		4,8				
Video 2000	а		3,3		4,8				

\* Международные стандарты для параметров некоторых систем видеозаписи приведены в гл. 2, 6.

\*\* а: 625/50 Гц; б: 525/60 Гц.

\*\*\* Этот формат записи применен в отечественных бытовых кассетных видеомагнитофонах "Электроника ВМ-12", "Электроника ВМ-15" и "Электроника ВМ-17". — Прим. ред.

Т а б л и ц а 3. Некоторые параметры ЧМ сигналов широкополосного четырехголовочного стандарта видеозаписи НВ (625/50 Гц) сигналов цветных полос (SECAM)

Цвет	Несущая частота и девиация, МГц				Индекс модуляции		Граничная частоте, МГц			
	$D'_R$		$D'_B$		$D'_R$	$D'_B$	$D'_R$		$D'_B$	
	$f_H$	$f_D$	$f_H$	$f_D$			$f_{\text{нижн}}$	$f_{\text{верх}}$	$f_{\text{нижн}}$	$f_{\text{верх}}$
Белый	9,30	0,58	9,30	0,45	0,132	0,106	4,89	13,71	5,05	13,55
Желтый	8,79	0,5	8,79	0,97 (1,35)	0,1145	0,241 (0,337)	4,43	13,15	4,77	12,81
Сине-зеленый	8,59	1,28 (1,48)	8,59	0,45	0,273 (0,301)	0,104	3,90	13,28	4,26	12,92
Зеленый	8,46	1,15	8,46	0,75 (1,35)	0,248	0,183 (0,330)	3,82	13,10	4,36	12,56
Фиолетовый	8,27	0,57 (1,35)	8,27	0,57 (1,48)	0,1375 (0,323)	0,1295 (0,323)	4,15	12,39	3,87	12,67
Красный	8,14	0,68	8,14	0,74 (1,35)	0,182	0,177 (0,324)	4,01	12,27	3,97	12,31
Синий	7,93	0,68 (1,48)	7,93	0,74 (1,48)	0,153 (0,320)	0,165 (0,317)	3,48	12,38	3,45	12,41
Черный	7,80	0,58	7,80	0,45	0,1315	0,106	3,39	12,21	3,55	12,05

П р и м е ч а н и е. Значения, приведенные в скобках, относятся к ограниченным выбросам сигналов возникающих при цветовых переходах вследствие предыскажения цветорезностных сигналов в системе SECAM. Размах сигналов основных цветов при передаче белой полосы 100 %, цветных полос 75 %.

яркости. Для определения спектра ЧМ сигнала считаем несущей ту частоту, для которой максимальные изменения мгновенной частоты одинаковы, т. е.

$$f_H = \frac{1}{2} (f_{yc} + f_{yb}).$$

В этом случае девиация

$$f_D = \frac{1}{2} (f_{yb} - f_{yc}).$$

Спектр модулирующего сигнала состоит из частоты строк и ее гармоник. Учитывая, что в представленном здесь спектре телевизионного сигнала доминирует частота строк, индекс модуляции можно определить как

$$m \approx \frac{f_D}{f_M} \approx 55,$$

а это согласно рис. 16 означает, что ЧМ спектр ограничивается диапазоном изменения мгновенной частоты.

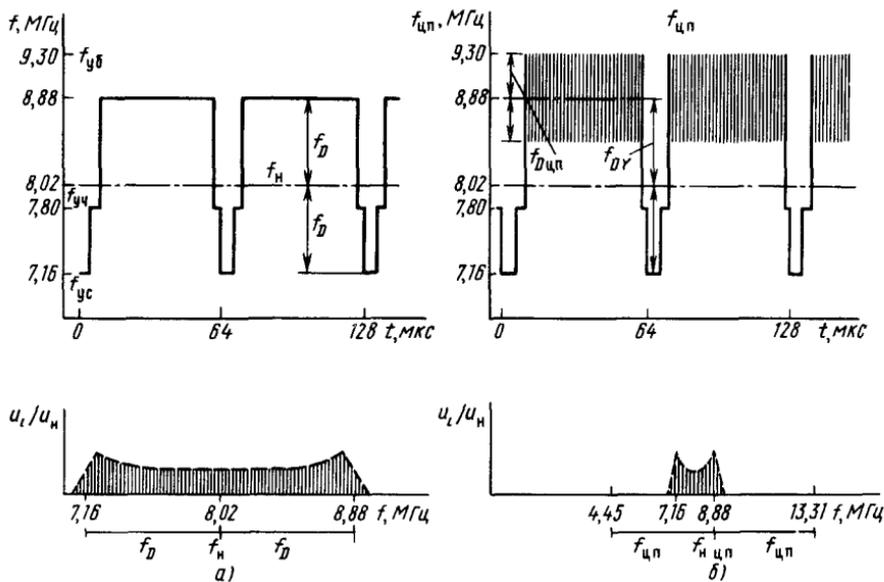


Рис. 20. Мгновенные частоты (верхние рисунки) и спектры (нижние рисунки) телевизионных ЧМ сигналов:  
 а — черно-белое; б — цветное телевидение

На рис. 20, б показан сигнал яркости, на который наложена цветовая поднесущая. Таким образом, спектр ЧМ сигнала состоит из двух частей: одна часть совпадает с представленным на рис. 20, а спектром, а другая определяется поднесущей. Для данного сигнала в качестве несущей частоты ЧМ сигнала можно принять несущую частоту сигнала яркости, а девиацию определить амплитудой поднесущей. Если частота поднесущей равна 4,43 МГц, то индекс модуляции

$$m \approx \frac{f_{D\text{цп}}}{f_{\text{цп}}} \approx 0,094.$$

Таким образом, данная часть спектра состоит из несущей частоты и двух боковых частот, расположенных на расстоянии  $f_{\text{цп}}$  от несущей.

Из вышеприведенных рассуждений можно сделать два важных вывода. Первый вывод: поскольку уровень яркости может меняться в пределах от уровня гашения до уровня белого, то граничными частотами первых боковых частот, входящих в спектр ЧМ сигнала, являются  $f_{\text{уч}} - f_{\text{м}}$  и  $f_{\text{уб}} + f_{\text{м}}$ . Числовые значения граничных частот в четырехголовочных системах НВ при  $f_{\text{м}} = 6, 1,8$  и  $15,3$  МГц.

Второй вывод вытекает из того обстоятельства, что несущая частота ЧМ сигнала полного цветового телевизионного сигнала определяется уровнем яркости. Таким образом, если меняется уровень яркости, то в спектре ЧМ

сигнала меняется и положение спектральных составляющих, определяемых цветовой поднесущей. Если в диапазоне данных изменений АЧХ неравномерна или нелинейна, то параметры демодулированного сигнала зависят от уровня яркости, т. е. в системе возникают искажения типа дифференциального усиления или дифференциальной фазы. Для устранения этих искажений необходимо обеспечить выполнение жестких требований, предъявляемых к АЧХ и ФЧХ ЧМ канала записи-воспроизведения.

По материалам [110] в табл. 3 приведены некоторые параметры частотной модуляции четырехголовочных видеомагнитофонов (НВ) для сигналов цветных полос системы SECAM. Для нахождения амплитуды цветowych поднесущих необходимо учитывать и предыскажение, параметры которого заданы в табл. 2; в данном случае предыскажение увеличивает амплитуды цветowych поднесущих на 8 дБ.

В табл. 4 и 5 по результатам измерений, проведенных в [133], приведены частоты и относительные значения амплитуд составляющих комбинационной помехи, возникающих в ЧМ канале вследствие нелинейных искажений и "отраженных" боковых частот в полосе пропускания ЧМ канала или в демодулированном видеосигнале. Уровень яркости сигнала красной полосы 100 %-ной насыщенности в системе PAL составляет 30 % от максимального размаха сигнала яркости (0,7 В), несущая частота равна 8,25 МГц. Демодулированный сигнал помехи с наибольшей амплитудой на частоте 3,8 МГц связан с цветовой поднесущей 4,43 МГц. Помехи, возникающие вследствие нелинейности канала и ЧМ демодулятора ("муар"), наиболее серьезно ограничивают качество в аналоговой видеозаписи.

Т а б л и ц а 4. Спектр ЧМ сигнала, измеренный в различных точках четырехголовочного видеомагнитофона (НВ) при записи красной полосы со 100 %-ной насыщенностью (PAL) [132]

Частота составляющей, МГц	Уровень комбинационной помехи по отношению к уровню несущей ( $f_H = 8,25$ МГц), дБ				
	Точка измерения, режим работы				
	Выход модулятора, $A' - A^1$	Вход ограничителя, $A' - A'$	Выход ограничителя, $A' - A'$	Вход ограничителя, запись-воспроизведение	Выход ограничителя, запись-воспроизведение
0,61 <sup>4</sup>	29	23,5	32	20	20
3,82 <sup>2</sup>	12	8	12	8	10
4,43	42	46	48	30	30
5,04 <sup>4</sup>	47	48	50	45	29
6,8	—	—	—	45	42
8,25	0	0	0	0	0
8,86	47	—	—	40	35
9,47 <sup>4</sup>	—	—	—	—	35
10,1	48	—	49	—	—

Частота составляющей, МГц	Уровень комбинационной помехи по отношению к уровню несущей ( $f_H = 8,25$ МГц), дБ				
	Точка измерения, режим работы				
	Выход модулятора, $A' - A'^1$	Вход ограничителя, $A' - A'$	Выход ограничителя, $A' - A'$	Вход ограничителя, запись-воспроизведение	Выход ограничителя, запись-воспроизведение
11,45	41	52	34	37	29
12,07	40	40	45	32	35
12,4	46	46	—	—	—
12,68 <sup>3</sup>	8	18	9	20	10
15,8	32	36	14	—	22
16,5	29	34	30	32	19
17,11 <sup>3</sup>	19	41	16	34	9

<sup>1</sup> Режим  $A' - A'$  "Электроника" — "Электроника" используется для настройки устройств без ленты. Выход модулятора канала записи подключается к входу корректора частотной характеристики канала воспроизведения. Таким образом осуществляется проверка ЧМ канала.

<sup>2</sup> Нижняя боковая полоса.

<sup>3</sup> Верхняя боковая полоса.

<sup>4</sup> "Отраженная" боковая полоса.

Т а б л и ц а 5. Составляющие комбинационной помехи при воспроизведении сигнала красной полосы со 100 %-ной насыщенностью (PAL), вызывающие "муар" [132]

Частота составляющей, МГц	0,6	1,2	3,2	3,8
Размах составляющей по отношению к размаху сигнала яркости (0,7 В), дБ	29,0	30,0	29,0	24,0

### ЧМ канал

Зная особенности системы частотной модуляции, применяемой для записи изображения, рассмотрим структурную схему ЧМ канала записи-воспроизведения одного из видеоманитофонов (рис. 21).

Телевизионный сигнал после предыскажения в 1 попадает на линейный ЧМ модулятор 2. Модулятор нагружен на усилитель 3, причем усилитель обеспечивает в записывающих головках ток, пропорциональный его входному напряжению.

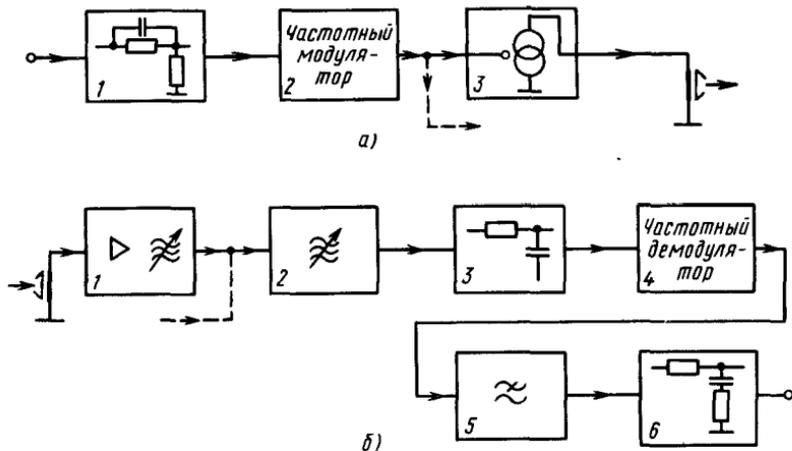


Рис. 21. Структурная схема электронной части каналов записи-воспроизведения (ЧМ канала):

а — канал записи: 1 — цепь предыскажения телевизионного сигнала (подъем высоких частот); 2 — ЧМ модулятор; 3 — усилитель тока; б — канал воспроизведения: 1 — предусилитель, компенсатор резонанса тока головки; 2 — корректор частотной характеристики; 3 — фильтр с линейно падающей характеристикой (крутизна 6 дБ/окт); 4 — демодулятор; 5 — фильтр нижних частот; 6 — цепь восстановления телевизионного сигнала (коррекция предыскажения)

Первым блоком схемы воспроизведения является малощумящий усилитель 1, который содержит элементы коррекции для компенсации электрических потерь и резонансных явлений в головке. Следующий блок корректирует подъем АЧХ, вызванный дифференцированием сигнала воспроизводящей головкой. Сюда же входит корректор 2, компенсирующий потери, возникающие в процессе записи-воспроизведения. За ним следует фильтр 3 с линейной фазовой характеристикой и линейно падающей АЧХ с крутизной 6 дБ/окт, предназначенный для улучшения отношения сигнал-шум. С выхода фильтра сигнал поступает на ограничитель и демодулятор 4. Демодулированный сигнал проходит через ограничивающий полосу ФНЧ 5, а затем после компенсации предыскажения (восстановления) в цепи 6 получается воспроизведенный телевизионный сигнал. Рассмотрим более подробно наиболее важные элементы канала.

Предыскажение и последующее восстановление телевизионного сигнала осуществляются простыми цепочками типов  $RC$  и  $RL$  (рис. 22). Постоянные времена для различных систем записи приведены в табл. 2. В стандартных четырехголовочных профессиональных системах  $t_1 = 240$  нс и  $t_2 = 600$  нс, что соответствует подъему (спаду) АЧХ на 8 дБ.

По сравнению с высокочастотными ЧМ системами связи для частотной модуляции с малой девиацией используется большее количество разнообразных модуляторов. Данная проблема может быть решена, например, с помощью применявшихся ранее в профессиональных устройствах высоко-

частотных модуляторов и преобразователей частоты (рис. 23). Частоты двух генераторов (108 и 100 МГц) модулируются в противофазе. Девиация каждого из ЧМ сигналов находится в пределах 0,5 . . . 0,75 МГц. При этом линейность ЧМ значительно улучшена по сравнению с каждым из ЧМ генераторов за счет взаимной компенсации нечетных гармоник с помощью противофазного управления частотами. Итак, два высокочастотных ЧМ сигнала после ограничения по амплитуде подаются на смеситель, на выходе которого после ограничения полосы получается желаемый ЧМ сигнал. Ограничение по амплитуде осуществляется для устранения амплитудной модуляции. Необходимость подавления амплитудной модуляции вызвана тем, что смеситель восстанавливает из амплитудно-модулированного сигнала модулирующий телевизионный сигнал, который, попадая в полосу ЧМ сигнала, является помехой ЧМ сигналу.

В современных профессиональных устройствах используются ЧМ модуляторы, принцип действия которых показан на рис. 24. На выходе модулятора производится деление частоты на два. Благодаря этому ЧМ сигнал не содержит четных гармоник\*. На входе профессиональных модуляторов применяются схемы фиксации уровня, в модуляторах — автоматическая подстройка частоты (АПЧ), которая служит для стабилизации частоты, соответствующей уровню гашения. ЧМ сигнал, соответствующий уровню гашения, выделяется и сравнивается с сигналом кварцевого генератора, имеющего частоту, равную номинальной частоте уровня гашения. Уровень фиксации в схеме фиксации уровня управляется сигналом, пропорциональным разности частот. Остаточная расстройка в современных магнитофонах находится в пределах  $\pm 12$  кГц при номинальной частоте 7 . . . 8 МГц [31].

В качестве ЧМ модулятора в бытовых аппаратах используется стабилизированный мультивибратор, который за счет замены  $R$  на время задающей  $RC$ -цепи управляемым генератором тока (рис. 25) обеспечивает хорошую линейность в широких пределах.

Третий элемент структурной схемы — усилитель входного сигнала — также должен содержать элементы коррекции. Это необходимо потому, что вследствие омических и гистерезисных потерь, а также распределенной емкости ток, намагничивающий носитель, не идентичен току записи, поступающему на вход головки. Кроме того, необходимо учитывать и потери, возникающие во вращающемся трансформаторе, приводящем в движение головки. (Вращающийся трансформатор обеспечивает связь между размещенными на вращающемся диске головками и остальными элементами канала, расположенными вне диска. Принцип достаточно прост: одна половина кольцевого сердечника вращается вместе с диском головок; обмотки, расположенные в этой половине, соединяются с головками. Вторая половина кольцевого сердечника неподвижна, а расположенные здесь обмотки присоединяются к усилителям записи или воспроизведения. Вращение одной части сердечника не оказывает влияния на связь между катушками. По сравнению со старым

---

\* За счет устранения несимметрии ЧМ сигнала на выходе модулятора. — *Прим. ред.*

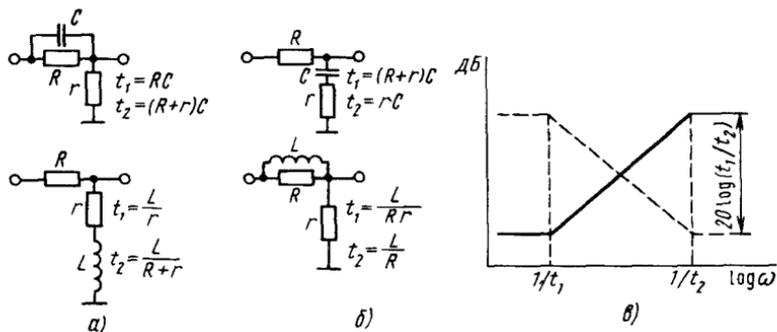


Рис. 22. RC- и RL-цепи предыскажения (а) и восстановления (б) и их частотные характеристики (в) — соответственно сплошная и штриховая линии

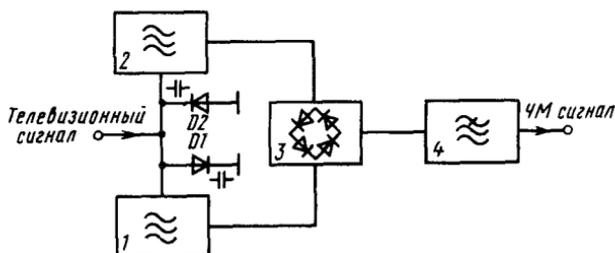


Рис. 23. Гетеродинный ЧМ модулятор. Частота генератора 1 100 МГц, а генератора 2 108 МГц. Частоты генераторов с помощью варикапов  $D1$  и  $D2$  модулируются телевизионным сигналом в противофазе; таким образом, на выходе смесителя 3 имеется неискаженный ЧМ сигнал. Фильтр нижних частот 4 пропускает разностный сигнал

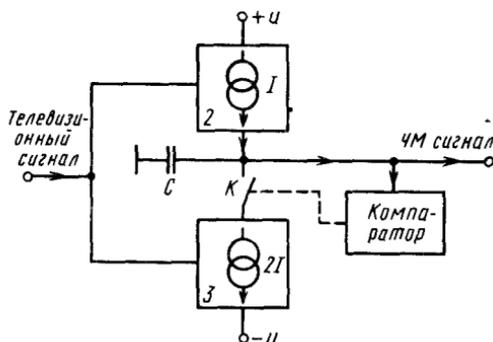


Рис. 24. ЧМ модулятор с сигналом треугольной формы. Конденсатор  $C$  заряжается током  $I$  от генератора тока 2 до тех пор, пока напряжение не достигнет верхнего уровня срабатывания компаратора 4. При этом переключатель  $K$ , управляемый компаратором, замыкается и конденсатор разряжается током  $I - 2I = -I$  от генераторов тока 3 и 2 до нижнего уровня срабатывания компаратора, при котором переключатель  $K$  размыкается, и процесс повторяется. Ток генераторов тока прямо пропорционален мгновенному значению телевизионного сигнала. В компараторе используют туннельные диоды [120]

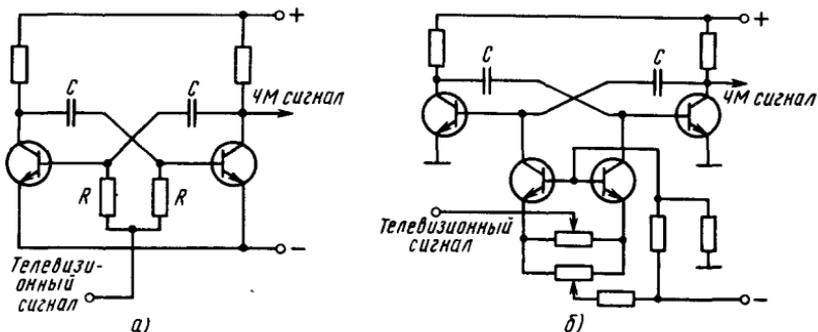


Рис. 25. ЧМ модулятор на мультивибраторе:

а — упрощенная схема; б — схема а, в которой с целью улучшения линейности элемент  $R$ , определяющий период, заменен управляемым генератором тока

методом контактного кольца-щеткой вращающийся трансформатор более помехоустойчив и имеет практически неограниченный срок службы.) Для коррекции, так же как и для предискажения, применяются простые  $RC$ -цепочки.

При описании канала магнитной записи-воспроизведения было показано, что частотная характеристика магнитного потока носителя зависит от амплитуды магнитного поля, т. е. от тока записи. На длинных волнах, как было показано, увеличение тока записи приводит к повышению уровня записи с последующим насыщением, а на коротких волнах после достижения определенного максимального уровня наблюдается его снижение, кроме того, с уменьшением длины волны записи максимальный уровень достигается при меньшем токе записи (см. рис. 9).

Выбор и установка максимального уровня достаточно критичны из-за зависимости его от частотной или фазовой характеристики. В многоголовочных системах достаточно сложно обеспечить идентичность магнитных потоков от различных головок. Вполне естественно, что ток каждой головки регулируется отдельно.

Первой составной частью канала воспроизведения является предусилитель, на вход которого через вращающийся трансформатор подается сигнал головок с уровнем в несколько десятых милливольт (рис. 26). Если частота резонанса в цепи головка — вращающийся трансформатор — вход усилителя попадает в полосу пропускания, то его компенсация осуществляется в предусилителе с помощью колебательных контуров и отдельно регулируемых элементов, расположенных в цепи обратной связи, а в отдельных случаях — и регулировкой напряжения питания (рис. 27); последний вариант в качестве дополнительного используется только в профессиональных устройствах [119].

На выходе предусилителя в определенном частотном диапазоне вследствие дифференцирующего действия головки получается подъем амплитудно-частотной характеристики с крутизной 6 дБ/окт. Однако на более высоких

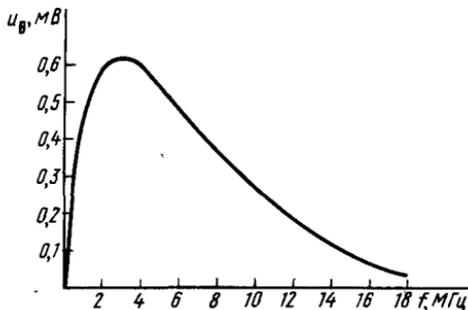


Рис. 26. Зависимость напряжения на выходе воспроизводящей головки от частоты при фиксированной амплитуде тока записи (относительная скорость головки—лента  $18,7 \text{ мс}^{-1}$ , ферритовая головка выполнена из Мп—Zn, магнитная лента — из  $\text{CrO}_2$  [142])

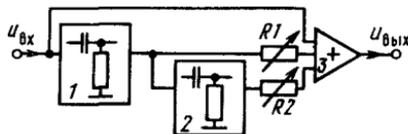


Рис. 27. Схема коррекции спада амплитудно-частотной характеристики, возникающего из-за гистерезисных потерь воспроизводящей головки: 1, 2 — дифференцирующие элементы;  $R_1$  и  $R_2$  — потенциометры для регулировки амплитуды продифференцированного или дважды продифференцированного сигнала; при этом частотная характеристика имеет подъем  $\omega$  или  $\omega^2$

частотах эта АЧХ определяется потерями в канале записи-воспроизведения. В то время как в первом случае компенсация может быть осуществлена включением интегрирующей цепи, во втором случае для этого необходим корректор с равномерной характеристикой группового времени запаздывания.

Как было показано, для того чтобы искажения отсутствовали, ЧМ канал должен иметь линейную АЧХ и равномерную характеристику группового времени запаздывания. Поскольку потери в процессе записи-воспроизведения не вызывают фазовых искажений, то для коррекции может применяться только корректор с равномерной характеристикой группового времени запаздывания; в противном случае корректор вносил бы собственные искажения. Здесь будут описаны два таких корректора: косинусный и на дифференцирующих цепях.

Принцип действия косинусного корректора приведен на рис. 28 [112, 143]. Обозначим через  $R_h$  волновое сопротивление линии задержки\* с временем задержки  $\tau$ . Пусть входное напряжение

$$u_{\text{вх}} = u_0 \sin \omega t,$$

тогда

$$u''_{\text{вх}} = u_0 \sin (\omega t + \Phi). \text{ При этом}$$

$$u'_{\text{вх}} = \frac{u_0}{2} \sin \omega t + \frac{u_0}{2} \sin (\omega t + 2\Phi),$$

где

\* Линия задержки согласована на входе и разомкнута на выходе. — Прим. ред.

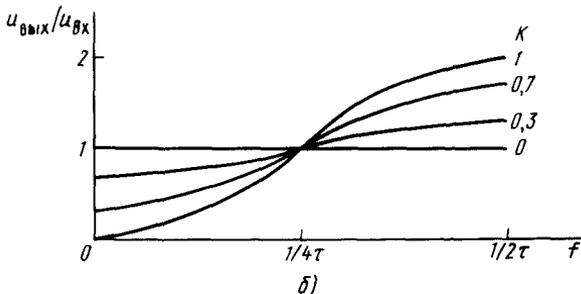
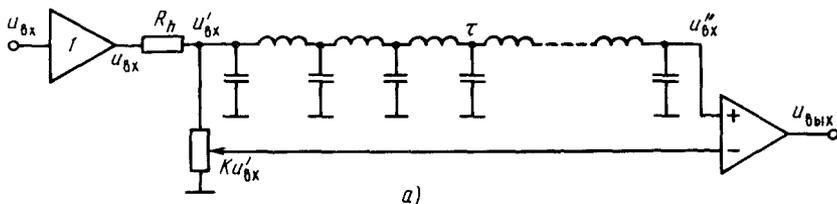


Рис. 28. Схема косинусного корректора (а) и его амплитудно-частотная характеристика (б)

$$\Phi = \omega\tau.$$

Проведя преобразования

$$u'_{вх} = u_0 \cos \Phi \sin (\omega t + \Phi),$$

получим

$$u_{вых} = u''_{вх} - K u'_{вх} = u_0 (1 - K \cos \omega\tau) \sin (\omega t + \Phi). \quad (42a)$$

Таким образом:

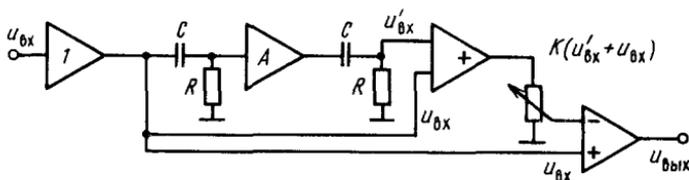
задержка выходного сигнала  $\tau$  постоянна и не зависит от частоты и коэффициента  $K$ ;

при  $\omega\tau = \pi/2$ , т. е. при  $f = 1/(4\tau)$ , коэффициент передачи схемы не зависит от  $K$  ( $u_{вых} = u_{вх}$ ), а при  $f < 1/(4\tau)$   $\cos \omega\tau > 0$  он увеличивается с уменьшением частоты, если  $K > 0$ , т. е. с уменьшением частоты  $u_{вых}$  уменьшается ( $u_{вых \min} = 0$ ). Однако если  $1/(2\tau) > f > 1/(4\tau)$ , то  $\cos \omega\tau < 0$  и с увеличением частоты  $u_{вых}$  растет ( $u_{вых \max} = 2u_{вх}$ , рис. 28, б).

Принцип действия корректора не дифференцирующих цепях [119, 121] (рис. 29) основан на том, что фазовый сдвиг  $\varphi$  дифференцирующей  $RC$ -цепи на частоте, достаточно далекой от частоты перегиба, например при  $f < < 1/(10 RC)$ , приблизительно равен  $\pi/2$ . При последовательном включении двух цепей фазовый сдвиг  $2\varphi \approx \pi$  и не зависит от частоты. Поэтому на частоте  $f_0$ , на которой  $u_{вх}$  и  $u'_{вх}$  имеют одинаковые амплитуды,  $u'_{вх} + u_{вх} = 0$ . При этом  $u_{вых} = u_{вх}$  и не зависит от  $K$ . Учитывая, что  $u'_{вх}$  увеличивается пропорционально квадрату частоты, получаем

$$u'_{вх} + u_{вх} = u_{вх} \left[ 1 - \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right],$$

Рис. 29. Схема корректора на дифференцирующих цепях



значит,

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} - K(u'_{\text{вх}} + u_{\text{вх}}) = u_{\text{вх}} \left[ 1 - K + K \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right],$$

или

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} (1 - K) \left[ 1 + \frac{K}{1 - K} \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right], \quad (426)$$

т. е. начальное значение АЧХ равно  $(1 - K)$ . При  $f > f_0$   $(1 - K)/K$  крутизна АЧХ составляет 12 дБ/окт. Схема не вносит фазовых искажений.

Данные схемы коррекции могут включать в себя и управляемые делители напряжения, устанавливающие степень коррекции. В этом случае регулировка производится таким образом, что в демодулированном сигнале автоматически стабилизируется, например, амплитуда опорного сигнала цветовой поднесущей [112, 121].

После фильтра с линейно падающей характеристикой с крутизной 6 дБ/окт, предназначенного для коррекции потерь в процессе записи-воспроизведения и улучшения отношения сигнал-шум, включают 50-дБ ограничитель. Ограничение должно быть с высокой точностью симметричным, поскольку асимметрия проявляется в виде нелинейных искажений, приводящих к появлению четных гармоник сигнала.

В профессиональных аппаратах для демодуляции ЧМ сигналов применяют так называемый демодулятор типа счетчика импульсов (см. рис. 30). Принцип действия демодулятора основан на том, что из ограниченного по амплитуде ЧМ сигнала в момент его прохождения через нуль формируется последовательность прямоугольных импульсов постоянной амплитуды и длительности\*, из которой с помощью фильтра нижних частот выделяют демодулированный сигнал. В простейших демодуляторах типа счетчика импульсов запуск формирователя стандартных импульсов осуществляют при прохождении через нуль только в одном направлении, т. е. частота повторения импульсов совпадает с мгновенной частотой ЧМ сигнала. Поскольку наименьшая частота ЧМ сигнала (соответствующая уровню вершин импульсов синхронизации), применяемая для записи изображения, особенно в старых (узкополосных) системах (LB), находится вблизи верхней граничной частоты модулирующего сигнала, то это делает невыполнимыми требования, предъявляемые к фильтру нижних частот, который выделяет телевизионный сигнал. Поэтому

\* Сигнал с частотно-импульсной модуляцией. — Прим. ред.



Рис. 30. Схема, иллюстрирующая принцип действия демодулятора типа счетчика импульсов. При прохождении ограниченного ЧМ сигнала через нупы на выходе дифференцирующей цепи 4 появляется импульс, запускающий ждущий мультивибратор. Из последовательности импульсов, формируемых мультивибратором, с помощью фильтра нижних частот выделяется модулирующий сигнал

в демодуляторах типа счетчика импульсов формирователи импульсов запускаются обоими перепадами напряжения ограниченного ЧМ сигнала. Это реализуется двумя способами: после ограничения и дифференцирования производят двухполупериодное выпрямление последовательности разнополярных импульсов и таким образом запускают ждущий мультивибратор дважды за период ЧМ сигнала или непосредственно из ограниченного ЧМ сигнала выделяют последовательность импульсов с удвоенной частотой. Последний вариант показан на рис. 31 [121].

Спектр сигнала на выходе демодулятора типа счетчика импульсов согласно [32] содержит следующие составляющие:

постоянную составляющую

$$u_e = \omega_n \tau / \pi, \quad (43)$$

демодулированный сигнал

$$u_m = (2m/\pi) \sin(\omega_m \tau/2), \quad (44)$$

а также

четные гармонические составляющие несущей частоты и их боковые частоты

$$u_{ln} = [2J_n(2lm)/\pi l] \sin[\gamma(2l \omega_n \pm n \omega_m)(\tau/2)], \quad (45)$$

где  $\tau$  — длительность сформированного мультивибратором импульса,  $2l = 2, 4, 6, \dots$  — номера гармоник несущей частоты;  $n$  — порядок боковой частоты.

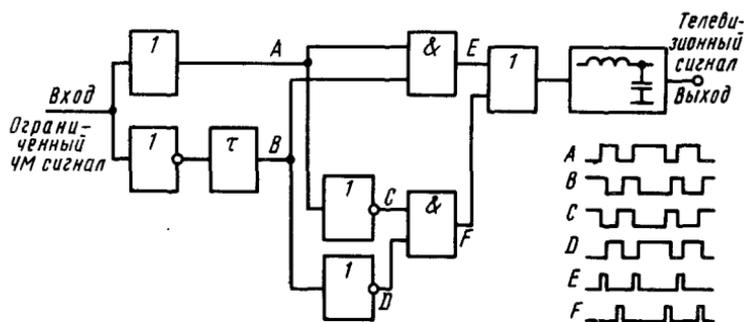


Рис. 31. ЧМ демодулятор с удвоением частоты на линии задержки

Естественно, что в полосу пропускания могут попадать только нижние боковые частоты гармоник несущей частоты демодулированного сигнала. Для них из (44) и (45) отношение амплитуд сигналов помехи и полезного сигнала

$$\frac{u_{In}}{u_M} = \frac{\sin[(2l\omega_H - n\omega_M)\tau/2]}{\sin(\omega_M\tau/2)} \frac{J_n(2lm)}{lm} \quad (46)$$

или, если принять, что при  $x \ll 1$   $\sin x \approx x$  для малых значений  $\tau$ ,

$$\frac{u_{In}}{u_M} \approx (2l \frac{f_H}{f_M} - n) \frac{J_n(2lm)}{lm} \quad (47)$$

Полученное выражение по форме очень похоже на выражение (30), (36), и анализ его совпадает с анализом указанных выражений.

Отметим, что если  $\omega_M\tau/2 \ll 1$ , то из (43) и (44)

$$\frac{u_e}{u_M} = \frac{f_H}{mf_M}, \quad (48)$$

т. е. и уровень постоянной составляющей мал, и это создает неудобства, потому что, как уже говорилось выше,  $f_H$  является средней частотой, зависящей от содержания кадра. Таким образом, необходимо заботиться и о восстановлении постоянной составляющей телевизионного сигнала на выходе демодулятора.

В бытовых устройствах для демодуляции иногда используют фазовые дискриминаторы (см., например, [37]). На основной вход дискриминатора подается усиленный ЧМ сигнал, а на другой вход — ЧМ сигнал с задержкой (с фазовым сдвигом, пропорциональным частоте), задаваемой линией задержки (см., например, [102]). Таким способом обеспечивается ЧМ детектирование с хорошей степенью линейности и в случае относительно большой по сравнению с несущей девиации частоты.

Как отмечалось выше, за ЧМ демодулятором следует ограничивающий полосу фильтр нижних частот. Отсюда сигнал поступает на схему подавления помехи переключения головок и восстановления постоянной составляющей, т. е., грубо говоря, сигнал попадает на выход усилителя воспроизведения. На практике канал воспроизведения содержит значительно большее количество элементов, включаемых для решения и других задач, о которых будет сказано в соответствующих главах.

### Запись полного цветного телевизионного сигнала

Основной проблемой записи и воспроизведения полного цветного телевизионного сигнала систем PAL и NTSC является требование высокой временной стабильности, необходимой для обеспечения правильной цветопередачи. Другой трудностью для всех трех систем (включая систему SECAM, которая менее чувствительна к временной нестабильности — временным искажениям) является требование достаточно широкой полосы пропускания. Ниже будут рассмотрены различные электронные методы обработки сигнала

лов для снижения искажений цветопередачи и уменьшения ширины полосы [112].

Чувствительность сигналов систем PAL и NTSC к временным искажениям может быть уменьшена перекодированием сигналов в сигналы системы SECAM. Однако для профессиональных устройств данное решение неприемлемо, так как перекодирование приводит к ухудшению качества, а также к невозможности компенсации выпадений (в силу чувствительности к ним сигнала системы SECAM). Предлагались и другие системы записи с малой чувствительностью к временным искажениям, например так называемая система FAM\* [92] с перекодированием, но и она не оправдала возлагаемые на нее надежды.

Методы кодирования, не требующие специальной обработки, основаны на том, что опорный сигнал, воспроизведенный с магнитной ленты, и телевизионный сигнал подвергаются одним и тем же временным искажениям. Таким образом, наиболее целесообразно осуществлять синхронизацию воспроизводимым с ленты опорным сигналом генератора цветовой поднесущей с помощью ФАПЧ с относительно малой постоянной времени и большой полосой захвата. Восстановленная таким способом цветовой поднесущая используется для декодирования сигнала цветности. При этом телевизионный сигнал не содержит искажений цветопередачи, поскольку они вызываются фазовыми сдвигами воспроизведенной опорной поднесущей и сигналом цветности. Обычный демодулированный ЧМ демодулятором сигнал цветности, естественно, имеет нелинейные искажения, при этом временные искажения превышают допустимое значение, определяемое заметностью искажений цветопередачи. Восемьдесят периодов сигнала цветовой вспышки (примерно 2,5 мкс) дают непосредственно информацию только о временных искажениях, находящихся в пределах менее чем 4 % длительности строки. Не существует никакой уверенности в том, что в активной части строки между сигналом цветовой синхронизации (цветовой вспышкой) и воспроизведенной модулированной цветовой поднесущей не возникает фазового сдвига. Таким образом, необходима система, дающая постоянную информацию о временных искажениях. Для этих целей наиболее приемлем пилот-сигнал.

Пилот-сигналом служит какая-нибудь субгармоника поднесущей, которая размещается ниже полосы передачи ЧМ сигнала: в полосе 500 . . . 700 МГц. Для его формирования используется генератор поднесущей, синхронизированный входным сигналом цветовой вспышки при записи, и делитель частоты. При воспроизведении пилот-сигнал синхронизирует такой же генератор. Постоянная времени фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) мала, поэтому восстановленная поднесущая отслеживает изменения скорости головки-лента и обеспечивает декодирование сигнала цветности (с целью перекодирования) без искажений цветопередачи. На рис. 32 показана структурная схема системы, в которой с помощью декодирования сигнала цветности, воспроизведенного с ленты, и повторного кодирования стабильной цветовой поднесущей формируется полный цветовой телевизионный сигнал системы PAL.

---

\* С частотно-амплитудной модуляцией. — *Прим. ред.*

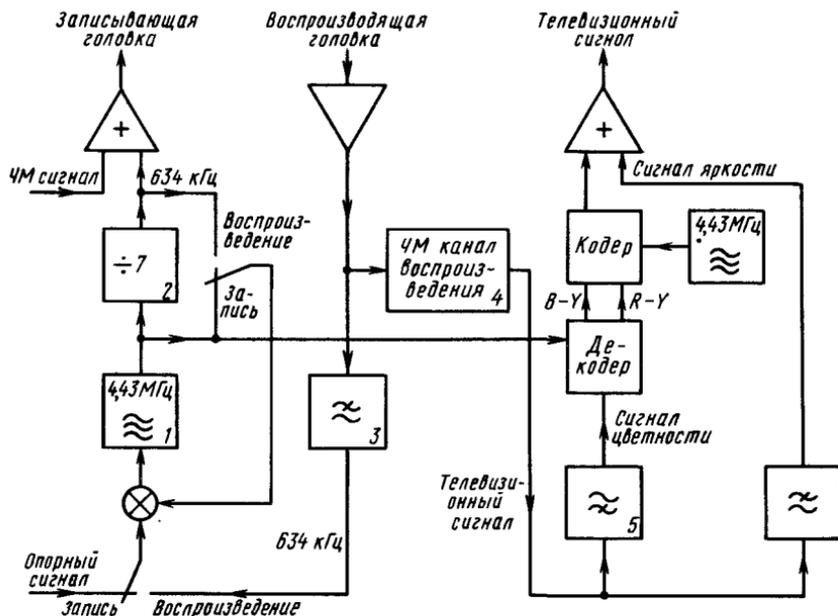


Рис. 32. Компенсация искажений цветопередачи, основанная на использовании пилот-сигнала с декодированием и повторным кодированием сигнала цветности. В режиме записи генератор 1 жестко привязан по фазе к входному опорному сигналу. Делитель частоты 2 делит частоту цветовой поднесущей, например, на семь, и сформированный таким образом пилот-сигнал записывается на ленту. При воспроизведении пилот-сигнал, выделенный фильтром 3, подается в качестве опорного сигнала в кольцо ФАПЧ генератора 1.. В кольцо ФАПЧ входит также делитель частоты 2. Из полного телевизионного сигнала на выходе усилителя канала воспроизведения 4 фильтром высоких частот 5 выделяют цветную поднесущую, затем декодируют сигнал цветности, используя в качестве опорного сигнала пилот-сигнал, а потом вновь с помощью кодирующего устройства формируют сигнал цветности, модулируя стабильную цветную поднесущую. Сигналы яркости и цветности совмещают и получают полный цветовой телевизионный сигнал

Телевизионный сигнал с уменьшенными временными искажениями можно получить и без ЧМ детектирования временных ошибок пилот-сигнала, записанного на ленту одновременно с ЧМ сигналом.

Пусть  $f_{цп}$  — частота записываемой цветовой поднесущей,  $f'_{цп}$  — частота воспроизводимой с временными искажениями цветовой поднесущей,  $f_{пс}$  и  $f'_{пс}$  — соответственно частоты записываемого и воспроизводимого пилот-сигналов.

При записи

$$\lambda_r = v_3 / f,$$

при воспроизведении

$$f' = v_B / \lambda_r = \frac{v_B}{v_3} f.$$

Таким образом, изменение частоты

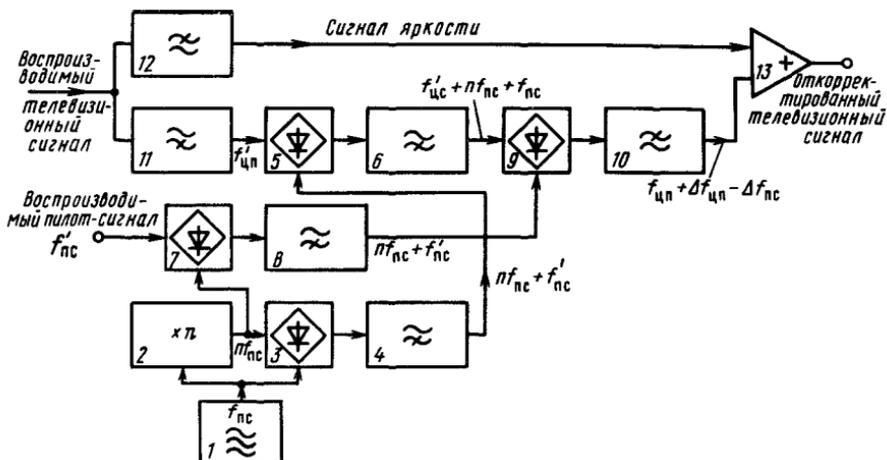


Рис. 33. Структурная схема подавления временных искажений, основанная на использовании пилот-сигнала и многократного преобразования частоты:

1 — генератор пилот-сигнала; 2 — умножитель частоты; 3, 5, 7, 9 — смесители; 4, 6, 8, 11 — фильтры верхних частот; 10, 12 — фильтры нижних частот; 13 — суммирующий усилитель

$$\Delta f = f' - f = \left( \frac{v_B}{v_3} - 1 \right) f \quad (49)$$

пропорционально записанной частоте.

На рис. 33 представлена структурная схема еще одной системы подавления временных ошибок, основанная на использовании пилот-сигнала. Пилот-сигнал  $f_{пс}$  формируется кварцевым генератором 1. С помощью умножителя частоты 2, реализованного, например, в виде ФАПЧ, получают сигнал с частотой  $nf_{пс}$ . После преобразования частоты в 3 и фильтрации в 4 частота сигнала будет равна  $nf_{пс} + f_{пс}$ . Последующие преобразование частоты в 5 и фильтрация в 6 сигнала цветовой поднесущей с частотой  $f'_{цп}$  позволяют получить сигнал с частотой

$$f_A = f'_{цп} + nf_{пс} + f'_{пс},$$

а из воспроизведенного пилот-сигнала (пропущенного через 7, 8) получаем сигнал с частотой

$$f_B = nf_{пс} + f'_{пс}.$$

Преобразование частоты в 9 и фильтрация в 10 дают

$$f_A - f_B = f'_{цп} + f_{пс} - f'_{пс} = f_{цп} + \Delta f_{цп} - \Delta f_{пс}. \quad (50)$$

Таким образом, если  $\Delta f_{цп} = \Delta f_{пс}$ , то искажения частоты цветовой поднесущей подавляются. Очевидно, что из-за зависимости временных искажений от частоты воспроизводимого сигнала (49) равенства не получается, так как саму цветовую поднесущую в качестве пилот-сигнала невозможно записать.

Вместе с тем можно записать какую-нибудь гармонику или субгармонику, которая попадает за пределы спектра ЧМ сигнала и из которой потом умножением или делением частоты можно получить синфазную с временными искажениями поднесущую. Естественно, что в полученном таким образом полном цветном телевизионном сигнале нарушается жесткая связь между сигналами синхронизации, сигналом яркости и цветовой поднесущей, поскольку вышеуказанные сигналы яркости и синхронизации в системе не корректируются.

Данная система, основанная на многократном преобразовании частоты, в несколько измененной форме пригодна и для уменьшения ширины полосы пропускания [94, 112]. На рис. 34 показана структурная схема канала записи-воспроизведения телевизионного сигнала системы PAL. С помощью ФАПЧ (4, 5, 6) получают непрерывную поднесущую, синфазную с входным опорным сигналом. Эти два сигнала поступают на преобразователь частоты 7, а затем на фильтр верхних частот 8, выделяющий суммарную частоту 4,995 МГц. Снова производя сдвиг на частоту цветовой поднесущей, выделенной из

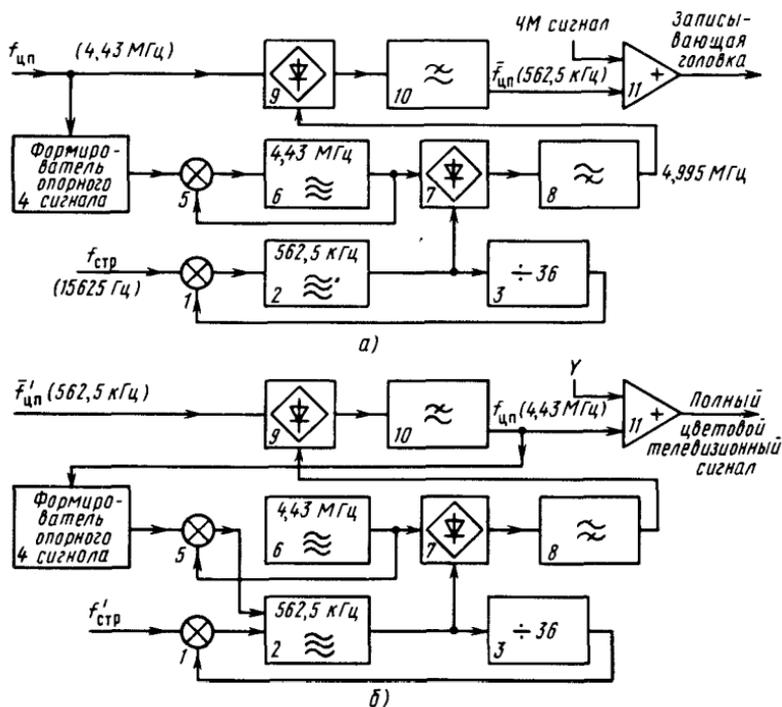


Рис. 34. Структурная схема подавления временных искажений с помощью сдвига частоты сигнала цветности за нижнюю границу полосы ЧМ сигнала с многократным преобразованием частоты:

*а* — канал записи; *б* — канал воспроизведения; 1, 5 — фазовые детекторы; 2, 6 — генераторы; 3 — делитель частоты; 7, 9 — преобразователи частоты; 8 — фильтр верхних частот; 10 — фильтр нижних частот; 11 — суммирующий усилитель

полного цветового телевизионного сигнала, с помощью преобразователя частоты 9 и фильтра нижних частот 10 получают цветовую поднесущую с частотой 562,5 кГц. Таким образом формируется сигнал цветности (цветовой поднесущей, имеющей частоту 562,5 кГц). Затем записывают на ленту этот сигнал, предварительно сложив его в усилителе 11 с сигналом яркости. Запись при этом достаточно хорошая, с малым уровнем искажений, так как ЧМ сигнал с более высокой частотой и большой амплитудой действует как сигнал подмагничивания. (Более жесткие требования к искажениям в этом случае связаны с тем, что, с одной стороны, непосредственно записываемая преобразованная поднесущая промодулирована по амплитуде, а с другой стороны, с тем, что ее гармоники попадают в полосу ЧМ сигнала яркости и вызывают там интерференционные помехи.) При воспроизведении (рис. 34, б) вспомогательный сигнал с частотой 562,5 кГц жестко сфазирован со строчными синхроимпульсами, воспроизводимыми с ленты с помощью ФАПЧ (1, 2, 3). Из этого сигнала и сигнала кварцевого генератора, имеющего частоту 4,43 МГц, в устройствах 7, 8 формируется вспомогательный сигнал с частотой 4,995 МГц. Он используется для преобразования частоты сигнала цветности с частотой цветовой поднесущей 562,5 МГц, полученного с ленты. В устройствах 9, 10 в результате формируется исходная цветовая поднесущая с частотой 4,43 МГц. Этот сигнал суммируется с сигналом яркости в 11 и образуется полный цветовой телевизионный сигнал. После сравнения в фазовом детекторе 5 сигнала, выделенного из восстановленной поднесущей, с сигналом кварцевого генератора 6 получается сигнал управления, с помощью которого осуществляется точная фазовая подстройка генератора 2.

При записи (рис. 34, а)

$$nf_{\text{стр}} + f_{\text{цп}} - f_{\text{цп}} = nf_{\text{стр}};$$

при воспроизведении (рис. 34, б)

$$(nf'_{\text{стр}})' + f_{\text{цп}} - nf'_{\text{стр}} = f_{\text{цп}},$$

если  $(nf'_{\text{стр}})' = nf'_{\text{стр}}$ . Естественно, что это никогда не выполняется. Во-первых, потому что сигнал с частотой  $nf'_{\text{стр}}$  получен умножением на  $n$  низкочастотного сигнала с частотой  $f'_{\text{стр}}$ , причем сигнал с частотой  $f'_{\text{стр}}$ , меньшей в  $n$  раз  $(nf'_{\text{стр}})'$ , не реагирует на быстрые временные искажения, происходящие за время строки. Во-вторых, потому что множитель частоты реализован на основе ФАПЧ, имеющей конечную постоянную времени. Несмотря на это, данный метод позволяет получить удовлетворительные результаты. Он нашел довольно широкое распространение в полупрофессиональных и бытовых аппаратах, и международные рекомендации по его использованию предписывают принять в качестве частоты преобразованной поднесущей частоту, сформированную из частоты строк. (Международные стандарты, планы стандартизации и источники информации, содержащие данные по параметрам некоторых систем видеозаписи, приведены в разд. 2.6.) Отметим, что в системах с преобразованием цветовой поднесущей производится преобразование и цветных поднесущих SECAM. Вследствие преобразования цветовой поднесущей необходимо ограничивать полосу сигнала цветности. Обычно используются полосы с шириной в пределах 300 . . . 500 кГц.

## Запись без межстрочных промежутков

В традиционных системах видеозаписи значительная часть поверхности магнитной ленты не используется, а занимается межстрочными промежутками. Давайте рассмотрим необходимость таких межстрочных промежутков и возможность их полного исключения. Наши рассуждения будут касаться систем с преобразованием цветовой поднесущей.

На рис. 35 показана зависимость амплитуды сигнала на выходе воспроизводящей головки с длиной рабочего зазора 50 мкм при воспроизведении сигнала, записанного на магнитную дорожку шириной 50 мкм со скоростью 5 м/с, от частоты для трех случаев смещения головки: головка находится непосредственно на дорожке, смещена на расстояния 2,5 и 25 мкм от края дорожки. Видно, что в полосе частот, используемых для записи, помеху от соседней строчки записи можно считать допустимой и в том случае, когда строчки записи располагаются вплотную друг к другу. Помехи, попадающие в полосу преобразованного канала цветности, имеют бóльшую мощность. Однако и здесь они относительно малы, так как даже небольшого увеличения межстрочного промежутка (в рамках приведенного примера) было бы достаточно для обеспечения необходимого ослабления наведенных соседней строчкой записи помех. Таким образом, ширина межстрочных промежутков, составляющая 50 . . . 100 % от ширины строчек записи, необходима только для того, чтобы помехи, возникающие от соседних строчек записи, не мешали даже тогда, когда головка не точно следует по строчке записи.

Самым простым способом уменьшения коротковолновых помех, возникающих в случае схода головки со строчки записи, является чередование направления намагничивания соседних строчек записи (рис. 36, а). Согласно (13а), если рабочий зазор (предназначенный для воспроизведения 2-й строчки записи) движется по 1-й строчке записи, захватывая ее на ширине  $\Delta d$ , то эквивалентная ширина зазора

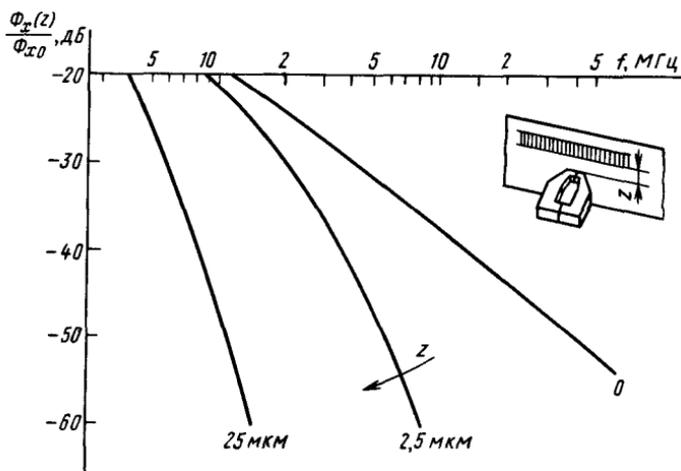


Рис. 35. Зависимость магнитного потока, находящегося в воспроизводящей головке, расположенной рядом с намагниченной дорожкой или на заданном от нее расстоянии, от частоты. (Ширина дорожки и длина рабочего зазора воспроизводящей головки равны 50 мкм, относительная скорость головка—лента составляет  $5 \text{ мс}^{-1}$  [52].)

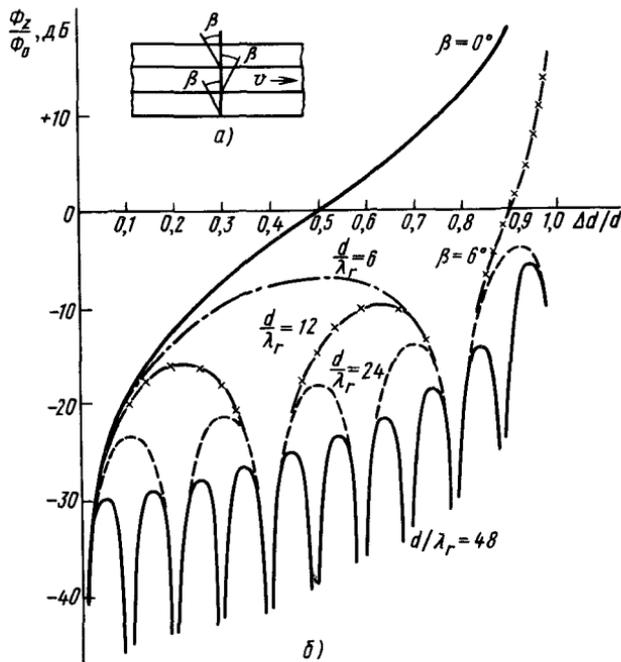


Рис. 36. Направление расположения рабочих зазоров головок записи и воспроизведения на находящихся рядом строчках записи в системах записи без межстрочных промежутков (а) и влияние чередования направления намагничивания на уровень помех от соседней строчки записи в случае схода головки со строчки записи на расстояние  $\Delta d$  (б). Параметром является длина волны записи. Если, например, ширина строчки записи  $d = 48$  мкм и относительная скорость головка-лента составляет  $5 \text{ мс}^{-1}$ , то на кривой  $d/\lambda_r = 48$  на частоте 5 МГц проявляется помеха

$$s' = \Delta d \operatorname{tg} 2\beta$$

и

$$\frac{\Phi_{\text{ш}}}{\Phi_0} = \frac{\sin \frac{\pi}{\lambda_r} \Delta d \operatorname{tg} 2\beta}{\frac{\pi}{\lambda_r} \Delta d \operatorname{tg} 2\beta} \frac{\Delta d}{d - \Delta d} \quad (51)$$

Видно, что при малом значении  $\Delta d$  (из-за коэффициента  $\Delta d / (d - \Delta d)$ ) и при большом значении  $\Delta d$  (из-за увеличения зазора) сигнал помехи незначителен, однако в последнем случае — только на коротких волнах записи (рис. 36, б). Вследствие азимутального наклона головки эквивалентная ширина зазора увеличивается также и для полезного сигнала (136), но, поскольку угол  $\beta$  ( $\leq 15^\circ$ ) обычно мал, этим можно пренебречь, так как увеличение зазора не достигает и 3,5%. Таким образом, азимутальный наклон рабочего зазора не приводит к существенным нарушениям и способствует разделению сигналов яркости, находящихся на соседних строчках записи. Однако для

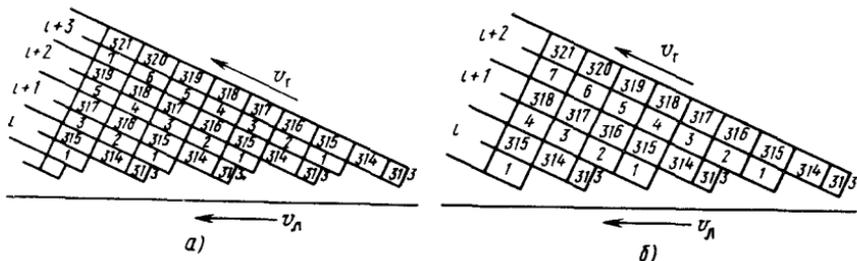


Рис. 37: Расположение строчек записи в форматах без межстрочных промежутков. а – формат Beta; б – форматы VHS и Video-2000. Нумерация показывает порядковый номер строк, оказывающихся рядом друг с другом. В формате записи Beta, например, видно, что 315-я строка  $(l + 1)$ -го кадра находится рядом с третьей строкой  $(l + 2)$ -го кадра. Поскольку полный кадр содержит нечетное число строк, то в этих двух строках цветные поднесущие в системе SECAM различные. Поэтому в формате Beta необходимо осуществлять задержку сигнала на длительность строки  $1 H$  (в формате VHS таких проблем нет)

исключения вредного взаимного влияния сигналов цветности необходимо изыскивать другие аппаратурные методы компенсации.

Перед ознакомлением с методами компенсации помех от сигналов цветности необходимо сказать, что запись без межстрочных промежутков используется в таких системах, где на отдельной строчке записи записывается целиком поле телевизионного сигнала, причем таким образом, чтобы строчные синхроимпульсы на ленте создавали линии, перпендикулярные строчкам записи, и соседние телевизионные строки нечетных и четных полей располагались друг под другом (рис. 37). (Целесообразность такого расположения строчек записи и способы его реализации будут рассмотрены в разд. 2.2.)

Первый способ компенсации помехи [74] был впервые реализован в формате Beta фирмы Sony. Он основан на принципе перемещения спектров.

В последующих примерах рассматривается запись полного цветового телевизионного сигнала системы NTSC. Запись осуществляют таким образом, что у каждого второго (четного) поля построчно меняют на  $180^\circ$  фазу преобразованной поднесущей.

Построчная смена знаков аналогична умножению на прямоугольный сигнал с частотой  $f_{СТР}/2$  и амплитудой  $\pm 1$ . Спектр данного сигнала

$$G(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} C_{2l-1} \exp [(2l - 1) (\omega_{СТР}/2) t]. \quad (52)$$

Спектр первого поля

$$F_1(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k \exp [j (\pm \omega_{цп} \pm k \omega_{СТР}) t] \quad (53)$$

и по аналогии – второго поля

$$F_2(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_m \exp [j (\pm \omega_{цп} \pm m \omega_{СТР}) t]. \quad (54)$$

Таким образом, для записанных четных полей

$$F_2'(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} B_m C_{2l-1} \exp \left\{ j \left[ \pm \omega_{\text{цп}} + \left( l \pm m - \frac{1}{2} \right) \omega_{\text{стр}} \right] t \right\}. \quad (55)$$

Из сопоставления  $F_1(t)$  и  $F_2'(t)$  видно, что составляющие спектра  $F_2'$  расположены между составляющими спектра  $F_1$ . А это означает, что эти два сигнала могут быть разделены с помощью гребенчатого фильтра.

Необходимый гребенчатый фильтр выполняется на линии задержки на одну телевизионную строку (1 H) (рис. 38). Частоты полного подавления сигнала получаются как решения уравнения  $\cos \omega t + \cos (\omega t + \tau) = 0$  при  $\tau = H$ :

$$f_0 = \left( n - \frac{1}{2} \right) f_{\text{стр}}.$$

При воспроизведении нечетных полей, если смещение головки со строчки записи равно  $\Delta d$ , то воспроизводимый сигнал

$$u_{11} = (1 - \Delta d) F_1 + \Delta d F_2',$$

составляющая его  $\Delta d F_2'$  может быть подавлена гребенчатым фильтром. При воспроизведении  $F_2'$  сигнал имеет вид

$$u_{12} = (1 - \Delta d) F_2' + \Delta d F_1,$$

однако здесь необходимо провести обратную построчную смену знаков. После коррекции сигнал принимает вид

$$u_{12} = (1 - \Delta d) F_2 + \Delta d F_1',$$

составляющая его  $\Delta d F_1'$  удаляется гребенчатым фильтром.

Схема построчного изменения знаков может быть объединена со схемой преобразования поднесущей.

Построчное изменение знаков целесообразно реализовывать в сигнале  $f_{\text{цп}} + n f_{\text{стр}}$ , который используется для преобразования частоты. Гребенчатый фильтр с линией задержки следует устанавливать в цепи прохождения уже восстановленного (обратное преобразование) до номинальной частоты сигнала.

Принцип записи сигналов системы PAL тот же. Но поскольку здесь период составляет две строки, при кодировании производится изменение фазы на  $180^\circ$  одного из цветоразностных сигналов в начале каждой строки, а следовательно, и фазы поднесущей. Смещение спектров двух полей должно быть равно  $(n/2 + 1/4) f_{\text{стр}}$ . Это достигается с помощью преобразования частоты поднесущей от поля к полю. Для формата записи Beta сдвиг частоты поднесущей для первого поля  $(44 + 1/8) f_{\text{стр}}$ , а для второго  $(44 - 1/8) f_{\text{стр}}$ . Возни-

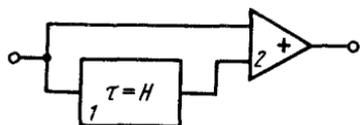


Рис. 3.8. Гребенчатый фильтр для подавления частот  $(n - 1/2) f_{\text{стр}}$ :  
1 — линия задержки на строку (1 H); 2 — суммирующий усилитель

кающие от соседней строчки записи составляющие помех удаляются гребенчатым фильтром с линией задержки на две строки (2 H).

Для того чтобы принцип перемежения спектров можно было применить и для сигналов системы SECAM, необходимо частично преобразовать структуру сигнала:

Исключить изменения фазы поднесущей на  $180^\circ$  в каждой третьей строке, вследствие чего в спектре сигнала цветности мощность будет концентрироваться на частотах  $nf_{стр}/6$ . При исключении коммутации фазы сигнала цветности концентрация мощности происходит на частотах  $nf_{стр}/2$ .

Преобразовать поднесущие частоты таким образом, чтобы между соседними полями возникала разность частоты  $(n/2 + 1/4)f_{стр}$ , благодаря чему будет возможно перемежение спектров.

Выбранными частотами являются:  $f_{RA} = (44 - 1/8)f_{стр}$ ,  $f_{VA} = (54 - 1/8)f_{стр}$  для нечетного поля  $A$ ;  $f_{RB} = (44 + 1/8)f_{стр}$ ,  $f_{VB} = (54 + 1/8)f_{стр}$  для четного поля  $B$ .

Обеспечивать задержку каждого второго кадра на время строки. Тем самым достигается то, что на ленте рядом всегда оказываются те строки, которые несут аналогичную цветовую информацию, т. е. содержат одну и ту же поднесущую. Для обеспечения возможности обратного преобразования задержанные кадры в интервале гасящего импульса полей имеют метки — сигналы опознавания [74, 68].

В формате VHS для системы PAL и NTSC метод перемежения спектров является так же, как и для вышеприведенных случаев, инструментом для исключения помех. Однако в техническом отношении он реализуется иначе.

Сигналы системы NTSC записываются таким образом, что в поле  $A$  фазы следующих друг за другом строк смещаются вперед на  $90^\circ$ , а в поле  $B$  — на  $90^\circ$  назад. При воспроизведении сдвиг фаз происходит в обратном направлении и возникающие помехи удаляются гребенчатым фильтром с временем задержки 1 H. Для наглядности на рис. 39 показана схема реализации данного метода.

Способ, реализованный в системе записи сигнала PAL, отличается от предыдущего лишь тем, что построчный сдвиг фаз на  $90^\circ$  осуществляется только в

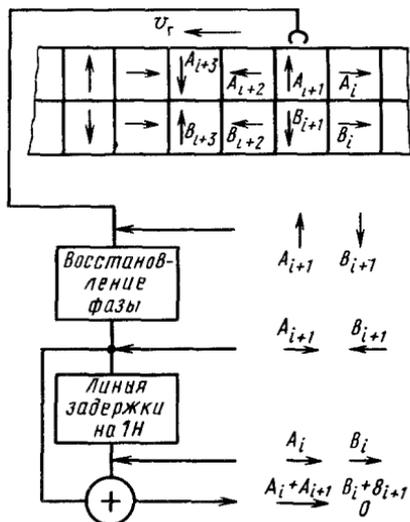


Рис. 39. Компенсация помех в формате VHS. В поле  $A$  фаза поднесущей построчно смещается на  $90^\circ$  вперед, а в поле  $B$  — на  $90^\circ$  назад. Так например, если вместе с  $(i + 1)$ -й строкой поля  $A$  воспроизвести и сигнал строки  $B_{i+1}$ , то помеха от  $B_{i+1}$  по отношению к помехе от  $B_i$  оказывается в противофазе и подавляется при суммировании. Аналогично производится компенсация помех при записи сигнала системы PAL.

поле  $A$ , а поле  $B$  остается без изменения. При воспроизведении производится обратный сдвиг фазы в поле  $A$ , а для фильтрации помех здесь используется гребенчатый фильтр с линией задержки на две строки ( $2H$ ).

Преимуществом метода фазового сдвига является то, что сдвигать частоту поднесущей не требуется. Выбранные частоты: NTSC —  $40f_{\text{стр}}$ , PAL —  $40f_{\text{стр}} + 1953$  Гц. (В рекомендациях МЭК они соответствуют  $(40 + 1/8)f_{\text{стр}}$ .)

Запись сигналов системы SECAM в формате VHS значительно упрощена: частоты поднесущих делятся на 4 и записываются без каких-либо дополнительных преобразований. Благодаря относительно малому коэффициенту деления частота записываемого сигнала попадает в диапазон 1 МГц, в котором помехи от соседних строчек записи еще достаточно малы.

### Компенсация выпадений

Поверхностные дефекты видеолент, а также, например, загрязнение вызывают нарушение контакта головки с лентой, вследствие чего амплитуда воспроизводимого с ленты сигнала может уменьшаться ниже порога ЧМ. В результате на выходе ЧМ демодулятора возникают сигналы помех большой амплитуды, которые вызывают на телевизионном изображении мерцающие помехи, ухудшая субъективное качество передачи\*.

Наиболее простой метод устранения этих помех, вызванных выпадением, заключается в замене пораженного выпадением сигнала каким-либо другим сигналом, например уровнем черного или серого. Это осуществимо на высоких частотах включением в интервале выпадения мультивибратора, частота которого равна частоте ЧМ сигнала, соответствующего требуемому уровню видеосигнала [103], или организацией селективной обратной связи в ограничителе, вследствие чего схема самовозбуждается на желаемой частоте, если уровень входного сигнала понижается ниже определенного порогового значения [84].

Аналогичным способом можно в интервале выпадения заменить пораженный участок видеосигнала видеосигналом определенного уровня. Для этого ЧМ сигнал после слабого или совсем без ограничения подается на амплитудный детектор, при уменьшении сигнала на входе которого ниже определенного уровня формируется управляющий сигнал длительностью равной или несколько большей, чем длительность выпадения. Этот сигнал может использоваться для управления специальной схемой фиксации уровня, сигнал с которой замещает пораженный участок видеосигнала [121].

Более сложная компенсация выпадений позволяет значительно улучшить качество телевизионного изображения. Она основана на том, что обычно сигналы любых двух смежных строк мало отличаются друг от друга. Поэтому если участок сигнала одной строки, пораженный выпадением, заменить аналогичным участком предыдущей строки, то сигнал будет казаться непрерывным.

---

\* Выпадением в профессиональной видеозаписи называется уменьшение уровня воспроизводимого ЧМ сигнала более чем на 20 дБ в течение интервала времени, не меньше 3 мкс. — *Прим. ред.*

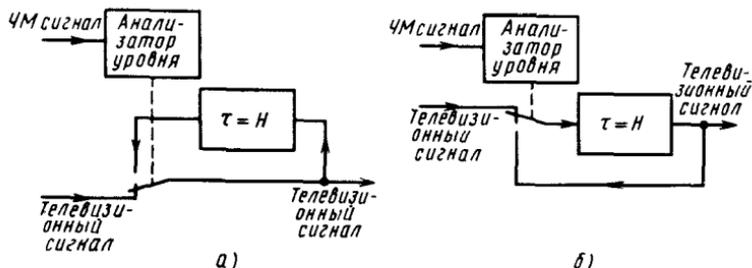


Рис. 40. Принципы компенсации выпадений в случае видеозаписи сигнала черно-белого телевидения или полного цветowego телевизионного сигнала системы NTSC, отличающиеся местом включения линии задержки

При записи сигнала черно-белого телевидения этот принцип реализуется достаточно просто (рис. 40). Демодулированный телевизионный сигнал подается на линию задержки на строку ( $1H$ ). Если вышеописанный обнаружитель выпадений регистрирует длительность выпадения сигнала, большую минимально допустимого значения ( $2 \dots 3$  мкс), то он на это же время переключает переключатель, благодаря чему на выход через линию задержки поступает сигнал предыдущей строки. Если коэффициент передачи линии задержки может быть с хорошим приближением установлен равным единице и время задержки достаточно точно выдерживается, то система способна компенсировать выпадение длиной в несколько строк таким образом, что все пораженные строки заменяются одной и той же последней неискаженной строкой.

Метод, иллюстрируемый рис. 40, пригоден и для компенсации выпадений сигнала цветности\* системы NTSC, но не приемлем в системах PAL и SECAM. В то время как в первом случае сигналы цветности соседних строк отличаются друг от друга только вследствие изменения содержания кадра, в других системах сигналы цветности отличаются и при одинаковом содержании кадра: в системе PAL фаза поднесущей меняется в каждой строке; в системе SECAM соседние строки содержат различные цветные поднесущие. Поэтому в этих системах для компенсации выпадений необходимы более сложные схемные решения [8].

На рис. 41, а показана структурная схема системы компенсации выпадений сигнала PAL. Система включает в себя две линии задержки на строку ( $1H$ ). Одна линия задержки — широкополосная (она пропускает полный цветовой телевизионный сигнал), другая — с узкой полосой пропускания (она осуществляет задержку только выделенного сигнала цветности). Таким образом пораженный выпадением сигнал заменяется соответствующим участком сигнала яркости предыдущей строки и соответствующим участком сигнала цветности второй предыдущей строки. Система обеспечивает замену полной строки, если помеха появляется в строчном синхроимпульсе или в опорном сигнале цветовой вспышки.

\* Как и полного цветowego сигнала системы NTSC. — Прим. ред.

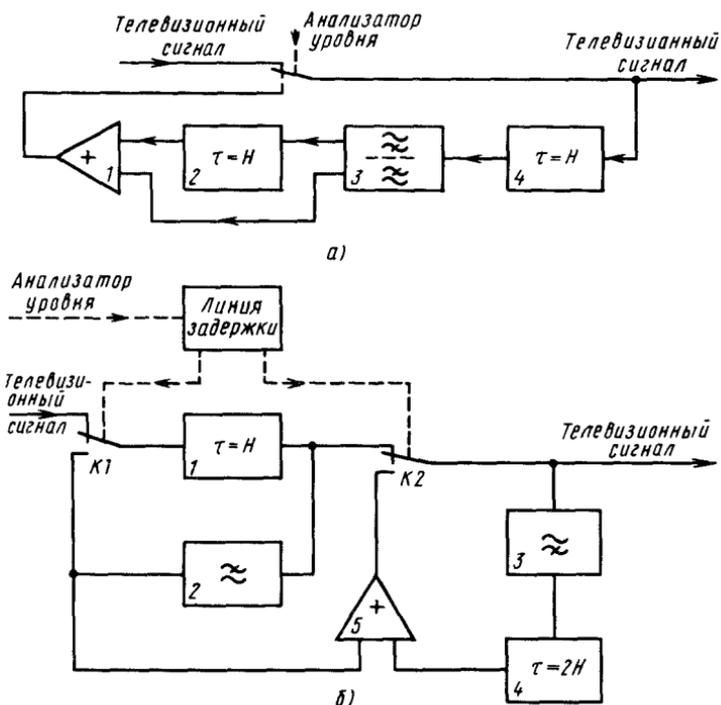


Рис. 41. Системы компенсации выпадений при воспроизведении сигнала системы PAL (а) (сигнал задерживается широкополосной линией задержки 4, затем в 3 разделяется на сигнал яркости и сигнал цветности, который в 2 задерживается еще на одну строку ( $1H$ ), и, наконец, сложение полученных сигналов дает полный цветовой телевизионный сигнал, которым можно заменить пораженный выпадением участок сигнала) и сигнала системы SECAM (б) (схема аналогична приведенной на рис. 40, б; линия задержки 1 и фильтр нижних частот 2 обеспечивают замещение пораженного участка сигнала яркости; выделенный фильтром верхних частот 3 сигнал цветности, задержанный на две строки ( $2H$ ) линией задержки 4, дополняется в сумматоре 5 сигналом яркости, в результате чего получается полный цветовой телевизионный сигнал, содержащий цветовую информацию второй прадшествующей строки. Такое решение, естественно, пригодно и для сигнала системы PAL, но в этом случае необходимо объединить управление переключателями  $K_1$  и  $K_2$ )

При воспроизведении сигнала системы SECAM нельзя производить переключение в активной части строки. При переключении частотно-модулированной цветовой поднесущей возникает переходный процесс (помеха) длительностью в несколько микросекунд, действие которого имеет тот же порядок, что и выпадение. Следовательно, при выпадении в сигнале цветности системы SECAM необходимо заменять целую строку, в то время как в сигнале яркости — только пораженный участок. Данное техническое решение, дающее субъективно приемлемые результаты, показано на рис. 41, б.

Отметим, что необходимость замены целой строки является наиболее серьезным ограничением качества видеозаписи сигналов системы SECAM. Может

случиться и то, что в следующих друг за другом строках возникнут кратковременные и находящиеся как раз над гранью чувствительности обнаружителя выпадения. В этом случае замена целой строки вызывает цветовые искажения уже на большей площади кадра.

Еще более серьезные искажения изображения возникают в системах, в которых не разделяются сигналы яркости и цветности и пораженная выпадением строка заменяется сигналом, задержанным на две строки.

## 2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### Строчки записи видеосигнала

По отношению к наблюдателю в системах с вращающимися видеоголовками перемещаются и головка, и лента. Естественно, что с точки зрения процесса записи существует только одно движение — движение головки относительно ленты. Оно и определяет порядок расположения строчек записи на магнитной ленте в верхнюю граничную частоту записи. Ниже будут рассмотрены особенности этого движения [47, 112, 128].

Первое положение, вытекающее из практики, — это то, что записываемая строчка записи не может быть непрерывной, хотя существует два способа образования беззасторных цилиндров из ленты: фиксация ленты на цилиндре, ось которого параллельна продольной оси ленты, и наматывание ленты на цилиндр с шагом, равным ширине ленты. Однако области, прилегающие к краям ленты, не могут быть использованы для записи сигналов. Вместе с тем это не означает, что необходимо отказаться от идеи использования непрерывного сигнала. Теоретически можно обеспечить непрерывность сигнала с помощью нескольких головок и соответствующей системы их переключения. Но на практике непрерывность сигнала не является идеальной. Поэтому переключение целесообразно осуществлять на определенных участках сигнала, где нарушение непрерывности сигнала приводит к наименьшим помехам.

Совершенно ясно, что ось барабана видеоголовок\* не может быть перпендикулярна продольной оси ленты, так как в этом случае можем получить только одну параллельную продольной оси ленты строчку записи, что противоречит требованиям, сформулированным во введении. В [47] было показано, что такое расположение непригодно и при значительном увеличении относительной скорости головка — лента. Будем рассматривать технические решения, в которых угол между направлениями движения головки — лента лежит в пределах  $0 < \varphi < \pi$ .

Для описания относительного движения головка—лента, а также для описания соответствующих геометрических параметров записи введем следующие обозначения:

$w$  — ширина ленты, занимаемая строчками записи (без перекрытия), м;

---

\* В поперечно-строчной видеозаписи видеоголовки располагаются на вращающемся диске, называемом диском видеоголовок; в наклонно-строчной видеозаписи видеоголовки (одна или несколько) располагаются, как правило, на вращающейся части блока вращающихся головок, называемого барабаном видеоголовок. — *Прим. ред.*

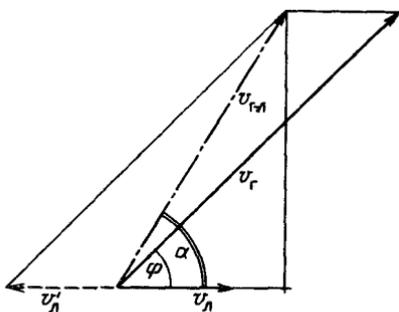


Рис. 42. Определение относительной скорости головка—лента  $v_{г-л}$  ( $v_г$  и  $v_л$  — скорости головки и ленты для внешнего наблюдателя;  $v'_л = v_л$  — продольная составляющая относительной скорости головка—лента в системе координат, привязанной к носителю)

рость головки;  $v_л$  — линейная скорость движения ленты (рис. 42). Относительная скорость движения в системе координат, движущейся вместе с лентой, имеет вид

$$v_{г-л}^2 = v_г^2 - 2v_л v_г \cos \varphi + v_л^2 \quad (56)$$

или, если  $v_г \gg v_л$ , что на практике всегда выполняется,

$$v_{г-л} \approx v_г - v_л \cos \varphi. \quad (57)$$

Заметим, что при движении головки и ленты в одном направлении относительная скорость уменьшается и угол наклона строчки больше угла плоскости вращения видеоголовки. Для угла наклона строчки записи можно записать

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_г \sin \varphi}{v_г \cos \varphi - v_л} \quad (58)$$

или, если  $\varphi$  достаточно мало,

$$\sin \varphi \approx \varphi, \quad \cos \varphi \approx 1$$

и

$$\alpha \approx \frac{\varphi}{1 - v_л/v_г}. \quad (59)$$

Системы с вращающимися головками можно подразделить на две группы. К первой группе относятся магнитофоны с поперечно-строчной системой записи, в которых ось диска головок параллельна продольной оси ленты. К другой группе относятся все те системы, у которых  $\varphi \neq \pi/2$ .

Во второй группе различают сегментированные и несегментированные форматы записи. В сегментированных форматах одна строчка записи (в зависимости от конструкции) содержит только определенную часть одного теле-

$N$  — количество головок на барабане видеоголовок;

$D$  — диаметр барабана видеоголовок, м;

$n_б$  — частота вращения барабана видеоголовок,  $\text{с}^{-1}$ ;

$c$  — расстояние между осевыми линиями строчек записи (шаг строчек записи), м;

$l$  — длина строчки записи без перекрытия, м (перекрытие — это такие участки в начале и конце строчки записи, которые для переключения видеоголовок без помех содержат идентичную с концом предыдущей или соответственно с началом последующей строчки записи информацию).

В нашем примере приняты следующие обозначения:  $v_г$  — линейная ско-

визионного поля. В несегментированном формате строчка записи содержит одно полное поле или часть поля, которую необходимо записать.

Общим для обоих форматов записи является только то, что поперечно-строчные форматы записи могут быть только сегментированными: ширина применяемых на практике или возможных для применения видеолент в любом случае недостаточна для записи целого поля. Это доказывается следующим образом: для записи программы длительностью  $t$  при граничной частоте  $f_{гр}$  и минимальной длине волны записи  $\lambda_{з\ min}$  необходима минимальная длина строчки записи

$$l_{\min} = t v_{г-л} = t f_{гр} \lambda_{з\ \min}. \quad (60)$$

Для одного поля

$$l_{\min} = v f_{гр} \lambda_{з\ \min}. \quad (61)$$

где  $v$  – номинальная длительность поля. Получается достаточно убедительный результат, если для начала принять  $\lambda_{з\ \min} = 1$  мкм,  $f_{гр} = 1$  МГц и  $v = 20$  мс. В этом случае  $l_{\min} = 20$  мм. Так как  $f_{гр}$  не может быть меньше 4 . . . . 6 МГц, то минимальная длина строчки записи для одного поля будет составлять 80 . . . 120 мм. На практике ленты такой ширины не используются.

Отправной точкой для анализа характеристик сегментированных систем записи может быть требование того, чтобы записанные на ленту кадровые синхроимпульсы попадали на линию, параллельную продольной оси ленты. Только таким образом можно обеспечить, чтобы сигнал смены полей не "сползал" с ленты и постоянно воспроизводился без искажения. Отсюда частота вращения барабана видеоголовок

$$n_6 = \frac{s}{Nv} = \frac{s f_{пол}}{N}, \quad (62)$$

где  $s$  – количество сегментов;  $f_{пол}$  – частота полей. Таким образом, отношение между частотой вращения и частотой полей должно выражаться рациональным числом.

Исходя из желаемых качественных показателей и используя (61), выбирается длина строчки записи, равная  $l$  (в нашем случае, естественно,  $t = v/s$ ). Из общей ширины ленты, предполагаемой для применения, ширина, занимаемая строчками записи телевизионного сигнала без учета звуковых, режиссерских дорожек и дорожек сигналов управления, составляет  $w$ . Исходя из этих данных, получаем

$$\sin \alpha = \frac{w}{l} \approx \sin \varphi. \quad (63)$$

С другой стороны,

$$l \approx \frac{\pi D}{N}. \quad (64)$$

Таким образом,

$$D \approx \frac{Nl}{\pi} \quad (65)$$

и

$$v_r = \pi D n_6. \quad (66)$$

И наконец, скорость движения ленты получается из межстрочного расстояния, которое может быть найдено по заданному отношению сигнал-шум, ширины полосы и шага строчек записи:

$$v_n = n_6 Nc / \sin \alpha \approx n_6 Nc / \sin \varphi. \quad (67)$$

Следовательно, в нашем распоряжении имеются все данные, относящиеся к строчкам записи телевизионного сигнала. Видно, что в системе имеются некоторые свободно выбираемые параметры, которые однозначно определяют весь формат записи. Подставляя в (67) выражения (66) и (63) и учитывая приближение (64), получаем основное соотношение

$$\frac{v_r}{v_n} \approx \frac{w}{c}, \quad (68)$$

т. е. отношение линейной скорости головок к скорости движения ленты равно отношению ширины ленты, занимаемой строчками записи, к шагу строчек записи.

Здесь следует отметить, что на практике в многоголовочных системах обеспечивается перекрытие. Строчки записи несколько удлиняют. Для этого достаточно немного увеличить угол охвата барабана видеоголовок лентой, и на эти дополнительные отрезки в строчки записи записывается информация, аналогичная записанной в конце и начале соседних строчек записи. Сходящая со строчки записи головка еще, а входящая на следующую строчку записи головка уже осуществляют запись одного и того же сигнала. Данный отрезок перекрытия дополняет строчку записи таким образом, чтобы она всегда содержала целое число строк. Следовательно, переключение головок можно осуществить в интервале строчного гасящего импульса, а в системах без переключения головок непрерывность сигнала обеспечивается перекрытием. Естественно, что перекрытие увеличивает размер  $w$ . Однако это увеличение незначительно и составляет всего несколько процентов.

Вышеприведенные соотношения справедливы и для несегментированных систем ( $s = 1$ ). В этом случае необходимо учитывать и другие факторы. В несегментированных системах смежные строчки записи содержат следующие друг за другом полные телевизионные поля. Таким образом, при воспроизведении получаем вполне приемлемое изображение даже в том случае, когда головка сходит с одной строчки на соседнюю, если только строчные синхроимпульсы попадают на прямую, перпендикулярную строчке записи. Тогда при переходе головки на другую строчку непрерывность следования синхроимпульсов, а соответствующие телевизионные строки содержат практически идентичную информацию. Единственным источником помех является возрастание уровня шума при пересечении головкой межстрочного интер-

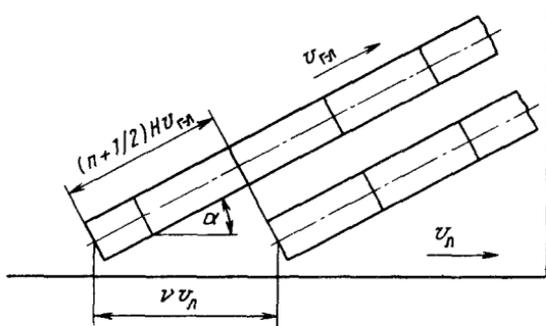


Рис. 43. Взаимное положение строчек записи и расположение строчных синхроимпульсов на одной линии, перпендикулярной направлению записи ( $n = 1$ )

вала. Однако этим возрастанием шума можно пренебречь при замедлении темпа движения воспроизводимого изображения и даже его остановке [72].

Условием нахождения строчных синхроимпульсов соседних строчек на одной прямой линии, перпендикулярной направлению строчек записи (рис. 43), является то, что за период поля лента должна переместиться настолько, чтобы проекция перемещения на строчку записи была равна перемещению головки на  $(n + 1/2)$  строки, т. е.

$$v v_n \cos \alpha = (n + 1/2) H v_{r-n}, \quad (69)$$

где  $n$  — любое целое число. Перемещение на полстроки получается из-за нецелого количества строк, содержащихся в поле\*. (Отметим, что  $n$  может быть равно  $1/2$ . В этом случае необходимое смещение осуществляют с помощью размещения головок не по диаметру барабана, а с некоторым смещением. Таким образом, одна строчка становится на полстроки короче, а другая — на полстроки длиннее. Так образуется формат записи Beta, расположение строчек записи которого показано на рис. 3.7, а).

Из выражения (69) следует, что здесь  $v_n$  уже не свободно выбираемый параметр. Подставляя в (69) выражение (57) и учитывая, что  $\cos \alpha \approx \cos \varphi$ , получаем

$$v_n \approx \frac{(n + 1/2) H}{[v + (n + 1/2) H]} \frac{1}{\cos \varphi} v_r. \quad (70)$$

Выбор величины  $v_n$  оказывает сильное влияние на качество звукового сопровождения. В случае малой скорости движения ленты имеются ограничения не только на полосу записываемого сигнала, но и на запись звукового сигнала.

\* В принятом в СССР стандарте разложения 652/50 Гц поле содержит 312,5 строки. — Прим. ред.

## Траектория движения ленты

В четырехголовочных видеомагнитофонах, в которых ось диска головок параллельна продольной оси ленты, необходимо из ленты формировать цилиндрическую поверхность\*, параллельную продольной оси (рис. 44, а). Это осуществляется притягиванием ленты вакуумным присосом к цилиндрической поверхности вакуумной направляющей (рис. 44, б). На поверхности вакуумной направляющей по траектории движения головки имеется углубление (канавка). Радиус кривизны рабочей поверхности головок несколько больше радиуса кривизны вакуумной направляющей. С целью обеспечения необходимого контакта лента—головка рабочая поверхность головки вдавливают ленту в глубь канавки, и лента под головкой слегка растягивается (рис. 44, в).

Траектория движения ленты в области вакуумной направляющей — диска видеоголовок — прямолинейна (рис. 45, а). В системах наклонно-строчной записи формирование траектории движения ленты зависит от числа головок на барабане видеоголовок. Это и определяет угол охвата лентой барабана блока вращающихся головок (рис. 45, б—д) [127].

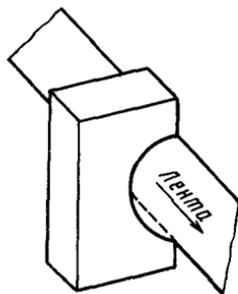
В четырех- и трехголовочных системах угол охвата барабана видеоголовок лентой составляет примерно  $100^\circ$  или  $130^\circ$ , при этом получается достаточно простая траектория. В кассетной системе, например, ленту не надо вытягивать из кассеты (рис. 46). Однако данная система не нашла практического распространения из-за большого диаметра диска видеоголовок  $D \sim N$  (см. (65)) и необходимости обеспечения точного расположения головок и их идентичности.

Двухголовочная система характеризуется углом охвата несколько большим чем  $180^\circ$ . Приемлемый диаметр барабана блока вращающихся головок, а также необходимость обеспечения идентичности только двух головок создают благоприятные условия для использования данной системы как в сегментных профессиональных, так и в несегментных бытовых видеомагнитофонах. Наиболее широкое распространение данная система получила в бытовых видеомагнитофонах. Это привело к разработке разнообразных траекторий движения ленты. В катушечных видеомагнитофонах применяется так называемая  $\alpha$ -петля. Она позволяет разместить катушки друг над другом на одной оси, что значительно уменьшает размеры аппарата (рис. 47) [12]. Такое расположение позволяет создать систему протяжки ленты, которая изолирует охватывающую барабан ленту от механической инерционности катушек и неравномерности их вращения. В соответствии с этим на рис. 47 показано расположение ленты, где ведущий узел (ведущий вал—прижимной ролик) находится в месте пересечения плоскостей участков ленты. Два прижимных ролика одновременно прижимают расположенные друг под другом участки ленты к ведущему валу. Естественно, что подобная траектория движения ленты может быть сформирована и при других вариантах привода.

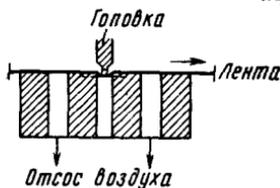
Для кассетных систем формирование траектории движения ленты является

---

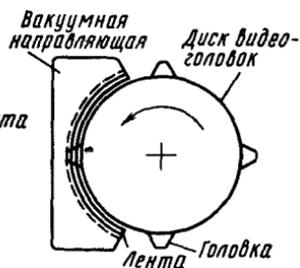
\* Так называемое каноз. — Прим. ред.



а)

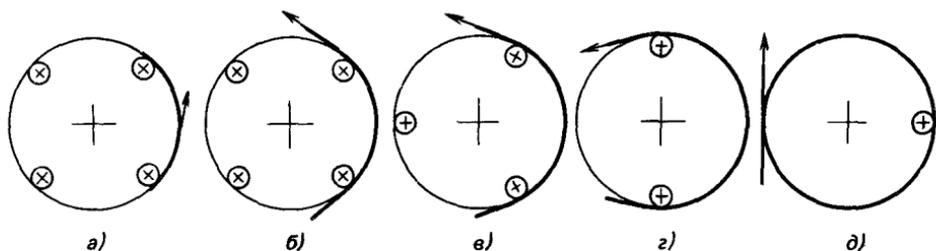


б)



в)

Рис. 44. Взаимное расположение ленты и вакуумной направляющей: а — формирование цилиндрической (канозобразной) поверхности ленты; б — сечение направляющей, параллельное продольной оси ленты; в — сечение направляющей, перпендикулярное оси ленты



а)

б)

в)

г)

д)

Рис. 45. Зависимость траектории движения ленты от системы записи и числа головок: а — поперечно-строчные системы; б—д — наклонно-строчные системы

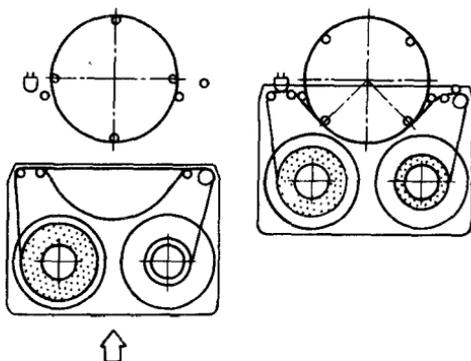


Рис. 46. Применение простых "надвижных" кассет в четырехголовочных системах наклонно-строчной записи

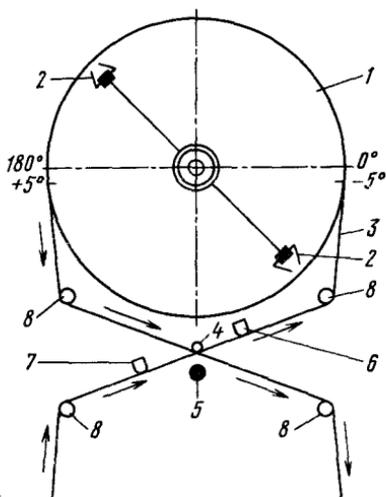


Рис. 47. Двухголовочная система с так называемой изолированной системой привода:

1 — барабан видео головок; 2 — видео головки; 3 — лента; 4 — ведущий вал; 5 — прижимной ролик (два на одной оси); 6 — звуковая головка сигнала управления; 7 — стирающая головка; 8 — направляющие ролики

достаточно серьезным фактором, так как перемещение ленты в кассетах должно осуществляться простые и надежные механизмы [111, 128].

На рис. 48 показаны траектория движения ленты при использовании одноосевой кассеты и принцип действия лентозаправочного механизма.

Принцип действия достаточно прост: специальные колодки 10, расположенные на диске, который эксцентричен по отношению к барабану блока вращающихся головок, прижимает к барабану видеоголовок. Для заправки ленты диск поворачивается на определенный угол. По форме рабочего участка ленты данное расположение относится к типу *C*.

В кассетах с двумя рядом расположенными катушками лента также заправляется за счет поворота диска. По форме рабочего участка ленты данное расположение относится к типу *U* (рис. 49). В решении, показанном на рис. 50, колодки, вытягивающие ленту на исходную позицию, перемещаются по слегка изогнутой траектории с обеих сторон барабана блока вращающихся головок (форма рабочего участка ленты типа *M*). Видно, что в системах с траекторией движения ленты типов *C* и *M* ведущий узел (ведущий вал — прижимной ролик) входит в кассету, а в системах типа *U* — располагается в самой удаленной от кассеты области рабочего участка ленты.

К преимуществам одноголовочных видеомагнитофонов можно отнести малый диаметр барабана блока вращающихся головок, отсутствие переключения головок и простоту смены головок, так как здесь нет проблемы установки угла между видеоголовками. Однако формирование формы (траектории) рабочего участка ленты связано с большими трудностями.

Обычно применяют две разновидности формы рабочего участка ленты. Это так называемые  $\Omega$ -петля и  $\alpha$ -петля. Общей особенностью этих систем является кратковременное выпадение сигнала.

Причина указанного явления в  $\Omega$ -петле (рис. 51) ясна: угол охвата барабана видеоголовок лентой меньше  $360^\circ$ . Однако угол смещения ленты по образующей блока вращающихся головок может выбираться произвольно; отсюда появляется возможность для размещения звуковой дорожки и дорожки сигналов управления по краям ленты (рис. 51, б). Очевидно также, что

$$\sin \varphi = \frac{w}{l},$$

но  $l = (\pi - \beta/2) D$ . Для времени выпадения справедливо соотношение

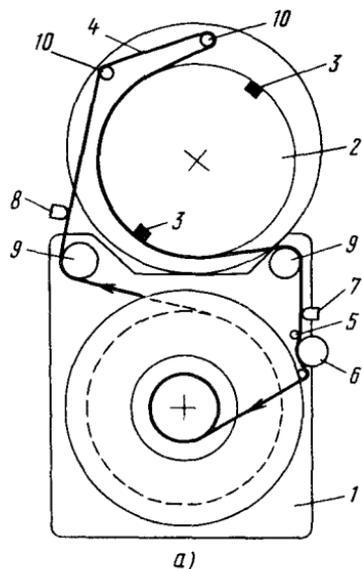
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\beta}{2\pi}; \quad (71)$$

угол  $\beta$  составляет примерно  $10^\circ$ , таким образом,  $\Delta v$  равно примерно  $9H$ .

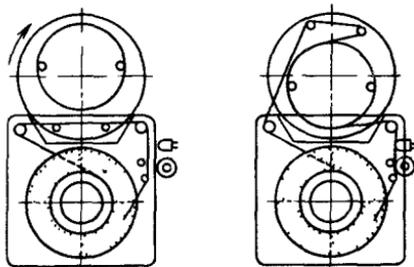
В случае  $\alpha$ -петли (см. рис. 45, д) угол между продольной осью ленты и плоскостью вращения видеоголовки определяется неравенством

$$\sin \varphi \geq \frac{w}{\pi D}, \quad (72)$$

т. е. края ленты могут соприкоснуться. Если пренебречь нарушением контакта головки с лентой на краях ленты, то, по-видимому, не будет выпадения



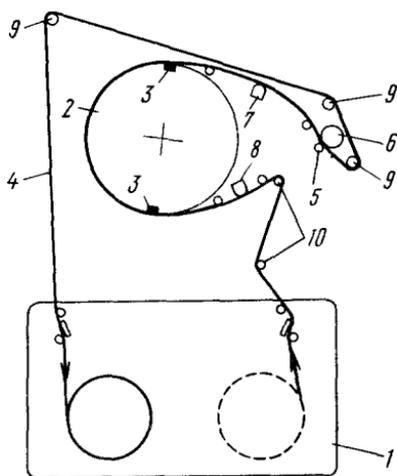
а)



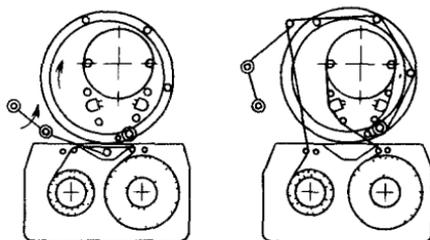
б)

Рис. 48. Траектория движения ленты в аппарате с одноосевой кассетой (а) и заправка ленты (б):

1 — кассета; 2 — барабан видео головок; 3 — видео головки; 4 — лента; 5 — ведущий вал; 6 — прижимной ролик; 7 — звуковая головка и головка сигнала управления; 8 — стирающая головка; 9 — направляющие ролики; 10 — колодки



а)

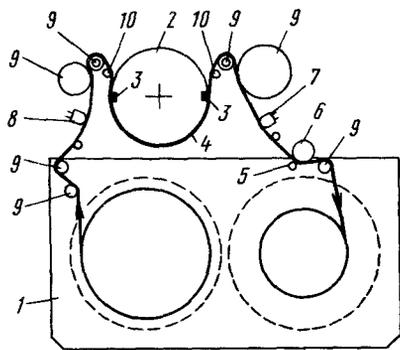


б)

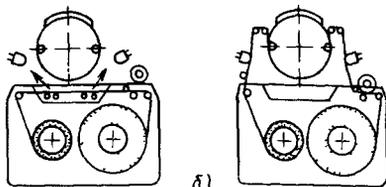
Рис. 49. U-образная траектория движения ленты в кассетном аппарате (а) и заправка ленты с кассеты (б):

1 — кассета; 2 — барабан видео головок; 3 — видео головки; 4 — лента; 5 — ведущий вал; 6 — прижимной ролик; 7 — звуковая головка и головка сигнала управления; 8 — стирающая головка; 9 — направляющие ролики; 10 — колодки

сигнала. Однако не следует забывать о необходимости записи звукового сопровождения и сигналов управления. Если решить эту проблему с помощью записи таких сигналов после записи сигналов изображения, т. е. осуществить запись после схода ленты с барабана, то будет также наблюдаться выпадение сигнала, так как перед записью сигналов звукового сопровожде-



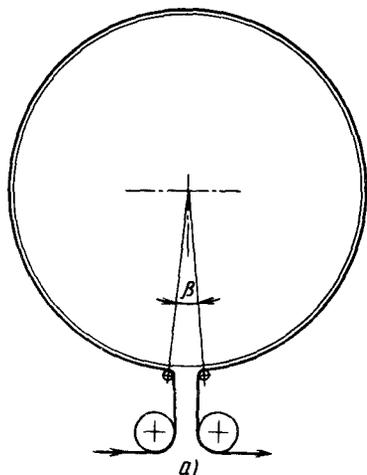
a)



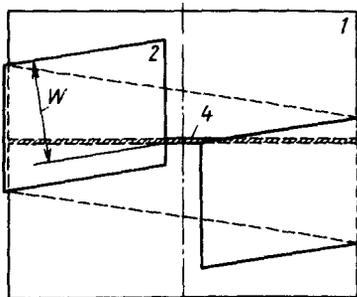
б)

Рис. 50. М-образная траектория движения ленты в кассетном аппарате (а) и заправка ленты (б):

1 — кассета; 2 — барабан видеоголовок; 3 — видеоголовки; 4 — лента; 5 — ведущий вал; 6 — прижимной ролик; 7 — звуковая головка и головка сигнала управления; 8 — стирающая головка; 9 — направляющие ролики; 10 — колодки



a)



б)

Рис. 51. Траектория движения ленты в одноголовочном аппарате с  $\Omega$ -петлей (а) и расположение ленты на барабане видеоголовок (б):

$w$  — ширина ленты, занимаемая строчками видеозаписи; оставшаяся часть ленты используется для дорожки звукового сопровождения и для дорожки сигналов управления (естественно, что полосе ленты  $w$  может быть сдвинута в любую часть ленты; таким образом, дорожка звукового сопровождения и дорожка сигналов управления могут располагаться и по краям ленты)

ния и управления желательно стирать запись на краях ленты. В противном случае (когда запись звукового сигнала накладывается прямо на запись сигнала изображения) появляется амплитудная модуляция сигнала звукового сопровождения с частотой поля, помеха от которых может быть уменьшена включением в канал воспроизведения фильтра верхних частот. Другим способом уменьшения этой помехи является изменение угла рабочего зазора звуковой головки по отношению к рабочему зазору видеоголовки. (Перпен-

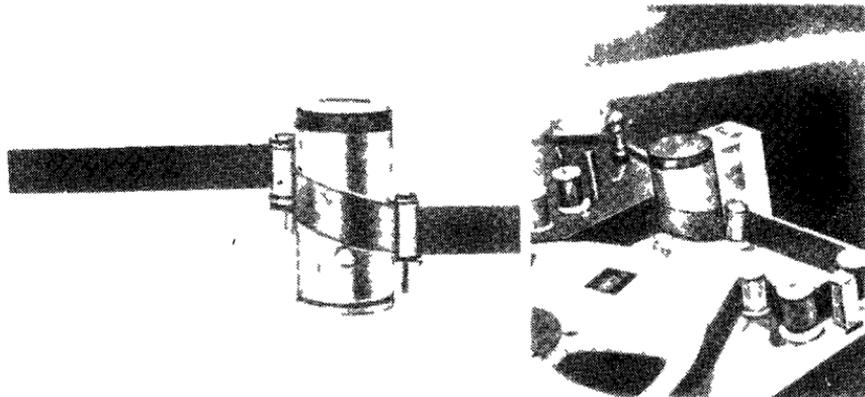


Рис. 52 Блок вращающихся головок с направляющими (а) и часть лентопротяжного механизма (б)

дикулярная установка рабочих зазоров исключается, так как угол между строчкой записи видеосигналов и продольной осью ленты составляет всего несколько градусов.) Таким образом,  $\alpha$ -петля позволяет сократить период выпадения сигнала.

Поскольку как  $\Omega$ -петля, так и  $\alpha$ -петля значительно осложняют процесс заправки ленты, то такие системы в кассетных аппаратах не применяются.

В заключение необходимо рассмотреть пространственное расположение рабочего участка ленты и в аппаратах с наклонно-строчной системой записи. Одно из возможных решений показано на рис. 52 [10].

С одной стороны, охват барабана лентой должен составлять определенный, заранее заданный угол, с другой стороны, нецелесообразно наклонять подающую и прижимную катушки (или оси катушки). Вместе с тем достаточно просто решить эту проблему можно, смещая катушки по высоте установки в направлении осей, расположенных параллельно друг другу. Поэтому ось узла входной и выходной направляющих устанавливается под углом  $\pm\varphi$ . Таким образом, продольная ось входящей на барабан ленты и продольная ось сходящей с барабана ленты параллельны. На ленте образуется только одна ступенька, которая не приводит к деформации ленты, так как она образована не на плоской поверхности, лежащей в плоскости ленты, а на цилиндрической.

Из рис. 52 видно, какую простую форму приобретает рабочий участок ленты в двухголовочных сегментных видеомэгнитофонах с малым диаметром блока вращающихся головок.

### Блок вращающихся головок

Одним из наиболее важных отличий поперечно-строчной системы записи от наклонно-строчной системы является то, что динамические параметры перемещения ленты в первых системах практически не оказывают влияния на характеристики видеосигнала, в то время как во вторых это влияние достаточно сильное.

В поперечно-строчных системах записи видеоголовка перемещается по траектории, перпендикулярной продольной оси ленты. Неравномерность продольного перемещения не оказывает влияния на эту траекторию. Точно так же не оказывает влияния и изменения размеров ленты в продольном направлении, и деформации. Система диска видеоголовок и вакуумная направляющая изолируют рабочий участок ленты, находящейся в контакте с головкой, от внешних воздействий.

Давление головки на ленту определяется в первую очередь выступанием головки и упругостью ленты и не зависит от ее натяжения.

Вместе с тем местоположение и размеры вакуумной направляющей (в силу ее решающей роли) достаточно сильно влияют на характеристики процесса записи-воспроизведения, и в первую очередь на временную стабильность. Данная проблема будет рассмотрена в разд. 2.4, здесь же в табл. 6 приведены только сравнительные данные по материалам [112]. Из таблицы видно, какие причины оказывают влияние на временные искажения, когда запись и воспроизведение осуществляются на разных видеомагнитофонах с поперечно-строчной системой записи. Это же подтверждается вышеприведенными положениями.

В наклонно-строчной системе записи расположение строчек записи близко к продольному, и их длина в 2–10 раз превышает длину строчек поперечно-строчных систем, в которых она ограничена шириной ленты. Однако ширина строчек записи в этих системах почти одинаковая. Нет вакуумной направляющей, и лента прижимается к головке лентопротяжным механизмом. Все эти преимущества, а также их простота, возможность свободного выбора параметров, уменьшение количества головок и т. д. связаны с необходимостью учитывать многочисленные мешающие факторы и чувствительность данных систем к климатическим условиям.

В системах с наклонно-строчной системой записи используются блоки вращающихся головок трех типов (рис. 53). В первом варианте блок вращающихся головок состоит из двух неподвижных барабанов, между которыми в узкой прорези перемещаются головки. В нижнем барабане фрезеруется направляющий ленту выступ. Ведущий узел, расположенный на верхнем барабане, прижимает так называемый входной участок ленты к этому выступу. Для перемещения ленты, охватывающей барабан, необходимо создать механическую разность натяжения ленты на входе и на выходе барабана. Эта разность натяжения должна уравниваться силой трения. Взаимосвязь между входным  $F_{вх}$  и выходным  $F_{вых}$  натяжениями имеет вид

$$F_{вых} = F_{вх} e^{\mu\alpha}, \quad (73)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;  $\alpha$  – угол охвата барабана блока вращающихся головок лентой. Из выражения следует, что при больших углах охвата (в одноголовочных системах) неподвижные барабаны создают большую разность натяжений. Следующее обстоятельство связано с неприятностями, а именно: при больших значениях  $\alpha$  система очень чувствительна к изменениям  $\mu$ , что следует из выражения

$$dF_{вых}/F_{вых} = dF_{вх}/F_{вх} + \alpha d\mu + \mu d\alpha, \quad (74)$$

Т а б л и ц а 6. Причины возникновения временных искажений в четырехголовочных системах видеозаписи [112]

Источник временных искажений	Значение временного искажения, нс
Положение вакуумной направляющей	15
Радиус вакуумной направляющей	8
Геометрия лентопротяжного механизма	2,2
Нагрев стирающей головки	0,8
Изменение натяжения ленты	1,6
Изменение влажности в пределах 10 %	2,2

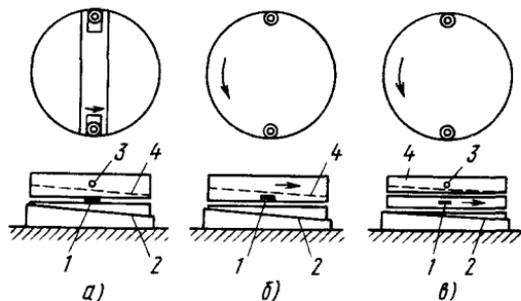


Рис. 53. Типы блоков вращающихся головок: а — головки вращаются в узкой щели между двумя неподвижными барабанами; б — головки располагаются у нижней кромки вращающегося барабана, который находится над неподвижным барабаном; в — головки располагаются на барабане, вращающемся между двумя неподвижными барабанами: 1 — видеоголовка; 2 — направляющий выступ, фиксирующий положение ленты; 3 — направляющий штырь; 4 — верхняя кромка ленты [128]. В верхнем ряду — вид блока вращающихся головок сверху

$\mu$  никогда не бывает постоянным. Коэффициент трения зависит от способа изготовления ленты, от климатических условий (температуры, влажности), а также от чистоты поверхности.

В [95] приведены данные измерений различных лент. Были измерены параметры пяти видов лент различного производства толщиной от 17 до 20 мкм, величина  $\mu$  изменялась от 0,19 до 0,38. Измерения проводились на барабане диаметром 105 мм с точностью обработки поверхности 0,03 мкм при температуре 25° С и влажности 30 %. В [42] приведены результаты исследования зависимости коэффициента трения от климатических условий:  $\mu$  изменялось от 0,04 до 0,25. В [112] приводится минимально достижимое значение  $\mu$ , равное 0,02, которое увеличивается до 0,2 за счет загрязнения. На рис. 54 приведены результаты измерений  $\mu$ . Измерения проводились на неподвижной части блока вращающихся головок профессионального одноголовочного видеомagneтофона с  $\alpha = 344^\circ$  [44]. Из рисунка видно, что коэффициент трения в определенном диапазоне скоростей сильно зависит от скорости движения ленты. Это особенно сильно проявляется в режиме замедления. Не следует забывать и о том, что от начала движения ленты и до достижения ею номинальной скорости величина  $\mu$  принимает все значения из диапазона изменений. Таким образом, даже при благоприятных климатических условиях отношение  $F_{\text{вых}}/F_{\text{вх}}$  варьируется от 5,2 до 1,35.

Изменение натяжения ленты, возникающее вследствие изменения коэффициента трения, может привести или к деформации ленты, или в предельном случае к остановке лентопротяжного механизма. Чтобы предотвратить это, в

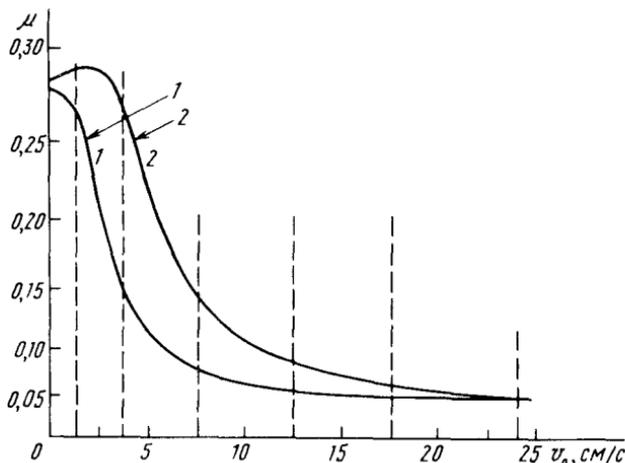


Рис. 54. Зависимость коэффициента трения от скорости движения ленты при различных условиях окружающей среды:

1)  $t = 20^\circ \text{C}$ ; относительная влажность 42 %; 2)  $t = 35^\circ \text{C}$ ; относительная влажность 85 % (диаметр неподвижного барабана блока вращающихся головок 135 мм, рабочая скорость 240 мм/с [44])

некоторых бытовых видеомагнитофонах имеется защита от критических условий — установленный датчик влажности отключает устройство при достижении определенной номинальной влажности. В других устройствах подогревают барабан блока вращающихся головок, регулируя температуру, и создают постоянный микроклимат.

В пределах упругости ленты трение вызывает упругую деформацию. Естественно, что если деформация ленты при записи будет отличаться от деформации при воспроизведении, то возникнут временные искажения и искажения от схода головки со строчки записи.

Упругие деформации пропорциональны натяжению ленты

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} F = \frac{1}{E} \frac{P}{q}, \quad (75)$$

где  $\Delta l/l$  — относительное расстояние;  $E$  — модуль упругости ленты (приблизительно  $4 \cdot 10^{-3}$ ), Н/мм<sup>2</sup>;  $F$  — натяжение ленты, Н/мм<sup>2</sup>;  $P$  — сила, растягивающая ленту, Н;  $q$  — поперечное сечение ленты, мм<sup>2</sup>.

По мере движения ленты по барабану блока вращающихся головок  $F$  экспоненциально увеличивается, т. е. растяжение ленты постоянно меняется. Из этого следует, что в начале строчки растяжение мало, а к ее концу оно увеличивается. Таким образом, между концом одной и началом следующей строчки возникает скачок фазы синхроимпульсов воспроизводимого сигнала, который в силу неспособности системы строчной развертки устройства скомпенсировать этот скачок вызывает искажение изображения (рис. 55). В аппаратах с наклонно-строчной системой записи гасящий импульс полей

размещается вблизи начала или конца строчки записи для того, чтобы инерционная синхронизация осуществлялась в период выпадения сигнала или переключения видеоголовок.

Из выражения (73) вытекает необходимость рассмотрения влияния неподвижных элементов лентопротяжного механизма. Возникновение незначительного растяжения, а также изменение натяжения в широких пределах на таких элементах с малым углом охвата маловероятны. Однако серьезные опасения вызывают деформации, возникающие из-за неравномерности трения по ширине ленты.

В [44] обращено внимание на то, что угол охвата лентой элементов, обеспечивающих поворот плоскости ленты, неодинаков, а следовательно, неравномерно и натяжение. Результатом этого является деформация (рис. 56), которая связана с большими проблемами в ходе видеоголовки со строчки записи [143].

Вернемся к рис. 53. Варианты б и в частично решают проблемы, рассмотренные выше: верхняя часть или более широкая центральная часть блока вращающихся головок вращается вместе с видеоголовкой. Поверхность вращающегося барабана имеет насечки. Воздух, попадающий в эти насечки,

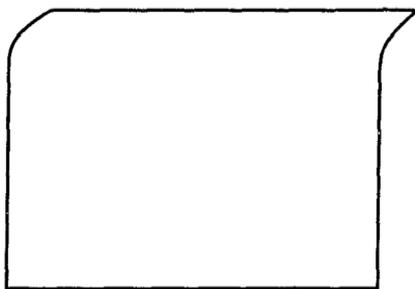


Рис. 55. Характерное искажение изображения, возникающее вследствие растяжения ленты на барабане блока вращающихся головок [112]

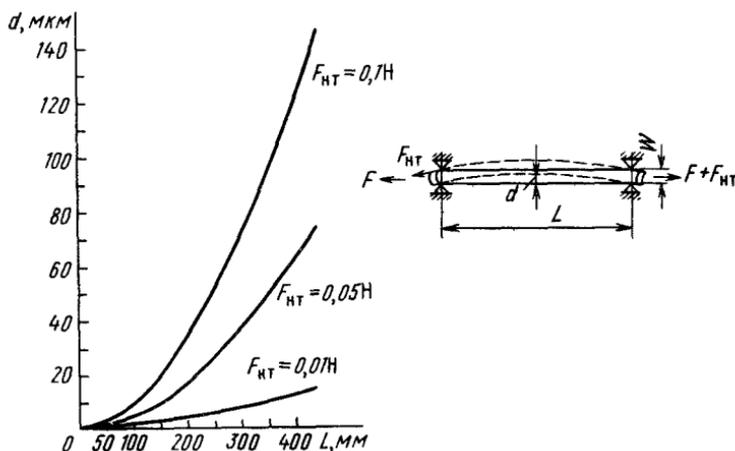


Рис. 56. Зависимость деформации  $d$  ленты шириной 25,4 мм (1 дюйм) и толщиной 28 мкм, возникающей вследствие неравномерного натяжения, от расстояния между ведущими (направляющими) элементами [144]

создает давление, и как следствие этого, возникает воздушная подушка (смазка). Благодаря ей трение значительно уменьшается и становится независимым от качества поверхности. Трение снижается не только на вращающейся, но и на неподвижной части барабана за счет всасывания воздуха под ленту. Однако все это реализуется только в рабочем режиме барабана блока вращающихся головок (при его вращении). При заправленной ленте запуск барабана блока вращающихся головок может быть связан с большими трудностями из-за значительного трения.

С точки зрения направления движения головки и ленты вариант б имеет четыре возможные комбинации (рис. 57), которые отличаются друг от друга динамическими характеристиками. Комбинации а и б обеспечивают создание лучшей воздушной смазки и достаточно точное принудительное расположение ленты на нижнем неподвижном барабане. В комбинациях в и г воздушная смазка слабее и на вращающемся барабане необходимы насечки. Согласно [127] вариант, представленный на рис. 53, в, наиболее приемлемый. Почти третья часть ленты находится в контакте с вращающимся диском. Это обеспечивает создание необходимой воздушной смазки, а равномерность и точность протяжки ленты могут быть повышены за счет установки направляющих элементов на верхней части блока вращающихся головок.

Давление ленты на поверхность головки, которое определяет контакт головка—лента, складывается из трех компонент [42]:

радиальной силы;

охватывающей силы;

“шатровой силы” (“шатер” — это выступающая часть поверхности, которую вытягивает углубляющаяся в ленту головка). Давление ленты, вызываемое радиальными силами,  $H/cm^2$ :

$$p = \frac{2P}{Db} \quad (76)$$

где  $P$  — сила тяги, Н;  $D$  — диаметр барабана, м;  $b$  — ширина ленты, м (рис. 58). С уменьшением диаметра барабана для получения необходимого давления ленты на головку необходимо натягивать ленту все с меньшей силой.

Охватывающая сила создается механическим напряжением, вызванным вдавливанием головки в ленту. “Шатровая сила” — это произведение силы вытягивания шатровой поверхности и радиальной силы. Отсюда ясно, что при увеличении радиальных сил для получения одинакового давления достаточно меньшая глубина вдавливания головки.

Уменьшение глубины вдавливания головки в ленту снижает механический импульс, который в предположении, что относительная скорость головки — лента достаточно большая, возникает в момент “столкновения” головки с лентой и которой является источником возникновения упругих волн в области касания — пульсирующего контакта головка—лента и быстрых временных искажений [2]. Данные явления особенно сильно проявляются в аппаратах с поперечно-строчной системой записи вследствие большой относительной скорости головка—лента и из-за удара головки по краю ленты в перпендику-

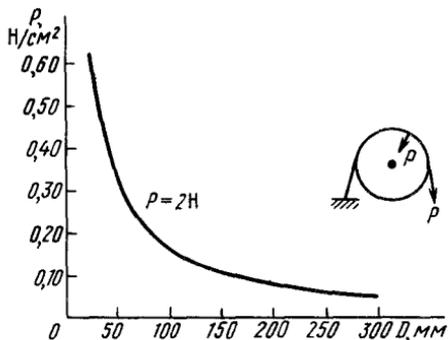
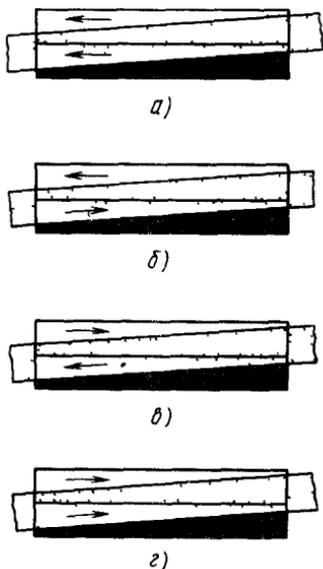


Рис. 58. Зависимость давления лента — головка от диаметра барабана блока вращающихся головок для ленты шириной 25,4 мм. Натяжение ленты равно 2 Н [42]

← Рис. 57. Возможные варианты направления движения ленты и головки

лярном направлении. Это связано также с дополнительными трудностями при коррекции временных искажений в промежутке между концом одной и началом следующей строчки записи, а также при устранении полос на изображении, возникающих при смене головок.

### 2.3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Записанный на носитель сигнал только тогда может быть воспроизведен без искажения, когда воспроизводящая головка перемещается точно по тем же элементам поверхности ленты, по которым перемещалась записывающая головка, и когда относительная скорость головка—лента на каждом участке ленты при воспроизведении точно такая же, как и при записи. В видеозаписи к этим требованиям, являющимся общими для любых систем записи, добавляются дополнительные, например: при записи определенные участки телевизионного сигнала должны попадать на определенные участки ленты; при воспроизведении воспроизводимый телевизионный сигнал должен находиться в синхронизме с каким-либо внешним опорным сигналом. Для этого и служат системы автоматического регулирования.

На рис. 59 представлены системы автоматического регулирования, состоящие из датчиков и исполнительных элементов. Исполнительными элементами являются: двигатели подающего и приемного узлов (катушек) 6, 8, двигатель блока вращающихся головок 1 и ведущий двигатель 3, датчиками: датчики натяжения ленты 7, 9, головка воспроизведения сигнала управления 5, техогенераторы 2, 4 блока вращающихся головок и ведущего двигателя. В современных аппаратах имеется еще один, не показанный на схеме исполнительный орган: в блоке вращающихся головок головки устанавливаются

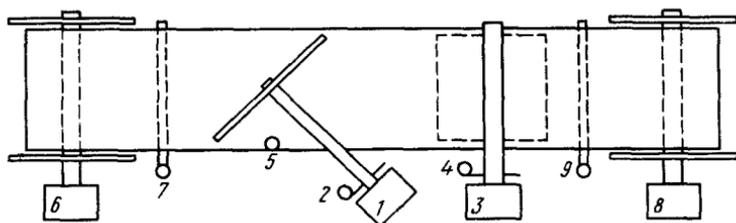


Рис. 59. Датчики и исполнительные элементы систем автоматического регулирования видеомagneтофона:

1 — двигатель блока вращающихся головок; 2 — его тахогенератор; 3 — ведущий двигатель; 4 — тахогенератор ведущего двигателя; 5 — головка записи-воспроизведения сигнала управления; 6 — двигатель подающего узла; 7 — датчик натяжения ленты со стороны подающей катушки; 8 — двигатель приемного узла; 9 — датчик натяжения ленты со стороны приемной катушки

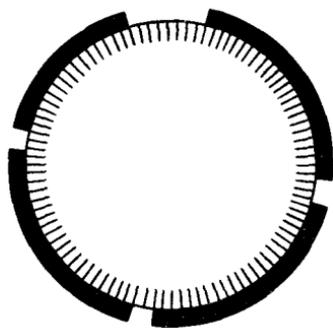
на электромеханический преобразователь, который перемещает головку вдоль оси барабана. Естественно, что не все видеомagneтофоны оснащены всеми перечисленными здесь датчиками и исполнительными механизмами. Конструкция аппарата зависит от требований, предъявляемых к нему и от требуемых режимов работы.

В качестве тахогенератора применяются магнитные и оптические датчики. Наиболее простой сигнал управления вырабатывают системы с вращающимся магнитом. Магнит, прикрепленный к вращающемуся валу, за каждый оборот индуцирует импульс в неподвижной обмотке. Магнит и видеоголовки устанавливаются на барабане в определенном положении друг относительно друга, следовательно, импульс характеризует определенное положение головок. Естественно, что информация о положении головок может быть получена и с помощью других средств (например, оптических).

Точность регулирования может быть повышена, если за единицу времени неоднократно получать информацию о движении. Таким образом, целесообразно, например, увеличить число магнитов. Для этого необходимо использовать оптические диски с точной угловой градуировкой, а также вращающиеся зубчатый или перфорированный датчики. Для всех существует одна проблема — точность градуировки диска. Она должна быть на порядок выше точности работы датчика. Система автоматического регулирования воспринимает погрешность диска как погрешность регулируемого параметра и воздействует таким образом, чтобы снизить ее. Следовательно, погрешность датчика приводит к неправильной установке регулируемого параметра.

Регулирование барабана видеоголовок всегда есть регулирование углового положения. Взаимосвязь между сигналом тахогенератора и угловым положением вращающегося барабана видеоголовок должна быть однозначной. В случае формирования одного управляющего импульса за один оборот таходатчика такая взаимосвязь существует, однако в этом случае необходимо вводить определенную асимметрию (рис. 60). Внешняя часть диска, показанная на рисунке, служит для грубой подстройки при пусковом ускорении и одновременно подводит барабан к определенному месту для точной под-

Рис. 60. Рисунок диска оптического тахогенератора, наносимый на стекло, закрепленное на оси. Свет, прошедший через стекло, воздействует на фототранзистор. Диск имеет два типа насечек. На внешней стороне диска находится один, отличающийся от трех других более широкий вырез, с помощью которого можно получить информацию об определенном положении барабана блока вращающихся головок. На внутренней стороне диска нанесены 125 одинаковых прорезей [108]



стройки. В пределах определенного диапазона скоростей вращения барабана после установления стабильной скорости движения система автоматического регулирования скоростного двигателя переключается на внутреннюю часть диска [108].

Набор исполнительных элементов также достаточно широк. Из ранних разработок следует упомянуть синхронный двигатель, управляемый генератором с регулируемой частотой, электромагнитный тормоз, диск которого благодаря возникновению вихревых токов позволяет менять число оборотов или угол приводного вала (асинхронного двигателя). В новых устройствах в первую очередь применяют разнообразные двигатели постоянного тока, обладающие малой инерционностью. Широкое распространение получили также двигатели с электронной коммутацией.

Подробное рассмотрение элементов систем автоматического регулирования видеомагнитофонов заняло бы слишком много места, поэтому здесь будет затронута только одна тема. Во многих случаях сигнал рассогласования в системе автоматического регулирования формируется с помощью фазового дискриминатора (рис. 61), который вырабатывает постоянное напряжение, пропорциональное в широких пределах относительно временному сдвигу

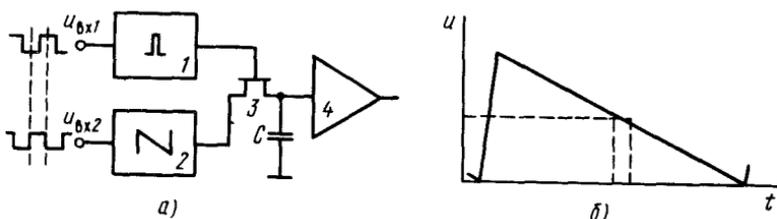


Рис. 61. Фазовый дискриминатор:

а — принципиальная схема (из входного сигнала  $u_{вх1}$  с помощью ждущего мультивибратора 1 формируется короткий импульс, а из входного сигнала  $u_{вх2}$  с помощью специального формирователя 2 — пилообразный сигнал; транзисторный ключ 3 открывается в момент прохождения короткого импульса и пропускает пилообразный сигнал, достигший к этому моменту некоторого уровня, до которого и заряжается конденсатор С; усилитель 4 имеет высокое входное сопротивление); б — напряжение на конденсаторе С являющееся линейной функцией разности фаз сигналов

между двумя входными сигналами. Статические и динамические характеристики системы автоматического регулирования, построенной на базе данного фазового дискриминатора, лучше, чем у систем, построенных на других фазовых дискриминаторах [41].

### **Системы автоматического регулирования скоростного двигателя и скорости движения ленты**

С помощью простых преобразований можно показать, что взаимосвязь между длиной строчки записи и скоростью движения ленты в уравнениях (66) и (67), а также условие необходимого расположения импульсов строчной синхронизации [69] определяются отношением  $v_{\text{л}}/v_{\text{г}}$ , а не в отдельности  $v_{\text{г}}$  и  $v_{\text{л}}$ . Это означает, что для поддержания требуемой геометрии строчек записи необходимо установить отношение  $v_{\text{л}}/v_{\text{г}}$  равным заданному значению и поддерживать это равенство при записи и воспроизведении.

В процессе записи, учитывая, что нет необходимости иметь информацию о реальной скорости движения ленты, задачей системы автоматического регулирования является обеспечение постоянного во времени отношения  $v_{\text{л}}/v_{\text{г}}$ . Это может быть достигнуто только за счет синхронизации вращения ведущего вала и барабана блока вращающихся головок. Вместе с тем необходимо обеспечить и то, чтобы кадровые синхроимпульсы располагались на прямой линии, параллельной продольной оси ленты. Для этого скорость вращения барабана блока вращающихся головок должна быть синхронизирована кадровыми синхроимпульсами, выделенными из входного телевизионного сигнала. Поскольку нельзя воздействовать на реальное перемещение ленты, которое определяется изменяющимся случайным образом скольжением на ведущем валу под действием изменяющегося натяжения ленты, на ленту необходимо записать сигнал управления, который при воспроизведении позволяет повторить условия движения головки при записи.

На рис. 62 представлены два варианта структурной схемы системы автоматического регулирования скорости вращения барабана блока вращающихся головок и ведущего вала в режиме записи. В первом варианте (сплошные линии) в качестве опорного сигнала системы автоматического регулирования скорости вращения барабана блока вращающихся головок используются кадровые синхроимпульсы. Скорость вращения ведущего двигателя синхронизируется сигналами тахогенератора блока вращающихся головок, отражающими реальную скорость вращения барабана видео головок, и эти же сигналы записываются в качестве сигналов управления. Такой метод применяется в системах поперечно-строчной записи. Во втором варианте (штриховые линии) опорным сигналом систем автоматического регулирования являются импульсы кадровой синхронизации, и этот же сигнал записывается на ленту как сигнал управления. Данное решение используется в наклонно-строчных системах записи. Естественно, что оба варианта однозначны в случае идеального регулирования.

Требования, предъявляемые к системам автоматического регулирования при воспроизведении, зависят от способа использования видеомagnитофона. Рассмотрим сначала тот случай, когда видеомagnитофон — это самостоятель-



будут находиться в синхронизме с воспроизводимым сигналом управления и опорным сигналом, что само по себе очень важно. Работа системы может быть улучшена, если вместо сигналов датчика оборотов барабана блока вращающихся головок будут сравниваться (по фазе) с опорным сигналом кадровые синхроимпульсы или строчные синхроимпульсы, воспроизведенные с ленты, а скорость вращения барабана блока вращающихся головок будет регулироваться получающимся сигналом рассогласования. К данному техническому решению мы еще вернемся.

Для обеспечения точного следования видеоголовок по строчкам записи при воспроизведении необходимо восстановить отношение  $v_n/v_r$ , имевшее место при записи. Этого можно достичь, сравнивая фазы сигнала датчика оборотов (тахогенератора) барабана блока вращающихся головок опорного сигнала с фазой сигнала управления, воспроизведенного с дорожки сигнала управления и обеспечивая регулирование по нулевому значению сигнала рассогласования (см. рис. 63). Если сигнал рассогласования равен нулю, то отношение  $v_n/v_r$  при воспроизведении равно этому отношению при записи и, следовательно, за один оборот барабана блока вращающихся головок лента при воспроизведении перемещается точно на столько, на сколько она пере-

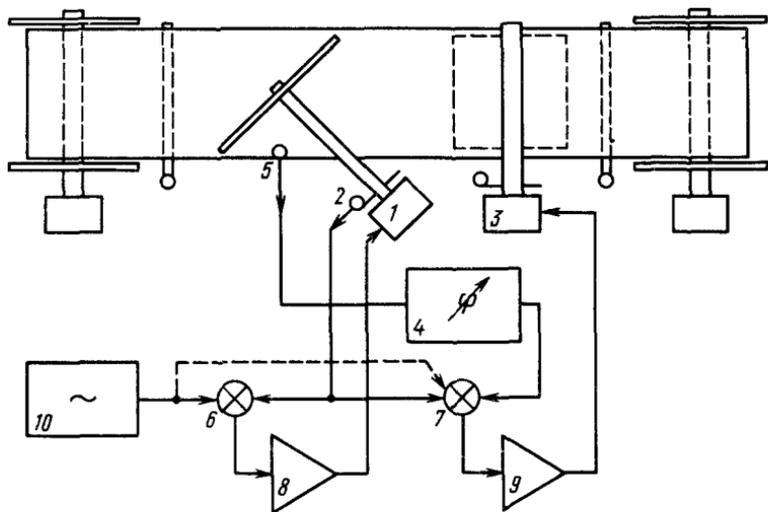
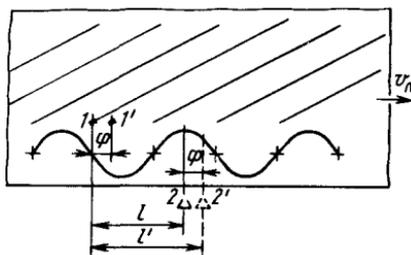


Рис. 63. Система автоматического регулирования скоростей вращения барабана блока вращающихся головок и ведущего двигателя в режиме воспроизведения. Скорость вращения двигателя блока вращающихся головок регулируется с помощью сигнала рассогласования, выделенного фазовым дискриминатором 6, на который подаются сигналы генератора опорных импульсов 10 и тахогенератора блока вращающихся головок 2. Для регулирования скорости вращения ведущего двигателя 3 используется сигнал фазового дискриминатора 7, на который подается сигнал тахогенератора блока вращающихся головок 2 (сплошная линия) или сигнал генератора 10 (штриховая линия) и сигнал управления 5, воспроизводимый с дорожки сигнала управления. Фаза сигнала управления может регулироваться; 8, 9 — усилители управляющего напряжения двигателя; 4 — фазовращатель

рис. 64. Часть видеоленты. Когда первая видеоголовка находится в начале строчки записи, синусоидальный сигнал тахогенератора имеет максимум. При записи головка записи-воспроизведения канала управления, смещенная на расстояние  $l$ , записывает на ленту этот сигнал тахогенератора. При воспроизведении в положении 1 сигнал тахогенератора вновь имеет максимум; однако реально оказалось, что на выходе головки канала управления, расположенной на расстоянии  $l'$ , сигнал управления имеет фазовый сдвиг  $\varphi$ . Система автоматического регулирования ведущего двигателя перемещает ленту таким образом, что головка, сместившись вправо на величину  $\varphi$ , попадает в позицию 1. Изменение фазы сигнала управления на  $\varphi$  приводит к возврату головки на строчку записи



мещались при записи. Это, в свою очередь, означает только то, что траектория головки на ленте параллельна строчке записи, но совершенно не обязательно, что она перемещается строго по ней. Точное следование по строчке записи было бы обеспечено только в том случае, если бы взаимное расположение видео головок и головок канала управления при записи и при воспроизведении было строго идентичным, а также если бы каналы записи и воспроизведения сигналов управления не имели фазовых искажений и фазовая ошибка регулирования равнялась нулю. Данные условия могут быть выполнены с определенной погрешностью, т. е. необходимо предусмотреть возможность корректирования вероятных отклонений. Для этих целей служит фазовращатель, изменяющий фазу сигнала управления, с помощью которого, по сути дела, осуществляется электронная регулировка воображаемого расстояния между барабаном блока вращающихся головок и головкой канала управления (рис. 64). Установка на строчку записи обычно осуществляется вручную по максимуму амплитуды высокочастотного сигнала. Системы автоматического регулирования точного следования видео головок по строчкам записи будут рассмотрены ниже.

Для того чтобы видеоманитофон мог быть использован в студийной системе видеозаписи как источник телевизионного сигнала, необходимо, чтобы он отвечал дополнительным (к вышеприведенным) требованиям:

1. Обеспечивал синфазность импульсов кадровой и строчной синхронизации воспроизводимого телевизионного сигнала и опорных студийных синхросигналов, а также идентичность фазы цветовой поднесущей, воспроизводимой и формируемой в студийном оборудовании.

2. Обеспечивал совпадение чередований полей в воспроизводимом с видеоманитофона сигнале и в студийной аппаратуре.

Совершенно ясно, как удовлетворить первое требование: сигнал стабилизированного опорного генератора необходимо заменить или сигналом синхрогенератора студийного комплекса, или синхросигналом, выделяемым из студийного полного телевизионного сигнала. При этом обычно генератор опорного сигнала видеоманитофона синхронизируется внешними синхросигналами, чтобы пропадание внешних сигналов не вызывало нарушения работы аппарата.

Для улучшения временной стабилизации, обеспечиваемой системой автоматического регулирования частоты вращения барабана блока вращающихся головок, в рамках использования данной системы регулирования имеется только одна возможность: организация фазовой синхронизации стабилизированной опорной частоты строк 15 625 Гц и частоты воспроизводимого с ленты сигнала строчной синхронизации. Благодаря этому уменьшаются временные искажения воспроизводимого сигнала. Так например, в магнитофонах с поперечно-строчной системой записи это позволяет снизить временную ошибку от  $\pm 10$  мкс до  $\pm 75$  нс. Данный режим, однако, очень чувствителен к помехам. Это связано с выпадениями в воспроизведенном с ленты телевизионном сигнале, приводящем к уменьшению амплитуды сигнала. Если в результате выпадения нарушается воспроизводимая последовательность строчных синхроимпульсов, то система автоматического регулирования должна переключиться на сигналы датчика оборотов барабана блока вращающихся головок или на сигнал кадровой синхронизации. Только после установления такого режима может быть восстановлена синхронизация по строчным синхроимпульсам. При механическом монтаже синхронность полностью нарушается (там, где непрерывность последовательности строчных синхроимпульсов не обеспечивается). Нельзя забывать и о том, что новые профессиональные аппараты должны быть пригодными для воспроизведения старых, архивных видеозаписей.

Однако в настоящее время определяющим фактором является широкое распространение видеотехнических средств для записи цветных программ, так как в настоящее время решение вопроса о временной стабилизации сигналов строчной синхронизации является недостаточным для того, чтобы в системах NTSC и PAL обеспечить необходимую для отсутствия цветовых искажений стабилизацию фазы воспроизводимой цветовой поднесущей. Для этого необходимо существенно ужесточить допуск на временные ошибки и сделать его равным  $\pm 75$  нс. А это, естественно, значительно превышает возможности систем автоматического регулирования, содержащих механические элементы. Необходимы другие, чисто электронные решения. Современные средства позволяют решить данные проблемы без особых трудностей. Поэтому хотя в современных аппаратах, возможно, и используются преимущества режима синхронизации по воспроизводимым строчным синхроимпульсам, все же в них в основном применяют специально записываемые сигналы управления.

Второе требование связано с тем, что в телевизионном сигнале следующие друг за другом поля неодинаковы: в черно-белом и цветном сигналах системы NTSC структура каждого второго поля, а в системах PAL и SECAM в полных цветных телевизионных сигналах структура каждого четвертого поля одинакова. Одинаковые по структуре поля отмечаются на ленте так называемым монтажным импульсом (монтажная метка), который с помощью наложения на сигнал управления может быть записан на дорожке управления.

Монтажный импульс формируется следующим образом. Выделяют расположенный сразу за кадровым синхроимпульсом первый узкий импульс,

а также непрерывную последовательность строчных синхрои импульсов. Поскольку граница между первым и вторым полями проходит в середине 313-й строки, то строчный синхрои импульс и выбранный узкий импульс именно здесь появляются одновременно. Таким образом, отслеживая данное совпадение двух сигналов можно зафиксировать начало второго поля.

В сигналах PAL фаза вспышки цветовой синхронизации в 1-м и 2-м полях в нечетных строках положительна и составляет  $+135^\circ$ , а в четных — отрицательна и составляет  $-135^\circ$ . И наоборот, фазы 3-го и 4-го полей в нечетных строках отрицательны, а в четных — положительны. Если теперь демодулируется сигнал цветовой синхронизации и с сигналами строчной синхронизации сравниваются положения прямоугольных сигналов с периодом  $2H$ , передний положительный фронт которых, например, отмечает строку с положительной фазой вспышки цветовой синхронизации, то в системе PAL только в каждом четвертом поле одновременно появляются первые импульсы врезки в сигнале кадровой синхронизации: положительный перепад сигнала строчной синхронизации и данного сигнала с частотой 7,8 кГц (рис. 65, а).

Точно такой же способ используется в системе SECAM, только фаза сигнала с частотой 7,8 кГц должна быть установлена сигналами цветowych вспышек, частота которых изменяется от строки к строке, или сигналом опознавания. Положительный переход необходимо сфазировать со строкой  $D_R$  (рис. 65, б). Теперь второе требование уже означает, что отмеченное монтажным импульсом поле должно появляться одновременно как на выходе видеоманитофона, так и в студийной системе, в которую входит и сам видеоманитонфон.

Данное требование удовлетворяется следующим образом. В течение некоторого времени после включения режима воспроизведения система автоматического регулирования ведущего двигателя стремится совместить монтажные импульсы с сигналами опознавания поля, сформированными из опорного телевизионного сигнала описанным выше методом. (Если на ленте отсутствуют монтажные импульсы, то вместо них формируются аналогичные сигналы опознавания полей из воспроизводимого телевизионного сигнала.) Может быть организовано и грубое, ступенчатое регулирование скорости в режиме грубого и точного слежения; в последнем режиме система оказывается тогда, когда полученные с ленты сигналы опознавания поля по отношению к опорному сигналу цветовой синхронизации устанавливаются в пределах определенного временного окна. В этом случае система переходит к нормальному режиму воспроизведения.

В заключение отметим, что для работы электронного корректора временных искажений и компенсатора выпадений необходима определенная (от  $(1/2)H$  до  $(3/2)H$ ) задержка сигнала. Если воспроизводимый с видеоманитофона сигнал синхронизируется опорным сигналом без задержки, то вновь появляются временные искажения. Их можно устранить с помощью задержки  $(1/2)H \dots (3/2)H$  сигнала обратной связи системы автоматического регулирования частоты оборотов барабана блока вращающихся головок. В рассмотренных случаях — это сигналы датчика оборотов ведущего двигателя

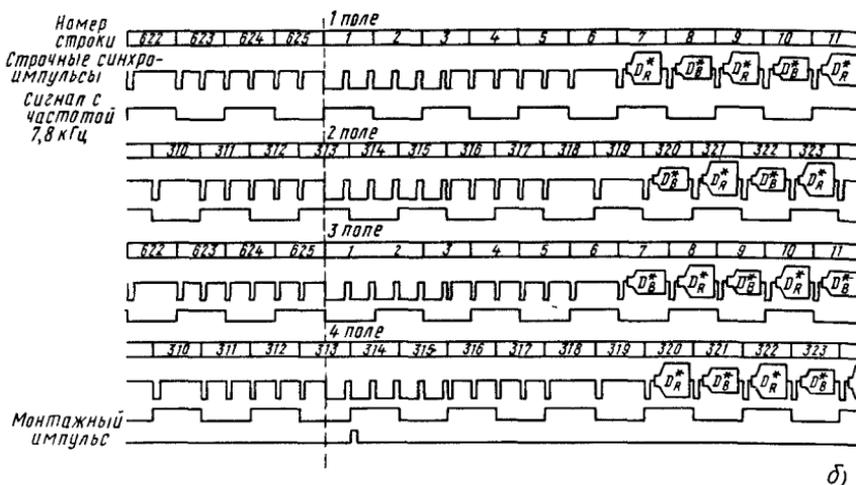
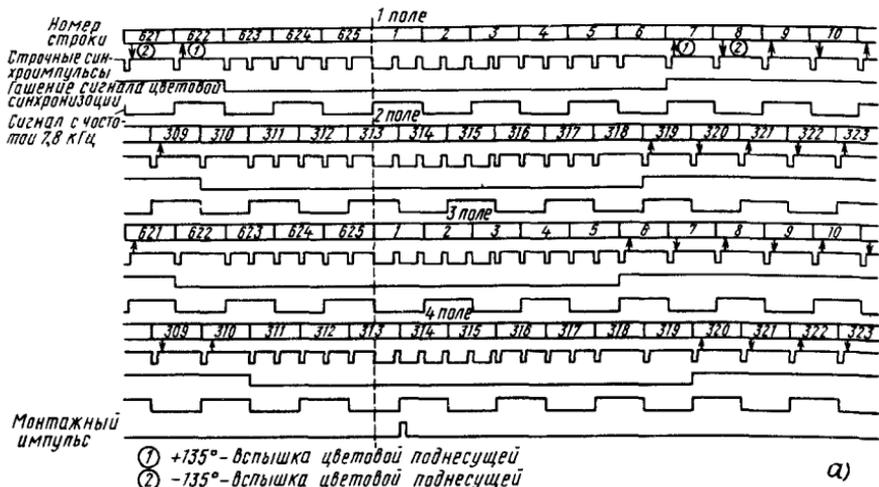


Рис. 65. Принцип формирования монтажного импульса:  
 а — сигналы PAL; б — сигналы SECAM ( $D_R^*$  и  $D_B^*$  — сигналы опознавания)

или сигналы кадровой или строчной синхронизации. Благодаря этому воспроизводимый сигнал по отношению к опорному сигналу сдвигается вперед по времени на столько же и, следовательно, обеспечивается совпадение синхроимпульсов на входе корректора.

### Система автотрекинга

Эта система, обеспечивающая точное следование видеоголовок по строчкам записи, применяется в некоторых четырехголовочных видеомагнитофонах с поперечно-строчной системой записи и в современных устройствах с наклонно-строчной системой записи. Слабым местом этих систем явля-

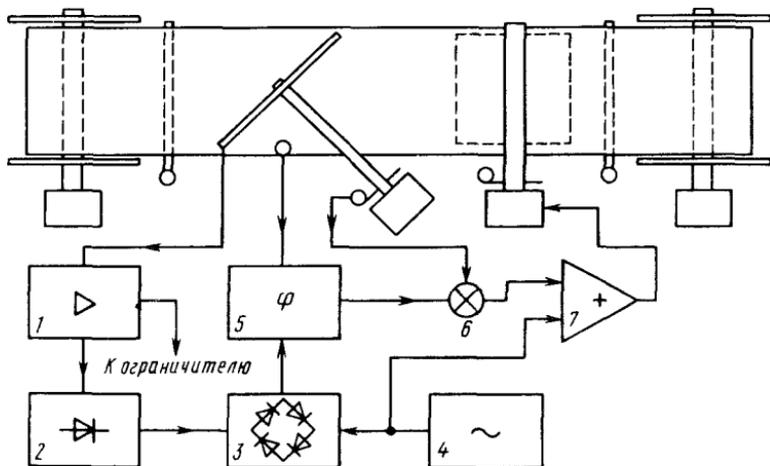


Рис. 66. Система автотрекинга видео магнитофона с наклонно-строчной системой записи: 1 — усилитель воспроизведения ЧМ канала; 2 — амплитудный детектор; 3 — синхронный детектор; 4 — генератор сигнала возмущения; 5 — фазовращатель; 6 — фазовый дискриминатор; 7 — усилитель напряжения питания двигателя

ется то, что потребителю необходимо знать, в каком направлении необходимо проводить коррекцию для того, чтобы головка оказалась на строчке записи. Для принятия решения следует изменить относительное положение головка—строчка записи. И по изменению амплитуды высокочастотного сигнала определяется необходимое направление коррекции.

Принцип действия системы автотрекинга в аппаратах с поперечно-строчной записью следующий: после установления жесткого синхронизма между сигналом датчика оборотов барабана блока вращающихся головок и полученным с ленты сигналом управления в систему автоматического регулирования ведущего двигателя подается низкочастотный синусоидальный сигнал возмущения с малой амплитудой (рис. 66). Вследствие этого скорость движения ленты колеблется вокруг установленного системой автоматического регулирования значений, и точно так же изменяется относительное положение головка—лента, а следовательно, и амплитуда высокочастотного сигнала, снимаемого с видеоголовки. Сравнение фаз огибающей амплитудно-модулированного высокочастотного (ЧМ) сигнала и сигнала возмущения, управляющего скоростью вращения двигателя, однозначно определяет необходимое направление коррекции. Если в огибающей амплитудно-модулированного ЧМ сигнала появляется не сигнал возмущения, а его вторая гармоника, то видеоголовка перемещается как раз вдоль строчки записи. Поскольку периодическое изменение скорости движения ленты не оказывает влияния на временные искажения телевизионного сигнала, воспроизводимого головкой, расположенной перпендикулярно продольной оси ленты, т. е. не оказывает влияния на поперечно-строчную запись, то этот метод применяется исключительно в подобных системах.

Если строчка записи почти параллельна продольной оси ленты, то для уста-

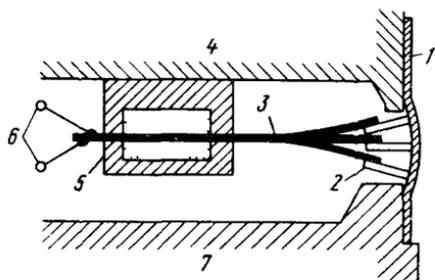


Рис. 67. Принцип перемещения головки внутри вращающегося барабана: 1 — лента; 2 — видеоголовка; 3 — пьезопреобразователь; 4 — вращающийся вместе с головкой барабан; 5 — блок крепления пьезопреобразователя; 6 — контакты пьезопреобразователя; 7 — неподвижная часть блока вращающихся головок

новки и удержания видеоголовки на строчке записи необходимо обеспечить возможность перемещения головки внутри барабана в направлении его оси. Принцип действия такого устройства показан на рис. 67. Головка закрепляется на пьезопреобразователе, который под действием приложенного напряжения изгибается и обеспечивает необходимое отклонение видеоголовки.

В качестве примера рассмотрим один тип профессионального и один тип бытового видеомэгнитофонов с регулируемым положением видеоголовки, появившихся на рынке. Эти аппараты сильно отличаются друг от друга (одинаковый у них лишь метод перемещения головок).

В барабане профессионального устройства [3] записывающая и воспроизводящая головки установлены отдельно, причем перемещается только воспроизводящая головка, диапазон перемещения равен примерно 5 мм. Для этого необходимо напряжение в несколько сотен вольт. Пьезопреобразователь, в отличие от показанного на рис. 67, состоит из двух частей. Небольшая часть поверхности электромеханического преобразователя (пьезопреобразователя) используется в качестве электромеханического преобразователя обратной связи для демпфирования резонанса, возникающего в преобразователе в области 500 Гц (рис. 68).

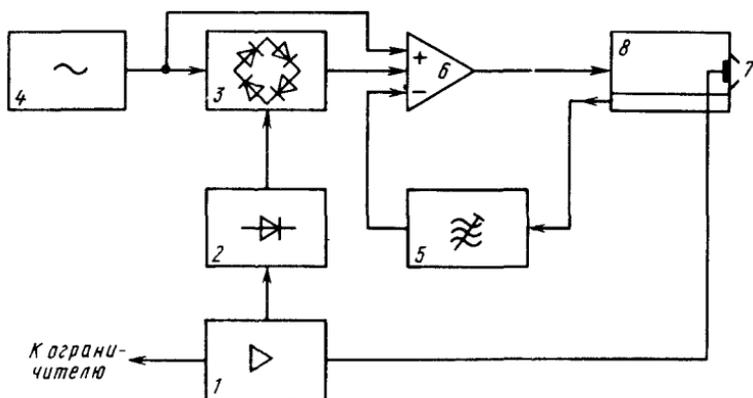


Рис. 68. Система автотрекинга аппарата наклонно-строчной записи.

1 — усилитель воспроизведения ЧМ канала; 2 — амплитудный детектор; 3 — синхронный детектор; 4 — генератор сигнала возмущения; 5 — цепь обратной связи; 6 — усилитель; 7 — видеоголовка; 8 — пьезопреобразователь, состоящий из двух частей

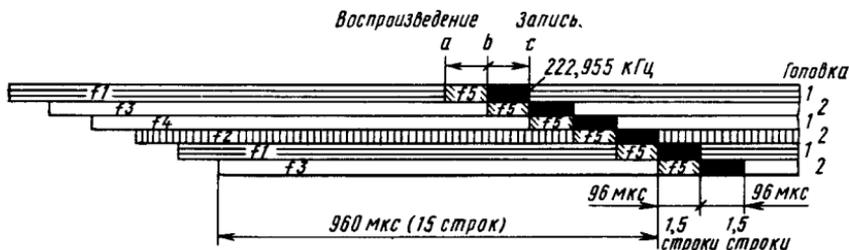


Рис. 69. Размещение строчек записи. На расстоянии 15 строк от начала строчки записи на участке  $bc$  длиной 1,5 строки записывается сигнал с частотой 222,955 кГц. Этот участок размещается в области кадрового гасящего импульса. Головка 1 записывает сигналы с частотами  $f_1$  и  $f_4$ , а головка 2 — с частотами  $f_2$  и  $f_3$  вместе с ЧМ сигналом. В режиме записи знак сигнала регулирования положения головки определяется амплитудой сигнала частотой 223 кГц, считываемого с участка строчки  $ab$ . При воспроизведении сигналы регулирования положения головки на строчке записи формируются из сигнала разностной частоты

Принцип действия системы автотрекинга в аппаратах поперечно-строчной записи аналогичен описанному выше. В петлю регулирования положения видеоголовки подается синусоидальный сигнал возмущения с частотой 425 Гц, который вызывает колебательное движение видеоголовки. Видеоголовка непрерывно "ощупывает" область около установленного положения (отсюда и название системы). Вследствие смещения головки изменяется амплитуда воспроизводимого высокочастотного ЧМ сигнала. Периодическое сканирование приводит к периодической амплитудной модуляции, и в результате детектирования получается сигнал, который после синхронного детектирования с использованием в качестве опорного сигнала возмущения (непосредственно от генератора) служит для получения управляющего сигнала положением видеоголовки (см. рис. 68). Система автотрекинга в различных режимах работы видеомagneитофона выполняет различные функции, поэтому в реальности она намного сложнее показанной здесь.

В бытовых устройствах (Video-2000, Philips, Grundig, гл. 1, разд. 2.5) перемещаются обе головки — воспроизводящая\* и записывающая. Управление перемещением головок осуществляется с помощью пяти вспомогательных сигналов различной частоты, записываемых одновременно с видеосигналом. Строчки записи видеосигнала располагаются вплотную друг к другу без межстрочного промежутка. При записи через 960 мкс после переключения головок записывающая головка на период 1,5 строки переключается в режим воспроизведения, а затем на период 1,5 строки — в режим записи; в это время записывается сигнал с частотой 222,9 (рис. 69). Так как строчные синхроимпульсы имеют строгую последовательность, а построчное смещение  $n = 1$ , то на соседних строчках записи участок воспроизведения предыдущей строки будет располагаться как раз над участком сигнала с частотой 222,955 Гц

\* При записи система автотрекинга обеспечивает стабилизацию шага строчек записи.—  
Прим. ред.

предыдущей строки и амплитуда воспроизведенного сигнала определяет сигнал коррекции положения головки и соответственно шаг строчек записи.

Частоты других четырех вспомогательных сигналов приближенно равны 102, 117, 149 и 164 кГц. Сигналы  $f_1$  и  $f_4$  записываются первой видеоголовкой, а сигналы  $f_2$  и  $f_3$  — второй, причем таким образом, что в период работы первой видеоголовки в режиме записи к видеосигналу добавляется то сигнал  $f_1$ , то сигнал  $f_4$  (см. рис. 69). Например, если при воспроизведении строчки с записанным сигналом  $f_4$  амплитуды комбинационных составляющих с частотами  $f_4 - f_3$  или  $f_4 - f_2$  одинаковы, то видеоголовка находится как раз на строчке записи. В противном случае знак и величина асимметрии служат для выбора необходимых направления и величины коррекции. Если при воспроизведении следующих друг за другом строчек направление регулирования не меняется, то это означает, что скорость движения ленты при воспроизведении отличается от ее скорости при записи. Таким образом, можно получить сигнал рассогласования, необходимый для регулирования ведущего двигателя. Из вышесказанного следует, что в этой системе нет необходимости в сигнале управления и дорожке сигнала управления.

### Системы автоматического регулирования двигателей подающего и приемного узлов

В зависимости от режима работы видеомagneтофона двигатели подающего и приемного узлов выполняют различные функции. В режиме записи и воспроизведения двигатели используются с целью создания постоянного натяжения ленты. Для этого необходим датчик натяжения ленты. Им служит направляющая, расположенная на натяжном рычаге. Траекторию

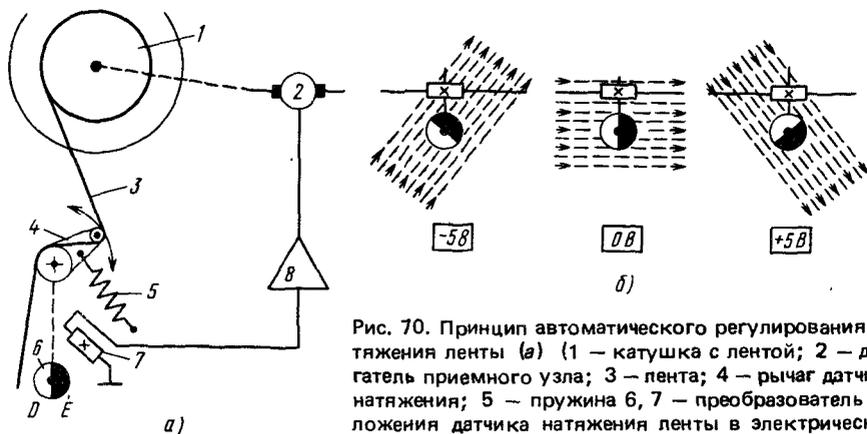


Рис. 70. Принцип автоматического регулирования натяжения ленты (а) (1 — катушка с лентой; 2 — двигатель приемного узла; 3 — лента; 4 — рычаг датчика натяжения; 5 — пружина; 6, 7 — преобразователь положения датчика натяжения ленты в электрический сигнал (6 — магнит, закрепленный на оси рычага; 4;

7 — датчик Холла); 8 — усилитель натяжения питания двигателя) и принцип действия преобразователя на основе датчика Холла (б) (датчик Холла при положении магнита, соответствующем номинальному натяжению ленты, формирует напряжение, равное 0 В; в крайних положениях рычага напряжение  $\pm 5$  В [121]; для определения натяжения могут быть использованы и многие другие принципы)

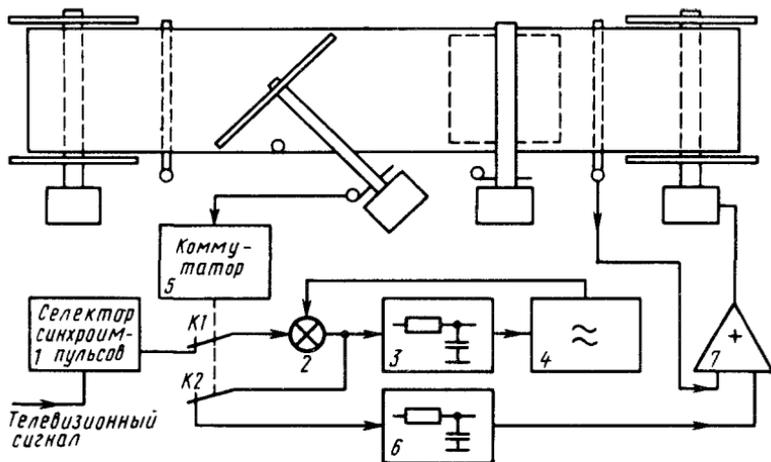


Рис. 71. Уменьшение искажений временного масштаба, возникающих из-за растяжения ленты, с помощью автоматического регулирования натяжения ленты. Из телевизионного сигнала выделяется строчный синхроимпульс 1 для синхронизации кольца ФАПЧ, состоящего из фазового дискриминатора 2, фильтра нижних частот 3 и генератора сигнала частоты строк 4. Коммутатор 5, управляемый сигналами тахогенератора барабана блока вращающихся головок, при нахождении головки на строчке записи поддерживает переключатели  $K_1$  в замкнутом состоянии, а  $K_2$  в разомкнутом состоянии. В конце строчки записи переключатель  $K_1$  размыкается, а генератор 4 вследствие большого значения постоянной интегрирования фильтра нижних частот продолжает работать с неизменным сигналом управления, т. е. генерирует сигнал с той же частотой. При входе головки на следующую строчку записи переключатели  $K_1$  и  $K_2$  замыкаются, и на выходе фазового дискриминатора 2 появляется сигнал рассогласования, соответствующий скачку временного масштаба, который интегрируется фильтром нижних частот 6. Затем в комбинации с сигналом датчика натяжения ленты сигнал рассогласования используется для регулирования скорости вращения двигателя приемного блока ленты. После скачка временного масштаба коммутатор размыкает контакты переключателя  $K_2$  [108]

ленты формируют таким образом, чтобы направляющая меняла направление движения ленты, и добиваются, чтобы натяжения пружины и ленты были уравновешены. На оси натяжного рычага размещается преобразователь механических перемещений в электрический сигнал, например датчик Холла или мост, построенный на основе вращающегося магнита и магнитных сопротивлений. Подобные преобразователи позволяют получить сигнал ошибки, пропорциональный направлению и величине отклонения натяжного рычага от его номинального положения. Данный сигнал служит для регулирования момента двигателя (рис. 70) [121].

В наклонно-строчных аппаратах вследствие трения в направлении движения ленты все в большей степени увеличивается упругая деформация ленты. Если данная деформация неодинакова при записи и воспроизведении, то в процессе воспроизведения возникают искажения временного масштаба. Временные искажения непрерывно увеличиваются вдоль строчки видеосигнала. Таким образом, при смене строчек наблюдается скачок: частота следо-

вания строчных синхроимпульсов, воспроизведенных сходящей со строчки записи головкой, отличается от частоты следования строчных синхроимпульсов, воспроизводимых входящей на строчку записи головкой. Данный скачок может быть использован и для регулирования натяжения ленты, поскольку, изменяя натяжение ленты, можно частично скомпенсировать деформацию ленты [112]. Данная система автоматического регулирования натяжения ленты позволяет уменьшить временные искажения (рис. 71) [108].

В режиме перемотки необходимо также обеспечивать регулирование натяжения ленты или по крайней мере поддержание натяжения ленты в определенных пределах. Кроме того, необходимо обеспечить возможность изменения направления перемотки и ручного регулирования скорости перемотки. Последнее требование может быть дополнено требованием ручного управления скоростью движения ленты. Данные требования могут быть удовлетворены с помощью ранее рассмотренных принципов.

Система перемотки может также включать: систему предпускового натяжения ленты, систему сигнализации окончания перемотки, выключатель двигателя при окончании перемотки и т. д, однако эти системы здесь не рассматриваются.

### Переключение видеоголовок

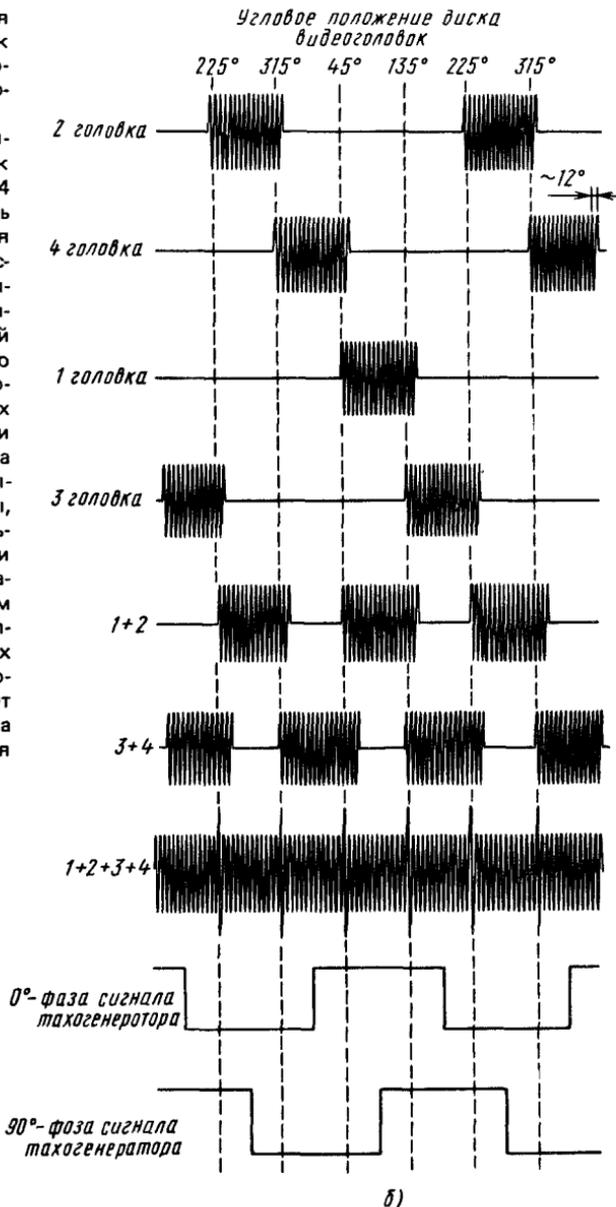
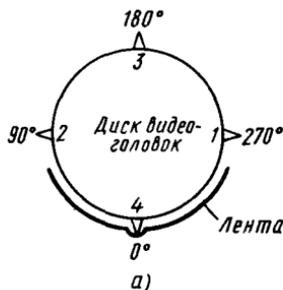
Во всех видеомагнитофонах с двумя и более головками (кроме наиболее простых бытовых аппаратов) головки работают попеременно. К усилителю воспроизведения всегда подключается только одна головка, находящаяся в контакте с лентой. Это необходимо для того, чтобы была возможность исключить не только эксплуатационные шумы, но и шумы головки, тепловые и связанные с изменением условий окружающей среды. Это важно и потому, что в период перекрытия сигналы, воспроизводимые входящей на строчку записи и сходящей с нее головками, несколько отличаются. Суммирование этих сигналов в течение всего периода перекрытия привело бы к биениям между ними. Любое переключение связано с возникновением переходных процессов, но они кратковременны. При этом переключение головок может быть произведено в наименее уязвимый к помехам интервал телевизионного сигнала.

Будем рассматривать особенности переключения видеоголовок при поперечно-строчной записи четырьмя головками, так как переключение видеоголовок в двухголовочных сегментированных и несегментированных видеомагнитофонах базируется на таких же принципах, а устройство переключения проще.

В аппаратах с поперечно-строчной системой записи четырьмя головками для переключения видеоголовок используются два метода: двухканальное переключение и переключение в интервале строчного гасящего импульса. Оба метода схожи только в том, что объединение сигналов четырех головок осуществляется в два этапа (рис. 72). На первом этапе происходит объединение сигналов головок, находящихся друг против друга, в период отсутствия сигнала. На это отводится время 1 мкс. Этот первый (предварительный) переключатель может управляться сигналом тахогенератора.

Рис. 72. Принцип действия переключателя видео головок четырехголовочного видеоманитофона с поперечно-строчной системой записи:

*а* — угловое расположение видео головок ( $0^\circ$  относится к положению, когда головка 4 пересекает продольную ось ленты; головка 4 является "указателем" положения диска видео головок, которое определяется углом между видео головкой 4 и продольной осью ленты, отсчитанным по окружности диска видео головок); *б* — сигналы отдельных видео головок в зависимости от углового положения диска видео головок (первые четыре осциллограммы); и сигналы, объединенные предварительным переключателем (5-я и 6-я осциллограммы); сигналы, объединенные основным переключателем (7-я осциллограмма); два смещенных на  $90^\circ$  сигнала тахогенератора, частота которых совпадает с частотой вращения диска видео головок [3] (8-я и 9-я осциллограммы)



В двухканальной системе в каждом канале выходные сигналы первых переключателей объединяются вторым (основным) быстродействующим переключателем. В одном канале переключатель\* всегда включается в области

\* Имеется в виду переключатель видео головок, состоящий из двух предварительных переключателей и одного основного. — Прим. ред.

середины активной части строки. Вследствие этого в объединенном телевизионном сигнале сигнал изображения содержит помеху переключения, но синхроимпульсы воспроизводятся без искажений. ЧМ сигнал этого канала демодулируют с ограничением ширины полосы и выделяют из него синхроимпульсы, а затем объединяют их с видеосигналом, полученным из другого канала\*. Задержка переключения канала синхроимпульсов осуществляется сигналом управления, который формируется из сигнала тахогенератора и из воспроизведенных строчных синхроимпульсов. Естественно, что здесь величина задержки не критична.

Неискаженное объединение сигналов изображения возможно в интервале гасящего импульса. В двухканальной системе для этих целей применяют строчные синхроимпульсы длительностью 4,7 мкс; переключение происходит приблизительно в середине синхроимпульса. Для управления этим переключателем видеоголовок можно использовать неискаженные синхроимпульсы, конечно, в комбинации с сигналами тахогенератора. Проблема здесь заключается в том, что на одной строчке записи размещается не целое число телевизионных строк, следовательно, управление не может осуществляться только строчными синхроимпульсами или только сигналом тахогенератора. Принцип решения этой проблемы: при определенном положении диска видеоголовок переключение осуществляется в момент действия двух сигналов – сигнала тахогенератора и синхроимпульса. Можно обойтись и без двух независимых каналов, если переключение осуществлять в интервале между фронтами строчного гасящего импульса и синхроимпульса. Но поскольку этот интервал равен всего  $1,5 \pm 0,3$  мкс, то требования к переключателю видеоголовок в этом случае довольно жесткие. (В соответствии с рекомендациями Европейского союза радиовещания [25] для неискаженного воспроизведения длина этого интервала в записываемом телевизионном сигнале должна быть минимум 1,5 мкс.) Для решения этой задачи из демодулированного синхроимпульса выделяют такой сигнал переключения, который опережает строчный синхроимпульс. Это позволяет сделать ФАПЧ: управляемый генератор синхронизируют выделенными строчными синхроимпульсами с учетом задержки сигнала обратной связи. Степень задержки определяется схемными элементами, а также выбранной точкой переключения, делящей пополам интервал между фронтами гасящего импульса и строчного синхроимпульса. Таким образом, выходной сигнал генератора опережает строчный синхроимпульс на величину этой задержки. Точность переключения в этом случае определяется параметрами ФАПЧ и опорным сигналом, в качестве которого используется усредненный за определенное время сигнал синхронизации. При этом точная синхронизация от строки к строке не обеспечивается. Поэтому если длительность строки сигнала, воспроизводимого с ленты, изменяется, то могут возникнуть ошибки задержки. Управление основным переключателем сигналами управляемого с помощью ФАПЧ генератора может быть осуществлено методом, который был описан при рассмотрении двухканальной системы.

---

\* В этом канале переключение видеоголовок осуществляется в интервале строчного синхроимпульса. При этом переключатель видеоголовок одного из каналов должен работать с задержкой по отношению к переключателю другого канала. — *Прим. ред.*

В режиме записи головки обычно не переключаются. В этом нет необходимости даже в таких системах, в которых видеоголовки захватывают звуковую дорожку, режиссерскую дорожку и дорожку сигналов управления, так как эти сигналы записываются после записи телевизионного сигнала и стирания соответствующих дорожек.

Однако переключение видеоголовок, а кроме того, и расположенных на диске видеоголовок стирающих головок необходимо при электронном монтаже.

## 2.4. КОРРЕКЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ИСКАЖЕНИЙ

### Временные искажения

Временные искажения (ошибки) — это отклонение временного масштаба воспроизводимого телевизионного сигнала от временного масштаба опорного сигнала. Поскольку, однако, для определения временных искажений в черно-белом сигнале пригодны только строчные синхроимпульсы, а в цветном сигнале — только сигналы цветowych вспышек, то под временными искажениями (ошибками), по сути дела, понимаем временные или фазовые отклонения положения синхроимпульсов воспроизводимого сигнала или вспышек цветовой поднесущей от опорного синхросигнала для опорных вспышек цветowych поднесущих. Введем еще одну характеристику — скоростную ошибку, которая задает временную ошибку, возникающую за длительность строки. Скоростная ошибка — это разница между временными ошибками следующих друг за другом строк\*.

Временные ошибки, с учетом идентичности записываемых и опорных сигналов, возникают из-за погрешностей геометрических размеров и качества функционирования механических элементов видеомагнитофона и деформации ленты. (Первые причины доминируют в поперечно-строчных системах записи, а последние — в наклонно-строчных.) Данные погрешности и деформации приводят к таким быстрым временным искажениям воспроизводимых сигналов, которые не могут быть полностью скорректированы системами автоматического регулирования.

Рассмотрим несколько источников временных искажений.

*Диаметр барабана блока вращающихся головок.* Предположим, расстояние между расположенными на ленте строчными синхроимпульсами  $h$ , тогда, если пренебречь скоростью перемещения ленты  $v_n$ , частота повторения воспроизводимых строчных синхроимпульсов будет

$$f_{\text{стр}} = \frac{\pi n_6 D}{h}, \quad (77)$$

где  $n_6$  — частота вращения барабана блока вращающихся головок;  $D$  — диаметр барабана. Отсюда получаем

$$\frac{df_{\text{стр}}}{f_{\text{стр}}} \approx \frac{dn_6}{n_6} + \frac{dD}{D} - \frac{dh}{h}. \quad (78)$$

\* Более точно, скоростная ошибка — это производная от временной ошибки. — *Прим. ред.*

Обычно система автоматического регулирования стремится привязать частоту вращения барабана блока вращающихся головок к опорному сигналу, т. е. обеспечить  $dn_B = 0$ . Тогда

$$\frac{df_{\text{стр}}}{f_{\text{стр}}} = \frac{dD}{D} - \frac{dh}{h} \quad (79)$$

или

$$\frac{dH}{H} = \frac{dh}{h} - \frac{dD}{D}. \quad (80)$$

Если запись и воспроизведение осуществляются на различных видеоманитофонах, то допуски на диаметр барабана в наиболее неблагоприятном случае дают значение  $dD/D \approx 10^{-4}$ . Отсюда  $dH \approx 6,4$  нс или для несегментированных систем записи суммарная временная ошибка за время одного поля составляет  $\Delta t \approx 2$  мкс. При изменении температуры окружающей среды изменяются и диаметр барабана, и длина ленты, т. е. изменяется и  $h$ . Временная ошибка определяется этими обоими факторами. Температурный коэффициент расширения для полиэфирных лент составляет  $\alpha_{\text{пэ}} \approx 5 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ , а для алюминия  $\alpha_{\text{ал}} \approx 2,5 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ . Таким образом,  $dH/H \approx 2,5 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ . Следовательно, изменение температуры на  $4^\circ\text{C}$  вызывает такую же временную ошибку, как и изменение диаметра барабана в пределах допуска.

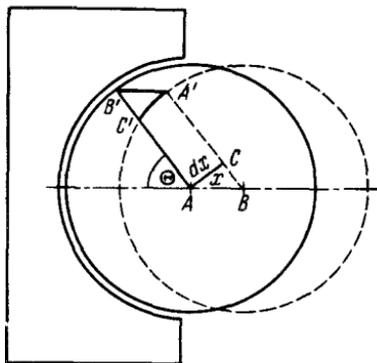
Под действием изменения относительной влажности линейное изменение полиэфирной ленты  $dl/l = dh/h \approx 1,1 \cdot 10^{-5}/1\%$ . Поэтому изменение влажности на 9% приводит также к временной ошибке в 2 мкс за время одного поля. На основании (75) аналогичным методом можно рассчитать временную ошибку, вызванную другим возможным источником временных искажений — изменением натяжения ленты. С другой стороны, при помощи ручного или автоматического регулирования натяжения ленты можно добиться частичной компенсации этих искажений.

*Расположение головок в барабане блока вращающихся головок.* В качестве источников временных ошибок можно предположить в первую очередь изменение выступания полюсных наконечников видео головок и при использовании нескольких видео головок угловое смещение видео головок. Из этих двух источников ошибок первый исключается, так как износ головок не вызывает временных ошибок. Выступающие полюсные наконечники приводят к упругому растяжению ленты. С изменением диаметра изменяется и длина ленты, т. е. длина волны записи. Таким образом, частота воспроизводимого сигнала не зависит от изменения выступания полюсовых наконечников видео головок.

Изменение углового смещения видео головок, естественно, приводит к временным ошибкам. Легко рассчитать, например, что в случае сегментированной системы записи с двумя видео головками необходимо выдерживать угол  $180^\circ$  с погрешностью не более  $32''$  для того, чтобы ошибка воспроизведе-

\* Отнесено к изменению влажности на 1%. — Прим. ред.

рис. 73. Смещение диска видеоголовок относительно вакуумной направляющей, приводящее к возникновению временных искажений (сплошная окружность соответствует точной установке, штриховая — неточной установке)



ния не превышала 1 мкс, если запись осуществлялась при номинальном расположении видеоголовок.

*Размеры и расположение вакуумной направляющей.* В четырехголовочных видеомэгнитофонах с поперечно-строчной системой записи на временные искажения в первую очередь оказывают влияние размеры и расположение вакуумной направляющей [47, 112]. Здесь мы не беремся за подобное рассмотрение источников временных искажений; в качестве примера покажем влияние только одного источника искажений.

На рис. 73 даны виды вакуумной направляющей и диска видеоголовок со стороны движения ленты. В номинальном положении вакуумной направляющей она располагается концентрически с диском видеоголовок. Однако это условие точно не выдерживается ни при записи, ни при воспроизведении. Если смещение в направлении радиуса, проведенного через продольную ось ленты, составляет  $x$ , то видеоголовка при повороте на угол  $\Theta$  оказывается в точке  $A'$  вместо точки  $B'$ , и смещение, равное  $dx$ , определяется по формуле

$$dx = x \sin \Theta. \quad (81)$$

Следовательно, временная ошибка непрерывно изменяется с изменением  $\Theta$ ; ее величина легко рассчитывается. Для стандартизованных параметров четырехголовочных видеомэгнитофонов с поперечно-строчной системой записи диапазон изменения временной ошибки составляет 36 нс/мкм. Это достаточно большая величина; поэтому положение вакуумной направляющей в таких аппаратах регулируется и временные искажения контролируются с помощью встроенного видеоконтрольного устройства. Кроме того, в старых моделях устанавливалась отдельная так называемая система автоматического регулирования положения вакуумной направляющей, которая по выделенной временной ошибке управляла двигателем, который, в свою очередь, через передачу с большим передаточным числом устанавливал вакуумную направляющую в оптимальное положение [31, 47]. Электронные корректоры временных искажений исключили необходимость применения систем автоматического управления положением вакуумной направляющей.

*Другие источники временных искажений.* Помимо перечисленных источников временных искажений, которые доминируют при соответствующих усло-

виях, на практике возникают и многие другие. Появление и бурное распространение переносных видеомагнитофонов, а также широкий международный обмен видеозаписями даже на профессиональном уровне ставит под сомнение наше предположение об идентичности и соответствии опорных сигналов при записи и воспроизведении. Переносные видеомагнитофоны используются в различных условиях и даже во время движения, что, естественно, может привести к значительной асимметрии нагрузки подшипников и неравномерности перемещения ленты. Не следует забывать и о режимах ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра, которые предъявляют жесткие требования к системам современных видеомагнитофонов. Источником значительных временных искажений может служить электронный монтаж. Все эти причины могут вызывать более значительные временные искажения, чем ранее рассмотренные, однако в конечном итоге их можно скорректировать до значения, меньшего установленных допусков.

### Корректор временных искажений

Корректор представляет собой управляемую линию задержки, время задержки которой регулируется таким образом, чтобы исключить временные ошибки. Принцип действия аналоговых корректоров хорошо понятен из структурной схемы, показанной на рис. 74. Это — система анализа временной ошибки со схемой формирования сигнала управления и система исполнительных устройств — управляемых (или коммутируемых) линий задержки. Теоретически цифровой корректор временных искажений построен аналогично. Однако функции отдельных систем корректора невозможно разделить по отдельным элементам схемы.

Одним из исполнительных элементов аналогового корректора является управляемая линия задержки, в качестве емкостных элементов которой используются варикапы (рис. 75); время задержки регулируется напряжением, подаваемым на варикапы. Время задержки обратно пропорционально корню четвертой степени из управляющего напряжения. В свою очередь, при изменении времени задержки изменяется и амплитудно-частотная характеристика системы. Поэтому, с одной стороны, управляющий сигнал подается на варикапы через схему, амплитудная характеристика которой приближается к степенной функции четвертой степени, с другой — после линии задержки включается усилитель с управляемой частотной характеристикой. Диапазон изменения времени задержки, полученного таким способом, сильно ограничен. Например, в устройствах фирмы Robert Bosch (формат В) управляемая линия задержки содержит 60 элементов, время задержки равно 1,2 мкс, диапазон регулирования составляет  $\pm 0,11 \cdot \text{мкс}$  [121]; время задержки в видеомагнитофоне Атрех VR-2000 с поперечно-строчной системой записи составляет 3 мкс, диапазон регулирования  $\pm 0,5 \text{ мкс}$  [31].

Более широкий диапазон регулирования может быть обеспечен с помощью использования ряда линий задержки с фиксированным временем задержки. Например, если диапазон непрерывного регулирования времени задержки составляет всего 100 нс, то при использовании набора коммутируемых линий задержки 50, 100, . . . ,  $2^n \cdot 50$  нс (исходя из выбора набора времен задержки

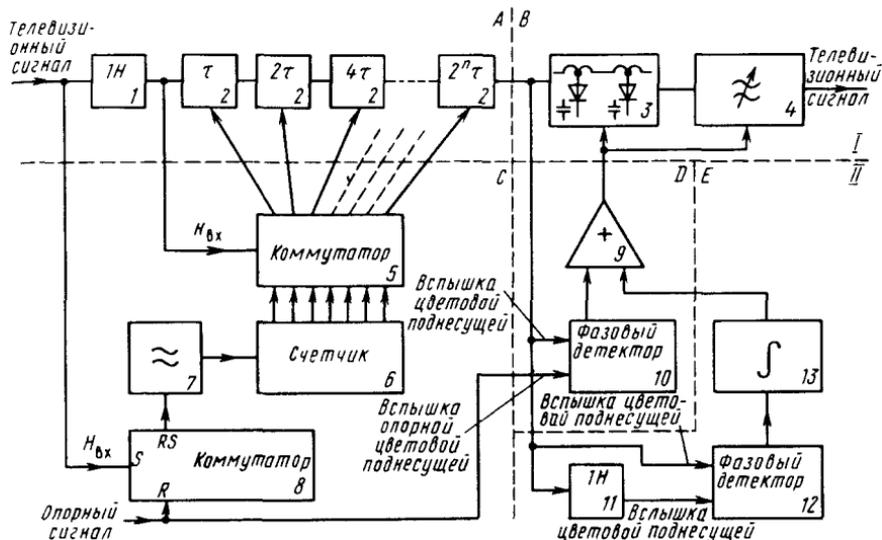


Рис. 74. Аналоговый корректор временных искажений:

I. Цель прохождения телевизионного сигнала (А — цепь коммутируемых линий задержки; В — управляемая линия задержки). II. Система управления (С — блок формирования сигнала коммутации; D — блок анализа временных ошибок (сигнала) цветности; E — блок анализа скоростных ошибок); 1 — линия задержки на строку (1 H); 2 — двичный набор коммутируемых линий задержки; 3 — управляемая линия задержки; 4 — усилитель с регулируемой частотной характеристикой; 5 — коммутатор; 6 — счетчик; 7 — генератор; 8 — RS-триггер; 9 — суммирующий усилитель, формирующий сигнал управления; 10 — фазовый детектор вспышки цветовой поднесущей; 11 — прецизионная линия задержки на строку (1 H); 12 — фазовый детектор вспышки цветовой поднесущей; 13 — интегратор

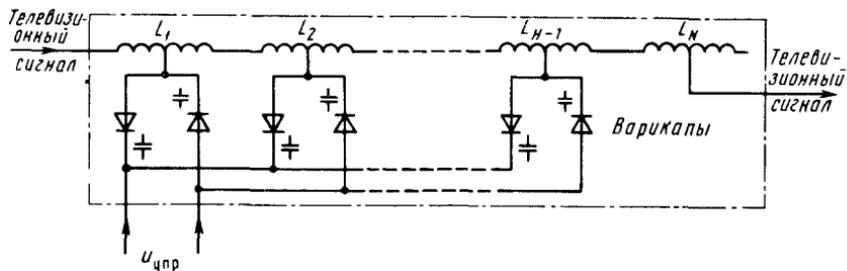


Рис. 75. Управляемая линия задержки. Управляющее напряжение подается в противофазе на пары варикапов, вследствие чего сигнал управления не попадет в видеоканал

$2^n \cdot 50$  нс) получаем систему с диапазоном коррекции  $\pm 2^n \cdot 50$  нс и с минимальным числом линий задержки  $n$ . С точки зрения производства может возникнуть необходимость в использовании, например, другого набора линий задержки при том же суммарном времени задержки. Такое решение приводит к увеличению количества линий задержки, необходимых для перекрытия диапазона коррекции, а также к изменению управления схемой коммутации.

Формирование сигнала, необходимого для управления схемой коммутации набора линий задержки, может происходить следующим образом (см. рис. 74). Полученный с ленты строчный синхроимпульс (для предыдущего числового примера) запускает генератор 7 с частотой 20 МГц; этот генератор отключается опорным строчным синхроимпульсом. Если число периодов сигнала генератора определяется двоичным счетчиком 6, то сигналом с выхода двоичного счетчика можно управлять коммутатором 5, который включает в цепь прохождения телевизионного сигнала линии задержки с временем задержки  $2^l \cdot 50$  нс, а длительность периода генератора как раз и составляет 50 нс. Поэтому в двоичном коде счетчика формируется число, соответствующее необходимому времени задержки воспроизводимого с ленты сигнала. При использовании другого набора линий задержки, не меняя принципа управления, необходимо только изменить код счета.

Естественно, выходы коммутатора и счетчика не могут быть соединены непосредственно. Переключатели коммутатора должны включаться только тогда, когда счет уже закончился. Поэтому воспроизведенный сигнал задерживается на одну строку с помощью линии задержки 1, а цифровой сигнал, управляющий переключателями, попадает в регистр памяти коммутатора 5. Установка задержки и управление переключателями коммутатора осуществляются под действием строчного синхроимпульса задержанного телевизионного сигнала.

Сигнал управления (см. рис. 74, D) управляемой линии задержки формируется на основе сравнения фаз (в фазовом детекторе 10) цветовой поднесущей, прошедшей через коммутируемые линии задержки корректора, и опорного сигнала цветовой поднесущей (вспышки цветовой поднесущей). Сигнал управления, сформированный в начале строки, запоминается с помощью схемы фиксации уровня до окончания строки. Сигнал управления подается в противофазе на варикапы управляемой линии задержки через усилитель 9 с нелинейной амплитудной характеристикой для того, чтобы помешать проникновению сигналов управления в видеоканал. В случае сигнала черно-белого телевидения для получения сигнала управления используются строчные синхроимпульсы.

Непосредственно измерить временную ошибку внутри строки не представляется возможным. Следовательно, для формирования сигнала управления линией задержки во время активной части строки необходимо исходить из какого-то предположения. Коррекция скоростных ошибок основана на предположении, что временная ошибка в интервале активной части строки меняется во времени по линейному закону. В соответствии с этим сигнал управления линией задержки получают следующим образом (см. рис. 74, E). Видеосигнал задерживается точно на строку ( $1H$ ) с помощью линии задержки

11, а затем опорные сигналы задержанного и незадержанного сигналов, т. е. следующие друг за другом строки (после исключения чередования фаз, осуществляемого в системе цветного телевидения), подаются на фазовый детектор 12. Сигнал на выходе детектора, пропорциональный временной ошибке в начале строки, интегрируют по текущему времени. Вследствие этого получают пилообразный сигнал (в соответствии с линейным приближением изменения временной ошибки вдоль строки, о чем говорилось выше), который в сумме с сигналом управления с выхода фазового детектора 10 служит сигналом управления для управляемой линии задержки.

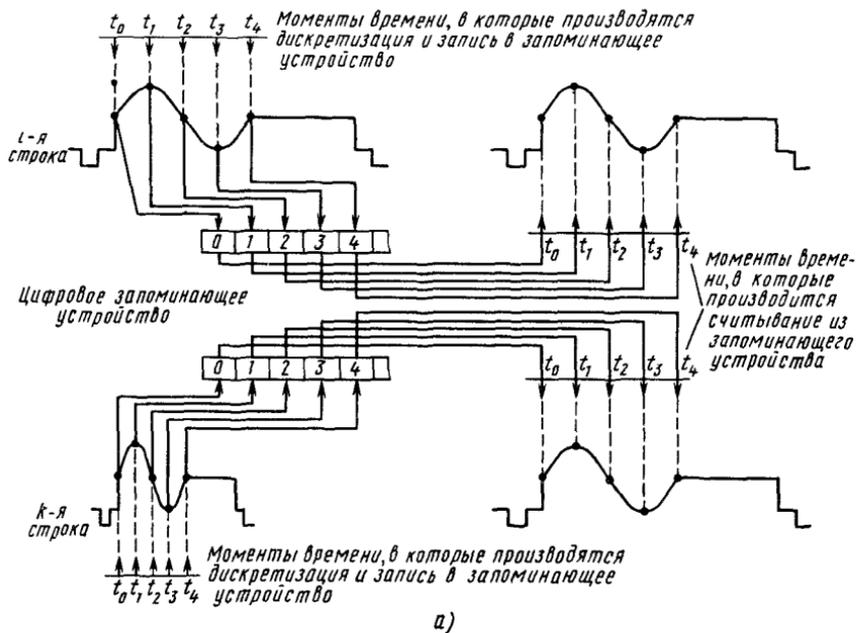
Принцип действия цифрового корректора временных искажений [1, 3, 28, 53] (структурная схема — рис. 76, б) показан на рис. 76, а. Видеосигнал с временной ошибкой с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) преобразуется в цифровой сигнал таким образом, что дискретизация происходит с частотой, синхронной с частотой воспроизводимого сигнала и, следовательно, с временными ошибками, содержащимися в нем. Тактовая частота этого цифрового сигнала используется для управления записью в специальное запоминающее устройство (ЗУ). Запоминающее устройство имеет такую конструкцию, что процессы записи и воспроизведения независимы друг от друга и могут производиться с различными тактовыми частотами. Если считывание сигналов из ЗУ и цифроаналоговое преобразование происходят стабилизированными во времени тактовыми импульсами, синхронными с опорным сигналом, то выходной аналоговый сигнал оказывается жестко сфазированным с опорным сигналом, т. е. не имеет временных искажений.

Есть много разнообразных методов получения последовательности тактовых импульсов, содержащих временные ошибки. Один из них заключается в использовании управляемого генератора, частота которого равна утроенной частоте цветовой поднесущей (для системы PAL 13,3 МГц). (В большинстве новых устройств частота дискретизации  $4f_{цп}$ , так как с точки зрения улучшения качественных показателей видеомагнитофона данное соотношение предпочтительнее.)

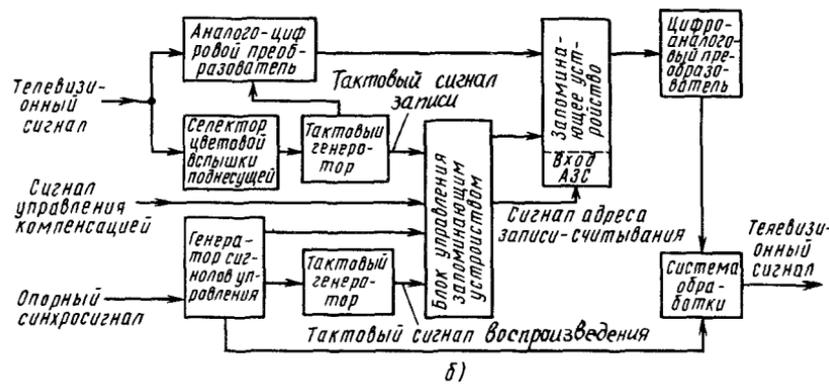
Частота генератора регулируется сигналами временной ошибки, пропорциональными отклонениям длин следующих друг за другом строк. В другом методе генератор синхронизируется по фазе опорным сигналом. Этот метод более точный, но здесь необходимо отдельно позаботиться о том, чтобы система работала и в отсутствие опорного сигнала.

Обычно аналого-цифровой преобразователь — это линейный восьмибитовый преобразователь. При этом для полного цветового телевизионного сигнала обеспечивается отношение размаха телевизионного сигнала к эффективному значению флуктуационной помехи (отношение сигнал-шум) приблизительно в 60 дБ. Таким образом, имеется достаточный запас по шумам по сравнению с аналоговым каналом, в котором это отношение равно 40–50 дБ.

Известны, однако, и системы коррекции, в которых разделяют видеосигнал на составляющие  $Y$ ,  $U$  и  $V$ , а затем их по отдельности квантуют с точностью 8 бит на отсчет [53]. При 8-битовом квантовании и при частоте дискретизации 13,3 МГц для хранения одной строки необходима емкость памяти в 1 кбайт. В качестве памяти используются регистры сдвига. Но поскольку



а)



б)

Рис. 76. Цифровой корректор временных искажений:  
а — принцип действия; б — структурная схема [ 53 ]

пригодные для организации требуемой емкости памяти регистры сдвига обладают малым быстродействием, то после аналого-цифрового преобразования 8-разрядный параллельный код преобразуют в 24-разрядный параллельный код. При этом тактовая частота уменьшается в 3 раза. Хранение видеосигнала в цифровой форме открывает новые возможности для компенсации выпадений. Диапазон регулирования цифрового корректора временных ошибок определяется емкостью и архитектурой памяти. Регистр сдвига одновременно может срабатывать под действием только одного тактового импульса.

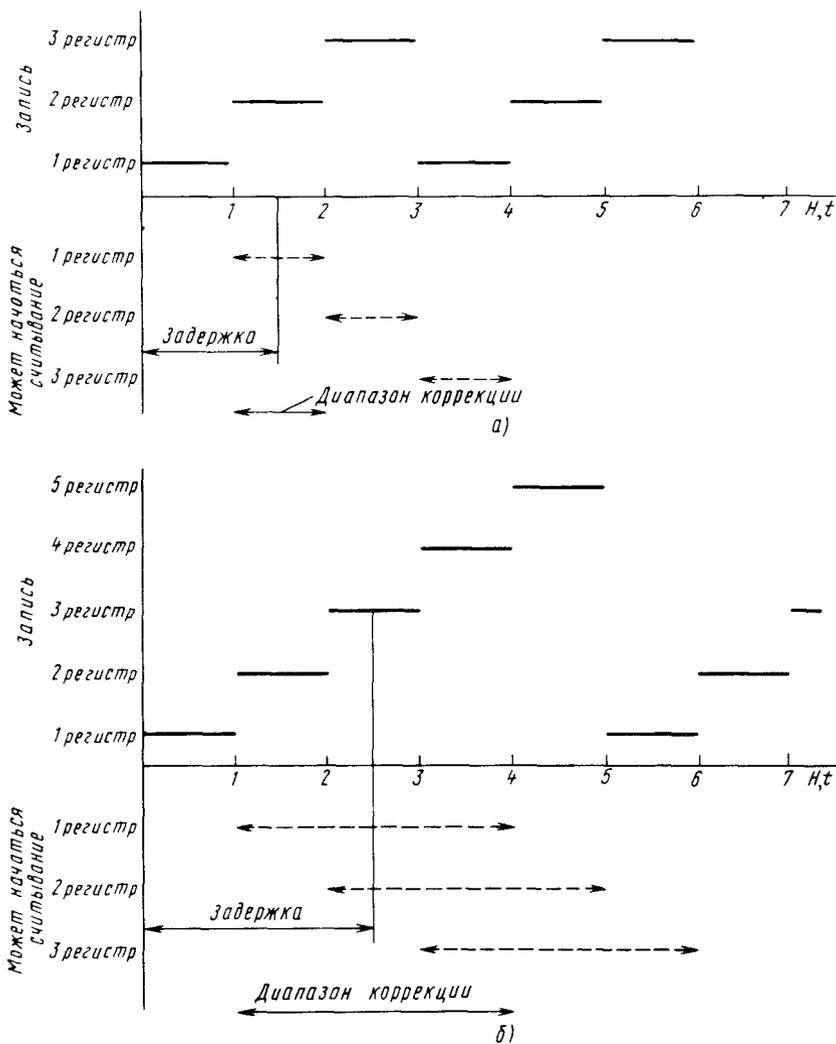


Рис. 77. Задержка и диапазон коррекции цифрового корректора временных искажений, выполненного на трех (а) и пяти (б) регистрах

Поэтому минимальная емкость памяти составляет три отдельные строки. Диапазон регулирования в этом случае равен  $\pm 1/2$  строки, а задержка системы тоже  $1/2$  строки. У памяти емкостью  $n$  строк может быть достигнут диапазон регулирования  $\pm (n - 2)/2$  при собственной задержке  $n/2$  строки (рис. 77). В случае ЗУ с произвольной выборкой достаточно иметь объем памяти в одну строку. Однако здесь необходимо продумать и организовать формирование адреса записи и считывания, что, естественно, не требуется в случае

использования регистров сдвига. Теоретически объем памяти может быть меньше одной строки (регистр сдвига длиной меньше одной строки, ЗУ с произвольной выборкой объемом менее одной строки); однако в этом случае исключается возможность компенсации выпадений.

По данным, имеющимся в настоящее время, некоторые цифровые корректоры временных искажений не осуществляют коррекции скоростных ошибок, но возможность создать такую коррекцию имеется. Это справедливо для метода формирования управляющего сигнала при рассмотрении аналогового корректора: задержка на одну строку, сравнение сигналов, интегрирование. С помощью полученного пилообразного сигнала регулируется фаза или тактового импульса записи, или тактового импульса считывания. (Необходимо отметить, что в настоящее время появились корректоры временных искажений, регистры сдвига которых построены на приборах с зарядовой связью — ПЗС.) Данные корректоры занимают среднее положение между аналоговыми и цифровыми. В таких корректорах через определенные промежутки времени берут отсчеты телевизионного сигнала, данный дискретный сигнал проходит через регистр сдвига ПЗС в импульсной форме. Принцип действия построенного таким образом корректора временных искажений совпадает с принципом действия цифровых корректоров. Их конструкция вследствие отсутствия АЦП и ЦАП намного проще, а качество несколько хуже.

Применение цифровых корректоров временных искажений с широким диапазоном коррекции открыло широкие возможности использования полупрофессиональных и даже бытовых видеомагнитофонов для студийных целей. Однако в таких аппаратах с целью ограничения полосы записываемого сигнала обычно производят преобразование сигнала цветности, что, как было показано выше, нарушает жесткую связь между сигналами яркости и цветности. В этом случае, если не принять специальных мер, происходит коррекция временных искажений сигнала цветности, а временные искажения сигнала яркости остаются. Таким образом, для коррекции временных искажений необходимо предварительно восстановить связь между сигналом яркости и сигналом цветности. Часть корректоров временных искажений, появившихся в настоящее время в виде отдельных блоков, содержит необходимые для этого дополнительные узлы.

## 2.5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

### **Стоп-кадр, замедленное и ускоренное воспроизведение**

Для формирования телевизионных программ часто необходимо обеспечить возможность изменения направления и скорости воспроизведения изображения, что связано, с одной стороны, с замедлением, ускорением, стоп-кадром, обратным ходом и т. д. для получения трюков и с другой — с ускорением для быстрого отыскивания и точного опознавания места склейки при монтаже программ. Эти две задачи, естественно, выдвигают противоположные требования к качеству изображения. Если для быстрого поиска необходимого кадра достаточно иметь хотя бы черно-белое изображение, то для

трюковых программ необходимо качество изображения, соответствующее студийным требованиям.

Из-за заданной временной структуры телевизионного сигнала изменение скорости воспроизведения не означает, например, изменения частоты смены кадров как в процессе записи, так и в процессе воспроизведения. В случае ускоренного или замедленного воспроизведения частота кадров, полей и строк и временные соотношения в пределах поля должны быть такими же, как при воспроизведении с нормальной скоростью. Это означает, что изменения скорости воспроизведения можно достигнуть только с помощью изменения содержания изображения. При ускоренном воспроизведении производят пропуск полей или части полей, а при замедленном воспроизведении осуществляют повтор полей или частей полей.

Повтор или пропуск полей требует последующей обработки, поскольку структура четных и нечетных полей различна:

а) между нечетными и четными полями фронт кадрового синхроимпульса попадает между двумя строчными синхроимпульсами, а между четными и нечетными полями фронты строчного и кадрового синхроимпульсов совпадают. Таким образом, если поле повторяется, то целесообразно после уравнивающих импульсов кадровой синхрогруппы ввести задержку на  $1/2$  строки и после уравнивающих импульсов следующей кадровой синхрогруппы исключить эту задержку для того, чтобы из четного получить нечетное или из нечетного — четное поле и таким образом восстановить стандартную структуру кадра (рис. 78);

б) при записи сигналов цветного телевидения ситуация более сложная (рис. 79). Сигналы системы PAL из-за построчной смены фазы цветоразностных сигналов и сигналы системы SECAM из-за построчной смены передаваемых цветоразностных сигналов и построчной смены частоты цветовой поднесущей имеют период, равный четырем полям. Это легко прослеживается по

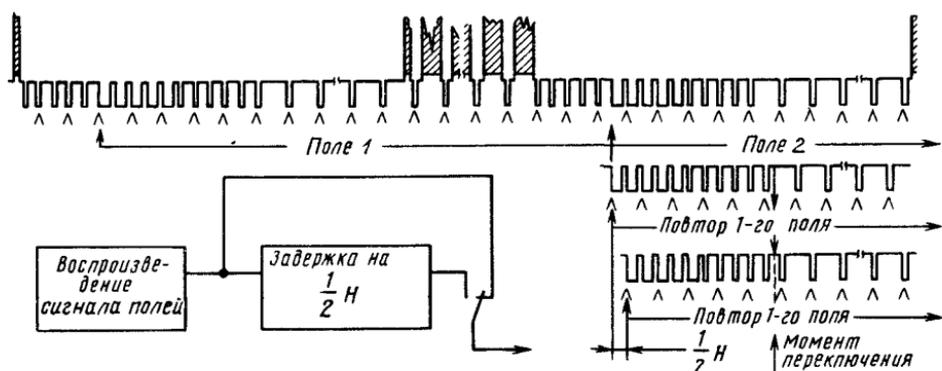


Рис. 78. Преобразование сигнала полей черно-белого телевидения, состоящее из введения или исключения задержки на полстроки. Показан оптимальный момент переключения на сигнал, поступающий с задержкой, для случая, когда сигнал 1-го поля преобразуется в сигнал 2-го поля. Для другого случая момент переключения получается исходя из аналогичных рассуждений

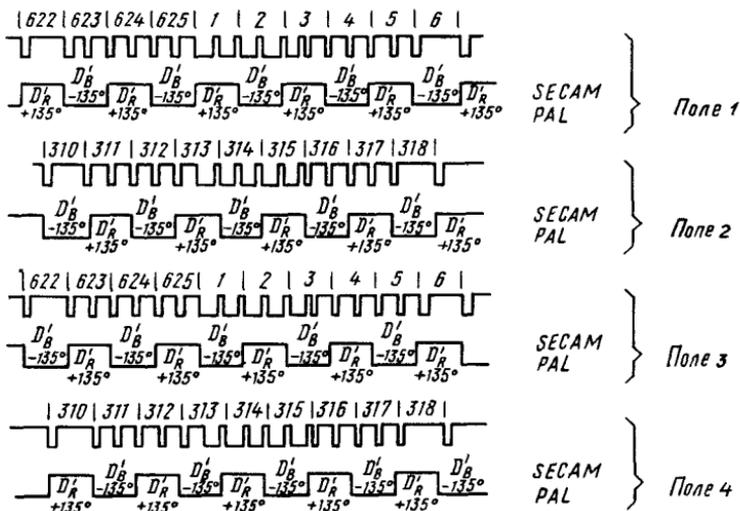


Рис. 79. Последовательность, состоящая из четырех полей в системах SECAM и PAL. В этих двух системах цветного телевидения передача цвета происходит с изменением от строки к строке, а число строк в кадре—нечетное, поэтому обе системы имеют период передачи полного изображения, равный четырем полям. Для большей наглядности фаза вспышки цветной поднесущей для сигналов системы PAL показана даже для тех строк, где вспышка гасится. Аналогично и для сигнала системы SECAM, хотя в области кадрового гасящего импульса в полном сигнале системы SECAM сигнал цветности не передается

рисунку, однако и здесь поля могут преобразовываться. Для этого необходимо периодически обеспечивать задержку на полную строку. В табл. 7 представлены данные [22] минимальных значений задержки, необходимых для преобразования полей сигналов в системах SECAM и PAL. Данные, приведенные в таблице, нуждаются в дополнении для сигналов системы PAL. В случае сигнала системы PAL необходимо обеспечить задержку на 112 нс (полпериода поднесущей) для каждого двух кадров. Если пренебречь составляющей  $f_{\text{пол}}/2$ , то

$$f_{\text{цп}} = \frac{1135}{4} f_{\text{стр}} = \frac{1135 \cdot 625}{8} f_{\text{пол}} = (1135 \cdot 625) \frac{f_{\text{пол}}}{8},$$

т. е. частота цветовой поднесущей кратна  $f_{\text{пол}}/8$ . Таким образом, расположение кадрового синхроимпульса и фазовое состояние поднесущей совпадают только через 8 полей. Через каждые 4 поля фазовый сдвиг составляет полпериода. Аналогичные проблемы возникают и в системе SECAM. Вследствие коммутации фазы поднесущих в каждой третьей строке сигнал системы SECAM имеет период 6 полных кадров. Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что условием решения проблемы ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра является обеспечение возможности преобразования сигналов полей. Для этого необходимо опознать, какое поле

Т а б л и ц а 7. Минимальная задержка, необходимая для преобразования сигналов полей в системах SECAM и PAL ( $x \leq 1$ )

Записанное поле	Воспроизводимое поле			
	1	2	3	4
1	0	$-\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
2	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	1
3	1	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$
4	$-\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0

П р и м е ч а н и е. Задержка измеряется числом периодов строк. Отрицательная задержка означает опережение за счет исключения соответствующей задержки.

в действительности воспроизводится, а из задания режима воспроизведения определить требуемый вид воспроизводимого поля. На основании этого задается и метод преобразования, который означает введение задержки  $-1/2$ ,  $+1/2$  или  $1H$  или дополнительной задержки на 112 нс. Логическая таблица таких операций легко может быть составлена на основании вышеизложенного.

При этом непосредственной задачей технических средств записи, согласно определенным стандартам на телевизионный сигнал, является повторное воспроизведение кадров или воспроизведение с пропуском полей.

Для несегментированных систем эта задача решается относительно просто: необходимо изменить скорость движения ленты.

Это приводит к двум последствиям:

изменяется траектория движения видеоголовки по отношению к строчкам записи, расположенным на ленте;

изменяется относительная скорость головка—лента.

Составляющая скорости перемещения ленты, перпендикулярная направлению движения видеоголовок, имеет вид

$$v_{лс} = v_n \sin \varphi \approx v_n \sin \alpha. \quad (82)$$

Она определяет смещение между строчками, т. е. смещение за одно поле:

$$v v_{лс} = v v_n \sin \varphi = c, \quad (83)$$

совпадает с шагом строчек записи.

Изменения траектории движения видеоголовки, возникающие вследствие изменения  $v_n$  (см. 83), хорошо видны на рис. 80.

Например, изменение скорости движения от  $v_n$  до нуля или до  $2v_n$  приводит к тому, что траектория движения видеоголовки за время одного поля

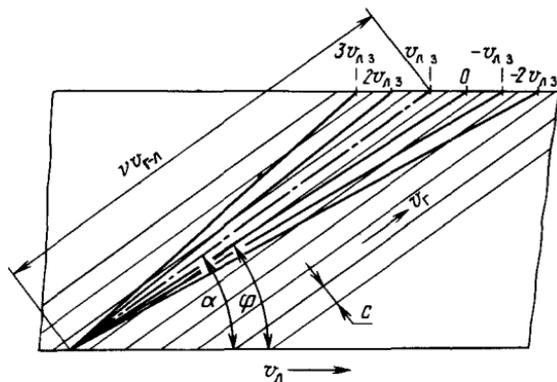


Рис. 80. Изменение траектории движения видеоголовки вследствие изменения скорости движения ленты в случае, когда изменение скорости движения ленты кратно номинальной скорости движения ленты при записи  $v_{л.з}$

смещается как раз на величину шага строчек записи, записанных при номинальном значении  $v_{л.з}$ .

В форматах записи с ненулевым межстрочным интервалом перемещение головки с отклонением от номинальной траектории при пересечении видеоголовкой двух или нескольких строчек записи не нарушает непрерывность последовательности строчных синхроимпульсов за счет соответствующего расположения синхроимпульсов на строчках записи. Однако когда головка пересекает межстрочный интервал видеофонограммы и уровень ЧМ сигнала снижается ниже уровня ограничения, возникают шумовые всплески длительностью в несколько строк.

Исходя из геометрических соотношений можно легко показать, что, если скорость движения ленты при воспроизведении

$$v_{л.в} = \left(1 + \frac{1}{n}\right) v_{л.з}, \quad (84)$$

где  $v_{л.з}$  — скорость движения ленты при записи и  $n$  — положительное или отрицательное целое число, полосы помех могут быть сдвинуты из активных частей строк в интервалы гашения.

Стоп-кадр является достаточно обычным режимом в бытовых видеомагнитофонах. В отдельных типах аппаратов полосы помех на изображении устраняются с помощью смещения ленты вручную, в других — с помощью автоматической системы стоп-кадра [78].

Полностью помехи могут быть устранены регулированием угла протягивания ленты, что позволяет компенсировать изменение наклона траектории движения ленты. Угол протягивания ленты может изменяться, например, при подъеме или опускании направляющих элементов, принимающих ленту с барабана блока вращающихся головок [108].

В аппаратах с системами автотрекинга изменение скорости движения ленты не вызывает выпадения сигнала до тех пор, пока наклон траектории находится в диапазоне перемещения пьезоэлемента, перемещающего головку. Однако необходимо позаботиться о том, чтобы системы с большим диапазо-

ном перемещения обеспечивали попадание на соответствующую данному режиму работы строчку записи. Управление производится таким образом, что на пьезоэлемент, перемещающий головку, подается заранее определенный для выбранного режима работы номинальный управляющий сигнал и система автоматического регулирования осуществляет коррекцию только при отклонении от номинальной траектории.

Здесь следует отметить, что в режиме стоп-кадра система автотрекинга пригодна не только для повторного воспроизведения одного поля, но и целого кадра. Для этого необходимо, чтобы при неподвижной ленте головки перемещались то по одной, то по другой (соседней) строчке записи [120]. Повторы одного поля или целого кадра субъективно воспринимаются по-разному. При повторе одного поля "экспозиционное время" движения составляет 20 мкс. Таким образом, даже достаточно быстро перемещающийся объект дает четкое изображение. Однако разложение изображения при этом хуже, так как две соседние строки всегда содержат одинаковую информацию. При повторе полного кадра с быстрым движением в сюжете искажения изображения больше, но изображение полноценное. Такой режим работы с успехом может быть использован для передачи диапозитивов.

В системах без межстрочных промежутков для увеличения переходного затухания между строчками записи используется наклонное расположение головки. По-видимому, это препятствует воспроизведению со скоростью ленты, отличной от номинальной, так как головка А (угол рабочего зазора головки +  $\beta$ ) не может воспроизвести запись с дорожки В (угол рабочего зазора головки -  $\beta$ ). Однако более тщательный анализ показывает, что наклонное расположение рабочего зазора головки не является недостатком, а, наоборот, — преимуществом с точки зрения режимов ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра.

В случае формата записи без межстрочных промежутков скорость ленты при воспроизведении, обеспечивающая воспроизведение сигналов без выпадения, определяется следующей формулой:

$$v_{л.в} = \left(1 + \frac{2}{n}\right) v_{л.з}. \quad (85)$$

Это означает, что диапазон изменения скоростей шире и может достигать от  $-v_{л.з}$  до  $3v_{л.з}$ , в то время как в предыдущем случае согласно (84) — от нуля до  $2v_{л.з}$ . Траектории движения видеоголовки, соответствующие  $v_{л.в} = 3v_{л.з}, 2v_{л.з}, 0, -v_{л.з}$  ( $n = 1, 2, \infty, -2, -1$ ), приведены на рис. 81. Видно, что при этих скоростях:

1. Может быть выбрана такая траектория движения видеоголовок, при которой как головка А, так и головка В перемещаются по соответствующим строчкам записи А и В. Теоретически сигнал полностью пропадает только в одной точке. Вместе с тем хотя видеоголовки при этих траекториях захватывают частично и соседние строчки записи, помех не возникает, поскольку видеоголовки установлены наклонно.

2. В ходе перемещения ленты относительное положение траектории движения видеоголовки и строчки записи не изменяется и периодически повторяет-

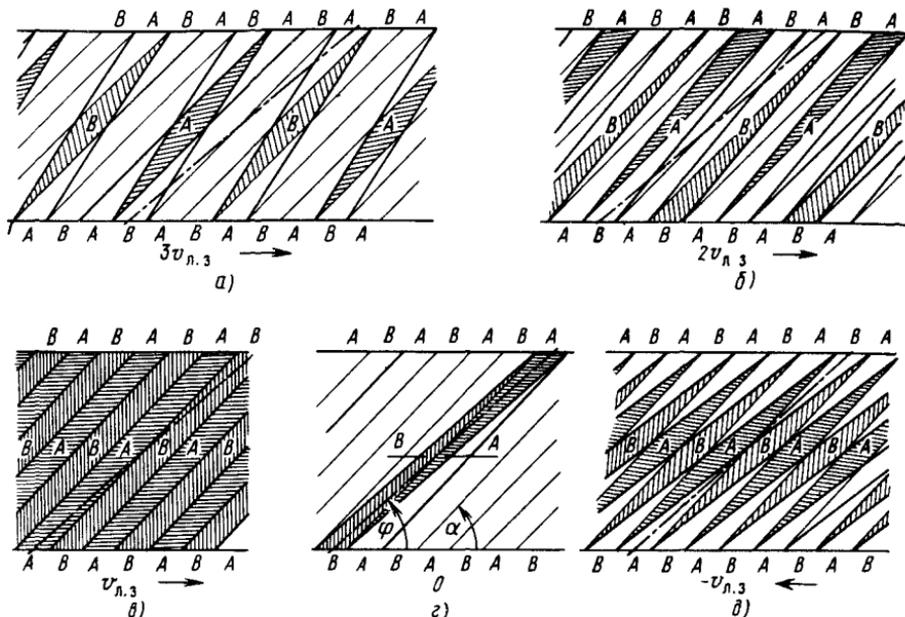


Рис. 81. Площадь, перекрываемая на строчках записи А и В видеоголовками А и В в случае, когда скорости движения ленты при воспроизведении и записи отличаются

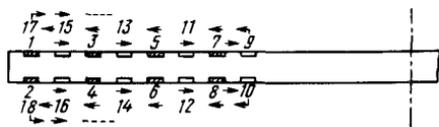
ся. При больших значениях  $n$  период повторения захватывает все больше строчек записи и видеоголовка начинает перемещаться по строчке записи большей длины. Однако головка А никогда не сходит со строчки записи А, так же как и головка В — со строчки записи В.

Из рис. 81 видно и то, что в системах без межстрочных промежутков при таких скоростях воспроизводятся друг за другом поля, а при стоп-кадре — полные кадры. В случае сигналов цветного телевидения здесь также необходимо преобразование сигналов полей.

Составляющая скорости перемещения ленты, направленная в сторону движения видеоголовки, при изменении скорости движения ленты влияет на относительную скорость головка—лента. Данное изменение при воспроизведении стоп-кадра может быть скомпенсировано изменением скорости вращения барабана блока вращающихся головок [78]. В профессиональных устройствах временные искажения устраняются с помощью корректоров временных искажений с большим диапазоном коррекции (10...20 строк).

В сегментированных системах для воспроизведения даже одного поля необходимо перемещать ленту. Для того чтобы головка прошла в первоначальной последовательности вдоль строчек поля без пропуска или повтора, скорость движения ленты при воспроизведении должна равняться скорости движения ленты при записи. Режимы ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра в этих форматах записи могут быть реализованы только с помощью промежуточных запоминающих устройств.

Рис. 82. Расположение дорожек на видео-диске. Схематически показан разрез видео-диска, числа обозначают порядковые номера полей, записанных на соответствующих дорожках. Видно, что процесс накопления информации непрерывный. Ширина дорожек записи на таких видео-дисках составляет 0,2 мм



В период господства четырехголовочных видеоманитофонов в качестве промежуточных запоминающих устройств использовались только магнитные диски. Видеоманитофоны с записью на магнитные диски — это самостоятельные устройства, предназначенные для записи телевизионных сигналов с любого источника сигналов, а также для ускоренного и замедленного воспроизведения в прямом и обратном направлениях и для воспроизведения стоп-кадра. Время записываемой программы составляет несколько раз по 10 с [31, 112].

Магнитные диски представляют собой алюминиевые диски, покрытые с двух сторон магнитным слоем NiCo и износостойким защитным слоем. Для каждой стороны диска предназначается отдельная головка, перемещающаяся в радиальном направлении. Дорожки записи видеосигналов представляют собой концентрические окружности. Каждая дорожка содержит одно поле. Головки записывают (или воспроизводят) попеременно: когда одна из головок работает, вторая смещается на другую дорожку, которая является не соседней, а следующей за ней (рис. 82). Таким образом обеспечивается непрерывность записи и исключается необходимость возврата головок за время одного поля с последних внутренних дорожек на внешние начальные дорожки записи.

Емкость магнитного запоминающего устройства увеличивается за счет увеличения количества дисков. На практике лучше всего зарекомендовали себя системы с двумя магнитными дисками. Здесь в процессе записи принимают участие все четыре головки. Каждая головка включается через четыре поля. За время трех полей осуществляются перемещение на соседнюю, а затем на следующую дорожку и стирание дорожки перед записью. В процессе воспроизведения стирание, естественно, не производится.

Режим стоп-кадра в данной системе не требует особых пояснений. Замедление воспроизведения осуществляется многократным воспроизведением одного поля. Здесь можно установить замедление в нецелое число раз. Например, для замедления в 2,5 раза необходимо одно поле воспроизвести два раза, а второе — три раза. Для изменения направления движения следует воспроизводить поля в обратной последовательности.

Ускорение движения ограничивается механизмом вращения видео головок. Поэтому для ускоренного воспроизведения при записи необходимо пропускать поля.

Видеоманитофоны с магнитными дисками имеют точно такую же схему ЧМ канала, как катушечные и кассетные видеоманитофоны. Параметры данной системы совпадают с параметрами четырехголовочной системы записи

НВ. В аппарате имеются блоки преобразования полей и корректор временных искажений. Видеомагнитофоны с магнитными дисками с большим успехом используются для записи неподвижных изображений, а также для воспроизведения диапозитивов, которые широко применяются в телевизионных программах. С помощью этого можно полностью исключить ручную выборку диапозитивов и установку их в требуемой последовательности и т. д. Последовательность стоп-кадров, необходимых для длительных программ, может быть запрограммирована, а прогон программ — автоматизирован. В системе, которая была описана в [24], для этих целей использовались сменные диски с емкостью памяти 300М байт, с той лишь разницей, что скорость вращения блока дисков синхронизировалась кадровыми синхроимпульсами.

Запись изображения осуществляется в цифровой форме с частотой дискретизации  $3f_{цп}$ . Блок содержит 10 дисков, одновременно вращается 3 из 20 головок. Система автотрекинга одной головки служит для получения опорного сигнала; каждая из головок записывает сигнал одного поля. Все устройство, состоящее из двух блоков дисков памяти, пригодно для одновременного хранения 1472 диапозитивов и для их воспроизведения по заданной программе.

Рассмотрение режимов ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра будет неполным, если не упомянуть о полупроводниковых запоминающих устройствах. Достигнутый уровень микроэлектроники позволяет создать устройства с приемлемыми размерами для хранения полного кадра, что соответствует емкости памяти 4,24М байт при частоте дискретизации  $3f_{цп}$  и 8-битовом кодировании. Данная емкость памяти с учетом более умеренных требований к качеству некоторых режимов работы может быть уменьшена примерно на половину. Таким образом, создание запоминающего устройства не представляет большой трудности. Вопрос заключается только в том, каким образом с помощью одного полного кадра, находящегося в запоминающем устройстве, можно осуществить режимы ускоренного и замедленного воспроизведения и стоп-кадра в сегментированных системах. Ответ можно дать на основании [51, 127]. Результаты, приведенные в них, относятся к формату записи В. Система для воспроизведения стоп-кадра воспроизводит выбранный кадр с нормальной скоростью, затем движение ленты прекращается, а спустя 5 с останавливается и барабан блока вращающихся головок. Необходимое изображение воспроизводится из запоминающего устройства в течение выбранного промежутка времени. Большим преимуществом данного решения является то, что при воспроизведении стоп-кадра лента используется точно так же, как и при обычном воспроизведении, а в сегментированных системах, где нет цифрового запоминающего устройства, для воспроизведения стоп-кадра головка многократно проходит по одной и той же строчке записи, что сказывается на состоянии данного участка ленты.

Замедленное воспроизведение может быть реализовано как серия последовательных стоп-кадров. Это обеспечивается соответствующим перемещением ленты.

В формате записи В полный кадр занимает 12 строчек записи, а за это время лента перемещается на 9,6 мм. В режиме замедленного воспроизведения

лента до начала выделенного для замедления участка перемещается с номинальной скоростью. После его индикации первый кадр записывается в цифровое запоминающее устройство. Затем привод останавливается, меняет направление и лента подается назад примерно на  $2/3$  кадра (6,4 мм) и снова останавливается, находясь в режиме ожидания на протяжении времени, соответствующего замедлению. После возобновления движения ленты, пройдя 6,4 мм, вновь набирает номинальную скорость. Происходит запись следующего кадра, затем вновь изменение направления, обратный ход и ожидание. Режим замедленного воспроизведения иллюстрируется на рис. 83. Данный принцип применим и для режима воспроизведения в обратном направлении. Реализованный рабочий диапазон  $1/2v_{п.з} \dots -1/4v_{п.з}$ .

Зная расположение строчек записи в формате В, с помощью метода, представленного на рис. 80, можно установить, по какой строчке поля перемещается головка при какой-то заданной скорости перемещения ленты. Увеличение скорости движения ленты в целое число раз приводит к тому, что только несколько строк воспроизводится без искажения, в то время как, например, при увеличении скорости в 1,6 раза воспроизведенный сигнал содержит все

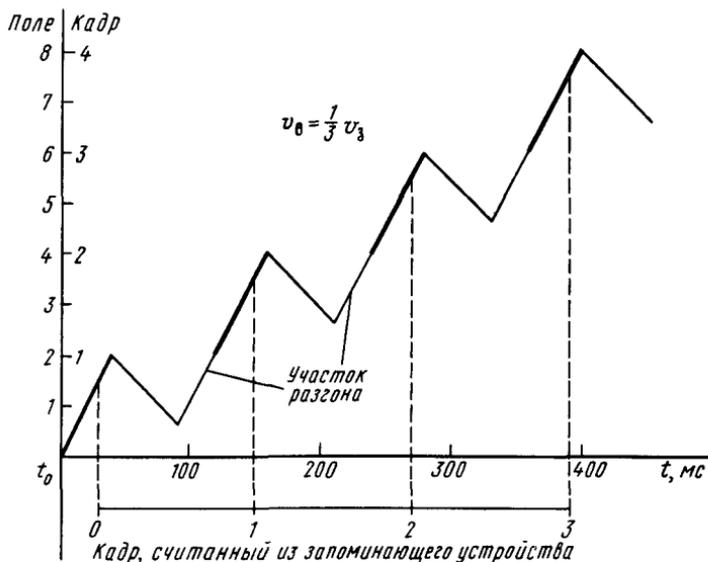


Рис. 83. Замедленное воспроизведение при последовательном воспроизведении стоп-кадров в видеомагнитофоне, работающем по формату В. Начиная с точки  $t_0$ , первый кадр с видеомагнитофона поступает в полупроводниковое запоминающее устройство, при записи в запоминающее устройство второго кадра на его выходе уже появляется первый кадр. В случае воспроизведения с уменьшенной в три раза скоростью записанный в запоминающее устройство кадр считывается три раза; в это же время лентопротяжный механизм подает ленту в обратном направлении, чтобы перед следующим кадром образовался отрезок ленты, необходимый для разгона ленты перед воспроизведением второго кадра. После этого лента в соответствии со степенью замедления определенное время находится в состоянии покоя, а затем начинаются процесс воспроизведения следующего кадра, запись его в запоминающее устройство [127]

скорость, местоположение монтажного импульса, а также угловое положение барабана блока вращающихся головок однозначно определяют, какую строку полукадра считывает головка в заданный момент времени. А эта информация относится как раз к адресу той области полупроводникового запоминающего устройства, в которую и должна попадать данная строка. Таким образом, поступающая с ленты информация может быть упорядочена в запоминающем устройстве в нужной последовательности. И при считывании из запоминающего устройства получено неискаженное изображение. При соответствующем подборе скоростей данный принцип пригоден и для режимов ускоренного и замедленного воспроизведения как в прямом, так и в обратном направлениях. Диапазон изменения скорости воспроизведения по отношению к номинальной скорости составляет  $\pm 12$  раз.

### **Монтаж видеофонограмм**

В ходе развития любой системы записи рано или поздно возникла необходимость в добавлении, замене или исключении части ранее записанной информации. Любая из этих операций должна осуществляться таким образом, чтобы при последующем воспроизведении места "склеек" не были заметны. В звукозаписи и в кинематографе магнитофонная лента или пленка разрезается, подгоняется и склеивается. Зная, какие используются в видеомагнитофонах головки, скорость движения ленты, ширину намагниченных строчек записи и их расположение, механическую резку и склейку лент можно производить только в четырехголовочном формате записи, а в наклонно-строчных системах такой метод монтажа не реализуется. Решение, следовательно, нужно искать в электронных методах монтажа.

Суть электронного монтажа заключается в том, что начиная с определенной точки записи имеющаяся информация стирается, а на это место записывается новая. В режиме продолжения запись заканчивается с окончанием новой записи, в режиме вставки за новым участком следует имеющаяся на ленте запись, которую необходимо сохранить. Таким образом, при продолжении записи необходимо осуществить только один переход от имеющейся записи к новой. При вставке возникают два перехода. В этом случае необходимо обеспечить возможность возврата от новой записи к имеющейся, т. е. целесообразно максимально точно выдерживать совпадение параметров новой записи с параметрами имеющейся записи на протяжении всего отрезка вставки. В случае же продолжения записи параметры должны совпадать только в области перехода.

Форматы записи однозначно определяют, как на ленте располагаются на участках, совпадающих во времени, сигнал изображения, режиссерский сигнал, сигнал управления и звуковые сигналы. Электронный монтаж должен обеспечивать соответствующую непрерывность всех четырех сигналов таким образом, чтобы в намеченный момент времени видеомагнитофон из режима воспроизведения переключался в режим записи, ранее произведенная запись стиралась и вместо нее записывались новые сигналы (обычно с другого видеомагнитофона). Данная операция связана со следующими трудностями:

а) стирание изображения, звука, вспомогательных сигналов происходит не по одной и той же линии рабочего зазора соответствующих записывающих головок, а стирающими головками, смещенными на некоторое расстояние в направлении, противоположенном движению ленты. Это означает, что, когда выбранное для монтажа место оказывается перед стирающей головкой, необходимо начать стирание, а когда оно оказывается перед записывающей головкой — включить запись. Для четырех видов сигналов задержка различна. (Расположение стирающих головок, как правило, не стандартизируется, так как они не влияют на взаимозаменяемость записи. В рамках одного и того же формата записи и даже между различными типами видеомagneтофонов расстояние записывающая головка — стирающая головка может меняться, но это затрагивает только схемное решение данного типа видеомagneтофона.) ;

б) в режиме воспроизведения ведущий вал, вернее, система автоматического регулирования скорости вращения барабана блока вращающихся головок управляется опорными сигналами, отличными от опорных сигналов, используемых в режиме записи. Следовательно, при смене режимов работы необходимо обеспечить непрерывную, без выпадения и фазовых скачков подачу опорных сигналов;

в) наиболее часто монтаж означает согласование двух видеозаписей, и момент монтажа для каждой записи фиксирован. Следовательно, в момент начала монтажа определенные участки обеих записей должны находиться перед записывающей и соответственно воспроизводящей головкой. Кроме того, в данный момент времени оба аппарата должны находиться в стабильном рабочем состоянии и в режиме синхронизма.

Режим монтажа должен иметь большой набор вспомогательных режимов. Поскольку в процессе монтажа часть имеющейся записи безвозвратно уничтожается, необходимо обеспечить возможность контрольных репетиций без порчи материала. Наибольшие трудности связаны с обеспечением задержек, упомянутых в пункте в). Следующая трудность — это обеспечение раздельной работы со звуковыми сигналами и/или сигналами управления и сигналами изображения: монтаж только сигналов изображения с сохранением звуковых сигналов, монтаж звукового сопровождения, преобразование только сигналов управления и т. д. С технической точки зрения последние режимы не вызывают особых трудностей. Это связано лишь с некоторым усложнением функциональных связей в аппаратуре.

### **Временная задержка переключения режимов записи-воспроизведения**

С целью исключения помех в телевизионном сигнале переключение режимов записи-воспроизведения следует производить во время кадрового гасящего импульса. Условием отсутствия искажений при монтаже является последовательное чередование соответствующих полей или кадров. Этим целям служат расположенные на дорожке сигналы управления монтажными импульсами.

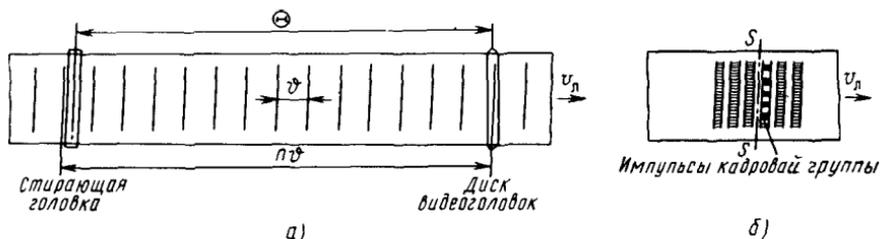


Рис. 84. Относительное расположение стирающей видеоголовки и диска видеоголовки в четырехголовочных видеомагнитофонах (различно в различных типах) (а) и положение рабочего зазора стирающей головки в момент включения тока стирания (б)

В четырехголовочных системах головка, стирающая строчки записи телевизионного сигнала, располагается между диском видеоголовок и подающей катушкой на определенном расстоянии от диска видеоголовок. Рабочий зазор стирающей головки образует с направлением движения ленты, как и строчки записи, угол  $90^\circ 33'$ . Таким образом реализуется стирание строчек записи (рис. 84). Учитывая, что одна строчка записи содержит 16 телевизионных строк, на строчке, следующей за строчкой, содержащей кадровый синхроимпульс, имеются строки, находящиеся в зоне кадрового гасящего импульса. Следовательно, здесь имеется возможность начать новую запись. Таким образом, логика задачи управления сводится к следующему:

необходимо выделить первую, следующую за командой начала монтажа временную точку, когда рабочий зазор стирающей головки располагается в разделительной полосе между строчкой, содержащей кадровый синхроимпульс, и следующей строчкой. В этот момент необходимо включить режим стирания для подготовки к последующей записи;

необходимо выждать, когда подготовленный к записи участок ленты окажется напротив видеоголовок, и в этот момент следует переключить головки из режима воспроизведения в режим записи.

Расстояние  $\Theta$  между плоскостью видеоголовок и стирающей головкой в рамках заданного типа видеомагнитофона изменяется в определенных пределах, и эти пределы известны. Обозначим расстояние, необходимое для записи полного кадра, через  $\nu$ . Выбираем  $\Theta$  таким образом, чтобы  $\Theta \neq n\nu$ , т. е.

$$(n - 1) \nu < \Theta < n\nu,$$

где  $n$  — целое число. Первый после запускающего процесс монтажа кадровый синхроимпульс включает две схемы задержки. Одна из них имеет время задержки

$$t_1 \approx n\nu - \Theta.$$

Она обеспечивает включение стирающей головки в разделительном межстрочном интервале, следующим за кадровым синхроимпульсом  $n$ -го кадра. Вследствие возможного изменения положения стирающей головки данная задержка может быть отрегулирована в определенных пределах вручную.

Другая схема задержки используется для счета числа кадров. Когда число кадров достигает значения  $n$ , то система переключается из режима воспроизведения в режим записи.

То же самое происходит и при окончании вставки. Первый после команды окончания монтажа кадровый синхроимпульс запускает устройство задержки выключения стирания. Это вновь происходит на линии  $SS$ . Запускается счетчик кадров, который после поступления кадрового синхроимпульса  $n$ -го кадра переключает систему из режима записи в режим воспроизведения.

На практике это реализуется достаточно сложно. С целью повышения точности задержки используют и сигнал тахогенератора диска видеоголовок, что необходимо хотя бы только из-за того, чтобы в процессе запуска и остановки видеомagneтофона на головки в соответствующей последовательности поступали записываемые сигналы. Отдельная схема задержки обеспечивает стирание звуковых дорожек и дорожки сигналов управления, а также служит для включения или выключения записи звуковых сигналов и сигналов управления.

Как уже говорилось выше, для окончательного проведения монтажа необходимы предварительные пробные репетиции. Они заключаются в следующем: под действием команды начала монтажа запускается только счетчик кадров. При достижении  $n$ -го кадра система вместо воспроизведенного сигнала подает на вход видеоконтрольного устройства входящий сигнал. Таким образом, на видеоконтрольном устройстве воспроизведется то, что было бы при воспроизведении смонтированной ленты.

В наклонно-строчных системах неискаженный монтаж можно осуществить в период гасящего импульса при условии, что стирающие головки располагаются на барабане блока вращающихся головок.

Поскольку лента намагничивается записываемым ЧМ сигналом до насыщения, появляется возможность стирания старой записи без помощи стирающей головки способом "наложения записи". Однако этот способ не обеспечивает полного стирания даже и тогда, когда старые и новые строчки записи полностью перекрывают друг друга. В случае схода головки со строчки записи происходит только частичное стирание, вследствие чего возникают интерференционные помехи. Наложение применялось в комбинации со стиранием специальной головкой, установленной вне вращающегося барабана видеоголовок, причем рабочий зазор головки был перпендикулярен направлению движения ленты. Следовательно, стирание способом наложения записи распространяется только на небольшой участок ленты [112].

Расстояние между записывающей и стирающей видеоголовками здесь очень маленькое, т. е. оно значительно меньше расстояния между стирающей звуковой головкой и записывающей звуковой головкой. Именно последнее обстоятельство определяет время задержки. Например, в видеомagneтофонах, записывающих по формату  $B$ , расстояние между рабочими зазорами стирающей и записывающей звуковых головок по времени соответствует 80 мс (четыре поля). Первый после команды начала монтажа кадровый синхроимпульс запускает систему стирания звука. Спустя два кадровых синхроимпульса включается система записи звука и видеосигнала, за 1,5 мс до начала

записи изображения включается система стирания сигнала изображения. И в этом случае для управления системой задержки используется сигнал тахогенератора барабана блока вращающихся головок. Этот сигнал находится в однозначной связи с сигналом, имеющимся на ленте при номинальном состоянии системы автоматического регулирования. Он точно определяет момент запуска системы стирания или воспроизведения для того, чтобы "склейка" точно совпала с выбранным местом на имеющейся записи.

### **Работа систем автоматического регулирования**

При разных режимах монтажа (продолжение, вставка) системы автоматического регулирования работают по-разному. Монтаж с помощью вставки — это операция над частью имеющейся записи. В соответствии с этим сигналы, находящиеся на дорожке сигналов управления монтируемого участка ленты, не стираются, а используются, как и в режиме воспроизведения, в качестве опорных сигналов для системы автоматического регулирования ведущего двигателя. Если перед началом монтажа была обеспечена точная установка головки на строчку записи, то управляющий сигнал, использующийся как опорный, должен обеспечивать непрерывность следования вновь записанных строчек и остающихся в начале и в конце нового записанного участка строчек даже тогда, когда по ходу вставляемого участка возникали изменения скорости перемещения ленты. Данный принцип непригоден для видеоманитофонов формата *C*, в которых воспроизводящая головка устанавливается на строчку записи отдельной системой автоматического регулирования. В таких системах в режиме монтажа также необходима точная установка головки на строчке записи, что должно осуществляться переключением в режим воспроизведения головки, обычно используемой для записи, и головки с регулируемым местоположением, которое точно совпадает с местоположением записывающей головки. Из-за исключительно большой длины строчки записи и здесь необходимы достаточно жесткие требования к допустимым отклонениям положения элементов лентопотяжного механизма для того, чтобы на "склейках" строчки оставались непрерывными. Современный уровень развития технологии позволяет обеспечить необходимую точность [69].

При монтаже в режиме продолжения для выполнения новой записи необходимы новые сигналы управления, причем такие, чтобы на "склейке" управляющий сигнал оставался непрерывным. Это связано с большими трудностями особенно в таких случаях, когда скорость первоначальной записи по каким-то причинам близка к границе допуска, так как при этом проявляются сильные отличия между новой и старой записями. Поэтому в четырехголовочных системах в режиме монтажа на участке перед "склежкой" необходимо вручную устанавливать опорное напряжение системы автоматического регулирования ведущего двигателя. В ходе записи система продолжает работать с данным опорным сигналом. Сигнал управления тахогенератора барабана блока вращающихся головок, естественно, записывают.

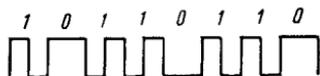
В нормальном режиме воспроизведения синхронизация вращения барабана блока вращающихся головок происходит таким образом, чтобы воспроизводимый телевизионный сигнал опережал на  $1/2 \dots 3$  строки опорный сигнал. Это необходимо для того, чтобы в режиме монтажа коррекция временных искажений и компенсация выпадений производились синхронно с опорными сигналами. Иначе в месте "склейки" в режиме монтажа данное временное отклонение, естественно, вызывало бы искажение. Следовательно, воспроизведенный без задержки телевизионный сигнал необходимо согласовать с входным сигналом, который требуется вставить в запись. Кроме того, следует продумать способ компенсации фазовых искажений, возникающих вследствие статических погрешностей системы автоматического регулирования, т. е. временных искажений в тракте воспроизведения. Для этого в различных устройствах применяются ручные или автоматические системы регулирования.

### Адресно-временной код

Электронный монтаж с помощью двух аппаратов не вызывает особых трудностей, как и запись на режиссерскую дорожку монтируемого участка ленты сигналов, которые в соответствующий момент автоматически включают режим монтажа. Однако даже при записи таких управляющих сигналов необходимо приложить максимум усилий для того, чтобы в момент начала монтажа намеченные на двух различных материалах точки "склейки" располагались против видеоголовок в обоих видеомагнитофонах, находящихся в рабочем состоянии и в синхронизме. Для стабилизации систем автоматического регулирования необходимо определенное время. Следовательно, оба видеомагнитофона должны быть запущены намного раньше. Одновременный запуск может быть осуществлен только в том случае, если оба аппарата в момент запуска будут синхронизированы одинаковыми внешними опорными сигналами. Для предотвращения накопления ошибок, возникающих после пускового периода (опознавание кадра и т. д.), необходимо обеспечить связь между работающим в режиме монтажа аппаратом и телевизионным сигналом воспроизводящего аппарата. Если оба аппарата запускаются одновременно не с помощью внешних опорных сигналов, то работающий в режиме монтажа аппарат может быть запущен только при нестабилизированном состоянии воспроизводящей системы. Здесь проблема заключается не в продолжительности этих процессов, хотя период стабилизации — это секунды, а в том, чтобы на ленте были с большой точностью обозначены места "склеек" для того, чтобы "склейки" осуществлялись должным образом. Воспроизводимость серии монтажных операций обеспечивается тем, что элементарные участки ленты (например, каждый полный кадр) однозначно считаются идентичными.

Для опознавания служит адресно-временной код, записанный на дорожке режиссерского канала, структура которого определена международными стандартами [56, 26]. (Первоначально наряду с разработанным стандартом

80 бит для каждого кадра изображения  
 32 бита потребителей  
 16 бит - синхронизирующее слово  
 26 бит - адресно-временной код данного кадра  
 6 резервных бит  
 Резервные биты - нули



Так записывающей головки



Тактовый интервал (время передачи одного бита)

Адресно-временной код данного кадра		Десятичные значения	Порядковый номер бита		
Единицы кадров	1	0	1	Начало кодового слова	
	2	1	2		
	4	2	3	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	8	3	4		
Десятки кадров	1	7	5	Резервные биты	
	2	8	6		
	Единицы секунд	1	16	7	4 бита, используемые по усмотрению потребителей
		2	17	8	
4		18	9	Резервные биты	
8		19	10		
Десятки секунд	1	24	11	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	2	25	12		
	4	26	13	Резервные биты	
			14		
Единицы минут	1	32	15	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	2	33	16		
	4	34	17	Резервные биты	
	8	35	18		
Десятки минут	1	40	19	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	2	41	20		
	4	42	21	Резервные биты	
			22		
Единицы часов	1	48	23	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	2	49	24		
	4	50	25	Резервные биты	
	8	51	26		
Десятки часов	1	56	27	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
	2	57	28		
			29	Резервные биты	
			30		
Синхронизирующее слово			31	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
			32		
			33	Резервные биты	
			34		
			35	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
			36		
			37	Резервные биты	
			38		
			39	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
			40		
			41	Резервные биты	
			42		
			43	4 бита, используемые по усмотрению потребителей	
			44		
			45	Резервные биты	
			46		
		47	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		48			
		49	Резервные биты		
		50			
		51	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		52			
		53	Резервные биты		
		54			
		55	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		56			
		57	Резервные биты		
		58			
		59	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		60			
		61	Резервные биты		
		62			
		63	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		64			
		65	Резервные биты		
		66			
		67	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		68			
		69	Резервные биты		
		70			
		71	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		72			
		73	Резервные биты		
		74			
		75	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		76			
		77	Резервные биты		
		78			
		79	4 бита, используемые по усмотрению потребителей		
		80			

Рис. 85. Структура 80-битового адресно-временного кода по международному стандарту (содержание резервных битовых слов находится на стадии стандартизации) (а) и используемый при видеозаписи код "Манчестер-1", или бифазный код (б)

SMPTE и носящим такое же название кодом, обычно его называют 80-битовым кодом, использовались и другие коды.)

В стандартах на отдельные коды нормируются как способы записи кода (с подмагничиванием или без подмагничивания, с коррекцией или без нее), так и его уровень. Структура адресно-временного кода показана на рис. 85, а. Для опознавания полного кадра в коде используется метка адресно-временного кода (номер) данного кадра.

Предположим, что в видеомагнитофоне установлены цифровые часы, которые синхронизированы кадровыми синхроимпульсами входного телевизионного сигнала. Сигналы часов попадают на кодовые позиции часов, минут, секунд. Помимо секунд часы считают число кадров, что позволяет получить в пределах секунды двоичное слово единиц кадров и двоичное слово десятков кадров. Естественно, что для заданного участка ленты, вернее, для опознавания кадра нет необходимости, чтобы часы показывали точное время. Отсчет может начинаться от начала катушки с нуля или с любой установленной точки отсчета времени.

И все же начальный момент времени не совсем произвольный. Коды, относящиеся к отдельным кадрам, должны отражать место, занимаемое соответствующими кадрами в последовательности для сигналов систем SECAM и PAL, а также их четность или нечетность. Счет кадров от 0 до 24 для этого непригоден, поскольку после 24 следует 0, т. е. после четного числа вновь следует четное число. Однако поскольку при этом работает и секундомер, то сумма цифр, показываемая счетчиком кадров и секундомером, уже обеспечивает непрерывность выбора четных и нечетных чисел и, следовательно, данная система пригодна для обозначения номера кадра. Стандарты следующим образом фиксируют правило адресации: часы должны быть синхронизованы входным кадровым синхросигналом таким образом, чтобы между значениями А и В нулевого и шестнадцатого бит адресно-временного кода кадров, содержащих 1-е или 2-е поле для сигнала систем SECAM и PAL, было справедливо соотношение  $\bar{A}B + A\bar{B} = 1$ . В некоторых случаях может возникнуть необходимость в обеспечении непрерывности последовательности для сигнала системы PAL, распространяющейся на 8 полей. Условия, необходимые для этого, могут быть сформулированы по аналогии с вышеприведенными соображениями [26].

Длина кодового слова выбирается так, чтобы в нем могли разместиться и закодированные команды. Этим целям служат двоичные слова, используемые по усмотрению потребителей. Другая часть бит зарезервирована для передачи сигналов, которые в дальнейшем могут быть стандартизованы международными организациями, и для синхронизации считывающих устройств.

При записи временной интервал, занимаемый 80-битовым кодовым словом, совпадает с длительностью одного кадра (40 мкс, 625/50 Гц). Отсюда длина тактового интервала, соответствующего передаче одного бита, составляет 5000 мкс. Поскольку для поиска и опознавания отдельных участков необходима ускоренная перемотка, воспроизводимый тактовый интервал может лежать в пределах 10 мкс . . . 5 мс.

Начало кодового слова должно располагаться в пределах кадрового синхроимпульса. Содержание кодового слова относится к кадру, следующему за кадровым синхроимпульсом, т. е. к кадру, совпадающему по времени с кадровым словом. Так как кодовое слово может быть воспринято только в случае, когда известны все биты, получаемая информация всегда имеет задержку на один кадр, т. е. всегда относится к предшествующему кадру. Для того чтобы это не вызывало помех при монтаже, считывающее устройство прибавляет единицу к номеру считанного кадра. Однако команды в битах, используемых по усмотрению потребителя, имеют задержку на один кадр.

С помощью последовательного перемагничивания ленты записывается 80битовый код, причем таким образом, что при записи "0" в начале и в конце тактового интервала обеспечивается перепад. Если записывается сигнал "1", то перепад осуществляется в середине тактового интервала (рис. 85, б).

Записываемые сигналы могут быть получены из обычных бинарных сигналов с помощью простой схемы (рис. 86). Намного сложнее схема декодирования сигнала, и в первую очередь из-за того, что данная операция осуществляется в достаточно широких пределах изменения скорости движения ленты.

Первый этап декодирования заключается в отделении тактовых перепадов сигнала и информационных перепадов. Для решения этой проблемы были предложены две схемы.

На рис. 87 показана структурная схема, реализующая аналоговый принцип.

На вход  $A$  подается воспроизведенный сигнал. После интегрирования и коррекции форма сигнала совпадает с формой тока, протекавшего через записывающую головку. Сигнал дифференцируют и подвергают двухполупериодному детектированию. Таким образом из каждого перепада можно выделить положительный импульс. Данные импульсы сбрасывают в нуль и вновь запускают генератор пилообразного напряжения. В точке  $C$  получают пилообразные сигналы с амплитудой, зависящей от времени между перепадами напряжения в цифровом сигнале: при передаче символа "1" имеем два сигнала с малой амплитудой, а при передаче "0" — один сигнал с большой амплитудой, соотношение между амплитудами 2:1. С одной стороны, пилообразный сигнал подается на схему запоминания максимального значения сигнала и на делитель напряжения, а потом на компаратор напряжения (дифференциальный усилитель), с другой — непосредственно на вход компаратора напряжения.

На выходе компаратора появляются сигналы только тогда, когда прямой сигнал превысит значение сигнала, поступающего с делителя напряжения 3:4. Импульсы, полученные из входного сигнала, приводят в действие  $T$ -триггер, а импульсы компаратора напряжения, поступающие на его вход  $R$ , сбрасывают триггер в нулевое состояние. Таким образом, передние фронты прямоугольных импульсов, появляющиеся на выходе триггера, служат тактовыми импульсами после передачи первого нулевого символа. До тех пор пока на вход поступает только символ "1", частота выходного сигнала в два раза превышает тактовую частоту исходного цифрового сигнала.

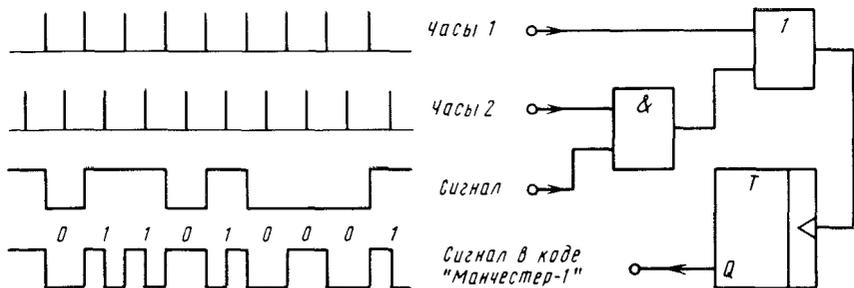


Рис. 86. Схема перекодирования бинарных сигналов в код "Манчестер-1" [112]

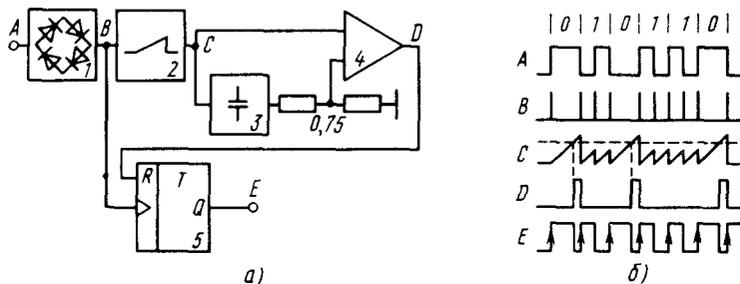


Рис. 87. Декодирование аналоговым методом сигнала адресно-временного кода:  
 а — структурная схема (1 — блок дифференцирования и двухполуторного детектирования; 2 — генератор пилообразного напряжения; 3 — запоминающее устройство максимальных значений сигнала; 4 — компаратор напряжения; 5 — триггер); б — осциллограммы напряжений в различных точках схемы

Схема работоспособна при изменении скорости воспроизведения в пределах 1:25. Этот предел может быть увеличен за счет изменения крутизны пилообразного сигнала в зависимости от скорости воспроизведения. С увеличением скорости крутизну сигнала непрерывно увеличивают или обеспечивают изменение крутизны сигнала в зависимости от скорости.

На рис. 88 показана структурная схема цифрового декодирующего устройства. С помощью счета высокочастотных опорных сигналов схема выделяет те части тактового интервала, в которых могут появляться только тактовые импульсы или только логическое значение символа. Импульсы генератора опорных сигналов 1 тактируют входной сигнал 2 (передние и задние фронты сигнала совмещаются с опорным сигналом) и поступают на делители частоты. Первый делитель 8 осуществляет деление частоты на четыре, а второй 11 — на три. Полученные сигналы подаются на счетчики 9, 12. Сигнал со счетчика 9 поступает в регистр 10, затем в цифровом компараторе 13 сравнивается с сигналом счетчика 12.

Предположим, что сигнал начинается с нулевого символа. Следовательно, в регистре 10 будет записана длина тактового интервала, измеряемая, напри-

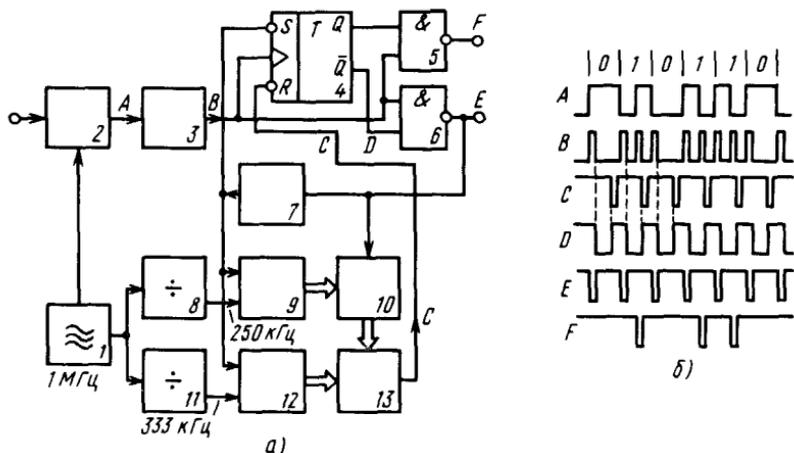


Рис. 88. Декодирование цифровым методом сигнала адресно-временного кода: а — структурная схема (1 — генератор опорного сигнала; 2 — схема тактирования; 3 — блок дифференцирования и двухполупериодного детектирования; 4 — Т-триггер; 5, 6 — схемы И—НЕ; 7 — линия задержки; 8, 11 — делители; 9, 12 — счетчики; 10 — регистр; 13 — компаратор); б — осциллограммы напряжений в различных точках схемы

мер, числом временных интервалов длиной 4 мкс. Счетчик 12 измеряет время, подсчитывая количество интервалов длиной 3,39 мкс. Следовательно, значения этих двух величин совпадают при достижении 66,66 %-ной длительности тактового интервала. В этот момент в точке С появляется импульс, который приводит триггер 4 в нулевое состояние. Благодаря этому схема ИЛИ — НЕ 6 открыта, а схема 5 закрыта. На выходе Е появится тактовый импульс, который через линию задержки 7 опрокидывает триггер. Таким образом, сигнал (символов), возникающий на первом 66,66 %-ном участке тактового интервала, полагает только на выход *F*, а следующий за ним импульс (тактовый) — только на выход *E*, что и требовалось.

Для работы схемы и здесь необходимо, чтобы первый нулевой символ поступил до тех пор, пока выходной сигнал имеет удвоенную частоту. Диапазон скоростей воспроизведения схемы зависит от частоты опорного генератора и объема счетчиков и, следовательно, теоретически может быть произвольным; здесь как раз и проявляется преимущество цифрового метода декодирования.

После выделения тактовых импульсов окончательное декодирование\* кода "Манчестер-1" может осуществляться с помощью простых схем (рис. 89), на выходе которых получается перекодированное при записи в код "Манчестер-1" кодовое слово в натуральном двоичном коде. Анализ кодового слова производится традиционными цифровыми методами, которые здесь не рассматриваются.

\* По существу, здесь идет речь не о декодировании, а о переформировании декодированного сигнала в некоторый заданный формат. — *Прим. ред.*

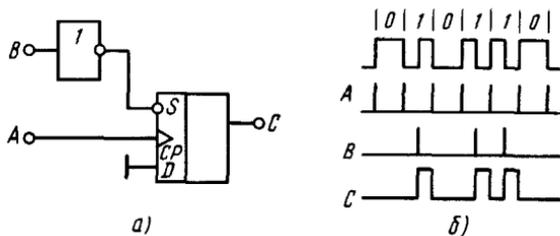


Рис. 89. Формирование адресно-временного кода в двоичном коде из тактовых импульсов и импульсов символов "1":

*а* — структурная схема, состоящая из одного триггера, вход *С* которого находится в состоянии "0", пока на вход *S* не поступит сигнал; этот сигнал устанавливает триггер в состояние "1", а следующий тактовый импульс опрокидывает триггер в "0". Данная схема не увеличивает задержку на половину тактового интервала, связанную со структурой кода "Манчестер-1", но вместе с тем правильный логический уровень, соответствующий символу, появляется только во второй половине тактового интервала (легко создать схему, которая увеличивает задержку на тактовый интервал, однако в этом случае правильный логический уровень появляется уже в начале тактового интервала); *б* — осциллограммы напряжений в различных точках схемы

Монтаж записей, имеющих 80-битовый код, становится проще и надежнее благодаря тому, что с помощью считанного адресно-временного кода в любой момент перед началом монтажа можно определить, действительно ли в момент монтажа перед головками окажутся требуемые участки записи. Если это условие выполнено, то с помощью регулирования скорости одного видеоманитофона обеспечивается согласование соответствующих кодов, а следовательно, синхронизация обоих видеоманитонов. Таким образом, процесс монтажа может повторяться многократно и, используя репетиции, можно подобрать наилучшую точку монтажа. Затем автоматически проводится реальный монтаж.

Благодаря однозначной связи кадра и адресно-временного кода нет необходимости проводить репетицию и реальный монтаж с одними и теми же записями. С целью экономии или лучшего использования дорогих в эксплуатации студийных четырехголовочных видеоманитонов в студиях, например, достаточно широко распространен способ перезаписи программ вместе с адресно-временными кодами со студийного оборудования на полупрофессиональные аппараты. На этих лентах режиссер с помощью репетиций определяет точки монтажа, а затем заносит адреса на перфоленту или записывает на магнитные диски системы автоматического монтажа. После этого остается только установить на четырехголовочные аппараты первоначальные записи и автоматически с помощью адресной перфоленты выполнить необходимый монтаж.

Кодовая система позволяет осуществить одновременное воспроизведение звука и изображения с магнитофона и видеоманитофона при обеспечении точной синхронизации, что раньше было возможно сделать только с помощью техники, в которой использовались ленты с перфорацией. Благодаря этому

при монтаже звук и изображение легко разделяются, а затем вновь совмещаются.

Звуковой канал видеоманитофона, обладающий недостаточно хорошими частотными характеристиками, может быть отключен, а на сигналы изображения могут накладываться разнообразные сигналы источников звука и т. д.

В настоящее время область применения 80-битового адресно-временного кода настолько расширилась, что здесь мы не берем на себя смелость делать даже схематический обзор. Широкое распространение данного адресно-временного кода стало возможным благодаря тому, что он позволил преобразовать управление видеоманитофонами в логические и арифметические операции, а для этого в распоряжении потребителей имеется широкий набор средств вычислительной техники.

## 2.6. ФОРМАТЫ ЗАПИСИ

Формат записи — это упорядоченное расположение на поверхности ленты строчек и дорожек, намагниченных под действием разнообразных сигналов. Описание формата дает однозначное указание, каким образом производится запись или воспроизведение. Стандартизация форматов записи позволяет обеспечить взаимозаменяемость записей, изготовленных различными фирмами, и возможность их воспроизведения на различных видеоманитофонах.

За короткий 20-летний период развития магнитной видеозаписи было разработано большое количество разнообразных форматов записи, и только в профессиональной области наблюдалась определенная стабильность, где долгое время господствовали четырехголовочные системы (поперечно-строчные).

В настоящее время имеется много форматов записи. После продолжительного периода возникли условия, которые поколебали единоличное господство поперечно-строчных форматов, на смену им приходят новые однодюймовые наклонно-строчные форматы, а 3/4-дюймовые форматы, которые до настоящего времени считались непригодными для профессиональных целей, ставят под сомнение и будущее поперечно-строчных форматов. Их создание стало возможным благодаря новейшим достижениям в области магнитной записи — разработке миниатюрных записывающих систем, встраиваемых в видеокамеры\*. В этих кассетных устройствах используется новая, отличная от предыдущих система записи: вместо записи полного цветového телевизионного сигнала производится компонентная запись сигнала яркости и цветоразностных сигналов, которая по качеству удовлетворяет требованиям профессиональных систем.

Возникающие новые форматы записи всегда имеют целью устранение каких-либо недостатков предыдущих форматов. Первостепенной задачей в бытовых аппаратах является сокращение расхода ленты. Это возможно

---

\* В современных видеокамерах запись осуществляется на 1/2-дюймовую или 8-миллиметровую ленту. — *Прим. ред.*

при уменьшении скорости движения ленты и ширины ленты, т. е. уменьшении граничной длины волны записи, ширины строчек записи и ширины междустрочных промежутков (лента лучшего качества, более качественные видеоголовки, лучшее регулирование, более сложные схемы). А в этих областях наблюдается исключительно быстрый прогресс, чем и объясняется значительное увеличение разнообразных форматов записи.

Цель уменьшения расхода ленты — не только снижение эксплуатационных расходов, но и уменьшение габарита, что важно и для профессиональных устройств. Вместе с тем здесь имеют такое же важное значение и улучшение качества, расширение функциональных возможностей, снижение эксплуатационных требований и упрощение обслуживания устройств.

Ниже будут отдельно рассмотрены профессиональные форматы (поскольку между ними существуют главные различия), а бытовые форматы будут рассмотрены в обобщенном виде. Естественно, что здесь нельзя рассмотреть все в полной мере. Например, совершенно ничего не говорится о требованиях, предъявляемых к параметрам схем или к механическим характеристикам лент, и о кассетах. Задача состоит в том, чтобы только проиллюстрировать вышеизложенное, а не подробно описывать форматы.

### Профессиональные форматы

*Поперечно-строчной формат.* Четырехголовочные магнитофоны с поперечно-строчной системой записи появились в 1956—1957 гг. Это были первые устройства магнитной записи сигналов изображения, которые до настоящего времени широко используются для профессиональных целей. Общее количество устройств, находящихся в эксплуатации, оценивается в 10 000 штук, а количество записанных программ, находящихся в архивах, — более чем в 100 000 штук. Для интереса отметим, что только в архиве Британской радиовещательной корпорации в 1976 г. находилось на хранении свыше 36 000 катушек, что в денежном выражении составляет несколько миллиардов долларов. Только одно это говорит о том, что данные системы будут еще долго находиться в эксплуатации.

Для лучшей иллюстрации и разъяснения понятия формата записи на рис. 90 показана схема лентопротяжного механизма четырехголовочного видеоманитофона. Лента шириной 50,8 мм (2 дюйма) с помощью подающей катушки 1 с регулируемым моментом вращения, касаясь стирающих головок каналов изображения 2, проходит через систему вращающийся диск видеоголовок — вакуумная направляющая. Вакуумная направляющая 3 формирует поверхность ленты вдоль ее продольной оси в виде каноз. По этой канозобразной поверхности на оси, параллельной продольной оси ленты, вращается диск видеоголовок 4 с четырьмя находящимися в одной плоскости и сдвинутыми относительно друг друга на 90° головками. Затем лента касается головки записи-воспроизведения сигналов управления 5, которая размещается в блоке вращающихся головок. После этого лента, проходя мимо стирающих головок звуковых сигналов и сигналов управления 6, а также мимо головок записи и воспроизведения звуковых и режиссерских сигналов 7, попадает в

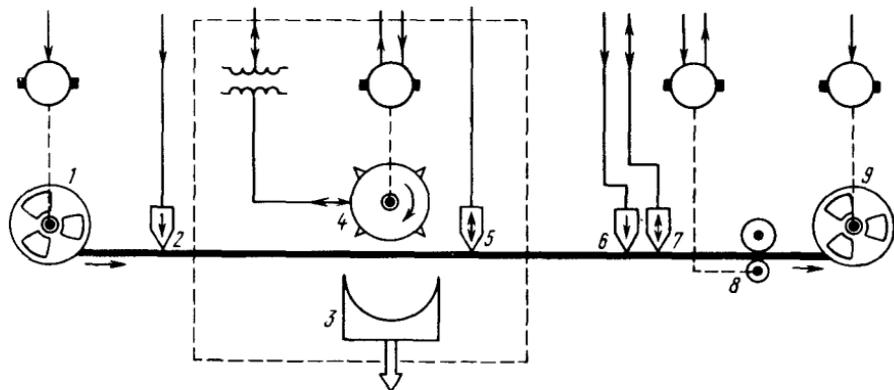


Рис. 90. Схема лентопротяжного механизма четырехголовочного видеомagnитофона: 1 — двигатель подающей катушки; 2 — система стирающих головок телевизионного сигнала и сигналов управления; 3 — вакуумная направляющая; 4 — диск видеоголовок — скоростной двигатель, вращающийся трансформатор; 5 — головка записи-воспроизведения сигналов управления; 6 — система стирающих головок режиссерских и звуковых сигналов; 7 — система головок записи-воспроизведения режиссерских и звуковых сигналов; 8 — узел ведущий вал — прижимные ролики; 9 — двигатель приемной катушки

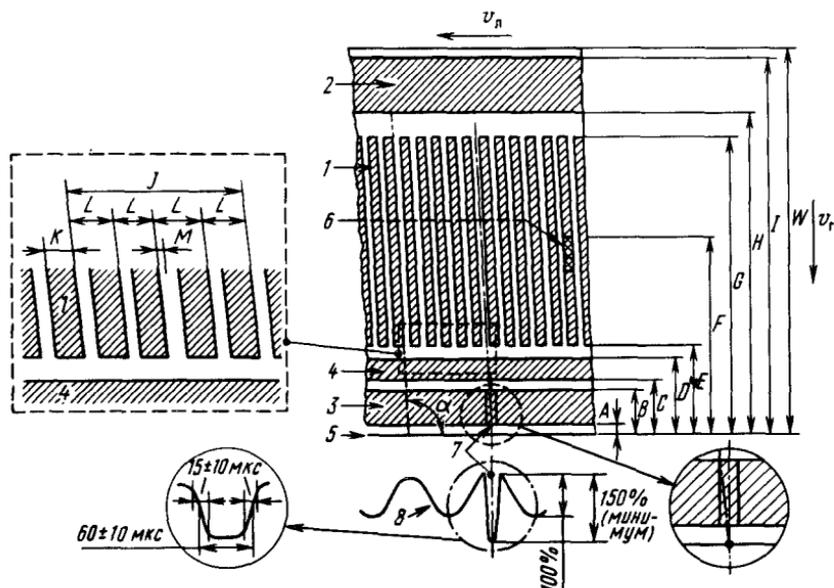


Рис. 91. Формат записи четырехголовочных видеомagnитофонов:

1 — строчки записи телевизионного сигнала; 2 — звуковая дорожка; 3 — дорожка сигналов управления; 4 — дорожка сигналов режиссерских пояснений; 5 — базовый край ленты; 6 — начало кадрового синхриимпульса второго поля; 7 — монтажный импульс; 8 — форма тока записи сигнала управления

традиционную систему протяжки ленты 8, состоящую из ведущего вала и прижимных роликов, а затем поступает на приемную катушку 9 с регулируемым натяжением.

Стандартизированный формат записи (для телевизионной системы 625/50 Гц) показана на рис. 91, а его размеры приведены в табл. 8 [55, 25]. Показанные на рис. 91 строчки записи телевизионного сигнала записаны четырьмя видеоголовками, размещенными на диске видеоголовок. Средний радиус траектории движения рабочей поверхности видеоголовок равен 26–27 мм. Стандарты, относящиеся к механическим размерам, фиксируют только минимальные и максимальные размеры, а номинальные размеры не оговариваются. Указанный здесь размер есть среднеарифметическое между минимальным и максимальным размерами. Номинальная частота вращения диска видеоголовок 250 (240) Гц, т. е. 15 000 об/мин. В скобках приводятся значения для телевизионной системы 525/60 Гц. Отсюда относительная скорость головка—лента равна 41,27 м/с, что соответствует требованиям, приведенным во введении.

Т а б л и ц а 8. Основные параметры формата записи четырехголовочных видеомагнитофонов (рис. 91)

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
<i>A</i>	Нижний край дорожки сигнала управления	0,00		0,10
<i>B</i>	Верхний край дорожки сигнала управления	1,02		1,24
<i>C</i>	Нижний край режиссерской дорожки	1,47		1,57
<i>D</i>	Верхний край режиссерской дорожки	1,98		2,16
<i>E</i>	Конец строчек записи сигнала изображения	2,21		2,39
<i>F</i>	Местоположение кадрового синхросигнала	29,10		29,30
<i>G</i>	Начало строчек записи изображения	48,31		48,62
<i>H</i>	Нижний край звуковой дорожки	48,79		49,02
<i>I</i>	Верхний край звуковой дорожки	50,50		50,70
<i>J</i>	Перемещение ленты, соответствующее полному обороту диска видеоголовок	1,5859		1,5891
<i>K</i>	Ширина строчки записи	0,240		0,265
<i>L</i>	Шаг строчек записи		1/4	
<i>M</i>	Смещение строчки записи	-0,0038		+0,0038
<i>W</i>	Ширина ленты	50,70		50,80
$\alpha$	Угол наклона строчек записи	90° 30'		90° 36'
$v_{л}$	Скорость движения ленты (625/50 Гц)		397 мм/с	

\* Значения всех параметров даны в мм, если не оговорено иначе. — Прим ред.

Данное значение вызывает удивление, так как  $41,27 \text{ м/с} = 148,6 \text{ км/ч}$ ! Отсюда сразу становится ясным, почему срок службы видеоголовок составляет несколько сотен часов, а лента выдерживает только ограниченное число воспроизведений. За одно поле каждая видеоголовка диска делает пять оборотов, и четыре головки записывают на ленту 20 строчек. За период телевизионной строки (64 мкс) головка перемещается на 2,64 мм.

В вакуумной направляющей (номинальный радиус, который равен 26,248 мм) из ленты шириной 50,8 мм формируется дуга в  $111^\circ$ . Из общей дуги для записи телевизионного сигнала используется дуга в  $101^\circ$ . Видеоголовки разнесены на  $90^\circ$ , таким образом, на двух концах видеострочек имеется область перекрытия в  $5 - 5^\circ$ , т. е. 2,45 мм. Сравним перекрытие 2,45 мм с перемещением за длительность строчки 2,64 мм. Видно, что перекрытия вполне хватает для того, чтобы обеспечить переключение головок в течение строчного гасящего импульса без нарушения сигнала активной части строки.

В четырехголовочных видеомагнитофонах номинальная скорость перемещения ленты равна 397 (381) мм/с. Следовательно за полный оборот диска видеоголовок ( $1/250 = 4 \text{ мс}$ ) лента сместится на 1,588 мм (размер  $J$ , рис. 91), благодаря чему на ленте образуется четыре строчки записи. Средняя ширина строчки записи ( $K$ ) 252,5 мкм. Таким образом, средняя ширина межстрочного промежутка равна 144,5 мкм. Поскольку отношение линейной скорости видеоголовки к скорости перемещения ленты составляет  $100 : 1$ , центральная линия строчки записи составляет с базовым краем ленты-угол, равный  $90^\circ 33'$ .

Средняя ширина звуковой дорожки ( $I - H$ ) 1,7 мм. Стандартизованное расстояние между изображением и звуком, равное  $235 \pm 0,8 \text{ мм}$ , обеспечивается смещением звуковой записывающей головки (относительно диска видеоголовок) в направлении движения ленты. Перед записью звукового сопровождения звуковая дорожка стирается отдельной головкой.

Звукозаписывающая часть — слабое место четырехголовочных видеомагнитофонов. Причина этого заключается, во-первых, в относительно малой ширине звуковой дорожки, во-вторых, что более существенно, в неблагоприятной ориентации магнитных частиц носителя записи. Частицы магнитного материала носителя обладают большой магнитной анизотропностью и в некоторых направлениях ведут себя как магнитно-жесткие материалы, а в перпендикулярных к ним направлениях — как магнитно-мягкие. В процессе производства лент с помощью внешнего магнитного поля еще в пластичной форме стремится ориентировать магнитные оси частичек в требуемом для данного способа записи направлении. Такие ленты носят название ориентированных. В настоящее время все выпускаемые ленты — ориентированные. Магнитный слой лент, применяемых в четырехголовочных видеомагнитофонах, ориентирован магнитным способом соответственно строчкам записи сигнала изображения для улучшения качества передачи телевизионного сигнала, а звуковые сигналы записываются перпендикулярно строчкам записи сигнала изображения в продольном направлении ленты.

Дорожка сигнала управления имеет ширину примерно 1 мм и располагается

в нижней части ленты. На ней записываются два сигнала. Один — это сигнал управления — непрерывный синусоидальный сигнал с частотой 250 (240) Гц. Источником сигнала служит тахогенератор, расположенный на вращающемся диске видеоголовок; частота сигнала совпадает с частотой вращения диска; фаза сигнала соответствует мгновенному положению диска. Другой сигнал — это короткий импульс, называемый монтажным импульсом, повторяющийся с частотой 25 Гц (узкополосный стандарт для записи сигналов черно-белого телевидения) или 12,5 (30) Гц (стандарт для записи сигналов цветного телевидения). Монтажный импульс фиксирует положение кадрового синхроимпульса второго или четвертого поля соответственно.

Головка записи воспроизведения сигналов управления смещена относительно плоскости диска видеоголовок в направлении перемещения ленты на  $45,5L$ , т. е. приблизительно на 18,1 мм. Учитывая, что  $40L$  соответствует как раз полному кадру, то расстояние между монтажным импульсом и ближайшей строчкой записи, относящейся ко второму полю и содержащей кадровый синхроимпульс, составляет  $5,5L$ , как это и показано на рис. 91.

Средняя ширина режиссерской дорожки ( $D-C$ ) составляет 0,55 мм.

**Формат В.** Одним из конкурентов поперечно-строчной системы является наклонно-строчная система записи на ленте шириной 25,4 мм, разработанная фирмой Robert Bosch [27, 59]. В данном формате записи использованы современные видеоленты с меньшей нижней граничной длиной волны записи, обеспечено лучшее отношение сигнал-шум, а также использованы последние достижения в области разработки видеоголовок. Благодаря этому для записи одного поля необходима площадь ленты

$$F_n = W v_n \nu,$$

т. е. площадь ленты\*, занимаемой одним полем в поперечно-строчной системе, составляет  $368,5 \text{ мм}^2$ , а в данной системе она уменьшена до  $102,1 \text{ мм}^2$ .

На вращающемся барабане диаметром 50,33 мм размещаются только две головки записи-воспроизведения. Они располагаются на противоположных концах диаметра барабана (сдвинуты на  $180^\circ$ ). Выступление головки возможно максимально на 60 мкм (рис. 92, табл. 9). На барабане помимо головок записи-воспроизведения могут быть установлены еще две вращающиеся стирающие головки. Они используются только в режиме электронного монтажа. В нормальном режиме записи перед подачей ленты на барабан она полностью стирается по всей ширине. Частота вращения барабана, как в системе 625/50 Гц, так и в системе 525/60 Гц, равна 150 Гц, в результате чего поле первой системы размещается на шести строчках записи, а второй — на пяти строчках. Относительная скорость головка-лента 23,7 м/с (85,4 км/ч!). Расстояние на строчке записи, соответствующее периоду телевизионной строки, равно 1,52 мм. Как видно из рисунка, головка записи-воспроизведения сигнала управления установлена на неподвижном барабане блока вращающихся головок.

Вакуумная направляющая, естественно, отсутствует: лента прижимается к барабану двигателями подающего и приемного узлов с регулируемым натя-

\* $W$  — ширина ленты (см. табл. 10). — Прим. ред.

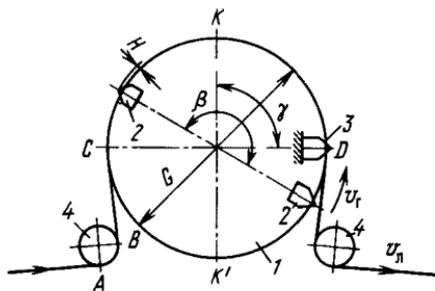


Рис. 92. Способ записи по формату В: 1 — вращающийся барабан; 2 — видеоголовки; 3 — неподвижная головка записи-воспроизведения сигналов управления; 4 — направляющие ролики

Таблица 9. Параметры вращающегося барабана блока вращающихся головок для записи по формату В

Параметр	Наименование	Значение
$G$	Диаметр барабана, мм	$50,33^{+0,000}_{-0,003}$
$H$	Выступание головки, мм	0,060 (max)
$\beta$	Угол между головками, град	$180 \pm 0,5$
$\gamma$	Угол между осью симметрии и головкой записи сигналов управления, град	$90 \pm 0,25$

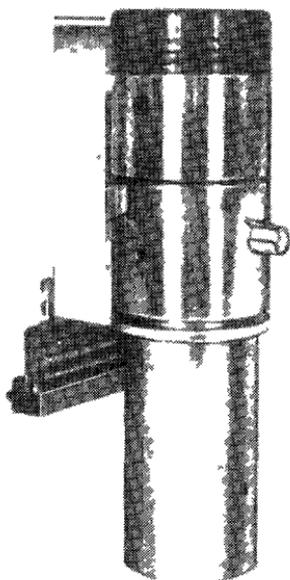


Рис. 93. Внешний вид блока вращающихся головок для записи по формату В (блок вращающихся головок видеомагнитофона типа BCN). В прозе между двумя неподвижными барабанами (цилиндрами) вращаются видеоголовки в круглом отверстии верхнего неподвижного барабана располагается головка записи-воспроизведения сигналов управления. Самый нижний цилиндр наименьшего диаметра — двигатель блока вращающихся головок. В верхнем неподвижном барабане размещаются вращающиеся трансформаторы; рядом с направляющими роликами располагается предусилитель

жением. Международные рекомендации предписывают натяжение ленты на входе и на выходе барабана в пределах  $(2H \pm 10\%)$  и  $(2,3H \pm 10\%)$  соответственно. На рис. 93 показана конструкция блока вращающихся головок.

Строчки записи (рис. 94, табл. 10) составляют с продольной осью угол  $\alpha = 14,289^\circ$  ( $14,288^\circ$ ). С учетом полной ширины ленты, используемой для записи сигнала изображения ( $G - C$ ), длина строчек записи телевизионного сигнала составляет 85,13 мм, т. е. 56 телевизионных строк ( $56,5H$ ). А половина длины окружности вращающегося барабана с учетом выступания видеоголовок составляет всего 79,25 мм, т. е. имеется перекрытие в 3,9 телевизионных строк для своевременного переключения видеоголовок.

Скорость перемещения ленты 243 (245) мм/с, отсюда расстояние между осевыми линиями строчек записи (шаг строчек  $S$ ) равно 0,2 мм.

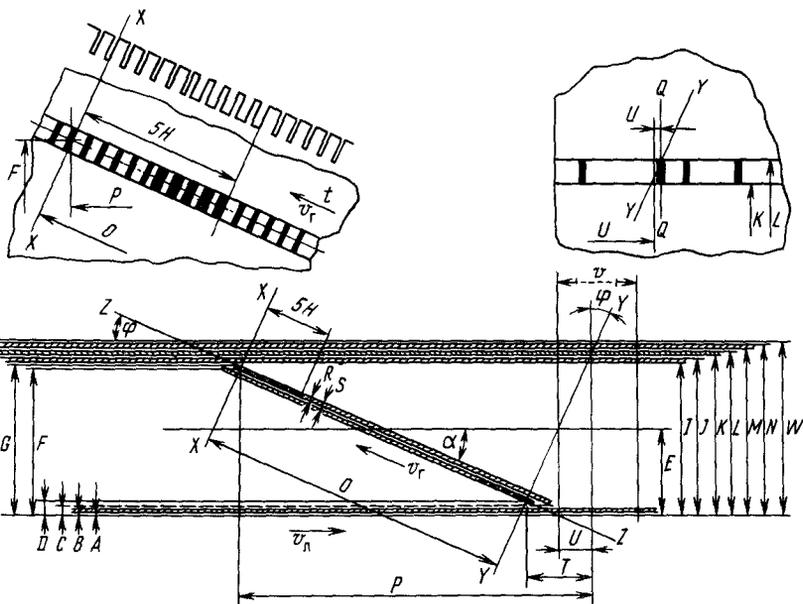


Рис. 94. Расположение строчек записи в формате В (размеры представлены в табл. 10) : ZZ — прямая, параллельная плоскости вращения видео головок, проходящая через номинальные точки переключения; XX и YY — прямые, перпендикулярные к ZZ. Пересечение прямой YY с осевой линией дорожки сигналов управления соответствует номинальному положению осевой линии рабочего зорца головки сигнала управления

Т а б л и ц а 10. Основные параметры формата записи В

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
A	Нижний край звуковой дорожки	0,15		0,25
B	Верхний край звуковой дорожки	0,95		1,05
C	Начало строчки записи	1,18		
D	Номинальная (180°) точка входа		1,82	
E	Продольная ось ленты		12,70	
F	Номинальная (180°) точка схода		21,55	
G	Конец строчки записи			22,19
I	Нижний край 2-й звуковой дорожки	22,35		22,45
J	Верхний край 2-й звуковой дорожки	23,15		23,26
K	Нижний край дорожки сигнала управления	23,55		23,65
L	Верхний край дорожки сигнала управления	23,95		24,06
M	Нижний край 1-й звуковой дорожки	24,35		24,45
N	Верхний край 1-й звуковой дорожки	25,15		25,26

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
<i>O</i>	Длина строчки баз перекрытия		79,25	
<i>P</i>	Расстояние между точкой выключения телевизионного сигнала и осевой линией рабочего зазора головки записи сигналов управления	82,096		82,121
<i>R</i>	Ширина строчки записи	0,155		0,165
<i>S</i>	Шаг строчек записи		0,2	
<i>T</i>	Расстояние между точкой включения телевизионного сигнала и осевой линией рабочего зазора головки записи сигналов управления	5,523		5,533
<i>U</i>	Местоположение рабочего зазора головки сигналов управления	2,84		2,88
<i>Ü</i>	Расстояние между осевой линией рабочего зазора головки записи сигналов управления и осевой линией монтажного импульса		0,040	
<i>V</i>	Местоположение рабочего зазора звуковой головки	232,0		233,0
<i>W</i>	Ширина ленты	25,3		25,4
$\varphi$	Угол наклона плоскости вращения видеоголовок		14,434°	
$\alpha$	Угол наклона строчек записи (625/50 Гц)		14,289°	
<i>v<sub>л</sub></i>	Скорость движения ленты (625/50 Гц)		243,0 мм/с	

\* Значение всех параметров даны в мм, если не оговорено иначе. — Прим. ред.

Для записи телевизионного сигнала ширина строчки записи (*R*) равна 0,16 мм. На рисунке показано также местоположение кадрового синхроимпульса. И здесь синхроимпульсы попадают на прямую линию; параллельную базовому краю ленты, и отстоят на  $5H + 1$  мкс от номинальной точки переключения.

Формат записи *B* содержит три равнозначные звуковые дорожки шириной 0,8 мм каждая. Между двумя расположенными в верхней части ленты звуковыми дорожками располагается дорожка сигнала управления шириной 0,4 мм. Данные звуковые дорожки могут быть использованы и для организации стереоканала. Нижняя 3-я дорожка используется для записи сигналов режиссерских пояснений.

Запись звука происходит в продольном направлении ленты, в этом же направлении ориентирован и магнитный слой ленты. Вследствие этого, несмотря на сильно уменьшенную ширину звуковой дорожки и снижение скорости перемещения ленты, данная система обеспечивает точно такое же качество звуковых сигналов, как и поперечно-строчная система.

Расстояние звук—изображение зафиксировано в формате как параметр *V*.

Исходя из этого и вышеприведенных геометрических размеров определяются нижняя номинальная точка переключения и положение рабочего зазора звуковой головки.

Дорожка сигнала управления располагается между двумя звуковыми дорожками у верхнего края ленты, ее ширина равна 0,4 мм. Форма тока записи головки сигнала управления показана на рис. 95. Видно, что и здесь сигнал управления имеет две составляющие: серию импульсов с периодичностью  $50 H$  и повторяющиеся через каждые четыре поля монтажные импульсы. Отметим, что в данном случае сигнал управления формируется не тахогенератором блока вращающихся головок, а выделяется из входного видеосигнала.

На рис. 96 в увеличенном масштабе приведена фотография отрезка ленты формата  $B$ , "проявленного" мелкозернистым железным порошком. На звуковых дорожках записи нет.

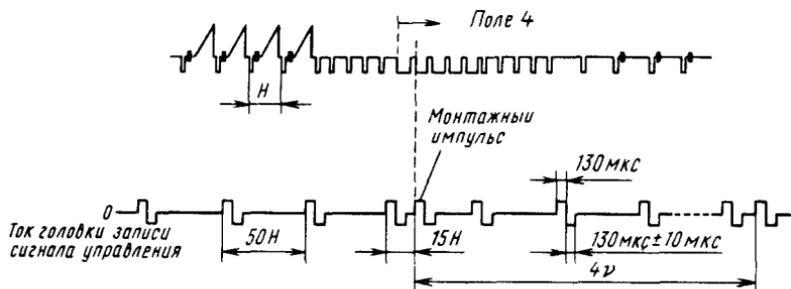


Рис. 95. Форма тока в головке записи сигналов управления и относительные временные положения монтажного импульса и кадрового синхроимпульса

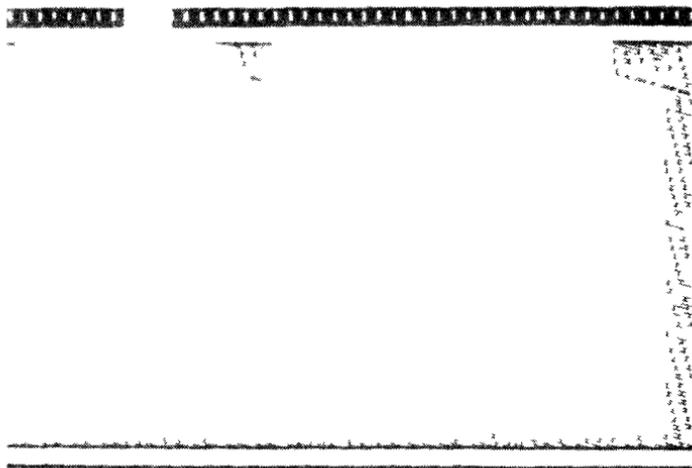


Рис. 96. Реальное изображение записанного на ленте сигнала в формате записи  $B$ . Запись сделана на видеоманитофоне типа BCN и "проявлена" с помощью мелкозернистого железного порошка

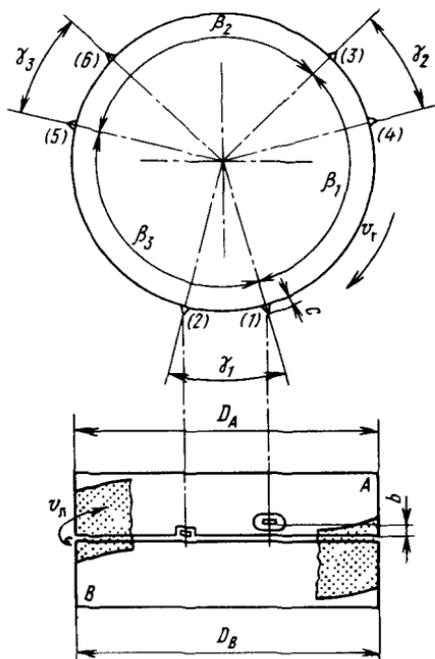


Рис. 97. Блок вращающихся головок видеомagnитофона формата С:  
 1 — головка записи-воспроизведения телевизионного сигнала; 2 — головка записи-воспроизведения кадрового синхросигнала; 3, 4 — контрольные головки воспроизведения телевизионного сигнала и синхросигнала; 5, 6 — стирающие головки телевизионного сигнала и синхросигнала; А — вращающийся (верхний) барабан, В — неподвижный (нижний) барабан

*Формат С (1,5-головочный формат)*. Наиболее существенным недостатком сегментированных систем записи является различие между содержанием изображения, возникающее при записи или воспроизведении строчек записи ("полосатости") вследствие неустраняемого различия видеоголовок. Кроме того, в одноголовочной системе записи часть сигнала изображения безвозвратно пропадает, так как невозможно обеспечить охват барабана лентой на  $360^\circ$ .

Разработанные фирмами Ampex и Sony 1,5-головочные аппараты [27, 64] имеют несегментированную систему, поскольку активная часть поля (16 . . . 312 и 329 . . . 625 строки) записываются или воспроизводятся одной и той же головкой. Помимо этого, имеется возможность с помощью размещенной на вращающемся барабане отдельной головки обеспечить запись выпадающих строк, содержащих кадровые синхроимпульсы, на строчке записи, зарезервированной на ленте для этих целей, и таким образом с помощью переключения головок обеспечить непрерывность сигнала. В качестве альтернативного решения можно устранить указанное выпадение сигнала средствами электроники. В этом случае строчка, зарезервированная для кадровых синхроимпульсов, используется для размещения дополнительной звуковой дорожки.

В 1,5-головочных системах записи применяется лента шириной 25,4 мм. На рис. 97 и в табл. 11 показана схема и приведены размеры блока вращающихся головок. На барабане размещается шесть головок, и только без одной (1) головки записи-воспроизведения принципиально невозможно обойтись. Головка записи-воспроизведения кадрового синхросигнала может отсутствовать. Вместо нее, естественно, за пределами барабана, можно установить еще одну звуковую головку. Головки контрольного воспроизведения телевизионного сигнала и синхросигнала 3 и 4 обеспечивают почти мгновенное воспроизведение записи; стирающие головки 5 и 6 обеспечивают

В 1,5-головочных системах записи применяется лента шириной 25,4 мм. На рис. 97 и в табл. 11 показана схема и приведены размеры блока вращающихся головок. На барабане размещается шесть головок, и только без одной (1) головки записи-воспроизведения принципиально невозможно обойтись. Головка записи-воспроизведения кадрового синхросигнала может отсутствовать. Вместо нее, естественно, за пределами барабана, можно установить еще одну звуковую головку. Головки контрольного воспроизведения телевизионного сигнала и синхросигнала 3 и 4 обеспечивают почти мгновенное воспроизведение записи; стирающие головки 5 и 6 обеспечивают

стирание строчек записи телевизионного сигнала и строчек записи синхросигнала в режиме монтажа. Эти головки могут и не устанавливаться, но тогда вместо них необходимо поместить незадействованные головки для того, чтобы размеры барабана видеоголовок соответствовали стандартам.

Т а б л и ц а 11. Параметры блока вращающихся головок видеомagnитофона формата записи *C* (рис. 97)

Параметр	Наименование	Значение*
$D_A$	Диаметр вращающегося (верхнего) барабана	$134,620^{+0,018}_{-0,000}$
$D_B$	Диаметр неподвижного (нижнего) барабана	$134,580^{+0,000}_{-0,018}$
$b$	Расстояние между нижними краями рабочих зазоров записывающих видеоголовок	$3,125 \pm 0,010$
$c$	Выступание видеоголовок	$0,06 \pm 0,03$
$\beta_1$	Угол между видеоголовками записи-воспроизведения и головкой контрольного воспроизведения телевизионных сигналов	$120^\circ \pm 0^\circ 5'$
$\beta_2$	Угол между контрольной воспроизводящей и стирающей видеоголовками телевизионного сигнала	$120^\circ \pm 0^\circ 5'$
$\beta_3$	Угол между видеоголовками стирания и записи-воспроизведения телевизионного сигнала	$120^\circ \pm 0^\circ 5'$
$\gamma^1$	Угол между видеоголовками записи-воспроизведения телевизионного сигнала и синхри импульсов	$30^\circ \pm 0^\circ 0' 15''$
$\gamma^2$	Угол между видеоголовками контрольного воспроизведения телевизионного сигнала и синхри импульсов	$30^\circ \pm 0^\circ 0' 15''$
$\gamma^3$	Угол между стирающими видеоголовками телевизионного сигнала и синхри импульсов	$30^\circ \pm 0^\circ 10'$

\* Значения всех параметров даны в мм, если не оговорено иначе. — Прим. ред.

Направляющие элементы должны устанавливаться таким образом, чтобы выпадение сигнала, возникающее вследствие неполного охвата барабана лентой и соответствующего нарушения контакта головка—лента, находилось в пределах  $11,9 \pm 0,3 \text{ Н}$  ( $10 \pm 0,25 \text{ Н}$ ). Угол между продольной осью ленты и плоскостью вращения видеоголовки составляет  $\varphi = 2^\circ 35' 29'' \pm 2''$ , т. е.  $2,5914 \pm 5,6 \cdot 10^{-4}$  градусов. Натяжение ленты на барабане в середине между направляющими элементами  $1,5 \pm 0,2 \text{ Н}$ .

Площадь, занимаемая одним полем, в этой системе записи составляет  $95,35 \text{ мм}^2$  с учетом площади, занимаемой строчкой записи синхри импульсов. Относительная скорость головка—лента равна  $21,395$  ( $25,622$ ) м/с. Расстояние на строчке записи, соответствующее длительности телевизионной строки, составляет  $1,369$  ( $1,627$ ) мм. Данный формат записи показан на рис. 98, а его параметры приведены в табл. 12. На рис. 99 показаны сигналы, воспроизводимые со строчек записи телевизионного сигнала и строчек записи синхросигнала, а также номинальные точки переключения.

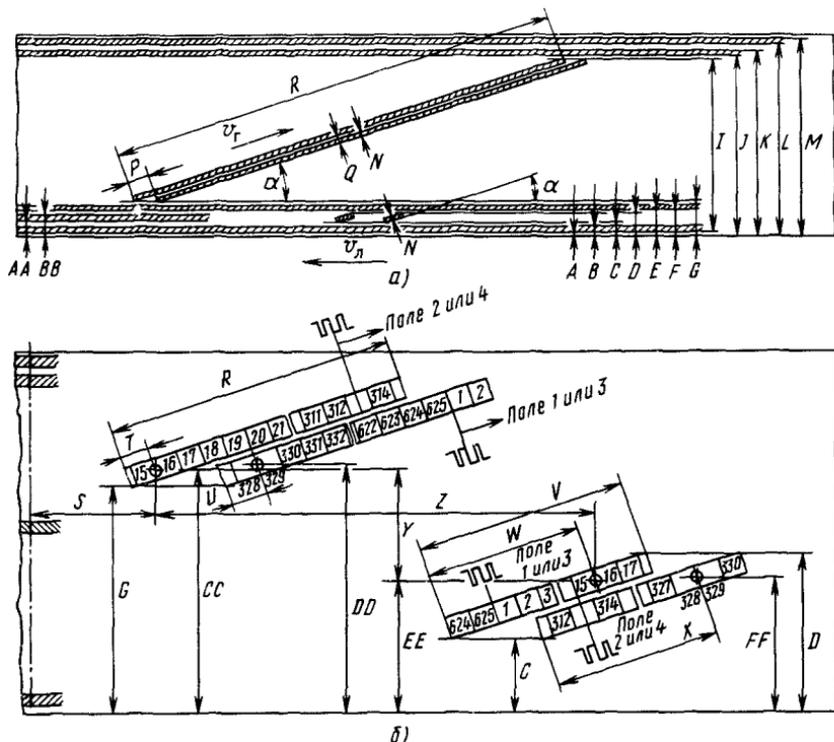


Рис. 98. Расположение строчек записи в формате *C* (а) и местоположение опорных точек переключения головок (б). На полосе ленты между *C* и *D* можно записать участки телевизионного сигнала с кадровым синхроимпульсом или разместить дополнительную звуковую дорожку (AA—BB)

Т а б л и ц а 12. Основные параметры формата записи (625/50 Гц) (рис. 98)

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
<i>A</i>	Нижний край 3-й звуковой дорожки	0,000		0,200
<i>B</i>	Верхний край 3-й звуковой дорожки	0,755		1,025
<i>C</i>	Начало строчки записи синхросигнала	1,370		1,430
<i>D</i>	Конец строчки записи синхросигнала	2,696		2,756
<i>E</i>	Нижний край дорожки сигналов управления	2,870		3,130
<i>F</i>	Верхний край дорожки сигналов управления	3,430		3,770
<i>G</i>	Начало строчек записи телевизионного сигнала	3,845		3,905
<i>I</i>	Конец строчек записи телевизионного сигнала	22,370		22,490

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
<i>J</i>	Нижний край 1-й звуковой дорожки	22,70		22,900
<i>K</i>	Верхний край 1-й звуковой дорожки	23,475		23,725
<i>L</i>	Нижний край 2-й звуковой дорожки	24,275		24,525
<i>M</i>	Верхний край 2-й звуковой дорожки	25,100		25,300
<i>N</i>	Ширина строчки записи телевизионного сигнала	0,155		0,165
<i>P</i>	Смещение видеострочки, <i>H</i>		3,5	
<i>Q</i>	Шаг строчек записи телевизионного сигнала, <i>H</i>		0,2144	
<i>R</i>	Длина строчки записи телевизионного сигнала, <i>H</i>		300,6	
<i>S</i>	Расстояние между опорной точкой (переключения) и рабочими зазорами звуковой головки и головки сигналов управления	101,80		102,60
<i>T</i>	Расстояние между опорной точкой (переключения) и выпадением, нечетные поля		1,779 (1,3 <i>H</i> )	
<i>U</i>	Расстояние между опорной точкой (переключения) и выпадением, четные поля		2,464 (1,8 <i>H</i> )	
<i>V</i>	Длина строчки записи синхроимпульсов	25,665 (18,75 <i>H</i> )		26,350 (19,25 <i>H</i> )
<i>W</i>	Расстояние между началом строчки записи синхроимпульсов и опорной точкой (переключения), нечетные поля		22,928 (16,75 <i>H</i> )	
<i>X</i>	Расстояние между началом строчки записи синхроимпульсов и опорной точкой (переключения), четные поля		23,612 (17,25 <i>H</i> )	
<i>Y</i>	Расстояние между опорными точками (переключения) на строчках записи телевизионного сигнала и синхроимпульсов в поперечном направлении		1,529	
<i>Z</i>	Расстояние между опорными точками (переключения) на строчках записи телевизионного сигнала и синхроимпульсов в продольном направлении		35,350	
<i>AA</i>	Нижний край 4-й звуковой дорожки	1,500		1,700
<i>BB</i>	Верхний край 4-й звуковой дорожки	2,275		2,525
<i>CC</i>	Опорная точка (переключения) на строчке записи телевизионного сигнала, нечетное поле	3,978		4,082
<i>DD</i>	Опорная точка (переключения) на строчке записи телевизионного сигнала, четное поле	4,017		4,113
<i>EE</i>	Опорная точка (переключения) на строчке записи синхроимпульса, нечетное поле	2,459		2,554

Параметр	Наименование	Значение*		
		Минимальное	Номинальное	Максимальное
$FF$	Опорная точка (переключения) на строчке записи синхроимпульса, четное поле	2,489		2,584
$\alpha$	Угол наклона строчек записи		2,5623°	

\* Значения всех параметров даны в мм, если не оговорено иначе. — *Прим. ред.*

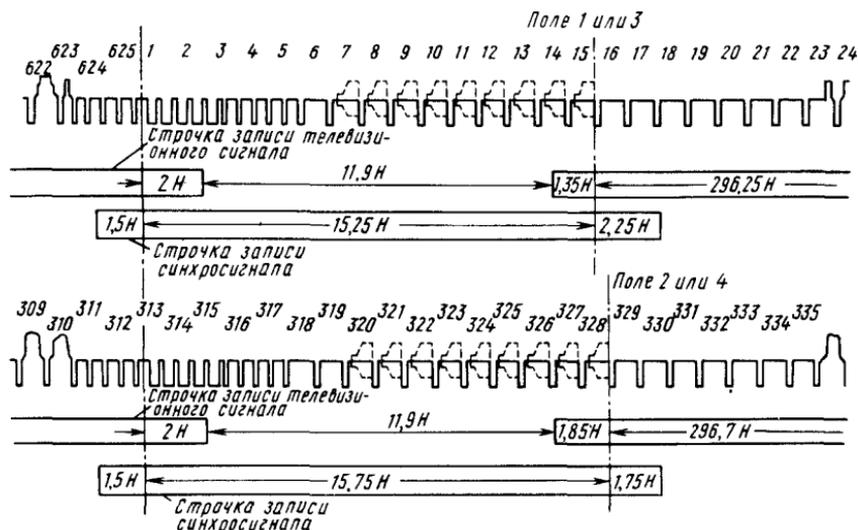


Рис. 99. Сигналы, воспроизводимые со строчек записи телевизионного сигнала и синхросигнала, и номинальные точки переключения [ 27 ]

Исходя из скорости перемещения ленты, равной  $239,8 \pm 0,5$  мм/с ( $244,0 \pm 0,5$  мм/с), и угла между продольной осью ленты и плоскостью вращения видеоголовки угол наклона строчек записи телевизионного сигнала  $\alpha = 2,5623^\circ$  ( $2,5667^\circ$ ), что для временного интервала  $300,6$  нс соответствует длине строчки записи  $411,467$  мм. Формат предписывает, что ширина строчки записи равна  $155$  мкм ( $125$  мкм). Межстрочный промежуток равен примерно  $60$  мкм. Кроме того, скорость перемещения ленты удовлетворяет и описанным выше требованиям расположения строчных синхроимпульсов ( $n = 3$ ).

В случае если в данном формате записи отсутствуют строчки синхроимпульсов, то в свободной полосе ленты формируется четвертая звуковая дорожка шириной  $0,8$  мм. Две первые звуковые дорожки располагаются в верхней части ленты, а одна или две — в нижней. Нижние дорожки предназна-

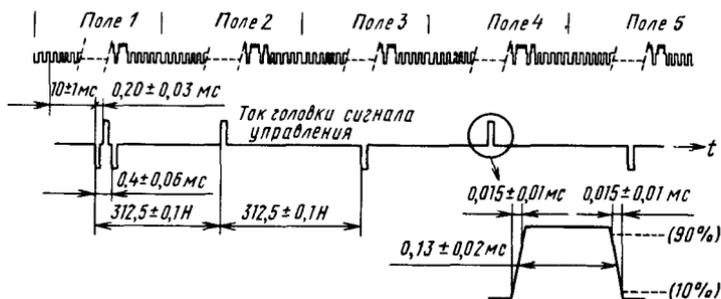


Рис. 100. Импульсы тока записи сигналов управления и их положение по отношению к телевизионному сигналу. Период повторения импульсов восемь полей

чены для записи режиссерских сигналов. Расстояние между изображением и звуком примерно равно 100 мм — размер  $S$ . Это поясняется рис. 98.

По отношению к блоку вращающихся головок система головок записи звуковых сигналов и записи-воспроизведения сигналов управления располагается в направлении движения ленты. На рис. 100 показаны форма тока записи сигналов управления и их задержка по отношению к телевизионному сигналу. Последовательность импульсов повторяется через каждые восемь полей, которые отмечаются двойным импульсом, показанным в левой части рисунка. Полярность импульсов сигнала управления меняется в каждом. В данном случае это соответствует полному обороту барабана.

Полутораголовочные системы представляют интерес потому, что именно в этом формате записи впервые было опробована система автотрекинга, которая в режиме воспроизведения удерживает перемещающуюся в барабане видеоголовку на строчке записи. Данная система способствовала обеспечению взаимозаменяемости записей и позволили без помех осуществить режимы ускоренного и замедленного воспроизведения, а также стоп-кадра. Благодаря этому видеозапись по своим возможностям стала подобна кино.

### Полупрофессиональные и бытовые видеомагнитофоны

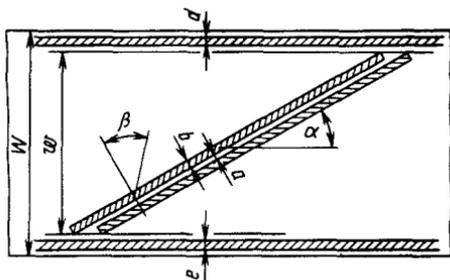
Несмотря на разнообразие типов бытовых видеомагнитофонов, можно выделить общие принципы построения — это двухголовочные несегментированные аппараты. Таким образом, каждая головка записывает отдельное поле. Общим у них является также и то, что на ленте располагаются одна (или несколько) звуковая дорожка и одна дорожка сигналов управления. Эти дорожки во всех системах находятся на краях ленты, и их магнитная ориентация совпадает с продольной осью ленты. В соответствии с этим все форматы записи могут быть обобщены в виде, показанном на рис. 101. В табл. 13 сведены основные параметры форматов, находящихся в настоящее время в обращении, семи систем записи.

В таблице форматы перечислены не в порядке их возникновения, а в зависимости от расхода ленты, необходимой для записи одного поля.

Т а б л и ц а 13. Основные параметры бытовых видеомагнитофонов

Параметр	Наименование	Формат						
		EIAJ-I	U-Matic	VCR	VCR-LP	VHS	Beta	Video-2000
$W$	Ширина ленты, мм	12,65	19,00	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65/2
	Толщина ленты, мкм	22	27	20	15	20	14	14
$v_{л}$	Скорость ленты, мм/с	163,22	95,3	142,9	65,59	23,39	18,70	24,42
$v_{г-л}$	Скорость головка-лента, м/с	9,26	8,54	8,1	8,18	4,84	5,83	5,08
$w$	Полосе ленты, перекрываемая строчками записи, мм	10,65	15,5	10,6	10,6	10,6	10,6	2 × 4,85
$b$	Ширина строчки записи, мкм	110	85 (125)	130	85	49	32,8	22,5
$a$	Ширина межстрочного промежутка, мкм	68	80 (40)	57	—	—	—	—
$\alpha$	Угол наклона строчек записи, град	3,1272	4,9668	3,7498	3,714	5,964	5,016	2,6472
$\beta$	Наклон рабочего зазора видеоголовки, град	0	0	0	±15	±6	±7	±15
	Число звуковых дорожек	1	2	2	1	1	1 (2)	1 (2)
$d, e$	Местоположение	Сверху	Снизу	Сверху-вниз	Снизу	Сверху	Сверху	Снизу
	Ширина, мм	1,0	0,8	0,7	0,7	1,0	1,05 (2 × 0,35)	0,65 (2 × 0,25)
	Местоположение дорожки сигналов управления	Снизу	Сверху	Сверху	Сверху	Снизу	Снизу	Сверху
$d, e$	Ширина, мм	0,8	0,6	0,3	0,7	0,75	0,6	0,4
	Расход ленты на запись одного поля, мм <sup>2</sup>	41,3	36,3	36,2	16,6	5,9	4,8	3,1
	Площадь строчки записи, мм <sup>2</sup>	34,8	29,5	30,3	13,9	4,7	3,9	2,4

Рис. 101. Расположения строчек и дорожек записи в двухголовочных несеgmentированных бытовых форматах записи:  $a$  — ширина межстрочного промежутка;  $b$  — ширина строчки записи;  $d, e$  — ширины звуковой дорожки или дорожки сигналов управления;  $w$  — ширина полосы пенты, используемой для записи сигналов изображения;  $W$  — ширина ленты;  $\alpha$  — угол наклона строчек записи;  $\beta$  — угол наклона рабочего зазора видеоголовки



Здесь легко прослеживается развитие в области магнитной видеозаписи, которое за 10—12 лет позволило увеличить более чем в 10 раз плотность записи примерно при одних и тех же качественных показателях. Данные успехи стали возможны только благодаря достижениям современной технологии [129]:

- разработке и производству способом горячей штамповки монокристаллических ферритовых головок;

- созданию рабочих зазоров малой ширины (до 0,5 мкм);

- выпуску магнитных носителей с большой коэрцитивной силой (например,  $\text{CrO}_2$ );

- улучшению качества поверхности и повышению точности соблюдения геометрических размеров лент;

- улучшению качества изготовления элементов лентопотяжных механизмов и блоков вращающихся головок; дальнейшему совершенствованию методов обработки поверхностей.

Успешному развитию бытовой видеозаписи способствовали также достижения в области систем автоматического регулирования и разработка способов обработки сигналов, записи без межстрочного промежутка и создание системы автотрекинга (удержания головки на строчке записи).

Кратко остановимся на форматах, представленных в табл. 13.

**Формат EIAJ-I.** В 1969 году Ассоциация электронной промышленности Японии (EIAJ) стандартизировала основные параметры системы. В дальнейшем данный стандарт неоднократно дополнялся [128]. Дополненный способами записи сигналов систем SECAM и PAL, он был передан (в качестве проекта формата) в МЭК [63, 64]. Данный формат записи пригоден как для катушечных, так и для кассетных видеоманитофонов. В кассете располагается только одна катушка. Лента устанавливается в рабочее положение ( $\alpha$ -петля) таким образом, что более жесткий и широкий, чем основная лента, заправочный рекорд с помощью вращения катушки подается на направляющую, которая формирует траекторию перемещения ленты. Направляющая заводит конец рекорда на приемную катушку, где он и фиксируется. На этом процесс заправки ленты заканчивается.

Размер кассеты равен  $128 \times 130 \times 29$  мм<sup>3</sup>, максимальное время записи составляет 30 мин, часовая программа обеспечивается катушкой с диаметром 180 мм.

*Формат U-Matic.* В 1970 году фирмой Sony были выпущены кассетные видеомэгнитофоны, которые обеспечивали запись часовой программы, но в отличие от предыдущей системы здесь использовалась 3/4-дюймовая лента. Кассета — двухкатушечная, катушки располагаются рядом. Размер кассеты равен  $221 \times 140 \times 32$  мм<sup>3</sup>. Система заправки ленты показана на рис. 49.

Аппараты типа U-Matic оказались настолько надежными, а их функциональные возможности настолько расширились, что они используются и для профессиональных целей. С одной стороны, они применяются как переносные устройства, с другой — для изготовления рабочих копий записей, полученных на четырехголовочных аппаратах с целью дальнейшей обработки, например для электронного монтажа. Данные табл. 13, приведенные в скобках, относятся к аппаратам, модифицированным для профессиональных целей [99] с учетом требований систем PAL и SECAM. Существенной модификацией являются расширение полосы ЧМ канала от 3,8 . . . 5,4 до 4,8 . . . 6,4 МГц и увеличение частоты преобразованной цветовой поднесущей от 685,547 до 923,670 кГц. Формат стандартизирован МЭК [65, 66].

*Формат VCR (Video Cassette Recorder).* Первой кассетной системой видеозаписи, стандартизированной МЭК [57, 58], была система VCR. Аппараты, разработанные под данный формат в результате совместной деятельностью фирм Philips и Grundig, появились на рынке в 1970 году. Кассета размером  $143 \times 127 \times 41$  мм<sup>3</sup> содержит две расположенные друг над другом катушки. Траектория движения ленты показана на рис. 96. Можно заметить, что данный формат записи незначительно отличается от формата EIAJ-I. Преимущество видится только в более рациональной траектории движения ленты и в размерах кассеты.

*Формат Beta.* В 1975 году фирмой Sony впервые была показана система записи без межстрочного промежутка [73 — 75, 111]. Основной задачей разработчиков было снижение расхода ленты, поэтому они и пошли на некоторое ухудшение параметров звукового канала, связанное с малой скоростью перемещения ленты. В 1978 году на европейском рынке появились модификации для записи в системах PAL и SECAM. Формат стандартизован МЭК [68].

Кассета Beta размером  $156 \times 96 \times 25$  мм<sup>3</sup> содержит две катушки. Максимальное время записи составляет 195 мин. Система заправки ленты аналогична системе U-Matic.

Система Beta произвела революцию в области бытовой видеотехники. В предыдущих форматах для записи одного поля требовалось примерно в 3,5 раза большая площадь ленты, чем площадь 8-мм кинокадра ( $17,3$  мм<sup>2</sup>). В формате Beta это соотношение было изменено: площадь ленты, занимаемая полем, в два раза меньше площади кинокадра.

*Формат VCR-LP.* Формат VCR является модификацией формата без межстрочного промежутка с максимальным временем записи 2,5 ч [111]. По данным табл. 13 можно легко установить, что увеличение времени записи было достигнуто за счет уменьшения скорости перемещения ленты и ее толщины, но скорость перемещения ленты снижена в такой мере, что это не оказывает сколь-нибудь существенного влияния на качественные характеристики

154

звукового канала. Конструкция и размеры кассеты аналогичны кассете системы VCR.

*Формат VHS.* Формат VHS (японские фирмы JVC и Matsushita) появился в 1975 году спустя несколько месяцев после появления формата Beta. Интересно отметить некоторые отличия в выборе компромиссов в этих системах. В системе Beta основным параметром наряду с отношением сигнал-шум и качеством звукового канала была ширина полосы телевизионного сигнала. В системе VHS относительная скорость головка-лента меньше (ширина рабочего зазора видеоголовки 0,3 мкм!). Ширина строчки записи и скорость перемещения ленты несколько больше, т. е. ширина полосы телевизионного сигнала оказывается как бы на заднем плане по сравнению с отношением сигнал-шум и частично с качеством звукового канала.

В кассете VHS две катушки с размерами 188X104X25 мм<sup>3</sup>. В системе применяется траектория ленты типа M (см. рис. 50). Европейский вариант кассеты обеспечивает запись программ в течение 3 ч; это время может быть увеличено до 4 ч за счет использования более тонкой (15 мкм) ленты. Исключительной особенностью системы является возможность записи и воспроизведения сигналов цветного телевидения всех трех систем (NTSC, PAL, SECAM) только при переключении блоков аппарата [67, 122, 129].

*Формат Video-2000.* Данный формат является совместной разработкой фирм Philips и Grundig; отдельные сообщения о нем были опубликованы в 1979 году [123, 130]. Отличительной особенностью данной системы является разработка системы автотрекинга, описанной в разд. 2.3, позволившей на 30 % уменьшить ширину строчек записи по сравнению с шириной строчек записи в системе Beta.

Размер кассеты равен 183X110X26 мм<sup>3</sup>. В переворачиваемой кассете имеются две катушки. Одна запись занимает только половину ширины полудюймовой ленты. Таким образом, максимальное время записи составляет 2X4 ч. Однако в обращение поступают и другие кассеты, время записи которых 2X1; 2X2; 2X3 ч.

## Глава 3

### ЦИФРОВАЯ ВИДЕОЗАПИСЬ

Применение цифровой записи\* аналоговых сигналов объясняется двумя причинами. Первая причина заключается в несовершенстве технических средств аналоговой видеозаписи, которые не обеспечивают должного качества, другая — широкое распространение цифровых методов и средств обработки и передачи сигналов. В данной работе последние причины не рассматриваются, а примером может служить бурное распространение техники ИКМ, в результате чего аналоговые системы магистральной связи вытесняются цифровыми и, следовательно, становится все в большей и большей степени

---

\* Материал, приведенный в этой главе в значительной мере устарел, однако он сохранен в переводе, чтобы, с одной стороны, дать понятие о проблемах цифровой видеозаписи, а с другой — показать его актуальность в связи с исследованиями по цифровой бытовой и прикладной видеозаписи. Принципы профессиональной цифровой видеозаписи изложены в [Д6]. — *Прим. ред.*

целесообразно передавать телевизионные сигналы в цифровой форме. Можно упомянуть и цифровые корректоры временных искажений (см. разд. 2.4), цифровые запоминающие устройства (см. разд. 2.5), позволившие решить проблемы ускоренного или замедленного воспроизведения изображения и стоп-кадра в сегментированных системах, а также цифровые преобразователи телевизионных стандартов и многие другие средства, которые в настоящее время являются неотъемлемой частью студийной техники и которые, исключая многократные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразования, являются основой создания чисто цифровой студийной техники.

В предыдущих главах были достаточно подробно рассмотрены ограничения качества телевизионного сигнала в аналоговой видеозаписи. Наиболее существенные из них — муар, полосетость, помехи от искажений фазы сигнала цветности (PAL) и шум. Эти искажения при первой записи практически не заметны, но качество изображения резко ухудшается с увеличением числа перезаписей, и в студийной практике достаточно часто видеофонограмма после определенного числа перезаписей уже непригодна для качественного воспроизведения телевизионного изображения (табл. 14, 15) [23, 125].

Т а б л и ц а 14. Ухудшение параметров телевизионного сигнала в результате многократных перезаписей. (Измерения проводились на промышленных четырехголовочных видеомагнитофонах (НВ) [23])

Группа параметров	Параметр	Номер копии				
		1	2	3	4	5
2Т-импульс и импульс белой полосы	Относительный размах 2Т-импульса, %	0,5	2,0	3,0	4,5	6
	Искажения 2Т-импульса — К-фактор, %	1,5	2,0	4,0	5,0	6
	Искажения импульса белой полосы — К-фактор, %	1,0	2,0	3,0	4,0	6
Сигнал яркости и цветности	Различие усиления, %	—	—	8	15	15
	Расхождение во времени, нс	24	42	52	72	80
Нелинейные искажения	Нелинейность сигнала яркости, %	2	4	6	8	10
	Дифференциальная фаза, град	5	10	16	22	28
	Дифференциальное усиление, %	4	7	9	12	16
Шум (помеха)	В канале яркости (взвешенный), дБ	-54	-49	-47	-46,5	-46
	В канале цветности (взвешенный), дБ	-47	-45	-44	-43	-42
	Муар, дБ	-22	-15	-14	-13	-12

Т а б л и ц а 15. Ухудшение телевизионного сигнала в результате многократных пере-  
записей. (Измерения проводились на промышленных четырехголовочных видеомagni-  
тофонах (НВ) [124])

Параметр		Номер копии					
		1	2	3	4	5	6
К-фактор, %		1	1	1	1	1	4
Расхождение во времени сигналов яр- кости и цветности, нс		30	60	90	120	150	180
Нелинейные искажения	Дифференциальная фаза, град	4	8	12	16	20	24
	Дифференциальное уси- ление, %	4	8	12	16	20	24
Шум (помеха)	В канале яркости, дБ	-45	-42	-40,3	-39	-38	-37
	Приращение в кана- ле, дБ	0	-2	-4	-4,5	-5	-6
	Муар, дБ	-40	-40	-40	-40	-40	-36

Таким образом, от цифровых систем в первую очередь ожидается не улучшение нормируемых параметров, а изменение закона накопления искажений, исключение или замедление накопления ухудшения качества. Наряду с этим выдвигается требование, чтобы расход ленты (затраты на которую для одного четырехголовочного видеомagni-тофона составили в начале 1970 года 10 000 фунтов стерлингов) ни в коей мере не увеличивался и, естественно, чтобы цифровые аппараты обладали всеми теми же функцио-нальными возможностями (специальными режимами), которыми обладают несегменти-рованные наклонно-строчные аппараты. Далее, чтобы цифровая техника видеозаписи обеспечивала цифровое кодирование телевизионного сигнала различных стандартов цветного телевидения и по возможности решение задач преобразования телевизионных стандартов, необходима запись любых сигналов, причем она должна воспроизводиться в любом стандарте.

С учетом вышеприведенных требований для оптимальной цифровой записи аналого-вых сигналов необходимо выбрать:

- метод кодирования аналоговых сигналов (первичный код);
- метод записи;
- оптимальное с точки зрения записи канальное кодирование (канальный код);
- способ коррекции и маскирования ошибок.

### 3.1. КОДИРОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

Тема цифрового кодирования телевизионного сигнала настолько широка, что даже краткий обзор ее намного превысил бы объем данной книги. Поэтому здесь будут обобщены только некоторые наиболее важные моменты. Кодирование включает в себя два вопроса: дискретизацию и квантование.

Если исходить из спектра полного цветового телевизионного сигнала  $u_{TB}(t)$ , то в

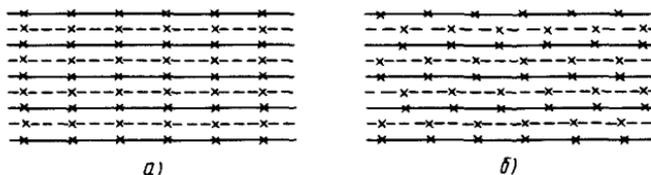


Рис. 102. Ортогональная (а) и шахматная (б) структуры: — — — строки первого поля; — — — строки второго поля; X — точки дискретизации

соответствии с теоремой отсчетов\* частота дискретизации должна не меньше чем в два раза превышать верхнюю граничную частоту сигнала, т. е. должна быть больше 10... 12 МГц.

Точное значение частоты дискретизации в системе SECAM не критично, поскольку поднесущая промодулирована по частоте, а в системах PAL и NTSC частота дискретизации должна быть кратна  $f_{цп}$ . Не вдаваясь в подробности, скажем, что в системе PAL частота дискретизации должна быть равна  $4f_{цп}$ . Данная частота дискретизации удобна для цифровой демодуляции цветовой поднесущей и благоприятствует разработке различных решений, направленных на снижение скорости передачи (сокращение избыточности телевизионного сигнала [116, 117]). Для системы PAL

$$4f_{цп \text{ PAL}} = 1135 f_{стр} + f_{пол}$$

( $f_{пол} = 25$  Гц — частота кадров) незначительно отличается от частоты, кратной частоте строк.

Поскольку в разных странах применяются различные телевизионные стандарты, то вместо кодирования полного цветowego телевизионного сигнала видится целесообразным кодировать отдельные его составляющие, из которых после декодирования может быть сформирован любой полный цветовой телевизионный сигнал. При разработке системы кодирования компонент сигнала цветного телевидения (сигнала яркости и цветоразностных сигналов) необходимо принять во внимание, что телевизионный сигнал — это не "одномерная" функция  $U_{ТВ}(t)$ , а трехмерная — две пространственные координаты и одна временная. Поэтому частоту дискретизации и моменты взятия отсчетов следует выбирать исходя из особенностей трехмерного сигнала или, другими словами, заданный порядок взятия отсчетов должен рассматриваться как трехмерная структура. Субъективные экспертизы показали, что целесообразнее всего использовать фиксированные структуры дискретизации. В фиксированной структуре отсчеты всегда находятся в одних и тех же точках кадра. Структура точек взятия отсчетов сигнала "привязана" к телевизионному экрану. Это целесообразно хотя бы потому, что здесь цифровой телевизионный сигнал имеет кадровую периодичность, в то время как в существующих системах цветного телевидения периодичность составляет 2 или 4 кадра, что, как было показано выше, является источником многочисленных искажений.

Точно так же на основании субъективных экспертиз для кодирования сигнала яркости рекомендуется шахматная структура дискретизации, а для цветоразностных сигналов — ортогональная структура (рис. 102). Из расположения точек дискретизации совершенно ясно вытекает, что здесь число отсчетов на строке постоянно, т. е. частота дискретизации кратна частоте строк. Следует отметить и то, что частоты дискретизации, равные  $kf_{стр} + nf_{пол}$  (с периодом кадра), также допустимы, так как и в этом случае искажения едва заметны. Выбранная таким образом частота дискретизации пригодна как для раздельного кодирования составляющих, так и для кодирования полного цветowego телевизионного сигнала.

\* В отечественной литературе теорему отсчетов называют теоремой Котельникова. — Прим. ред.

Вместе с тем при дискретизации сигнала яркости с частотой  $4f_{\text{цп PAL}}$  число отсчетов на строке достаточно большое (1135). В передаче гасящих интервалов нет необходимости, так как цифровой телевизионный сигнал несет в себе специальные сигналы цикловой синхронизации (Кодовые комбинации) и, следовательно, гасящий импульс и синхроримпульс могут быть восстановлены при декодировании. Сигнал яркости несет в себе намного больше информации, чем сигнал цветности, следовательно, при цветоразностных сигналах число отсчетов на строке может быть уменьшено в два раза, а то и в четыре раза. Определение минимального количества отсчетов на строке основывается также на субъективных экспертизах. В результате этого возникла так называемая система раздельного кодирования компонент 2:1:1, при которой в каждой строке (52 мкс) содержится 462 отсчета Y, 231 + 231 отсчетов U и V. Это соответствует дискретизации  $2f_{\text{цп PAL}}$ , что меньше частоты дискретизации, получаемой из теоремы отсчетов (так называемая субнаиквистовая дискретизация). Число отсчетов на строке цветоразностного сигнала можно еще уменьшить. Здесь оказываются достаточными частота  $1/2 f_{\text{цп PAL}}$  и передача только одного поля [49]. Предлагались и многие другие варианты дискретизации, обладающие теми или иными преимуществами. Среди них отметим предложение Лукаша [86], который рекомендует 908 отсчетов на строке, что по сравнению с вышеприведенными случаями предполагает достаточно большую избыточность, но вместе с тем позволяет решить проблему системы записи для многих стандартов. Если квантование аналоговых телевизионных сигналов линейно, то число бит на отсчет определяет отношение сигнал-шум

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 2^{2n} - 1, \quad (87)$$

где  $P$  — мощность сигнала и шума, а  $n$  — число бит на отсчет [38].

Пренебрегая 1 (по сравнению с  $2^{2n}$  это слишком малая величина), а также полагая, что сигнал синусоидальный и шкала квантования соответствует размаху сигнала, получаем

$$\frac{u_{\text{с. разм}}}{u_{\text{ш. эф}}} = 2\sqrt{2} \sqrt{2^{2n}} = 2^{n+3/2}, \quad (88)$$

т. е. это означает, что отношение сигнал-шум при 7-битовом квантовании равно 51, а при 8-битовом 57 дБ (предполагается, что шум возникает исключительно за счет квантования)\*.

Для кодирования полного цветового телевизионного сигнала обычно применяется 8-битовое квантование. При частоте дискретизации  $3f_{\text{цп}}$  необходимая скорость записи составляет 106,3, а при  $4f_{\text{цп}}$  141,8 Мбит/с. Для указанной выше частоты  $2f_{\text{цп}}$  при 482 или 231 отсчетах на строке, если для кодирования сигнала яркости и цветоразностных сигналов используется всего 10 бит, получается скорость записи 70 Мбит/с.

Скорость цифрового потока (записи) может быть снижена различными методами [20]. Наиболее перспективной оказалась система кодирования с использованием диф-

---

\* Формулы (87) и (88) носят приближенный характер и применяются для оценок отношения сигнал-шум в телефонных системах. В цифровом телевидении отношение сигнал-шум квантования в дБ определяется по формуле  $\psi = 6n + 10,79 + 20 \lg \nu$ , где  $\nu$  — отношение числа уровней квантования, приходящихся на размах сигнала яркости, к общему числу уровней квантования аналого-цифрового преобразователя. При раздельном кодировании без запаса на перегрузку отношение сигнал-шум при 7-битовом квантовании равно 52, 79 дБ, при 8-битовом 58, 79 дБ. — *Прим. ред.*

ференциальной ИКМ (ДИКМ), которая при хорошем качестве обеспечивает запись сигналов цветного телевидения со скоростью 34,368 Мбит/с [49, 50, 116, 117, 145]. По всей вероятности, в ближайшее время Европейский союз радиовещания стандартизирует данную скорость для передачи в магистральных каналах связи при международном обмене телевизионными программами\*.

### 3.2. МЕТОДЫ ЗАПИСИ

В современных профессиональных видеомагнитофонах расход ленты составляет: для четырехголовочных поперечно-строчных систем  $2 \cdot 10^4$  мм<sup>2</sup>/с; для наклонно-строчных систем  $6,5 \cdot 10^3$  мм<sup>2</sup>/с. Если при цифровой видеозаписи расход ленты будет оставаться на уровне расхода в наклонно-строчных системах, то при скорости записи в 100 Мбит/с, плотность записи информации должна соответствовать  $1,5 \cdot 10^4$  бит/мм<sup>2</sup>. Учитывая, что достижимая плотность бит в продольном направлении может оцениваться в  $1,5 \cdot 10^3$  бит/мм<sup>2</sup>, плотность строчек записи должна быть равна 10 строчек/мм. Для одноканальной записи необходима относительная скорость головки—лента 65 м/с.

Удовлетворительную передачу цифрового сигнала вполне обеспечивает канал с отношением сигнал-шум 20 дБ. Это открывает возможность для снижения относительной скорости головки—лента и увеличения плотности записи. С уменьшением ширины строчки записи отношение сигнал-шум уменьшается пропорционально квадратному корню ширины строчки. Данная зависимость справедлива и с учетом шума головки и шума предусилителя [7]. Поскольку при ширине строчки 160 мкм отношение сигнал-шум приблизительно равно 4 дБ, то при указанной плотности 10 строчек/мм целесообразно иметь строчку шириной 80 мкм, которая обеспечивает отношение сигнал-шум 37 дБ. Для отношения сигнал-шум 20 дБ была бы достаточна строчка шириной всего 1,6 мкм.

Таким образом, ширина строчки записи может быть уменьшена и для параллельной записи может быть использовано большее число строчек. Когда количество параллельных каналов равно  $n$ , скорость записи в одном канале уменьшается в  $n$  раз. В такой же степени может быть уменьшена относительная скорость головки—лента или продольная плотность записи. Многоканальные системы кажутся предпочтительнее и потому, что выпадения обычно проявляются на малой площади ленты и они оказывают влияние на коротковолновые сигналы. С одной стороны, при большом количестве строчек записи цифровое слово можно распределить между строчками таким образом, чтобы иметь возможность его восстановления, несмотря на помехи. С другой стороны, запись может проводиться на более длинных волнах, а следовательно, и влияние выпадений будет значительно меньше. Вместе с тем для многоканальных систем с параллельной записью необходимы многоканальные головки и многоканальные электронные устройства, что достаточно сложно и связано с трудностями в системах с вращающимися головками.

В прошедшие годы на основе вышеописанных принципов было приведено два эксперимента по созданию многоканальных систем параллельной записи. В одной системе использовалась однодюймовая лента. В 42-канальной системе Британской радиовещательной корпорации скорость записи в одном канале равна 2,6 Мбит/с, скорость движения ленты 3 м/с. В 28-канальной системе, созданной Центром по исследованиям в облас-

\* МККР принял международный стандарт на параметры кодирования для цифровых телевизионных студий 4:2:2, в соответствии с которым рекомендуется раздельное кодирование сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов. Частота дискретизации сигнала яркости 13,5, а цветоразностных сигналов 6,75 МГц. Все три сигнала кодируются методом линейной ИКМ с точностью 8 бит/отсчет. Полный цифровой поток — 216 Мбит/с. В ряде стран разработаны цифровые видеомагнитофоны, обеспечивающие запись такого цифрового потока. Подготовлен проект формата записи этого сигнала, который в ближайшее время будет принят международными организациями. — *Прим. ред.*

ти телевидения и электросвязи (г. Ренн, Франция) (модифицированная модель Атрех FR2000А), 18 дорожек использовались для записи изображения. Скорость движения ленты 3,4 м/с, полная скорость записи информации 50 Мбит/с [70, 114]. Ни одна из этих систем не предназначалась для промышленной эксплуатации, а лишь для накопления опыта. В обеих системах поверхностная плотность записи информации далека от желаемой (расход ленты  $7,5 \cdot 10^4$  и  $8,7 \cdot 10^4$  мм<sup>2</sup>/с соответственно).

Увеличение плотности записи сверх определенного граничного значения, естественно, помимо технологических трудностей и трудностей, связанных с удержанием головки на строчке записи, теряет смысл из-за межстрочных промежутков, необходимость в которых обусловлена наводками между соседними строчками. Это означает, что отношение реально используемой для записи площади ленты к общей площади все в большей степени уменьшается. Таким образом, заданная поверхностная плотность записи предполагает оптимальное число параллельных каналов, определенные плотность и ширину строчек записи, которые обеспечивают наилучшее отношение сигнал-шум. Если расход ленты является основным требованием, то оптимальное число каналов равно 4, а ширина строчек записи 20 мкм [86]. Из-за трудностей, связанных с удержанием головки на строчке записи, данные требования в настоящее время еще не могут быть реализованы. Вместе с тем легко реализуется система с межстрочным промежутком 50 мкм и двумя параллельными каналами. В таких системах с учетом того, что скорость цифрового сигнала равна 100 Мбит/с, каналы должны иметь пропускную способность 50 Мбит/с, т. е. ширину полосы пропускания 25 МГц.

### 3.3. КАНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ

Системы записи цифровых сигналов должны обеспечивать 100 %-ную безошибочную передачу или по крайней мере 100 %-ное обнаружение ошибок. С точки зрения цифровая система записи телевизионных сигналов не столь требовательна. Однако из-за вращающихся трансформаторов и головок с малой рабочей поверхностью необходимо, чтобы сигнал не содержал низкочастотных составляющих. Следует избегать также дальнейшего увеличения уже достаточно высокой верхней граничной частоты.

Число применяемых канальных кодов достаточно велико. Управлением независимо телевидения и радиовещания Великобритании используется блоковой 10-битовый код. В кодовой таблице содержится 10-битовые слова, состоящие из пяти "1" и пяти "0". Поэтому они не имеют постоянных составляющих. Существует 252 такие комбинации. Исходный код является 8-битовым. Из 256 возможных комбинаций 4, которые выходят за пределы нормального диапазона, опускаются. Несмотря на то, что данный код увеличивает на 20 % необходимую скорость записи, он все же имеет преимущества в том, что обеспечивает 75 %-ную вероятность обнаружения ошибок и 100 %-ное обнаружение единичной ошибки. К недостаткам данного кода следует отнести трудность исправления ошибок [7, 86, 125, 126]. Этот способ канального кодирования применяется в сегментированных и несегментированных наклонно-строчных экспериментальных системах.

Фирма Атрех разработала новый код M<sup>2</sup> для записи сигналов изображения [90, 35].

В коде отсутствуют постоянные составляющие, и он имеет ограниченную полосу, хотя согласно [126] для удовлетворительного детектирования полоса должна быть на 20 % больше, чем в вышеупомянутом коде 8/10.

Интерес представляет также исключение постоянной составляющей методом скремблирования, примененным для видеомгнитофонов [100, 146]. На цифровой сигнал с помощью суммирования по модулю 2 накладывается псевдослучайная последовательность (рис. 103). Это обеспечивает достаточно резкое уменьшение вероятности появля-

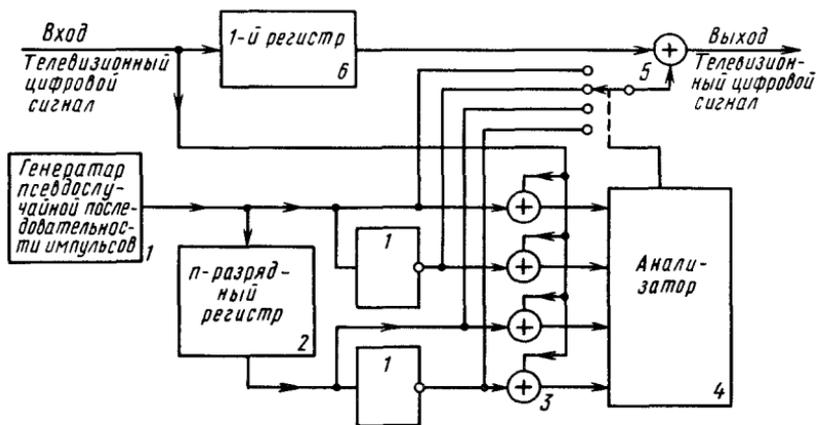


Рис. 103. Устройство скремблирования. Из псевдослучайной последовательности импульсов, формируемой генератором 1, с помощью инверторов и  $n$ -разрядного регистра 2 получают четыре разные последовательности импульсов, которые суммируются по модулю два с входным сигналом в 3; с помощью анализатора 4 выделяется та кодовая комбинация, которая дает наименьшее число нулей; в результате суммирования по модулю два в 5 выбранной кодовой комбинации с задержанным на шесть тактов в регистре 6 входным сигналом получается цифровой сигнал для записи [100]

ния длинных последовательностей нулей. Например, вероятность появления сигналов с числом нулей более 16 (поряд) меньше  $10^{-10}$ . Данный метод не увеличивает ширину полосы пропускания.

### 3.4. ИСПРАВЛЕНИЕ И МАСКИРОВАНИЕ ОШИБОК

Коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки, широко используются в технике связи (см., например, [21, 54, 109]). Их принцип прост: предназначенная для передачи кодовая комбинация дополняется в соответствии с определенным алгоритмом проверочными символами, которые располагаются в определенной последовательности. При этом ошибки могут быть обнаружены, а при выполнении ряда условий — исправлены. Самым простым примером являющимся добавление проверочного символа и проверка на четность. Можно сослаться и на вышеупомянутый 10-битовый канальный код, в котором ошибка может обнаруживаться при подсчете числа нулей и единиц, находящихся в кодовой комбинации. Из сказанного следует, что чем эффективнее система защиты от ошибок, тем большую информацию необходимо передавать. Однако из-за этого увеличивается число символов, передаваемых в единицу времени, которое ограничено конечной шириной полосы пропускания канала. Видно, что и здесь необходим компромисс между степенью коррекции ошибок, обеспечивающей приемлемое качество передачи, и полосой пропускания. По данному вопросу не сформировалась единая точка зрения. В цифровой видеозаписи получили распространение коды, начиная от простого кода Хемминга до сложных циклических кодов или даже комбинаций кодов (каскадное кодирование) [70, 101].

Маскированию ошибок, которое не применяется в цифровых системах связи, соответствуют компенсации выпадений (см. разд. 2.1): ошибочное слово или ряд слов заменяется такой информацией, которая в малой степени отличается от потерянной вследствие ошибки.

Поскольку блоковая структура цифровых сигналов должна быть тесно связана со строками телевизионного сигнала, то и здесь имеется возможность замены целой строки по типу компенсации выпадения. Однако цифровые системы позволяют использовать методы, дающие лучшие приближения, например замену строки с ошибкой средним значением предыдущей и последующей строк. Точно такие же методы могут быть применены для маскирования ошибок внутри строки. В этом отношении раздельное кодирование составляющих сигнала, естественно, открывает более широкие возможности — позволяет отдельно обрабатывать сигналы яркости и цветности.

Важным вспомогательным средством маскирования ошибок является перемещение символов кодовых комбинаций, которое обеспечивает нахождение символов на удаленных друг от друга участках ленты, относящихся к соседним элементам изображения. Таким образом, одно выпадение не может нарушить на изображении ряд соседних элементов. Кроме того, всегда имеется информация для замещения отсутствующей [86]. Для восстановления исходного сигнала необходимо использовать запоминающие устройства.

Следует отметить, что если при записи с целью снижения скорости записи используется какой-то способ, сокращающий избыточность телевизионного сигнала, то, естественно, уменьшаются возможности применяемых методов маскирования и снижается их эффективность. Эти методы как раз и базируются на многократном использовании избыточной информации [101, 86].

### 3.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВИДЕОМАГНИТОФОНЫ

Экспериментальные аппараты — это частично модернизированные серийно выпускаемые видеомагнитофоны, предназначенные для демонстрации на выставках и конференциях.

Цель модернизации — увеличение относительной скорости головка—лента, уменьшение ширины строчки записи, увеличения плотности записи, расширение полосы канала записи воспроизведения и (но не в последнюю очередь) разработка систем коррекции и маскирования ошибок при воспроизведении. На рис. 104 показана структурная схема цифрового видеомагнитофона.

В экспериментальном четырехголовочном аппарате [113], дискретизация в котором производится с частотой  $f_{цп}$  (скорость записи (NTSC) 86 Мбит/с), относительная скорость головка—лента остается без изменения, но на диске располагается В головок (4 пары) — две одновременно записывают или считывают. Благодаря этому скорость записи в одном канале снижается до 43 Мбит/с. Увеличение числа головок в 2 раза приводит к уменьшению ширины строчки записи до 127 мкм и ширины межстрочного промежутка до 63,5 мкм. Скорость движения ленты остается без изменения и составляет 381 мм/с (525/60 Гц). Естественно, что без изменения остается и расход ленты. Запись осуществляется с использованием канального кода  $M^2$ , линейная плотность записи равна 1100 бит/мм.

В данном формате записи без изменения остаются звуковая дорожка, дорожка сигналов управления и режиссерская дорожка. Аппарат также обеспечивает возможность 4-канальной звукозаписи на строчках записи телевизионного сигнала. Частота дискретизации звукового сигнала 50 кГц, а точность квантования 16 бит/отсчет. Отрезок звукового сигнала, соответствующий времени записи 16 строк и записанный одной парой головок на строчках записи телевизионного сигнала (приблизительно 1 мс), записывается на концах строчек длиной 5 мм в цифровой форме (приблизительно 800 бит/канал).

Модифицированный видеомагнитофон с сегментированной цифровой наклонно-строчной системой записи был изготовлен фирмой Robert Bosch в двух вариантах. Оба аппарата работают с удвоенной относительной скоростью головка—лента и имеют уменьшенную ширину строчек записи. В модернизированном серийном варианте длина стро-

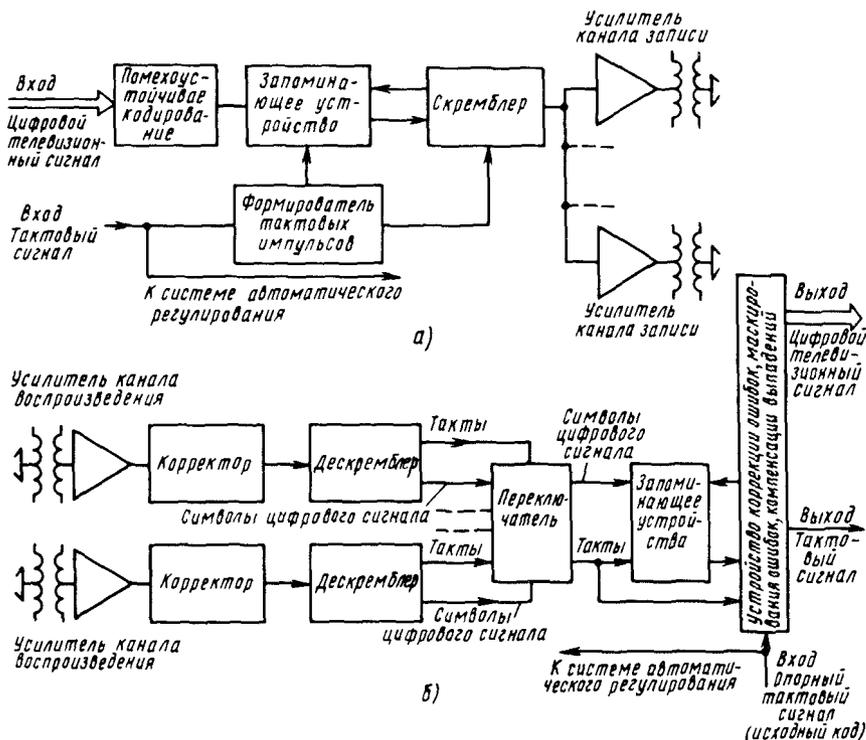


Рис. 104. Структурные схемы каналов записи (а) и воспроизведения (б) цифрового видеомагнитофона

чек уменьшена на четверть, а скорость движения ленты — в 2 раза. Учитывая, что прочие параметры обеих систем идентичны, при использовании двух дополнительных головок и скорости движения ленты 240 мм/с этот аппарат пригоден для записи со скоростью 160 Мбит/с. Благодаря этому данная система обеспечивает запись не только полных цветных телевизионных сигналов PAL в цифровой форме с частотой дискретизации  $2f_{цп}$ , но и сигналов системы SECAM с частотой дискретизации  $4f_{цп}$ . В экспериментальных аппаратах отсутствовала цифровая звуковая часть, которая была разработана позднее и подобна реализованной в четырехголовочных устройствах.

В несегментированной наклонно-строчной системе фирмы Sony [113, 126] частота вращения барабана блока вращающихся головок, естественно, не может меняться (не изменяется и скорость движения ленты). Усовершенствование заключается в замене одноканальной головки на трехканальную (три головки объединены в один блок). Из них две обеспечивают параллельную запись цифровых сигналов со скоростью 80 Мбит/с (115 Мбит/с), а третья — запись звука. Конечно, изменены вращающийся трансформатор и схема питания головок. Во всех трех системах наклонно-строчной записи используются каналные коды для записи 8/10, о которых говорилось выше\*.

\* В последние годы на ряде международных выставок были продемонстрированы цифровые наклонно-строчные кассетные видеомагнитофоны для записи цифрового телевизионного сигнала в студийном стандарте 4:2:2, т. е. обеспечивающие запись со скоростью 216 Мбит/с на ленте шириной 19,01 мм. В этих аппаратах для записи были применены каскадное помехоустойчивое кодирование и скремблирование. — Прим. ред.

1. ACKER, D. E.: Electronic signal processing in today's time base correctors. 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977. Paper No. G-10.
2. ALBRECHT, D. M.-LAENEN, E. G.-CHUA LIN: Experiments on the dynamic response of a flexible strip to moving loads. IBM Journ. Res. Develop. 1977. 379..383.
3. AMPLEX: AVR-2 Videotape Recorder, Theory of operation. Ampex Corporation. Cat. No. 1809179-01. 1977.
4. BALDWIN, J. L. E.: The digital future of television centers. IBA Technical Review. 1972. No. 3. 45..51.
5. BALDWIN, J. L. E.: Progress in digital television recording. Int. Broadcast Engineer. 1973. márc. 22...26.
6. BALDWIN, J. L. E.: Digital television recording. Proc. Conf. Video and Data Recording. Birmingham, 1973. IERE Conf. Proc. No. 26. 67...70.
7. BALDWIN, J. L. E.: Progress in digital television recording. Int. Broadcast Engineer. 1979. márc. 22...26.
8. BARBIERI, G. F.-ARDITO, M.: Drop-out compensation for PAL and SECAM colour signals. EBU Review. 1972. 221...227.
9. BATE, G.-DUNN, L. P.: Experiments on the writing process in magnetic recording. The Radio and Electronic Engineer. 47, 1977. 562...566.
10. BCN One-inch Videotape Recording System. Robert Bosch GmbH. B 0104e, 1979. (Prospektus.)
11. BERTRAM, H. N.-NIEDERMEYER, R.: The effect of demagnetization fields on recording spectra. IEEE Trans. Mag. MAG-14, 1978. 743..745.
12. BRAUNS, H.: Kopftrommel und Spurbild des BK 200. Grundig Technische Informationen. 1971. 927...930.
13. CCIR Recommendation 472-1 (1970-1974): Video-frequency characteristics of a television system to be used for the international exchange of programmes between countries that have adopted 625-line colour or monochrome systems. Kyoto, 1978.
14. CCIR Recommendation 567 (1978): Transmission performance of television circuits designed for use in international connections. Kyoto, 1978.
15. CCIR Recommendation 568 (1978): Single value of the signal-to-noise ratio for all television systems. Kyoto, 1978.
16. CCIR Report 311-4 (1963-1966-1970-1974-1978): The present position of standard conversion. Kyoto, 1978.
17. CCIR Report 624-1 (1974-1978): Characteristics of television systems. Kyoto, 1978.
18. CCIR Report 629-1 (1974-1978): Television systems using digital modulation. Kyoto, 1978.
19. CCIR Report 637-1 (1974-1978): Signal to noise ratios in television. Kyoto, 1978.
20. CHAMBERS, J. P.: The use of coding techniques to reduce the tape consumption of digital television recording. Proc. Conf. Video and Data Recording. Birmingham, 1973. IERE Conf. Proc. No. 26. 71...74.
21. CHU, Y.: Digitális számítógépek tervezésének alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
22. CLAYDON, G.-TAYLOR, K.: A new approach to synchronizer design. Comm. and Broadcasting. 16, 1980. 15...21. CVS: The CVS 517, a new generation of digital time base error corrector. 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977. Paper G-9.
23. DARBY, P. J.-MARSHALL, P. J.: The need for new television recording techniques. Proc. Conf. Video and Data Recording, Birmingham, 1973. IERE Conf. Proc. No. 26. 61..66.
24. DIERMANN, J.: Electronic still store - the digital mass storage of TV images in computer disk files. 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977. Paper G-7.
25. EBU Standards for television tape recordings (2nd edition). Tech. 3084 E. Brüssel, 1975.
26. EBU time-and-control code for television tape recordings (625-line television) (2nd edition). Tech. 3097- E. Brüssel, 1980.
27. EBU Technical Information Sheet No. 7.: Helical scan television recording on 25,4 mm tape. Brüssel, 1979.

- 28 EDWARDSON, S M The digital timing-correction of video tape recorded colour television signals Proc Conf Video and Data Recording Birmingham 1973 IERE Conf Proc No 26 27 39
29. EICHSTADT, K -ROIZEN, J SIMON, G Innovative self tailoring techniques with microprocessor controlled editing systems 11th International Television Symposium, Montreaux 1979 Paper III B 5
30. ELLIOT, J An environmentally hardened airborne video recording and playing machine Proc Conf Video and Data Recording, Birmingham 1976 IFRF Conf Proc No 35 203 216
- 31 ENNES, H E Television broadcasting tape and disc recording systems New York, Howard W Sams et Co, Inc, 1973
- 32 FELIX, M O F M systems of exceptional bandwidth Proc International Conf on Magnetic Recording London, 1964 155 158
- 33 FELIX, M DOLBY D -LEMIONE, M Digitale Bildaufzeichnung Runkfunktech Mitt 24, 1980 248 253
- 34 FELIX, M O -WALSH, H F M system of exceptional bandwidth Proc IEE 112, 1965 1659 1668 158
- 35 FELIX, M -DOLBY, D -LEMIONE, M Digitale Bildaufzeichnung Runkfunktech Mitt 24, 1980 248 253
- 36 FELIX, M O -WALSH, H F M system of exceptional bandwidth Proc IEE 112, 1965 1659 1668
- 37 FERENCZI Ö -MITRÓ S Felvezetődiodas elektronikus aramkorok Műszaki Konyvkiado, Budapest, 1973
38. FERENCZY P Hírközlelésmelet Tankonyvkiado, Budapest, 1974
- 39 FRITSCH, K Zur Wiedergabe grosser Wellenlangen vom Magnetband Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 75, 1966 39 75
- 40 ГОНЧАРОВ А В, ХАРИТОНОВ М. И. Влияние параметров ЧМ канала видеоманитофона на комбинационные искажения видеосигнала // Труды ВНИИРТ - 1976. - Т. 8, № 27. - С 22 - 31.
- 41 GRAD J A mintavetelőz aramkor mint fazisdetektor Híradastechnika XXX, 1979 310 316
- 42 GROLL, H R Der BCN5 Kassettenrecorder und damit in Zusammenhang stehende Entwicklungen Robert Bosch-GmbH Nr 478-03
- 43 HABERMANN, W Automation in television recording and editing 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977 Paper E 12
44. HATHAWAY, R A -RAVIZZA, R The design philosophy of the VRP-1 helical scan machine with automatic scan tracking 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977 Paper E-6
- 45 HAYNES, M K Write-separation loss and phase functions in AC-bias recording IEEE Trans Mag MAG 12 1976 761 763
46. HAYNES, M K Experimental determination of the loss and phase function of a magnetic recording channel IEEE Trans Mag MAG-13 1977 1284 1286
- 47 HECKENAST G Magneses keprogzites Kep-es Hangtechnika 1964 69 73, 110 118, 161 168, 1965 16 20, 43 50, 73 78, 113 116, 147 152, 175 181
- 48 HEIGHTMAN, A N Advances in helical video tape recorders for television broadcasting Communication and Broadcasting Autumn 1977 4 11
- 49 HEITMANN, J Ein systemkompatibles digitales Farbfernsehsignal Rundfunktech Mitt 20, 1976 236 241
- 50 HEITMANN, J „COMET”, a new compatible encoding system for European color TV-signals 10th International Television Symposium, Montreaux, 1977 Paper D-10
- 51 HEITMANN, J Zeitlupenwiedergabe und Suchlauf bei „segmented field” Videorecordern Rundfunktech Mitt 22, 1978 15 21
- 52 van HERK, A Side fringing fields and write and read crosstalk of narrow magnetic recording heads IEEE Trans Mag MAG 13, 1977 1021 1028
- 53 HOFMANN, H -SCHACHLBAUER H Digital-Time-Base-Correctoren in der Videotechnik Rundfunktech Mitt 21, 1977 68 76
- 54 HORVATH L GORDOS G -VARGA A Adatvitel Tankonyvkiado Bp Mernoki Tovabbkepzo Intezet V 64 1965
55. IEC Publication 347 Tranverse track recorders Genf 1972 Amendment No 1 1980
- 56 IEC Publication 461 Time and control code for video tape recording Genf 1974
- 57 IEC Publication 511 Helical-scan video-tape cassette system using 0,5in (12,70 mm) magnetic tape (50 Hz 625 lines) Genf 1975

- 58 IEC Publication 511A Helical-scan video-tape cassette system using 0,5in (12,70 mm) magnetic tape (60 Hz 525 lines) Genf 1977
- 59 IEC Publication 602. Type B helical video recorders Genf 1980
60. IEC 60B (Central Office) 23 Draft Time base stability 1977 februar
- 61 IEC 60B (Central Office) 43 Draft Time base stability (Supplement to Doc 60B [CO] 23) 1980 julius
62. IEC 60B (Central Office) 27 Report on the Voting for the approval of Doc 60B (CO) 23 1978 mårcius
63. IEC 60B (Central Office) 33 Draft Helical-scan videotape cartridge and reel-to-reel system using 12,7 mm (1/2in) magnetic tape 1979 majus
64. IEC 60B (Central Office) 46 Report on the Voting for the approval of Doc 60B (CO) 33 1980 oktober
65. IEC 60B (Central Office) 34 Draft Helical scan video tape cassette system using 19 mm (3/4in) magnetic tape 1979 majus
66. IEC 60B (Central Office) 47 Report on the Voting for the approval of Doc 60B (CO) 34 1980 oktober
- 67 IEC 60B (Secretariat) 76 Helical scan video tape cassette system using 12,65 mm (0,5in) magnetic tape on type , VHS 1980
68. IEC 60B (Secretariat) 81 Helical scan video-tape cassette system using 12,65 mm (0,5in) magnetic tape on type „BETA-format 1980
69. JFNKINSON, B FBU, C-format in retrospect International Broadcast Engineer 12, 1981 No 176 4 7
- 70 JONES, A H BELLIS F A An experimental approach to digital television recording International Broadcast Convention 1974 IEE Conf Publ No 119 114 118
- 71 KLRSHAW D B KITSON, M A TAYLOR R J Video tape editing Proc Conf Video and Data Recording Birmingham 1973 IERE Conf Proc No 26 41 47
- 72 KIHARA, N Magnetic recording of signals containing synchronizing information US Pat No 3, 215, 772, 1965
- 73 KIHARA, N PAL and SEC AM systems of BETA format Inst of Television Engineers of Japan 1979 (Flóadas)
74. KIHARA, N KOHNO, F ISHIGAKI, Y Development of a new system of cassette type consumer VRT IFF Trans on Consumer Electronics 1976 26 36
75. KIRK, D GAMMANS, C Equipment review Sony SL 8000UB Betamax Video 1979 febr 30 32
- 76 KOESTER, E PFEFFERKORN D The effect of remanence and coercivity on short wavelength recording IEEE Trans Mag MAG-16, 1980 56 58
- 77 KOLB, G Grundig Videorecorder Video 2 x 4. Mechanischer Teil Grundig Technische Informationen 1980 109 120
78. KORNHAAS, W Standbildautomatik im Grundig BK 204 bzw BK 401 Grundig Technische Informationen 1973 106 109
- 79 KORNHAAS, W Das Band-, Kopfservo- und Spurnachführungssystem (DTF) des Video 2 x 4 Grundig Technische Informationen 1980 111 120
- 80 KORNHAAS, W Grundig Videorecorder 2 x 4 Plus Grundig Technische Informationen 1980 281 292
81. KRONES, F Die Theorie des Magnetspeichers Technik d Magnetspeicher szerk WINCKEL, F Berlin, Springer, 1960
82. van der LEEDEN, R A standard time-and-control code for 625-line/50-field television tape recordings FBU Review Pt B 1973 No 137 4 13
83. van der LEEDEN, R Digital television tape recording International Broadcast Engineer 1979 mårcius 26 28
84. LIEBMANN, H Professionelle Videomagnetbandgerate nach dem System GPR Grundig Technische Informationen 1975 670 677
85. LINDHOLM, D A Dependence of reproducing gap null on head geometry IEEE Trans Mag MAG-11, 1975 1692 1696
86. LUCAS, K 625 line PCM composite PAL signal recording and error concealment 11th International Television Symposium, Montreaux, 1979 Paper VI A-3
87. MALLER, V A J MIDDLETON, B K A simplified model of the writing process in saturation magnetic recording Proc Conf Video and Data Recording Birmingham 1973 IERE Conf. Proc No 26 137 147

- 88 MALLINSON, J C Maximum signal-to-noise ratio of a tape recorder IEEE Trans Mag MAG 10, 1969 182 186
89. MALLINSON, J C The signal-to-noise ratio of a frequency modulated video recorder EBU Review Pt B 1975 No 153 241 243
- 90 MALLINSON, J C -MILLER, J W Optimal codes for digital magnetic recording The Radio and Electr Engr 47, 1977 172 176
91. MALLINSON, J C -STEELE, CH W A computer simulation of unbiased sine wave recording IEEE Trans Mag MAG-7 1971 249 254
92. MAYER, N -NOLOCH, G MOLL, G FAM Rundfunktechn Mitt 13, 1969 159 169
- 93 MEE, C D The physics of magnetic recording Amsterdam North-Holland Publ Comp 1964
- 94 MERKL, J -HAUBNER B Video-Cassetten-Recorder BK 2000 Color in Modul-Baukastentechnik Grundig Technische Informationen 1973 188 193
- 95 MERKL, J -SEBALD, R Die Bedeutung der physikalischen Eigenschaften des Magnetbandes bei der Videoaufzeichnung Grundig Technische Informationen 1975 540 543
- 96 MFSSERSCHMID, U Die visuelle Störwirkung horizontaler Bildstand schwankungen beim Fernsehen Rundfunktechn Mitt 4, 1960 74 79
- 97 MIDDLETON, B K -WISELY, P L The development and application of a simple model of digital magnetic recording to thick oxide media Proc Conf Video and Data Recording Birmingham 1976 ILRE Conf Proc No 35 33 42
- 98 MIDDLETON, B K -WISELEY, P L Pulse superposition and high density recording IEEE Trans Mag MAG 14, 1978 1043 1050
99. MORITA, Г -TAKANO, M An upgraded 3/4 inch videocassette recorder 10th International Television Symposium, Montreaux 1977 Paper E 11
- 100 NAGAKAWA, SH, et al PCM video recording using a rotating magnetic sheet 11th International Television Symposium, Montreaux 1979 Paper VI B 1
- 101 NASSE, D 625-line component recording, bit rate reduction and error protection 11th International Television Symposium, Montreaux 1979 Paper VI A-2
- 102 NEMES L Videomagnok Műszaki Konyvkiadó, Budapest, 1976
- 103 OBRZEMSKI, M Videorecorder BK 200, Aufzeichnung und Wiedergabe des Videosignals Grundig Technische Informationen 1971 931 936
- 104 ORR, W H Modern video tape editing Communication and Broadcasting 1978 42 45
- 105 PARFENTYEV, I A -PUSSZET, L A A magneses hangrozgotes fizikai alapjai Műszaki Konyvkiadó, Budapest, 1964
- 106 PAULSON, B Television is moving fast from A to D Broadcast Communication 1979 augusztus 26 34, szeptember 26, 49
- 107 PROSSER, R D ALLNATT, J W Subjective quality of television pictures impaired by random noise Proc IEE 112, 1965 1099 1102
- 108 RAEBIGER, W Die professionelle Videorecorder VCR 601 Grundig Technische Informationen 1978 95 113
- 109 REZA, F M Bevezetes az informacioelmeletbe Műszaki Konyvkiado, Budapest, 1966
- 110 RICHTER, H G Magnetische Videospeicherung von SECAM-Farbfersesignalen auf Studio-Videospeichergeraten Radio Fernsehen Elektronik 21, 1972 141 146, 180 185, 226 231
- 111 RME Video-Cassetten Radio Mentor Elektronik 44, 1978 58 67
112. РОБИНСОН А. Ф. Магнитная видеозапись. Теория и практика. Пер. с англ. под ред В. И. Пархоменко. - М. Связь, 1980. - 319 с
- 113 ROIZEN, J Ampex unveils digital VTR at winter SMPTE meeting Broadcast Communications 1979 marcius 124 129
- 114 ROIZEN, J Sony demonstrates digital VTR Broadcast Communications 1979 majus 74 75
115. ROIZEN, J Technically speaking NAB was on target Broadcast Communications 1981 majus 110 114
116. SABATIER, J Multiple structure and coding methods at 34 Mbyte/s 10th International Television Symposium Montreaux, 1977 Paper D 8
- 117 SABATIER, J Setting the standard for a digital television system 10th International Television Symposium Montreaux, 1977 Paper G 1
- 118 SABATIER, J KRETZ, F Sampling the components of 625-line colour television signals EBU Review, Pt B 1978 No 171 212 225

- 119 SADASHIGE, K Selected topics on modern magnetic video recording technology Proc Conf Video and Data Recording Birmingham 1973 ILRF Conf Proc No 26 1 26
- 120 SALTER M „C-format the fourth dimension International Broadcast Engineer 12, 1981 No 176 8 12
- 121 SCHILDFR, H Funktionsbeschreibung I MAZ BCN Nürnberg, Schule für Rundfunktechnik 1976
- 122 SHIRAIISHI Y HIROTA, A Magnetic recording at video cassette recorder for home use IEEE Trans Mag MAG 14 1978 318 320
- 123 SHORTER, G Europe responds to Japanese video Wireless World 1979 11 46 49
- 124 SMALLER PH The noise in magnetic recording which is a function of tape characteristics JAE S 7 1959 196 202
- 125 SOCHOR, J Digital video recording technique in one-inch segmented-field 11th International Television Symposium Montreaux 1979
- 126 STEELI F H An experimental digital video recorder based on a one-inch type „C format” machine a progress report 11th International Television Symposium Montreaux, 1979
- 127 STOTHART R B-format update recent technical improvements to the BCN series International Broadcast Engineer 12 1981 No 176 32 34
- 128 SUGAYA H Rotating head type video tape recording techniques National Technical Report (Japan) 21, 1975 No 4
- 129 SUGAYA, H Recent advances in video recording IFFI Trans Mag MAG-14 1978 632 637
- 130 TH Video 2000 ein neues Bildaufzeichnungssystem Funkschau 1979 926 930
- 131 THORNLEY, R F M WILI IAMS J A Switching speed in magnetic tapes IBM Journ Res Develop 1974 576 578
- 132 THURLINGS, L Statistical analysis of signal and noise in magnetic recording IFFI Trans Mag MAG 16, 1980 507 513
- 133 TOOMS, M S Moire effects in the reproduction of TV signals by VTR machines The Royal Television Society Journal 13 1970 4 10, 91
- 134 VAJDA Z Bevezetes a mangeses jelrozgates elmeletebe Kep- es Hangtechnika, 1963 106 113
- 135 VAJDA Z Magnetcopfe Grundlagen der magnetischen Signalspeicherung Szerk VÖLZ, H Berlin, Akademie Verlag 1968
- 136 VAJDA Z A simplified-hysteresis loop model of the unbiased sine wave magnetic recording 3rd Conference on Magnetic Recording Budapest, 1970 Paper No 4, 6
- 137 VAJDA Z A magnofejgyartas anyagai es technologiaja Finommechanika Mikrotechnika 19, 1981 335 346
- 138 VALKÓ IVAN PETERNI szerk Szines televizio es IV V savu technika Hradastechikai Tudomanyos Egyesulet Bp 1969
- 139 WANG, H S C Gap loss function and determination of certain critical parameters in magnetic data recording instruments and storage systems Rev Sci Instr 37 1966 1124 1130
- 140 WBN Combination camera/VTRs and graphic art systems star at 1981 NAB World Broadcast News 3, 1981 junius 19 28
- 141 WESTMIJZE, W K Studies on magnetic recording Philips Res Rep 8, 1953 148 157, 161 183, 245 269, 343 366
- 142 WOOD, R W -DONALDSON, R W The helical scan magnetic tape recorder as a digital communication channel IEEE Trans Mag MAG-15, 1979 935 943
- 143 WÜRL, W Ein neuer professioneller Videorecorder aus der GPR-Familie für hochzeitliche Fernsehaufzeichnung mit erhöhter Bandbreite Grundig Technische Informationen 1978 293 299
- 144 ZAHN, H BCN 5, tragbare 1 Kassetten-Studio-MAZ BCN-Symposium Darmstadt, 1978
- 145 ZSCHUNKE, W Digital coding and transmission of TV signals with 34 Mbyte/s 10th International Television Symposium Montreaux 1977 Paper D 9
- 146 YOKOYAMA, K, et al PCM video recording using rotating magnetic sheet NHK Laboratories Note 1977 december No 221

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Д1. Техника магнитной видеозаписи/А. В. Гончаров, В. И. Лазарев, В. И. Пархоменко, А. Б. Штайн. — М.: Энергия, 197В. — 400 с.
- Д2. Гончаров А. В., Харитоков М. И. Канал изображения видеомагнитофона. — М.: Радио и связь, 19В3. — 144 с.
- Д3. Гитлиц М. В., Лишин Л. Г. Видеомагнитофоны и их применение. — М.: Связь, 1980.— 168 с.
- Д4. Фридлянд И. В., Сошников В. Г. Бытовые видеомагнитофоны. — М.: Знание, 1986.— 64 с.
- Д5. Хесин А. Я. Видеосистема Betacam//Техника кино и телевидения. — 1984. — № 3. — С. 61 — 67.
- Д6. Хлебородов В. А. Международная рекомендация по цифровой видеозаписи//Техника кино и телевидения. — 1986. — № 3. — С. 39—45.
- Д7. Хлебородов В. А. Международная рекомендация по цифровой видеозаписи//Техника кино и телевидения. — 1986. — № 4. — С. 42—47.
- ДВ. Кривошеев М. И., Никаноров С. И., Хлебородов В. А. Международный стандарт цифрового кодирования//Техника кино и телевидения. — 1982. — № 3. — С. 49—54.
- Д9. Кривошеев М. И., Никаноров С. И., Хлебородов В. А. Международный стандарт цифрового кодирования//Техника кино и телевидения. — 1984. — № 9. — С. 32—37.
- Д10. Цифровое телевидение/М. И. Кривошеев, Л. С. Виленчик, И. Н. Красносельский и др. — М.: Связь, 1980. — 264 с.
- Д11. Новаковский С. В. Стандартные системы цветного телевидения. — М.: Связь, 1976.— 368 с.
- Д12. Щербина В. И. Цифровые магнитофоны. — М.: Радио и связь, 1986. — 54 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода . . . . .	5
Предисловие к русскому изданию. . . . .	6
Предисловие . . . . .	7
<b>Глава 1. Введение . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Канал магнитной записи-воспроизведения сигналов . . . . .	8
Идеальная головка . . . . .	11
Идеальный носитель сигнала . . . . .	11
Воспроизведение . . . . .	11
Амплитуда сигнала . . . . .	12
Амплитудно-частотная характеристика. . . . .	12
Потери, зависящие от длины волны записи . . . . .	13
Процесс записи-воспроизведения . . . . .	17
Частотная зависимость. . . . .	17
Зависимость от длины волны записи . . . . .	18
Нелинейные искажения . . . . .	22
Шум . . . . .	22
Основной источник шума . . . . .	23
Модуляционный шум. . . . .	24
1.2. Особенности магнитной записи телевизионного сигнала . . . . .	25
Основные требования . . . . .	25
Ширина полосы . . . . .	25
Отношение сигнал-шум . . . . .	26
Искажения временного масштаба . . . . .	28
Выпадения сигнала . . . . .	30
Требования к функциональным возможностям . . . . .	31
<b>Глава 2. Аналоговая видеозапись . . . . .</b>	<b>32</b>
2.1. Обработка сигналов в видеомэгнитофонах . . . . .	32
Частотная модуляция. . . . .	32
Влияние ограничения полосы пропускания и амплитудно-частотной характеристики канала. . . . .	35
"Отрезанная" боковая полоса . . . . .	37
Влияние нелинейных искажений . . . . .	38
Отношение сигнал-шум . . . . .	41
Частотная модуляция телевизионным сигналом . . . . .	43
ЧМ канал . . . . .	48

Запись полного цветового телевизионного сигнала . . . . .	57
Запись без межстрочных промежутков . . . . .	63
Компенсация выпадений . . . . .	68
2.2. Механические характеристики . . . . .	71
Строчки записи видеосигнала . . . . .	71
Траектория движения ленты . . . . .	76
Блок вращающихся головок . . . . .	81
2.3. Системы автоматического регулирования . . . . .	87
Системы автоматического регулирования скоростного двигателя и скорости движения ленты . . . . .	90
Система автотрекинга . . . . .	96
Системы автоматического регулирования двигателей подающего и приемного узлов . . . . .	100
Переключение видеоголовок . . . . .	102
2.4. Коррекция временных искажений . . . . .	105
Временные искажения . . . . .	105
Корректор временных искажений . . . . .	108
2.5. Специальные режимы воспроизведения . . . . .	114
Стоп-кадр, замедленное и ускоренное воспроизведение . . . . .	114
Монтаж видеофонограмм . . . . .	124
Временная задержка переключения режимов записи-воспроизведения . . . . .	125
Работа систем автоматического регулирования . . . . .	128
Адресно-временной код . . . . .	129
2.6. Форматы записи . . . . .	136
Профессиональные форматы . . . . .	137
Полупрофессиональные и бытовые видеомэгнитофоны . . . . .	151
<b>Глава 3. Цифровая видеозапись . . . . .</b>	<b>155</b>
3.1. Кодирование телевизионного сигнала . . . . .	157
3.2. Методы записи . . . . .	160
3.3. Канальное кодирование . . . . .	161
3.4. Исправление и маскирование ошибок . . . . .	162
3.5. Экспериментальные цифровые видеомэгнитофоны . . . . .	163
Список литературы . . . . .	165
Дополнительный список литературы . . . . .	170

Производственное издание

**ЗОЛТАН ВАЙДА**

**СОВРЕМЕННАЯ ВИДЕОЗАПИСЬ**

Заведующая редакцией *О. В. Толкачева*

Редактор *С. Н. Удалова*

Художественный редактор *Т. В. Бусарова*

Обложка художника *В. В. Третьякова*

Технический редактор *З. Н. Ратникова*

Корректор *Г. Г. Казакова*

**ИБ № 1457**

---

Подписано в печать 27.03.87      Формат 60x88/16      Бумага офс. № 2      Гарнитура  
"Универс"      Печать офсетная      Усл. печ. л. 10,78      Усл. кр.-отт. 11,515      Уч.-изд. л. 12,13  
Тираж 50 000 экз.      Изд. № 21751      Зак. № 2271      Цена 80 к.  
Издательство "Радио и связь". 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

---

Московская типогрeфия № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговле. 129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46