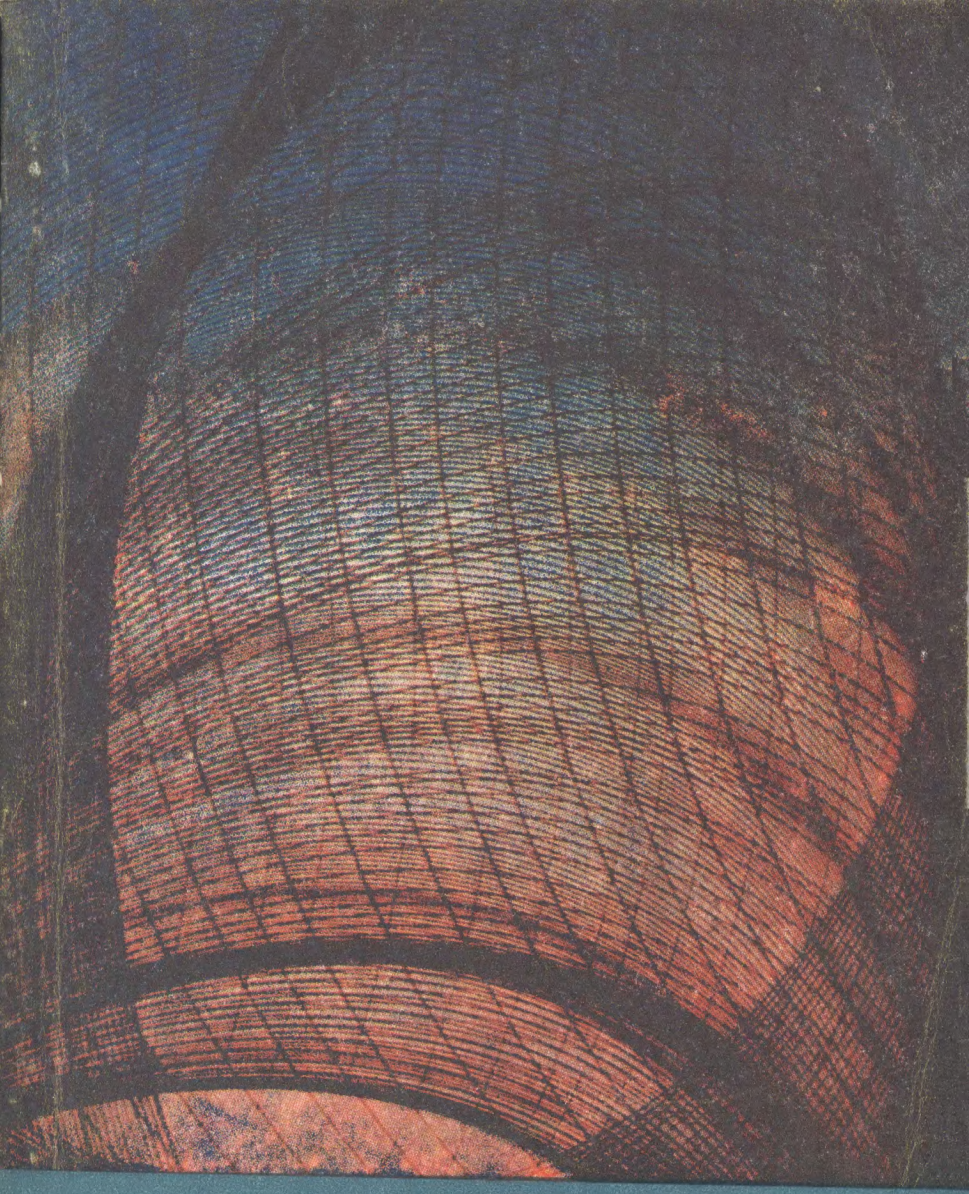

М. В. ГИТЛИЦ, Л. Г. ЛИШИН

ВИДЕОМАГНИТОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

СОВЕТСКО-ВЕНГЕРСКАЯ
БИБЛИОТЕКА ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

М. В. Гитлиц, Л. Г. Лишин

ВИДЕОМАГНИТОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

МОСКВА «СВЯЗЬ»
БУДАПЕШТ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1980

ББК 32.94
Г51
УДК 621.397.6.037.733.2 : 681.84.083.84

Гитлиц М. В., Лишин Л. Г.

Г51 Видеомагнитофоны и их применение.— М.: Связь, 1980.— 168 с., ил.— (Советско-венг. б-ка по радиоэлектронике).

90 к.

Излагаются основные особенности магнитной видеозаписи и принципы построения структурных схем видеомагнитофонов. Приводятся технические данные и рассматриваются устройства наиболее распространенных профессиональных и бытовых видеомагнитофонов. Описаны способы записи цветных телевизионных изображений на них. Рассматривается технология применения видеомагнитофонов на телецентрах. Излагаются способы записи цифровых, радиолокационных и других широкополосных сигналов на видеомагнитофонах.

Книга рассчитана на квалифицированных радиолюбителей, радиомехаников телеателье и инженерно-технических работников.

$Г\frac{30403-017}{045(01)-80}84-80$ 2402020000 ББК 32.94 6Ф3

Максим Владимирович Гитлиц

Лаврентий Григорьевич Лишин

ВИДЕОМАГНИТОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Редактор Е. Э. Зуевская

Художественный редактор А. А. Данилин

Технический редактор Г. И. Колосова

Корректор В. А. Иванова

ИБ № 378

Сдано в набор 30.10.79 г. Подп. в печ. 28.12.79 г. Т-22717 Формат 84×108/32 Бумага тип. № 3 Гарнитура литературная Печать высокая Усл. печ. л. 8,82 Уч.-изд. л. 12,0 Тираж 50 000 экз. (2-й завод 20001 — 50000 экз.) Изд. № 18129 Зак. № 194 Цена 90 к.
Издательство «Связь». Москва 101000, Чистопрудный бульвар, д. 2

Типография издательства «Связь» Госкомиздата СССР
Москва 101000, ул. Кирова, д. 40

© Издательство «Связь», 1980 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы в телевизионном вещании широко применяются видеомагнитофоны. Магнитная видеозапись пришла на смену киносъемке.

Объясняется это двумя обстоятельствами: во-первых, высокими технико-экономическими показателями процесса магнитной записи — воспроизведения, его оперативностью, технологичностью, отсутствием процессов фотохимической обработки носителя и др. и, во-вторых, высоким качеством изображения, воспроизводимого с видеомагнитофона.

В отличие от кинематографа при магнитной видеозаписи сигнал записывается не в виде отдельных кадров изображения, а в виде электрических сигналов. При этом требования к точности записи сигнала весьма велики. Поэтому видеомагнитофоны стали широко применяться для записи не только телевизионной информации, но и других широкополосных сигналов, в частности, сигналов связи, телеметрии, радиолокационных сигналов и т. д.

Появление конструктивно простых одно- и двухголовочных видеомагнитофонов привело к их широкому распространению в быту, к использованию при тренировках спортсменов, в учебных центрах и при научных исследованиях.

Круг задач, решаемых с помощью видеомагнитофонов, непрерывно расширяется и соответственно увеличивается число специалистов (а также и неспециалистов), эксплуатирующих и приспосабливающих их для решения частных задач.

При нестандартном использовании видеомагнитофонов часто приходится сталкиваться с известными затруднениями, связанными с тем, что устройство видеомагнитофона как аппарата магнитной записи определяется структурой телевизионного сигнала и во избежание значительных погрешностей параметры записываемого сигнала должны быть согласованы с параметрами аппарата. Немалые трудности могут возникнуть также и при использовании видеомагнитофонов в замкнутых системах, особенно если по каким-либо соображениям необходима та или иная их доработка. И, наконец, для эксплуатации видеомагнитофона требуется значительно более высокая квалификация пользователя, чем, например, для эксплуатации телевизора, радиоприемника или магнитофона, поскольку видеомагнитофон — устройство весьма сложное и к тому же в него входят подверженные сравнительно быстрому износу узлы, требующие ювелирной юстировки при замене.

Предлагаемая книга должна помочь читателю эксплуатировать видеомагнитофоны не только по прямому назначению, но и применять их для записи других сигналов. Поэтому в ней приведены особенности структуры телевизионного сигнала, важные с точки зрения видеозаписи; описаны особенности применения видеомагнитофонов для записи многоканальных телеметрических и радиолокационных сигналов; описаны основные методы видеозаписи и характеристики видеомагнитофонов; рассмотрены особенности конструкции видеомагнитофонов разных типов; приведены методы измерения характеристик видеомагнитофонов, а также рассмотрены перспективные методы цифровой записи сигналов с использованием видеомагнитофонов.

В гл. 1 рассмотрены основные виды применения видеомагнитофонов и описаны структуры телевизионных и сходных с ними сигналов. Глава 2 посвящена особенностям магнитной записи видеосигналов. В ней показаны трудности, возникшие при попытках использовать для видеозаписи принципы звукозаписи, и показано, как эти трудности удалось преодолеть применением строчного способа записи.

В гл. 3 подробно рассмотрено устройство видеомагнитофонов. Приведены кинематические схемы лентопротяжных механизмов, описаны блоки вращающихся магнитных головок, рассмотрены структурные схемы его узлов.

Глава 4 знакомит читателей с особенностями записи цветных телевизионных сигналов на узкополосных бытовых и полупрофессиональных видеомагнитофонах.

Глава 5 посвящена применению видеомагнитофонов в телевизионном вещании на телецентрах и для внестудийной записи.

В гл. 6 рассмотрены особенности применения видеомагнитофонов для записи цифровой информации, дана оценка применимости известных способов цифровой записи к видеомагнитофону.

В конце книги приведена библиография, которая поможет читателю углубить знания по интересующим его вопросам.

Главы 1, 2 и 6 написал М. В. Гитлиц, гл. 3, 4, 5, 7— Л. Г. Лишин.

Все замечания просим посылать по адресу: 101000, Москва, Чистопрудный бульвар, 2, издательство «Связь».

Авторы

Глава 1

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ШИРОКОПОЛОСНЫХ И ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

1.1. Применение видеомагнитофонов

20 февраля 1960 г. по Центральному телевидению впервые был передан концерт, предварительно записанный на магнитную ленту с помощью видеомагнитофона «Кадр». С тех пор видеомагнитофоны стали неотъемлемой частью всех телевизионных центров. Подготовка и проведение телепередач с применением видеомагнитофонов оказались настолько удобными, что в настоящее время все телепередачи, кроме оперативных, передаются в эфир не непосредственно, а после предварительной видеозаписи.

Применение ее позволяет не связывать пребывание исполнителей в студии с временем передачи, что особенно важно для нашей страны, расположенной в разных часовых поясах. И в то же время подготовка программ с применением видеозаписи полностью исключает различные непредвиденные случайности прямой передачи.

Современная техника позволяет осуществлять запись программ цветного телевидения. Впервые в СССР запись цветных сигналов была осуществлена на аппарате «Кадр-1Ц» в 1967 г. [1].

Технология телевидения с применением видеозаписи предусматривает необходимость осуществления монтажа видеограмм для составления цельных передач из фрагментов, внесения купюр и исправлений, сокращение программ и др. Основной недостаток магнитной записи — ее невидимость — создает значительные трудности при монтаже магнитных видеограмм. В этом отношении магнитная запись заметно уступает конкурирующему с ней методу оптической видеозаписи. В последнем случае телевизионный сигнал фиксируется на носителе не в электрической форме, а в виде последовательности отдельных кадров изображения, благодаря чему монтаж видеограмм осуществляется склеиванием пленки. Монтаж магнитных видеограмм связан с необходимостью использовать специальное оборудование и является весьма трудоемким. С другой стороны, магнитная запись оперативна, технологична. Магнитная лента может использоваться многократно и дешевле кинопленки.

Широкому распространению магнитной видеозаписи длительное время препятствовали сложность аппаратуры и необходимость ее квалифицированного обслуживания. Однако с появлением конструктивно простых видеомагнитофонов с наклонно-строчной записью (см. гл. 2) положение изменилось. Видеомагнитофоны стали использоваться как приборы бытового назначения. Они вместе с телекамерой могут переноситься и обслуживаться одним человеком.

Поэтому видеомагнитофоны такого типа стали применяться при тренировках спортсменов, репетициях актеров, в учебном телевидении и т. д. Во многих случаях значительные удобства для пользователей создали эффекты замедленного воспроизведения и остановленного кадра, реализуемые в видеомагнитофонах с наклонно-строчной записью.

Во всех указанных случаях видеомагнитофоны, часто называемые полупрофессиональными, используются по прямому назначению для записи телевизионных сигналов, получаемых от телекамер.

Но в последнее время наметилась тенденция иного использования видеомагнитофонов — для записи нетелевизионных сигналов. Эта тенденция основана на том, что видеомагнитофоны в конечном итоге представляют собой аппараты, способные осуществлять запись широкополосных сигналов в течение длительного времени и с весьма высокой точностью. Современные профессиональные видеомагнитофоны с поперечно-строчной записью являются равноправными источниками телевизионных программ. Они осуществляют запись телевизионных сигналов в полосе 50 Гц—6,0 МГц, при отношении сигнал/шум 43—46 дБ, с искажениями временных масштабов сигнала не более ± (10—30) нс. Нелинейность амплитудной характеристики профессиональных видеомагнитофонов не превышает 2%. Столь же высоки показатели звукового канала: полоса частот 0,05—15 кГц, неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 2 дБ, отношение сигнал/шум более 50 дБ, нелинейные искажения 2—3%.

Видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью, предназначенные для бытовых целей или полупрофессионального применения, имеют полосу пропускания до 2,5—3,5 МГц и обеспечивают отношение сигнал/шум около 40 дБ.

Такие показатели сквозного канала записи — воспроизведения видеомагнитофонов создают предпосылки для их использования не только по прямому назначению, но и для записи других широкополосных сигналов, в частности радиолокационных и телеметрических. Применение магнитной записи таких сигналов значительно упрощает многие сложные радиотехнические комплексы, позволяет производить многократную обработку сигналов для выбора оптимального метода, дает возможность создавать технические средства обучения операторов (тренажеры), документировать данные и т. д.

На первый взгляд запись широкополосных сигналов на видеомагнитофоне никаких специфических проблем не выдвигает. И действительно, если спектр входного сигнала не превышает полосы пропускания, а его динамический диапазон меньше динамического диапазона канала видеозаписи, то такой сигнал может быть записан и воспроизведен. Но особенность видеомагнитофона состоит в том, что его конструкция и принцип действия основаны на учете реальной структуры телевизионного сигнала, а требования к параметрам выходного сигнала вытекают из условий его визуального восприятия на экране телевизора. Поэтому, во-первых, на видеомагнитофоне может быть успешно осуществлена запись только тех сигналов, структура которых близка к телевизионной, и, во-вторых, в зависимости от вида входного сигнала и способов его обработки, как правило, необходимо осуществлять дополнительное согласование параметров канала видеозаписи и параметров записываемого сигнала.

Сигналы, необходимость записи которых может возникнуть, весьма разнообразны. Поэтому дать рекомендации по использованию видеомагнитофонов, одинаково пригодные для всех случаев, невозможно.

В то же время, зная достаточно хорошо особенности конструкции видеомагнитофонов разных типов и характерные искажения сигналов в процессе их записи—воспроизведения, можно определить общие требования к записываемому сигналу:

1. Наличие в структуре записываемого сигнала синхроимпульсов, заменяющих синхроимпульсы телевизионной развертки.

Это необходимо потому, что синхроимпульсы телевизионной развертки управляют работой следящих и коммутирующих систем видеомагнитофона.

2. Объединение сигналов в процессе записи и разделение их после воспроизведения, если входная информация передается по нескольким независимым каналам.

3. Согласование спектра записываемого сигнала с полосой пропускания видеомагнитофона.

4. Согласование времени передачи входного сигнала с временем неискаженной записи, поскольку в видеомагнитофонах с двумя и четырьмя головками конечное время (около 30 нс) занимает коммутация головок, а в видеомагнитофонах с одной головкой при переходе с одной строки на другую возникает перерыв в записи. Наилучшее согласование получается в случае, когда информационный сигнал появляется на входе видеомагнитофона только во время, отведенное для записи видеосигнала.

Чтобы правильно использовать видеомагнитофон для записи нетелевизионных сигналов, необходимо знать отличие структуры записываемого сигнала от телевизионного и особенности конструкции используемого видеомагнитофона.

1.2. Основные характеристики телевизионных сигналов

Как известно [2 и др.], в СССР используется телевизионный стандарт с 625 строками разложения при чересстрочной развертке. Каждый кадр изображения передается в два приема: вначале передаются нечетные строки (I поле), а затем — четные (II поле). Для устранения мельканий изображения на экране приемной трубки в 1 с передаются 50 полей, или 25 полных кадров изображения. Каждый кадр содержит 625 строк, а каждое поле — 312,5 строк изображения. Строки и поля передаются последовательно. Форма монохромного телевизионного сигнала показана на рис. 1.1. Сигнал состоит из четырех компонентов:

сигнала изображения, несущего информацию о яркости отдельных элементов изображения;

импульсов строчной и кадровой синхронизации;

строчных и кадровых гасящих импульсов;

постоянной составляющей, характеризующей среднюю яркость изображения.

Наиболее важной и характерной с точки зрения видеозаписи особенностью структуры видеосигнала является его периодичность: строки изображения передаются с периодом 64 мкс, поля — с периодом 20 мс. За время прямого хода развертки по строкам пере-

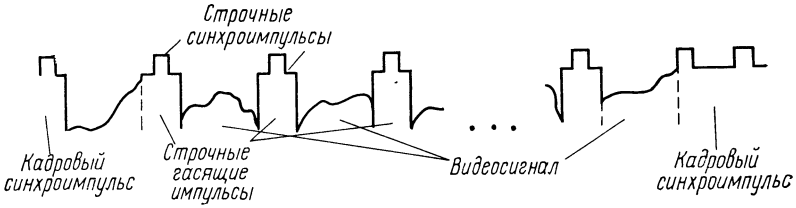

Рис. 1.1. Форма телевизионного сигнала

дается сигнал изображения. За время обратного хода строчной развертки передается строчный гасящий импульс длительностью 10,2 мкс. На нем расположен импульс строчной синхронизации длительностью 5,1 мкс. Относительная длительность строчных гасящих импульсов составляет (10,2 мкс/64 мкс)·100=16%. Поля изображения разделены кадровыми гасящими импульсами, длительность которых равна 1,5 мс. Относительная длительность кадрового гасящего импульса составляет (1,5 мкс/20 мкс)·100=7,5%.

На кадровом гасящем импульсе расположен кадровый синхроимпульс, длительность которого равна трем периодам строк, т. е. 64 мкс·3=192 мкс. Синхроимпульсы обеспечивают синхронность и синфазность движения электронных лучей передающей и приемной трубок. Гасящие импульсы необходимы для исключения засветки экрана при обратном ходе развертки. Кроме того, гасящие импульсы используют для передачи «постоянной составляющей» телевизионного сигнала. Для этого амплитуда гасящих импульсов в зависимости от уровня видеосигнала меняется таким образом, чтобы их вершины всегда соответствовали одному и тому же значению — уровню полного запирания луча во время обратного хода. Параметры и форма гасящих и строчных импульсов не зависят от передаваемого изображения. Поэтому в случае их искажения, например, при записи — воспроизведении синхро- и гасящие импульсы могут быть регенерированы по форме, длительности и уровню.

Телевизионный сигнал является широкополосным. Нижняя частота его спектра определяется частотой смены полей и равна 50 Гц. Верхняя частота зависит от стандарта разложения, частоты полей, геометрии кадра и равна 6,5 МГц. На практике считают, что без заметного ущерба для качества изображения полосу частот, занимаемую телевизионным сигналом, можно ограничить частотой 6,0 МГц. Периодическая структура телевизионного сигнала определяет линейчатый характер его спектра. Это означает, что в полосе 50 Гц — 6,5 МГц спектр не является сплошным, а состоит из отдельных составляющих. Картина спектра телевизионного сигнала показана на рис. 1.2. Сигнал состоит из гармоник частоты строк $qf_{стр}$, вокруг которых, как вокруг несущих, симметрично расположены частоты $qf_{стр} \pm mf_{кадр}$, отстоящие от $qf_{стр}$ на интервалы, кратные частоте кадров.

«Постоянная составляющая» телевизионного сигнала, несущая информацию о средней яркости изображения, имеет сплошной спектр, лежащий в полосе от 0 до 2—3 Гц. Но поскольку «постоянная составляющая» непосредственно не передается, а модулирует амплитуду гасящих импульсов, ее спектр переносится в область,

занимаемую основным сигналом, и «постоянная составляющая» не расширяет спектра передаваемого телевизионного сигнала.

Передача любых сигналов, в том числе и телевизионных, сопровождается действием шумов или помех. В телевидении уровень шумов характеризуется отношением размаха телевизионного сигнала

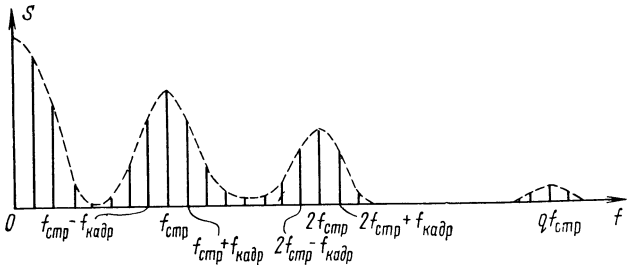

Рис. 1.2. Спектр телевизионного сигнала

от уровня белого до уровня черного (динамического диапазона) к эффективному значению напряжения шума. Шумы изменяют яркость изображения, снижают его контрастность и четкость. Установлено [2], что равномерно распределенный по спектру шум (белый шум) не влияет на качество изображения, если его уровень на 46 дБ меньше динамического диапазона сигнала и допустим еще при снижении этой разности до 30—40 дБ. Высокочастотные шумы на изображении менее заметны, чем низкочастотные. Поэтому оценку влияния шумов на качество изображения производят с учетом специфики их восприятия. Для этого при измерениях в цепь прибора включается специальный взвешивающий фильтр, АЧХ которого соответствует заметности шумов по спектру. Взвешивающий фильтр уменьшает измеряемую величину в области высоких частот, что соответствует субъективному восприятию шума.

Структура телевизионного сигнала изменяется при передаче цветных изображений. В СССР принята система цветного телевидения СЕКАМ с последовательной передачей сигналов цветности: в течение одной строки передается цветоразностный сигнал E_{R-Y}, в течение другой строки E_{B-Y}. При этом предполагается, что в пропущенных строках цветовая информация совпадает с цветовой информацией в соседних. В приемнике каждый сигнал цветности используется дважды, для чего он задерживается линией задержки на 64 мкс — время, равное длительности строки.

Для передачи сигналов цветности используется частотная модуляция поднесущей, причем полоса частот сигналов цветности ограничена полосой в 1,5 МГц. Для передачи составляющей E_{R-Y} используется поднесущая 4406,25 кГц, представляющая гармонику строчной частоты, для составляющей E_{B-Y} — 272-я гармоника строчной частоты равная 4250 кГц. Девиации частоты соответственно равны 280 и 230 кГц.

Для того, чтобы в приемнике распознать цветность проходящих сигналов, в системе СЕКАМ передается специальный сигнал цветовой синхронизации. Этот сигнал представляет собой серию импульсов, передаваемых с частотой полей и управляющих в приемном устройстве работой электронного коммутатора.

1.3. Магнитная запись телеметрических сигналов

Из сказанного ясно, что характерной особенностью телевизионного сигнала является его цикличность: изображение передается по кадрам и строкам, разделенным сигналами синхронизации. Современные видеомагнитофоны (см. гл. 2 и 3) построены с учетом этой особенности видеосигнала. Их принцип действия основан на циклической работе магнитных головок, переключаемых во время передачи сигналов синхронизации.

Но циклической структурой обладают не только телевизионные, но и другие сигналы, передаваемые в системах с временным разделением каналов (ВРК). Характерными примерами таких систем являются цифровые многоканальные системы передачи сигналов связи по кабельным, радиорелейным и спутниковым линиям связи, а также системы телеметрии.

Рассмотрим в качестве примера структуру сигнала в радиотелеметрической системе с ВРК, обычно применяемым при большом числе каналов. На рис. 1.3 изображена функциональная схема

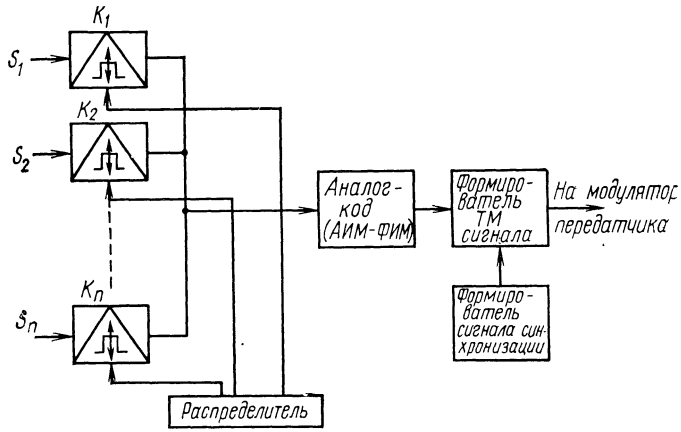

Рис. 1.3. Функциональная схема передающей части телеметрической системы

передающей части системы, а на рис. 1.4 — временна́я диаграмма ее работы.

Сигналы от n датчиков (S_1, S_2, ..., S_n) подаются на АИМ модуляторы, представляющие собой ключи, которые пропускают сигнал от каждого датчика на выход в течение короткого времени. Сигналы на выходах АИМ модуляторов имеют вид импульсов, амплитуды которых равны мгновенным значениям непрерывных сигналов в моменты появления этих импульсов (рис. 1.4*а*—*в*). Выходы всех преобразователей объединены, так что суммарный сигнал (рис. 1.4*г*) состоит из последовательности импульсов разных каналов. Работой ключей управляет распределитель, отпирающий ключи поочередно через равные интервалы времени $T_к$, отведенные для передачи информации от одного источника. После передачи импульсов

принадлежащих всем n каналам, вновь включается ключ K_1, передается отчет сигнала первого канала, затем ключ K_2 подключает на выход сигнал S_2 и т. д. до тех пор, пока вновь не будут переданы сигналы всех каналов. Таким образом, в системах ВРК передача осуществляется циклами. Потому по аналогии с телевизионным сигналом совокупность сигналов, принадлежащих всем n каналам при

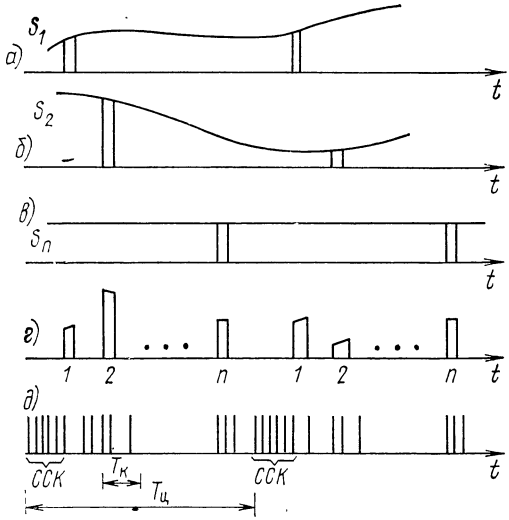

Рис. 1.4. Временна́я диаграмма формирования многоканального телеметрического сигнала

одном цикле передачи, называется телеметрическим кадром, а сам групповой сигнал носит название телеметрического (ТМ) видеосигнала. В современных РТС сигналы в форме АИМ обычно не передаются, а преобразуются либо в цифровую форму, либо в сигнал с фазово-импульсной (время-импульсной) модуляцией. Наиболее помехоустойчивы цифровые РТС, у которых каждому видеоимпульсу в зависимости от его амплитуды ставится в соответствие определенная кодовая последовательность двоичных символов, называемая кодовой группой или кодовым словом. Для разделения при приеме кодовых комбинаций отдельных каналов каждая кодовая комбинация наделяется некоторым признаком, позволяющим определить ее начало и конец. Так, например, можно каждое слово начинать символом «0» и заканчивать символом «1». Эти символы называются символами синхронизации слов (ССС). Между ССС располагается определенное число (10—13) значащих символов. Значащие символы «0» и «1» появляются на произвольных позициях в пределах слова, а ССС только на определенных. Поэтому сигнал синхронизации обладает свойством цикличности, которая и позволяет отделять ССС от информационных сигналов. Для отделения одного кадра от другого служат сигналы синхронизации кадров (ССК), которые пред-

ставляют собой определенные кодовые комбинации, передаваемые в начале каждого телеметрического кадра. Формируются ССК в специальном блоке, а затем суммируются с групповым информационным сигналом (см. рис. 1.3), в результате чего образуется полный телеметрический сигнал, показанный на рис. 1.4*д*. За время цикла $T_ц$ передается n кодовых комбинаций каналов и одна кодовая комбинация ССК. Время передачи ССК

$$T_{ССК} = T_ц/(n+1); \qquad (1.1)$$

обычно n лежит в пределах 100—1000. Поэтому $T_{ССК}$ занимает менее одного процента длительности кадра, что значительно меньше, чем у телевизионного сигнала.

С выхода блока формирования ТМ сигнал поступает на модулятор передатчика, где его спектр переносится в высокочастотную область, причем процесс переноса спектра может происходить в несколько этапов. В пункте приема сигнал подвергается обратным преобразованиям, т. е. вначале ВЧ колебание детектируется, образуется ТМ видеосигнал, который затем поступает на устройства разделения каналов, отображения и обработки.

Таким образом, ТМ сигнал, аналогично телевизионному, обладает циклической структурой. Он состоит из периодически повторяющихся кадров, разделенных импульсами кадровой синхронизации, во время передачи которых можно в принципе осуществлять коммутацию видеоголовок, если продолжительность ТМ кадра совпадает с периодом коммутации головок. Однако, поскольку время передачи синхроимпульсов в ТМ сигнале в 10—100 раз меньше, чем в телевизионном, коммутацию головок без потери части ТМ сигнала осуществить невозможно. Потери возрастают, если период коммутации головок не совпадает с длительностью ТМ кадра, поскольку в этом случае коммутация должна происходить во время передачи информационных сигналов.

В случае записи цифровых сигналов, когда на вход видеомагнитофона поступает непрерывный цифровой поток, возникающее затруднение может быть преодолено путем формирования из входного потока сигнала со структурой, сходной с телевизионной. Для этого непрерывный цифровой поток разделяется на блоки, каждый из которых до записи на магнитную ленту записывается в буферное запоминающее устройство (ЗУ). Объем блока и соответственно объем памяти ЗУ выбираются равными тому объему информации, который может быть записан на магнитную ленту за время между двумя последовательными моментами коммутации головок. Запись информации и буферное ЗУ происходит со скоростью поступления информации на его вход. Считывание информации происходит со скоростью, превышающей скорость записи, так что время воспроизведения оказывается меньшим, чем время записи. За счет этого в выходном цифровом потоке образуются временные интервалы, во время которых сигнал отсутствует и которые можно использовать для коммутации головок. Сигнал с выхода буферного ЗУ подается на вход видеомагнитофона, где записывается на магнитную ленту. После воспроизведения с ленты сигнал вновь подается в буферное ЗУ, которое в этом случае служит для восстановления исходной цифровой последовательности. С этой целью скорость считывания информации из буферного ЗУ выбирается ниже скорости записи, и интервалы времени, во время которых происходила коммутация головок, вновь заполняются сигналом. Очевидно, что, поскольку одновременно ис-

пользовать одно и то же ЗУ для записи и считывания невозможно, устройство должно содержать по крайней мере два статических ЗУ, работающих поочередно.

Другая задача, которая возникает при использовании видеомагнитофона для записи ТМ сигнала, состоит в согласовании спектра записываемого сигнала с полосой пропускания канала записи — воспроизведения. Из рис. 1.3 видно, что ТМ сигнал проходит несколько ступеней преобразования. В низкочастотной части трактов передачи и приема ТМ видеосигнал имеет низкочастотный спектр, в высокочастотной части тракта спектр ТМ сигнала располагается на каждом этапе преобразования вокруг соответствующей поднесущей частоты.

В зависимости от того, записывается на ленту высокочастотный ТМ сигнал или ТМ видеосигнал, получаемый после детектирования высокочастотного сигнала, различают преддетекторную и последетекторную запись. При преддетекторной записи сигнал занимает более широкую полосу, чем при последетекторной, но этот способ является более предпочтительным с точки зрения упрощения всего радиокомплекса приема и обработки сигнала [4]. При преддетекторной записи высокие требования предъявляются к стабильности частот воспроизводимого сигнала, которым тем не менее современные видеомагнитофоны удовлетворяют.

Если ТМ сигнал имеет аналоговую форму и его спектр не превышает полосы пропускания канала видеозаписи, этот сигнал непосредственно подается на вход видеомагнитофона.

Цифровой ТМ сигнал перед записью необходимо преобразовать в такую форму, которая обладает свойством самосинхронизации и позволяет при воспроизведении осуществить выделение цифровой информации без записи дополнительного канала синхронизации.

1.4. Запись радиолокационных сигналов

Видеомагнитофоны оказались удобным средством записи сигналов радиолокатора [5]. Запись сигналов радиолокационных станций позволяет осуществлять контроль работы оператора и оценивать его квалификацию, создавать тренажеры, имитируя на индикаторе реальную обстановку, документировать полученные данные, осуществлять многократную обработку радиолокационных сигналов, определять трассы движения объектов, составлять радиолокационные карты местности и др.

Сигналы радиолокационных станций можно разделить на две группы:

периодические импульсные сигналы синхронизации, эхо-сигналы, масштабные метки;

низкочастотные непрерывные сигналы синхронно-следящего привода антенн.

Для записи широкополосных импульсных сигналов используется телевизионный канал видеомагнитофона. Структурная схема одного из устройств записи — воспроизведения сигналов радиолокационной станции приведена на рис. 1.5.

Широкополосные импульсные эхо-сигналы и импульсы запуска радиолокационной станции объединяются в сумматоре и записываются в телевизионном канале видеомагнитофона. Для того чтобы после воспроизведения иметь возможность разделить эти сигналы, эхо-сигналы объединяются с положительной полярностью, импульсы запуска — с отрицательной. После воспроизведения эти импульсы с

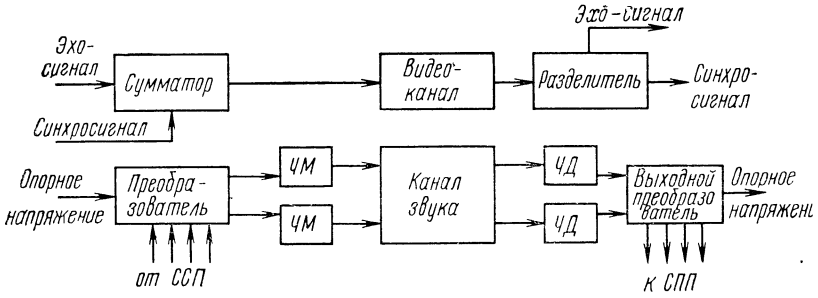

Рис. 1.5. Структурная схема устройства записи радиолокационного сигнала

помощью селекторов полярности разделяются. Эхо-сигналы подаются на индикатор, импульсы синхронизации — на запуск.

Сигнал синхронно-следящего привода антенн содержит четыре или пять составляющих — опорное напряжение и статорные напряжения, несущие информацию об угле поворота антенн. Для облегчения условий записи эти напряжения подвергаются некоторым преобразованиям, в результате число сигналов, несущих информацию об угле поворота антенн, снижается до двух. Эти сигналы модулируют по частоте две разные поднесущие, и с разносом по частоте записываются на звуковой дорожке видеомагнитофона. После воспроизведения в выходном преобразователе восстанавливаются напряжения, необходимые для работы синхронно-следящего привода.

Для повышения точности записи сигналов синхронно-следящего привода антенн при воспроизведении ЧМ сигнала применяется компенсация помех, вызванных колебанием скорости ленты. С этой целью совместно с ЧМ сигналами записывается опорное колебание стабильной частоты, которое так же, как и сигнал, приобретает паразитную ЧМ из-за колебания скорости. При частотном детектировании воспроизведенного опорного колебания выделяется сигнал ошибки, закон изменения которого соответствует колебаниям скорости ленты. Этот сигнал ошибки служит для компенсации помех в каналах записи сигналов следящего привода. После частотного детектирования двух записанных сигналов вновь формируются четыре или пять напряжений следящего привода антенны.

Работа следящих систем видеомагнитофона согласовывается с работой радиолокационной станции. Для этого в НЧ канале может быть записано опорное напряжение, которое при воспроизведении управляет работой следящей системы видеомагнитофона и следящим приводом станции. Другим вариантом согласования является синхронизация запуска станции и следящей системы видеомагнитофона от одного источника, генерирующего импульсы полей.

При некоторой модернизации видеомагнитофона удается не только осуществить запись всех сигналов радиолокационной станции, но и получить некоторые дополнительные возможности. Так, если осуществлять запись на кольцо ленты трех изображений с некоторым интервалом между ними, то на экране отображается участок трассы движущихся целей. Для обеспечения устойчивой работы период вращения кольца ленты должен быть кратен частоте полей.

Глава 2

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ВИДЕОСИГНАЛОВ

2.1. Структурные схемы аппаратов магнитной записи

Чтобы оценить трудности, возникающие при магнитной записи видеосигналов, и понять назначение используемых для этой цели технических средств, необходимо знать характеристики системы магнитной записи — воспроизведения (З—В).

Структурная схема канала записи — воспроизведения приведена на рис. 2.1. На вход канала поступает входное сообщение $S_{вх}(t)$.

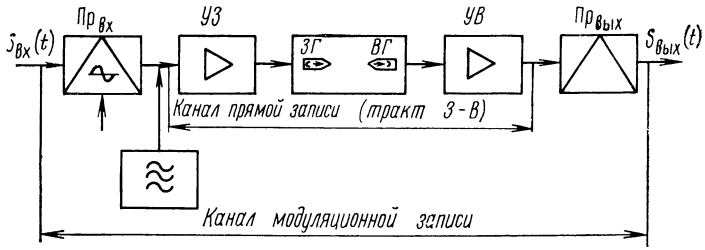

Рис. 2.1. Структурная схема канала записи — воспроизведения

Если параметры тракта З—В, т. е. части канала от входа усилителя записи *УЗ* до выхода усилителя воспроизведения *УВ*, не соответствуют параметрам сообщения, то предварительно с помощью модуляции во входном преобразователе $Пр_{вх}$ входное сообщение преобразуется в удобную для записи форму. Запись осуществляется записывающей головкой *ЗГ*. При звукозаписи для улучшения амплитудной характеристики записи вместе с записываемым сигналом в ЗГ подается вспомогательное периодическое колебание, частота которого в несколько раз превышает максимальную частоту спектра записываемого сигнала. Это высокочастотное колебание, называемое высокочастотным подмагничиванием ВЧП, само на носитель не записывается, а влияет только на режим намагничивания. При воспроизведении часть остаточного магнитного потока носителя попадает в сердечник воспроизводящей головки *ВГ* и наводит в ее обмотке ЭДС, величина которой пропорциональна скорости изменения магнитного потока по времени. После усиления и коррекции в *УВ* воспроизведенный сигнал попадает в выходной преобразователь $Пр_{вых}$, на выходе которого восстанавливается исходное сообщение.

Тракт З—В, содержащий головки *ЗГ* и *ВГ*, носитель записи и усилители *УЗ* и *УВ*, часто называют каналом прямой записи, а устройство, приведенное на рис. 2.1, каналом модуляционной записи. В видеомагнитофонах для преобразования видеосигнала используется частотная модуляция (ЧМ). Поэтому канал З—В видеомагнитофона называют ЧМ каналом. В некоторых типах видеомагнитофонов применяется периодная модуляция (ПМ).

В тракте З—В действуют шумы и помехи, источниками которых являются ленты, головки, усилителя, а также несовершенство транспортирующего механизма.

Из-за действия помех, неидеальности характеристик преобразователей и искажений сигнала в процессе З—В сигнал $S_{вых}(t)$ отличается от $S_{вх}(t)$. Степень этого отличия может служить мерой точности записи. Критерии оценки точности записи могут быть различными. Выбор того или иного из них определяется способом обработки или восприятия воспроизведенных сообщений. При звукозаписи анализирующим элементом, определяющим качество записи, является ухо человека; при видеозаписи — глаз. Поэтому критерии оценки качества записи звука и изображения оказываются различными и, вообще говоря, зависят от субъективных особенностей восприятия.

В то же время существует комплекс объективных показателей, характеризующих любую систему передачи. К их числу относятся величины амплитудно-частотных и нелинейных искажений, отношение сигнал/шум, величина и характер искажений временнóго масштаба сигнала и др. Зная эти характеристики, можно дать оценку качеству записи любых сигналов. Поэтому рассмотрим основные явления, происходящие в канале прямой З—В с точки зрения вносимых в сигнал искажений.

2.2. Характеристики процесса записи

Известно несколько режимов записи сигналов на магнитный носитель. В простейшем случае носитель в исходном состоянии полностью размагничен и образующаяся в результате записи сигнала

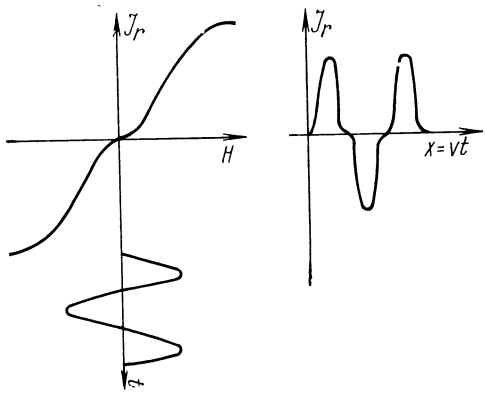

Рис. 2.2. Запись без подмагничивания

остаточная намагниченность определяется начальной кривой намагничивания носителя. На рис. 2.2 показана кривая для положительных и отрицательных значений поля записи и построено графически распределение остаточной намагниченности по длине носителя в случае записи гармонического сигнала. Отсюда видно, что из-за нелинейности начальной кривой намагничивания возникают большие нелинейные искажения. Значение коэффициента гармоник доходит до 15—20%. Очевидно, что наличие нелинейных искажений у воспроизводимого сигнала не всегда приводит к искажениям сообщения. Так, например, если осуществляется запись без подмагничивания сигналов с временно́й модуляцией (частотной, фазовой и др.), то возникающие при этом нелинейные искажения приводят к изменению формы модулированного колебания, но не сказываются на законе модуляции, и поэтому сообщение на выходе демодулятора остается неискаженным. При записи с ВЧП амплитудная характеристика тракта линеаризуется и в зависимости от величины поля ВЧП ($H_{\text{ВЧП}}$) принимает вид одной из кривых, изображенных на рис. 2.3. Здесь H — величина постоянного поля записи. Из приведенных графиков видно, что кроме линеаризации амплитудной характеристики действие ВЧП приводит к увеличению крутизны кривой намагничивания в области малых значений поля и, следовательно, к увеличению чувствительности системы записи в целом. Однако с увеличением $H_{\text{ВЧП}}$ чувствительность возрастает не беспредельно, а начиная с некоторого значения $H_{\text{ВЧП3}}$ на рис. 2.3), наоборот, начинает уменьшаться. Это обстоятельство наглядно видно из приведенных на рис. 2.4 графиков зависимости остаточной намагниченности от поля подмагничивания при фиксированном постоянном поле записи. Эта зависимость имеет явно выраженный максимум. Подмагничивание, при котором чувствительность оказывается максимальной, называется оптимальным $H_{\text{опт}}$. Обычно величину $H_{\text{опт}}$ определяют экспериментально, так как она зависит от свойств носителя записи, параметров головок и других факторов, трудно поддающихся учету при расчете. Величина $H_{\text{опт}}$ в сильной степени зависит

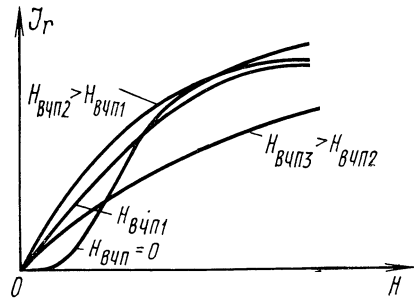

Рис. 2.3. Амплитудная характеристика записи с ВЧП

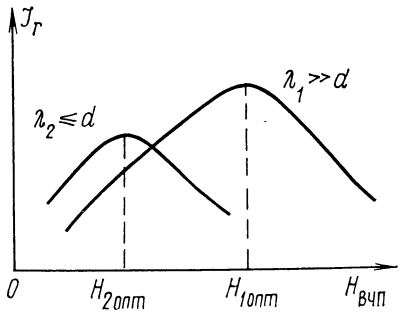

Рис. 2.4. Характеристики подмагничивания

от длины волны записи λ, снижаясь с ее уменьшением. Физически это обстоятельство можно объяснить следующим образом. Рабочий слой современных магнитных лент имеет конечную толщину и в процессе записи он намагничивается неравномерно. При малой величине поля ВЧП основная намагниченность создается в ближайших к поверхности головки слоях ленты, при больших полях ВЧП — в удаленных. В то же время при воспроизведении коротких волн $\lambda \ll d_1$, где d — общая толщина рабочего слоя ленты, основной поток в сердечнике $ВГ$ создают ближайшие к головке слои, а при записи длинных волн $\lambda \gg d$ вклад в суммарный поток от всех слоев одинаков (см. § 2.3). Поэтому при записи коротких волн целесообразно выбирать такое значение $H_{ВЧП}$, чтобы основная намагниченность концентрировалась в поверхностном слое носителя, а при записи длинных волн поле ВЧП должно быть достаточным для равномерного намагничивания носителя по толщине. Нелинейные искажения при записи с ВЧП снижаются до 1—2%.

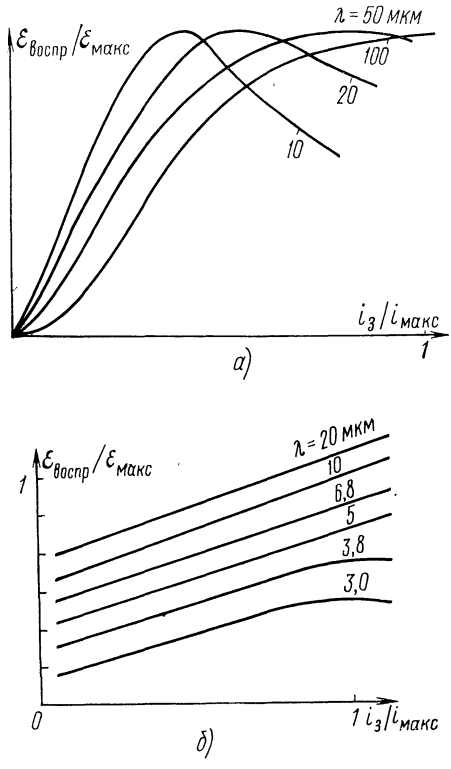

Рис. 2.5. Амплитудные характеристики тракта записи при разных λ:
а — запись без ВЧП; *б* — запись с автоподмагничиванием

Амплитудные характеристики тракта также в значительной степени зависят от длины волны записи. На рис. 2.5*а* показан примерный вид этих характеристик в случае записи без ВЧП. Видно, что только при больших длинах волн записи, не используемых в современных аппаратах, ход амплитудной характеристики соответствует начальной кривой намагничивания. При обычно используемых значениях λ амплитудные характеристики имеют явно выраженный максимум, положение которого по мере укорочения λ смещается в сторону меньших токов записи. Поэтому выбрать значение тока записи и тока ВЧП, оптимальное для всех частот широкополосного сигнала, оказывается невозможным.

При магнитной видеозаписи на ленту записывается сложный сигнал, содержащий колебания различных частот. Механизм записи сложного сигнала имеет общие чер-

ты с режимом записи с подмагничиванием, поскольку одни составляющие его спектра играют роль подмагничивания для других. Поэтому этот режим называется записью с автоподмагничиванием. Так как соотношение между различными составляющими в реальном сигнале непрерывно меняется, амплитудные характеристики тракта также оказываются непостоянными и зависят от конкретного вида записываемого сигнала. При видеозаписи дополнительным преобразованием видеосигнала в канале магнитной записи — воспроизведения является узкополосная частотная модуляция, при которой уровень несущей частоты ЧМ сигнала значительно превышает уровень боковых частот спектра. Поэтому в первом приближении можно считать, что несущая частота играет роль подмагничивания для других составляющих спектра сложного сигнала. На рис. 2,5*б* [6] приведено семейство амплитудных характеристик, полученных при записи с различными λ гармонических сигналов в присутствии дополнительного колебания, записываемого оптимальным током с $\lambda=4{,}7$ мкм и имитирующего несущую частоту ЧМ сигнала. Из рис. 2.5*б* хорошо виден характерный для записи с ВЧП эффект линеаризации амплитудных характеристик записи боковых составляющих спектра ЧМ сигнала, которые несут полезную информацию.

2.3. Процесс воспроизведения

В отличие от записи, процесс воспроизведения происходит при слабых магнитных полях и поэтому является линейным. Следовательно, амплитудная характеристика тракта воспроизведения тоже линейна. В то же время его амплитудно-волновая характеристика существенно отклоняется от идеальной горизонтальной линии, что обусловлено влиянием волновых потерь. На рис. 2.6 схематично изображено взаимное расположение воспроизводящей головки *ВГ* с рабочим зазором шириной 2δ и носителя записи *НЗ* с толщиной рабочего слоя d. Величина неконтакта равна a. Поскольку магнитная проницаемость $\mu_г$ сердечника *ВГ* в несколько тысяч раз превышает $\mu_н$ рабочего слоя *НЗ*, обычно полагают, что $\mu_н \approx 1$. Тогда коэффициент передачи тракта воспроизведения описывается выражением

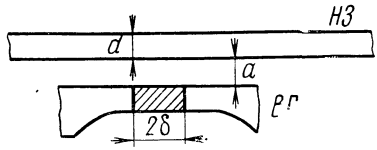

Рис. 2.6. Схема расположения головки и ленты

$$K_в = \frac{\sin 2\pi(\delta/\lambda)}{2\pi(\delta/\lambda)} e^{-2\pi(a/\lambda)} \frac{1 - e^{-2\pi(d/\lambda)}}{2\pi(d/\lambda)}. \qquad (2.1)$$

Коэффициент передачи состоит из трех сомножителей, каждый из которых зависит от одного конструктивного параметра тракта. В соответствии с этим различают коэффициент щелевых потерь

$$K_\delta = \sin 2\pi(\delta/\lambda)/2\pi(\delta/\lambda), \qquad (2.2)$$

коэффициент контактных потерь

$$K_a = e^{-2\pi(a/\lambda)} \qquad (2.3)$$

и коэффициент слойных потерь

$$K_d = (1 - e^{-2\pi(d/\lambda)})/2\pi(d/\lambda). \qquad (2.4)$$

Графики зависимостей (2.1)—(2.4) приведены на рис. 2.7. Видно, что коэффициент щелевых потерь имеет волнообразный характер

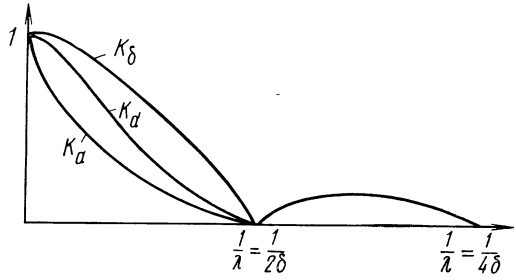

Рис. 2.7. Волновые характеристики воспроизведения

с периодическим чередованием нулей и максимумов. Нули соответствуют волнам, длина которых кратна ширине зазора воспроизводящей головки. Очевидно, что величину 2δ следует выбирать так, чтобы рабочая область лежала левее первого нуля характеристики. Контактные и слойные потери определяют спад коэффициента передачи в области коротких волн. Потери тем больше, чем больше неконтакт и толщина рабочего слоя. Так, при $\lambda=3$ мкм возрастание неконтакта с 0,5 мкм до 1,0 мкм увеличивает контактные потери с 9 до 18 дБ. Для уменьшения неравномерности волновой характеристики следует уменьшать δ, a и d.

С учетом (2.1) можно записать выражение для потока в сердечнике головки, воспроизводящей гармонический сигнал

$$\Phi(x) = \Phi_m K_\delta K_a K_d \sin[2\pi(x/\lambda)], \qquad (2.5)$$

ЭДС на один виток обмотки воспроизводящей головки

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\partial\Phi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial t} = -\Phi_m\omega K_\delta K_a K_d \cos\omega t. \qquad (2.6)$$

Здесь $\omega=2\pi v/\lambda$ — круговая частота воспроизводимого сигнала; v — скорость воспроизведения.

Таким образом, в выражении для коэффициента передачи появился множитель ω и, кроме того, воспроизводимый сигнал приобрел фазовый сдвиг на $\pi/2$. Оба эти явления вызваны дифференцирующим действием воспроизводящей головки. Множитель ω определяет рост частотной характеристики со скоростью 6 дБ на октаву во всем диапазоне частот воспроизводимого сигнала. С учетом всех перечисленных факторов частотная характеристика тракта воспроизведения имеет вид, показанный на рис. 2.8.

Частотная характеристика весьма неравномерна и в области высоких частот спадает примерно по экспоненциальному закону. Объясняется это преимущественным влиянием на частотную характеристику контактных и слойных потерь. Уровень воспроизводимого сигнала снижается до уровня шумов раньше, чем будет достигнут

первый нуль отдачи. Поэтому в реальной частотной характеристике отсутствуют периодические чередования нулей и максимумов, а имеющийся максимум смещен в область низких частот. На АЧХ в области низких частот (больших длин волн) значительное влияние оказывают конечные размеры воспроизводящей головки. Если дли-

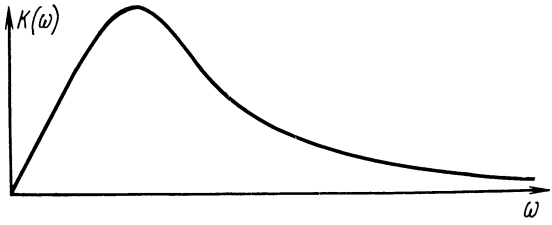

Рис. 2.8. Частотные характеристики воспроизведения

на рабочей поверхности головки, в пределах которой осуществляется ее контакт с лентой, $L \gg \lambda$, то поток ленты, попадающий в сердечник *ВГ*, пропорционален величине

$$K_L = 1 - \cos 2\pi (L/\lambda). \qquad (2.7)$$

Коэффициент K_L называют иногда второй щелевой функцией. Его влияние сказывается в том, что коэффициент передачи тракта в области больших λ приобретает волнистый характер. При $L/\lambda \to 0$ $K_L \to 0$. Физически это объясняется тем, что по мере снижения отношения L/λ уменьшается поток рассеяния ленты, попадающий в сердечник *ВГ*.

Кроме волновых, на частотную характеристику тракта при видеозаписи значительное влияние оказывают частотные потери в головках записи и воспроизведения, т. е. потери, величина которых зависит от частоты сигнала. К их числу относятся потери на гистерезис и на вихревые токи, причем последние обычно преобладают. Потери на вихревые токи растут с частотой, вызывая спад частотной характеристики. Поэтому в магнитных видеоголовках обычно применяют сердечники из материалов, имеющих малые потери на вихревые токи, в частности ферриты.

2.4. Помехи тракта записи — воспроизведения

Помехи, действующие при записи и воспроизведении, приводят к заметному ухудшению качественных показателей передачи сигнала. Поэтому в аппаратах видеозаписи применяют специальные меры по уменьшению уровня помех и снижению степени их влияния на воспроизводимые видеосигналы. Источниками помех служат элементы записи — головки, носители записи, усилители, лентопротяжные механизмы, а причиной возникновения помех является неидеальность конструкции и работы этих элементов.

Рабочий слой современных магнитных лент состоит из частиц, распределенных в немагнитном связующем веществе. Магнитные частицы по объему рабочего слоя распределены неравномерно, так что количество магнитного вещества в единице объема рабочего слоя

меняется по длине ленты. Кроме того, сами частицы неодинаковы. Они отличаются и по геометрическим размерам, и по магнитным свойствам. Поэтому даже при намагничивании ленты постоянным полем возникает некоторый магнитный поток рассеяния, который при воспроизведении воспринимается как шум. Этот шум, причиной возникновения которого является дискретная структура магнитных частиц и неравномерность их распределения, называется структурным шумом. Величина его зависит от уровня намагниченности ленты. Шум размагниченной ленты сравнительно мал и имеет уровень —60÷—70 дБ. При намагничивании уровень структурного шума растет примерно пропорционально величине намагниченности, и относительный уровень шума намагниченной ленты составляет —35÷—40 дБ. Структурный шум лент имеет нормальное распределение и является преимущественно низкочастотным. Если в процессе записи расстояние между головкой и носителем меняется случайным образом, то возникает паразитная амплитудная модуляция ПАМ намагниченности. Возникающая ПАМ имеет характер помехи и называется контактной помехой записи.

Причиной появления шумов при воспроизведении является нестабильность отдельных составляющих коэффициента передачи (2.1). Если коэффициент передачи является функцией времени или координаты носителя, то его изменение приводит к ПАМ воспроизводимого сигнала с глубиной $M(x)=(K_в(x)/K_в)-1$. К наиболее существенной ПАМ приводит случайный неконтакт, вызываемый неровностями рабочих поверхностей лент и головок. Из-за этих неровностей лента соприкасается с головкой не по всей рабочей поверхности, а только в ряде точек. При этом расстояния, на которые удалены от головки отдельные участки ленты, различны для разных участков и зависят от микропрофилей лент и головок. С точки зрения выходного эффекта это явление можно трактовать как запись и воспроизведение идеально гладкими головками и носителями при неконтакте. Статический неконтакт уменьшает уровень воспроизводимого сигнала в соответствии с выражениями (2.1) и (2.3), а переменная составляющая неконтакта приводит к ПАМ, которая тем больше, чем выше плотность записи. Из-за неконтакта ПАМ распределена по логарифмически-нормальному закону. Ее дисперсия

$$\sigma_a^2(M)=\sigma_a^2(2\pi)^2/\lambda^2, \qquad (2.8)$$

где σ^2_a — дисперсия неконтакта, равная примерно 0,1 мкм^2 для современных лент.

Из (2.8) видно, что неконтакт особенно заметно сказывается при записи коротких волн. Поэтому в системах видеозаписи принимают специальные меры для его уменьшения. В частности, рабочие поверхности всех лент и головок тщательно полируются и, кроме того, в профессиональных аппаратах используют специальный воздушный подсос ленты к головкам.

При записи сигналов с малой длиной волны иногда наблюдаются кратковременные, но очень глубокие (до 50—60 дБ) уменьшения уровня воспроизводимого сигнала. Это явление обычно связано с нарушением контакта между головкой и лентой и называется выпадением. Причиной выпадений может быть попадание между рабочими поверхностями головок и лент частиц пыли из воздуха, наличие на поверхности ленты сгустков ферромагнитного лака и каких-либо инородных вкраплений, попавших в маг-

нитный лак при производстве лент. Выпадения при видеозаписи приводят к появлению на изображении черных или белых полос и заметно снижают качество изображения. При записи других сигналов выпадения приводят к пропаданию части записанной информации. Продолжительность выпадений различна, но обычно в видеомагнитофонах не превышает 25 мкс.

К ПАМ приводит также несовпадение дорожек записи и воспроизведения. Глубина этой ПАМ ($M_в$) определяется тем, какая часть ширины дорожки воспроизведения Δb не попадает на след записи, т. е.

$$M_в = \Delta b / b. \tag{2.9}$$

Величина ЭДС воспроизводящей головки при заданной плотности записи пропорциональна ширине дорожки воспроизведения b и числу витков обмоток воспроизводящей головки w. Для обеспечения высокой плотности записи в видеомагнитофонах выбирают $b = 0{,}26$ мм и меньше, а w ввиду высокочастотного характера телевизионного сигнала нельзя выбирать больше 10—15. Поэтому ЭДС видеоголовок не превышает нескольких милливольт. При таком малом уровне сигнала значительное влияние на помехоустойчивость канала З—В оказывают собственные шумы магнитных головок и усилителя воспроизведения. Эти шумы имеют аддитивный характер и являются широкополосными. Уровень аддитивного шума равен примерно — 70 дБ.

Специфическим источником искажений сигналов во всех системах записи на подвижный носитель являются колебания скорости перемещения носителя. Если скорость воспроизведения $v_в$ отличается от скорости записи $v_з$ на некоторую величину $\Delta v(t)$

$$v_в = v_з + \Delta v(t), \tag{2.10}$$

то частота воспроизводимого сигнала $f_в$ отличается от частоты записанного сигнала $f_з$ в $1 + (\Delta v / v_з)$ раз. Иными словами, воспроизводимый сигнал оказывается промодулированным по частоте, причем глубина этой ЧМ равна коэффициенту колебаний скорости

$$A = \max \left| \frac{\Delta v(t)}{v_з} \right|.$$

Кроме паразитной ЧМ, колебания скорости приводят к искажениям временно́го масштаба сигналов. Это означает, что временны́е соотношения в записываемом сигнале отличаются от временны́х соотношений в воспроизводимом сигнале. Накопленная за время $t_з$ временна́я ошибка определяется из равенства

$$\Delta t_в = -\int_0^{t_в} (\Delta v(t)/v_з)\, dt \tag{2.11}$$

и при гармоническом с частотой Ω колебании скорости составляет

$$\Delta t_в = (A/\Omega) \cos \Omega t_в. \tag{2.12}$$

Следовательно, максимальная временна́я ошибка определяется коэффициентом колебаний скорости и частотой этих колебаний:

$$\Delta t_{в.макс} = A/\Omega. \tag{2.13}$$

Изменение временных соотношений в воспроизводимом сигнале приводит к появлению геометрических искажений видеосигнала и, кроме того, создает определенные трудности при работе видеомагнитофона параллельно с другими источниками программ.

К геометрическим искажениям приводит также изменение взаимного положения головки и носителя при воспроизведении по сравнению с записью (см. § 2.7).

2.5. Трудности, возникающие при магнитной записи видеосигналов

Хотя в основу всех известных методов магнитной видеозаписи положены те же принципы намагничивания носителя, воспроизведения сигнала, те же конструкции головок и лент, что и при звукозаписи, специфика видеосигнала и неодинаковая заметность искажений разного вида у видеосигнала и звука обусловили появление ряда дополнительных требований к видеомагнитофону по сравнению с аппаратами звукозаписи. Поэтому запись телевизионных изображений стала возможной только благодаря значительному усовершенствованию всех элементов и повышению качественных показателей системы магнитной записи. В чем же заключаются основные особенности, накладываемые на систему записи — воспроизведения спецификой видеосигнала?

Широкополосный характер сигнала. Телевизионный сигнал при принятом в СССР стандарте занимает полосу от 50 Гц до 6,5 МГц, что составляет 16 октав. Профессиональные магнитофоны записывают звуковые сигналы в диапазоне от 20 Гц до 16—20 кГц, что составляет 9—10 октав. Таким образом, для записи телевизионного сигнала надо иметь тракт примерно в 100—150 раз более широкополосный, чем для звукозаписи. Легко оценить возникающие при этом трудности. Как было отмечено в § 2.2, оптимальные режимы записи для сигналов, отличающихся по частоте даже не в 150, а менее чем в 10 раз, существенно различны. Поэтому осуществлять эффективную запись сигналов в частотном диапазоне, занимающем 16 октав, практически невозможно. Аналогичные трудности возникают и при воспроизведении. Если предположить, что минимальная длина волны $\lambda_{мин}$ сигнала, который может быть воспроизведен с магнитной ленты, составляет 3 мкм, то длина волны, соответствующая самой низкочастотной компоненте в спектре телевизионного сигнала, окажется равной $\lambda_{макс}=\lambda_{мин}(f_{макс}/f_{мин})=4\cdot10^5$ мкм$=$ $=400$ мм. Величина $\lambda_{макс}$ примерно в 100 раз превысит длину рабочей поверхности головки. Подставив $L/\lambda=0{,}01$ в (2.7), получим, что при этом $K_L=0{,}002$, т. е. сигнал с $\lambda_{макс}$ практически не будет воспроизведен. Очевидно, что для осуществления записи — воспроизведения видеосигналов необходимо уменьшить отношение высшей частоты в спектре записываемого сигнала к низшей, т. е. осуществить относительное сжатие частотного диапазона. При этом условия записи и воспроизведения будут тем более благоприятными, чем выше степень сжатия. Это связано не только с выбором оптимального режима намагничивания, но также и с тем, что при более узкополосном сигнале используется относительно меньшая часть характеристики передачи тракта. В этом случае частотная характеристика тракта в пределах полосы пропускания оказывается более равномерной и, что особенно важно, отношение сигнал/шум может быть обеспечено достаточно высоким в пределах всего диапазона

частот. Для относительного сжатия частотного диапазона необходимо переместить спектр видеосигнала в более высокочастотную область. Чем дальше по оси частот перенесен спектр видеосигнала, тем больше относительное сжатие. С другой стороны, транспонирование спектра видеосигнала сопровождается ростом максимальной записываемой частоты. Как будет показано ниже, запись высоких частот также представляет собой сложную техническую задачу, и поэтому оказалось целесообразным смещать спектр видеосигнала примерно на 0,5—1,0 МГц, что обеспечивает относительное его сжатие до 3,5—3,0 октав. Для преобразования спектра видеосигнала можно применять гетеродинирование или модуляцию. В первом случае полоса частот модулированного сигнала не расширяется по сравнению со спектром исходного сигнала. Расширения спектра можно избежать и при использовании однополосной амплитудной модуляции (ОБП АМ). Однако в обоих этих случаях сигнал сильно подвержен влиянию помех. Как было отмечено в § 2.4, основные помехи тракта З—В имеют модуляционный характер, т. е. они модулируют воспроизведенное колебание. После АМ—демодуляции или смещения в исходную полосу частот гетеродинированного сигнала видеосигнал оказывается промодулированным этими же помехами с той же глубиной, что и воспроизводимое колебание. Глубина ПАМ, особенно при неполном совпадении дорожек записи и воспроизведения, может достигнуть $M_{\text{ПАМ}} = 0.5 \div 0{,}6$. Качество изображения при этом оказывается недопустимо низким.

Устранить влияние ПАМ можно, если использовать какой-либо из видов временной модуляции, в частности частотную модуляцию (ЧМ). При этом полезная информация содержится в изменениях частоты, а не амплитуды модулированного сигнала, что дает возможность перед демодуляцией ограничить воспроизводимое колебание по амплитуде, устранив тем самым действие модуляционных помех. В системах радиосвязи нашла применение широкополосная ЧМ, у которой индекс модуляции $\beta = \Delta f / F_{\text{макс}} \geqslant 5 \div 10$. Здесь Δf — девиация частоты, $F_{\text{макс}}$ — максимальная частота спектра входного сигнала. Выбор большого индекса модуляции объясняется тем, что выигрыш в помехоустойчивости при применении ЧМ в случае аддитивных помех пропорционален величине

$$Q = (C/П)_{\text{вых}} / (C/П)_{\text{вх}} = \sqrt{3}\beta, \qquad (2.14)$$

где $(C/П)_{\text{вых}}$ — отношение напряжений сигнала и помехи на выходе ЧМ демодулятора; $(C/П)_{\text{вх}}$ — отношение напряжений сигнала и помехи на входе ЧМ демодулятора.

Напомним, что при АМ отношения $(C/П)_{\text{вых}}$ и $(C/П)_{\text{вх}}$ совпадают. Из (2.14) видно, что для увеличения Q целесообразно увеличить β. Но ширина спектра, занимаемого ЧМ сигналом, также пропорциональна β. Известно, что в первом приближении ширина спектра ЧМ сигнала составляет:

$$\Delta F_{\text{ЧМ}} = 2 F_{\text{макс}} (\beta + 1). \qquad (2.15)$$

Поэтому выбор большого значения β приводит к значительному расширению спектра записываемого сигнала, что требует усложнения аппаратуры З—В. В системах видеозаписи принято использовать узкополосную частотную модуляцию с низким индексом модуляции и низким отношением несущей частоты f_0 к высшей модулирующей частоте. При $\beta \ll 1$ ширина спектра ЧМ сигнала не отли-

чается от спектра АМ сигнала и равна удвоенной ширине спектра модулирующего колебания. Такая система ЧМ не приводит к росту $(C/П)_{вых}$ по отношению к аддитивным шумам, но позволяет почти полностью устранить влияние преобладающих в тракте З—В модуляционных помех. На рис. 2.9 приведены спектральные диаграм-

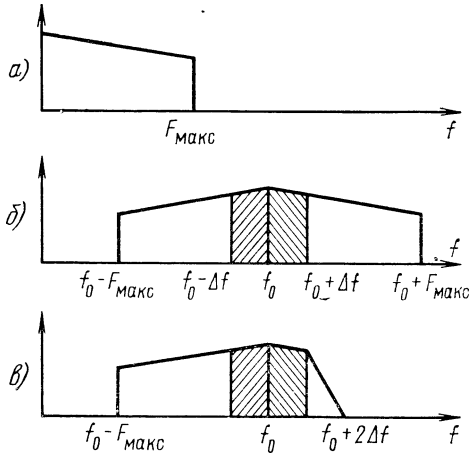

Рис. 2.9. Спектральные диаграммы ЧМ преобразования при видеозаписи

мы ЧМ преобразования при видеозаписи. Исходный видеосигнал (рис. 2.9*а*) модулирует по частоте гармоническое колебание, частота которого f_0 всего на 10—20% выше $F_{макс}$. Столь низкое отношение $f_0/F_{макс}$ объясняется стремлением избежать значительного возрастания максимальной частоты в спектре модулированного сигнала. При обычно используемых значениях $\beta=0{,}1\div0{,}2$ спектр ЧМ сигнала имеет вид, показанный на рис. 2.9*б*. Поскольку нижняя и верхняя боковые полосы несут одинаковую информацию о входном сигнале, достаточно передавать по тракту З—В только одну, например нижнюю, боковую полосу. Частотное ограничение ЧМ сигнала приводит, однако, к глубокой паразитной АМ воспроизводимого сигнала и появлению нелинейных искажений в видеосигнале на выходе ЧМ демодулятора. Обычно ПАМ полностью устраняется глубоким, до 60 дБ, ограничением уровня воспроизводимого сигнала. Нелинейные искажения видеосигналов приводят к изменению градаций яркости изображения (γ-характеристики), что становится заметным только при сильных искажениях. Исходя из этого, в любительских аппаратах считается допустимым ограничивать спектр записываемого сигнала сверху до значений $f_0\div(2\div3\Delta f)$ (рис. 2.9*в*).

В профессиональных видеомагнитофонах передаются верхняя и нижняя боковые полосы ЧМ сигнала полностью. В некоторых типах видеомагнитофонов используется периодная модуляция (ПМ).

В отличие от ЧМ при периодной модуляции мгновенному значению модулирующего сигнала пропорционален период T, а не частота модулированного колебания. Периодная модуляция, как и ЧМ, является временным видом модуляции, что позволяет ограничи-

вать ПМ сигнал по уровню и устранять влияние паразитной АМ. Ширина спектра ПМ при принятой в видеозаписи малой глубине модуляции ($m \leqslant 0{,}2$) совпадает со спектром узкополосной ЧМ и равна удвоенной ширине спектра модулирующего сигнала. Однако в отличие от ЧМ, спектр которой симметричен относительно несущей частоты, спектр ПМ имеет асимметрию, Так, при принятых в видеозаписи значениях $m = \Delta f / f_0 = 0{,}13$, $f_0 / F_{макс} = 1{,}6$ и модуляции гармоническим сигналом при ПМ амплитуда нижней боковой составляющей второго порядка уменьшается в 2 раза, а амплитуда нижней боковой третьего порядка уменьшается в 1,5 раза по сравнению с ЧМ. Амплитуды верхних боковых второго и третьего порядков возрастают, оставаясь, однако, достаточно малыми. За счет такого перераспределения энергии в спектре ПМ сигнала удается снизить по сравнению с ЧМ комбинационные искажения выходного сигнала (см. § 2.7).

Наличие высокочастотных компонент в спектре сигнала. Серьезные трудности при записи видеосигналов возникают из-за наличия в его спектре значительных высокочастотных составляющих. Переход к частотам примерно в 500 раз более высоким, чем те, которые встречались при звукозаписи, потребовал разработки и использования для сердечников магнитных головок новых материалов, у которых потери на вихревые токи были бы достаточно малыми. Кроме того, запись высоких частот потребовала значительного повышения плотности записи. Для пояснения этого требования определим, какие размеры должен иметь рулон магнитной ленты с записью часовой телевизионной программы, если максимальная линейная плотность записи равна 100 период/мм. Легко видеть, что длина ленты при условии, что максимальная частота спектра записываемого сигнала равна 1,5 $F_{макс}$, составляет $l = 1{,}5 F_{макс} T_{зап} / P = (1{,}5 \cdot 6{,}5 \cdot 10^6 \cdot 3600/100)$ мм $= 350$ км. Можно подсчитать, что рулон ленты толщиной 37 мкм должен иметь диаметр около 4 м. Очевидно, что обращаться с таким рулоном ленты невозможно. С другой стороны, транспортировать эту ленту мимо головок пришлось бы со скоростью $v = 100$ м/с, что также практически неосуществимо. Отсюда становится ясным, что запись высоких частот непосредственно связана с необходимостью увеличения плотности записи. Это требование привело к разработке магнитных головок с шириной рабочего зазора менее 2 мкм и магнитных лент с тонким рабочим слоем.

Заметность искажений временнóго масштаба. Несовпадение скоростей записи и воспроизведения приводит к искажениям временнóго масштаба сигналов. Эти искажения при видеозаписи проявляются в виде зубчатости при передаче вертикальных полос изображения или искривлений этих полос. Временные искажения снижают четкость изображений и приводят к неустойчивости синхронизации. Визуальное восприятие временнýх искажений определяется режимом синхронизации воспроизводимого видеосигнала. В замкнутых телевизионных системах, когда синхронизация осуществляется импульсами, выделенными из воспроизведенного сигнала, допустимая временнáя ошибка составляет 30—40 мкс. При этом не возникает заметных для глаза искажений изображения на экране телевизора. Полагая, что колебания скорости происходят с частотой 5 Гц, и используя (2.13), можно рассчитать, что допустимое значение коэффициента колебаний скорости составляет в этом случае $A_{доп} \approx 10^{-4}$, что на порядок выше, чем у лучших магнитофонов. Требования зна-

чительно возрастают, если видеомагнитофон должен работать в режиме внешней синхронизации, т. е. необходимо осуществлять синхронизацию воспроизводимого видеосигнала по кадрам и строкам с опорным синхрогенератором телестудии. В этом случае временна́я ошибка не должна быть больше длительности одного телевизионного элемента разложения и допускается равной 0,032 мкс. При записи цветных сигналов по системе НТСЦ допустимая временна́я ошибка меньше еще на порядок. Таким образом, для записи видеосигналов требуется исключительно высокая стабильность скорости транспортирования носителя. С учетом сказанного $A_{доп} \leqslant 10^{-6}$. Это значит, что, например, при $v=100$ м/с отклонения допустимы всего на 100 мкм/с. Исключительная сложность поддержания столь высокой стабильности скорости видна уже из того, что остаточное удлинение лучших магнитных лент после приложения к ним нагрузки в 4Н составляет 0,01%. Только одна эта величина в 100 раз превышает допустимое изменение временно́го масштаба, хотя относительное удлинение ленты не является основным источником этих искажений. Продольные колебания ленты при транспортировании примерно в 100 раз больше, а для обеспечения требуемой стабильности скорости ведущий вал диаметром 10 мм не должен иметь эксцентриситет или эллиптичность более 0,01, мкм. Очевидно, что обеспечить такую точность изготовления узлов аппарата и требуемую стабильность транспортирования носителя при использовании продольной записи на ленту практически невозможно.

Заметность шумов на видеосигнале. Визуальный характер восприятия видеосигналов определяет специфику влияния на них шумов. Низкочастотные компоненты шума вызывают мерцание изображения, появление на них серых пятен. Высокочастотные помехи ухудшают разрешающую способность, приводят к размытости линий. При оценке помехозащищенности канала З—В видеомагнитофона необходимо учитывать неодинаковую заметность на изображении различных по частоте составляющих шума. Это осуществляется введением специальной «весовой» функции, различной для цветных и монохромных сигналов. С учетом весовой функции, увеличивающей для цветных сигналов отношение сигнал/помеха примерно на 16 дБ, это отношение на выходе ЧМ канала видеомагнитофона не должно быть ниже 40—46 дБ. Соответственно без учета весовой функции на том же выходе необходимо обеспечить $C/П \geqslant 24 \div 30$ дБ. Используя (2.14), можно рассчитать, что при $\beta=0{,}1$ $(C/П)_{вых}$ в ЧМ канале ниже $(C/П)_{вх}$ на 16 дБ и, следовательно, на выходе ЧМ демодулятора отношение $(C/П)_{вх}$ не должно быть ниже 46 дБ. Отсюда следует, что если, например, ЭДС воспроизводящей головки равна 0,2—2 мВ, то максимально допустимое значение аддитивных шумов, приведенных к входу усилителя воспроизведения, составляет 1—10 мкВ. Поскольку усилитель воспроизведения является весьма широкополосным, выполнение этого требования является непростой технической задачей, которая решается путем использования во входных цепях усилителей малошумящих активных элементов, в частности нувисторов, полевых транзисторов.

2.6. Способы магнитной записи видеосигналов

Как видно из проведенного анализа, прямой перенос идей и методов звукозаписи на видеозапись приводит к столь большим техническим трудностям, что преодолеть их при современном сос-

тоянии техники невозможно. Поэтому усилия ученых и инженеров уже при зарождении магнитной видеозаписи (начало 50-х годов) были направлены на поиск принципиально новых решений задачи. В теории связи известны способы частотного и временнóго деления широкополосного сигнала на N составляющих. В этих случаях ширина спектра каждого из субсигналов в N раз меньше ширины спектра исходного сигнала, что позволяет передавать их по более узкополосным каналам. В месте приема субканалы суммируются, и тем самым восстанавливается исходный широкополосный сигнал. Идеи частотного и временнóго деления были положены в основу первых методов записи телевизионного сигнала. Эти методы имеют лишь исторический интерес, и мы, не вдаваясь в детали, рассмотрим только некоторые характерные особенности записи с частотным делением, поскольку при сравнении с этим способом наиболее ясно можно оценить достоинства используемого в настоящее время способа наклонно-строчной видеозаписи.

Запись с частотным делением была реализована в 1953 г. в аппарате фирмы RCA. Сложный цветной телевизионный сигнал был разделен на красную, синюю и зеленую компоненты. У каждой компоненты выделялась часть спектра, лежащая в полосе до 1,5 МГц, и эта составляющая с помощью ЧМ записывалась на ленту по отдельной дорожке. По четвертой дорожке без дополнительного преобразования записывались высокочастотные составляющие спектра видеосигнала в полосе от 1,5 до 3,5 МГц. Отдельные дорожки отводились также для записи звукового сопровождения и синхронизации. Таким образом, на ленте шириной 12,7 мм размещалось 6 дорожек. Скорость движения ленты составляла 9 м/с, так что при использовании рулона ленты диаметром 43 см время записи составляло 4 мин. В этом аппарате колебания скорости не превышали 0,025%, что позволило получить изображение удовлетворительного качества в замкнутой телевизионной системе. Чтобы обеспечить такую стабильность скорости, видеомагнитофон был оснащен несколькими следящими системами. Одна из них управляла скоростью вращения ведущего двигателя, другая, малоинерционная, изменяла относительную скорость пары «головка — лента» за счет покачивания головки, закрепленной на специальной качающейся платформе. Специальные следящие системы регулировали натяжение ленты, которое поддерживалось постоянным с точностью до 1%. Благодаря этому удалось избежать значительных деформаций ленты. Таким образом, конструкция аппарата была весьма сложной, но несмотря на это, его характеристики оказались низкими. Во-первых, из-за неизбежных перекосов ленты возникали фазовые сдвиги между сигналами, воспроизводимыми с разных дорожек, что резко ухудшило качество изображения. Во-вторых, полоса частот в 3,5 МГц недостаточна для передачи полного видеосигнала. В-третьих, полученная стабильность, будучи, по-видимому, предельно достижимой при продольной записи на ленту из-за ее эластичности, тем не менее недостаточна для использования видеомагнитофона в качестве равноправного источника программ на телецентре. В-четвертых, продолжительность записи в 4 мин недостаточна для создания полноценной программы.

Использование для видеозаписи методов поперечно-строчной и наклонно-строчной записи явилось тем решающим шагом, который привел к широкому распространению и развитию магнитной видеозаписи.

В этих случаях видеосигнал не делится на субсигналы, а целиком записывается на носитель. Но в отличие от продольной, при наклонно-строчной записи головки не закреплены неподвижно, а расположены на вращающемся диске, огибаемом лентой (рис. 2.10).

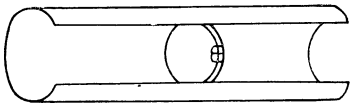

Рис. 2.10. Иллюстрация принципа поперечно-строчной записи

Траектория перемещения головки по ленте определяется совместным действием вращения головки и поступательного движения ленты, так что направление записи образует некоторый угол с направлением движения носителя. Дорожка записи оказывается разделенной на строчки, причем информация, содержащаяся в каждой из них, является продолжением информации предыдущей строчки. Если строчки записи практически перпендикулярны направлению движения носителя, запись называется поперечно-строчной. Осуществляется она с помощью четырех головок, расположенных на диске. Сигналограмма, возникающая при поперечно-строчной записи, показана на рис. 2.11. Строчки с записью видеосигнала расположе-

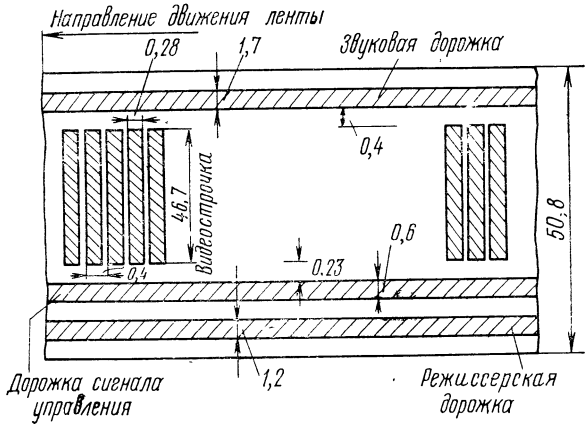

Рис. 2.11. Формат при поперечно-строчной записи

ны под углом $\theta \approx 90°$ к направлению движения носителя. Специальные дорожки вдоль ленты отводятся для записи звука и управляющего сигнала для системы САР-СЛ. При наклонно-строчной записи строчки записи образуют с направлением движения носителя угол от 3—5° до 14—19°.

Относительная скорость З—В может быть найдена как сумма линейных скоростей головки $v_г$ и ленты $v_л$. Из векторной диаграммы (рис. 2.12) видно, что при $v_г \gg v_л$

$$v \approx v_г + v_л \cos\theta. \qquad (2.16)$$

Отсюда относительная нестабильность скорости:

$$\Delta v/v \approx (\Delta v_г/v_г)(v_г/v) + (\Delta v_л/v_л)(v_л/v)\cos\theta. \qquad (2.17)$$

При наклонно-строчной записи

$$(\Delta v/v) \approx (\Delta v_г/v_г)(v_г/v) + (\Delta v_л/v_л)(v_л/v). \quad (2.18)$$

При поперечно-строчной

$$\Delta v/v \approx \Delta v_г/v_г. \quad (2.19)$$

В четырехголовочных видеомагнитофонах используется магнитная лента шириной 50,8 мм; в одно- и двухголовочных — лента различной ширины — от 6,25 до 25,4 мм. В отечественных бытовых видеомагнитофонах получила распространение лента шириной 12,7 мм.

Скорость вращения диска с головками при поперечно-строчной записи равна 15 000 об/мин. Линейная скорость З—В составляет при этом около 40 м/с. При наклонно-строчной несегментной записи на одной строчке записывается целое поле телевизионного изображения. Поэтому в одноголовочных аппаратах скорость вращения головки составляет 3000 об/мин (50 об/с); в двухголовочных, если каждая головка записывает один полукадр, скорость в 2 раза меньше и составляет 1500 об/мин. Линейная скорость З—В зависит от ширины ленты и лежит в пределах 8—20 м/с.

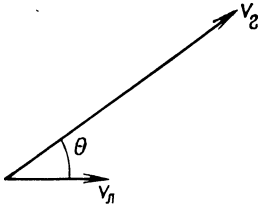

Рис. 2.12. Векторная диаграмма скоростей при наклонно-строчной записи

В видеомагнитофонах реализуется высокая поперечная плотность записи. Ширина строчки при поперечно-строчной записи равна 0,26 мм, а промежуток между ними составляет 0,14 мм. Поперечная плотность записи оказывается равной 2,5 дор/мм, что позволяет использовать низкую (39,7 см/с) скорость протягивания ленты. Эта скорость близка к той, которая используется в студийных магнитофонах, и более чем 100 раз меньше тех, которые необходимы в видеомагнитофонах с продольной записью. Отсюда ясно, что при поперечно-строчной записи телевизионные программы большой продолжительности могут быть записаны на катушке с лентой, занимающей малый объем. Размеры и положение строчек при наклонно-строчной записи разнообразны, но обычно ширина строчек и промежуток между ними меньше, чем в профессиональных аппаратах. Поэтому видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью, использующие катушки с лентой длиной менее 1 км, обеспечивают запись программ продолжительностью в 1—4 ч.

Но возможность записи больших программ — не единственное и даже не главное достоинство рассматриваемого способа записи. Огромный качественный скачок, который принесла с собой строчная запись видеосигналов, состоит в том, что при ее использовании, в отличие от продольной записи, стабильность относительной скорости пары «головка — лента» определяется не стабильностью движения, способного к растяжению и деформации гибкого элемента — ленты, а стабильностью вращения жесткого диска с головками. Рассмотрим (2.18) и (2.19). Поскольку $v_г = v$ и $v_г \gg v_л$, из (2.18) видно, что при одно- и двухголовочной записи отношение $\Delta v/v$ равно сумме $\Delta v_г/v_г$ и уменьшенного в $v_л/v$, т. е. в 200—300 раз коэффициента колебания скорости ленты, а при записи четырьмя головками $\Delta v/v$ [см. (2.19)] определяется только стабильностью вра-

щения диска с головками. Диск с головками закреплен непосредственно на валу синхронного (гистерезисного) скоростного двигателя, и стабильность окружной скорости головок определяется стабильностью вращения двигателя, которая может быть сделана достаточно высокой. Из сравнения (2.18) и (2.19) видно, что при четырех головках достигается бо́льшая стабильность скорости записи, чем при одной или двух головках. Это определило применение в профессиональной видеозаписи в первое время преимущественно четырехголовочных аппаратов. Одно- и двухголовочные видеомагнитофоны получили наибольшее распространение в качестве бытовых и репортажных.

Однако в последнее время в результате усовершенствования одно- и двухголовочных видеомагнитофонов, а также способов коррекции временны́х искажений, они все чаще используются на телецентрах.

Блок магнитных головок является прецизионным узлом видеомагнитофона. Головки в четырехголовочном блоке должны быть выставлены с высокой точностью. В противном случае видеофонограмму, сделанную на каком-либо аппарате, нельзя воспроизвести на другом без заметных визуально геометрических искажений.

При записи сигналов цветного телевидения видеомагнитофоны должны обеспечить более высокую стабильность временны́х соотношений, чем при записи черно-белых программ. При этом система НТСЦ, использующая квадратурную модуляцию и синхронное детектирование, предъявляет более жесткие требования к стабильности, чем система СЕКАМ с последовательной передачей цветов. Дело в том, что при записи сигналов, кодированных по системе НТСЦ, для исключения искажений цветопередачи фаза поднесущей частоты 4,43 МГц должна поддерживаться с точностью до $\pm 5°$, что составляет $\pm 1{,}25$ нс. Система автоматического регулирования скорости вращения головок (см. ниже) обеспечивает передачу видеосигнала с остаточной ошибкой не менее 0,075 мкс. Поэтому для записи цветных сигналов применяют дополнительные устройства грубой и точной коррекции временных искажений. В системе СЕКАМ полезная девиация частоты цветной поднесущей при передаче крупных деталей изображения составляет примерно 6%. Поэтому даже при значительных колебаниях скорости (например, с $A = 0{,}1\%$) искажения цветопередачи будут незначительны, а запись цветных изображений, кодированных по системе СЕКАМ, не предъявляет к видеомагнитофону каких-либо дополнительных требований с точки зрения временно́й стабильности по сравнению с записью монохромных сигналов.

Хотя относительная стабильность скорости 3—В при поперечно-строчной записи очень высока ($A \approx 10^{-6}$), требования к стабильности скорости носителя оказываются сравнительно низкими и определяются только необходимостью обеспечить при воспроизведении попадание головок на строчки записи. Если допустить уход головки со строчки на 10% от ее ширины, то при $v = 39{,}7$ см/с допустимый временной сдвиг составит 65 мкс, у одно- и двухголовочных видеомагнитофонов величина допустимой временной ошибки еще выше. Воспользовавшись (2.13), получим, что при частоте колебаний скорости 25 Гц и $\Delta t = 65 \cdot 10^{-6}$ с допустимый коэффициент колебаний скорости $A_{доп} = 0{,}01$. Транспортирование ленты с такой точностью практически никаких затруднений не вызывает. Требования к стабильности движения возрастают по мере снижения частоты колебаний скорости. Поэтому для компенсации низкочастот-

ных составляющих этих колебаний, а также для устранения влияния дрейфа (изменения среднего значения скорости) в видеомагнитофоне используется инерционная система управления скоростью ведущего двигателя. Стабильность средней скорости у современных видеомагнитофонов поддерживается с погрешностью не более 0,1%.

Для относительного сжатия спектра записываемых сигналов в видеомагнитофонах используется узкополосная ЧМ или ПМ Глубокое амплитудное ограничение воспроизведенного сигнала устраняет паразитную амплитудную модуляцию, возникающую из-за действия помех тракта З—В, неточности попадания головок на строчки и неидентичности головок. Применение амплитудной модуляции, принципиально обладающей более узким спектром, чем ЧМ, при поперечной строчной записи значительно повысило бы требования к стабильности скорости протягивания ленты и подбору головок, используемых в блоке.

Наивысшая частота ЧМ сигнала, передаваемого в тракте З—В ($f_{макс}$), определяется волновыми потерями в тракте и частотными потерями в сердечнике головок. Если принять, что минимальная длина волны записываемого сигнала составляет $\lambda_{мин}=3\div2{,}5$ мкм, то при $v=40$ м/с (видеомагнитофон с четырьмя головками) $f_{макс}=13\div15$ МГц. Это позволяет осуществить передачу по ЧМ каналу видеомагнитофона полного видеосигнала в полосе 50 Гц — 6,5 МГц. В бытовых видеомагнитофонах с наклонно-строчной записью удается записывать видеосигналы в полосе, не превышающей 3—3,5 МГц. Подводя итоги сказанному, кратко сформулируем основные достоинства строчного способа видеозаписи:

возможность записи видеосигнала без частотного и временного деления, обеспечиваемую высокой относительной скоростью головок и ленты;

возможность записи длительных программ, что обеспечивается высокой поперечной плотностью записи и вследствие этого сравнительно небольшой скоростью транспортирования ленты;

малые искажения временного масштаба сигнала, поскольку стабильность скорости записи и воспроизведения определяется в основном стабильностью вращения диска с головками, жестко скрепленного с валом синхронного двигателя;

малые требования к стабильности скорости транспортирования носителя, поскольку эти требования определяются только условием попадания при воспроизведении головок на строчки записи.

2.7. Функциональная схема видеомагнитофона с четырьмя вращающимися головками

Современный видеомагнитофон состоит из нескольких систем, каждая из которых выполняет определенную функцию. В процессе работы эти системы взаимодействуют между собой, погрешности одной из них приводят к нарушению режимов работы других.

Функциональная схема четырехголовочного видеомагнитофона приведена на рис. 2.13. На ней изображены:

лентопротяжный механизм (*ЛПМ*), предназначенный для транспортирования магнитной ленты;

каналы записи (*КЗИ*) и воспроизведения (*КВИ*) изображения;

система автоматического регулирования скорости диска с вращающимися головками (САР-СД);

система автоматического регулирования скорости ленты (САР-СЛ);

каналы записи (*КЗЗ*) и воспроизведения (*КВЗ*) звукового сопровождения.

Кроме этих основных систем в состав видеомагнитофонов входят системы регенерации сихроимпульсов, компенсации выпадений

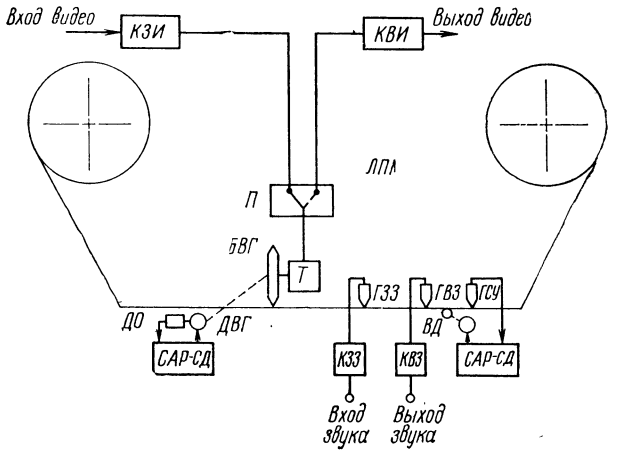

Рис. 2.13. Функциональная схема четырехголовочного видеомагнитофона:

БВГ — блок видеоголовок; *ГСУ* — головка сигнала управления; *ГЗЗ* — головка записи звука; *ГВЗ* — головка воспроизведения звука; *ВД* — ведущий двигатель; *КЗИ* — канал записи изображения; *КВИ* — канал воспроизведения изображения; *Т* — токосъемник; *П* — переключатель; *ДВГ* — двигатель видеоголовок; *ДО* — датчик оборотов; САР-СЛ — система автоматического регулирования скорости ленты; САР-СД — система автоматического регулирования скорости диска; *КЗЗ* — канал записи звука; *КВЗ* — канал воспроизведения звука; *ЛПМ* — лентопротяжный механизм

и коррекции временных ошибок. Магнитные головки, смонтированные в блоке видеоголовок *(БВГ)*, расположены симметрично на окружности диска. Диск приводится во вращение двигателем видеоголовок *(ДВГ)*, имеющим датчик оборотов *(ДО)*. Сигнал *ДО* служит для работы САР-СД. Видеоголовки являются универсальными, т. е. используются для записи и воспроизведения. Их связь с *КЗИ* и КВИ осуществляется посредством токосъемника *Т*, а для переключения режимов работы (запись или воспроизведение) служит переключатель *П*. Звук записывается и воспроизводится отдельными головками. Для работы САР-СЛ вдоль ленты специальной головкой *(ГСУ)* записывается сигнал управления.

Для обеспечения взаимозаменяемости параметры магнитных сигналограмм стандартизованы. В первую очередь это относится к расположению и размерам магнитных дорожек и строчек на носителе, показанном на рис. 2.11. Видеострочки имеют ширину 0,26 мм, расстояние между ними — 0, 14 мм. Общее расстояние между двумя строчками равно 0,4 мм, так что поперечная плотность записи составляет 2,5 стр/мм. Диск, на котором расположены видеоголовки,

вращается со скоростью 15 000 об/мин. Следовательно, за 1 с на ленту записывается 250·4=1000 магнитных строчек. По принятому в СССР стандарту в 1 с разворачивается 625·25=15 625 телевизионных строк. Отсюда следует, что на одной магнитной строчке длиной 46,7 мм размещается не менее 15,625 телевизионных строк. Поскольку в 1 с передается 25 кадров изображения, 1 кадр записывается на 1000/25=40 магнитных строчках, которые занимают участок ленты длиной 40·0,4 мм=16 мм. Вдоль ленты расположены дорожки канала звукового сопровождения, управляющего сигнала и режиссерского канала.

Рассмотрим принцип действия основных систем видеомагнитофона.

Канал записи и воспроизведения изображения. При видеозаписи в качестве способа преобразования записываемого сигнала обычно используется узкополосная частотная модуляция с низким отношением несущей частоты f_0 к верхней модулирующей частоте видеосигнала $F_{макс}$. Применение ЧМ позволяет при демодуляции ограничивать воспроизводимый сигнал по амплитуде и устранять тем самым влияние ПАМ из-за неточного попадания воспроизводящей головки на строчку, шумов тракта записи — воспроизведения, а также снизить требования к идентичности характеристик видеоголовок. Как отмечалось в § 2.5, система ЧМ, используемая при видеозаписи, существенно отличается от классической ЧМ, применяемой, например, в системах УКВ радиовещания. Классическая ЧМ характерна высоким отношением несущей частоты к верхней модулирующей частоте и большим индексом модуляции: $\beta=\Delta f/F_{макс}$, где Δf — девиация частоты. Выбор $f_0 \gg F_{макс}$ определяется тем, что в диапазоне УКВ частоты работы радиостанций значительно выше частот звукового диапазона. Выбор $\beta \gg 1$ связан с тем, что выигрыш в помехозащищенности при переходе к ЧМ от АМ пропорционален индексу модуляции.

При видеозаписи, как было отмечено в § 2,5, недопустимо значительное возрастание высшей частоты в спектре записываемого сигнала. Поэтому в видеомагнитофонах используется узкополосная ЧМ с $\beta<1$ и низким (около единицы) отношением $f_0/F_{макс}$. Если бы помехи в тракте З—В имели только аддитивный характер, применение системы ЧМ с такими параметрами было бы нецелесообразно. Эффективность ее применения обусловлена мультипликативным характером помех при магнитной записи.

Рассмотрим основные особенности системы модуляции видеомагнитофона. На рис. 2.14 приведены спектральные диаграммы сигналов в модуляторе и демодуляторе при идеальном преобразовании. Видеосигнал, занимающий полосу 0—$F_{макс}$ (рис. 2.14*а*), поступает на вход ЧМ модулятора, сигнал на выходе которого имеет, строго говоря, бесконечный спектр. Он состоит из ряда боковых полос, расположенных вокруг несущей частоты. Уровень этих боковых полос зависит от индекса модуляции β и тем меньше, чем меньше β. Так, при $\beta=0,1$ напряжение первой боковой полосы составляет 5% от уровня немодулированной несущей, второй боковой — 1%, третьей — 0,002% и т. д. При $\beta=0,2$ эти значения соответственно равны — 9; 0,5; 0,02%.

Минимальной полоса частот записываемого сигнала оказывается тогда, когда уровни второй и более высоких боковых полос пренебрежимо малы по сравнению с уровнем первой боковой. На рис. 2.14*б* показан спектр ЧМ сигнала для этого случая. Из сопо-

ставления рис. 2.14*а* и *б* видно, что при принятом отношении $1<f_0/F_{макс}<2$ спектры видеосигнала и ЧМ сигнала перекрываются, и для предотвращения попадания видеосигнала на выход ЧМ демодулятора необходимо принимать специальные меры. Частотно-модулированный сигнал записывается на ленту и, если не учитывать возникающие в процессе З—В искажения, воспроизводимый

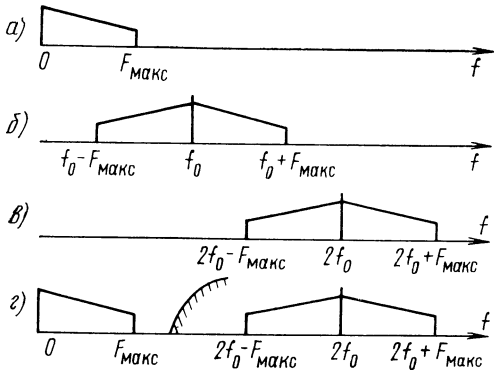

Рис. 2.14. Спектральная диаграмма при идеальном преобразовании

сигнал имеет тот же спектр, что и записываемый. При демодуляции спектры ЧМ сигнала и видеосигнала должны быть разнесены, для чего необходимо переместить спектр ЧМ сигнала в более высокочастотную область. Простейшим и в то же время наиболее употребительным способом осуществления этого преобразования спектра является удвоение частоты ЧМ сигнала. Спектр его в этом случае принимает вид, показанный на рис. 2.14*в*. Видеосигнал на выходе ЧМ демодулятора не перекрывается по спектру с ЧМ сигналом и может быть отделен от него с помощью фильтра. При удвоении частоты ЧМ сигнала индекс модуляции β также удваивается. Поэтому необходимым условием отсутствия перекрытия спектров после удвоения частоты является выбор значения β при модуляции настолько малого, чтобы и после его удвоения спектр ЧМ сигнала содержал только одну пару боковых полос.

Для обеспечения обмена программами параметры системы ЧМ стандартизованы. Согласно рекомендациям МЭК для записи сигналов с полосой до 6,0 МГц принята следующая расстановка частот (стандарт ВЧ): уровень вершин синхроимпульсов — 7,16 МГц, уровень черного — 7,8 МГц, уровень белого — 9,3 МГц.

Если рассчитывать β только для видеосигнала и считать, что $\Delta f=(f_{бел}-f_{черн})/2$, то $\beta=0{,}75/6{,}0=0{,}12$. При видеозаписи считают, что канал записи — воспроизведения должен обеспечивать передачу ЧМ сигнала в полосе от $f_{мин}=f_0-\Delta f-F_{макс}$ до $f_{макс}=f_0+\Delta f+F_{макс}$.

Это соответствует передаче в полосе 1,8—15 МГц. Функциональная схема канала изображения показана на рис. 2.15. Видеосигнал подается на входной усилитель, где, кроме усиления, в сигнал вносятся предыскажения, состоящие в относительном подъеме

высокочастотных составляющих его спектра. Необходимость в таких предыскажениях обусловлена тем, что высокочастотные составляющие видеосигнала имеют относительно малую интенсивность и поэтому передаются в ЧМ канале с низким отношением сигнал/помеха. Предыскажения увеличивают уровень ВЧ составляющих видеосиг-

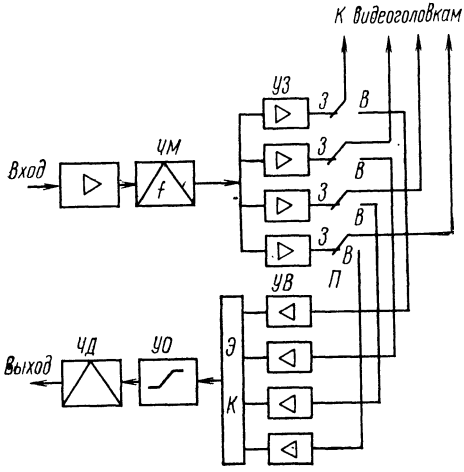

Рис. 2.15. Функциональная схема видеотракта

нала и улучшают помехозащищенность. Наиболее распространенным типом частотного модулятора является симметричный мультивибратор, частота автоколебания которого меняется в зависимости от уровня входного сигнала. Для предотвращения попадания на выход модулятора модулирующего сигнала выходной сигнал снимают с помощью выходного трансформатора, включенного симметрично в оба плеча мультивибратора. Спектр сигнала на выходе такого частотного модулятора отличается от показанного на рис. 2.14*б* тем, что в нем присутствуют ЧМ составляющие на гармониках несущей час-

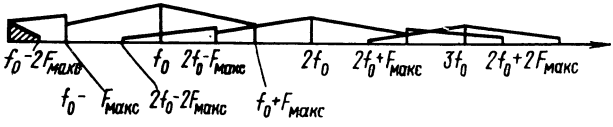

Рис. 2.16. Спектр на выходе ЧМ модулятора

тоты. Уровень этих составляющих падает с возрастанием номера гармоники. Картина спектра на выходе модулятора показана на рис. 2.16. Полезные составляющие спектра, расположенные вокруг частоты f_0, совпадают с изображенными на рис. 2.14*б* и занимают полосу от $f_0-F_{макс}$ до $f_0+F_{макс}$. Составляющие, расположенные

вокруг частоты $2f_0$, возникают из-за асимметрии формы положительной и отрицательной полуволн сигнала мультивибратора. Часть его спектра, расположенная в пределах от $2f_0—2F_{макс}$ до $f_0+F_{макс}$, перекрывается со спектром записываемого ЧМ сигнала и создает своеобразную помеху, называемую комбинационной. Эта помеха приводит к появлению «муара» на изображении после демодуляции. Для подавления четных гармоник ЧМ сигнала необходимо симметрировать его форму, что можно осуществить, если выбирать основную частоту мультивибратора равной удвоенной несущей, а выходной сигнал мультивибратора пропускать через триггер. Из рис. 2.17

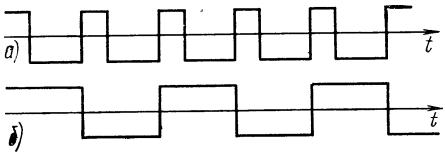

Рис. 2.17. Симметрирование формы ЧМ сигнала с помощью триггера

видно, что даже при резко асимметричной форме сигнала на выходе мультивибратора (рис. 2.17*а*) сигнал на выходе триггера (рис. 2.17*б*) строго симметричен.

Еще одним источником комбинационных помех в модуляторе является наличие так называемых «отраженных» частот. Причина их появления заключается в том, что вторая боковая спектра ЧМ сигнала, занимающая полосу от $f_0—F_{макс}$ до $f_0—2F_{макс}$, при принятых в видеозаписи параметрах модуляции может попасть в область «отрицательных» частот. Поскольку физически «отрицательные» частоты не существуют, это означает, что часть спектра второй боковой полосы ЧМ сигнала как бы отражается от начала координат и перекрывает спектр первой боковой ЧМ сигнала. Это перекрытие происходит в диапазоне от $f_0—F_{макс}$ до $|f_0—2F_{макс}|$. Комбинационные помехи этого вида можно устранить только в ЧМ модуляторе гетеродинного типа, процесс модуляции в котором осуществляется на частоте $f_г \gg f_0$; далее отфильтровывается однополосный спектр ЧМ сигнала, а затем с помощью гетеродинирования он переносится в низкочастотную область. Эти модуляторы конструктивно более сложны.

С выхода модулятора ЧМ сигнал поступает на усилители записи *УЗ*, каждый из которых связан с видеоголовкой. Видеоголовки переключаются на запись или воспроизведение с помощью переключателя *П*. После воспроизведения ЧМ сигнал усиливается в усилителях воспроизведения *УВ* и поступает на электронный коммутатор *ЭК*. Его функция состоит в том, чтобы подключать к ЧМ демодулятору в каждый момент сигнал только от одной магнитной головки. В противном случае головки, не воспроизводящие сигнал и являющиеся только источниками шумов, будут ухудшать отношение сигнал/помеха на выходе демодулятора. В последующих каскадах усиления корректируются линейные искажения, вносимые в сигнал трактом З—В. В видеомагнитофонах применяются гармонические корректоры на линиях задержки, обладающие линейной фазо-частотной характеристикой [6]. Требование линейности ФЧХ связано с тем, что в противном случае на выходе частотного модулятора в

видеосигнале появятся нелинейные искажения. После коррекции и усиления ЧМ сигнал ограничивается по амплитуде в усилителе-ограничителе *УО* с низким порогом ограничения $h \leqslant 0{,}01$. При отсутствии искажений спектр ЧМ сигнала на выходе ограничителя содержит основную составляющую, расположенную вокруг несущей частоты, а также компоненты, находящиеся около ее нечетных гармоник (рис. 2.18*а*). Частотный демодулятор (см. рис. 2.15) выполня-

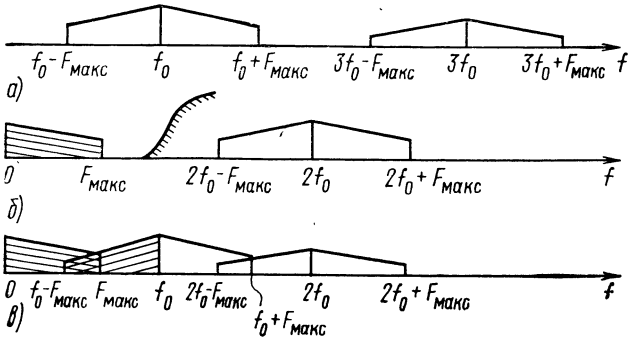

Рис. 2.18. **Спектральные диаграммы ЧМ демодулятора**

ется чаще всего в виде последовательно соединенных преобразователя ЧМ сигнала в ЧИМ сигнал и фильтра нижних частот. Такой демодулятор носит название «счетчик импульсов». Его принцип действия основан на том, что в спектре ЧИМ сигнала содержится низкочастотная компонента модулирующего сигнала, которая может быть выделена с помощью фильтра. При применяемых в видеозаписи соотношениях между f_0 и $F_{макс}$ для обеспечения возможности фильтрации удваивается частота несущего колебания. Практически это осуществляется за счет того, что на выходе преобразователя ЧМ—ЧИМ появляются импульсы всякий раз при достижении выходным сигналом заданного порогового значения $\pm h$ (рис. 2.19*а*, *б*).

Спектр ЧИМ сигнала при удвоении частоты несущей изображен на рис. 2.18*б*. Видно, что с помощью ФНЧ может быть выделен видеосигнал. Комбинационные искажения возникают и при демодуляции из-за неидеальности работы демодулятора и его элементов. Можно назвать следующие основные источники комбинационных искажений в демодуляторе: неравенство порогов ограничения положительной и отрицательной полуволн ЧМ сигнала, неодинаковая форма импульсов ЧИМ сигнала, появление второй боковой полосы у ЧИМ сигнала.

Если пороги срабатывания формирователя ЧИМ сигнала выбраны неодинаковыми (например, h и h_1 на рис. 2.19*а*), то в выходной импульсной последовательности (рис. 2.19*в*) происходит «спаривание» импульсов, т. е. интервалы между ними t'_1 и t'_2 становятся неодинаковыми. В результате спаривания импульсов в спектре ЧИМ сигнала, кроме второй гармоники несущей частоты и окружающих ее боковых полос, появляется первая гармоника с соответствующими боковыми (рис. 2.18*в*). Интенсивность первой гармоники зави-

сит от степени асимметрии порогов. Ее спектр перекрывается со спектром видеосигнала и часть его проходит совместно с видеосигналом на выход ФНЧ демодулятора. Возникающие биения между составляющими спектра ЧИМ сигнала и видеосигналом и представляют собой комбинационные искажения видеосигнала, проявляющиеся в виде муара на изображении. Неидеальное удвоение частоты и появление в спектре ЧИМ сигнала первой гармоники несущей частоты

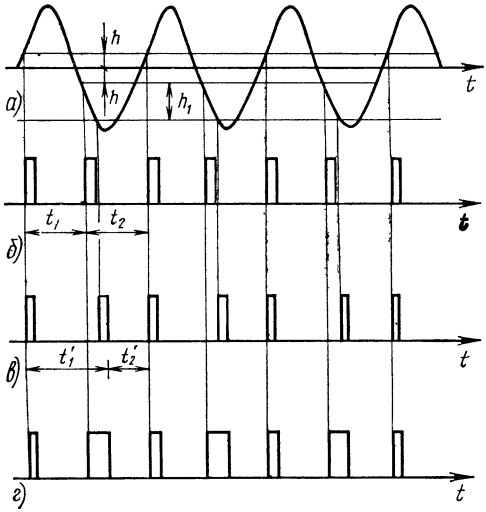

Рис. 2.19. Временные диаграммы преобразования ЧМ—ЧИМ

возникают также вследствие неодинаковой формы импульсов, формируемых положительной и отрицательной полуволнами ЧМ сигнала (см. рис. 2.19*г*). Механизм возникновения комбинационных искажений в этом случае полностью аналогичен предыдущему. Наконец, комбинационные искажения при демодуляции возникают из-за того, что при удвоении частоты несущей удваивается также и индекс модуляции. Это, в свою очередь, означает возрастание уровня боковой полосы ЧМ сигнала, возникающей в полосе пропускания ФНЧ, и появление комбинационных искажений.

Уровень комбинационных искажений зависит от интенсивности составляющих ЧИМ сигнала, попадающих в полосу пропускания ФНЧ демодулятора. Эти составляющие соответствуют высокочастотным компонентам спектра видеосигнала. Поскольку у черно-белого видеосигнала энергетический спектр быстро спадает с ростом частоты, а у цветного видеосигнала в области частот 4,43 МГц имеется значительная по уровню цветовая компонента, комбинационные искажения при записи цветных видеосигналов заметно больше, чем при записи черно-белых.

Серьезным источником шумов в видеомагнитофоне являются собственные шумы усилителя воспроизведения. Суммируясь с воспроизводимым ЧМ сигналом, эти шумы в амплитудных ограничите-

лях канала воспроизведения приводят к паразитной модуляции фронтов ЧМ сигнала, а на выходе ЧМ демодулятора проявляются в виде хаотической помехи, наложенной на сигнал. Эта помеха снижает разрешающую способность изображения, приводит к мерцанию экрана и особенно заметна на однотонных участках изображений. Шумы визуально незаметны, если отношение сигнал/шум на выходе ЧМ демодулятора не ниже 42—46 дБ. Обеспечить помехозащищенность с учетом малого индекса ЧМ, применяемого в видеозаписи, без принятия специальных мер практически невозможно. Применяемые способы шумоподавления основаны на использовании особенностей структуры спектра шума на выходе ЧМ демодулятора. Как известно, если на входе ЧМ демодулятора спектр шума равномерен в полосе ЧМ сигнала, то на выходе ЧМ демодулятора он имеет треугольный характер в полосе выходного сигнала (рис. 2.20). Видно, что напряжение шума с повышением частоты возрастает, а следовательно, ухудшается помехозащищенность передачи высокочастотных составляющих спектра сигнала. Для улучшения условий передачи высоких частот в ЧМ модуляторе применяют предыскажение спектра входного сигнала, состоящее в относительном подъеме уровня ВЧ составляющих. Это осуществляется с помощью предыскажающего контура (ПК), коэффициент передачи которого возрастает с ростом частоты. Соответственно увеличиваются девиация частоты при передаче высокочастотных компонент спектра видеосигнала и их защищенность от помех. После демодуляции форма спектра сигнала восстанавливается специальным восстанавливающим контуром (ВК), коэффициент передачи которого имеет характеристику, обратную коэффициенту передачи ПК. Применение контуров ПК—ВК улучшает отношение сигнал/шум на выходе демодулятора примерно на 8 дБ [6].

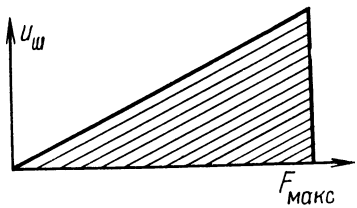

Рис. 2.20. Спектр шума на выходе ЧМ демодулятора

Дополнительное улучшение отношения сигнал/шум на 8—12 дБ в видеомагнитофонах получается за счет применения в тракте воспроизведения фильтра с линейно-падающей амплитудно-частотной и линейной фазовой характеристиками. Такая цепь не вносит искажений в закон модуляции и поэтому никак не сказывается на выходном видеосигнале. В то же время уровень шумов в высокочастотной области значительно уменьшается, что и улучшает помехозащищенность системы в целом.

Следует, однако, отметить, что применение этого шумоподавляющего фильтра приводит к появлению у ЧМ сигнала паразитной амплитудной модуляции по закону модулирующего сигнала. Эта ПАМ в значительной степени подавляется амплитудным ограничителем, однако из-за неидеальности ограничения происходит частичное преобразование ПАМ в паразитную ЧМ, вследствие чего в выходном сигнале появляются гармоники видеосигнала. Следовательно, применение шумоподавляющего фильтра вызывает некоторое увеличение нелинейных искажений.

Остановимся, наконец, на структуре канала изображения в случае использования периодной модуляции [7]. При ПМ мгновен-

ный период модулированного колебания соответствует мгновенному значению входного сигнала: $T_{п.м}=T_0[1+m\frac{u(t)}{u_0}]$, где m — глубина модуляции.

Такому изменению периода соответствует изменение мгновенной частоты по более сложному закону, который при обычном для видеозаписи значении $m\leqslant 0{,}2$ имеет вид

$$\omega_{п.м}=\omega_0\left\{1+m\frac{u(t)}{u_0}+m^2\left[\frac{u(t)}{u_0}\right]^2+m^3\left[\frac{u(t)}{u_0}\right]^3\right\}.$$

Формируя модулирующий сигнал в соответствии с выражением, стоящим в фигурных скобках, можно использовать обычный ЧМ модулятор для периодной модуляции.

При демодуляции ПМ сигнала воспроизводимое непрерывное колебание (рис. 2.21*а*) ограничивается по уровню (рис. 2.21*б*), дифференцируется (рис. 2.21*в*) и затем используется для синхронизации генератора импульсов пилообразной формы (рис. 2.21*г*). Эти импульсы модулированы по периоду и амплитуде (ПИМ сигнал). В спектре ПИМ сигнала содержится составляющая с частотой полезного модулирующего колебания, которая выделяется с помощью фильтра нижних частот (рис. 2.21*д*). Уровень сигнала на выходе демодулятора при ПИМ оказывается выше, чем при ЧИМ демодуляции, с другой стороны, как уже отмечалось, при ПМ уменьшаются комбинационные искажения.

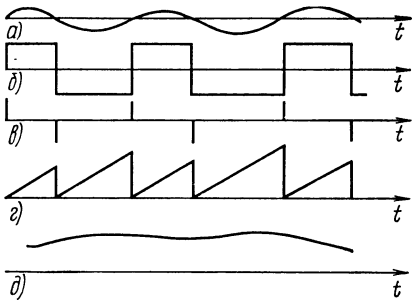

Рис. 2.21. Демодуляция ЧМ сигнала

Система автоматического регулирования скорости ленты (САР-СЛ). Предназначена САР-СЛ для стабилизации средней скорости транспортирования ленты. При этом система согласовывает скорость движения ленты со скоростью вращения диска с головками. Видеоголовки при воспроизведении в этом случае строго следуют по строчкам записи. Упрощенная структурная схема САР-СЛ приведена на рис. 2.22. Работает она в процессе воспроизведения по принципу фазовой автоподстройки частоты питания ведущего двигателя, который является исполнительным элементом системы регулирования. При записи на дорожку вдоль ленты записывается управляющий сигнал от датчика оборотов двигателя головок *ДО*. Запись осуществляется универсальной головкой управления *ГКУ*. Сигнал с *ДО* при записи после усиления в мощном усилителе *МУ* питает синхронный гистерезисный ведущий двигатель *ВД*, скорость вращения которого пропорциональна частоте питающего напряжения. При воспроизведении из-за несовпадения скоростей движения ленты при записи и воспроизведении частота (и фаза) управляющего сигнала отличается от частоты сигнала на выходе *ДО*. Мерой их различия является напряжение на выходе фазового детектора *ФД*. На рис. 2.23 приведены временные диаграммы работы *ФД*.

Если скорости З и В одинаковы, сигналы от *ДО* (рис. 2.23*а*) и от *УВ* (2.23*б*) имеют одинаковую частоту. Эти сигналы сдвинуты один относительно другого на $\pi/2$, причем такой фазовый сдвиг соответствует устойчивому состоянию работы системы регулирования и устанавливается автоматически. Сигнал на выходе *ФД*, представляющего собой триггер, имеет вид последовательности однополярных импульсов одинаковой длительности (рис. 2.23*в*). Постоянная составляющая этой последовательности подается на вход управляемого по частоте генератора *УГ*. При равенстве скоростей *З* и *В* частота сигнала на выходе *УГ* равна 250 Гц. Если скорость воспроизведения из-за воздействия каких-либо случайных факторов окажется выше скорости записи, частота воспроизводимого сигнала возрастет (рис. 2.23*г*) и длительность импульсов на выходе *ФД* будет постепенно уменьшаться (рис. 2.23*д*). Постоянная составляющая этой последовательности также будет уменьшаться. Построен *УГ* таким образом, что уменьшение управляющего напряжения на его входе приводит к снижению частоты сигнала. Поэтому частота питания, а следовательно, и скорость вращения двигателя уменьшаются, что компенсирует случайное возрастание скорости воспроизведения. Если скорость воспроизведения окажется ниже скорости записи, то воспроизводимый контрольный сигнал имеет вид, показанный на рис. 2.23*е*, а сигнал на выходе *ФД* примет вид, показанный на рис. 2.23*ж*. Частота сигнала на выходе *УГ* возрастет, что компенсирует случайное уменьшение скорости

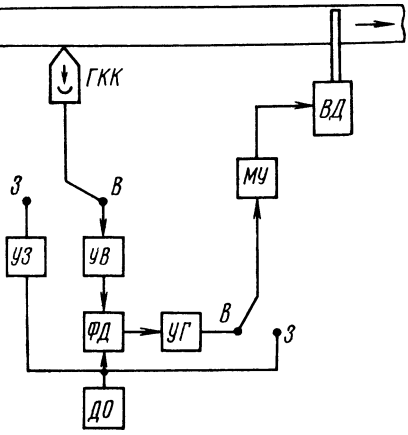

Рис. 2.22. Структурная схема САР-СЛ

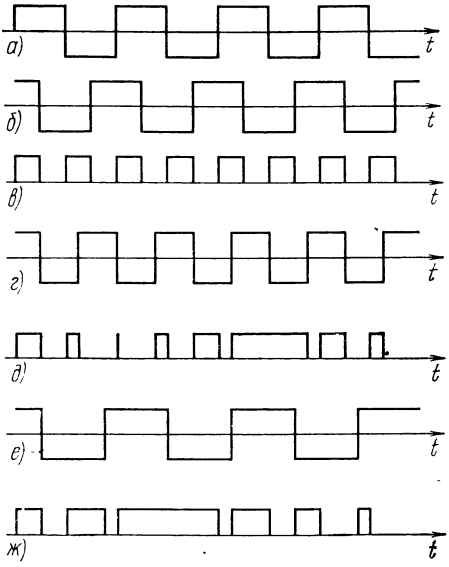

Рис. 2.23. Временные диаграммы работы *ФД*

ВД. Цепь обратной связи САР-СЛ, в которую входят *ДО*, *УВ*, *ФД*, *МУ* и *ВД*, замыкается через ленту с записью управляющего сигнала. Время срабатывания САР-СЛ определяется инерционностью *ВД* и составляет 0,1—0,15 с. Поэтому САР-СЛ компенсирует медленные колебания скорости ленты. Для описанной системы регулирования характерно наличие статической ошибки, приводящей к появлению постоянного смещения головок относительно строчек записи. Для уменьшения этого смещения цепь обратной связи усложняют путем введения специальной компенсационной цепи.

Система автоматического регулирования скорости вращения диска с головками (САР-СД). Система предназначена для управления скоростью вращения двигателя головок, которая как во время записи, так и во время воспроизведения должна быть синхронна с частотой опорного сигнала. Кроме того, система должна обеспечить постоянное временно́е соотношение между опорными сигналами и сигналами от датчика оборотов, определяющими угловое положение ротора двигателя. Благодаря этому обеспечивается запись кадровых синхроимпульсов *СИ* в определенном месте на ленте, без чего невозможно осуществить монтаж видеограмм. При воспроизведении САР-СД обеспечивает фазирование воспроизводимых *СИ* и *СИ* студийного синхрогенератора, что дает возможность производить параллельное подключение различных источников телевизионного сигнала. Структурная схема САР-СД приведена на рис. 2.24.

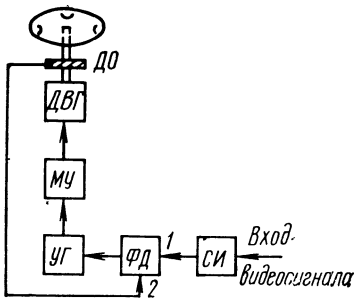

Рис. 2.24. Структурная схема САР-СД

На вал двигателя вращения головок *ДВГ* насажен датчик оборотов *ДО* двигателя, выходное напряжение которого определяет кроме скорости вращения *ДВГ* также и положение диска с головками. Сигнал *ДО* с частотой 250 Гц подается на один из входов фазового детектора *ФД*. На другой вход *ФД* подается сигнал частотой 250 Гц, полученный умножением на пять частоты следования импульсов синхронизации полукадров, выделяемой из записываемого телевизионного сигнала. Выход *ФД* подключен к цепи управления управляемого генератора *УГ*, изменение частоты которого изменяет скорость вращения *ДВГ*. САР-СД, как и САР-СЛ, работает по принципу фазовой автоподстройки частоты. Частота *УГ* меняется до тех пор, пока фаза напряжения, питающего двигатель, не станет такой, чтобы обеспечивались заданные временны́е соотношения между сигналами с *ДО* и опорными сигналами. При работе видеомагнитофона в режиме внешней синхронизации на вход *ФД* подаются синхроимпульсы от синхрогенератора телецентра.

Система коммутации видеоголовок. Как уже отмечалось, при четырехголовочной видеозаписи на одной магнитной строчке размещается 15,625 телевизионных строк, т. е. на магнитной строке размещается нецелое число телевизионных строк. Каждая магнитная строка записывается и воспроизводится одной из четырех головок. Поэтому, если не принять специальных мер, то моменты переключе-

ния головок будут приходиться всякий раз на новое место в пределах телевизионной строки. Так как мгновенную коммутацию осуществить невозможно, то появится помеха переключения. Для устранения этой помехи коммутацию головок осуществляют только в момент появления строчного гасящего импульса. С этой целью запись сигнала на ленту производится с перекрытием, т. е. часть видеосигнала, записываемого одной из головок в конце строчки, одновременно записывается последующей головкой в начале соседней строчки. При воспроизведении коммутация головок производится в момент, предшествующий появлению строчного синхроимпульса попеременно через 16 или 15 телевизионных строк, для чего служит специальная схема, вырабатывающая переключающие импульсы, жестко связанные по фазе с воспроизводимыми строчными синхроимпульсами.

Система коррекции временных искажений. В видеомагнитофонах с вращающимися головками имеются два источника искажений временно́го масштаба — непостоянство скорости записи воспроизведения и нарушение взаимного положения диска с головками и ленты либо взаимного положения головок при воспроизведении по отношению к их положению при записи.

Непостоянство скорости З—В возникает из-за качания ротора двигателя головок и неравномерности движения ленты. Временны́е искажения, вызванные непостоянством скорости, приводят к покачиваниям или статическому сдвигу изображений в направлении строчной развертки, а в замкнутых телевизионных системах практически незаметны.

Временны́е ошибки другого вида, связанные с неточной установкой головок на диске, приводят к смещениям групп строк и устойчивым геометрическим искажениям изображения на экране. При этом очевидно, что в одно- и двухголовочных видеомагнитофонах эти искажения отсутствуют.

На рис. 2.25 показано взаимное положение диска с головками *ДГ*, магнитной ленты *Л*, и вакуумной направляющей камеры для ленты *НК*. Временны́е искажения возникают, если непараллельны оси координат, связанные с *НК* и *ДГ* (y и y', x и

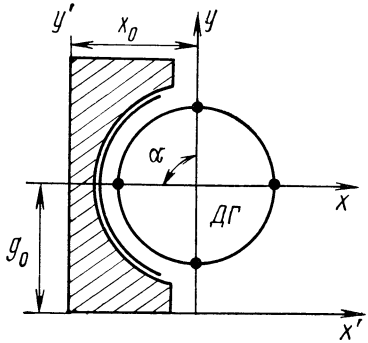

Рис. 2.25. Взаимное положение диска с головками, магнитной ленты и направляющей колонки

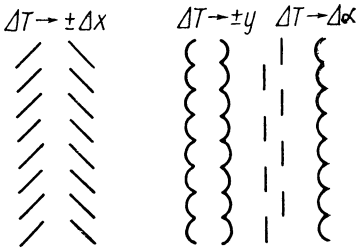

Рис. 2.26. Геометрическое искажение вертикальных линий из-за временны́х ошибок, вызванных разными причинами

x'); при записи и воспроизведении разными блоками головок не совпадают углы установки головок α; головки установлены на разном расстоянии от центра диска, т. е. у головок не совпадают значения x_0 и y_0.

Эти причины приводят к различным по виду геометрическим искажениям изображений. На рис. 2.26 схематически показаны геометрические искажения вертикальных линий для случаев, когда временные ошибки ΔT вызваны различными погрешностями установки головки. Отсюда ясно, что точности установки головок следует уделять большое внимание. Точная установка головок производится при воспроизведении специальной измерительной ленты, изготовленной с применением эталонного блока головок. Можно рассчитать [15], с какой точностью должна производиться механическая установка головок, чтобы возникающие геометрические искажения были незаметны. Если задаться допустимой погрешностью в 0,5 элементов разложения, то окажется, что по осям x и y допустимо смещение не более чем на 2,5 мкм, а погрешность угловой установки головок должна составлять не более $\Delta\alpha \leqslant 0{,}001°$.

Установка головок с такой точностью практически невозможна. Кроме того, выходной сигнал содержит временные искажения из-за износа головок и качания диска при вращении. Для их уменьшения в видеомагнитофонах используют устройства коррекции в виде линий переменной задержки, т. е. линий, время задержки сигнала в которых изменяется под действием управляющего напряжения. На рис. 2.27 изображена структурная схема простейшего уст-

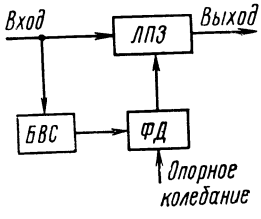

Рис. 2.27. Структурная схема устройства компенсации временных ошибок

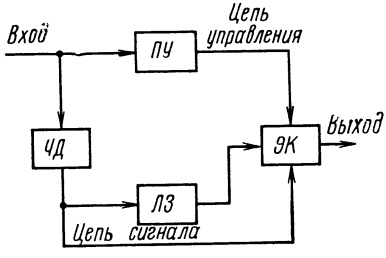

Рис. 2.28. Структурная схема компенсатора выпадений

ройства компенсации временной ошибки. Входной сигнал поступает на вход управляемой линии задержки *ЛПЗ*, а выделенные из него в блоке выделения синхронизации *БВС* синхроимпульсы, несущие информацию об искажениях временного масштаба, совместно с опорным колебанием подаются на фазовый детектор *ФД*. Напряжение на выходе *ФД* пропорционально разности фаз между опорным и искаженным колебаниями, т. е. величине временной ошибки. Это напряжение управляет временем задержки сигнала в линии, так что в выходном сигнале временные искажения меньше, чем во входном. Управление линией задержки может быть дискретным или непрерывным. При дискретном управлении сигнал ошибки включает то или иное число элементов линии задержки в цепь прохождения видеосигнала.

При непрерывном управлении сигнал ошибки изменяет емкость линии задержки, благодаря чему время задержки сигнала в линии также меняется. Недостатки непрерывного управления связаны с нелинейным характером зависимости емкости управляемых элементов от управляющего тока и напряжения. Кроме того, при изменении *C* меняется характеристическое сопротивление линии, что приводит к рассогласованию линии с нагрузкой, возникновению отражений и, следовательно, помех на изображении. Недостатком управляемых *LC*-линий является также изменение частотных характеристик при изменении времени задержки. Очевидно, что для того чтобы эти недостатки сказывались в минимальной степени, необходимо, чтобы среднее время задержки было значительно больше той величины, на которую изменяется задержка. Достоинством управляемых линий является возможность снижения остаточной ошибки до минимума. Поэтому коррекция временны́х ошибок совершается в несколько этапов. На первых этапах осуществляется дискретное управление набором линий задержки. Сигнал управления при этом получают путем сравнения фаз опорных и воспроизводимых строчных синхроимпульсов. Остаточная временна́я ошибка снижается до 0,04—0,1 мкс. На последнем этапе корректирования система точной коррекции, работающая на принципе сравнения фаз опорного колебания и цветовой поднесущей, снижает временну́ю ошибку до ±2,5 нс.

В некоторых видеомагнитофонах коррекция временны́х искажений осуществляется с помощью цифровых корректоров [47], имеющих значительно больший диапазон коррекции, чем аналоговые.

Система компенсации выпадений. Выпадениями называются глубокие уменьшения уровня воспроизводимого сигнала, вызванные дефектами ленты и нарушением контакта ленты с головкой. Как было отмечено, выпадения приводят к появлению полос на изображении и заметно снижают его качество. Для борьбы с вредным явлением выпадений используют три обстоятельства: длительность выпадений невелика и обычно не превышает длительности одной телевизионной строки; частота появления выпадений невелика; видеоинформация, передаваемая соседними строками изображения, различается так мало, что замена одной из строк соседней визуально незаметна.

Идея компенсации выпадений состоит в замене поврежденной строки предыдущей. Структурная схема простейшего компенсатора приведена на рис. 2.28. Устройство содержит цепь видеосигнала и цепь управления работой электронного коммутатора *ЭК*. Воспроизведенный ЧМ сигнал после частотного детектора *ЧД* поступает на *ЭК* по двум цепям — непосредственно и после задержки в линии *ЛЗ* на время, равное длительности одной строки (64 мкс). При отсутствии выпадений цепь управления отключена и *ЭК* находится в положении, соответствующем попаданию на вход устройства сигнала с *ЧД*. Если уровень воспроизводимого сигнала уменьшится более чем на 20 дБ, пороговое устройство *ПУ* цепи управления обнаружит это уменьшение и выдаст команду *ЭК* на переключение выхода компенсатора с *ЧД* на выход *ЛЗ*. Тем самым искаженная строка окажется замененной предыдущей.

Более подробно системы компенсации рассмотрены в гл. 3.

Система регенерации синхроимпульсов. Эта система предназначена для устранения влияния помех на качество синхронизации воспроизводимого изображения. Упрощенная структурная схема систе-

мы регенерации синхроимпульсов приведена на рис. 2.29. Входной сигнал через селектор синхроимпульсов *ССИ* поступает в регенератор гасящих и синхронизирующих импульсов *РГСИ*, где нормали-

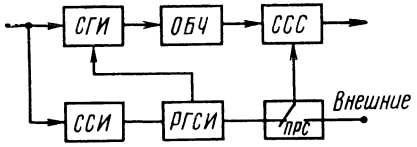

Рис. 2.29. Структурная схема системы регенерации синхроимпульсов

зуется их форма. За счет применения инерционной системы фазовой автоподстройки частоты строчные импульсы формируются даже при продолжительных выпадениях входного сигнала. В сумматоре гасящих импульсов *СГИ* в видеосигнал замешиваются регенерированные гасящие импульсы. Этот сигнал подается на ограничитель по уровням белого и черного *ОБГ*, а затем на сумматор синхросигнала *ССС*, на второй вход которого от *РГСИ* через переключатель режима синхронизации *ПРС* подаются регенерированные импульсы синхронизации. *ПРС* может быть включен таким образом, что в выходной сигнал замешиваются внешние синхроимпульсы.

Необходимо отметить, что работа в режиме внешней синхронизации возможна только при условии, что временна́я ошибка не превышает диапазона регулирования системы компенсации временны́х искажений.

Применение описанной процедуры регенерации синхроимпульсов к цветным видеосигналам оказывается невозможным. Связано это с тем, что полный цветовой сигнал может иметь уровни выше уровня черного и ниже уровня белого, и поэтому ограничение по этим уровням недопустимо. Поэтому при видеозаписи цветных изображений применяют раздельную обработку сигналов яркости и цветности. Яркостный сигнал обрабатывается аналогочно черно-белому видеосигналу. Обработка сигнала цветности состоит в запирании цветового канала на время прохождения строчных гасящих импульсов. Цель этой операции состоит в подавлении импульсных помех от переключения головок и других источников, которые, проникнув на выход системы, могли бы привести к искажениям регенерированных импульсов гашения и синхронизации.

2.8. Особенности видеомагнитофонов с одной и двумя вращающимися головками

Наклонно-строчная запись осуществляется одной или несколькими вращающимися головками. В одноголовочных видеомагнитофонах на одной строчке располагается поле телевизионного изображения или его часть.

При записи одной головкой магнитная лента огибает поверхность неподвижного барабана, как показано на рис. 2.30*а* (α-петля) или 2.30*б* (Ω-петля). Внутри барабана помещается диск с головкой, которая через прорезь выступает над поверхностью барабана и записывает строчки на поверхности ленты. Строчки с записью расположены на ленте под небольшим углом относительно продольного направления ленты.

В обеих конструкциях в момент перехода с одной строчки на другую возникает провал в записи. В ЛПМ с α-петлей сигнал про-

падает на 40—50 мкс, а с Ω-петлей — более чем на 300 мкс. Чтобы провал в записи не приводил к искажениям видеосигнала, диск с головкой фазируется с помощью САР-СД таким образом, чтобы провал приходился на время кадрового синхроимпульса. При вос-

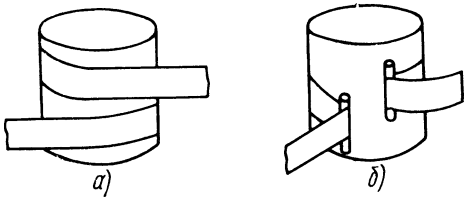

Рис. 2.30. Устройства, осуществляющие наклонно-строчную запись

произведении кадровый синхроимпульс восстанавливается путем замешивания в видеосигнал импульсов от внешнего синхрогенератора.

Запись видеосигнала, как и при четырех головках, ведется с помощью частотной модуляции. Для записи цветных видеосигналов в двухголовочных бытовых видеомагнитофонах применяют предварительное преобразование структуры видеосигнала (см. гл. 4).

Одна из дорожек вдоль ленты обычно отводится для записи звука, другая для записи сигнала управления. В устройствах с α-петлей дорожки записи звука перекрываются видеострочками. Для устранения взаимовлияния рабочие зазоры головок записи звука располагают под прямым углом к направлению строчек для видеозаписи.

Основные достоинства одноголовочного видеомагнитофона — конструктивная простота и отсутствие специфических искажений из-за неидентичности головок. Кроме того, в одноголовочном видеомагнитофоне имеется возможность воспроизведения телевизионного изображения в замедленном темпе и даже просмотр отдельного кадра. Для этого достаточно уменьшить скорость движения ленты или полностью остановить ее.

Недостаток одноголовочного видеомагнитофона — перерыв в записи — отсутствует у видеомагнитофонов с двумя головками. В этом случае запись осуществляется с перекрытием, что позволяет осуществлять коммутацию сигнала при воспроизведении без потери информации.

Глава 3

УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННЫХ ВИДЕОМАГНИТОФОНОВ

3.1 Общие сведения

Устройство современных видеомагнитофонов определяется целым комплексом факторов и прежде всего областью их применения. По этому признаку видеомагнитофоны делятся на профессиональные, для телевизионного вещания, и бытовые [8]. Промежуточное положение занимают так называемые полупрофессиональные видеомагнитофоны, обычно используемые для исследовательской работы, обучения, записи спортивных соревнований и т. д.

Для профессиональной магнитной видеозаписи обычно используются видеомагнитофоны с четырьмя вращающимися головками (рис. 3.1). Этому обстоятельству способствовала возможность широкого обмена программами внутри страны и между странами, имеющими одинаковые телевизионные стандарты, так как в них применяется стандартная сигналограмма.

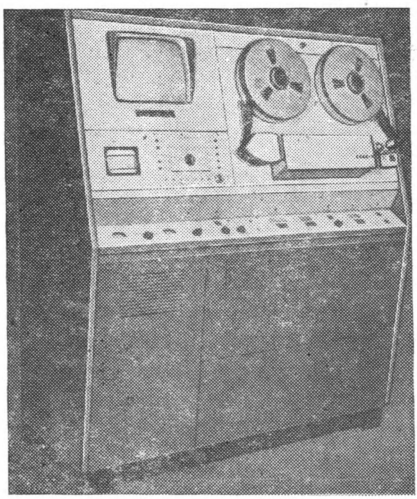

Рис. 3.1. Видеомагнитофон «Кадр-3П»

Основные технические данные четырехголовочных видеомагнитофонов отечественного и зарубежного производства, в которых используется стандартная сигналограмма, приведены в табл. 3.1. Как видно из этой таблицы, параметры современных профессиональных аппаратов достигли высокого уровня совершенства. Их размеры и относительная сложность постепенно возрастают с увеличением степени автоматизации и расширением функциональных возможностей, однако способ записи и вид видеофонограммы остается неизменным. Международные рекомендации [9] и национальные стандарты [10] регламентируют размеры и допуски конструктивных узлов, влияющих на форму видеофонограммы. Основополагающей является относительная скорость головка/лента. На каждой поперечной магнитной строчке записывается $n=16\div17$ телевизионных строк [11]. Таким образом, поле телевизионного изображения, содержащее $N=312{,}5\ H$, распадается на ряд участков-сегментов. Для того чтобы поле изображения было ровным и сегменты не отличались один от другого, необходимо обеспечить минимальный разброс параметров головок, помещенных на диск, и сделать все четыре канала записи — воспроизведения идентичными. Разброс параметров головок и характеристик каналов приводит к появлению полос на воспроизводимом изображении, что является основным недостатком такого способа записи. Вместе с тем разбиение полукадра на отдельные сегменты позволяет сделать короткой строчку, записываемую одной головкой. При изменении окружающей температуры и влажности размеры ленты меняются. Естественно, при коротких строчках эти изменения сказываются значительно меньше, чем при длинных. Поперечно-строчный способ записи позволяет получить на ленте наиболее устойчивую сигналограмму, что явилось одной из главных причин его широкого распространения на телецентрах.

Вместе с тем поперечно-строчная запись на широкой ленте неэкономична. Большой расход ленты, дорогой ремонт изношенных блоков вращающихся головок (через каждые 200—250 ч), сложные и прецизионные лентопротяжные механизмы, обилие электронных блоков, требующих к себе внимания и высокой квалификации обслуживающего персонала, — все эти причины значительно увеличивают стоимость 1 ч записанной программы.

Определенные трудности вызывает составление программы из отдельных, часто весьма коротких кусков. В этом случае применяется электронный монтаж программы, который осуществляется с помощью специальных монтажных пультов и устройств, встроенных непосредственно в видеомагнитофон. Профессиональные видеомагнитофоны позволяют монтировать цветные телевизионные программы и звуковое сопровождение либо по предварительной разметке, либо автоматически, по специальному коду. Современные монтажные комплексы, как правило, очень сложны и дороги.

В последнее время на телецентрах появились кассетные видеомагнитофоны-автоматы (рис. 3.2) с двумя лентопротяжными механизмами, в которые по очереди заряжаются кассеты, содержащие отдельные куски программ (длительностью до 5 мин). Кассеты, размещенные в контейнере, подаются на воспроизведение автоматически по команде специального электронного программного устройства. Способ записи в подобном аппарате такой же, как и в обычном четырехголовочном видеомагнитофоне. Обслуживать весь комплекс может один оператор. Однако большие габариты кассетного видео-

ТАБЛИЦА 3.1

Параметр	Значение параметров четырехголовочных магнитофонов						
	AVR-1* (США)	AVR-2** (США)	AVR-3 (США)	BCM-40E* (ФРГ)	«Кадр-3П»** (СССР)	«Кадр-3ПМ»** (СССР)	«Кадр-5»* (СССР)
1	2	3	4	5	6	7	8
Общие характеристики:							
габаритные размеры, мм	1980×1470×840	1657×940×813	1000×1473×787	2000×1420×680	1480×1690×750	1480×1670×750	1616×1658×706
масса, кг	1000	290	500	730	500	500	850
потребляемая мощность, кВт	5,3	1,3	—	3	1,8	1,8	1,5
скорость ленты, мм/с	39,7/19,88	39,7/19,88	39,7/19,8	39,7	39,7	39,7	39,7/19,8
время запуска, с	0,2	2	1	0,5	5	2	0,5
Канал изображения:							
полоса частот, МГц	5,5±0,5 дБ	5 5±0,5 дБ	5,5±0,5 дБ	5,5±1 дБ	6,0±1 дБ	6,0±1 дБ	6,0±1 дБ
отношение сигнал/шум, дБ	43	43	43	45	41	45	45
отношение сигнал/помеха, дБ	36	36	40	32	30	36	35
стандарт записи	ВЧ	ВЧ	ВЧ	ВЧ	ВЧ	ВЧ	ВЧ
запись цвета	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	СЕКАМ	СЕКАМ	СЕКАМ
дифференциальное усиление, %	4	4	4	5	5	4	5
дифференциальная фаза, град	4	4	4	5	5	4	5
K-фактор 2*T*, %	1	1	1	2	1,5	1,0	1,0
тип КВИ	аналоговый	цифровой	цифровой	аналоговый	аналоговый	аналоговый	аналоговый
компенсация выпадений	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	СЕКАМ	СЕКАМ	СЕКАМ
диапазон коррекции КВИ, мкс	64	64	64	64	± 0,6	±4,0	±8,0
остаточная временна́я ошибка, нс	± 2,5	± 1	± 1	± 2,5	± 30	±10	±10СЕКАМ ±2 ПАЛ
Канал звука:							
полоса частот, Гц	50—15 000	50—15 000	50—15 000	40—14 000	50—15 000	50—15 000	50—15 000
отношение сигнал/шум, дБ	55	55	50	52	50	50	52

* Видеомагнитофоны имеют ЛПМ с вакуумными буферами и программное устройство монтажа по коду.
** Видеомагнитофоны имеют разъемный каркас для удобства установки в автомобиль.

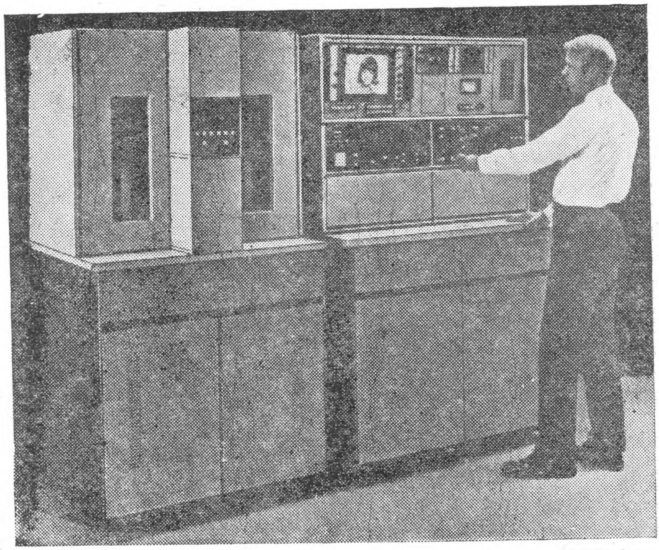

Рис. 3.2. Автоматический кассетный видеомагнитофон ACR-25

магнитофона - автомата, высокая стоимость и сложность мало способствуют его применению на телецентрах.

Для уменьшения стоимости 1 ч программы в середине 70-х годов за рубежом были разработаны профессиональные видеомагнитофоны с сегментным способом записи двумя вращающимися головками на ленту шириной 50,8 мм (рис. 3.3). При этом способе каждая головка записывает магнитную строчку, содержащую 52 телевизионные строки (в одном полукадре 6 сегментов). При этом барабан БВГ охватывается на угол, несколько больший 180°, магнитная строчка получается наклоненной на 19° к базовому краю ленты. Относительная ско-

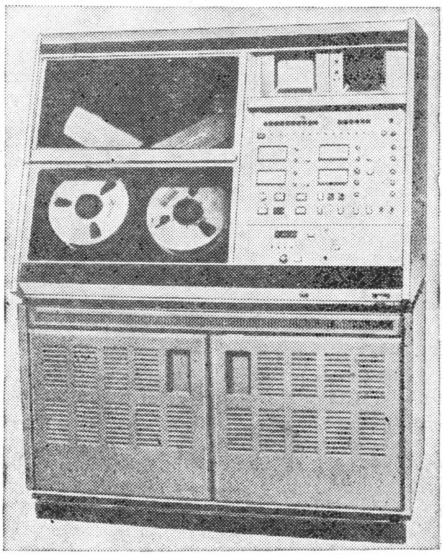

Рис. 3.3. Видеомагнитофон TTV-3500

рость головка/лента в этом видеомагнитофоне выбрана 40 м/с, но скорость ленты почти вдвое ниже. Применение износостойких и высокоэффективных ферритовых головок позволило получить высокое качество записи (табл. 3.2) при снижении стоимости 1 ч программы вдвое.

В конце 70-х годов в СССР и за рубежом появились профессиональные видеомагнитофоны, позволяющие записывать цветные телевизионные программы на ленте шириной 25,4 мм. Они бывают двух типов: сегментные (формат В) и несегментные (формат С). Сегментные двухголовочные видеомагнитофоны (см. табл. 3.2), разработанные в ФРГ (рис. 3.4), записывают изображение двумя вращающимися головками, их сигналограмма изображена на рис. 3.5. Диск с головками вращается с частотой 9000 об/мин. Направляющий барабан охватывается лентой на угол 190°. Относительная скорость головка/лента выбрана 24 м/с, а продольная скорость ленты — 24 см/с. Магнитная строчка имеет длину 80 мм и записывается под углом 14° к базовому краю ленты. Полукадр разбивается на шесть сегментов, по 52*H* в магнитной строчке. На диске располагаются четыре ферритовые магнитные головки: две универсальные для записи и воспроизведения, а две других — стирающие, для электронного монтажа программ. Формат В предусматривает запись двух дорожек с высококачественным звуковым сопровождением и отдельной дорожки для записи временнóго кода или режиссерских пояснений. Если при четырехголовочной записи расход ленты составляет 199 см²/с, то при записи по формату В всего 61 см²/с. Вместе с тем формат В имеет два существенных недостатка. Запись изображения сегментами может вызвать появление полос особенно при неодинаковом износе головок, а для получения замедления, ускорения или полной остановки изображения необходимо использовать очень сложный электронный блок памяти на 1 кадр изображения.

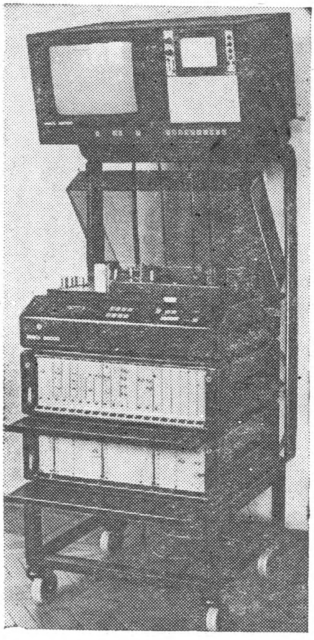

Рис. 3.4. Видеомагнитофон BCN-50

Свободны от этих недостатков несегментные профессиональные видеомагнитофоны, выпускаемые в США (рис. 3.6), Японии, Италии, Голландии и в Советском Союзе (рис. 3.7). В них применен формат С для ленты шириной 25,4 мм.

При записи по формату С применяется одноголовочный или полутораголовочный способ записи. Сигналограмма, соответствующая этому формату, изображена на рис. 3.8. Одна вращающаяся головка (видеоголовка) записывает наклонную строку длиной

ТАБЛИЦА 3.2

Параметр	Значение параметров наклонно-строчных видеомагнитофонов						
	BCN-50* (ФРГ)	IVC-961 (США)	TTR-7 (Япония)	VPR-2** (США)	«Кадр-103» (СССР)	«Кадр-103АС»** (СССР)	BVH-1100P/S (Япония)
1	2	3	4	5	6	7	8
Общие характеристики:							
габаритные размеры, мм	665×625×525	843×438×483	840×420×480	1308×838	750×462×490	770×490×490	875×558×616
масса, кг	100	110	100	52,16+59	75+30	80+30	130
питание, В/Вт	220	220	100/500	220/750	220/380	220/500	220/700
способ записи	сегментный, 2 головки	не сегментный, 1 головка α-петля	не сегментный, 1 головка α-петля	не сегментный, полторы головки Ω-петля	не сегментный, 1 головка Ω-петля	не сегментный, полторы головки Ω-петля	не сегментный, полторы головки Ω-петля
формат	В	—	Д	С	—	С	С
Канал изображения:							
полоса частот, МГц	5,0±1 дБ; 5,5—3 дБ	5,2—3 дБ	4,1±0,1 дБ	5,0±1 дБ; 6,0—3 дБ	5,0±1 дБ	5,0±0,5 дБ 6,0—3 дБ	5,5±0,5 дБ; 6—3 дБ
отношение сигнал/шум, дБ	43	43	46	43	40	43	44
отношение сигнал/помеха, дБ	35	35	—	36	32	35	35
стандарт записи	ВЧ	—	—	ВЧ	ПМ-1	ВЧ	ВЧ
запись цвета	ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ	СЕКАМ	СЕКАМ	ПАЛ, СЕКАМ
дифференциальное усиление, %	4	5	3	4	10	5	4
дифференциальная фаза, град	4	4	3	4	—	5	4
K-фактор 2*T*, %	1,5	—	1,0	1,0	—	1,5	1,0
остаточная ошибка, нс	± 2,5	± 20	± 1	± 1	± 30	± 16	± 1,5
тип КВИ	аналоговый	аналоговый	цифровой	цифровой	аналоговый	аналоговый	цифровой
Канал звука:							
число каналов	2 основных, 1 вспомогательный, 1 кодовый	2 основных, 1 вспомогательный	2 основных, 2 вспомогательных, 1 кодовый	2 основных, 1 вспомогательный, 1 кодовый	2 основных,	2 основных, 1 кодовый, 1 вспомогательный	2 основных, 1 вспомогательный, 1 кодовый
полоса частот, Гц	50—15 000	50—10 000	50—15 000	50—15 000	50—12 000	50—15 000	50—15 000
отношение сигнал/шум, дБ	55	42	50	56	48	55	56

* Видеомагнитофон имеет монтажные режимы при комплектации блоками кадровой памяти.

** Видеомагнитофон имеет монтажные режимы при комплектации цифровым КВИ и системой слежения за строкой.

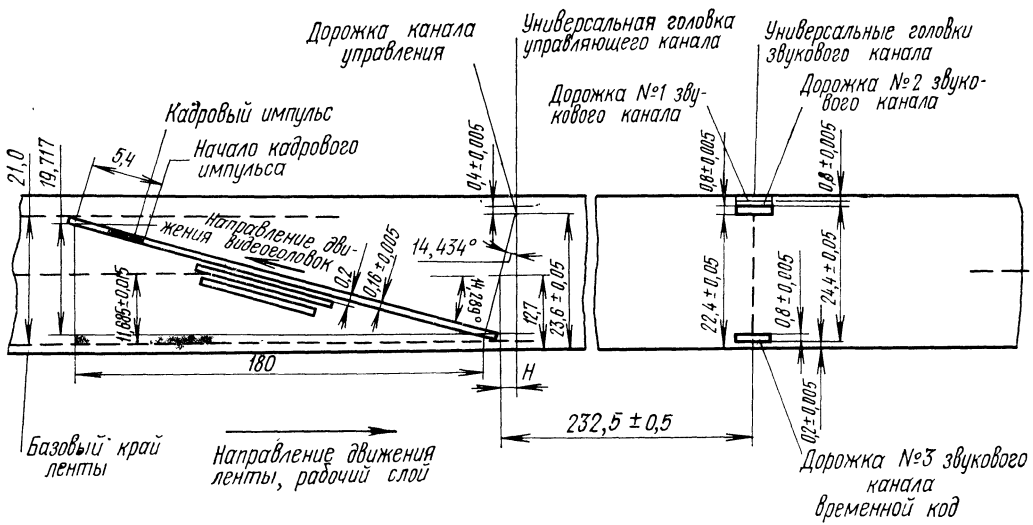

Рис. 3.5. Формат В для ленты шириной 25,4 мм

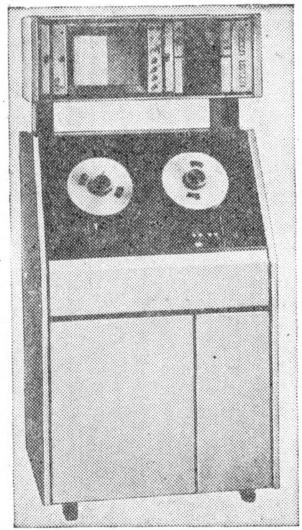

Рис. 3.6. Видеомагнитофон VPR-1

Рис. 3.7. Видеомагнитофон «Кадр-103» в комплекте с регенератором РГ-100

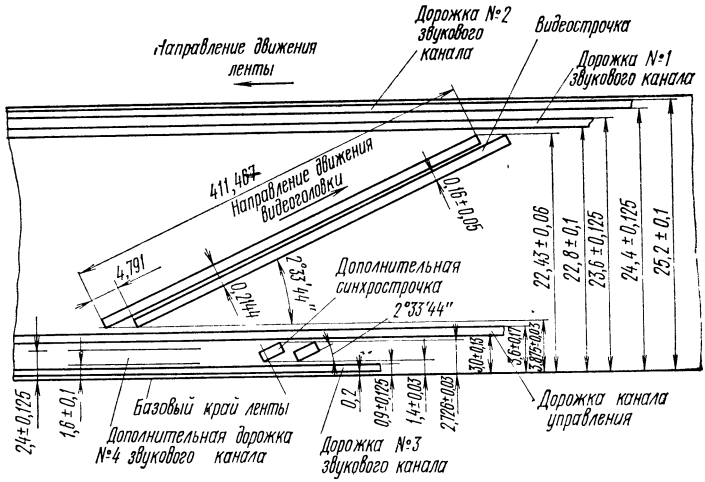

Рис. 3.8. Формат С для ленты шириной 25,4 мм

411,5 мм, на которой размещается активная часть поля и бо́льшая часть гасящего кадрового импульса. Остальная часть кадрового гасящего импульса (10,5 телевизионных строк) записывается на коротких наклонных строчках второй вращающейся головкой (синхроголовкой). Барабан диаметром 135 мм вращается с частотой 3000 об/мин. На нем располагаются три (если применяется одноголовочный способ записи) головки под углом 120°. Первая головка является стирающей, вторая — записывающей, а третья — воспроизводящей. При записи недостающих синхроимпульсов устанавливаются еще три головки под углом 120°, которые сдвигаются относительно трех других на угол 30°. Назначение головок такое же, как в предыдущем случае. На верхнем краю ленты, которая движется со скоростью 24 см/с и охватывает барабан на угол 356°, располагаются две одинаковые продольные магнитные дорожки. На них записываются два канала звукового сопровождения или один стереофонический звуковой канал. Между видеострочками и синхрострочками располагается магнитная дорожка, на которой записывается управляющий сигнал — прямоугольные импульсы частотой 50 Гц и монтажные импульсы частотой 12,5 Гц. На нижнем краю ленты располагается четвертая магнитная дорожка, на которую записывается временной код для автоматического монтажа программ. Если не записываются наклонные строчки с синхроимпульсами, то на их место можно записать еще одну магнитную дорожку для дополнительного звукового канала. Появлению несегментного формата для ленты 25,4 мм [11] способствовали значительный рост качества магнитных лент и головок, достигнутый в последние годы; выпуск широкодиапазонных цифровых корректоров временны́х искажений, полностью устраняющих влияние нестабильности временно́го масштаба, и системы автоматического слежения за магнитной строчкой САР-С (автотрекинга). Следует отметить, что видеомагнитофоны, выполненные по формату С, полностью свободны от

искажений, вызываемых неидентичностью характеристик вращающихся магнитных головок (полосатости), просты и удобны в управлении, надежны в эксплуатации. Для обеспечения попадания воспроизводящей головки на записанную магнитную строчку головка устанавливается на пьезокерамический преобразователь (рис. 3.9),

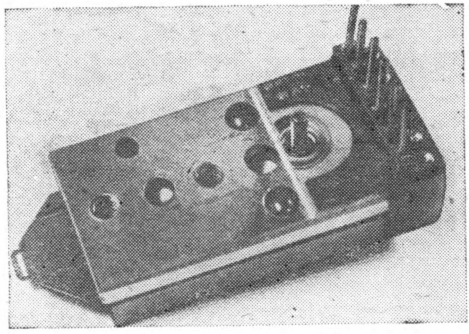

Рис. 3.9. Воспроизводящая видеоголовка на пьезокристалле

который управляется системой САР-С. Система обеспечивает попадание на магнитную строку головки не только при обычном воспроизведении, но и при ускорении, замедлении или остановке изображения, когда лента полностью останавливается. Для получения максимальной ЭДС головки с системы САР-С на пьезокерамический преобразователь подаются высокочастотные сигналы частотой 450 Гц, периодически отклоняющие головку вверх и вниз с воспроизводимой строки примерно на 10%, что позволяет оценить взаимное положение головки и ленты, и низкочастотные управляющие сигналы, формируемые в детекторе огибающей воспроизводимого сигнала и предназначенные для точной установки головки на строку. Кроме того, при остановке или замедлении ленты на преобразователь подаются дополнительные пилообразные сигналы. Частота, крутизна и наклон пилы определяются формой воспроизводимой магнитной строчки. Применение автотрекинга позволяет не только обеспечить полную взаимозаменяемость записей, выполненных на однотипных аппаратах, но и значительно упростить монтаж программ, сделать его подобным монтажу кинофильма, так как появляется возможность как следует рассмотреть и простыми средствами совместить отдельные куски программ. Подобное свойство несегментного видеомагнитофона в сочетании с высоким качеством изображения делает его весьма перспективным для телевизионного вещания.

Для бытовой записи применяется более узкая лента (шириной 19,0; 12,7 или 6,34 мм), ее проще хранить и заправлять в аппарат. В советских бытовых видеомагнитофонах используется запись двумя головками на ленте шириной 12,7 мм, согласно сигналограмме, изображенной на рис. 3.10. Ряд основных характеристик, рекомендуемых для черно-белых и цветных бытовых видеомагнитофонов, приведен

в табл. 3.3. Видеомагнитофон подключается к телевизору стандартным шестиконтактным разъемным соединением [8]. При этом в телевизорах любого типа устанавливаются низкочастотные устройства сопряжения.

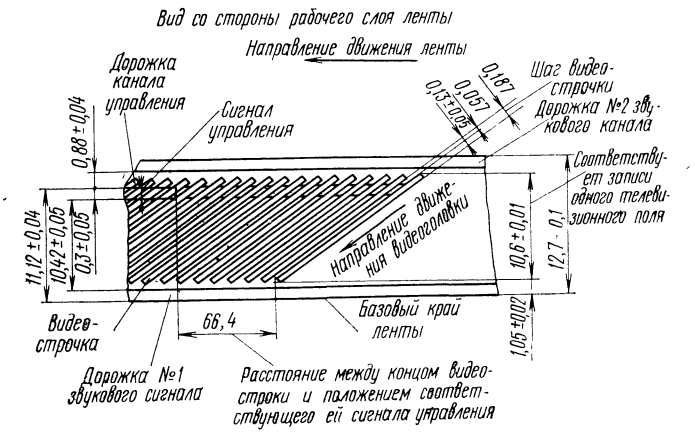

Рис. 3.10. Формат VCR для ленты шириной 12,7 мм

ТАБЛИЦА 3.3

Параметр	Значение параметров для	
	черно-белого изображения	цветного изображения
Скорость ленты, см/с	14,29±2%	14,29 ± 0,3%
Число вращающихся головок	2	2
Диаметр барабана, мм	105	105
Ширина ленты, мм	12,7	12,7
Частота, МГц, ЧМ сигнала на уровне:		
синхроимпульсов	3±0,15	3±0,15
белого	4,4±0,15	4,4±0,15
ограничения по пикам белого	4,8±0,15	4,8±0,15
Перенесенная поднесущая цветности:		
красная строка, кГц	—	594
синяя строка, кГц	—	750
уровень тока записи, дБ	—	—22±0,5

Применяются также высокочастотные устройства сопряжения, подключаемые прямо к антенне и к антенному входу телевизора. В этом случае переделка телевизора не нужна, но ВЧ устройство значительно сложнее по конструкции, так как по сути дела представляет собой приемную часть обычного телевизора.

В табл. 3.4 приведены основные характеристики отечественных бытовых катушечных видеомагнитофонов, выпускаемых серийно. Наибольшее распространение в нашей стране получили катушечные черно-белые бытовые видеомагнитофоны «Электроника-видео-501» (переносный видеомагнитофон, выпускаемый в комплекте с черно-бе-

ТАБЛИЦА 3.4

Параметр	Значение параметров бытовых видеомагнитофонов [1]					
	ВК-1/2	«Электроника-501»	«Электроника-502»	«Электроника-506»	«Электроника-Л-1-08»	«Электроника-551»
Назначение	Комбинированный	Переносный	Настольный	Настольный	Настольный	Настольный
Масса, кг	18 (7,5)	12	15	15	10	12
Габаритные размеры, мм	370×370×210	260×290×160	420×195×340	420×195×340	410×282×135	410×282×160
Вид ТВ сигнала	Черно-белый	Черно-белый	Черно-белый	Цветной	Черно-белый	Цветной
Скорость ленты, см/с	9,53	16,32	14,29	14,29	7,8	7,8
Время записи, мин	140	35	45	45	170	170
Скорость головка — лента, м/с	11,0	8,9	8,1	8,1	8,1	8,1
Четкость строк	250	250	250	220	250	220
Отношение сигнал/шум, дБ	40	40	40	40	40	40
Число звуковых каналов	1	1	1	1	1	1
Полоса частот звукового канала, Гц	63—10 000	100—10 000	100—10 000	100—10 000	100—10 000	100—10 000
Отношение сигнал/шум, дБ	40	40	40	40	38	38
Питание	Сеть — батарея	Батарея	Сеть	Сеть	Сеть	Сеть

[1] Приведенные бытовые видеомагнитофоны выпускаются в СССР.

лой телекамерой), «Электроника-видео-502» (настольный видеомагнитофон с сетевым питанием) и «Сатурн-505» (кассетный цветной видеомагнитофон). Известный интерес вызывает видеомагнитофон «Электроника-Л-1-08» (рис. 3.11), позволяющий записывать про-

Рис. 3.11. Видеомагнитофон «Электроника-Л-1-08»

граммы большой длительности на небольших катушках. Дело в том, что в нем записываются телевизионные сигналы с пропуском поля. При воспроизведении одна и та же магнитная строчка воспроизводится двумя головками по очереди, что позволяет вдвое снизить расход ленты.

При использовании в быту кассетные видеомагнитофоны удобнее катушечных. Кассета предохраняет ленту от царапин и загрязнений, ее проще хранить и заправлять в аппарат. Для применения в отечественных видеомагнитофонах рекомендуется формат VCR [8] и кассета ВК-30 (ВК-45), выпускаемая серийно. Она содержит две катушки (рис. 3.12), расположенные на одной оси. Лента шириной 12,7 мм переходит с одной катушки на другую с помощью двух обводных роликов. Свободный участок ленты предохраняется откидной крышкой. В зависимости от длины ленты на катушках и ее толщины кассеты выпускаются на 30, 45 и 60 мин записи. В табл. 3.5 приведены основные технические характеристики кассетных видеомагнитофонов, выпускаемых промышленностью (рис. 3.13). Все они рассчитаны на запись цветовых телевизионных сигналов, кодированных по системе СЕКАМ.

Большой интерес вызывают новые типы бытовых видеомагнитофонов с повышенной плотностью записи. В видеомагнитофоне LVR фирмы BASF (ФРГ) запись цветных сигналов производится неподвижной головкой на продольных строчках. На ленту шириной 6,25 мм записывается 28 продольных строчек при относительной скорости головка/лента 3 м/с. Время перехода со строки на строку за-

нимает 80 мс, что почти незаметно. Повышенная плотность записи достигнута в бытовом двухголовочном видеомагнитофоне SL-8200 — Betamax фирмы «Sony» (Япония). В нем на ленте шириной 12,7 мм

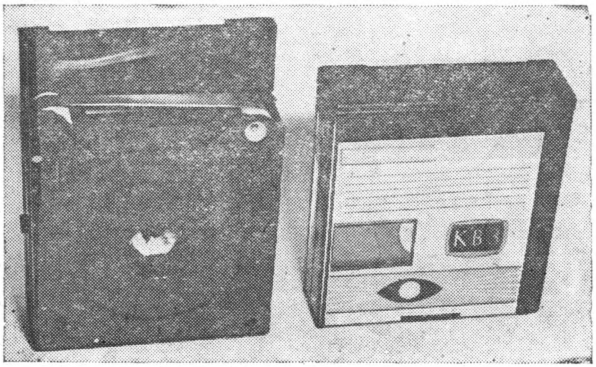

Рис. 3.12. Кассета ВК-30

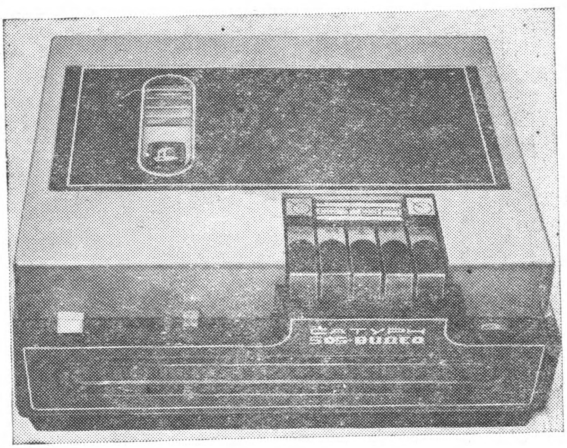

Рис. 3.13. Видеомагнитофон «Сатурн-505»

записываются цветные телевизионные сигналы на узких строчках практически без промежутков, что позволяет программу длительностью 2 ч записать на 150 м ленты. Для уменьшения перекрестных искажений от соседних дорожек рабочий зазор одной из головок наклонен на угол 15° относительно рабочего зазора другой головки. Головки по очереди записывают одну строчку за другой, причем на одной строчке размещается одно поле изображения. При воспро-

ТАБЛИЦА 3.5

Параметр	Значение параметров бытовых кассетных видеомагнитофонов			
	«Электроника-505-видео», «Сатурн-505»	«Орбита-501-видео»	«Спектр-203»	«Томь»
Полоса пропускания канала изображения, МГц	2,2	2,2	2,2	2,5
Отношение сигнал/шум при воспроизведении изображения, дБ	40	38	38	40
Число звуковых каналов	1	2	2	2
Полоса пропускания канала звука, Гц	80—10 000	100—10 000	120—12 500	80—10 000
Отношение сигнал/шум при воспроизведении звука, дБ	38	38	37	38
Скорость движения магнитной ленты, см/с	14,29±0,25%	14,29±0,2%	14,29±0,3%	14,29±0,5%
Относительная скорость головка/лента записи видеосигнала, м/с	8,1	8,1	8,1	8,1
Разрешающая способность изображения по горизонтали, строк не менее,				
режим ч/б	250	220	220	250
режим ЦВ	200	200	200	200
Коэффициент детонации, %	0,3	0,45	0,25	0,3
Продолжительность записи — воспроизведения, мин	30(ВК-30), 45(ВК-45)	30(ВК-30), 45(ВК-45)	30(ВК-30), 45(ВК-45)	30(ВК-30), 45(ВК-45)
Потребляемая мощность, Вт	30	50	140	22
Габаритные размеры, мм	318×268×132	305×345×130	560×355×167	400×300×137
Масса, кг	10	11	17	14

ТАБЛИЦА 3.6

Параметр	Значение параметров кассет						
	«U-matic», «Sony» (Япония)	ВК-30 (СССР)	«Cartridge» (Япония)	VCR-120, «Philips» (Голландия)	VHS, «Matsushita» (Япония)	«Betamax-2», «Sony» (Япония)	«Video 2000», «Grundig» (ФРГ)
Габаритные размеры, мм	221×140×32	145×127×41	128×29×130	145×127×41	188×104×25	156×96×25	183×110×26
Масса, кг	435	343	349	343	280	210	250
Ширина ленты, мм	19,05	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Скорость ленты, см/с	9,5	14,23	16,32	6,56	3,35	2,0	24,4
Площадь ленты на 1 ч записи, м^2	6,84	6,7	8,5	3,09	1,58	0,95	0,56
Скорость головка/лента, м/с	8,56	8,08	9,1	8,08	5,8	6,9	5,08
Диаметр барабана, мм	110	105	116	105	62	74	64
Полоса частот видеоканала, МГц	3,8	2,7	4,0	2,7	3,0	3,0	2,7
Отношение с/ш, дБ	48	40	45	40	42	40	40
Время записи, мин.	60	30	—	120	180	120	2×240

изведении каждая головка воспроизводит сигнал со своей строчки, а сигналы от соседних — значительно ослабляются [12].

Тот же принцип используется в кассетах VHS фирм JVC и «Matsushita (Япония), а также в новой кассете VCR — Long Play фирмы «Philips» (ФРГ) [12]. В табл. 3.6 приведены сравнительные характеристики кассет и кассетных видеомагнитофонов с повышенной плотностью записи. Из приведенных таблиц следует, что ассортимент выпускаемых промышленностью видеомагнитофонов довольно широк. Все профессиональные аппараты записывают цветные телевизионные сигналы. Бытовые видеомагнитофоны обычно записывают сокращенную полосу частот и имеют сравнительно низкую временну́ю стабильность. Однако использование специальных способов записи дает возможность записывать и воспроизводить на них цветные программы.

3.2. Лентопротяжные механизмы профессиональных видеомагнитофонов

Одним из основных узлов видеомагнитофона является лентопротяжный механизм (ЛПМ). На рис. 3.14 приведена кинематическая схема ЛПМ четырехголовочного видеомагнитофона «Кадр-3П», рабо-

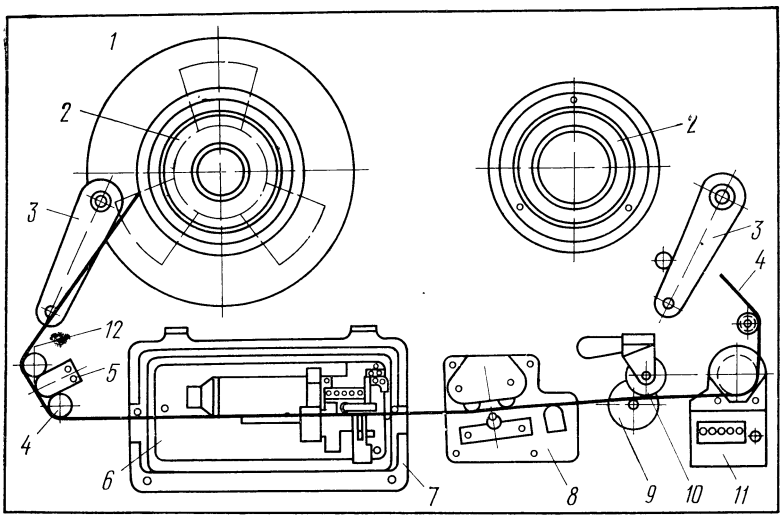

Рис. 3.14. Кинематическая схема ЛПМ четырехголовочного видеомагнитофона

тающего на ленте 50,8 мм. На плате *1* расположены подающий и приемный узлы *2*, приводимые во вращение боковыми двигателями. Перед катушками по ходу ленты помещены натяжные рычаги *3*, одновременно являющиеся датчиками системы натяжения ленты. Лента *12*, сматываясь с подающей катушки, огибает стирающую головку *5*, направляющий ролик *4* и попадает в блок вращающихся голо-

вок (БВГ) *6*. Лента прижимается вакуумной направляющей *7* к диску с головками. После выхода из БВГ лента проходит блок стационарных головок *8*, в котором помещены стирающая, записывающая и воспроизводящая головки звукового и режиссерского каналов. Перемещение ленты по тракту в рабочем режиме осуществляет ведущий узел *9*. Лента прижимается к ведущему валу узла *9* прижимным роликом *10*. За ведущим валом размещен датчик счетчика метража ленты *11*. Ведущий вал приводится во вращение синхронным двигателем, питаемым от усилителей мощности и управляемым системой САР-СД. В качестве боковых применяются конденсаторные асинхронные двигатели, имеющие мягкую характеристику. В боковых узлах используются ленточные дифференциальные тормоза, приводимые в движение магнитами. Время остановки ленты после рабочего хода около 1 с, после перемотки 10—15 с. Натяжение ленты в тракте поддерживается постоянным, равным 0,2 кг. Работа ЛПМ осуществляется совместно с пневматической системой низкого давления и устройством для обдува двигателя в БВГ. Для получения разряжения в видеомагнитофоне устанавливается вакуум-насос с системой фильтров и аварийной сигнализацией. Глубина вакуума в направляющей во время работы поддерживается равной 100±20 см вод. ст., его пульсация недопустима, так как приводит к нестабильности временнóго масштаба воспроизводимого изображения.

В лентопротяжных механизмах профессиональных видеомагнитофонов, предназначенных для работы в автоматизированных телевизионных аппаратных, широко применяются новые вакуумно-компрессорные системы. Для обеспечения быстрого входа в синхронизм (за 0,3 с) ЛПМ оборудуется вакуумными буферами, ведущий вал имеет вакуумный присос, в направляющие ролики поддувается воздух, а двигатель блока головок снабжается воздушными подшипниками [13].

Смысл применения вакуумных буферов легко понять при рассмотрении упрощенной кинематической схемы ЛПМ профессионального двухголовочного видеомагнитофона, приведенной на рис. 3.15. Участок ленты между буферами *1*, прилегающий к стирающей

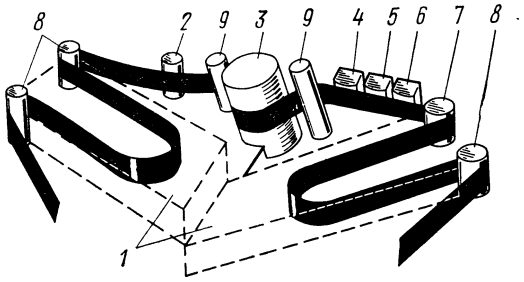

Рис. 3.15. Кинематическая схема ЛПМ с вакуумными буферами

головке *2*, блоку головок *3*, стационарным головкам *4*, *5*, *6* и ведущему валу *7*, натянут за счет разряжения в буферах. При включении рабочего режима лента начинает практически мгновенно пере-

мещаться ведущим валом *7*, причем в первый момент после пуска ее петля в одном буфере уменьшается, а в другом увеличивается. В дальнейшем начинают вращаться катушки с лентой, которая подается и извлекается из вакуумных буферов. Для уменьшения трения о направляющие *8* в них нагнетается воздух и лента перемещается по воздушной подушке. С помощью наклонных направляющих *9* обеспечивается ход ленты вокруг барабана *3*, который вращается для создания воздушной подушки между лентой и барабаном. Большим преимуществом ЛПМ подобного типа являются малый износ ленты и ее исключительно плавный ход по тракту.

В профессиональных видеомагнитофонах, в которых используется лента шириной 25,4 мм, запись, как правило, производится одной или двумя вращающимися головками наклонно-строчным способом. Если на одной магнитной строчке одной головкой записывается одно поле телевизионного изображения, то для записи сигналов СЕКАМ диск с одной головкой должен вращаться с частотой $n_1=3000$ об/мин, а с двумя головками $n_2=1500$ об/мин. При прямой записи цветных телевизионных сигналов верхняя частота по видеоканалу должна быть $F_в=5\div6$ МГц. Учитывая, что при записи с частотной или периодной модуляцией коэффициент увеличения частоты $K_{у.ч}\leqslant2$, то $f_в=F_вK_{у.ч}=5\cdot2=10$ МГц, где $f_в$ — верхняя полоса частот, записываемая на ленту. При использовании современных лент и головок минимальную длину волны можно выбрать $\lambda_{мин}=1{,}5\div2$ мкм. Тогда необходимая скорость записи $v_г=f_в\lambda_{мин}=10^7\cdot2\cdot10^{-6}=20$ м/с. Длина дорожки записи, на которой записывается одно поле, $l=v_гT=20\cdot(1/50)=0{,}4$ м. Столь большая длина магнитной строчки является основным недостатком одноголовочной записи.

Можно разбить изображение на m сегментов и записывать на одной строке один сегмент. Тогда при $m=6$ длина магнитной строки $l_с=l/m=0{,}4/6=70$ мм. Магнитные дорожки с записью звукового сопровождения, управляющего сигнала или кода обычно располагаются по краям ленты. Если ширина дорожек равна $h_{з1}=h_{з2}=0{,}9$ мм, то ширина ленты b, занимаемая строчками канала изображения, может быть найдена из соотношения $b'=b-(h_{з1}+h_{з2}+2b'')=25{,}4-(0{,}9+0{,}9+2\cdot0{,}1)=23{,}4$ мм, где b'' — расстояние между продольными дорожками и наклонными строчками. Угол наклона φ строчки определяется $\sin\varphi=b'/l=23{,}4/400=0{,}059$; $\varphi=3°25'$.

При сегментном способе записи угол наклона $\varphi_с$ значительно возрастает: $\sin\varphi_с=b'm/l=23{,}4\cdot6/400=0{,}35$; $\varphi_с=20°30'$. Чем больше угол φ, тем меньше влияют на стабильность воспроизводимого сигнала неравномерность скорости движения ленты и непостоянство ее натяжения. Рекомендуется ширину магнитной строки выбирать в пределах 0,05—0,2 мм (чем шире строка, тем легче получить взаимозаменяемость записей и выше отношение сигнал/шум, но больше расход ленты на 1 ч записи). При ширине строки $\Delta=0{,}2$ мм и расстоянии между краями строчек $\Delta'=0{,}05$ мм расстояние между осями строчек $s'=\Delta+\Delta'=0{,}2+0{,}05=0{,}25$ мм. Перемещение ленты вдоль базового края за один шаг записи $s=s'/\sin\varphi=0{,}25/0{,}059=4{,}1$ мм.

Переход головки с одной строчки на другую при одноголовочной записи происходит за время одного поля. Следовательно, при выбранном шаге записи скорость движения ленты $v_л=s/T=24$ см/с. Диаметр барабана, обеспечивающего заданные параметры, находится по формуле

$$D=\frac{v_{\text{г}}T}{\pi}\sqrt{1+\left(\frac{v_{\text{л}}^2}{v_{\text{г}}^2}\right)-2\left(\frac{v_{\text{л}}}{v_{\text{г}}}\right)}=$$

$$=\frac{20\cdot10^3\cdot0{,}02}{3{,}14}\sqrt{1+\left(\frac{240}{20\cdot10^3}\right)^2-2\left(\frac{240}{20\cdot10^3}\right)}=135\text{ мм}.$$

Для получения стабильной сигналограммы и взаимозаменяемости необходимо свести к минимуму вертикальные перемещения ленты по цилиндрической поверхности барабана. Этого добиваются рядом конструктивных и технологических приемов. Плата лентопротяжного механизма обычно делается литой, с ребрами жесткости и базовыми плоскостями для точной установки направляющих магнитной ленты, которые выполняются с керамическими упорами. Узлы ЛПМ съемные, они отдельно проверяются и регулируются. Для повышения надежности следует исключить из ЛПМ рычаги и пассики. Подкатушники устанавливаются прямо на осях боковых двигателей [14]. Для современных видеомагнитофонов разрабатываются специальные двигатели переменного или постоянного тока. К ним предъявляются очень высокие требования в части биений вала, стабильности момента вращения, коэффициента полезного действия и излучения помех. Наибольшее распространение в новых видеомагнитофонах получили синхронно-гистерезисные двигатели переменного тока, коллекторные двигатели с полым ротором, с печатным ротором, бесколлекторные двигатели с магнитно-диодным управлением и др.

При использовании только одной головки для записи изображения неизбежно часть информации теряется. Если считать, что длина дуги ν, соответствующая этой потере (провалу), составит 10—15 мм (с учетом зазора между входной и выходной направляющими на барабан, а также зазоров между направляющими и барабаном), то длительность провала $\tau_{\text{п}}=\nu T/\pi D=10\cdot20\cdot10^3/3{,}14\times\times135=470$ мкс. Если провал занимает стабильное временное положение, то его можно совместить с кадровым гасящим импульсом и недостающие строчные синхроимпульсы заменить опорными с помощью регенератора. На выходе регенератора сигнал будет полностью соответствовать требованиям ГОСТ. Таким образом, при записи стандартной телевизионной информации наличие провала не вызывает отклонений от требований ГОСТ. Однако при записи нетелевизионной информации наличие провала нежелательно. В этом случае на диске устанавливается вторая головка, смещенная по высоте, которая записывает информацию, попадающую в провал.

В случае сегментной записи двумя вращающимися головками (рис. 3.16) размеры диска снижаются пропорционально числу сегментов, а число оборотов диска возрастает. При этом барабан БВГ охватывается лентой на угол 190°.

В формате В частота вращения диска равна 9000 об/мин, так как число сегментов выбрано равным шести. В этом случае сигнал воспроизводится без провала, так как головки переключаются по очереди за короткие промежутки времени, а сигналы от них перекрываются. Уменьшенные размеры диска позволяют снизить общие размеры лентопротяжного механизма. Однако точность установки головок на диске при сегментной записи должна быть высокой, поэтому при износе головок диск заменяется целиком так же, как в четырехголовочных видеомагнитофонах.

Рассмотрим устройство ЛПМ профессионального одноголовочного видеомагнитофона «Кадр-103», выпускаемого в СССР [15]. Лентопротяжный механизм выполнен по схеме с разомкнутой Ω-петлей и толкающим ведущим валом (рис. 3.17). Приемный *14* и подающий *1* узлы ЛПМ вращаются с помощью электродвигателей постоянного тока, управляемых системой автоматического натяжения ленты, датчиками которой служат рычаги *2* и *19*. Между подающей катушкой *1* и ведущим валом *16* помещен обводной ролик *3* и головка общего стирания *4*. Лента прижимается к валу прижимным роликом *17*. На оси вала имеется маховик, приводимый во вращение электродвигателем через пассик. Внутри маховика помещен магнитный тормоз, управляемый от системы регулирования САР-СЛ. По пути к блоку головок *10* лента проходит стационарные звуковые головки *5, 6, 7* (стирающую, записывающую и воспроизводящую) и через входную направляющую *8* заходит на

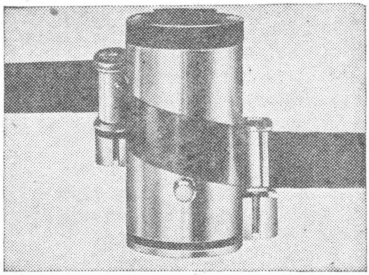

Рис. 3.16. Обхват барабана БВГ при записи по формату В

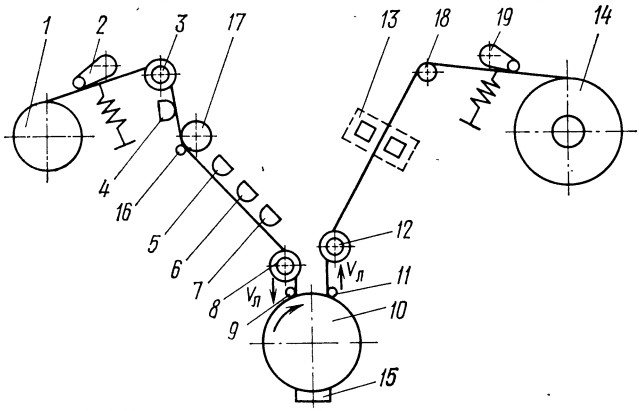

Рис. 3.17. Кинематическая схема ЛПМ видеомагнитофона «Кадр-103»

направляющий барабан. Верхний барабан видеоголовок вращающийся, нижний — неподвижный. При вращении между поверхностью барабана и лентой образуется воздушная подушка, значительно уменьшающая трение. На барабане помещены три головки под углом 90° (универсальная, стирающая и контрольного воспроизведения). Для облегчения заправки ленты в тракт направляющие *9* и *11* сделаны раздвижными, а на противоположной стороне барабана установлен неподвижный упор *15*, ограничивающий вертикальное перемещение

ленты. Далее лента проходит направляющую *12*, датчик контакта обрыва *13* и обводной ролик *18*, с которым совмещен фотодатчик счетчика времени записи. Все механические операции в ЛПМ (управление тормозами; прижимным роликом и т. д.) выполняют электромагниты. Они потребляют ток только во время исполнения команды. При подводе направляющих к барабану происходит его разгон и образуется воздушная подушка между верхним барабаном и лентой.

Кинематическая схема ЛПМ типа «разомкнутая» Ω-петля позволила установить в видеомагнитофоне прецизионную систему натяжения ленты, работающую как от механических датчиков натяжения, так и от сигнала ошибки фазового положения воспроизводимых строчных синхроимпульсов относительно внешней опоры.

Аналогичная кинематическая схема ЛПМ, но построенная по типу «разомкнутой» α-петли, применена в одноголовочном профессиональном видеомагнитофоне IVC-961 (США). Она не требует применения раздвижных направляющих блока головок, но имеет существенный недостаток. В механизмах типа α-петли звуковое сопровождение приходится записывать с наложением на строчки изображения, что значительно затрудняет раздельный электронный монтаж по видео- и звуковым каналам. Качество звукового сопровождения в таких видеомагнитофонах обычно ниже, чем в видеомагнитофонах с Ω-петлей.

Японская фирма NEC выпустила ряд видеомагнитофонов (TTR-7, TTR-5) с ЛПМ типа α-петли, несколько сократив площадь ленты, отводимую под наклонные строчки канала изображения, записываемые одной головкой. При этом на верхнем и нижнем краях ленты размещаются продольные магнитные дорожки высококачественного звукового сопровождения (два канала), а еще две дорожки звукового сопровождения записываются с наложением на строчки канала изображения. Подобный формат удобен для создания ЛПМ с кассетной заправкой ленты, однако часть информации в нем обязательно пропадает, что в некоторых случаях бывает недопустимо.

Несегментный формат С применен в видеомагнитофоне BVH-1100 фирмы «Sony» (Япония). Характерной особенностью ЛПМ является применение двух ведущих валов, полностью изолирующих узел вращающихся головок и звуковые головки от боковых узлов. Все элементы ЛПМ, подающая и приемные катушки, оба ведущих вала и БВГ приводятся во вращение отдельными двигателями без ременных передач. В ЛПМ используются три фазово-синхронных двигателя переменного тока, работающих в импульсном режиме. Они обеспечивают широкий диапазон скоростей протягивания ленты, от шагового до максимальной скорости перемотки. ЛПМ снабжен прецизионными оптическими высокочастотными таходатчиками для точного контроля за положением и скоростью ленты. Наличие двух ведущих валов позволяет путем дополнительного растяжения ленты при воспроизведении скомпенсировать ее деформацию из-за изменения температуры или влажности. Тракт ЛПМ рассчитан таким образом, чтобы лента подвергалась минимальным деформациям. Цилиндрические направляющие и БВГ ленты слегка наклонены и обеспечивают плавный и естественный переход из горизонтальной плоскости в спиральный угол. Направляющий паз на неподвижной части барабана БВГ образует спираль, причем точность ее изготовления составляет ±5 мкм. Это обеспечивает взаимозаменяемость записей даже без применения системы слежения за строкой (САР-С).

Несегментный формат С применен в профессиональном одноголовочном видеомагнитофоне VPR-2 фирмы «Ampex» (США), кинематическая схема ЛПМ которого приведена на рис. 3.18. На пла-

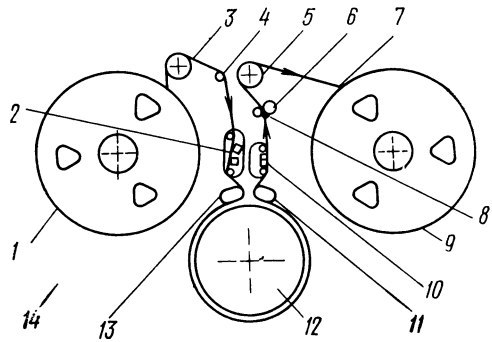

Рис. 3.18. Кинематическая схема ЛПМ видеомагнитофона VPR-2

те *14* расположены подающий *1* и приемный *9* узлы, приводимые во вращение боковыми двигателями. Обращает внимание то, что направление вращения катушек в рабочем режиме выбрано различным. Это позволило обеспечить большой угол охвата лентой направляющей *3*, которая стабилизирует ход ленты в зоне стационарных головок *2*. После обводного ролика *3* по ходу ленты помещен натяжной рычаг *4*. Лента *7* от подающей катушки проходит мимо стирающей и универсальной головок *2* третьего звукового канала и через входную направляющую *13* попадает на блок вращающихся головок *12*, затем, минуя выходную направляющую *11*, огибает стирающие и универсальные головки *10* первого и второго звуковых каналов и канала управления. В рабочем режиме лента прижимается к ведущему валу *8* с помощью прижимного ролика *6*. После выхода из ведущего узла лента огибает датчик *5* счетчика метража и приходит на приемный узел *9*. Плата ЛПМ выполнена литой, на ней сверху помещаются все основные узлы — боковые. ведущий, блок вращающихся головок и др. Вращение боковых узлов осуществляется непосредственно двигателями постоянного тока, ведущего — тоже двигателем постоянного тока, но через ременную передачу. Тракт ЛПМ рассчитан таким образом, чтобы обеспечить естественный ход ленты без перекосов, для чего БВГ наклонен примерно на 1°30′ относительно платы. Для повышения сцепления ленты с ведущим валом последний покрыт керамическим покрытием. Особое внимание обращено на получение минимального трения ленты о направляющие и поверхность нижнего неподвижного барабана БВГ. Во время работы ЛПМ верхняя часть БВГ вращается, что создает воздушную подушку между лентой и барабаном. Тщательно изготовленный ЛПМ в сочетании с системой слежения за строкой обеспечивает не только хорошую взаимозаменяемость записей, но и возможность профессионального воспроизведения изображения в монтажных режимах («Стоп-кадр», «Замедление» и «Ускорение»).

3.3. Лентопротяжные механизмы бытовых видеомагнитофонов

Лентопротяжные механизмы видеомагнитофонов бытового назначения обычно значительно дешевле и проще профессиональных. К ним не предъявляются требования высокой относительной скорости головка/лента, стабильности временнóго масштаба воспроизводимого сигнала и обеспечения требований электронного монтажа программ. Все это позволяет сократить число двигателей в механизме, упростить системы стабилизации хода ленты и вращения диска с головками [16]. Вместе с тем резко возрастают необходимость понизить себестоимость механизмов, упростить технологию, обслуживание и ремонт.

В кинематической схеме ЛПМ переносного двухголовочного бытового видеомагнитофона (рис. 3.19) барабан блока видеоголовок *1*

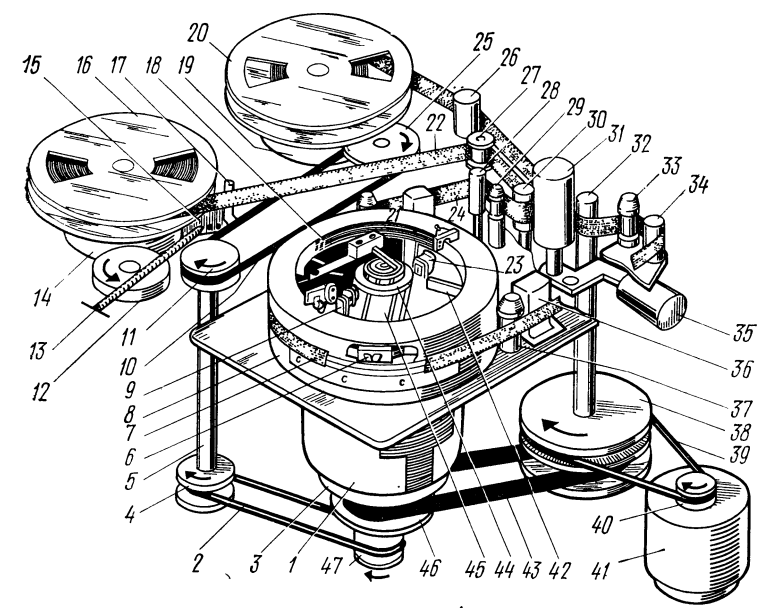

Рис. 3.19. Кинематическая схема ЛПМ переносимого видеомагнитофона

охватывается лентой на угол, чуть больше 180°, что значительно упрощает ее заправку [17]. ЛПМ состоит из ведущего вала *32*, приемного *19* и подающего *14* узлов, на которые устанавливаются катушки *16* и *20* с лентой *7*, блока видеоголовок *18* с электродвигателем *3*, таходатчиками *9*, *23* и магнитом *42* вспомогательного электродвигателя *41*, токосъемника *44*, установленного на валу *45*, и ряда направляющих роликов и стоек (*22, 26—30, 33, 34, 37*). В режимах записи и воспроизведения вращение двигателя с помощью шки-

вов *40, 46* и *47* и резиновых пассиков *2, 39* и *43* передается маховику *38* ведущего вала *32* и шкивам *4* и *11* промежуточного вала *5*. Протягивание ленты *7* осуществляется обрезиненным роликом *31*, который прижимается к ведущему валу *32* электромагнитом *35*. Для образования «замкнутой петли» лента прижимается к ролику *31* и с противоположной стороны, где она охватывает свободно вращающийся ролик *30*. Для повышения стабильности натяжения на левой катушке применен механический стабилизатор, состоящий из рычага *15* со штырем *17*, связанным с металлической лентой, оклеенной кожей, и пружины *13*. До конической направляющей стойки *28* лента движется параллельно плоскости катушки, а после нее ложится нижним краем на направляющую *8*, закрепленную на барабане *18* узла видеоголовок *6*. По ходу движения ленты *24* внутри петли помещены стирающая головка *21* и блок универсальных головок *36*. При перемотке ленты вперед ролик *31* отводит ленту от ведущего вала, пассик *10* и шкиф *25* прижимается к приемному узлу и частота вращения приемной катушки значительно возрастает. Этот же пассик через промежуточный ролик *12* передает вращение подающему узлу от промежуточного вала *5* в режиме обратной перемотки. Оба двигателя ЛПМ коллекторные, с возбуждением от постоянных магнитов. Напряжение питания первого — 7 В; второго — 4,5 В; частота вращения — 1500 и 2500 об/мин, потребляемая мощность — соответственно 3,65 и 1,35 Вт. Видеомагнитофоны с ЛПМ типа «замкнутая Ω-петля» имеют хорошую стабильность, но неудобны в эксплуатации из-за сложной заправки ленты.

На рис. 3.20 изображена кинематическая схема ЛПМ типа «разомкнутая Ω-петля», в которой имеются два двигателя (ведущий *22*

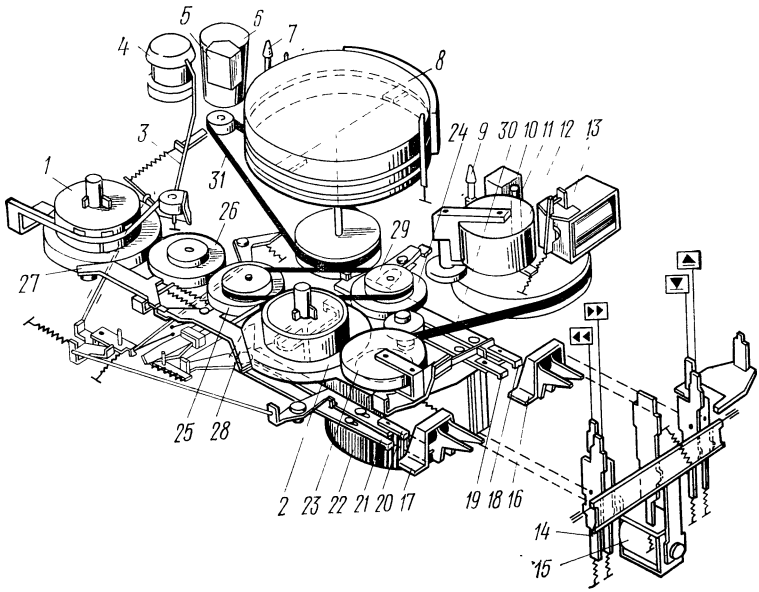

Рис. 3.20. Кинематическая схема ЛПМ типа «разомкнутая Ω-петля»

и блока головок *6*), подающий *1* и приемный *2* узлы, ведущий вал *11* с маховиком, прижимный ролик *12*, обводной ролик *4* и направляющие стойки *7, 9*. Для поддержания постоянного натяжения в тракте подающий узел снабжен механическим тормозом с рычагом *3* и пружиной. Передача движения от двигателей производится ременными передачами (*29, 30, 31*), фрикционной подмоткой *23* и шкивами перемотки *24, 25, 26*. По ходу движения ленты со стороны основы помещена стирающая головка *5*, блок головок *8*, а рядом с ведущим валом — универсальная головка *10*. Переключение режимов работы осуществляется от кнопочной станции толкателями *18, 19, 20, 21* со скобами *16, 17*, рычагами *14, 27, 28* и электромагнитами *13, 15*. Большим преимуществом ЛПМ являются удобство заправки ленты и малый ее износ при эксплуатации.

При наклонно-строчной записи двумя головками каждая головка записывает одно поле телевизионного изображения. В этом случае телевизионные поля, записываемые в соседних магнитных строчках, смещаются относительно друг друга на число телевизионных строк тем больше, чем выше скорость ленты $v_л$ и меньше угол φ подъема строки относительно базового края ленты. Обычно скорость записи $v_г$ и скорость ленты $v_л$ выбирают таким образом, чтобы в соседних магнитных строчках строчные синхроимпульсы размещались на линии, перпендикулярной оси магнитной строчки. При этом условии частичный сход головки с магнитной строчки и воспроизведение соседней не приводит к сбою синхронизации. Такой способ записи позволяет осуществить воспроизведение неподвижного изображения «Стоп-кадра» (СК), если остановить магнитную ленту [18]. В режиме СК головки поочередно воспроизводят информацию по траектории, которая не совпадает с направлением магнитных строчек из-за различия динамического и статического углов их наклона. При этом возможны две траектории движения головки во время воспроизведения: пересекающая магнитную строчку по центру и проходящая от начала одной строчки к концу другой. Первый случай более благоприятен, так как головка воспроизводит бо́льшую часть строчки и лишь по краям захватывает соседние. Все остальные траектории занимают промежуточное положение. Из геометрических соотношений рис. 3.21 следует, что головка войдет в сопри-

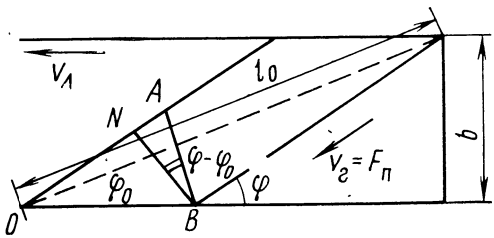

Рис. 3.21. Положение траектории головки при воспроизведении двух магнитных строк

косновение с соседними строчками на расстоянии от центра пересечения, равном $A=[(v_л/F_н)\sin(\varphi_0-\Delta)/\mathrm{tg}(\varphi-\varphi_0)]+(v_л/F_п)\cos\varphi_0$. Для обеспечения устойчивой синхронизации в режиме СК, во-первых, необходимо обеспечить одновременность воспроизведения строчных синхроимпульсов в соседних магнитных строчках. Во-вторых, для получения чересстрочной развертки и нормального декодирования цветного телевизионного сигнала системы СЕКАМ величина смещения магнитных строк $\alpha^н_0$ должна содержать целое число

телевизионных строк плюс полстроки. Если предположить, что в режиме СК при остановленной ленте головка воспроизводит сигнал от двух строчек во время движения по траектории от начала одного поля к концу второго, то при постоянном диаметре барабана (для бытовых видеомагнитофонов рекомендован диаметр 105 мм) наименьшие искажения в режиме СК получаются при скорости ленты 142,9 мм/с. Точность поддержания скорости ленты должна быть весьма высокой ±0,05%, а ее изменение от аппарата к аппарату должно быть сведено к минимуму. Столь высокие требования к стабильности выполняются путем применения специальной технологии изготовления и сборки ЛПМ при серийном производстве бытовых видеомагнитофонов.

Для бытовых целей наиболее целесообразны кассетные видеомагнитофоны. Во-первых, лента наилучшим образом сохраняется в кассете, а во-вторых, заправка кассет в видеомагнитофон обычно производится автоматически, что весьма существенно, если учитывать низкую квалификацию массового потребителя. Рисунок 3.22 по-

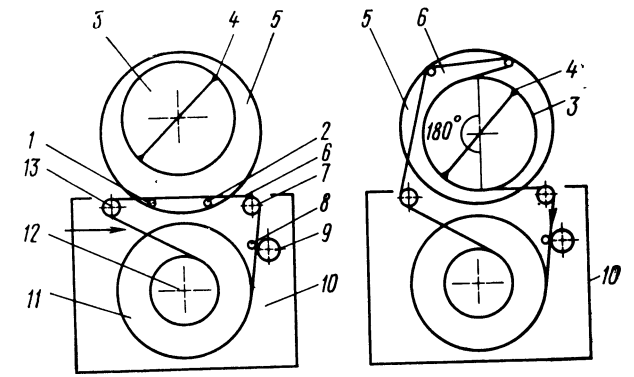

Рис. 3.22. Способ кассетной заправки ленты

ясняет способ кассетной заправки ленты в видеомагнитофон. В кассете *10* помещены на одной оси подающая *12* и приемная *11* катушки, между которыми натянут на роликах *7* и *13* свободный участок ленты. В положении перед заправкой при установке кассеты в ЛПМ направляющие *1* и *2*, расположенные на вращающейся платформе *5*, входят под свободный участок ленты *6*, натянутой между роликами. Ведущий вал *8* также проходит в окно кассеты *10* и лента прижимается к нему прижимным роликом *9*. Во время заправки платформа *5* поворачивается, и направляющие *1* и *2* извлекают ленту из кассеты. После заправки лента *6* наружной стороной охватывает блок *3* вращающихся головок *4* на 180°, огибает направляющие *1, 2, 13* и заходит в кассету.

Кассета с коаксиальным расположением катушек рекомендована для советских цветных бытовых кассетных видеомагнитофонов. Кинематическая схема ЛПМ бытового видеомагнитофона, рассчитанного на применение подобной кассеты, приведена на рис. 3.23. ЛПМ имеет специальные двигатели для вращения диска с головками,

ведущего узла и катушек, а также для приведения в движение механизма заправки кассеты. В центре ЛПМ помещается узел вращающихся головок *1*, охваченный поворотной платформой *15* зарядного устройства с направляющими роликами для извлечения ленты *16* и хода ее обратной петли *17*. В нижней части ЛПМ распола-

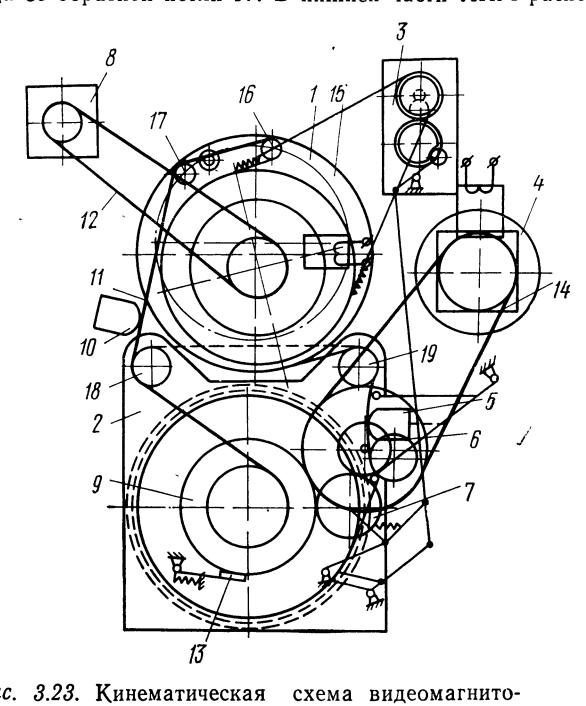

Рис. 3.23. Кинематическая схема видеомагнитофона с кассетой ВК-30

гаются гнездо и лифт для помещения съемной кассеты *2*. В корпусе кассеты *2* находятся две катушки — одна над другой. Лента сматывается с нижней катушки, проходит вокруг обводных роликов *18* и *19* и наматывается на верхнюю. При опускании кассеты лифтом ролик *16* зарядной платформы *15* входит в окно кассеты и захватывает свободный конец ленты *11* (положение ленты перед заправкой указано пунктиром). Привод механизма зарядки — разрядки *3* начинает вращать поворотную платформу *15*, извлекая ленту из кассеты и укладывая ее вокруг узла вращающихся головок. Внешняя обратная петля ленты проходит по роликам *17* и *18* и поступает в приемную катушку. Подмотка ленты производится путем вращения ролика *7*, который входит в зацепление со щекой катушки *9*. Кассета снабжена встроенными тормозами *13*, которые не допускают спадание ленты с роликов при съеме кассеты. Окно для ролика зарядного устройства в разряженной кассете закрыто крышкой, что препятствует попаданию в нее пыли. Стирающая головка *10* помещена на обратной петле ленты *7*. Вращение диска с го-

ловками осуществляется от двигателя *8* через ременную передачу *12*. Для уменьшения трения ленты о барабан узла видеоголовок его верхнюю часть иногда делают вращающейся. Ведущий узел *6* приводится во вращение двигателем *4* через ременную передачу *14*. В непосредственной близости от него помещен блок *5* со звуковой и управляющей головкой. Относительно простая конфигурация тракта ЛПМ позволяет перематывать ленты в кассете, не снимая ее с направляющего барабана узла видеоголовок. Широкое распространение получили кассеты с копланарным расположением катушек, которые имеют меньшую толщину, чем коаксиальные, в них лента меньше изнашивается. Способ заправки ленты в ЛПМ с копланарной кассетой типа U-matic поясняется рис. 3.24. Перед заправкой

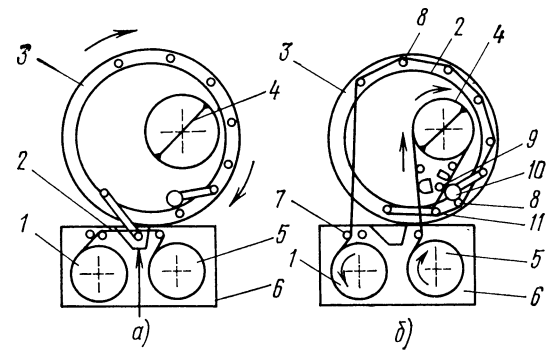

Рис. 3.24. Заправка кассеты типа «U-matic»

кассета *6* помещается в механизм (в большинстве видеомагнитофонов эта операция выполняется автоматически с помощью лифта), при этом рычаг *11* с подвижной направляющей попадает под кольцо ленты. Рычаг *11* закреплен на кольцевой платформе *3*, которая разворачивает барабан *4* с вращающимися головками. Во время заправки платформа начинает вращаться по часовой стрелке и рычаг *11* извлекает ленту *2* из кассеты *6*. Лента выходит из подающей катушки *5*, охватывает барабан *4* и неподвижные головки, затем прижимается к ведущему валу *9* с помощью прижимного ролика *10*. На этой части тракта ЛПМ происходят основные рабочие операции — стирание ленты, запись и воспроизведение вращающимися головками изображения и неподвижными головками звукового сопровождения. Поэтому на этом участке лента должна идти плавно, без рывков и вертикальных перемещений. Второй участок — от ведущего вала *9* до приемной катушки *1* — необходим для возврата ленты в кассету *6*. На втором участке лента проходит по многочисленным направляющим *8*, расположенным на кольцевой платформе *3*, огибает входную направляющую кассеты *7* и лишь после этого наматывается на катушку *1*. Необходимость в большом числе направляющих и значительные габариты кольцевой платформы — основной недостаток рассмотренного ЛПМ, так как во время движения лента трется о направляющие, деформируется и изнашивается.

Некоторое распространение в одноголовочных (фирма IVC) и двухголовочных (фирма «Matsushita») видеомагнитофонах получила кассетная заправка с помощью жесткого ракорда-лидера. В кассете размещается только одна катушка, на которой намотана лента, имеющая на начальном участке и в конце ее прозрачный жесткий рекорд. При вращении подающей катушки *2* против намотки ленты (рис. 3.25) лидер выходит из кассеты *1* и попадает в направляющую *7* с прямоугольным окном. Ширина лидера на 5 мм больше ширины ленты, а окно точно соответствует ее размерам. Поэтому лидер скользит по винтовой направляющей *7*, охватывающей барабан *6* с вращающимися головками. Выйдя из направляющей, лидер прижимается к ведущему валу *4* прижимным роликом *3*. Ведущий вал начинает вращаться и проталкивать лидер в направляющую *8*, ведущую к приемной катушке *10*. Так как приемная катушка *10* охвачена кольцевой направляющей *9*, то лидер в нее упирается и захватывается ловителем, закрепленным на оси катушки. Для улучшения работы ловителя лидер прижимается к оси катушки роликом *11*, помещенным на подвижном рычаге *12*. После закрепления лидера в приемной катушке последняя начинает вращаться и подматывать ленту. Винтовая направляющая *7* имеет продольное окно на внутренней стенке. Ширина окна соответствует ширине ленты, применяемой для записи. Когда ведущий вал начинает тянуть ленту, последняя проваливается в окно и входит в соприкосновение с неподвижными головками и барабаном *6*, внутри которого головки вращаются. Таким образом, головки соприкасаются только с лентой, что предохраняет их от повреждения лидером. Время заправки составляет 5—7 с. В видеомагнитофонах заправка и переход на перемотку осуществляются автоматически. Для этого обычно используются фотодатчики, располагаемые в тракте. Так как лидер прозрачный, а лента нет, то момент выхода ленты из подающей катушки фиксируется точно и означает окончание цикла заправки ленты. После этого сигнала лента движется со скоростью, определяемой ведущим узлом, и вращающимися головками записывается изображение, а неподвижными — звуковое сопровождение. По окончании ленты из подающей катушки выходит прозрачный ракорд и фотодатчик дает сигнал на перемотку. После окончания перемотки лидер выходит из ловителя приемной катушки *10*, проходит направляющую *8*, винтовую направляющую *7* и упирается в подающую катушку *2*. После этого кассету *1* можно снять с видеомагнитофона. Достоинством ЛПМ с однокатушечной кассетой является то, что ход ленты по тракту и взаимозаменяемость записей значительно меньше зависят от положения кассеты в механизме и точности ее изготовления, чем в кассетах другого типа. Однокатушечная кассета обычно дешевле, меньше по объему и

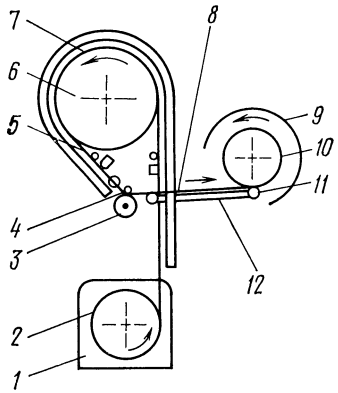

Рис. 3.25. Схема заправки кассеты с помощью лидера

массе. Вместе с тем подобный ЛПМ имеет существенный недостаток — для снятия кассеты с видеомагнитофона ее обязательно нужно перематывать.

В настоящее время выпускаются кассеты с наклонно-строчной записью повышенной плотности («Betamax» и VHS) и с продольно-строчной записью (LVR). На рис. 3.26 представлена схема заправки кассеты «Betamax». Бо́льшая часть узлов, связанных с зарядкой ленты и регулированием ее натяжения, установлена на заряжающей платформе *11*. Она расположена эксцентрично относительно барабана БВГ *6*. Благодаря этому освобождается место для головок стирания, управления и звука *10* и для ведущего вала *3*. При вставлении кассеты *7* в ЛПМ в нее вводятся направляющие *1, 4* и прижимной ролик *2*. Платформа *11* при зарядке делает поворот на угол 270° и направляющий ролик *4* входит в запорный рычаг *5*. При этом ленту вытягивают из кассеты, обводят вокруг барабана и подводят к головкам звука и управления. Рычаг *9* регулировки натяжения, который расположен вне заряжающей платформы *11*, вытягивает ленту из кассеты *7*, в результате чего она охватывает барабан БВГ на угол 180° и входит в соприкосновение со стирающей головкой *8*. БВГ представляет собой трехслойную конструкцию: между двумя неподвижными направляющими барабанами вращается третий — с двумя видеоголовками. Воздушная подушка, которая образуется между вращающимся барабаном и лентой, способствует снижению потерь на трение в ЛПМ. На нижней части барабана сделан с прецизионной точностью выступ, обеспечивающий спиральное направление ленты по поверхности БВГ. К верхней половине барабана прикреплена направляющая пластина, которая с усилием 1—2 г давит на верхний край ленты и прижимает ее к нижнему выступу. Широкие направляющие пластины фиксируют положение ленты в зоне неподвижных головок и обеспечивают взаимозаменяемость кассет.

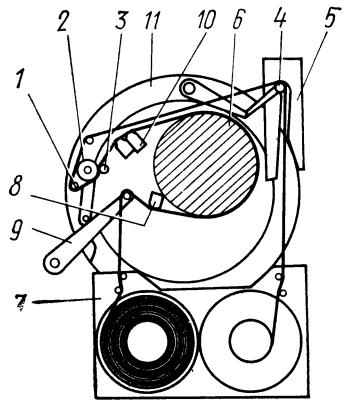

Рис. 3.26. Заправка кассеты типа «Betamax»

Интересна кассетная заправка ленты, разработанная фирмой «Victor» (Япония) для видеомагнитофона VHS, в которой применен (рис. 3.27) метод «параллельной» зарядки. При вставлении кассеты *8* в ЛПМ лента оказывается между ведущим валом *7* и прижимным роликом *6*. Таким образом, для подведения прижимного ролика к валу требуется его минимальное перемещение, что обеспечивает высокую стабильность работы ведущего узла. Два заряжающих ролика *2* и *4* вытягивают ленту из кассеты и охватывают ею барабан *3* БВГ. Так как ход роликов всего 80 мм, то зарядка происходит очень быстро. Заряжающие ролики фиксируются в требуемом положении двумя стопорами с V-образными канавками, благодаря чему обеспечивается высокая механическая стабильность тракта ЛПМ. Поскольку ход роликов мал, из кассеты вытягивается

небольшая петля ленты, что также способствует стабильности заправки и устраняет опасность ее деформации. По ходу движения лента касается головки канала управления *1* и головки канала звукового сопровождения *5*, расположенных по обе стороны БВГ. Барабан БВГ разделен на верхнюю и нижнюю половины, причем последняя имеет прецизионный выступ для фиксации хода ленты по спирали. Верхняя половина диска вращается, на ней помещены две видеоголовки. Воздушная подушка, образующаяся между барабаном и лентой, позволяет сделать усилие натяжения в зоне ведущего вала менее 100 г, что дает возможность применить в кассете сверхтонкую ленту.

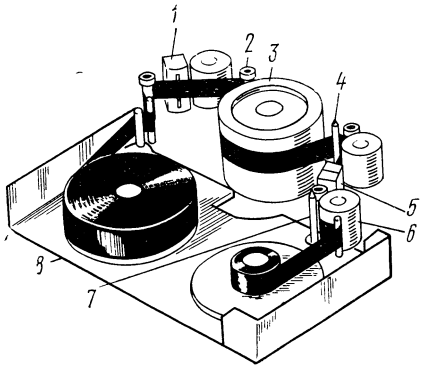

Рис. 3.27. Механизм для заправки кассеты VHS

Кассета VHS имеет малые размеры и стоимость. В сочетании с простым и компактным механизмом заправки это дает ей несомненные преимущества перед другими типами кассет и является причиной ее широкого распространения.

3.4. Блоки вращающихся головок

Важнейшим электромеханическим узлом, входящим в состав видеомагнитофона, является блок вращающихся головок (БВГ). Обычно он выполняется в виде легкосъемной конструкции и заменяется из-за износа вращающихся головок. В четырехголовочных и двухголовочных видеомагнитофонах при ремонте меняется весь диск с головками, так как установка новых головок требует точной регулировки. В одноголовочных и полутораголовочных видеомагнитофонах головки заменяются индивидуально. Узлы и детали БВГ четырехголовочного видеомагнитофона собираются на общей плате, которая крепится в трех точках к плате ЛПМ (рис. 3.28). Основным узлом БВГ является синхронный гистерезисный электродвигатель *1*, на валу которого закреплен диск *2* с четырьмя вращающимися головками (рис. 3.29). Лента прижимается к диску (радиус 26,1 мм) с помощью направляющей *3* (радиус кривизны 26,248—0,013 мм). Направляющая закреплена на кронштейне *6*. Кронштейн может горизонтально перемещаться (в пределах — 0,05 мм) с помощью кулачкового механизма и исполнительного электродвигателя. Кроме того, кронштейн с направляющей можно отводить от головок вручную или автоматически электромагнитом. Это облегчает заправку ленты в тракт и препятствует ее повреждению в режиме «Подготовка», когда диск с головками вращается, а лента остановлена. Положение направляющей по высоте регулируется винтом *7*. Лента плотно прилегает к поверхности направляющей и удерживается на ней вакуумным присосом. В направляющей имеется продольная

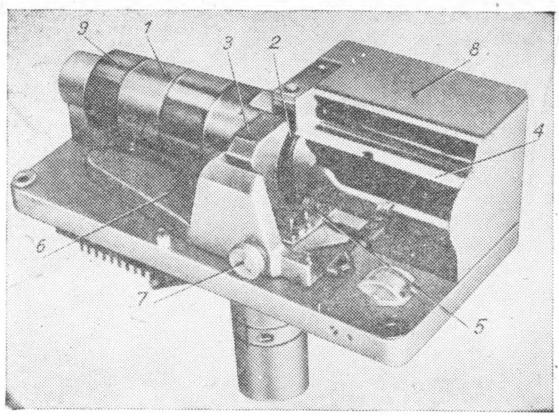

Рис. 3.28. Блок головок четырехголовочного видеомагнитофона

канавка, в которую головки вдавливают ленту. Точное взаимное расположение диска с головками и вакуумной направляющей является важнейшим условием получения взаимозаменяемости. На поворотном кронштейне установлена универсальная головка канала управления *5*, которой записывается управляющий сигнал. Подвод электрических сигналов к вращающимся головкам осуществляется токосъемником *4*. Токосъемник имеет четыре канала и делается контактным (в старых моделях БВГ) или бесконтактным. Контактный токосъемник представляет собой ряд колец, поверхность которых покрыта серебром или специальным малоокисляющимся сплавом. В каждое кольцо торцом упираются щетки, изготовляемые из мягкого графита. Сигналы от щеток подводятся к четырехканальному предварительному усилителю воспроизведения *8*, установленному непосредственно на плате БВГ. Бесконтактный токосъемник состоит из двух ферритовых колец с пазами, в которые помещаются обмотки ротора и статора. Со стороны пазов по торцу кольца шлифованы. Они закрепляются вперемежку к валу и к неподвижной верхней направляющей так, чтобы магнитный поток от статора к ротору замыкался через воздушные зазоры. Величина зазоров не должна превышать 50—80 мкм. При установке бесконтактного токосъемника в БВГ диск с головками заземляют

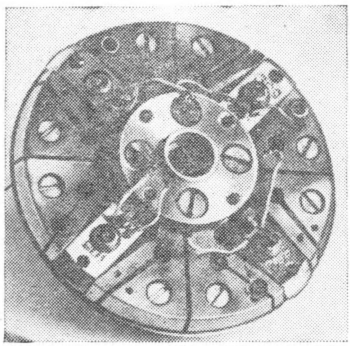

Рис. 3.29. Диск с головками четырехголовочного видеомагнитофона

специальной щеткой для уменьшения помех. Биение и дисбаланс диска недопустимы, так как вызывают повышенный износ прецизионных подшипников электродвигателя и геометрические искажения воспроизводимого сигнала. В новых БВГ устанавливаются электродвигатели с воздушными подшипниками, которые в сочетании с бесконтактными токосъемниками обеспечивают плавное вращение головок. На оси ротора электродвигателя располагается таходатчик *9*, с помощью которого определяется частота и фаза вращения диска. Сигнал таходатчика (в новых БВГ вырабатываются два сигнала: низкочастотный и высокочастотный) является исходным сигналом для синхронизации систем автоматического регулирования и электронного переключателя головок. Простейший таходатчик состоит из магнитной головки с широким рабочим зазором и небольшого постоянного магнита, закрепляемого на диске. Во время вращения диска перед зазором головки магнит периодически индуцирует импульсы, усиливаемые и формируемые специальной схемой. В некоторых конструкциях БВГ используются таходатчики, в состав которых входит фотодиод, периодически освещаемый прямым светом лампочки или светодиода через прорезь в диске или отраженным светом от черных и белых секторов, нанесенных на диск.

Магнитные головки на диске установлены под углом 90°. Угол между головками регулируется в небольших пределах с помощью конусных распорных винтов. Головки крепятся двумя винтами и заменяются при ремонте. Характеристики головок, устанавливаемых на одном диске, должны быть, по возможности, идентичны, так как их разброс приводит к полосатости воспроизводимого сигнала.

Конструкции узла вращающихся головок для наклонно-строчных видеомагнитофонов отличаются от описанной выше. В них диск с одной или несколькими головками располагается горизонтально. Прижим головок к ленте осуществляется за счет ее натяжения. БВГ профессионального одноголовочного видеомагнитофона «Кадр-103» изображен на рис. 3.30. Внутри блока размещается коллекторный двигатель постоянного тока *1* с полым валом. Электродвигатель вращает верхнюю часть *3* барабана, на которой размещены три вра-

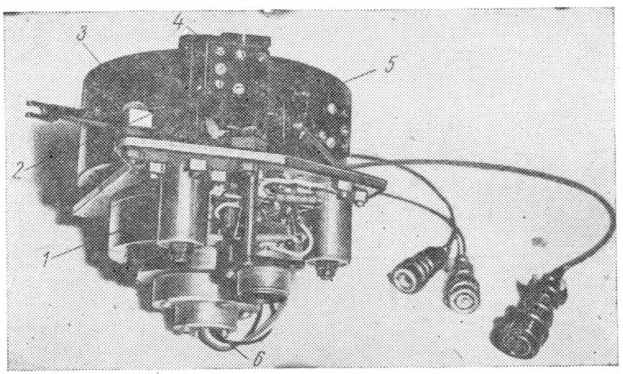

Рис. 3.30. Блок вращающихся головок одноголовочного видеомагнитофона

щающиеся головки. Первая, универсальная, служит для записи изображений, вторая — для стирания при электронном монтаже программ, а третья — для контрольного воспроизведения изображений во время записи. Сигнал к стирающей головке подводится через конденсаторный бесконтактный токосъемник, а к остальным головкам через двухканальный бесконтактный токосъемник индуктивного типа. Диаметр неподвижной части *2* барабана — 135 мм, подвижной — на 20—30 мкм меньше. При вращении между верхней частью барабана и лентой образуется воздушная подушка, которая значительно уменьшает потери на трение при движении ленты. Внутри полого вала проходят провода *6*, подводящие сигналы к токосъемнику и питание к предварительному усилителю воспроизведения, размещенному внутри барабана. Входная *4* и выходная *5* регулируемые направляющие раздвигаются, что облегчает заправку ленты. Таходатчики расположены под верхней частью барабана БВГ. Низкочастотный таходатчик выполнен в виде магнитной головки и постоянного магнита, а высокочастотный — в виде зубчатого колеса и башмака с обмоткой. При вращении барабана зубья колеса проходят мимо ответных зубьев неподвижного башмака и магнитная проницаемость общего магнитопровода меняется. Изменение магнитной проницаемости вызывает появление пульсирующего тока в обмотке башмака, частота которого жестко связана с частотой вращения барабана. Магнитные головки закреплены в Т-образных обоймах, которые легко извлекаются из посадочных гнезд. Замена головок новыми может быть сделана в течение нескольких минут.

На рис. 3.31 приведен разрез блока вращающихся головок зарубежного профессионального видеомагнитофона VPR-1 фирмы «Ampex» (США). Блок состоит из трех частей. Верхний барабан *1* вращается на валу *2*, закрепленном в двух шарикоподшипниках *5* и *7*. На нем располагаются под углом 120° стирающая универсальная и воспроизводящая головки. Воспроизводящая головка помещена на плоском пьезокерамическом элементе, который перемещает сердечник головки вверх и вниз в зависимости от величины управляющего напряжения (см. также рис. 3.9). Внутри барабана находится предварительный усилитель воспроизведения *3*, а в центре около вала — бесконтактный индукционный токосъемник *4*. В неподвижной части барабана *14* помещаются усилитель воспроизведения и выходные каскады усилителя записи *13* универсальной головки, сигнал к которой подводится с помощью второго индукционного токосъемника *9*. Рядом с ним располагается низкочастотный таходатчик *8*. В центре основания БВГ *12* находится постоянноточный двигатель с печатным ротором *10*. Сигналы управления на пьезоэлемент и питание вращающегося усилителя подаются в барабан с помощью контактного токосъемника *11*, имеющего шесть секций, расположенного в нижней части БВГ. Барабан выполнен с высокой точностью и покрыт специальным покрытием, уменьшающим коэффициент трения. Входная и выходная регулируемые направляющие неподвижны. Они имеют керамические фланцы. С обратной стороны барабана расположен керамический упор *6*, который фиксирует положение ленты на БВГ. Все головки установлены в специальных обоймах на кронштейнах, имеющих эксцентрики, с помощью которых можно точно отрегулировать выступание головок над поверхностью барабана.

На рис. 3.32 изображен блок головок двухголовочного видеомагнитофона. Его верхняя и нижняя направляющие скрепляются

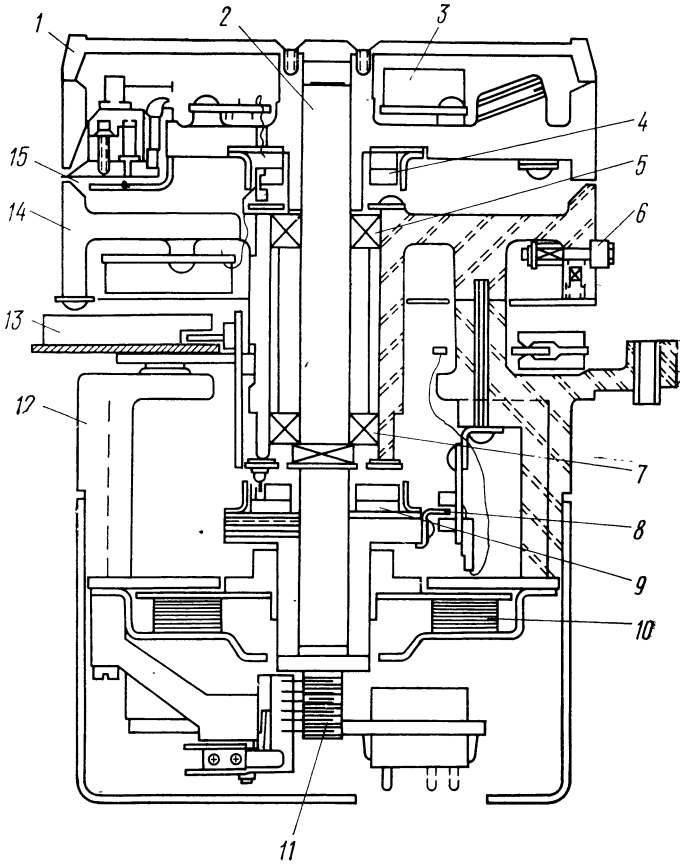

Рис. 3.31. Разрез блока головок видеомагнитофона VPR-1

сегментной стойкой с регулировочными винтами, позволяющими точно устанавливать соосность барабанов. В этом случае ось диска делается сплошной, а выводы от токосъемника и усилителей пропускаются по сегментной стойке. Корпус двигателя *1* располагается внутри нижней неподвижной направляющей барабана *2*. На вал *11*, снизу упирающийся в подпятник *13*, жестко посажен диск *4* с головками, ротором токосъемника *5* и датчиком частоты вращения. Двигатель имеет разнесенные радиально-упорные подшипники *10* и *12*. Верхняя направляющая барабана *3* скрепляется с диском и делается подвижной, тогда вал двигателя делается с пазами для пропуска проводов от токосъемника *5*; она может быть неподвижной, и в этом случае скрепляется с нижней направляющей *2* с помощью стойки *6*. Между диском *4* и верхней крышкой *7* помещается предварительный усилитель воспроизведения, а иногда и оконечный кас-

кад усилителя записи для максимального уменьшения длины проводов, идущих к головкам. Наилучшие результаты дает специальный двигатель постоянного тока с печатным ротором *8*, имеющим большое число коллекторных пластин, ток к которым подводится щетками *16*, и статором *9* в виде кольцевого постоянного магнита с не-

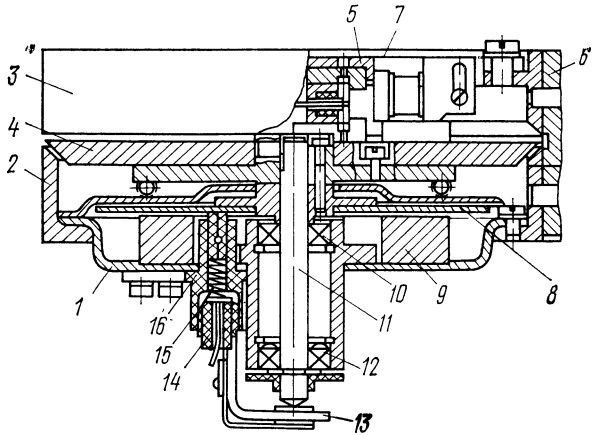

Рис. 3.32. Разрез блока головок двухголовочного видеомагнитофона

сколькими полюсами. Прижим щеток задается пружиной *15* и регулируется держателем *14*. Для замены изношенных головок БВГ снимается с видеомагнитофона, старые головки удаляются и устанавливаются новые. Установка новых головок производится с помощью специального оптического приспособления. Разброс параметров головок, помещаемых на один диск, должен быть минимальным.

3.5. Структурные схемы видеомагнитофонов

Упрощенная структурная схема четырехголовочного профессионального видеомагнитофона «Кадр-3» рассмотрена в гл. 2. Значительно проще по конструкции и объему электронных блоков одноголовочный профессиональный видеомагнитофон «Кадр-103», используемый для записи репортажей. Упрощенная структурная схема этого видеомагнитофона изображена на рис. 3.33. В нее входят: подающий *1*, ведущий *2* и приемный *8* узлы ЛПМ; блок *3* с вращающимися видеоголовками *4, 5, 7*; блоки универсальных *12* и воспроизводящих *13* стационарных головок; стирающая стационарная головка *10*, питаемая от генератора *9*; видеоканал, состоящий из модулятора *22* и демодулятора *26*; канал записи и воспроизведения ПМ сигнала, состоящий из усилителя записи *23*, предварительных усилителей воспроизведения *6* и *14*, оконечного усилителя воспроизведения *20* и корректора *25*; система автоматического регулирования средней скоростью ленты *17* (САР-СЛ), управляющей веду-

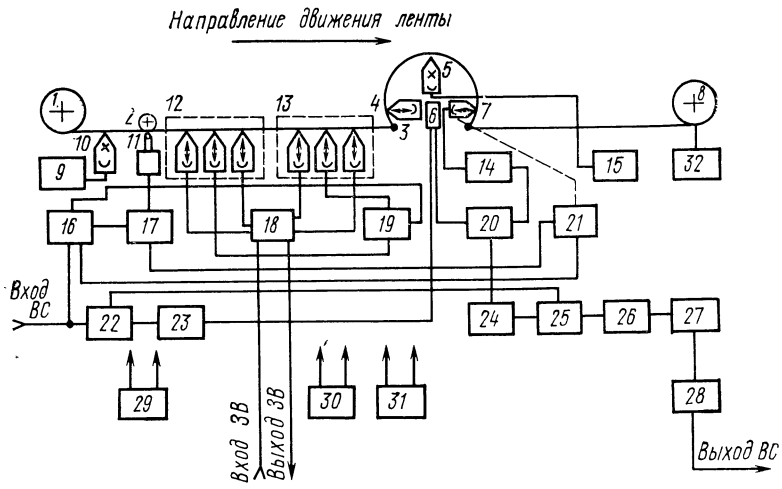

Рис. 3.33. Структурная схема одноголовочного видеомагнитофона

щим двигателем *11*; опорный селектор *16*, вырабатывающий опорные сигналы для работы различных систем; системы компенсации выпадений *27* (СКВ); системы автоматического регулирования частотой вращения барабана БВГ *21* (САР-СД); система автоматического регулирования натяжения ленты *32* (САР-Н); генератор стирания *15*; система электронного монтажа программ *30*; система предварительной обработки воспроизводимого сигнала *28* и измерения временных ошибок; канал записи — воспроизведения контрольного сигнала *19* и два канала записи — воспроизведения звукового сопровождения *18*; система питания *29*; система контроля и коммутации *31*.

В видеомагнитофоне «Кадр-103» вместо обычной частотной модуляции использована периодная. Это вызвано необходимостью получения высоких характеристик канала изображения при относительно низкой скорости головка/лента (20 м/с) [7].

Периодный модулятор *22* применен мультивибраторного типа с двумя генераторами пилообразного напряжения, которые управляются модулирующим видеосигналом. Ограничитель *25* собран по симметричной схеме, в нем использованы интегральные транзисторные сборки, имеющие идентичные активные элементы. В качестве демодулятора применяется схема, в которой исходное ограниченное ПМ колебание преобразуется в последовательность пилообразных импульсов (ПИМ) удвоенной частоты. Выделение видеосигнала из спектра ПИМ сигнала осуществляется фильтром низких частот. Периодная модуляция позволяет снизить частоту несущей при стандартной величине предыскажений и для записи цветных изображений в полосе 5,5 МГц применить: $f_{синхр}=5{,}6$ МГц, $f_ч=5{,}9$ МГц, $f_б=6{,}6$ МГц, при этом уровень комбинационных искажений не превышает — 34 дБ, а дифференциальные искажения не более 5%. Специально разработанные фазокорректированные фильтры позволили получить $K_ф \leqslant 2\%$.

В канал записи ЧМ сигнала входят предварительный усилитель записи с электронным ключом для работы системы электронного монтажа программ (ЭМП) *30* и оконечный усилитель записи *23*, выполненный по схеме несимметричного двухтактного усилителя с низким выходным сопротивлением, шунтирующим цепь головки и индуктивного бесконтактного токосъемника.

Предварительный усилитель воспроизведения основного канала *6* выполнен по каскодной схеме на малошумных транзисторах и расположен непосредственно внутри вращающегося барабана с головками. Предварительный усилитель *14* канала управления собран по той же схеме, что и основной, но расположен вне ЛПМ и подключается к остальным блокам канала воспроизведения в режиме «Запись». Воспроизводимый сигнал с выхода предварительных усилителей поступает на последовательно включенные оконечный усилитель воспроизведения *20* и ПМ корректор *24*. Усилитель воспроизведения имеет компенсатор входного резонанса и регулируемый косинусный корректор сквозной частотной характеристики (АЧХ), позволяющий производить регулировку АЧХ без внесения в канал фазовых искажений. ПМ корректор выполнен в виде линии с фазокорректированным фильтром и имеет линейно-падающую АЧХ при линейной фазовой характеристике. Его основное назначение — улучшить отношения сигнал/шум в ПМ канале. Помимо этого в ПМ корректоре имеется второй регулируемый косинусный корректор, служащий для подъема высоких частот и выравнивания дифференциальных искажений. Применение этих корректоров позволяет получить в воспроизводимом полном цветовом телевизионном сигнале дифференциальные искажения не более 10% при неравномерности сквозной частотной характеристики в полосе 50 Гц÷5 МГц±1 дБ.

Структурная схема системы автоматического регулирования САР-СД видеомагнитофона «Кадр-103» приведена на рис. 3.34. Опорными сигналами системы служат кадровые импульсы частотой 50 Гц и импульсы двойной частоты строк — 31 250 Гц, которые выделяются опорным селектором *3* из записываемого телевизионного сигнала или из сигнала синхронизации. Система содержит три цепи регулирования: цепь начальной установки фазы вращения двигателя, т. е. положения барабана БВГ; цепь демпфирования и цепь точного фазирования двигателя. При включении двигателя работают первые две цепи регулирования. Фазовый дискриминатор *8* производит сравнение фазы опорного кадрового импульса 50 Гц с фазой сигнала низкочастотного таходатчика *12* двигателя *11* и вырабатывает сигнал расстройки, который поступает на сумматор *7* и далее че-

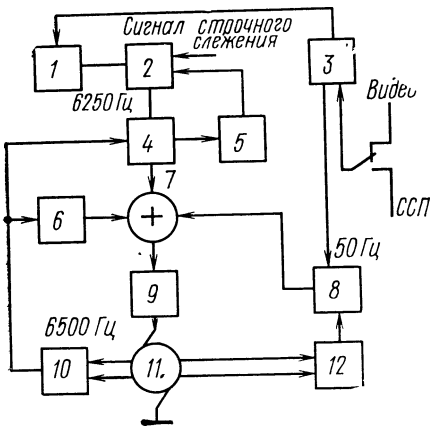

Рис. 3.34. Структурная схема САР одноголовочного видеомагнитофона

рез управляемый выпрямитель *9* на питание двигателя. На второй вход этого сумматора поступает управляющее напряжение цепи демпфирования с выхода частотного дискриминатора *6*, работающего от сигналов высокочастотного таходатчика *10* частотой 6250 Гц. За счет сигнала расстройки и действия цепи демпфирования импульс датчика совмещается достаточно точно (±80 мкс) с опорным сигналом, после чего включается цепь точного фазирования двигателя — выходной сигнал с фазового дискриминатора *4* поступает на третий вход сумматора *7*. Цепь точного фазирования работает от опорных сигналов частотой 6250 Гц, полученных путем деления в делителе *1* на пять импульсов двойной строчной частоты, и сигналов высокочастотного тахогенератора *10*. В цепи опорного сигнала включен фазовый модулятор *2*, который создает задержку импульсов, поступающих на фазовый дискриминатор *4*. Эта задержка управляется сигналом фазовой ошибки дискриминатора *4* через интегрирующую цепь *5* с большой постоянной времени. Наличие этой цепи позволяет значительно уменьшить статическую ошибку при точном фазировании двигателя. Кроме этого, на управляющий вход модулятора для обеспечения режима строчного слежения во время воспроизведения поступает управляющее напряжение с фазового дискриминатора строк *4*.

Для повышения быстродействия цепи начальной установки фазы двигателя здесь используется импульсный фазовый дискриминатор *8*, который в зависимости от фазового рассогласования между опорным кадровым импульсом и сигналом датчика оборотов двигателя формирует постоянное напряжение расстройки того или иного знака и делает его равным нулю при фазировании двигателя с заданной точностью. Окончательное точное фазирование двигателя производится по высокочастотным сигналам 6250 Гц, и положение диска оказывается жестко сфазировано с опорным сигналом 6250 Гц. Так как этот сигнал формируется триггерным делителем частоты, являющимся счетчиком импульсов, и устанавливается на нуль кадровым импульсом 50 Гц, то с выхода делителя через логические схемы оказывается возможным снять любую последовательность импульсов с дискретным сдвигом, равным длительности входных импульсов, т. е. 16 мкс. Выбор нужной импульсной последовательности, а также точная, в пределах 16 мкс, подстройка длительности задержки, создаваемой в фазовом модуляторе, производится при настройке аппарата. Это исключает необходимость точной фазировки и установки высокочастотного тахогенератора. Использование импульсного фазового дискриминатора с зоной нечувствительности позволяет снизить требования к точности установки таходатчика БВГ (примерно до ±10÷20 мкс), а релейные свойства его характеристики обеспечивают максимальное быстродействие. Кроме того, быстродействие системы значительно повышается за счет использования частотного дискриминатора. Все это, несмотря на сравнительно большую инерционность двигателя БВГ, позволяет получить достаточно малое время входа в синхронизм и остаточную временну́ю ошибку ±0,5 мкс.

Система регулирования средней скорости ленты САР-СЛ работает во время воспроизведения в режиме фазовой автоподстройки частоты воспроизводимого с ленты сигнала управления. Ее отличительной особенностью является использование в качестве исполнительного элемента электромагнитной муфты, которая установлена на ведущем валу. Последний приводится во вращение через пассик

от двигателя. Обмотка муфты через импульсный усилитель мощности подключена на выход триггера, работающего в качестве фазового дискриминатора системы САР-СЛ. При изменении фазового соотношения между опорными кадровыми импульсами 50 Гц и импульсами канала управления, воспроизводимыми с ленты, изменяется длительность выходных импульсов триггера. Это приводит к изменению средней величины постоянного тока тормозной муфты, что вызывает изменение скорости движения ленты. Цепь регулирования по 50 Гц включается в тот момент, когда монтажные импульсы, воспроизводимые и опорные, совпадают. Точность работы системы САР-СЛ не хуже ±0,1 мс.

Система компенсации выпадений (СКВ) выполняет две функции. Во время выпадения она замещает его другим сигналом, сформированным из сигнала яркости предыдущей строки и сигнала цветности, задержанного на две телевизионные строки. Задержка сигналов осуществляется тремя стандартными ультразвуковыми линиями (УЛЗ), причем сигнал яркости переносится в рабочую полосу УЛЗ путем амплитудной модуляции частоты специального генератора и последующего ее детектирования. Вторая функция СКВ — замещение периодического провала, возникающего в сигнале при переходе магнитной головки с верхнего края ленты на нижний. На выходе СКВ провал замещается уровнем черного, затем в этот интервал замешиваются опорные строчные синхроимпульсы. Срабатывание ключевого каскада СКВ во время провала происходит от импульса таходатчика БВГ и не зависит от ЭДС головки, что исключает ложное замещение уровнем черного во время активной части изображения.

Система электронного монтажа (ЭМП), встроенная в видеомагнитофон «Кадр-103», обеспечивает монтаж программ в режимах «Вставка» и «Продолжение». В систему входят блок задержки, блок монтажа и устройство выбора режима работы, конструктивно расположенное в панели управления. Для управления системой подаются команды от устройства выбора режимов, монтажные импульсы с частотой 12,5 Гц от опорного селектора и импульсы с частотой 50 Гц от второго таходатчика БВГ, сдвинутого на 64° относительно первого. Устройство выбора режимов монтажа управляется командами от панели управления или от пульта дистанционного управления. В режиме «Продолжение» монтаж производится по всем каналам одновременно. В режиме «Вставка» монтаж также производится либо одновременно, либо раздельно, по выбору, в канале изображения, либо в любом из звуковых каналов. Блок задержки состоит из формирователя сигнала таходатчика оборотов и схемы задержек, обеспечивающих возможность автоматического перехода блоков в требуемые режимы. В блоке монтажа, состоящего из сдвигающего регистра, логических схем, запоминающих триггеров и релейных усилителей, осуществляется временная задержка и логическая обработка монтажных импульсов для включения в определенной последовательности блоков видеомагнитофона в режим «Запись» или «Воспроизведение».

Важной особенностью системы монтажа одноголовочного видеомагнитофона, отличающей ее от четырехголовочного, является применение специальной вращающейся магнитной головки, стирающей предыдущую запись по наклонной строчке до тех пор, пока к записывающей головке не подойдет лента, размагниченная головкой общего стирания. В видеомагнитофоне «Кадр-103» в качестве стира-

ющей головки применена ферритовая магнитная головка, обладающая малыми потерями на высоких частотах. Ее питание осуществляется от генератора частотой 15 МГц через емкостный бесконтактный токосъемник, а управление — сигналами системы монтажа.

Репортажный видеомагнитофон «Кадр-103» представляет собой, с одной стороны, законченное функциональное устройство, а с другой — является базой для других моделей с более широкими техническими и эксплуатационными возможностями. В частности, в комплекте с регенератором «РГ-100» дает возможность воспроизводить телевизионный сигнал, синхронный с опорным синхрогенератором студии, соответствующий требованиям ГОСТ. На рис. 3.35 изображена упрощенная структурная схема регенератора. В его состав входят: предварительный корректор временных искажений *1* с рабочим диапазоном ±8 мкс и остаточной ошибкой ±300 нс; система точной коррекции временных искажений *4* с рабочим диапазоном ±500 нс и остаточной ошибкой ±25 нс относительно внешней опоры; система обработки воспроизводимого сигнала *2* и блок фазирования опоры *3*. Коррекция временных искажений воспроизводимого сигнала происходит последовательно, сначала в грубом корректоре, затем в точном. В настоящее время видеомагнитофон «Кадр-103» модернизирован («Кадр-103 АС»), переведен на высокочастотный стандарт записи, принятый в четырехголовочных видеомагнитофонах. Его ЛПМ выполнен в соответствии с требованиями формата С (см. также рис. 3.10), а блок головок для обеспечения взаимозаменяемости снабжен системой САР-С.

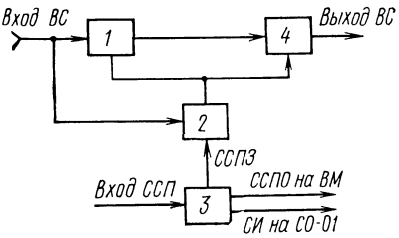

Рис. 3.35. Структурная схема регенератора РГ-100

Рассмотрим подробнее структурную схему одной из таких систем слежения. На рис. 3.36 приведена структурная схема САР-С

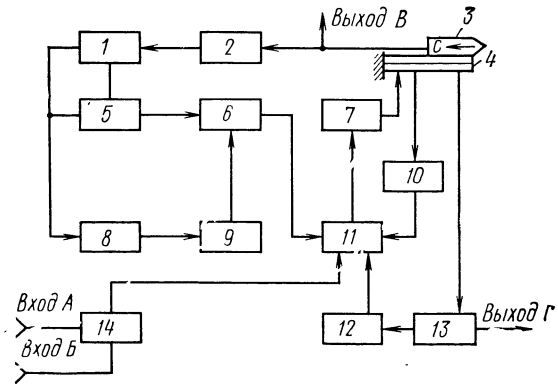

Рис. 3.36. Структурная схема системы САР-С

(AST) видеомагнитофона VPR-1. Система САР-С работает следующим образом. Генератор *5* генерирует колебания сканирования частотой 450 Гц, которые через сумматор *6* и *11* поступают на вход усилителя привода *7*, усиливаются и подаются на пьезокерамический преобразователь *4*, заставляя колебаться в вертикальной плоскости воспроизводящую головку *3*. При этом ЭДС, воспроизводимая головкой *3*, модулируется по амплитуде на 10% частотой сканирования и подается на выход *В* и в детектор огибающей *2*. Выходной сигнал детектора *2* детектируется по фазе в синхронном детекторе *1*, на который также подается опорная частота сканирования от генератора *5*. Выход синхронного детектора *1* через фильтрующую цепь *8* и УПТ *9* соединен со вторым входом сумматора *6*. Снижение ЭДС головки *3* из-за схода с магнитной строчки приводит к появлению на входе сумматора *6* плавно меняющегося управляющего напряжения, которое после усиления в усилителе *7* подается в преобразователь *4* до тех пор, пока не будет достигнут максимум ЭДС головки. К преобразователю подключена цепь демпфирования *10*, с которой сигнал подается на второй вход сумматора *11*. Она служит для подавления колебаний преобразователя на частоте собственного механического резонанса. Кроме того, с преобразователем *4* механически связана цепь контроля *13* положения головки, сигнал которой подается на выход *Г*, и через частотный компенсатор *12* — на третий вход сумматора *11*. С ее помощью определяются направление и скорость вертикального перемещения головки. К четвертому входу сумматора *11* подключен генератор пилы *14*. Частота и амплитуда пилы определяются командой о включении выбранного режима работы видеомагнитофона, поступающей на вход *А*, и данными о скорости перемещения ленты в лентопротяжном механизме, приходящими на вход *Б*. Система САР-С, примененная в видеомагнитофоне «Кадр-103АС», выполняет те же функции, но имеет несколько иные решения. Модернизированный видеомагнитофон «Кадр-103АС» может работать не только в комплекте с регенератором «РГ-100», но также в комплекте с цифровым корректором, что дает возможность ему работать в монтажных режимах.

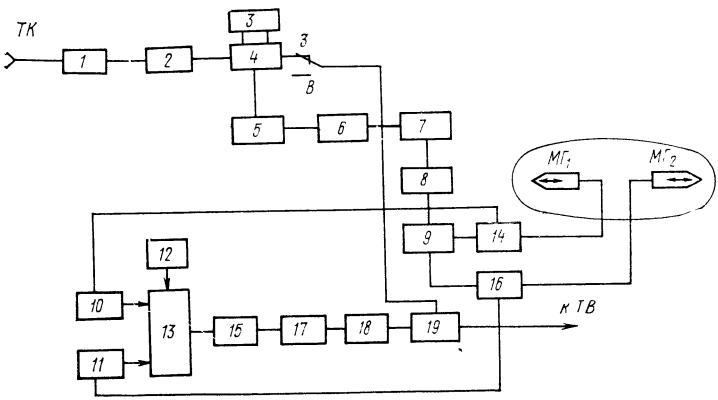

Рис. 3.37. Структурная схема видеомагнитофона «Электроника-501»

Структурные схемы бытовых видеомагнитофонов довольно разнообразны. В качестве примера рассмотрим структурную схему переносимого бытового видеомагнитофона «Электроника-501» [17], изображенную на рис. 3.37. В режиме «Запись» телевизионный сигнал от камеры подается на вход усилителя *1*, далее на фильтр *2* с частотой среза *3* МГц, на двухкаскадный усилитель *4* и далее на схему фиксации уровня черного *5*. К выходу усилителя *4* параллельно подключены схема АРУ *3*, автоматически поддерживающая оптимальный уровень записи, и выходной усилитель *19*, к выходу которого присоединен телевизор, позволяющий контролировать записываемые программы. Выход схемы *5* также соединен с предкорректором *6*, осуществляющим подъем верхних частот записываемого сигнала. Перед подачей сигнала на модулятор *8* случайные выбросы выше уровня белого, приводящие к перемодуляции, ограничиваются ограничителем *7*. С выхода модулятора ЧМ сигнал поступает в усилитель записи *9* и через токосъемники *14, 16* в головки $МГ_1$ и $МГ_2$.

В режиме воспроизведения головки через согласующие трансформаторы подключаются к предварительным усилителям *11* и *10*. Усиленный ЧМ сигнал приходит на электронный переключатель *13*, управляемый коммутатором *12*. Переключение усилителей происходит синхронно с поворотом диска с головками, так как с диском механически связан датчик, управляющий коммутатором *12*. С выхода переключателя *13* ЧМ сигнал поступает в усилитель *15*, а затем в ограничитель *17* и демодулятор *18*. После демодулятора видеосигнал усиливается усилителем *19* и подается в селектор САР и устройство сопряжения с телевизором.

Система САР видеомагнитофона (рис. 3.38) управляет двумя двигателями — ведущим M_1 (*14*) и дополнительным M_2 (*15*), связанными с помощью пассиков со шкивом на маховике ведущего вала. На валу M_1 установлены три индукционных датчика: полукадровой *13*, строчной *16* частоты и частоты вращения двигателя *7*. При записи от телекамеры (B_2 стоит в положении *ТК*) САР работает автономно. Колебания частоты 15 625 Гц, вырабатываемые датчиком *16*, после усиления усилителем *17* формируются формирователем *18* и делятся на два делителем *19*. Импульсы с частотой 7812,5 Гц поступают на вход опорного генератора *20* и схему сравнения *21*. В ней происходит сравнение по длительности импульсов таходатчика и опорных импульсов. Устройство сравнения вырабатывает сигнал, управляющий устройством питания *22* электродвигателя M_1. При отклонении частоты его вращения от номинальной изменяется частота импульсов датчика, поступающих на делитель *19*. Так как частота опорного генератора остается постоянной, то на выходе устройства сравнения все время вырабатывается такой сигнал, что частота вращения двигателя M_1 возвращается к исходной величине. Синхронизация телевизионной камеры производится также от опорного генератора *20*. Импульсы синхронизации строчной и кадровой разверток камеры формируются блоками *18* и *11, 12* из сигналов, вырабатываемых соответственно датчиками *16* и *13*. Кроме того, импульсы полукадровой частоты (50 Гц) выделяются селектором *1* из записываемого сигнала и запускают ждущий мультивибратор *2*, который при работе с телекамерой выполняет роль делителя частоты на два. Установка мультивибратора *2* в исходное состояние осуществляется импульсами (25 Гц), вырабатываемыми датчиком *7*. Импульсы мультивибратора через дифференцирующую цепь подают-

ся в головку *МГ* (B_1 стоит в положении *3*) и записываются на ленту. Аналогично записываются управляющие сигналы при работе с телевизором. В этом режиме САР регулирует частоту вращения ведущего двигателя так, чтобы она была равна частоте кадров сигнала, поступающего от телевизора. Импульсы с выхода мультивибра-

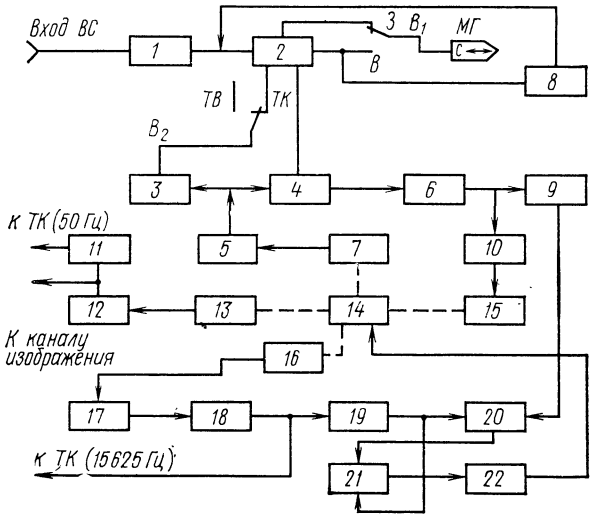

Рис. 3.38. Структурная схема САР бытового видеомагнитофона

тора *2* через интегрирующую цепочку *3* подаются в фазовый дискриминатор *4* (B_2 — ставится в положение *ТВ*), на который также приходят импульсы таходатчика *7* через формирователь *5*. Сигнал, амплитуда которого пропорциональна разности частот импульсов, подаваемых на дискриминатор *4* через интегрирующую цепь *6*, поступает в преобразователь *9* и управляет сопротивлением во времязадающей цепи опорного генератора *20*.

В режиме воспроизведения, так же как и при записи от телекамеры, САР работает автономно, но дополнительно включается цепь регулирования скорости ленты. В этом режиме управляющие сигналы, воспроизводимые головкой МГ (B_1 стоит в положении *В*) и усиленные усилителем *8*, запускают мультивибратор *2*. Его импульсы, следующие с частотой 25 Гц, подаются в дискриминатор *4*, куда также поступают импульсы от датчика *7*. С выхода дискриминатора *4* сигнал ошибки приходит на балансный усилитель мощности *10*, нагрузкой которого является двигатель M_2. При отставании по фазе управляющих импульсов от импульсов датчика частота вращения двигателя M_2 увеличивается, что приводит к росту скорости перемещения ленты до тех пор, пока импульсы не сфазируются. Если знак ошибки изменится на обратный, то частота вращения двигателя M_2 уменьшается и скорость ленты падает.

Структурные схемы каналов изображения цветных видеомагнитофонов в значительной степени определяются способом записи и рассматриваются ниже. Структурные схемы каналов записи звукового сопровождения в бытовых видеомагнитофонах аналогичны структурным схемам звуковых магнитофонов.

3.6. Устройства компенсации выпадений

В видеозаписи выпадениями принято называть значительные, кратковременные уменьшения воспроизводимого с ленты сигнала. Выпадения обычно возникают из-за дефектов магнитной ленты или нарушения контакта ленты и головки. Различают «случайные выпадения», возникающие хаотически, малой длительности, и «синхронные выпадения», возникающие периодически, обычно кратные частоте вращения головок и вызываемые продольными царапинами ленты — дефект, наиболее часто возникающий при износе лент. Случайные выпадения короткой длительности обычно малозаметны на черно-белом изображении. Поэтому простые бытовые видеомагнитофоны не имеют в своем составе электронных блоков, снижающих заметность выпадений.

Визуальное восприятие помех из-за выпадений значительно возрастает при воспроизведении цветных изображений. Это связано с тем, что участки телевизионной строки во время выпадения окрашиваются в произвольный цвет. Еще заметнее синхронные выпадения, возникающие в одном и том же месте экрана. Все профессиональные видеомагнитофоны оборудуются системами компенсации выпадений, которые снижают заметность выпадений в выходном сигнале [19].

Оценим помеху, образующуюся на выходе магнитофона при выпадениях. Если ЧМ сигнал снижается до уровня шумов, то на входе ограничителя демодулятора действует нормальный стационарный случайный процесс $\xi(t)$, энергетический спектр которого с учетом корректора усилителя воспроизведения и линейно-падающего корректора (ЛПК) можно записать в виде

$$F_{\xi}(\omega) = u_{ш}^2 \left(\frac{1 - 0{,}97\cos\omega t_з}{1 - 0{,}97\cos\omega_0 t_з}\right)^2 \left(\frac{\omega_{гр} - \omega}{\omega_{гр} - \omega_0}\right)^2,$$

где ω_0 — средняя частота в диапазоне девиации ЧМ сигнала; $t_з$ — время задержки линии амплитудного корректора; $\omega_{гр}$ — граничная частота ЛПК; $u^2_ш$ — энергетический спектр шума усилителя воспроизведения и головки.

В [6] проанализирована структура помехи, возникающей при воздействии подобного процесса, и показано, что его интенсивность в полосе частот 0—$\Omega_в$ ФНЧ демодулятора может считаться равномерной. В этом случае его интенсивность $F_\omega(0) \approx 1{,}1\sqrt{\pi}\omega_0$. На выходе демодулятора обычно включается видеокорректор, представляющий собой интегрирующую цепь с постоянной времени $\tau_{в.к} = 0{,}2$ мкс. Средняя длительность выпадений обычно составляет 2—20 мкс. Поэтому среднее значение помехи успевает нарасти до установившегося значения. Дисперсия помехи так же, как и среднее значение на выходе видеокорректора, достигает значения $\sigma^2_{вып} = [1{,}1\sqrt{\pi}\omega_0/(2\pi\tau_{в.к})]\,\mathrm{arctg}\,\Omega_в\tau_{в.к}$.

При полезной девиации ЧМ сигнала 1,5 МГц отношение уровня видеосигнала к среднеквадратичному значению помехи составляет 0,81, т. е. интенсивность помехи очень велика. Так как в диапазоне сигнала цветности СЕКАМ помеха имеет равномерный спектр, то она окрашивается в различные цвета. Сейчас общепризнано, что выпадения целесообразно компенсировать, используя для этого сигнал, полученный из предыдущей или предпредыдущей строки. При этом возникают три задачи: фиксация момента появления выпадений и коммутация прямого сигнала на замещающий, и наоборот; формирование замещающего сигнала; совмещение по фазе замещающего сигнала с основным.

Первая задача для черно-белых и цветных сигналов решается одинаково, применением порогового амплитудного детектора ЧМ сигнала и быстродействующего ключа.

На вход детектора выпадений обычно подается ЧМ сигнал со средней частотой ω_0, воспроизводимый с ленты и прошедший корректор (рис. 3.39). Этот сигнал предварительно ограничивается специальным ограничителем до уровня u_0 и проходит избирательную систему (ИС), предназначенную для уменьшения помех. Затем амп-

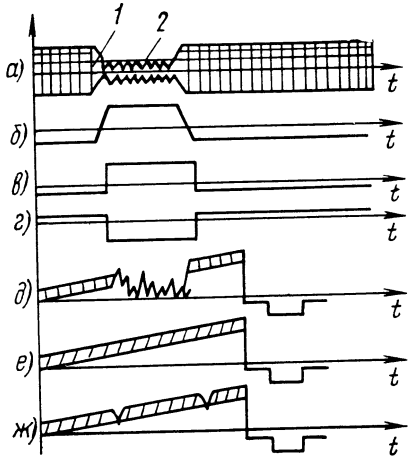

Рис. 3.39. Эпюры напряжений в компенсаторе выпадений:
а — ЧМ сигнал на выходе *УВ*; *б* — сигнал после *ФНЧ*; *в, г* — противофазные импульсы с формирователя; *д* — выпадение в видеосигнале; *е* — замещающий сигнал; *ж* — сигнал на выходе компенсатора

литудным детектором (АД) фиксируется начало и конец выпадения. С выхода АД отфильтрованный от высокочастотных компонент сигнал формируется формирователем и управляет ключом, коммутирующим видеосигнал. До тех пор пока уровень воспроизводимого сигнала больше u_0, амплитуда сигнала на выходе ограничителя постоянна. Как только уровень уменьшается и достигает порога срабатывания $u_{ср}$, формирователь вырабатывает импульс, переключающий ключ. При этом порог ограничения ограничителя уменьшается. Ключ не возвращается в исходное состояние до тех пор, пока уровень воспроизводимого сигнала не восстановится до номинального значения, а напряжение с выхода АД не уменьшится до уровня $u_{отп}$. Изменение порога ограничения ограничителя позволяет выбрать $u_{ср} > u_{отп}$. Гистерезисная зона необходима для предотвращения «дробления» замещающих импульсов — явления, возникающего из-за воздействия флуктуационной помехи на АД. Работа формирователя при наличии шумов происходит с погрешностями. Первая по-

грешность δ_1 определяется шумами канала воспроизведения и проявляется при максимальной длительности выпадения. Вторая δ_2 — зависит от полосы пропускания избирательной системы и проявляется при выпадениях минимальной длительности. Величина суммарной погрешности и ее зависимость от параметров системы найдена в [20]. Оказалось, что погрешность формирования в окрестности оптимальной полосы $2\alpha_{опт}$ избирательной схемы изменяется сравнительно слабо и в основном зависит от отношения $G_ф = u_ф/u_н$, где $u_н$ — уровень немодулированной несущей. Для реальных систем оптимальная полоса ИС выбирается из соотношения $2\alpha_{опт} = 2{,}4/t_{в.мин}$, где $t_{в.мин}$ — минимальная длительность выпадения.

Если принять $t_{в.мин} = 1$ мкс, то при глубине выпадения 20 дБ и оптимальной полосе избирательной схемы погрешность формирования импульса переключения составит 6,5%. Ошибки при фиксации момента начала выпадения приводят к появлению недопустимого разрыва между фактическим началом выпадения и включением замещающего сигнала.

Перейдем к проблеме формирования замещающего сигнала. Способ формирования замещающего сигнала зависит от системы кодирования цветовых сигналов. Для системы СЕКАМ, в которой принята построчная поочередная передача цветоразностных сигналов, идентичные цветовые сигналы повторяются через строку. Задержка полного телевизионного сигнала или его составляющих осуществляется ультразвуковыми линиями задержки (УЛЗ), при этом качество замещающего сигнала в значительной степени определяется качеством УЛЗ. Замещающий сигнал можно сформировать с помощью стандартных линий УЛЗ-2-64 или УЛЗ-4-64, используемых в декодирующих устройствах цветных телевизоров. При этом удобнее раздельно задерживать сигнал яркости E_Y на одну строку, а сигнал цветности $E_{цв}$ на две строки [19]. Перенос сигнала E_Y в рабочую полосу частот УЛЗ осуществляется путем модуляции по амплитуде частоты гетеродина $f_г$. Частота $f_г$ выбирается в районе середины верхнего склона полосы пропускания УЛЗ. Линия пропускает лишь часть нижней боковой полосы спектра АМ сигнала яркости. При передаче сигнала через УЛЗ в ней возникают отраженные сигналы, которые суммируясь с основным, вносят искажения. Наиболее опасен сигнал с тройной задержкой. Его влияние уменьшается, если $f_г$ имеет значение, при котором фазовый сдвиг между основным сигналом и помехой равен 90°. При этом стабильность частоты гетеродина должна быть не хуже $0{,}7 \cdot 10^{-4}$. Задержанный сигнал детектируется двухполупериодным амплитудным детектором и фильтруется с помощью ФНЧ, выбираемым с учетом вносимой максимальной задержки и подавления удвоенной частоты $f_г$.

Канал задержки E_Y должен иметь цепи привязки по уровню на входе и выходе. Искажения типа «дифференциальное усиление» не должны превышать 10%. В противном случае выпадения, не заметные на темных участках изображения, станут заметными на светлых и наоборот. Так как основным источником этих искажений является нелинейность модулятора, то коэффициент АМ модуляции не должен превышать 30%.

Задержка сигнала $E_{цв}$ на две строки обычно осуществляется двумя последовательно включенными линиями УЛЗ-64 или одной УЛЗ-128, затухание в которых компенсируется усилителем, одновременно корректирующим АЧХ линий. Результирующая полоса прозрачности от 3,8 до 5,3 МГц достаточна для сохранения цвета и

насыщенности в замещающем сигнале, который получается при суммировании $E_{цв}$ и E_Y.

Третья задача — фазирование основного и замещающего сигналов. Если они сфазированы неточно, то в момент переключения ключа в сигнале цветности происходит скачок фазы. В сигнале СЕКАМ фаза поднесущей коммутируется через две строки на третью и от полукадра к полукадру. При компенсации выпадений, когда, например, в строку N включается замещающий сигнал от строки $N-2$ фазы могут оказаться сдвинутыми на 180°. Кроме того, сдвиг по фазе может произойти из-за временных искажений воспроизводимого сигнала. Стандартное декодирующее устройство телевизора системы СЕКАМ на входе сигнала $E'_{цв}$ имеет фильтр ВЧ коррекции с постоянной времени $\tau_{ВЧ}=1$ мкс, амплитудный ограничитель, частотный детектор, цепь видеокоррекции с $\omega_L=25\pi\cdot 85$ кГц·рад и фильтр ФНЧ. Если изменение фазы ВЧ за время коммутации $\tau_0\approx\approx 50\cdot 10^{-9}$ с происходит линейно, то частота поднесущей цветности меняется скачком на $\Delta=\Delta\varphi/\tau_0$ и затем снова возвращается к номинальному значению. В [21] проанализировано изменение напряжения на выходе декодирующего устройства при воздействии скачка и установлено, что амплитуда помехи достигает максимума при $\tau_0=t$. При этом отношение сигнал/помеха $\Delta E'_{цв}(\tau_0)/E'_{цв}=0{,}31\cdot 10^6\Delta\varphi/\omega_д$, где $\omega_д$ — максимальная девиация несущей при передаче равномерно окрашенных участков изображения; $\Delta E'_{цв}(\tau_0)$ — амплитуда помех в канале цветности.

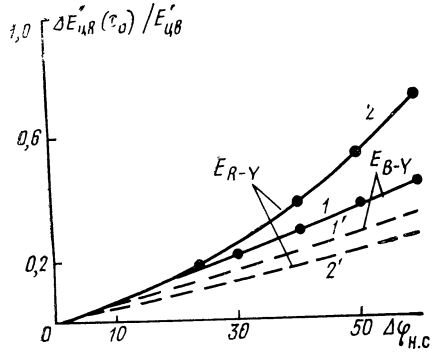

Рис. 3.40. Зависимость $\Delta E'_{цв}(\tau_0)/E_{цв}$ от разности фаз основного и замещающего сигналов

На рис. 3.40 приведена зависимость $\Delta E_{цв}(\tau_0)/E'_{цв}$ от разности фаз прямого и задержанного сигналов для синей *1* и красной *2* строк. Пунктиром показаны расчетная зависимость для $\omega_д=280$ кГц в красной и $\omega'_д=230$ кГц в синей строках. Сигналы СЕКАМ оказались весьма чувствительны к скачкам фазы цветовой поднесущей. Были проведены эксперименты на изображениях слайдов и на сигналах ГЦП для определения максимально допустимых скачков фазы поднесущей. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.7. На основании этих экспериментов, а также в соответствии с выводами [20] можно утверждать, что для сигналов СЕКАМ скачок фазы не должен превышать 30 нс (50°). При замещении выпадений сигналов ПАЛ требования фазирования еще выше — 6 нс (10°). Возможны два пути устранения помех, вызываемых скачками фазы после коммутации прямого и замещающего сигналов.

При первом способе появление выпадения в строке фиксируется заранее, до ее передачи в эфир, так как воспроизводимый сигнал подается на выход с задержкой. Основной сигнал переключается на задержанный заранее во время строчных гасящих импульсов [20],

ТАБЛИЦА 3.7

Скачок фазы поднесущей	Длительность переходного процесса, мкс	Окраска переходного процесса	Экспертная оценка заметности	
			синхронные с частотой строк	несинхронные
Не более ±10°	—	—	Незаметно	Незаметно
Не более ±30°	0,5	Светлая, темная[1]	Мало заметно	—»—
Не более ±60°	1	Светлая, темная[1]	Заметно	Мало заметно
Не более ±90°	1,5	Светлая, темная[1]	Очень заметно, мешает	Заметно
Не более ±145°	2,5	Изменение цвета	Очень заметно, очень мешает	Очень заметно, мешает
± (145÷180°)	3,5	—»—	Недопустимо	Очень заметно, очень мешает

[1] Изменение насыщенности.

поэтому помех от скачков фазы на изображении не возникает. При втором способе, предложенном Смирновым Б. В. и Лишиным. Л. Г. [22], выпадения компенсируются замещающим сигналом, у которого поднесущая в период строчных гасящих импульсов фазируется с поднесущей основного сигнала.

Для реализации компенсатора выпадений (рис. 3.41), выполненного по первому способу, необходимо в качестве основного использовать видеосигнал, задержанный на 64 мкс, чтобы переключающий

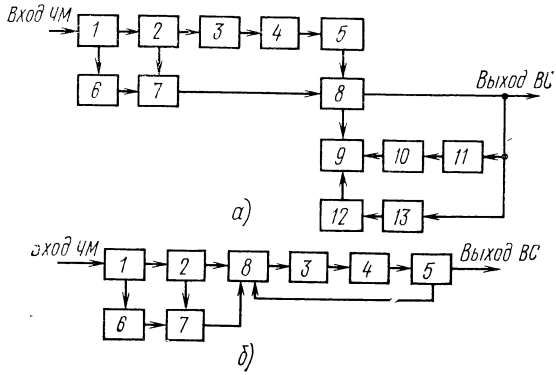

Рис. 3.41. Компенсатор выпадений с задержкой прямого сигнала на строку:
а — схема *с УЛЗ* на 64 мкс; *б* — схема с *УЛЗ* на 128 мкс

импульс опережал на строку выпадения в видеоканале. Воспроизводящий ЧМ сигнал параллельно подается в ограничитель *1* и в детектор выпадений *6*. После ограничения сигнал демодулируется демодулятором *2* и полученный видеосигнал модулирует в модуляторе *3* по амплитуде частоту гетеродина (около 30 МГц). АМ сигнал задерживается широкополосной УЛЗ на 64 мкс. На выходе линии сигнал детектируется амплитудным детектором *5*. Полученный за-

держанный видеосигнал подается на электронный ключ *8*, пропускающий его на выход блока при отсутствии выпадений. При появлении выпадений сигнал с детектора *6* запускает схему формирования *7*, которая вырабатывает переключающие импульсы только в момент прихода строчных синхроимпульсов от демодулятора *2*. Переключающие импульсы коммутируют ключ *8*. На второй вход этого ключа с сумматора *9* подается замещающий сигнал, сформированный из входного видеосигнала путем раздельной задержки на 128 мкс с помощью УЛЗ *10* сигнала цветности, отделенного фильтром *11*, и сигнала яркости, который выделяется фильтром *13* и задерживается на 64 мкс с помощью блока задержки *12*, содержащего модулятор, УЛЗ на 64 мкс и детектор. Следует отметить, что этот способ предъявляет очень высокие требования к качеству УЛЗ, осуществляющих задержку видеосигнала в основном канале. При наличии высококачественной УЛЗ с задержкой на 128 мкс компенсатор может быть выполнен по упрощенной структурной схеме 3.41*б*. Схема работает так же, как и предыдущая, только сигнал задерживается линией *4* на 128 мкс, а ключ *8* подключает амплитудный модулятор *3* в основном режиме к выходу демодулятора *2*, а при компенсации выпадений — к выходу амплитудного детектора *5*.

По второму способу [22] выполнена система СКВ-3 профессионального видеомагнитофона «Кадр-ЗПМ», структурная схема которой изображена на рис. 3.42. Она состоит из трех функциональных узлов компенсатора, сумматора и коммутатора фазы. Компенсатор формирует переключающие импульсы из ЧМ сигнала с помощью ограничителя *1*, детектора *2*, ФНЧ *3* и схемы формирования *4*, ко-

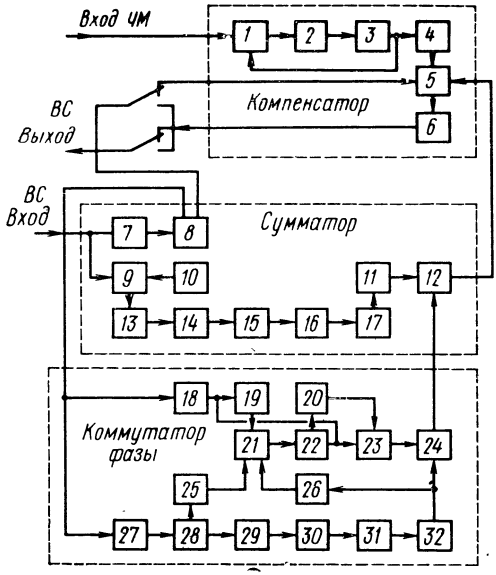

Рис. 3.42. Структурная схема СКВ-3

торые управляют работой ключа *5* и усилителя *6*. Сумматор задерживает основной сигнал на 0,2 мкс, а сигнал E_Y — на строку; формирует замещающий видеосигнал путем сложения задержанного сигнала E_Y с задержанным на две строки сигналом $E_{цв}$. Схемное построение сумматора определяется использованием трех стандартных УЛЗ, применяемых в цветных телевизорах. Сумматор построен по способу раздельной задержки яркости и цветности.

Коммутатор фазы выделяет из полного видеосигнала $E_{цв}$ и ССП, задерживает $E_{цв}$ на две строки, инвертирует на 180° фазу задержанной поднесущей цветности в момент прихода задней площадки строчного гасящего импульса таким образом, чтобы она стала синфазной с поднесущей цветности основного сигнала. Видеосигнал с линии задержки 7 сумматора одновременно поступает на ФВЧ *27* и амплитудный селектор *18*. Выделенная фильтром поднесущая усиливается усилителем *28* и задерживается двумя последовательно включенными УЛЗ *29* и *30*. Затухание в линиях компенсируется усилителем *31*. После усиления поднесущая подается на фазовращатель *32*, позволяющий точно сфазировать сигнал на входе и выходе линий при подстройке. При воспроизведении сигналы $E_{цв}$ с входа линии *29* и с выхода фазовращателя *32* ограничиваются ограничителями *25* и *26* и поступают на вход фазового детектора *21*, который сравнивает фазы немодулированных поднесущих во время стробирующего импульса. Когда фазы совпадают, сигнал на выходе фазового детектора отсутствует. Если фазы отличаются довольно сильно, то на выходе фазового детектора появляется сигнал, который формируется с помощью амплитудного детектора *22*, формирователя *20* и триггера *23* в импульсы, переключающие управляемый фазовращатель *24*, включенный в цепь сигнала $E_{цв}$ между фазовращателем *32* и сумматором *12*. Стробирующие импульсы вырабатываются из ССП, выделяемой амплитудным селектором из входного сигнала. Строчные синхроимпульсы запускают ждущий мультивибратор *19*, формирующий строб длительностью 4—5 мкс, положение которого совпадает с моментом передачи немодулированной поднесущей в сигнале СЕКАМ. Так как на одно плечо триггера *23* подаются строчные синхроимпульсы, а на другое — сигнал с фазового детектора, то триггер перебрасывает фазовращатель только тогда, когда фазы основного и замещающего не совпадают. Коммутатор фазы обеспечивает синфазность поднесущей в момент выпадения не хуже ±30°, что обеспечивает отсутствие заметного переходного процесса во время переключения сигналов.

Компенсация выпадений в сигналах, кодированных по НТСЦ и ПАЛ, имеет особенности [2]. В сигналах НТСЦ частота поднесущей в одном и том же месте двух соседних строк находится в противофазе при передаче одинакового цвета. Если сигнал $E_{цв}$ в замещающем сигнале формируется с задержкой на одну строку, то длительность задержки необходимо увеличить на время, равное половине периода поднесущей цветности. При задержке сигнала $E_{цв}$ на две строки фазы поднесущей в основном и замещающем сигнале совпадут. При компенсации выпадений сигналов, кодированных по ПАЛ, необходимо учитывать, что фаза сигнала $E_{цв}$ в двух соседних строках зависит от преобладающего цветового тона. В строках N—2 и N сдвиг фаз всегда постоянен и равен 180°. Поэтому при формировании замещающего сигнала ПАЛ используется задержка, равная длительности двух строк плюс половина периода частоты поднесущей цветности, или применяется задержка с коммутатором фазы и фазированием сигналов цветности.

Глава 4

ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСИ ЦВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ

4.1. Общие сведения

Высококачественная запись сигналов цветного телевидения требует значительного усложнения видеомагнитофонов. Это вызвано необходимостью обеспечения записи широкой полосы частот (до 6 МГц), высокого отношения сигнал/шум (свыше 43 дБ) по видеоканалу, линейности амплитудных фазовых и переходных характеристик и требованиями высокой временной стабильности воспроизводимого сигнала. Наименее чувствительна к временным искажениям система СЕКАМ. Новые современные профессиональные видеомагнитофоны «Кадр-3П», «Кадр-3ПМ», «Электрон-2М», «Кадр-103», имеющие высокие параметры и снабженные специальными системами для обработки и коррекции цветовых сигналов, позволяют записывать сигналы системы СЕКАМ с хорошим качеством. Однако еще имеются трудности с обеспечением необходимого отношения сигнал/шум при перезаписи программ, с сохранением низкого уровня дифференциальных и ряда других искажений.

Запись сигналов системы ПАЛ требует еще более совершенных видеомагнитофонов. Дело в том, что эти сигналы чувствительны к искажениям типа «дифференциальное усиление», к временным искажениям и особенно к скачкам фазы при переключении головок. Для стабилизации фазы воспроизводимой поднесущей цветности приходится применять специальные корректоры. Новый советский профессиональный видеомагнитофон «Кадр-5» [13] обеспечивает высококачественную запись сигналов систем ПАЛ и СЕКАМ.

Особенно высокая временная стабильность необходима при записи сигналов НТСЦ. В видеомагнитофонах для записи сигналов системы НТСЦ используются специальные корректоры фазы воспроизводимой поднесущей и ряд устройств, обеспечивающих линейность сквозной фазовой характеристики канала изображения. Вместе с тем сигналы системы НТСЦ занимают более узкую полосу частот и поэтому имеют более высокую помехозащищенность по сравнению с сигналами системы СЕКАМ.

4.2. Принципы сравнительной оценки способов записи

Бурное развитие магнитной видеозаписи в последнее время привело к появлению видеомагнитофонов самых различных типов и разнообразного назначения. Полоса записываемых частот по каналу изображения у них может меняться от 2,2 до 6 МГц. В широких пределах меняется отношение сигнал/шум (35—48 дБ) и временная стабильность (от 1,6 нс до нескольких мкс). Для записи цветовых сигналов на видеомагнитофонах существует несколько способов [23], классификация их приведена на рис. 4.1. Предполагается, что на вход устройства магнитной видеозаписи подается цветовой видеосигнал, кодированный по одной из трех систем (СЕКАМ, ПАЛ, НТСЦ), принятых для телевидения.

Прямая запись цветового телевизионного сигнала используется в профессиональных и полупрофессиональных видеомагнитофонах, сквозные характеристики канала изображения которых соответствуют параметрам записываемых цветовых телевизионных сигналов.

Запись цветового телевизионного сигнала с перекодированием обычно используется в полупрофессиональных или специальных видеомагнитофонах. Она заключается в том, что записываемый цветовой сигнал предварительно перекодируется в другой, более узкополосный и менее чувствительный к временным искажениям. При этом нередко используется временно́е или частотное уплотнение каналов или применяются специальные способы кодирования. При воспроизведении производятся обратное перекодирование и восстановление исходного сигнала.

Запись с преобразованием спектров цветового телевизионного сигнала используется в основном в бытовых видеомагнитофонах. Она состоит в том, что частотный спектр исходного цветового телевизионного сигнала предварительно разбивается на ряд участков, которые сужаются или уплотняются. Затем эти участки переносятся в ту полосу частот, которую можно записать на видеомагнитофон. Перенос осуществляется как в полосу частот канала изображения видеомагнитофона, так и в полосу частот канала записи — воспроизведения видеомагнитофона. Иногда при записи сигналов НТСЦ и ПАЛ записывают пилот-сигнал, с помощью которого повышают временну́ю стабильность воспроизводимого сигнала.

Любой из способов записи приводит к ухудшению исходного цветного изображения. Степень ухудшения весьма различна. Для сравнительной оценки необходимо выбрать два, три основных критерия, общих для всех рассматриваемых способов. Если допустить, что все способы обязательно должны сохранить нормальное декодирование цветовых сигналов в стандартном телевизионном приемнике, то возможными критериями качества воспроизводимого сигнала можно считать разрешающую способность по сигналам яркости и цветности, отношение сигнал/шум по каналам яркости и цветности, уровень комбинационных составляющих и искажения цветопередачи, вызываемые временно́й нестабильностью воспроизводимого сигнала. Даже эти, входящие в далеко не полный перечень искажения цветовых сигналов, сложно определить для всех существующих способов записи.

Наиболее универсальным методом оценки способов записи является расчет и сравнение коэффициентов сужения спектров исходного цветового сигнала с последующим вычислением по этим коэффициентам параметров воспроизводимого изображения: $K_п = \Delta F_п / \Delta F'_п$ — коэффициент сужения полного спектра цветового видеосигнала; $K_Y = \Delta F_Y / \Delta F'_Y$ — коэффициент сужения спектра яркости, вычисляемый с учетом обработки сигнала при записи или воспроизведении; $K_{цв} = \Delta F_{цв} / \Delta F'_{цв}$ — коэффициент сужения спектра сигнала цветности, вычисляемый с учетом обработки сигнала при записи или воспроизведении, где $\Delta F_п$, ΔF_Y, $\Delta F_{цв}$ — полосы частот, занимаемые соответственно спектром полного, яркостного и цветового сигналов; $\Delta F'_п$; $\Delta F'_Y$; $\Delta F'_{цв}$ — полосы частот соответственно суженных, гетеродинированных или перекодированных спектров полного, яркостного или цветового сигналов. Кроме того, при сравнительной оценке того или иного способа необходимо принимать во внимание отношение сигнал/шум по сигналам яркости и цветности, а также уровень комбинационных помех и перекрестных искажений.

Совершенно ясно, что для прямого способа записи $K_п = K_Y = K_{цв} = 1$ в том случае, если полоса записываемых частот по каналу изображения видеомагнитофона равна или превосходит полосу

частот, занимаемую видеосигналом. В этом случае прямой способ записи является оптимальным, если не учитывать некоторые его недостатки, рассматриваемые ниже. Другие способы записи, исполь-

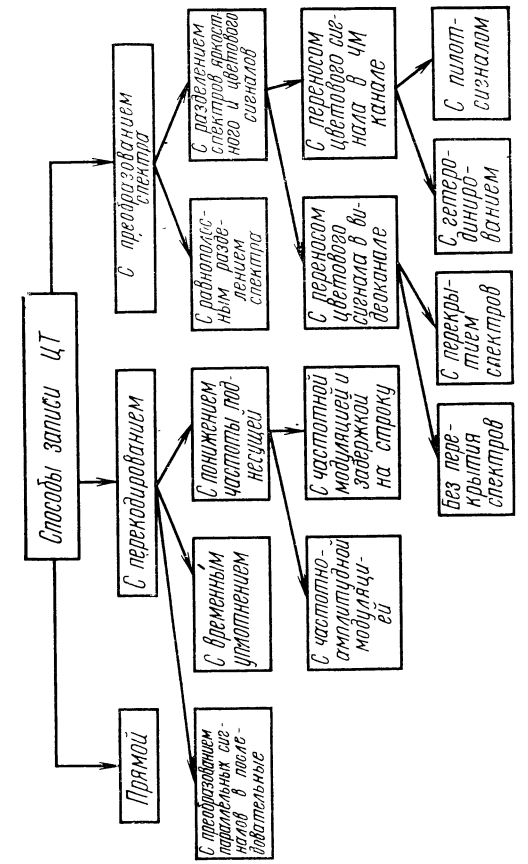

Рис. 4.1. Классификация способов записи цветовых сигналов

зуемые в узкополосных видеомагнитофонах, предполагают различную степень сужения исходных спектров, учитываемую коэффициентами сужения.

4.3. Запись с перекодированием

Способ записи с перекодированием заключается в том, что входной сигнал, кодированный в соответствии с вещательной системой, декодируется и сигналы цветности подаются в специальное кодирующее устройство. В этом кодирующем устройстве происходит либо кодирование поднесущей цветности пониженной частоты, либо преобразование параллельных сигналов цветности в последовательные с одновременным сокращением полосы частот каждого из сигналов. Затем кодированные сигналы подаются в видеомагнитофон,

записываются, воспроизводятся и вновь приходят на декодирующее устройство. После декодирования сигналы цветности поступают в стандартное кодирующее устройство, в котором формируется воспроизводимое цветное изображение, кодированное в соответствующей вещательной системе.

Перекодирование параллельных сигналов в последовательные (способ ТРИПАЛ). Способ ТРИПАЛ основан на том, что обычный цветовой сигнал, в котором сигналы цветности передаются одновременно, может быть перекодирован в сигнал с поочередной передачей трех цветовых составляющих, каждая из которых занимает более узкую полосу частот по сравнению с исходным. Входной сигнал (рис. 4.2), кодированный по системе ПАЛ или СЕКАМ, поступает в

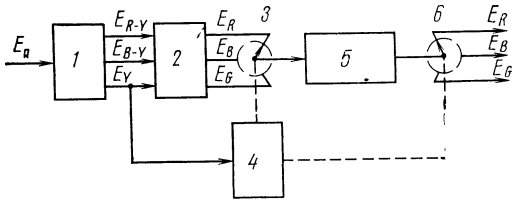

Рис. 4.2. Способ ТРИПАЛ

декодирующее устройство *1* и в нем выделяются сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y}, приходящие на матрицу *2*. На выходе матрицы образуются одновременно сигналы E_R, E_G, E_B, переключаемые коммутатором *3* с частотой строк. Таким образом, каждая последовательная строка несет информацию лишь об одном из цветов и высокочастотные составляющие яркостного сигнала. Поскольку одновременно производится запись только одного цветового сигнала, то для сигнала цветности достаточна полоса всего 0,6 МГц, а для сигнала яркости 2,5 МГц. Для синхронизации коммутатора в записываемый сигнал замешиваются два тактовых импульса (обычно это импульсы, соответствующие максимальному уровню в красной строке). Суммарный сигнал записывается на видеомагнитофоне *5* и при воспроизведении снова подается на коммутатор *6*, который переключается с частотой строк и синхронизируется тактовыми импульсами, выделенными селектором *4*. Если с трех выходов коммутатора цветовые сигналы последовательно подавать на три электронных прожектора кинескопа, то красный, зеленый и синий цвета от трех строк суммируются и образуется нормальное цветное изображение, но яркость изображения понижается в 3 раза.

Для преодоления этого недостатка последовательные сигналы цветности преобразуются в одновременные соответствующей задержкой на одну и две строки. Когда воспроизводится, например, строка, несущая информацию о синем цвете, то сигнал прямо подается на прожектор, обеспечивающий засветку синего люминофора. Информация о зеленом цвете, поступающая от предыдущей строки, ограничивается по полосе фильтром низких частот и модулирует несущую 4,3 МГц. Частотно-модулированный сигнал задерживается ультразвуковой линией на одну строку и после демодуляции подается на прожектор, обеспечивающий засветку зеленого люминофора. Одновременно красный сигнал от предыдущей строки также ограничи-

вается по полосе, превращается в ЧМ колебание и задерживается на две строки. После демодуляции он подается на прожектор, засвечивающий красный люминофор. При этом операции задержки и коммутации сигналов производятся только с сигналами цветности, занимающими полосу частот до 0,6 МГц. Высокочастотный яркостный сигнал подается на все три прожектора одновременно. Хотя четкость по горизонтали снижается в 3 раза из-за ограничения полосы частот, временна́я нестабильность видеомагнитофона не снижает качество цвета. Оценим коэффициенты сужения спектров сигналов при использовании способа ТРИПАЛ.

По яркостному сигналу для развертки по горизонтали при $\Delta F'_Y = 2{,}5$ МГц коэффициент $K_Y = \Delta F_Y / \Delta F'_Y = 6{,}0/2{,}5 = 2{,}4$; для развертки по вертикали $K = 3$.

По цветовому сигналу при $\Delta F'_{цв} = 0{,}6$ МГц и $\Delta F_{цв} = 1{,}4$ МГц для системы ПАЛ $K_{цв} = 1{,}4/0{,}6 = 2{,}35$.

Значение полного сужения сигнала ПАЛ для способа ТРИПАЛ $K_п = 6{,}0/2{,}5 = 2{,}4$. Несмотря на такое большое сужение качество воспроизводимого изображения получается довольно высоким. Способ ТРИПАЛ весьма интересен и для радиолюбителей. Сигналы E_R, E_G, E_B всегда присутствуют на выходе матрицы в декодирующем устройстве стандартного цветного телевизора, а сделать синхронный переключатель от импульсов строчной частоты телевизора не представляет особых трудностей. Таким образом, используя цветной телевизор и черно-белый видеомагнитофон, можно сконструировать устройство для записи цветных сигналов по способу ТРИПАЛ.

Запись с перекодированием в сигналы системы СЕКАМ с пониженной частотой поднесущей цветности. Сигналы системы СЕКАМ по своей природе мало подвержены искажениям из-за нестабильности временно́го масштаба. Поэтому перекодирование сигналов систем ПАЛ или НТСЦ в СЕКАМ целесообразно, особенно когда процесс перекодирования можно совместить с понижением частот поднесущих цветности. Для преобразования сигналов НТСЦ в сигналы СЕКАМ входной сигнал сначала разделяется на компоненты E_Y, E_I, E_Q и затем в каждой строке импульсами разделения по времени производится выделение сигналов E_I и E_Q поочередно. Полученными таким путем сигналами цветности с построчным чередованием производится частотная модуляция поднесущих (выбор поднесущих связан с частотным диапазоном, записываемым видеомагнитофоном). В сигнал яркости на заднюю площадку гасящего импульса помещается импульсная метка. Полный сигнал СЕКАМ подается на ЧМ модулятор видеомагнитофона и записывается на ленту. Воспроизводимый с ленты ЧМ сигнал усиливается, корректируется и демодулируется. Демодулированный полный сигнал СЕКАМ разделяется на сигналы E_Y, E_I, E_Q. Поскольку сигналы E_I, E_Q передаются через строку поочередно, то сигналы E_I, E_Q в предыдущей строке дополняются соответствующими сигналами, задержанными на одну строку, в результате получаются непрерывные сигналы E_I, E_Q. Импульсная метка служит для различения сигналов E_I и E_Q. Полученные сигналы E_Y, E_I, E_Q вновь поступают в кодирующее устройство НТСЦ, где образуется исходный цветной телевизионный сигнал. Наиболее полно возможности записи сигнала СЕКАМ с низкочастотной поднесущей цветности использованы в видеомагнитофоне, структурная схема которого приведена на рис. 4.3. Этот видеомагнитофон работает непосредственно от цветной телевизионной каме-

ры, выходными сигналами которой являются E_R, E_G, E_B. Последние поступают на матрицу *1*, с которой снимаются сигналы E_Y, E_{R-Y}, E_{B-Y}. Яркостный сигнал суммируется с ССП в сумматоре *2* и через предкорректор *3* подается в модулятор *4*, в котором модулирует высокочастотную несущую видеомагнитофона. ЧМ сигнал прохо-

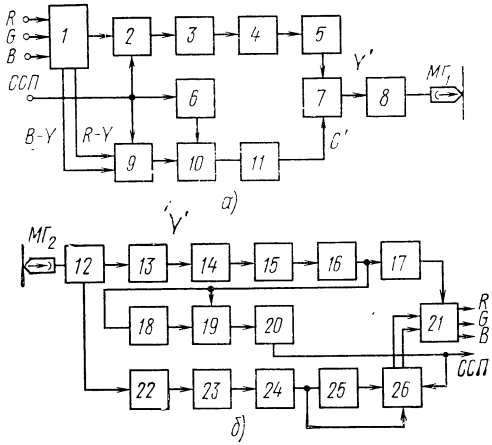

Рис. 4.3. Способ перекодирования НТСЦ в СЕКАМ

дит ФВЧ *5* и далее в смеситель *7*. Из строчных синхроимпульсов в умножителе *6* вырабатывается низкочастотная поднесущая цветности (0,5—0,7 МГц). Сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} проходят через электронный коммутатор *9*, переключающийся с частотой строк, на модулятор *10* поднесущей цветности. Модулированная поднесущая через ФНЧ *11* поступает в сумматор *7*, и суммированный сигнал подается на запись в головку $МГ_1$ после усиления в усилителе *8*. Уровень тока записи низкочастотной поднесущей цветности выбирается на 18—22 дБ ниже уровня тока записи высокочастотного ЧМ сигнала.

При воспроизведении сигнал от головки $МГ_2$ усиливается усилителем *12* и разделяется фильтрами *13* и *22* на высокочастотную составляющую, содержащую частотно-модулированную яркостную составляющую, и низкочастотную, в которой содержатся сигналы цветности E_{R-Y} и E_{B-Y}, передаваемые на поднесущей пониженной частоты. Первая составляющая корректируется корректором *14*, ограничивается ограничителем *15* и демодулируется демодулятором *16*, а затем через согласующий каскад *17* поступает на матрицу *21* и параллельно в амплитудный селектор *18*. Амплитудным селектором *18* из нее выделяется импульсная часть, поступающая на синхронизацию генератора *19*, запускающего схему *20*, формирующую сигнал ССП, очищенный от помех. Вторая составляющая также ограничивается ограничителем *23* и демодулятором *24* из нее выделяется сигнал цветности, который, пройдя электронный коммутатор *26* декодирующего устройства в линию задержки *25*, формируется в

два непрерывных цветоразностных сигнала, поступающих на матрицу *21*. На выходе матрицы образуется три сигнала — E_R, E_G, E_B, которые могут быть использованы либо для подачи на цветной кинескоп, либо для кодирования по любой системе цветного телевидения.

При подобном перекодировании $K_{цв}=2\div2{,}5$; $K_Y=2\div2{,}5$; $K_н=2\div2{,}5$. Качество воспроизводимого сигнала довольно высокое. Основной недостаток способа — относительная сложность, поэтому он встречается довольно редко.

4.4. Запись с разделением и преобразованием

Обобщенная функциональная схема канала записи цветовых телевизионных сигналов способом преобразования спектров приведена на рис. 4.4. Полный цветовой сигнал разделяется в *1* на два или

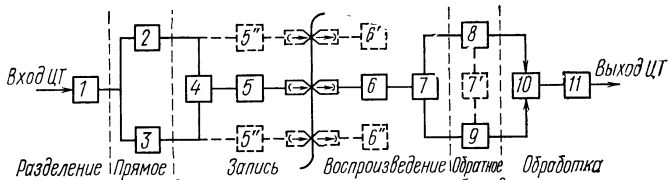

Рис. 4.4. Способы записи с разделением и преобразованием

три сигнала. Обычно это сигналы яркости и цветности, или цветоразностные сигналы E_{R-Y}, E_{B-Y}. Каждый из этих сигналов корректируется и преобразуется в *2* и *3* в сигналы, удобные для записи. Затем они суммируются в *4* и записываются усилителем *5* на одну общую дорожку, либо каждый из них записывается на свою отдельную дорожку. При воспроизведении сигналы усиливаются в *6*, разделяются *7*, корректируются и преобразуются в *8*, *9* в исходную форму, а затем суммируются в *10* в полный цветовой сигнал, который дополнительно обрабатывается в *11* для улучшения качества.

Способы записи с преобразованием и разделением классифицируются (см. рис. 4.4) по способу преобразования сигналов: перенос спектра сигналов цветности в видеоканал (ПВК), перенос спектра сигналов цветности в ЧМ канал видеомагнитофона (ПЧМ), перенос спектра сигналов цветности в ЧМ канал видеомагнитофона в сочетании с записью вспомогательного сигнала (пилот-сигнала).

Разделение и суммирование спектров цветового телевизионного сигнала необходимо при любом способе записи. Рассмотрим вопросы разделения и суммирования сигналов яркости и цветности применительно к сигналам системы СЕКАМ. В цветных телевизорах, предназначенных для приема сигналов, кодированных по этой системе, сигнал цветности $E_{цв}$ обычно выделяют из полного телевизионного сигнала с помощью полосового фильтра, а в канал сигнала яркости E_Y вводят режекторный фильтр. Так как после разделения спектры сигналов вновь не суммируются, то фазовые искажения, воз-

никающие на границе полосы пропускания фильтров, существенной роли не играют. При видеозаписи необходимо, чтобы эти сигналы взаимно дополняли друг друга: $E_Y + E_{цв} = E_п$. Если для систем обработки воспроизводимых сигналов допустимо неполное разделение спектров сигналов яркости и цветности, то при записи с преобразованием спектров качество разделения играет существенную роль, так как перекрестные помехи при неполном разделении вызовут появление муара. При записи после разделения эти сигналы подвергаются преобразованиям, записываются, воспроизводятся, проходят цепи предыскажений и декоррекции — все это может вызвать муар и ряд других искажений после суммирования.

Для обеспечения разделения сигналов в канал яркости устанавливают ФНЧ, который должен подавлять сигнал цветности $E_{цв}$ при минимальном искажении сигнала яркости E_Y. Чтобы выполнить эти противоречивые требования, ФНЧ должен приближаться к идеальному, т. е. иметь равномерную АЧХ в полосе прозрачности, малый интервал среза, большое затухание и симметричную импульсную характеристику. Наилучший метод заключается в раздельном синтезе требуемых АЧХ и ФЧХ фильтра.

Подробный анализ устройств разделения фильтрами приведен в [24]. Устройства разделения с подобными ФНЧ оказываются сложными.

Для разделения сигналов яркости и цветности можно использовать гребенчатые фильтры. Эти фильтры образуются линией задержки с суммирующим или вычитающим элементом. В схеме с вычитающим элементом сигналы с периодом, равным времени задержки линии $\tau_з$, подавляются, а с суммирующим — подчеркиваются. Так как в яркостном сигнале преобладают гармоники строчной частоты, то выбирают $F_{стр} = 1/\tau_з$. В этом случае фильтр пропускает сигнал цветности и подавляет сигнал яркости. Гребенчатые фильтры особенно эффективны для систем с квадратурной модуляцией поднесущей цветности.

В системе СЕКАМ выделение сигнала яркости с помощью гребенчатого фильтра малоэффективно в силу того, что в полосе частот 4—4,6 МГц сконцентрирована основная энергия сигнала цветности $E'_{цв}$, мощность которого значительно превосходит мощность яркостных составляющих. Кроме того, каждая шестая составляющая спектра сигнала совпадает с соответствующей линией сигнала яркости. Если в полосах частот 3—4 МГц и 4,6—6 МГц погрешность селекции сигнала, определяемого вычитанием частот спектра сигнала цветности, кратных $F_{стр}$, незначительна, то в полосе частот 4—4,6 МГц она недопустимо велика. Поэтому этот участок полного сигнала обычно подавляется режекторным фильтром.

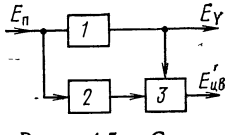

Рис. 4.5. Структурная схема разделения методом вычитания

Более качественное разделение можно получить в устройствах, использующих плавный ФНЧ, линию задержки и вычитающий каскад (рис. 4.5). Из полного цветного телевизионного сигнала $E_п$ фильтром нижних частот *1* выделяется низкочастотная часть E'_Y и подается на один из входов вычитающего устройства *3*. На второй вход поступает $E_п$, задержанный линией задержки *2*. После вычитания остается сигнал цветности $E'_{цв}$, представляющий по сути дела сумму исходного сигнала цветности $E_{цв}$ и высокочастотных со-

ставляющих яркостного E_Y сигнала. АЧХ и ФЧХ канала цветности аналогичны характеристикам ФВЧ и определяются данными ФНЧ. Этот фильтр выполняется в виде простейшего однозвенного ФНЧ с плоской АЧХ в полосе $0—\omega_{ср}$, фазовой характеристикой $\varphi(\omega)=2\arcsin(\omega/\omega_{ср})$ при $0<\omega<\omega_{ср}$ и $\varphi=\pi$ при $\omega>\omega_{ср}$ и коэффициентом передачи $K(\omega)=2(\omega/\omega_{ср})^2-1+2(\omega/\omega_{ср})\sqrt{(\omega/\omega_{ср}^2-1}$, где $\omega_{ср}$ — граничная частота ФНЧ. Коэффициент передачи линии задержки $K_{л.з}(i\omega)=e^{-i\omega\tau_з}$. В полосе частот от $\omega_{ср}$ до $\omega_в$ фазовая характеристика соответствует выражению $\theta(\omega)=\arccos[\cos\omega\tau_з+(1/K(\omega)]/\frac{1}{K(\omega)}\sqrt{K^2(\omega)+2K(\omega)\cos\omega\tau_з+1}$. На начальном участке она практически линейна и равна $\varphi(\omega)\approx2\omega/\omega_{ср}$. Обычно выбирают $\tau_я=\tau_{ФНЧ}=2/\omega_{ср}$ [24].

Ослабление низкочастотных компонент сигнала яркости происходит только при тщательном выравнивании задержек фильтра и линии. Изменяя в небольших пределах $\tau_я$, можно увеличивать величину подавления низкочастотных компонент и менять характер фазовой характеристики (рис. 4.6). В [6] проанализирован характер влияния неточности задержки на форму АЧХ и ФЧХ.

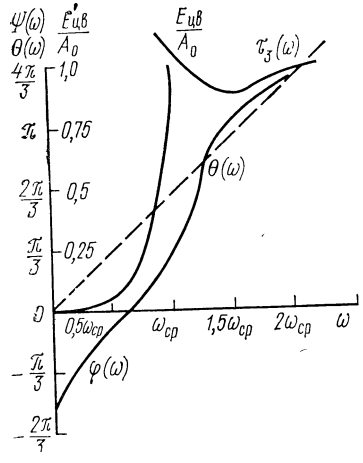

Рис. 4.6. АЧХ и ФЧХ устройства с вычитанием

Рассмотрим вопросы суммирования сигналов после обратного преобразования. При суммировании могут встретиться два варианта. В первом случае спектры суммируемых сигналов E'_Y и $E'_{цв}$ не перекрываются. Этот случай характерен для разделения сигналов с помощью фильтров при больших коэффициентах сужения спектров. Искажения типа муара в суммарном сигнале не возникают, но возможны искажения в виде выбросов и повторов из-за различных задержек сигналов в фильтрах. Частично разница во времени задержки может быть скомпенсирована установкой в канал цветности перед сумматором специальной фазирующей линии с отводами, с помощью которых экспериментально подбирается оптимальная задержка. Однако полностью обеспечить отсутствие искажений не удается из-за различий переходных характеристик фильтров.

Во втором случае спектры суммируемых сигналов E'_Y и $E'_{цв}$ частично перекрываются. Этот случай характерен для разделения с помощью фильтра, линии задержки и вычитающего устройства при выборе малых коэффициентов сужений спектров сигналов. Оценим влияние различных задержек в каналах яркости и цветности. Для этого добавим некоторую задержку $\Delta\tau$ к сигналу, поступающему с выхода вычитающего устройства.

На рис. 4.7 изображена частотная зависимость амплитуды выходного напряжения $E_{оп}$ при различных значениях дополнительной

задержки $\Delta\tau$. Наибольшие искажения суммарного сигнала происходят на частоте $\omega_{ср}$, когда амплитуды сигналов E'_Y и $E'_{цв}$ достигают максимального значения. Из рис. 4.7 следует, что для обеспечения неравномерности АХЧ суммарного сигнала в пределах 1 дБ точность задержки суммарных сигналов должна быть не хуже $1/5\omega_{ср}$. В [6] приведен анализ влияния задержки на искажения формы импульсного испытательного сигнала. Величина K-фактора может быть определена при малых $\Delta\tau$ по формуле $K_ф = \left|\frac{\pi\Delta\tau}{16T}\right|$, %, где T — длительность синусквадратичного импульса на уровне 0,5. В настоящее время в узкополосной видеозаписи наиболее распространен способ ПЧМ, предложенный французским инженером П. Кассань [25]. Сущность преобразований спектров сигналов по способу ПЧМ поясняется рис. 4.8. Полный цветной телевизионный сигнал $E_п$ разделяется на сигнал яркости E'_Y и сигнал цветности $E'_{цв}$. Сигнал E'_Y модулирует несущую видеомагнитофона таким образом, чтобы весь спектр ЧМ сигнала располагался в верхней части полосы частот, записываемых на магнитную ленту. Спектр сигнала $E'_{цв}$ путем гетеродинирования переносится в низкочастотную часть записываемой полосы частот и суммируется с ЧМ сигналом. Суммарный сигнал записывается на ленту. При воспроизведении эти сигналы разделяются, спектр сигнала $E'_{цв}$ переносится в исходную область частот.

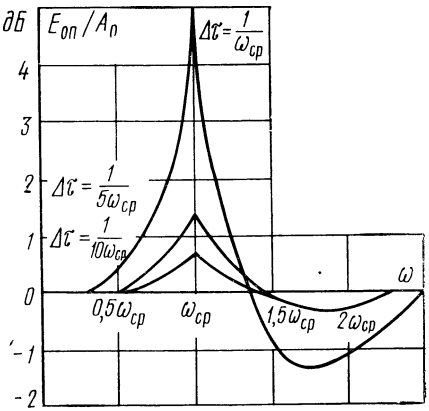

Рис. 4.7. Частотная зависимость суммарной амплитуды при различной величине $\Delta\tau$

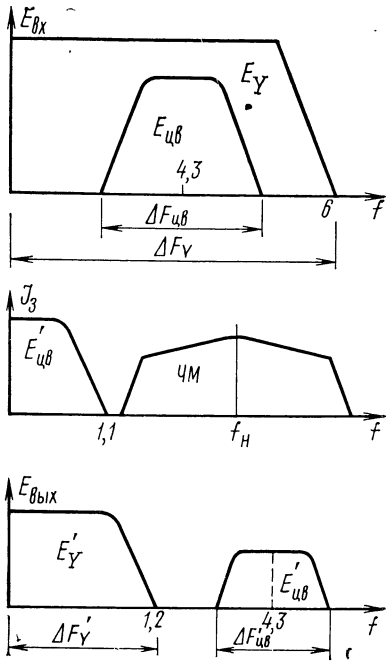

Рис. 4.8. Схема преобразования спектров при способе ПЧМ

Высокочастотная часть ЧМ сигнала демодулируется, полученный после демодуляции сигнал E'_Y суммируется с сигналом цветности $E'_{цв}$ и образуется полный цветной телевизионный сигнал, близкий по параметрам к исходному. Качество воспроизводимого сигнала зависит от величин коэффициентов сужения спектров сигналов яркости и цветности, выбираемых в соответствии с параметрами видеомагнитофона. Для того чтобы получить достаточно низкий уровень перекрестных искажений, необходимо выполнить следующее соотношение между полосами частот записываемых сигналов [21]: $\Delta F'_Y = \Delta F_Y / K_Y = K_{у.ч} \Delta F_в - \Delta f - (\Delta F_{цв}/K_{цв}) - f_{мин}$, где $K_{у.ч}$ — коэффициент увеличения частоты при применении записи с частотной модуляцией [16]; Δf — девиация несущей видеомагнитофона, Мгц; $f_{мин} \approx 0{,}2$ МГц — минимальная частота, записываемая в ЧМ канале видеомагнитофона.

Задаваясь K_Y, $K_{цв}$ и зная характеристики видеомагнитофона $K_{у.ч}$, $\Delta F_в$, Δf и $f_{мин}$, нетрудно вычислить $\Delta F'_Y$, $\Delta F'_{цв}$. По ширине полос сигналов яркости и цветности можно определить максимально достижимую четкость и насыщенность воспроизводимого сигнала. Ухудшение цветовых параметров оценивается по диаграмме преобразования сигналов цветности (рис. 4.9). Границы внутреннего

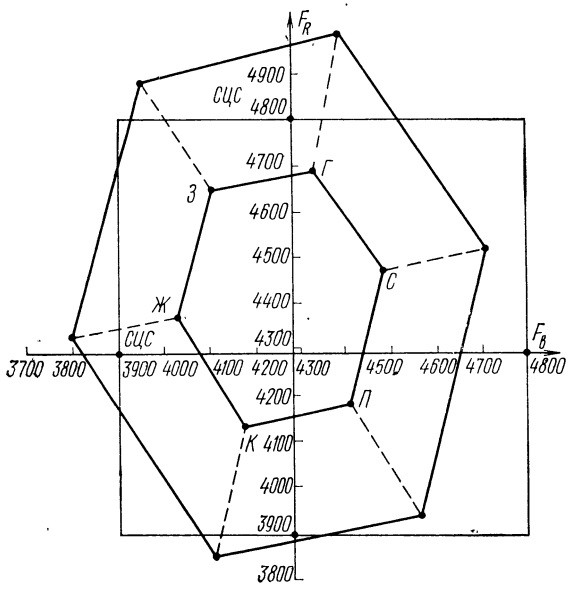

Рис. 4.9. Диаграмма преобразования сигналов цветности

шестиугольного контура показывают девиацию поднесущих цветности в сигнале системы СЕКАМ при передаче основных цветов от генератора цветных полос (ГЦП), а квадратного контура — девиацию поднесущих при передаче строк опознавания. Легко видеть, что

сужение полосы поднесущих цветности может быть сделано не более чем до 0,9 МГц. Большая степень сужения приведет к плохой передаче строк опознавания. Однако при воспроизведении эффективная полоса сигнала цветности может быть несколько расширена за счет восстановления верхней боковой сигнала цветности с помощью ограничителя [26]. Для того чтобы ограничитель не срезал амплитудные выбросы сигнала цветности, его предварительно пропускают через фильтр ВЧ декоррекции, затем ограничивают, а потом снова пропускают через фильтр ВЧ предыскажений. Аналогичную обработку сигнала цветности, а также введение в него предыскажений иногда осуществляют перед записью для стабилизации амплитуды и лучшей записи сигнала цветности [27]. Так как подобная обработка приводит к некоторому улучшению качества сигнала, то это улучшение можно учесть соответствующим уменьшением коэффициента сужения полосы сигнала цветности, т. е. $K'_{цв}=K_{цв}K_{з}K_{в}$, где $K_{з}=0{,}7\div0{,}8$ — уменьшение коэффициента сужения цветности из-за соответствующей обработки сигнала при записи; $K_{в}=0{,}6\div0{,}75$ — уменьшение коэффициента сужения цветности из-за обработки сигнала при воспроизведении. Поэтому четкость сигнала цветности определяется полосой частот $\Delta F'_{цв}=\Delta F_{цв}/(K_{цв}K_{з}K_{в})$, а сигнала яркости при наличии обработки в канале записи сигнала цветности $\Delta F'_{Y}=K_{у.ч}\Delta F_{в}-\Delta f-\Delta F_{цв}/(K_{цв}K_{з})-f_{мин}$. На качество цветовых сигналов, записываемых способом ПЧМ, влияет нестабильность воспроизводимой цветовой поднесущей. Требования к ее стабильности для системы СЕКАМ определяются тем, чтобы в воспроизводимом сигнале исходный цвет не изменился на другой, близкий по частоте. Согласно ГОСТ 19432—74 частота цветовых поднесущих при отсутствии модуляции в строке $R-Y$ равна —4406,25±2 кГц, а в строке $B-Y$ соответственно —4250,00±2 кГц. Наиболее близко в строке $R-Y$ расположены пурпурный ($f_{п}=4172$ кГц) и красный ($f_{к}=4686$ кГц) цвета, а также голубой ($f_{г}=4686$ кГц) и зеленый ($f_{з}=4640$ кГц). В строке $B-Y$ цвета по частоте разнесены сильнее, поэтому допустимая нестабильность определяется строкой $R-Y$, т. е. разностью частот между соседними цветами, равной 46 кГц. Если учесть уход настройки дискриминатора в цветном телевизоре при самонагреве (14 кГц), точность настройки декодирующего устройства (15 кГц), а также другие факторы, то допуск на нестабильность воспроизводимой поднесущей цветности уменьшится до ±6,5 кГц. В этот допуск должна укладываться нестабильность, вызываемая лентопротяжным механизмом и системами автоматического регулирования видеомагнитофона $\Delta F_{САР}$, а также нестабильность используемого при переносе гетеродина, вызываемая изменением температуры и напряжения питания схемы, т. е. $\Delta F'_{цв}=\Delta F_{САР}+\Delta f_{г}=13$ кГц. При работе бытового видеомагнитофона с обычным унифицированным цветным телевизором возникают повышенные требования к стабильности ЛПМ и САР видеомагнитофона вследствие большой постоянной времени АПЧиФ генератора строчной развертки. Принято считать, что «быстрое» подергивание вертикальных линий в горизонтальном направлении не должно превышать 0,1 мкс, т. е. 1 мм на экране цветного телевизора. Способ записи ПЧМ позволяет снизить требования к стабильности ЛПМ и САР видеомагнитофона. Дело в том, что перенос спектра сигнала цветности в область низких частот приводит к относительному увеличению длины волны $\lambda'_{цв}$, записываемой на магнитную ленту. Влияние нестабильности понижается во столько раз, во сколько понижается частота

поднесущей относительно номинала [28]. Изменение частоты поднесущей из-за «медленной» нестабильности определяется $\Delta F'_{САР} = h'\Delta t'_{САР}F_{цв}/T$, где h' — коэффициент переноса $h'F'_{цв}/F_{цв}$; $\Delta t'_{САР}$ — нестабильность САР; $F'_{цв}$ — частота перенесенной поднесущей.

Принято оценивать нестабильность ЛПМ в бытовых видеомагнитофонах за периоды: кадровой развертки $T_к$ (искажения по вертикали) и строчной развертки $T_{стр}$ (искажения по горизонтали). Для «медленной» нестабильности, в основном вызываемой детонацией ЛПМ, равной $\Delta t' = \pm 50$ мкс, нестабильность поднесущей при $F'_{цв} = 714$ кГц равна $\Delta F'_{САР} = h'\Delta t'_{САР}F_{цв}/T_к = 3{,}6$ кГц. Для «быстрой» нестабильности, вызываемой в основном качаниями диска с вращающимися головками, $\Delta F''_{САР} = h'\Delta t''_{САР}F_{цв}/T_{стр} = 5{,}6$ кГц. «Быстрая» и «медленная» нестабильности САР и ЛПМ видеомагнитофона складываются по законам случайных величин. Однако даже в самом худшем случае суммарная нестабильность не должна приводить к изменению цвета, т. е. $|\Delta f_г| < \Delta F'_{цв} - |\Delta F'_{САР}| - |\Delta F''_{САР}|$. Следовательно, относительная нестабильность частоты гетеродина для нашего примера должна быть не хуже $|\Delta f_г|/f_г < (13\cdot10^3 - 3{,}6\cdot10^3 - 5{,}6\cdot10^3)/5\cdot10^6 = 0{,}75\cdot10^3$. При большей нестабильности САР и ЛПМ требования к стабильности гетеродина возрастают. Обычно гетеродин в устройствах преобразования сигнала цветности для обеспечения требований взаимозаменяемости и получения высокой стабильности выполняют в виде кварцевого генератора. В этом случае стабильность гетеродина получается не хуже 10^{-5}, поэтому при частоте гетеродина $f_г = 5\cdot10^6$ Гц составит 50 Гц.

На качество цветовых сигналов системы СЕКАМ большое влияние оказывают дифференциальные искажения и шумы. Влияние дифференциально-фазовых искажений подчеркивается фильтром ВЧ декоррекции. Выбег частоты $\Delta\omega_{цв}$ в области яркостного перехода за время Δt сопровождается значительным изменением амплитуды. Рисунок 4.10 иллюстрирует механизм уменьшения амплитуды. Допустим, скачок фазы поднесущей $\Delta\varphi_{цв} = 57°$ проходит за вре-

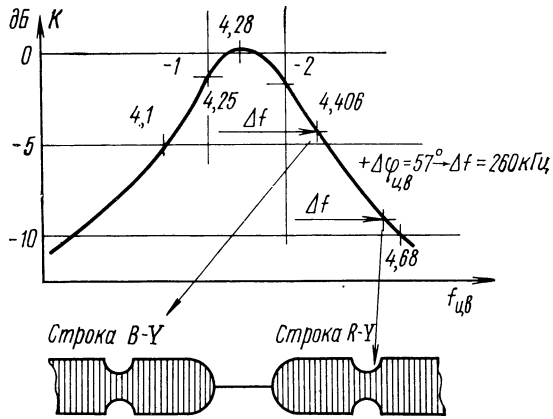

Рис. 4.10. Зависимость амплитуды сигналов цветности от дифференциально-фазовых искажений

мя яркостного перехода $\Delta t=0{,}6$ мкс. Выбег частоты в этом случае $\Delta\omega_{цв}=\Delta\varphi_{цв}/\Delta t=1/0{,}6\cdot10^{-6}\approx260$ кГц. Если знак $\Delta\varphi_{цв}$ положительный, то в строке $R-Y$ амплитуда поднесущей упадет на —9 дБ, переход приобретает синюю окантовку и после него возможен срыв кодирования. При изменении знака $\Delta\varphi_{цв}$ цвет окантовки станет розовым, а амплитуда поднесущей в строке $R-Y$ упадет на —4 дБ. Фактически дифференциально-фазовые искажения при прямой записи составляют 3—5°. В основном она вызывается нелинейностью ФЧХ канала воспроизведения, особенно в области девиации, и различным сдвигом фаз составляющих спектра ЧМ сигнала в процессе записи коротких длин волн на ленту.

При записи способом ПЧМ основная причина дифференциально-фазовых искажений — прямое влияние яркостного сигнала на фазу цветовой поднесущей — отсутствует. Однако могут возникать искажения, по характеру похожие на дифференциально-фазовые. Одна из причин их возникновения — фазовые искажения в процессе разделения и суммирования сигналов яркости и цветности и искажения, возникающие в процессе прямого и обратного переноса спектра поднесущей.

Второй причиной является зависимость амплитуды воспроизводимой перенесенной поднесущей цветности $E'_{цв}$ от изменения частоты ЧМ сигнала при модуляции несущей сигналом. В связи с тем что процесс записи способом ПЧМ близок к известному процессу записи с высокочастотным подмагничиванием, а девиация несущей при модуляции сигналов E'_Y обычно выбирается небольшой, то зависимость амплитуды получается весьма слабой. Уровень дифференциальных искажений, возникающих при прямой записи, определяется: $\partial E_{цв}/\partial E_Y=1-(K_{ЧМ}/2K_0)_б/(K_{ЧМ}/2K_0)_ч$ — дифференциальное усиление; $\partial\varphi_{цв}/\partial E_Y=\alpha_{ЧМб}-\alpha_{ЧМч}$ — дифференциальная фаза, где $(K_{ЧМ}/2K_0)_б$ и $(K_{ЧМ}/2K_0)_ч$ — относительный коэффициент ЧМ модуляции поднесущей цветности на белом (черном); $\alpha_{ЧМб}$ и $\alpha_{ЧМч}$ — фазовый сдвиг поднесущей на белом (черном). Если узкополосный видеомагнитофон записывает только нижнюю боковую ЧМ спектра, то дифференциальное усиление определяется соотношением $\partial E_{цв}/\partial E_Y=1-U_бJ(B)_б\cos(\omega_б-\Omega_{цв})/[U_чJ(B)_ч\cos(\omega_ч-\Omega_{цв})]$, где $U_бJ(B)_б$ и $U_чJ(B)_ч$ — амплитуды нижней боковой поднесущей цветности при передаче белого (черного); $B_б$, $B_ч$ — индексы модуляции для поднесущей цветности при передаче белого (черного); $\omega_б$, $\omega_ч$ — несущая видеомагнитофона при передаче белого (черного). Дифференциально-фазовые искажения в этом случае $\partial\varphi_{цв}/\partial E_Y=\Delta\varphi_б-\Delta\varphi_ч$, где $\Delta\varphi_б$, $\Delta\varphi_ч$ — сдвиг фазы поднесущей цветности на уровне белого (черного).

Оценим величину $\partial E_{цв}/\partial E_Y$ для видеомагнитофона, в котором наклон ПЧХ (предельной частотной характеристики) сквозного канала равен 5 дБ/октава в области девиации и принято $f_ч=7$ МГц; $f_б=8{,}2$ Мгц. Для простоты предположим $J(B)_б=J(B)_ч$; $\cos(\omega_б-\Omega_{цв})=\cos(\omega_ч-\Omega_{цв})$, тогда $U_б/U_ч=0{,}78$ и дифференциальное усиление $\partial E_{цв}/\partial E_Y=1-0{,}78=0{,}22$, т. е. 22%. Эксперименты показывают, что дифференциальные искажения при записи способом ПЧМ получаются значительно ниже, чем при прямом, однако расчетные соотношения для этого способа в настоящее время отсутствуют.

Способ ПЧМ дает выигрыш по сравнению с прямой записью в отношении сигнал/шум по каналу цветности $\Psi_{цвПЧМ}$. Величину выигрыша можно оценить, используя методику, разработанную в

[29] с учетом перекрестных помех между каналами яркости и цветности. Хорошее качество цветового изображения при прямой записи получается при отношении сигнал/шум $\Psi_п \geqslant 42$ дБ. При записи способом ПЧМ $\Psi_{цв\,ПЧМ}$ возрастает пропорционально сужению полосы сигнала цветности и уменьшается из-за необходимости снижения амплитуды тока записи $I_{цв}$. Отношение сигнал/шум находится из выражения

$$\Psi_{цв\,ПЧМ}=\Psi_п-20\lg\frac{I_{цв}}{I_{опт}}+20\lg\sqrt{\frac{\Delta E_п K_{цв}}{\Delta F_{цв}}},$$

где амплитуда сигнала взята в пиковых значениях, а шума — эффективных. Считая, что $\Psi_п=42$ дБ; $K_{цв}=2$; $\Delta F_п=6$ МГц; $\Delta F_{цв}=3$ МГц, а отношение токов записи выбрано равным 18 дБ, получаем: $\Psi_{цвПЧМ}=42-18+4=28$ дБ. Для прямой записи $\Psi_{цв.п}=\Psi_п-20\lg(E_Y/E_{цв})$. Учитывая, что для сигнала СЕКАМ $20\lg(E_Y/E_{цв})=20\lg(0{,}7/0{,}16)=13$ дБ, получаем $\Psi_{цв.п}=42-13=29$ дБ. Следовательно, при одинаковом отношении сигнал/шум в канале записи при обоих способах записи получается примерно одинаковое отношение сигнал/шум в канале цветности.

Качество воспроизводимого сигнала при записи способом ПЧМ во многом зависит от уровня перекрестных помех между сигналами, записываемыми в ЧМ канале. Запись сравнительно низкочастотных составляющих спектра перенесенного сигнала цветности $E'_{цв}$ происходит с подмагничиванием ЧМ сигналом яркости E_{fY}. Из-за нелинейности возникает ряд помех с частотами $mf_Y \pm nF'_{цв}$ при $m+n \neq 2k$, где $k=0, 1$ ... Система головка/лента не пропускает верхние боковые частоты. Поэтому в основном заметны помехи с частотой $f_Y-2F'_{цв}$ и $3F'_{цв}$. Однако помехи с частотами $f_Y \pm F'_{цв}$; $f_Y \pm 2F'_{цв}$

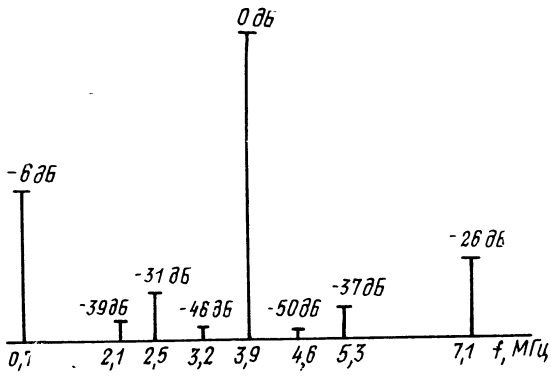

Рис. 4.11. Спектр воспроизводимого сигнала

и «отраженная» помеха $2f_Y-F'_{цв}$ также имеют значительный уровень. На рис. 4.11 изображен спектр воспроизводимого сигнала бытового видеомагнитофона при записи двух частот $f_Y=3{,}9$ МГц,

$F'_{цв}=0{,}7$. МГц и отношении токов записи $I'_{цв}/I_Y=-20$ дБ. Для уменьшения заметности помех их необходимо подавлять. Подавление обычно происходит с помощью фильтра ФНЧ демодулятора и схемы декоррекции видеосигнала. Дополнительное подавление осуществляется установкой ФВЧ в канале яркости. Основной способ снижения помех — уменьшение уровня сигнала цветности, но он приводит к ухудшению отношения сигнал/помеха в канале цветности. Оптимальным соотношением токов записи является 18—22 дБ.

Помехи в виде «муара» могут также возникать в канале цветности. Они образуются в процессе прямого и обратного переноса в кольцевых балансных преобразователях. Спектр выходного сигнала такого преобразователя содержит частоты вида $f=(2m+1)f_г\pm(2n+1)F'_{цв}$.

Наряду с полезной частотой $F_{цв}=f_г-F'_{цв}$ присутствуют помехи вида $f_г-3F'_{цв}$; $f_г-5F'_{цв}$ и др. Чтобы выделить $F'_{цв}$ и подавить помехи, в канал цветности устанавливают полосовой фильтр с крутыми спадами, который ухудшает цветовые переходы. Наиболее подвержены комбинационным помехам голубой и зеленый цвета.

Некоторый выигрыш в отношении сигнал/помеха можно получить, применив при воспроизведении обработку в канале сигнала цветности [26]. Обработка заключается в декоррекции воспроизводимого сигнала с помощью схемы высокочастотных предыскажений (КПВЧ), ограничении и введении высокочастотных предыскажений схемой КВЧ. В [27] предлагается аналогичную обработку применить как для записываемого, так и для воспроизводимого сигнала. В канале записи КПВЧ ограничитель уменьшает шумы и стабилизирует ток записи $I'_{цв}$, что особенно важно при колебаниях уровня входного сигнала. При воспроизведении обработка очищает сигнал цветности от помех и уменьшает уровень шумов. В некоторых случаях применяется схема дифференциального АРУ, управляющего порогом ограничения, позволяющая поддерживать уровень воспроизводимого сигнала цветности с высокой точностью. Заметный выигрыш в уровне помех, особенно на голубом и зеленом цвете, можно получить, если резонансные частоты схем КПВЧ и КВЧ раздвинуть. На рис. 4.12 приведены АЧХ схем КПВЧ ($f_0=4{,}286$ МГц) и КВЧ ($f_0=4{,}529$ МГц), обеспечивающих оптимальное подавление помех. Распределение шумов на выходе схемы декоррекции зависит от смещения частоты поднесущей цветности $F_{цв}$ относительно частоты настройки f_0. При $f_0=F_{цв}$ все составляющие шумов подавляются одинаково. При наличии смещения $\delta=F_{цв}-f_0$ происходит перераспределение шумов. На рис. 4.13 изображены зависимости эффективного напряже-

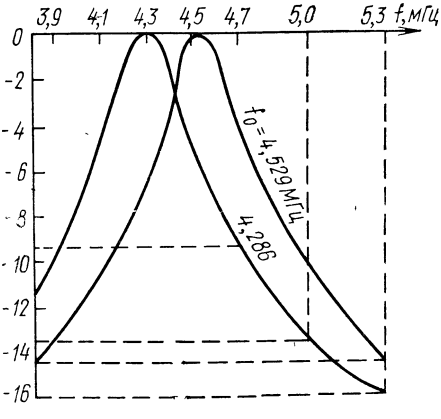

Рис. 4.12. АЧХ схем КПВЧ и КВЧ

ния шума на выходе при наличии смещения f_0. С ростом смещения низкочастотные шумы подавляются сильнее, а высокочастотные меньше. Оптимальный выбор частот настройки схем предыскажений и декоррекции позволяет уменьшить уровень комбинационных помех и одновременно повысить отношение сигнал/шум по флуктуационным шумам в канале цветности.

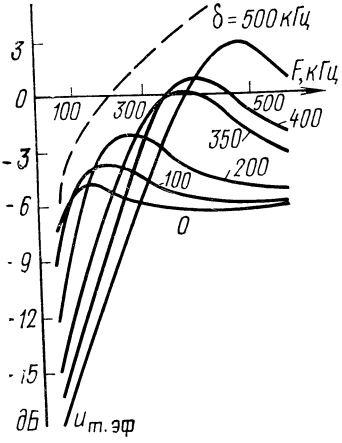

Рис. 4.13. Зависимость эффективных шумов на выходе от величины смещения δ:
с декоррекцией; — — — — без декоррекции

4.5. Запись способом ПЧМ сигналов НТСЦ И ПАЛ

Для правильного декодирования сигналов НТСЦ и ПАЛ необходимо обеспечить воспроизведение с магнитной ленты стабильной по фазе поднесущей цветности. Выполнить это требование только за счет улучшения лентопротяжных механизмов и САР бытовых видеомагнитофонов невозможно. Для декодирования цвета без искажений в системе НТСЦ точность фазы цветовой поднесущей должна быть не хуже ±5°, а в системе ПАЛ соответственно ±20°. Это соответствует временно́й нестабильности ±1,75 нс для НТСЦ и ±6,4 нс для ПАЛ. Поэтому при записи сигналов НТСЦ и ПАЛ применяется электронная компенсация временно́й нестабильности видеомагнитофона, хотя эти сигналы записываются тем же способом ПЧМ, что и сигналы СЕКАМ [47]. В ряде случаев для компенсации временно́й нестабильности используют пилот-сигнал. Идея компенсации состоит в том, что на ленту одновременно записываются перенесенная в область низких частот поднесущая цветности и пилот-сигнал, фазовый сдвиг между которыми поддерживается строго постоянным. При воспроизведении нестабильность скорости ленты и частоты вращения головок одинаково воздействует как на пилот-сигнал, так и на перенесенную поднесущую цветности. Путем сравнения фазы пилот-сигнала с фазой стабильного кварцевого генератора выделяется сигнал ошибки, которым подстраивается фаза воспроизводимо́й поднесущей. Тем самым компенсируются возникающие в процессе воспроизведения фазовые ошибки. Структурная схема формирования пилот-сигнала при записи приведена на рис. 4.14. Из входного сигнала НТСЦ выделяется сигнал вспышки, который подстраивается по фазе генератором *1*. Сигнал частотой 3,58 МГц от генератора по-

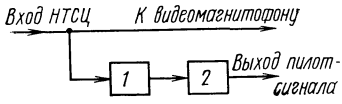

Рис. 4.14. Структурная схема формирования пилот-сигнала при записи НТСЦ

ступает в делитель 2, где делится до частоты пилот-сигнала (обычно эта частота лежит в пределах 70—240 кГц). Полученный пилот-сигнал записывается вместе с перенесенной поднесущей цветности на ленту. Для устранения интермодуляционных искажений уровень тока записи перенесенной поднесущей выбирается на 6 дБ ниже оптимального, а уровень тока записи пилот-сигнала на 16—18 дБ ниже уровня тока записи ЧМ сигнала яркости.

При воспроизведении сигнал от головки разделяется на три канала (рис. 4.15). Фильтром верхних частот *1* отделяется ЧМ сигнал яркости, который демодулируется демодулятором *2* и подается в сум-

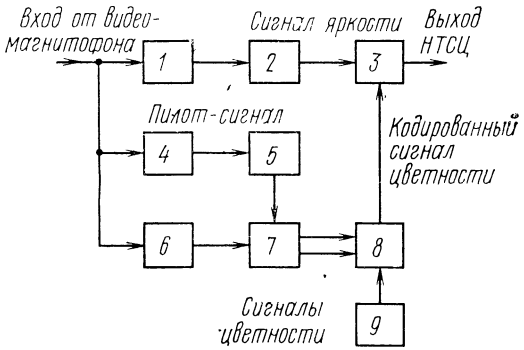

Рис. 4.15. Структурная схема канала воспроизведения с коррекцией фазы цветной поднесущей по пилот-сигналу

матор *3*. Полосовой фильтр *4* выделяет пилот-сигнал, подаваемый в умножитель *5*. Полосовой фильтр *6* отфильтровывает поднесущую цветности, которая демодулируется в демодуляторе цветности *7* с помощью умноженной частоты пилот-сигнала. Сигналы цветности подаются в модулятор *8*, в котором они подвергают квадратурной модуляции поднесущую 3,58 МГц, вырабатываемую кварцевым генератором *9*. С выхода модулятора поднесущая цветности подается на второй вход сумматора *3*, на выходе которого образуется полный сигнал НТСЦ, не содержащий временных искажений.

Основным недостатком описанного способа записи является потенциальная возможность появления перекрестных искажений в виде помех типа «муара». Они вызываются проникновением остатков пилот-сигнала в канал воспроизведения изображения. Для устранения этого явления разработаны два других способа компенсации временных искажений — способ с выделением сигнала вспышки и подстройкой гетеродина этим сигналом и способ гетеродинирования.

Структурная схема канала изображения видеомагнитофона, предусматривающего запись сигналов НТСЦ способом ПЧМ с выделением вспышки, приведена на рис. 4.16. Сигнал яркости, выделенный фильтром *1*, поступает в модулятор *2*. В сигнал яркости перед модуляцией вводятся предыскажения, ЧМ сигнал яркости подается на фильтр *3*, усиливается усилителем записи *4* и поступает в головку. Сигнал цветности выделяется полосовым фильтром *5* и

подается в смеситель *6*, на который подается сигнал гетеродина *8*, стабилизированного кварцем. С помощью гетеродина поднесущая цветности с частоты 3,579545 МГц переносится на частоту 767,04537 кГц, усиливается усилителем записи сигнала цветности *7* и также поступает в головку. Частота, на которую переносится

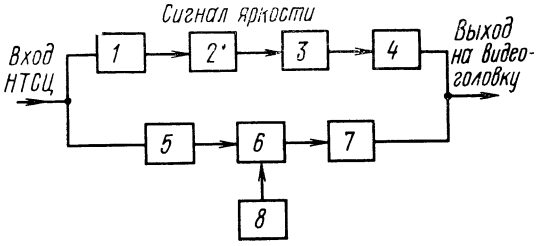

Рис. 4.16. Структурная схема канала записи с выделением вспышки

поднесущая цветности, $F'_{цв} = [(2n-1)/4]F_{стр}$, где $n=97$ — коэффициент, выбираемый в соответствии с расстановкой частот в ЧМ канале; $F_{стр} = 15{,}734264$ кГц — частота строчной развертки.

Структурная схема канала воспроизведения видеомагнитофона с выделением сигнала вспышки, декодированием сигналов цветности и коррекций временных искажений изображена на рис. 4.17. Сигнал

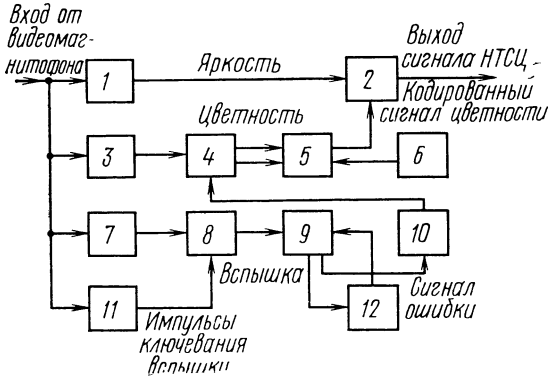

Рис. 4.17. Структурная схема канала воспроизведения НТСЦ с выделением вспышки

от видеомагнитофона параллельно подается на фильтры *1*, *3*, *7* и в формирователь строб-импульсов вспышки и селектор синхроимпульсов *11*. Фильтром нижних частот *1* выделяется сигнал яркости, который поступает на один из входов сумматора *2*. Полосовой фильтр *3* выделяет сигнал цветности, который демодулируется на сигналы

I и *Q* с помощью синхродетекторов *4*. Опорный сигнал для синхродетекторов вырабатывается управляемым генератором *10*. Подстройка управляемого генератора осуществляется сигналом цветности, который проходит полосовой фильтр *7*. Вспышка, выделенная ключевым каскадом *8*, подается на фазовый дискриминатор *9*, в котором фаза вспышки сравнивается с фазой опорного генератора *12*. Сигнал ошибки с фазового дискриминатора *9* подстраивает управляемый генератор *10* таким образом, чтобы при синхронном детектировании происходила компенсация фазовых искажений воспроизводимого сигнала цветности. Если из-за нестабильности временнóго масштаба воспроизводимого сигнала фаза поднесущей сигнала цветности изменяется, то в ту же сторону изменяется фаза управляемого генератора *10*. Таким образом, сигналы цветности после синхронного детектирования не будут содержать фазовых ошибок. Сигналы цветности подаются на кодирующее устройство *5*, в которое также приходит сигнал новой поднесущей цветности от кварцевого генератора *6*. Кодированная поднесущая цветности поступает на второй вход сумматора *2*, на выходе которого образуется полный сигнал НТСЦ, не содержащий фазовых искажений.

Структурная схема аналогичного канала воспроизведения, рассчитанного на работу с цветными сигналами ПАЛ, приведена на рис. 4.18. Воспроизводимый сигнал подается параллельно на полосо-

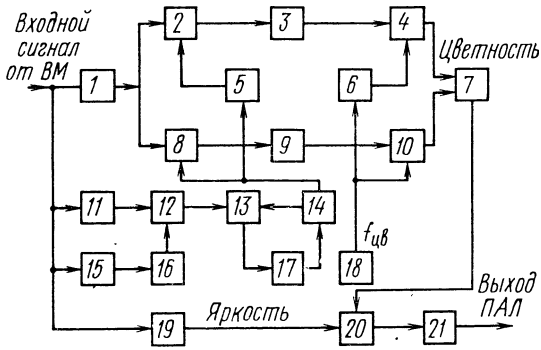

Рис. 4.18. Структурная схема канала воспроизведения ПАЛ

вые фильтры I и II поднесущей сигнала цветности, фильтр нижних частот (3,5 МГц), выделяющий сигнал яркости, и селектор синхроимпульсов *15*. Фазо-модулированная поднесущая сигналов цветности с выхода фильтра *1* поступает на два параллельных канала, на входе которых включены фазовые демодуляторы *2* и *8*. Для декодирования поднесущей, содержащей фазовые ошибки, на фазовые демодуляторы подается специально сформированный опорный сигнал. Его формирование осуществляется с помощью управляемого генератора *14*, фаза колебаний которого подстраивается сигналом вспышки, выделяемым из воспроизводимой поднесущей цветности, прошедшей фильтр *11* и ключевой каскад *12*. Формирование ключевых импульсов из воспроизводимого сигнала осуществляется пу-

тем выделения с помощью амплитудного селектора *15* строчных синхроимпульсов, запускающих генератор ключевых импульсов вспышки *16*, которые управляют ключевым каскадом *12*. Сигнал вспышки с выхода ключевого каскада *12* подается на фазовый детектор *13*, на второй вход которого поступает частота управляемого генератора *14*. Сигнал ошибки с фазового детектора *13* через цепь обратной связи *17* подстраивает фазу управляемого генератора *14*. Опорная частота от генератора *14* подается на демодулятор *8* непосредственно, а на демодулятор *2* через цепь *5*, сдвигающую фазу на 90°. Так как сигнал вспышки имеет такую же временну́ю нестабильность, как и поднесущая цветности, то демодулированные сигналы цветности не имеют фазовых искажений. Пройдя фильтры нижних частот (1 МГц) *3* и *9*, сигналы цветности поступают в соответствующие балансные фазовые модуляторы *4* и *10*. Сигнал поднесущей цветности подается от кварцевого генератора *18* на фазовый модулятор *10* непосредственно, а на фазовый модулятор *4* через цепь *6*, сдвигающую фазу поднесущей на 90°. Сигналы с выходов балансных модуляторов складываются в сумматоре *7* и подаются в сумматор *20*, где они суммируются с сигналом яркости, прошедшим фильтр *19*. Полный цветной сигнал ПАЛ усиливается видеоусилителем *21* и поступает на выход схемы. Основным недостатком рассмотренных схем коррекции фазы поднесущей цветности являются искажения, возникающие в процессе декодирования и повторного кодирования сигналов. Кроме того, кодирующие и декодирующие устройства значительно повышают стоимость бытовых видеомагнитофонов, так как содержат дорогостоящие детали. По мере развития интегральной техники преимущественное применение получает способ гетеродинирования. Структурная схема канала воспроизведения, построенного по этому способу, приведена на рис. 4.19. Для удобства пояснения работы схемы принимаем следующие обозначе-

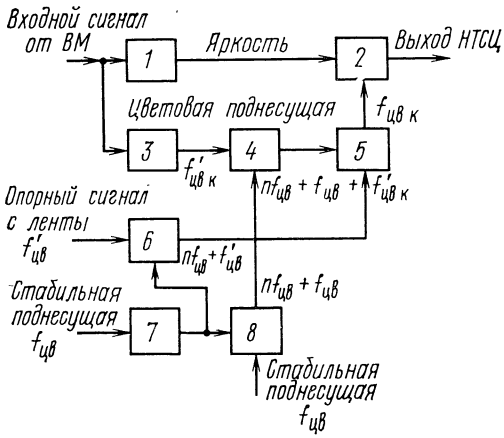

Рис. 4.19. Структурная схема канала воспроизведения НТСЦ с коррекцией методом гетеродинирования

ния сигналов: $F_{цв}$ — опорная поднесущая цветности; $F'_{цв}$ — поднесущая цветности, содержащая фазовую модуляцию, вызываемую неравномерностью движения ленты; $nF_{цв}$ — опорная поднесущая цветности, умноженная в n раз; $F_{цв.к}$ — поднесущая, кодированная цветовыми сигналами; $F'_{цв.к}$ — кодированная поднесущая цветности, воспроизводимая с ленты; ΔF — приращение частоты поднесущей из-за нестабильности скорости ленты и головок.

Поднесущую цветности $F'_{цв.к}$, воспроизводимую с ленты, обычно получают или методом управления фазой генератора опорной частоты сигналом вспышки, выделяемой из воспроизводимого цветного сигнала, или методом пилот-тона. Опорную поднесущую $F_{цв}$ вырабатывает генератор, стабилизированный кварцем.

Входной сигнал от видеомагнитофона поступает на фильтр нижних частот *1*, выделяющий сигнал яркости, который затем подается на один из входов сумматора *2*. Полосовым фильтром *3* из полного цветного телевизионного сигнала выделяется кодированная поднесущая цветности $F'_{цв.к}$. Схема содержит умножитель частоты *7* и четыре смесителя *8*, *6*, *4* и *5*. Опорная поднесущая $F_{цв}$ поступает на вход смесителя *8*, на второй вход которого подается та же опорная поднесущая, но умноженная умножителем *7* в n раз. На выходе смесителя *8* образуются сигналы $nF_{цв}+F_{цв}$ и $nF_{цв}-F_{цв}$. Нижняя боковая частота подавляется. На смеситель *6* подается частота $nF_{цв}$ и поднесущая цветности, воспроизводимая с ленты. На выходе смесителя *6* образуются сигналы $nF_{цв}+F'_{цв.к}$ и $nF_{цв}-F'_{цв.к}$. Нижняя боковая частота подавляется. Верхняя боковая частота подается на смеситель *5*. Кодированная поднесущая цветности $F'_{цв.к}$, воспроизводимая с ленты и прошедшая фильтр *3*, приходит на вход смесителя *4*. На второй его вход подается частота $nF_{цв}+F_{цв}$. Таким образом, на выходе смесителя *4* образуются сигналы $nF_{цв}+F_{цв}+$ $+F'_{цв.к}$; $nF_{цв}+F_{цв}-F'_{цв.к}$. Нижняя боковая частота подавляется, а верхняя поступает на второй вход смесителя *5*. На выходе этого смесителя получаются сигналы $nF_{цв}+F_{цв}+F'_{цв.к}+nF_{цв}+F'_{цв}$ и $nF_{цв}+F_{цв}+F'_{цв.к}-nF_{цв}-F'_{цв}$. Учитывая, что $F'_{цв.к}=F_{вц.к}+\Delta F$; $F'_{цв}=F_{цв}+\Delta F$, получаем $2nF_{цв}+2F_{цв}+2\Delta F+F_{цв.к}$; $F_{цв.к}$. Нижняя боковая частота $F_{цв\,к}$ представляет собой кодированную поднесущую цветности, не содержащую временных искажений. Она отфильтровывается и подается на второй вход сумматора *2*. На выходе сумматора *2* образуется полный цветной сигнал НТСЦ, не содержащий фазовых ошибок из-за нестабильности видеомагнитофона.

Цветные телевизионные сигналы, кодированные по системе НТСЦ, можно записать, применив способ двойной модуляции несущей видеомагнитофона. Идея способа состоит в том, что для передачи информации о цветном телевизионном сигнале несущую видеомагнитофона модулируют по частоте, а для коррекции временных искажений — пилот-сигнал по амплитуде. При воспроизведении пилот-сигнал отделяют от ЧМ сигнала и с его помощью корректируют фазу воспроизводимой поднесущей цветности. Структурная схема канала изображения видеомагнитофона, реализующего этот способ, изображена на рис. 4.20.

При записи сигнал НТСЦ поступает в ЧМ модулятор *1*, где модулирует несущую частотой 5,5 МГц, которая затем подается в АМ модулятор *2*. Параллельно сигнал НТСЦ идет на схему выделения сигнала вспышки *3*. Сигнал вспышки подстраивает фазу генератора цветовой поднесущей *4*, частота которого 3,58 МГц делится делите-

лем *5* до частоты пилот-сигнала 0,895 МГц. Пройдя фильтр *6*, пилот-сигнал поступает в АМ модулятор *2*, в котором модулирует по амплитуде ЧМ несущую видеомагнитофона, подаваемую в усилитель записи.

При воспроизведении АМ ЧМ сигнал ограничивается в *7* и демодулируется демодулятором *8*. После регенерации импульсной части в системе обработки *9* из воспроизводимого сигнала фильтром

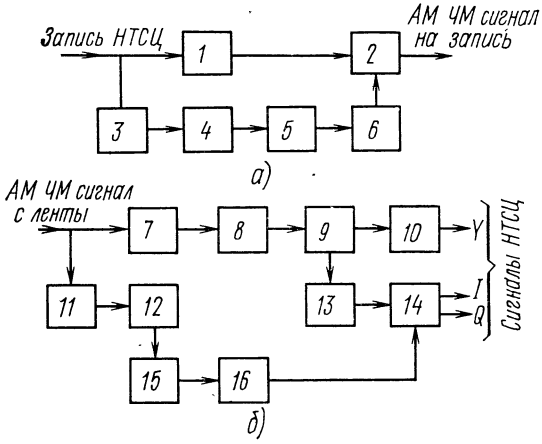

Рис. 4.20. Структурная схема канала изображения НТСЦ с коррекцией по способу двойной модуляции несущей

нижних частот *10* выделяется сигнал яркости, а полосовым фильтром *13* сигнал цветности, который поступает в синхронные детекторы *14* сигналов *I* и *Q*. Опорная частота для синхронного детектирования сигналов цветности формируется из воспроизводимого АМ ЧМ сигнала. Сигнал АМ, выделенный фильтром *11*, детектируется детектором *12* и подается на резонансную цепь с высокой добротностью *15*; с помощью этой цепи выделяется пилот-сигнал, несущий информацию о временных искажениях воспроизводимого сигнала. Пилот-сигнал умножается умножителем *16* до частоты поднесущей цветности 3,58 МГц и подается в синхронный детектор *14*. Так как опорная частота и поднесущая цветности имеют одинаковые фазовые искажения, то при синхронном детектировании сигналы *I* и *Q* восстанавливаются без цветовых искажений.

Рассмотренный способ записи с двойной модуляцией несущей видеомагнитофона довольно прост, но имеет существенный недостаток: процесс магнитной записи сопровождается значительными нелинейными искажениями. Из-за них АМ ЧМ сигнал получает искажения, которые приводят к ошибкам при компенсации временных искажений.

Глава 5

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОМАГНИТОФОНОВ ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

5.1. Общие сведения

Видеомагнитофоны широко применяются при подготовке программ для телевизионного вещания. Поэтому Останкинский телецентр имеет аппаратные, в которых насчитывается свыше 100 видеомагнитофонов [30]. В новом блоке видеозаписи (ЦБВЗ) [31] на Олимпийском телецентре (ОТРК) установлены самые современные видеомагнитофоны (рис. 5.1), выпускаемые в Советском Союзе («Кадр-3ПМ», «Кадр-5») и за рубежом (AVR-3, HS-100C, VPR-2, BCN-50, VPR-20, BCN-20 и др.).

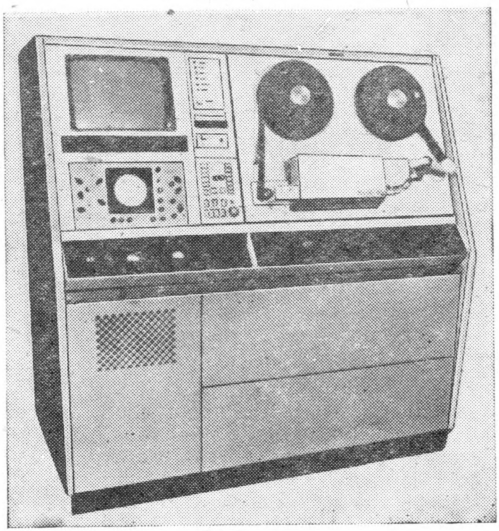

Рис. 5.1. Видеомагнитофон «Кадр-3ПМ» — основное оборудование Олимпийского телецентра

На рис. 5.2 представлены типовые технологические схемы малого и крупного телецентров. В состав АСБ малого телецентра (рис. 5.1*а*) входят видеомагнитофоны. Все виды передач проходят через аппаратную АСБ и пульт видеорежиссера. При такой технологии невозможно обеспечить равномерную загрузку видеомагнитофонов и для центрального телевидения она нерентабельна.

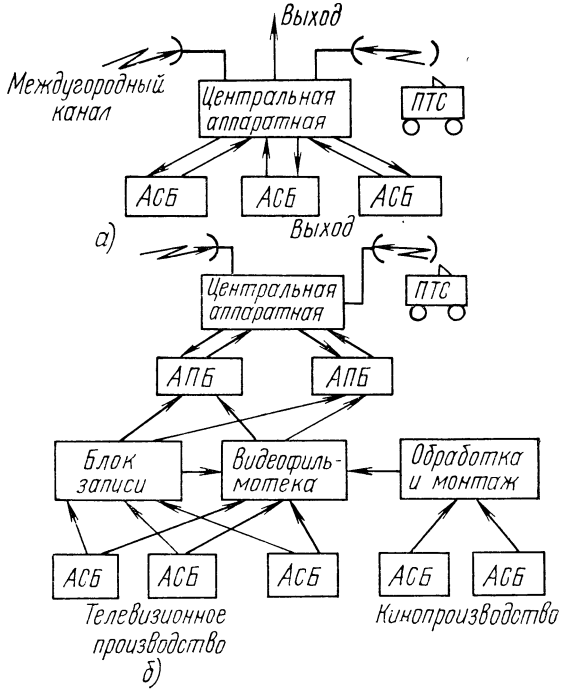

Рис. 5.2. Технологическая схема:
а — малого телецентра; *б* — крупного телецентра

В технологической схеме крупного телецентра (рис. 5.1*б*) отдельные его звенья специализируются. Выделяется блок видеозаписи, появляются аппаратно-программные блоки (АПБ), в которых происходит формирование законченных программ и выдача их в эфир. АСБ получают свою небольшую видеомагнитофонную аппаратную, что позволяет широко использовать ее для записи репетиций, контрольных просмотров и других вспомогательных работ.

Как правило, процесс подготовки и передачи программы с помощью видеомагнитофонов на телецентре складывается из трех основных технологических операций. Первая — запись первичных видеофонограмм — оригиналов. При этом в аппаратных видеозаписи (АВЗ) записываются отдельные фрагменты программы, по-

ступающие из студий телецентра, из телекинопроекционных или от внестудийных источников. Вторая — монтаж и озвучивание программы, производится полностью на телецентре в монтажных аппаратных (АМЗ). Третья — передача в эфир готовой программы, производится, как правило, в их аппаратно-программных блоках (АПБ). Весь технологический процесс реализуется с помощью студийных стационарных четырехголовочных видеомагнитофонов, дисковых видеомагнитофонов, репортажных видеомагнитофонов, а также комплекса контрольно-коммутационной аппаратуры и вспомогательного оборудования.

На телецентрах с небольшим объемом вещания (два, шесть видеомагнитофонов) основные технологические операции обычно совмещаются. Видеомагнитофоны устанавливаются в универсальной аппаратной вместе с пультом управления ПАВЗ-Ш [32]. С помощью пульта ПАВЗ-Ш может осуществляться коммутация видео- и звуковых сигналов, управление видеомагнитофонами при записи и воспроизведении, их контроль, а также ручной электронный монтаж программ, особенно при его некоторой модернизации [33].

На крупных телецентрах, например на телевизионном техническом центре имени 50-летия Октябрьской революции в Москве (ТТЦ), создан единый блок видеозаписи, состоящий из шести АВЗ и нескольких АМЗ и АБВ [34]. Централизация аппаратных с видеомагнитофонами позволяет более равномерно загружать аппаратуру и лучше ее использовать. Аппаратные блоки видеозаписи получают сигналы централизованной синхронизации. Это позволяет при синхронном воспроизведении программы обеспечить коммутацию сигналов без сбоев, а также их микширование с сигналами других источников программ. Например, синхрогенератор АЦ Олимпийского телецентра (ОТРК) будет обслуживать сигналами централизованной синхронизации все аппаратные видеозаписи и источники программ (общее число потребителей около 480). Он сам, в свою очередь, будет управляться от высокостабильного синхрогенератора, установленного на ТТЦ. Это позволит ЦБВЗ ОТРК осуществить одновременную запись всех соревнований Олимпиады, запись национальных программ, воспроизведение как сформированных программ, так и их фрагментов, монтаж и тиражирование, а также совмещение видеозаписи со звуковым сопровождением.

Как показывает зарубежный опыт, крупные блоки видеозаписи легче, чем отдельные мелкие разбросанные аппаратные, охватить автоматизированной системой управления. Поэтому единый блок ЦБВЗ удобен для автоматизации.

Для применения видеомагнитофонов на телецентрах важное значение имеет обмен программами и стандартизация аппаратуры. Все студийные видеомагнитофоны, используемые в настоящее время на телецентрах, выполняются в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (МЭК). Основные положения по стандартизации сигналограммы четырехголовочных видеомагнитофонов изложены в публикации № 347 МЭК [9]. Для улучшения обмена программами между телецентрами внутри страны и между странами также принят ряд рекомендаций международными радиовещательными организациями (ОИРТ, МККР), которые отражены в требованиях соответствующих ГОСТ. Все они направлены на обеспечение высокого качества записей и возмож-

ности их воспроизведения на любом хорошо отрегулированном видеомагнитофоне.

Следует отметить, что вся эта отлаженная в течение многих лет технология видеозаписи на телецентрах весьма консервативна. Наличие фондовых записей в видеофильмотеках, громадная стоимость существующей видеозаписывающей аппаратуры на ленту 50,8 мм — все это тормозит внедрение новой более экономичной и прогрессивной технологии. Вместе с тем принятие международных рекомендаций для сигналограмм на ленту шириной 25,4 мм и расширение производства аппаратуры, работающей на этой ленте, уже в ближайшие годы приведут к значительному изменению состава видеомагнитофонов на телецентре и способов их использования.

5.2. Внестудийное вещание и видеожурналистика

Внестудийные передачи в настоящее время создаются с помощью передвижных телевизионных станций (ПТС), позволяющих вести репортаж с помощью радиолиний непосредственно с места событий [35]. С увеличением расстояния до телецентра качество сигнала, поступающего от ПТС, ухудшается. Кроме того, ПТС во время работы занимает на телецентре радиоканал и аппаратную видеозаписи, что не всегда удобно. Известным выходом было создание передвижных станций магнитной видеозаписи (ПТМЗ), работающих совместно с ПТС (табл. 5.1). Первая ПТМЗ была разработана ВИНИТР в 1962 г. [36]. Внутри автобуса ЗИЛ-158 размещались видеомагнитофон «Кадр-1» и вспомогательное оборудование. Станция позволила провести много уникальных репортажей из самых отдаленных концов нашей страны. В 1970 г. была разработана ПВС-1 [37]. Видеомагнитофон «Кадр-3» устанавливался в автобусе ЛИАЗ-158, вся аппаратура станции была выполнена на полупроводниковых приборах. В 1974 г. была разработана и серийно выпускается станция ПВС-3. Она выполнена на базе автобуса ПАЗ-672, обладающего повышенной проходимостью. Внутри кузова размещены видеомагнитофон «Кадр-3П», стойка с контрольно-измерительным оборудованием, стойка питания и стойка контроля и коммутации. Для повышения комфорта обслуживающего персонала предусмотрены отопители салона и кондиционер. Помимо основного технического отсека имеется салон для отдыха и вспомогательный кабельный отсек. Питается ПВС-3 от местной сети и работает совместно с ПТС.

Хотя ПВС-3 и ПТС вполне пригодны для проведения внестудийных записей, они имеют ряд недостатков: большое время развертывания, связанное с размещением камер и видеомагнитофона «Кадр-3П» в различных автобусах; большое потребление энергии и пр. Все это привело к разработке новых репортажных станций (см. табл. 6.1). Большой интерес представляет станция ПТВС-2ЦТ [38], при создании которой в автобусе ПАЗ-672 кроме видеомагнитофона «Кадр-3П» удалось разместить две телевизионные камеры КТ-116М, аппаратуру формирования видеосигнала для двух камерных каналов, стойку синхросигналов, стойку с контрольно-измерительной аппаратурой, стойку питания и пульт с блоком специальных эффектов видеорежиссера. Для записи звукового сопровождения станция имеет набор звуковой аппаратуры, микрофоны,

ТАБЛИЦА 5.1

Тип станции	Год разработки	Тип автобуса	Тип видео-магнитофона	Питание, В/кВт	Тип и число ТВ камер	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
ПТМЗ	1962	ЗИЛ-158	«Кадр-1»	220/10	—	Работа с ПТС. Первые записи черно-белых программ. Лампово-полупроводниковое оборудование
ПВС-1 ЦТ	1970	ЛИАЗ-158	«Кадр-3»	220/10	—	Работа с ПТС. Полупроводниковое оборудование
ПВС-3 ЦТ	1974	ПАЗ-672	«Кадр-3П»	220/10	—	Работа с ПТС. Полупроводниковое оборудование. Кондиционер 3-го отсека. Салон для перевозки и отдыха персонала
АРТС-ЦТ «Юпитер»	1975	«Юность», ЗИЛ-118	«Кадр-103» одноголовочный с регенератором РГ-100	220 и автономное питание с отбором мощности от двигателя	КТ-116М, 1 шт. (на турели)	Имеется радиолиния. Работает на стоянке и в движении
ПТВС-1 ч/б	1975	ПАЗ-672	«Кадр-3П»	220/14	КТ-87, 2 шт.	Работает автономно на стоянке. Кондиционер
ПТВС-2ЦТ	1976—1978	ПАЗ-672	«Кадр-3П»	220/16	КТ-116м, 2 шт.	Работает автономно на стоянке. Кондиционер
РТВС-1	1978	ПАЗ-672	«Кадр-3П»	220	2 камеры КТ-132	Кондиционер КТ-4. Электрокалориферы. Работа на стоянке. Малое время развертывания
ПРТС ч/б	1975	УАЗ-452А	«Кадр-103» одноголовочный	220 и автономное от батарей через преобразователь	2 камеры опытных черно-белых на видиконах	Работа на стоянке и в движении. Малое время развертывания. Легкие камеры повышенной чувствительности
ПРТС ЦТ	1977	УАЗ-452А	«Кадр-103» одноголовочный и регенератор РГ-100	220/1,6	2 камеры КТ-302Р на плюмбиконах или кадмибиконах	Отопитель 220 В 50 Гц 1,2 кВт. Камерные головки массой 7,5 кг. Камеры автоматизированные, повышенной чувствительности. Работает на стоянке. Время развертывания не более 20 мин

громкоговорители и звуковой магнитофон МЭЗ-101П. От внешней сети 220 Вт (50 Гц) станция потребляет не более 16 кВт. Подобная станция может самостоятельно выезжать к местам проведения репортажей, записывать их, отсылать на телецентр видеофильмы, не возвращаясь длительное время на базу.

ТАБЛИЦА 5.2

Параметр	Значение параметров катушечных		
	«Электроника-видео-501» (СССР)	VR-3000 B, «Ampex» (США)	TTR-10, RCA (США)
Общие характеристики:			
назначение	бытовой	репортажный	репортажный
ширина ленты, мм	12,7	50,8	50,8
число головок, шт.	2	4	4
сигналограмма	нестандартная	стандартная	стандартная
габаритные размеры, мм	280×309×162	610×355×200	610×355×200
масса, кг	12	25	25
потребляемая мощность, Вт	20	—	—
время записи, мин	35	20	20
скорость ленты, см/с	16,32	39,7	39,7
скорость головка/лента, м/с	8,9	40	40
Канал изображения:			
полоса частот, МГц	2,5	6,0	6,0
отношение сигнал/шум, дБ	40	43	43
Канал звука:			
число звуковых сигналов	1	1	1
полоса частот, кГц	0,1—10	0,05—10	0,05—10
сигнал/шум, дБ	38	40	40

Развитие микроэлектроники в СССР привело к появлению малогабаритных цветных репортажных камер и одноголовочных видеомагнитофонов, работающих на ленте 25,4 мм, что позволило

Рис. 5.3. Передвижная репортажная станция ПРТС-ЦТ

создать еще более совершенные репортажные средства (табл. 5.2). Их отличительными чертами являются высокая мобильность, минимальное время развертывания, малая потребляемая мощность и удобство эксплуатации и обслуживания. Репортажная станция ПРТС-ЦТ [39] размещена в автомашине УАЗ-452 (рис. 5.3). В со-

видеомагнитофонов для видеожурналистики				
VPR-20, «Ampex» (США)	BCN-20, «Bosch-Feruseh» (ФРГ)	MR-20, «Marconi» (Италия)	VPR-20, «Philips» (Бельгия)	BVH-500 P/S, «Sony» (Япония)
репортажный	репортажный	репортажный	репортажный	репортажный
25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
1,5	2	1,5	1,5	1,5
стандартная	стандартная	стандартная	стандартная	стандартная
422×450×229	200×380×410	422×450×229	422×450×229	—
20	20	20	20	18
36	65	36	36	—
60	52	60	60	60
24,0	24,3	24,0	24,0	24,0
21	24	21	21	21
6,0	6,0	6,0	6,0	5,5
43	43	43	43	43
2	2	2	2	2
0,05—15	0,04—15	0,05—15	0,05—15	0,05—15
56	55	56	56	55

став ее входят две цветные репортажные камеры КТ-302Р массой 8,8 кг, которые могут быть удалены от станции на расстояние до 100 м.

Внутри станции размещаются два камерных канала, микрофонно-коммутационное устройство с генератором спецэффектов, кодер и синхрогенератор, комплект звукового и контрольно-вспомогательного оборудования. Запись репортажей ведется на одноголовочном видеомагнитофоне «Кадр-103», укомплектованном регенератором РГ-100 [40]. Станция снабжена двусторонней служебной связью. Дистанционное управление камерами и видеомагнитофоном может осуществляться с помощью выносных пультов. Предусмотрены три типа контроля за качеством записываемых и воспроизводимых сигналов: за формой сигналов — по осциллографу; за содержанием программы, передаваемой каждой камерой в отдельности по черно-белому ВКУ; за качеством и содержанием записываемой и воспроизводимой программы — по цветному ВКУ. Для удобства оператора на экран ВКУ выведены показания счетчика длительности записываемой программы, а также специальные метки, показывающие пределы временных ошибок в воспроизводимом сигнале по строкам и уровень звукового сопровождения. Звуковое сопровождение контролируется также с помощью стрелочных приборов и наушников. Вентиляция салона станции осуществляется с помощью приточного вентилятора. Для отопления в станции установлен тепловентилятор мощностью 1,2 кВт, а для защиты от перегрева над крышей автомобиля можно закреплять тент. Все оборудование станции питается от промышленной сети напряже-

нием 220 В и потребляет 1,6 кВт. При разбросе напряжения сети для обеспечения нормальной работы в станции предусмотрена ручная регулировка напряжения питания, подаваемого в салон. Время подготовки станции к репортажу составляет 20 мин, причем прогрев аппаратуры не превышает 5 мин. Станция может быть подключена к автономным перевозимым источникам питания.

Использование ПРТС-ЦТ на телецентрах позволяет значительно улучшить подготовку программ, но принятая технология (рис. 5.4*а*) имеет ряд недостатков. Записанные программы перед пере-

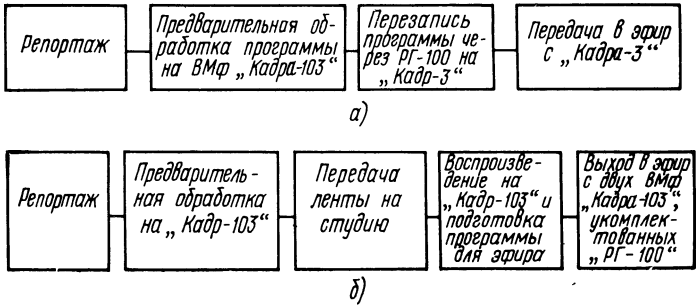

Рис. 5.4. Технология репортажа с ПРТС-ЦТ:
а — с видеомагнитофоном «Кадр-103АС», имеющим систему слежения за строкой

дачей в эфир приходится переписывать на студийные видеомагнитофоны. Поэтому удобнее технология, при которой репортажные программы привозятся на телецентр отдельно, без возвращения ПРТС-ЦТ на базу, и воспроизводятся в эфир без перезаписи (рис. 5.4*б*). Подобная технология возможна при использовании в репортажных станциях и на телецентрах модернизированных одноголовочных видеомагнитофонов «Кадр-103АС», оборудованных системой слежения за строкой САР-С, которая обеспечивает надежную взаимозаменяемость записей. Небольшие габариты и масса таких видеомагнитофонов позволяют устанавливать на каждый камерный канал свой индивидуальный видеомагнитофон. Это значительно расширяет творческие возможности режиссера. Репортаж ведется по методу «многокамерной киносъемки». Затем внутри станции производится электронный монтаж программы на двух видеомагнитофонах. Режиссер, используя два различных по содержанию оригинала, имеет возможность более тщательно подготовить программу до передачи ее на телецентр. Кроме того, запись ответственных репортажей, не повторимых по содержанию сюжетов, можно производить с двукратным резервированием.

Создание малогабаритных цветных камер и переносимых видеомагнитофонов в последнее время привело к появлению нового вида репортажа — видеожурналистики (ВЖ). На рис. 5.5 показан комплект аппаратуры «видеожурналиста» фирмы «Ampex» (США), в который входит портативная репортажная камера и четырехголовочный переносимый видеомагнитофон VR-3000. Основное назначение видеомагнитофона — высококачественная запись программ,

воспроизведение которых происходит на телецентре на стационарных аппаратах. Впервые репортаж подобным комплектом был сделан на Олимпиаде в г. Гренобле (1968 г.) и с тех пор он является неизменным спутником всех Олимпиад. Репортажные переносимые видеомагнитофоны (см. табл. 5.2) имеют упрощенные каналы воспроизведения изображения и звука, которые служат только для контроля сделанной записи. Питание видеомагнитофона, телекамеры и видоискателя производится от одного аккумулятора, который рассчитан на 40 мин работы. Управление видеомагнитофоном осуществляется непосредственно с пульта управления камеры, а видеоискатель од-

Рис. 5.5. Комплект для «видеожурналистики», состоящий из камеры и переносимого ранцевого четырехголовочного видеомагнитофона

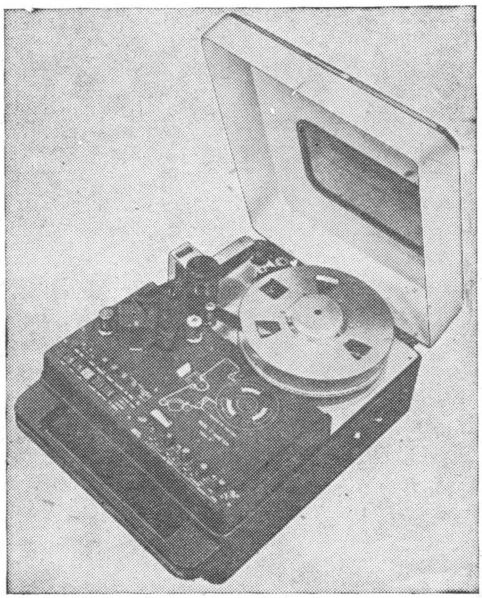

Рис. 5.6. Переносимый видеомагнитофон для видеожурналистики BCN-20 (лента шириной 25,4 мм, формат B)

новременно используется как видеоконтрольное устройство. В дальнейшем четырехголовочные переносимые видеомагнитофоны были усовершенствованы: приспособлены для работы по различным телевизионным стандартам (525/60 и 625/50) и с различными системами кодирования цветовых сигналов (ПАЛ, СЕКАМ, НТСЦ). Однако их главный недостаток — большая масса катушек, малое время записи (20 мин) и быстрый расход питания — исправить невозможно.

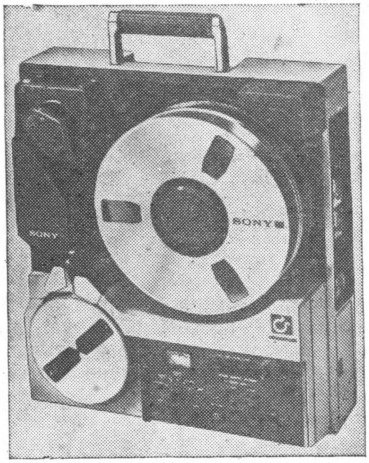

Рис. 5.7. Переносимый видеомагнитофон для видеожурналистики BVH-500 (лента шириной 25,4 мм, формат С)

В последние годы появился ряд новых моделей видеомагнитофонов для видеожурналистики, работающих на ленте 25,4 мм. На рис. 5.6 показан общий вид переносимого катушечного двухголовочного видеомагнитофона BCN-20 фирмы «Bosch Fernseh» (ФРГ), работающего на ленте 25,4 мм. Аналогичные по габаритам и компоновке переносимые одноголовочные видеомагнитофоны VPR-20, MR-20 и BVH-500 (рис. 5.7) выпущены фирмами «Ampex» (США), «Marconi» (Англия) и «Sony» (Япония) (см. табл. 5.2). Масса этих аппаратов, их габариты и управление рассчитаны на автономную работу независимо от камеры или с камерой, которая связана с видеомагнитофоном гибким шлангом. Подобный комплект позволяет провести длительный репортаж (свыше 50 мин). Он легко размещается внутри обычной автомашины, на палубе теплохода или в кабине вертолета. Записанные программы могут воспроизводиться на студийных видеомагнитофонах, имеющих аналогичную видеофонограмму и оснащенных широкодиапазонными корректорами временных ошибок. Основной недостаток таких комплектов — отсутствие у видеомагнитофона кассетной заправки. Ленту на катушках неудобно хранить и транспортировать, да и заправка ленты в

Рис. 5.8. Переносимый кассетный видеомагнитофон BCN-5 (лента шириной 25,4 мм, формат В)

видеомагнитофон в походных условиях неудобна.

Еще в 1969 г. японские фирмы «Sony» и «Matsushta» выпустили в продажу первые кассетные двухголовочные видеомагнитофоны бытового назначения [12]. С тех пор кассетные видеомагнитофоны непрерывно совершенствуются, и лучшие их модели (в основном «U-matic» фирмы «Sony») используются для видеожурналистики на телецентрах Японии и США. Однако при переходе с американского телевизионного стандарта 525/60 на европейский 625/50 снижается относительная скорость головка/лента в кассетных видеомагнитофонах типа «U-matic» и качество воспроизведения сигналов ПАЛ и СЕКАМ становится недостаточным для профессионального их использования в Европе. Учитывая это обстоятельство, фирма «Sony» специально для Европы разработала широкополосный стандарт «U-matic H». При этом были расширены частотные диапазоны сигналов яркости и цветности и улучшено отношение сигнал/шум. Новые кассетные видеомагнитофоны будут широко применяться для видеожурналистики во многих европейских странах.

В табл. 5.3 приводятся основные технические данные переносных кассетных видеомагнитофонов. Только видеомагнитофон BCN-5 (рис. 5.8) фирмы «Bosh-Fernseh» (ФРГ), который предназначен специально для репортажных целей, обеспечивает полностью профессиональное качество записи. В нем используется кассета для ленты шириной 25,4 мм (рис. 5.9) и применяется прямая запись цветовых сигналов. Остальные модели записывают телевизионные сигналы способом переноса сигналов цветности в ЧМ канал независимо от системы их кодирования. В связи с этим исходное качество сигнала ухудшается. Все видеомагнитофоны имеют АРУ по входным сигналам канала изображения и звука, что значительно облегчает проведение репортажа. На рис. 5.10 показан общий вид видеомагнитофона TTV-3900, в котором используется кассета типа KCS-20, выполненная по стандарту «U-matic» и рассчитанная на 20 мин непрерывной записи. Разработана специальная технология обработки подобных репортажных записей на телецентре. Она предусматривает дублирование, вписывание временнóго кода, электронный монтаж программы, перезапись программы на четырехголовочный видеомагнитофон (выдача программы в эфир). Учитывая удобства использования кассет, следует ожидать расширения их применения на телецентрах.

5.3. Монтаж программы

Монтаж телевизионных программ на видеомагнитофонах заметно отличается от монтажа кинофильмов. Дело в том, что, во-первых, изображение, записанное на магнитной ленте, можно увидеть только при ее воспроизведении; во-вторых, при монтаже требуется сохранить с высокой точностью все элементы телевизионного сигнала. В настоящее время применяется преимущественно электронный монтаж программ. При этом обычно используются два режима работы: «Продолжение» и «Вставка». В режиме «Продолжение» одна программа переходит в другую. В месте перехода не должно быть сбоя синхронизации. В режиме «Вставка» в одну программу вставляется отрезок второй. Длительность «Вставки» произвольна и составляет от долей секунды до нескольких минут.

ТАБЛИЦА 5.3

Параметр	Значения параметров		
	«Электроника-505-видео», «Сатурн-505» (СССР)	«Орбита-501» (СССР)	BCN-5, «Bosch-Fernseh» (ФРГ)
Общие характеристики:			
назначение	бытовой	бытовой	репортажный
число головок, шт.	2	2	2
ширина ленты, мм	12,7	12,7	25,4
сигналограмма	стандартная · VCR	стандартная VCR	стандартная B
габаритные размеры, мм	318×268×132	305×345×130	500×288×140
масса, кг	10	11	12
потребляемая мощность, Вт	30	50	30
тип кассеты	ВК-30	ВК-30	—
	соосная	соосная	соосная
время записи, мин	30	30	20
скорость ленты, см/с	14,29	14,29	24,3
скорость головка/лента, м/с	8,1	8,1	24,0
Канал изображения:			
четкость			
черно-белое изображение	220	220	625
цветное изображение	200	200	625
отношение сигнал/шум, дБ	40	38	43
Канал звука:			
полоса частот, кГц	0,08—10,0	0,1—10	0,05—15,0
отношение сигнал/шум, дБ	38	38	55

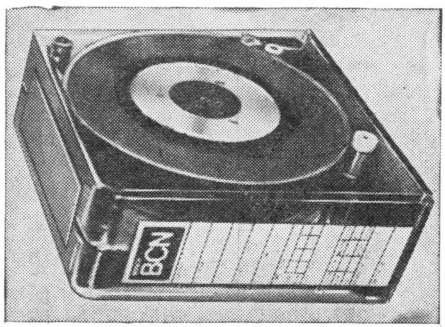

Рис. 5.9. Общий вид кассеты для видеомагнитофона BCN-5

Для практического осуществления электронного монтажа программ профессиональные видеомагнитофоны оборудуются блоками, позволяющими осуществлять «электронную склейку». С помощью общего пульта дистанционного управления несколько видеомагнитофонов объединяются в «систему электронного монтажа», которая дает возможность осуществлять различные технологические операции. Различают три вида монтажа: ручной, полуавтоматический и автоматический.

кассетных видеомагнитофонов для видеожурналистики				
V-1000, Teac» (Япония)	TR-1000, RCA (США)	BVH-50 P/S, «Sony» (Япония)	TTV-3900 P/S, «Tomson CSF» (Франция)	VPR-4400 P/S, «Ampex» (США)
репортажный	репортажный	репортажный	репортажный	репортажный
2	2	2	2	2
19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
стандартная «U-matic»	стандартная «U-matic»	стандартная «U-matic H»	стандартная «U-matic»	стандартная «U-matic»
326×172×326	333×173×344	270×125×336	333×173×344	333×173×344
11,8	12	5,7	13,7	13,7
20	16	16	16	16
КСЦ-20	KCS-20	KCS-20	KCS-20	KCS-20
аксиальная	аксиальная	аксиальная	аксиальная	аксиальная
20	20	20	20	20
9,53	9,53	9,53	9,53	9,53
10,26	10,26	10,26	10,26	10,26
300	300	—	300	300
230	230	280	230	230
40	45	46	45	45
0,05—12,0	0,05—15,0	0,05—15,0	0,05—15,0	0,05—15
40	48	48	48	48

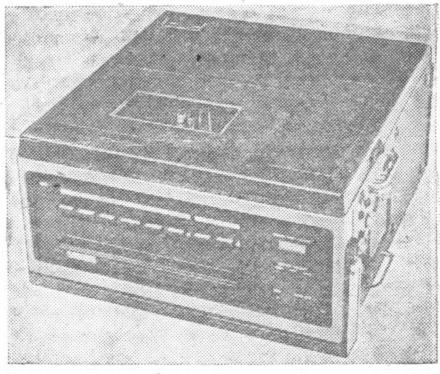

Рис. 5.10. Переносимый кассетный видеомагнитофон TTV-3900 для кассет KCS-20 (лента шириной 19 мм, формат «U-matic»)

При ручном монтаже все технологические операции — режиссерская разметка, поиск требуемых фрагментов, репетиция монтажа, запись фрагментов и просмотр — осуществляются при подаче соответствующих команд вручную. При полуавтоматическом мон-

таже часть операций выполняется автоматически после того, как на ленту во время режиссерской разметки наносят специальные частотные отметки. Автоматический монтаж выполняется по временно́му управляющему коду с помощью сложных систем, содержащих ЭВМ [41].

Рассмотрим подробнее процесс получения «электронной склейки» в четырехголовочном видеомагнитофоне. Обычно для монтажа используются не менее двух видеомагнитофонов. Допустим, на первый устанавливается видеофильм, в который нужно вмонтировать фрагменты другого видеофильма, установленного на втором видеомагнитофоне, причем выход его подключен к входу первого видеомагнитофона. Если оба видеомагнитофона включить на воспроизведение, а затем первый в требуемый момент перевести в режим записи, то часть второго видеофильма перепишется на первую ленту. Произойдет монтаж. Однако в момент перехода первого видеомагнитофона из режима воспроизведения на запись обязательно возникнет сбой синхронизации. Дело в том, что при движении по тракту ЛПМ лента сначала проходит стирающую головку и лишь спустя некоторое время достигает диска с вращающимися головками. Поэтому если одновременно включить стирание и перевести видеоголовки из режима воспроизведения в режим записи, то некоторое время, пока не подойдет стертая лента, на ранее записанную программу будет накладываться новая запись. При воспроизведении участка ленты с «двойной» записью происходит сбой синхронизации. Чтобы этого не возникало, блок монтажа по команде «Запись» сначала включает стирающую головку, а затем спустя некоторое время автоматически переключает видеоголовки. Аналогично с определенными интервалами времени подаются команды в блоки звукового канала, включая головки стирания звука и переключая режим работы универсальных звуковых головок. Чтобы исключить заметность склеек, все команды выполняются во время кадровых гасящих импульсов. Для этого в канал управления записываются монтажные импульсы с частотой 12,5 Гц, фаза которых определяется чередованием строк цветоопознавания сигнала СЕКАМ. Все «электронные склейки» происходят при совпадении монтажных импульсов и соответствующих команд.

Следует отметить, что при проведении электронного монтажа оба видеомагнитофона должны запускаться в работу в определенной последовательности и работать синхронно. Для этого профессиональные видеомагнитофоны обычно оборудуются системами синхронного пуска [6]. Важное значение имеет время входа в синхронизм. Такие видеомагнитофоны, как «Кадр-3», «Кадр-3П», «Кадр-103» входят в синхронизм в течение 3—5 с. Значит, чтобы найти нужное место «склейки», приходится каждый раз отматывать ленту на 5—10 с. Значительно удобнее проводить монтаж на видеомагнитофонах «Кадр-5», в которых время пуска снижено до 0,5 с и имеется специальная система электронного монтажа по временно́му коду.

Для осуществления полуавтоматического монтажа по частотным меткам на видеомагнитофонах Кадр-3П и Кадр-3ПМ выпускаются монтажные пульты ПАМ-111 и СЭМ, которыми оборудуются монтажные аппаратные телецентров [42]. Они позволяют оперативно производить все необходимые технологические операции и значительно ускоряют монтаж. Еще большие удобства для оператора представляет пульт САЭМ, специально разработанный для

осуществления автоматического монтажа на видеомагнитофонах «Кадр-5» по адресно-временному коду [43]. Пульт САЭМ имеет в своем составе ЭВМ, способен запомнить до 200 различных «вставок» и позволяет производить электронную коррекцию начала и конца «вставки». Пульт позволяет управлять одновременно несколькими видеомагнитофонами «Кадр-5», вписывать сигналы с телекамеры или с помощью специального дискового видеомагнитофона делать повторы отдельных сюжетов. Определенные сложности при этом вызывает монтаж звукового сопровождения, который должен производиться на отдельных синхронных многодорожечных звуковых магнитофонах.

Подобные системы значительно облегчают создание видеофильмов, но они имеют ряд недостатков. Во-первых, режиссер вынужден вести монтаж наполовину вслепую, так как ленту нельзя остановить в нужном месте и двигать ее вперед-назад, наблюдая при этом изображение. Он вынужден запоминать отдельные сцены и ситуации. Во-вторых, подобные монтажные комплексы чрезвычайно дороги и сложны, поэтому себестоимость одного часа программы получается весьма высокой.

Принципиально новые творческие возможности для создания видеофильмов открывает широкое внедрение в телевизионное вещание несегментных одноголовочных видеомагнитофонов, работающих на ленте шириной 25,4 мм по формату С, например типа VPR-2 фирмы «Ampex» или «Кадр-103АС». В этих видеомагнитофонах ленту можно останавливать в любом месте записанной программы и при этом наблюдать на экране неподвижное изображение, перемещать ленту с замедленной и ускоренной скоростью и при этом также наблюдать замедленное или ускоренное изображение. Следовательно, поиск и разметка сюжетов при монтаже видеофильмов значительно упрощаются.

Монтаж становится как бы «визуальным», снижается эмоциональная нагрузка на режиссеров, уменьшается время подготовки видеофильмов. При использовании одноголовочных видеомагнитофонов уменьшаются затраты на 1 ч программы, так как стоимость магнитной ленты и головок значительно ниже. Процесс получения «электронной склейки» на одноголовочном видеомагнитофоне несколько отличается от аналогичного процесса в четырехголовочном. Дело в том, что магнитная строка в этих видеомагнитофонах имеет наклон к базовому краю ленты 3—5°. Под таким углом невозможно установить рабочий зазор неподвижной стирающей головки. Чтобы избежать наложения двух записей на треугольном, образующемся участке ленты, между стирающей головкой и видеоголовкой в БВГ устанавливают дополнительную вращающуюся стирающую головку (см. гл. 3). Эта головка стирает ленту по наклонной строчке перед тем, как на ней записывается новая программа. Переключение всех головок в соответствующие режимы происходит по командам, формируемым в блоке электронного монтажа, встроенном в видеомагнитофон.

Системы электронного монтажа в двухголовочных видеомагнитофонах по своей структуре аналогичны системам одноголовочных, однако число стирающих видеоголовок на диске в этом случае удваивается.

Обычно они устанавливаются в видеомагнитофонах полупрофессионального назначения, например N1520 фирмы «Philips» (ФРГ), TTV-3910P/S фирмы Thomson-CSF (Франция). Наибольшее

распространение получили видеомагнитофоны, использующие кассету «U-matic». Для этих аппаратов разработаны относительно простые монтажные пульты BVE-500 CE фирмы «Sony» (Япония), позволяющие осуществить автоматический электронный монтаж по адресно-временно́му коду на нескольких видеомагнитофонах (рис. 5.11). Подобные кассетные видеомагнитофоны с электронным монтажом программ на телецентрах используются в сложных монтажных комплексах для предварительной разметки программ, которые в дальнейшем монтируются на четырехголовочных видеомагнитофонах. Некоторые особенности имеет монтаж на двухголовочных профессиональных видеомагнитофонах, работающих по сегментному формату В, например BCN-50 фирмы «Bosh Fernseh» (ФРГ). Хотя «электронная склейка» в них производится так же, как в четырехголовочных видеомагнитофонах, но лента в месте склейки может быть остановлена на некоторое время (несколько секунд). Так так при остановке ленты обе головки проходят только по одной магнитной строчке, то воспроизводится лишь один из шести сегментов (см. гл. 3), что неудобно для монтажа. Поэтому подобные видеомагнитофоны для обеспечения монтажных режимов работы оборудуются электронным блоком памяти HCHS на одно поле телевизионного изображения и специальным устройством для шагового перемещения ленты. Величина шага, содержащего шесть сегментов в формате В, составляет 1,2 мм. При воспроизведении одного поля лента смещается на 1 шаг и сегменты последовательно вводятся в блок памяти. Затем диск с головками через 2 с автоматически останавливается, а на выход видеомагнитофона подается неподвижное изображение из блока памяти. Изменяя скорость шагового перемещения ленты и используя блок памяти, можно вписывать отдельные кадры в любое место программы, осуществлять покадровую запись (рис. 5.12). На одной катушке ленты можно записать до 10 000 изображений. Одновременно цифровой блок памяти на кадр позволяет получить ряд спецэффектов: разделить экран на несколько участков, получить перевернутое изображение или удвоить его по вертикали и горизонтали и т. д. В блоке памяти HCHS фирмы «Bosh Fernseh» применено раздельное цифровое кодирование сигналов яркости и цветности (рис. 5.13). Сигнал яркости разбивается на 128 уровней и кодируется семибитовым кодом, а сигнал цветности — на 64 уровня и кодируется шестибитовым кодом. Общий объем памяти составляет 819,2 кбит (для сигналов ПАЛ и СЕКАМ). Эквивалентная полоса сигнала

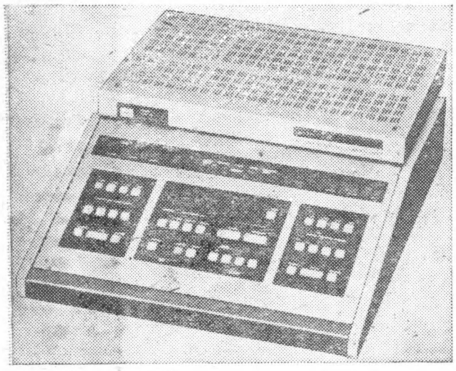

Рис. 5.11. Пульт для автоматического монтажа BVH-500CE на кассетных видеомагнитофонах «U-matic»

яркости составляет 2,5 МГц, а сигнала цветности — 1 МГц. Следует отметить, что при введении в цифровую память воспроизводимого изображения заметность шумов, возникающих при воспроизведении, значительно возрастает (на 17 дБ), что ухудшает зрительное восприятие изображения, получаемого из электронной па-

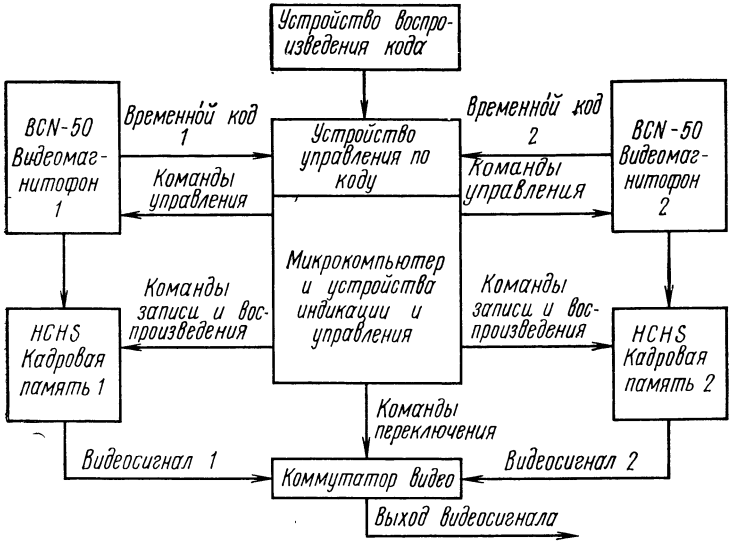

Рис. 5.12. Функциональная схема аппаратной для покадровой записи, оборудованной BCN-50 и блоками HCHS

мяти. При расширении полосы частот по сигналам яркости и цветности, увеличении объема памяти и при общем улучшении параметров выходного сигнала подобные блоки найдут широкое применение для профессионального телевизионного вещания.

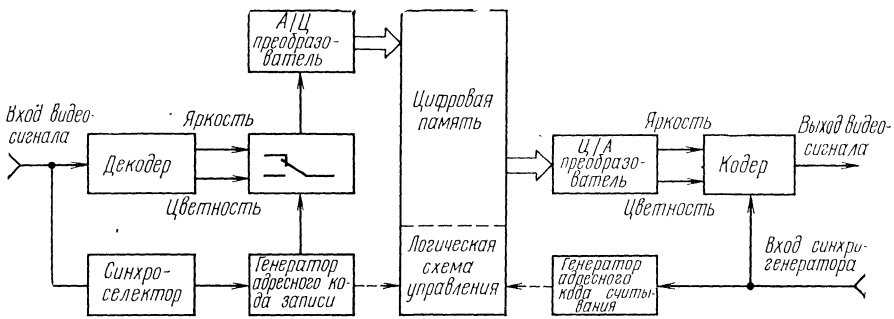

Рис. 5.13. Функциональная схема блока цифровой памяти HCHS для видеомагнитофонов типа BCN (формат B)

Глава 6

ЗАПИСЬ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

6.1. Особенности записи цифровых сигналов на видеомагнитофон

Видеомагнитофон — это аппарат точной записи широкополосных сигналов в течение длительного времени. Поэтому естественно стремление использовать видеомагнитофон для записи высокоскоростных цифровых потоков [46].

В частном случае таким потоком может быть преобразованный в цифровую форму телевизионный сигнал. При использовании кодирования без сжатия информации по методу импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) скорость передачи цифрового телевизионного сигнала превышает 100 Мбит/с. Если кодирование учитывает заметную корреляцию телевизионного сигнала по строкам и кадрам и кодируются только изменения сигнала между соседними строками или полями изображения (дифференциальная ИКМ), то необходимая скорость передачи цифрового потока составляет 34—50 Мбит/с.

Объем записываемой информации в течение часа составляет при этом $(15 \div 40) \cdot 10^{10}$ бит, что на несколько порядков превышает объем памяти современных ЭВМ. Примерно с такими же цифровыми потоками приходится иметь дело в современных системах передачи данных и телеметрии.

Использование видеомагнитофона для записи цифровых сигналов связано с рядом особенностей, на которых мы остановимся в этой главе. Принципиально для осуществления записи цифрового сигнала должны быть решены три группы вопросов:

1. Спектр записываемого сигнала должен быть согласован с полосой пропускания видеомагнитофона. С этой целью в канале З—В применяют те или иные способы цифровой модуляции.

2. Структура записываемого сигнала должна быть согласована с работой видеомагнитофона.

Дело в том, что обычно входной цифровой поток является непрерывным, а видеомагнитофон предназначен для записи циклических сигналов. Как было показано в предыдущих главах, следящие системы видеомагнитофона и устройства коммутации видеоголовок управляются сигналами строчной или кадровой синхронизации телевизионного сигнала. Эти сигналы для работы видеомагнитофона необходимы, и поскольку они в структуре цифровой последовательности отсутствуют, следует включить их в эту структуру, изменив соответствующим образом параметры цифрового потока.

3. Структура записываемого сигнала должна обеспечить возможность выделения тактовой частоты следования двоичных символов, которая необходима для правильного декодирования цифровой последовательности и восстановления структуры цифрового потока после воспроизведения.

В многодорожечных аппаратах цифровой записи одна из дорожек может отводиться специально для записи сигнала тактовой синхронизации. В видеомагнитофонах такой возможности нет, запись в них всегда одноканальная. Поэтому в качестве методов преобразования цифрового сигнала применимы только те, которые допускают выделение тактовой синхрочастоты непосредственно из записываемого цифрового сигнала. К таким методам, как будет показано в § 6.2, относятся фазовая манипуляция, узкополосная запись по методу «без возврата к нулю» (УБВН), трехчастотные коды и др.

Видеомагнитофон при цифровой записи может использоваться двояко: записываемый цифровой сигнал может подаваться на вход и тогда он проходит через ЧМ канал видеомагнитофона, либо ЧМ канал отключается и входной цифровой сигнал непосредственно записывается на ленту. Функциональные схемы использования видеомагнитофонов для этих случаев показаны на рис. 6.1*а, б*.

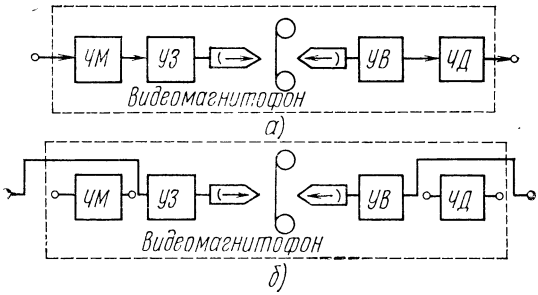

Рис. 6.1. Функциональные схемы использования видеомагнитофонов для цифровой записи: *а* — в ЧМ тракте; *б* — в канале прямой записи

В первом случае двоичный цифровой сигнал поступает на вход ЧМ модулятора (вход телевизионного тракта видеомагнитофона). Пройдя канал З—В, включающий частотный модулятор *ЧМ*, усилители записи *УЗ* и воспроизведения *УВ* и частотный демодулятор *ЧД*, сигнал подается на устройства обработки, где восстанавливается исходная двоичная последовательность.

Во втором случае сигнал в обход *ЧМ* подается на *УЗ*, а после воспроизведения на устройства обработки. При этом канал З—В видеомагнитофона по существу не используется и в аппарат цифровой записи от него включается только лентопротяжный механизм. Чтобы оценить целесообразность построения аппарата по той или иной схеме, необходимо учитывать особенности ЧМ канала и канала прямой записи. Сформулируем их:

1. Канал ЧМ записи примерно вдвое более узкополосный, чем канал прямой записи.

2. В канале ЧМ записи передается постоянная составляющая сигнала, в канале прямой записи постоянная составляющая не передается.

3. Уровень помех при ЧМ записи существенно ниже, чем в канале прямой записи; в особенности это относится к паразитной амплитудной модуляции сигнала, глубина которой достигает в канале прямой записи величины $M=0{,}8\div0{,}9$.

4. В канале ЧМ записи практически сохраняется форма записываемого сигнала, в канале прямой записи форма сигнала искажается из-за дифференцирования сигнала в тракте воспроизведения. Искажение воспроизводимого сигнала при цифровой записи приводит к необходимости восстановления его формы перед демодуляцией.

Обычно записываемые цифровые сигналы имеют импульсный характер. Поэтому рассмотрим, как искажаются импульсные сигналы в канале З—В и какие способы формирования сигналов используются. Допустим, что записываемый сигнал имеет форму, показанную на рис. 6.2*а*. При подаче такого сигнала в головку

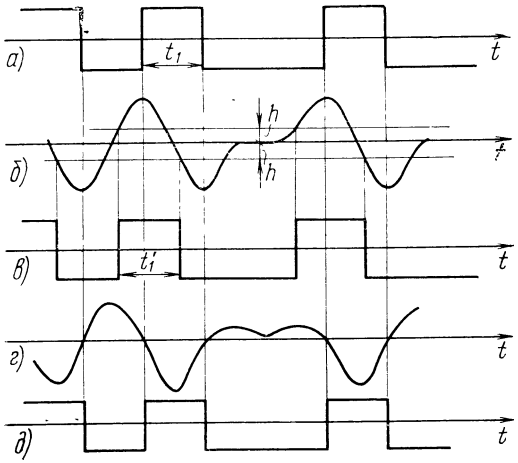

Рис. 6.2. Формирования импульсных сигналов в канале прямой записи

записи носитель перемагничивается в двух противоположных направлениях. Воспроизводимое колебание имеет вид, показанный на рис. 6.2*б*. Известны два способа формирования сигнала после воспроизведения — пороговый и по нулю производной воспроизводимого сигнала. При пороговом формировании воспроизводимый сигнал подается на спусковое устройство, срабатывающее в моменты достижения входным сигналом пороговых уровней $\pm h$. Сигнал на выходе имеет (рис. 6.2*в*) импульсную форму, но при высокой плотности записи, когда наступает взаимовлияние импульсов, длитель-

ности сформированных импульсов отличаются от длительностей исходных импульсов ($t'_1 \neq t_1$). Оптимальное значение порога формирования $h_{опт}=0{,}5$. При формировании по нулю производной воспроизводимый сигнал дифференцируется (рис. 6.2*г*), а затем спусковое устройство срабатывает в моменты перехода через нуль этой производной (рис. 6.2*д*). Формирование по нулю производной оказывается более точным, чем пороговое, и оно получило большее распространение, хотя конструктивно формирователь этого типа сложнее [44].

При записи импульсных сигналов (рис. 6.3*а*) в ЧМ канале видеомагнитофона форма воспроизводимого сигнала (рис. 6.3*б*) такова, что наилучшим способом формирования импульсов является пороговое с низким порогом. Оптимальное значение порога формирования в этом случае $h_{опт}=0$ (рис. 6.3*в*).

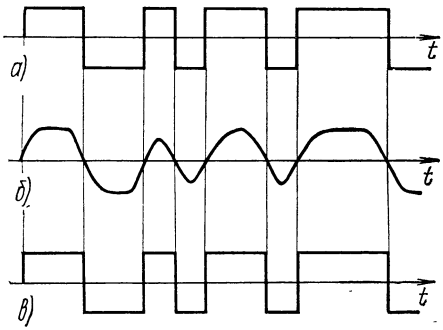

Рис. 6.3. Формирование импульсных сигналов в ЧМ тракте

На форме воспроизводимых импульсов в большой степени сказывается ограниченность полосы пропускания тракта. Ограничение в области высоких частот приводит к увеличению протяженности импульсов, возникновению взаимовлияния и погрешностям при формировании. Ограничение в области низких частот приводит к плаванию «базовой линии» воспроизводимого сигнала, вследствие чего также возникают погрешности формирования импульсов. При записи в ЧМ канале, пропускающем постоянную составляющую сигнала, искажения этого вида меньше, чем при записи в канале прямой записи. С другой стороны, определенные преимущества с этой точки зрения имеют сигналы, не имеющие в спектре постоянной составляющей и значительных низкочастотных компонент.

В предыдущих главах были рассмотрены все системы видеомагнитофона. Очевидно, что при цифровой записи некоторые из них, в частности система обработки видеосигнала в аналоговой форме, регенерации синхросмеси и др. окажутся ненужными, и поэтому их необходимо будет отключить.

6.2. Методы цифровой модуляции

При магнитной записи используют несколько методов цифровой модуляции. Рассмотрим некоторые из них.

Без возвращения к нулю (БВН). При этом методе носитель записи перемагничивается до насыщения в двух противоположных направлениях при приходе «1» или «0» (рис. 6.4*а*). После воспроизведения и формирования БВН сигнал стробируется синхросигналом в середине тактового интервала. В случае, если полярность сигнала в тактовый момент отрицательна, на выходе цифрового

детектора появляется символ «0». Если полярность в тактовый момент положительна, на выходе появляется символ «1». Метод БВН записи обладает по крайней мере тремя серьезными недостатками:

1. Если при БВН записи произойдет сбой или пропадет один из воспроизводимых импульсов, полярность сформированного сигнала сменится на противоположную и при декодировании единицы будут заменены нулями и наоборот.

2. Спектр БВН сигнала (рис. 6.5*а*) содержит значительную низкочастотную составляющую, потеря которой в процессе передачи приводит к «плаванию» базовой линии сигнала и создает значительные трудности при формировании.

3. В спектре БВН сигнала отсутствует тактовая частота $\omega_т$ синхронизации, следовательно, ее нужно сформировать в канале воспроизведения. Обычно с этой целью используют автономный импульсный генератор, частота которого подстраивается с помощью системы ФАПЧ воспроизводимыми импульсами. При кодировании по методу БВН последовательность символов содержит произвольное число нулей, следующих подряд. Система ФАПЧ в это время

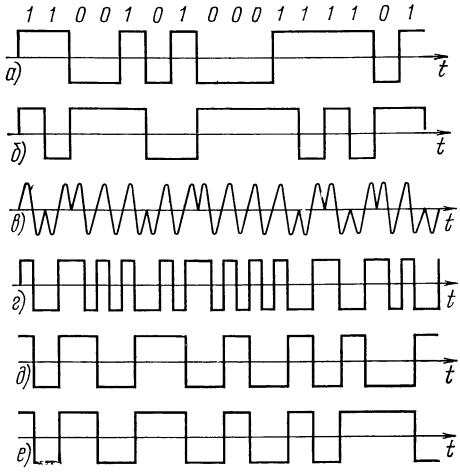

Рис. 6.4. Способы цифровой модуляции

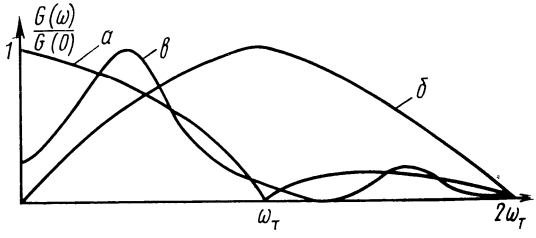

Рис. 6.5. Спектры цифровых сигналов

не работает, и поэтому частота следования импульсов синхронизации, вырабатываемых автономным генератором, отличается от тактовой частоты БВН сигнала, что приводит к сбоям при декодировании.

В то же время БВН сигнал обладает сравнительно узким спектром, основная энергия его сосредоточена в пределах до тактовой

частоты $\omega_т$, причем при ограничении полосы пропускания тракта частотой $\omega_в = 0{,}7\omega_т$ погрешность формирования длительности импульсов не превышает половины тактового интервала, и ошибки в декодировании цифровой последовательности не возникают. Это означает, что при БВН записи можно эффективно использовать полосу пропускания тракта З—В. Поэтому было предложено несколько модификаций метода БВН, позволивших частично устранить его недостатки.

При БВНМ записи (БВН — модифицированный) (рис. 6.4*б*) смена полярности происходит всякий раз при приходе символа «1». Приход «0» на форме записываемого сигнала не отражается. При таком методе кодирования сбой поражает только один символ кодовой последовательности, так как полярность сигнала в тактовые моменты роли не играет. Для детектирования существенно только наличие или отсутствие перемены полярности за время тактового интервала. Спектр БВНМ сигнала не отличается от спектра БВН, и для его передачи нужен тракт с такой же полосой пропускания, как и при БВН. Однако трудности синхронизации и при БВНМ записи сохраняются.

Для обеспечения возможности синхронизации в записываемый сигнал должна вноситься некоторая избыточность в виде добавочных символов, уменьшающих допустимое число последовательно появляющихся нулей. Одним из таких кодов с избыточностью является улучшенный БВН (УБВН). В этом случае на каждые семь символов добавляется восьмой, улучшающий структуру цифровой последовательности. Новый сигнал записывается по методу БВНМ. Существует несколько вариантов УБВН кода. В одном из них восьмым добавляется такой символ, чтобы общее число единиц в каждой группе из восьми символов было нечетным. Поэтому, если, например, группа содержала три символа «1» и четыре символа «0», то восьмым добавляется «0», а если исходная группа состояла из одних нулей, то добавляется символ «1». При этом правиле формирования максимальная последовательность нулей может продолжаться 14 тактов. Другие правила формирования УБВН кода ограничивают последовательности нулей до семи символов. Этого можно добиться, если, например, дополнительным символом всегда будет «1» либо если символ, занимающий восьмую позицию, будет противоположен символу, занимающему седьмую позицию. Очевидно, что чем меньше последовательных нулей, тем легче обеспечиваются условия выделения тактовой частоты синхронизации из кодовой последовательности. С другой стороны, первое правило позволяет осуществить контроль ошибок, поскольку число единиц в группе всегда должно быть нечетным. Спектр УБВН сигнала подобен спектру БВН с той, однако, разницей, что масштаб по оси частот возрастает в 1,14 раза. Таким образом, при УБВН записи возможность синхронизации получается за счет снижения эффективности использования тракта З—В примерно на 15%.

Наиболее удобно тактовая синхронизация выделяется из сигнала с фазовой манипуляцией. Обычно используется метод относительной фазовой модуляции, при котором фаза непрерывной или импульсной несущей скачком меняется на 180° при переходе символа «1». Форма сигнала для этих случаев показана на рис. 6.4*в* и *г*.

Существует несколько разновидностей фазоманипулированных сигналов, которые носят название манчестерского кода, двухфаз-

ной записи и других, но принципиальных различий они не имеют и обладают одинаковыми возможностями.

При ФМ весьма просто выделяется тактовая частота. В случае гармонической несущей это осуществляется путем двухполупериодного детектирования ФМ сигнала, выделения удвоенной тактовой частоты с помощью узкополосного фильтра, а затем деления этой частоты на два. При прямоугольной несущей более распространено применение системы ФАПЧ с подстройкой частоты автономного генератора в моменты перехода через нуль воспроизводимого сигнала. Спектр фазоманипулированного сигнала показан на рис. 6.5*б*. Этот спектр не содержит постоянной составляющей и почти симметричен относительно тактовой частоты.

Сравнение БВН и ФМ сигналов показывает, что спектры ФМ сигналов по крайней мере в 2 раза шире. Это и естественно, поскольку при БВН записи для передачи одной двоичной единицы информации требуется записать и воспроизвести один перепад тока, а при ФМ записи — два перепада. Следовательно, фазовая запись менее эффективно использует полосу пропускания тракта, чем БВН запись.

Более экономны с точки зрения использования полосы пропускания тракта так называемые трехчастотные коды (ТЧК). Исторически первым ТЧК был код Миллера.

Правило манипуляции кодом Миллера состоит в следующем: при приходе символа «1» происходит измерение полярности сигнала в середине тактового интервала; при приходе символа «0», за которым также следует «0», полярность меняется в конце тактового интервала, а при приходе «0», за которым следует «1», полярность сигнала не изменяется. Форма сигнала, образованного по этому правилу, приведена на рис. 6.4*д*. При ТЧК на такт приходится не более одного перепада тока. С этой точки зрения ТЧК не уступают БВН записи и превосходят ФМ запись.

Спектр ТЧК сигнала показан на рис. 6.5*в*. Он содержит небольшую по величине постоянную составляющую, основная часть спектра сосредоточена в полосе до $1{,}2\omega_т$. При ТЧК записи имеется возможность самосинхронизации, поскольку перепады тока в ТЧК сигнале появляются регулярно через 1; 1,5 или 2 тактовых интервала, и длительное отсутствие информации о тактовых интервалах невозможно. В то же время при ТЧК записи повышаются по сравнению с фазовой записью требования к системам обработки и демодуляции сигнала. Во-первых, неточная передача постоянной составляющей сигнала приводит к плаванию базовой линии, а во-вторых, устройства демодуляции в этом случае должны различать не два, как при ФМ, а три значения длительности: T_0, $1{,}5T_0$, $2T_0$. Следовательно, ТЧК запись занимает промежуточное положение по эффективности использования тракта между методами БВН и ФМ. Демодуляция ТЧК сигнала основана на различении длительностей воспроизводимых импульсов. Длительность T_0 появляется при передаче 0 или $1{,}3/2T_0$ — при последовательности 10 или 01, длительность $2T_0$ — только при последовательности 101. Это обстоятельство используется для точного фазирования последовательности синхроимпульсов и устранения ошибок декодирования. Действительно, приход импульса с длительностью $2T_0$ означает наличие комбинации 101 с перепадами в середине тактового интервала, к которым система ФАПЧ «привязывает» синхросигнал. При

точной синхронизации импульсная последовательность ТЧК сигнала расшифровывается однозначно.

Возможны и другие правила формирования ТЧК. Наиболее удобным является пропускание ОФМП сигнала через триггер, благодаря чему число изменений полярности сигнала уменьшается вдвое [44].

Наличие постоянной составляющей является серьезным недостатком трехчастотных кодов. Поэтому дальнейшее их совершенствование проходило в направлении устранения постоянной составляющей. Известны модифицированные коды ZM, M^2 [45], построенные на базе кода Миллера, в которых постоянная составляющая отсутствует. Идеи построения этих кодов основаны на устранении таких последовательностей во входном цифровом потоке, которые приводят к появлению постоянной составляющей. Так, если рассмотреть форму записываемого сигнала при ТЧК (рис. 6.4*д*), то можно заметить, что при передаче четного числа единиц число положительных и отрицательных полуволн сигнала различно. Это обстоятельство и свидетельствует о появлении постоянной составляющей. Код M^2 для всех последовательностей сохраняет правила кодирования, принятые в коде Миллера, а в последовательностях, состоящих из четного числа единиц, последняя единица попросту игнорируется (рис. 6.4*е*).

При кодировании по методу M^2 в записываемой последовательности появляются импульсы с длительностью в 2,5 и 3 тактовых интервала, отсутствовавшие у ТЧК кодов. Поэтому условия декодирования и синхронизации усложняются. С другой стороны, спектр M^2 сигнала не содержит постоянной составляющей и поэтому лучше согласовывается с трактом З—В.

Значительную группу используемых в магнитной записи кодов составляют так называемые блочные коды, когда группа символов исходного кода заменяется при записи другой группой, так что полученная последовательность обладает лучшими свойствами, чем исходная. В частности, группа из четырех символов может быть преобразована в группу из пяти символов. При этом внутри каждой пятиразрядной группы имеется не более двух нулей и не более одного нуля имеется на границе группы. Кодирование и декодирование сигнала производится в соответствии с кодовой таблицей, приведенной в [4]. В результате такого перекодирования в выходном цифровом потоке не может подряд появиться более трех нулей. Сигнал записывается способом БВНМ, а сам метод получил название записи с групповым кодированием (ЗГК 4/5). В ЗГК 4/5 сигнале по сравнению с БВН ослаблена постоянная составляющая и, кроме того, с помощью системы ФАПЧ может быть достаточно хорошо сформирован сигнал тактовой синхронизации. При ЗГК 4/5 в сигнал вносится избыточность, поэтому полоса пропускания тракта при этом методе должна быть шире, чем при БВН, примерно на 25%.

Методы блочного кодирования позволяют полностью устранить постоянную составляющую в записываемом сигнале. Так, если перекодировать шестисимвольные комбинации в восьмисимвольные, то из общего числа восьмисимвольных комбинаций $N=2^8=256$ можно выбрать 70, у которых число единиц равно числу нулей. Поскольку число исходных комбинаций равно $N=2^6=64$, кодовую таблицу можно построить таким образом, чтобы использовать только комбинации с равным числом единиц и нулей. При записи та-

кого симметричного сигнала по методу БВН число положительных полуволн на интервале в 8 символов всегда будет равно числу отрицательных и, следовательно, постоянная составляющая в сигнале отсутствует. Аналогичный результат получается при перекодировании четырехсимвольных комбинаций в шестисимвольные и т. д. Очевидно, что устранение постоянной составляющей с помощью перекодирования связано с увеличением избыточности в сигнале и расширением его спектра.

Рассмотренные методы кодирования являются двоичными, т. е. записываемые сигналы представляют собой последовательность двоичных символов.

Определенный интерес представляют также многоуровневые коды. В этом случае допускается несколько возможных уровней записываемого сигнала l, например 4, 8, 16 и т. д., а не два, как во всех выше рассмотренных случаях. Каждый из уровней может рассматриваться как число в системе счисления с соответствующим основанием. Так, в частности, каждый уровень в системе записи $l=16$ можно представить как число в шестнадцатиричной системе счисления. Поэтому если использовать многоуровневую запись цифровых сигналов, то каждый уровень может передавать информацию о группе из $n=\log_2 l$ двоичных символов. При $l=16$ величина $n=4$, при $l=8$— соответственно $n=3$ и т. д. Процедура перекодирования двоичной последовательности в многоуровневый код состоит в разбиении непрерывной цифровой последовательности на блоки и представлении каждого блока одним из разрешенных уровней, как это показано на рис. 6.6 для случая $l=8$ ($n=3$). Спектр многоуровневого сигнала в n раз уже спектра БВН сигнала, что определяет высокую эффективность использования тракта З—В. В то же время многоуровневый сигнал в классическом виде обладает недостатками БВН сигнала: в спектре имеется постоянная составляющая и отсутствует синхрочастота. Возможны несколько способов самосинхронизации при многоуровневой записи. Принцип одного из них иллюстрируется на рис. 6.7.

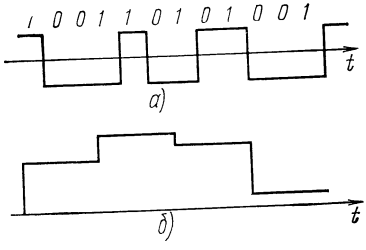

Рис. 6.6. Преобразование двоичной последовательности в многоуровневый сигнал

Однополярный многоуровневый сигнал (рис. 6.7*а*) перед записью преобразуется таким образом, чтобы полярности многоуровневых символов в каждом такте чередовались (рис. 6.7*б*). После воспроизведения сигнал имеет вид, показанный на рис. 6.7*в*. Если такой сигнал подвергнуть глубокому ограничению, то можно выделить колебание тактовой частоты (рис. 6.7*г*). Выбор допустимого числа уровней определяется величиной шумов. При большом уровне шумов целесообразно выбирать $l=3$, т. е. использовать символы «1», «0» и «—1». Тогда опознание символа сводится к выяснению наличия в данный тактовый момент символа, и если он есть, то определению его полярности. Такие коды называются троичными. При перекодировании из двоичных кодов в троичные можно груп-

ву из трех двоичных символов заменить группой из двух троичных, поскольку $N_{дв}=2^3=8<N_{тр}=3^2=9$. Замена приведена ниже:

000→0+1	100→—10
001→+10	101→1—1
010→+1+1	110→—1+1
011→0—1	111→+1—1

Видно, что комбинация троичных символов «00» не используется. Поэтому в троичном коде не может быть больше двух нулей подряд, причем такое сочетание появляется только на границе групп. Это обстоятельство можно использовать для разделения непрерывной последовательности троичных символов на группы. Спектр троичного кода по форме совпадает со спектром БВН сигнала, если троичному символу «+1» соответствует импульс положительной полярности с длительностью, равной тактовому интервалу, символу «—1» — отрицательный импульс с той же длительностью, а символу «0» — отсутствие импульса. Однако при перекодировании по указанному правилу «3 двоичных в 2 троичных» ширина спектра троичного кода составляет 2/3 ширины спектра двоичного. В технике передачи сигналов используются и другие способы перекодирования двоичных кодов в троичные, в частности перекодирование по правилу «4 двоичных в 3 троичных» и др.

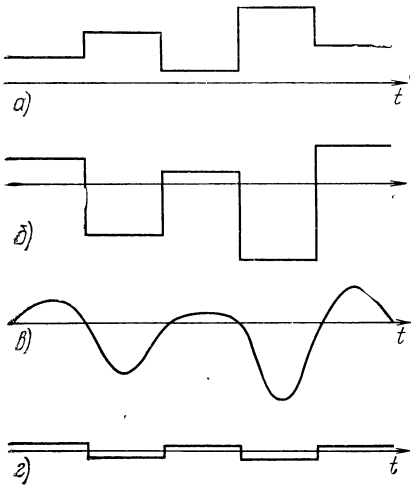

Рис. 6.7. Выделение тактовой частоты из многоуровневого сигнала

Даже приведенный краткий обзор кодов, используемых в технике магнитной записи цифровой информации, показывает их многообразие. Выбор того или иного кода зависит от конкретных условий, в разных ситуациях оптимальными могут оказаться различные коды. Поэтому рассмотрим возможность использования перечисленных кодов при цифровой записи на видеомагнитофоне. Из двоичных кодов самым узким спектром обладает БВН сигнал, у которого, однако, отсутствует возможность синхронизации. Наиболее просто синхронизацию можно осуществить при использовании ФМ записи, которая, с другой стороны, обладает в 2 раза более широким спектром, чем БВН сигнал и, следовательно, требует в 2 раза более широкой полосы пропускания тракта. Остальные методы занимают промежуточные положения, уступая БВН записи по эффективности использования тракта на 25—50%.

Двоичные коды могут применяться при записи как в ЧМ канале, так и в канале прямой записи видеомагнитофона.

Многоуровневое кодирование применимо только при записи в ЧМ канале. Считая, что полоса пропускания канала ЧМ записи в 2 раза меньше полосы пропускания канала прямой записи, можно определить, что минимальное число уровней $l_{мин}$, при котором переход к многоуровневым кодам позволяет не уменьшать пропускную способность видеомагнитофона, равно четырем. В этом случае два двоичных символа перекодируются в один четверичный ($2^2=4^1$). При большем числе уровней многоуровневые коды обеспечивают лучшее использование тракта видеомагнитофона, чем двоичные. Поскольку уровень помех в видеомагнитофоне составляет — 40—46 дБ, число уровней может быть принято равным $l=8\div16$, что соответствует повышению пропускной способности тракта в 1,5—2 раза по сравнению с записью двоичным кодом. Дополнительным преимуществом использования ЧМ канала является то, что при этом видеомагнитофон подвергается минимальным переделкам.

В канале прямой записи применимы те методы двоичной записи, которые позволяют осуществить самосинхронизацию при декодировании — ОФМ, ОФМП, ТЧК, M^2, ЗГК, УБВН. Следует иметь в виду, что при использовании канала прямой записи видеомагнитофона более жесткие требования предъявляются к устройствам обработки воспроизведенного сигнала (ограничителям, формирователям), поскольку воспроизводимый сигнал из-за специфики строчной записи имеет глубокую паразитную амплитудную модуляцию.

6.3. Структурная схема устройства записи цифровой информации на видеомагнитофоне

Как было отмечено в § 6.1, для записи цифровой информации на видеомагнитофоне необходимо обеспечить:

согласование цикличного режима работы аппарата с непрерывно поступающей информацией;

согласование спектра цифрового сигнала с полосой пропускания видеомагнитофона;

возможность выделения частоты синхронизации.

Структурная схема устройства, выполняющего эти функции, приведена на рис. 6.8.

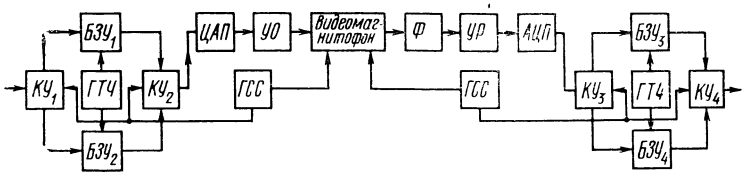

Рис. 6.8. Структурная схема устройства записи цифровых сигналов на видеомагнитофоне

Поскольку для работы следящих систем видеомагнитофона необходимы импульсы синхронизации с требуемой длительностью и следующие через заданный интервал времени, то они создаются специальным генератором синхросигнала (ГСС). В аппаратах с

четырьмя видеоголовками воссоздаются строчные и кадровые синхроимпульсы. В одно- и двухголовочных аппаратах — только кадровые синхроимпульсы. Для размещения синхроимпульсов в структуре записываемого сигнала входная цифровая последовательность (рис. 6.9*а*) подвергается сжатию во времени, для чего она подает-

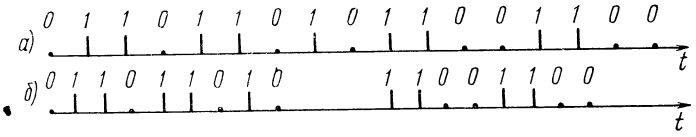

Рис. 6.9. Преобразование структуры записываемого сигнала с помощью *БЗУ*

ся на буферное статистическое *ЗУ (БЗУ)*. Считывание информации из этого *ЗУ* (рис. 6.9*б*) происходит с большей скоростью, чем запись, что и позволяет разместить между блоками цифрового сигнала соответствующие импульсы синхронизации. Практически в состав аппарата должны входить два буферных *ЗУ*, работающие попеременно. Объем каждого из них равен числу двоичных символов, размещаемых на строке или полукадре телевизионного сигнала. Работой *БЗУ* управляют коммутирующие устройства $КУ_1$ и $КУ_2$, связанные с ГСС. Необходимые для работы *БЗУ* тактовые частоты вырабатывает специальный генератор *ГТЧ*. С выхода $КУ_2$ сигнал подается на цифровой преобразователь *ЦП*, где преобразуется в один из описанных в § 6.2 кодов. Этот преобразованный сигнал подается на вход видеомагнитофона.

После воспроизведения сигнал подается на формирователь *Ф*, где он корректируется и где восстанавливается его форма. В обратном цифровом преобразователе *ОЦП* выделяется исходный код, представляющий собой последовательность символов «0» и «1». Для восстановления исходной скорости передачи используются $БЗУ_3$ и $БЗУ_4$, работающие поочередно. Запись информации в них происходит со скоростью, большей, чем считывание, причем частота считывания выбирается равной тактовой частоте входного сигнала. В результате работы $БЗУ_3$ и $БЗУ_4$ цифровой поток вновь оказывается непрерывным. Коммутирующие устройства $КУ_3$ и $КУ_4$ служат для переключения $БЗУ_3$ и $БЗУ_4$. Объем каждого *БЗУ* должен быть достаточным для запоминания массива информации, передаваемого за время передачи одного поля изображения в аппаратах с наклонно-строчной записью и 16 телевизионных строк в аппаратах с поперечно-строчной записью. Исходя из этого, можно определить необходимый объем Q каждого *БЗУ*. Для аппаратов с наклонно-строчной записью объем составляет $Q=f_{\text{такт}}\frac{1}{50}$ бит. Если, например, входной цифровой поток имеет скорость 10 Мбит/с, то $Q_1=2\cdot10^5$ бит. При поперечно-строчной записи объем равен $Q_2=f_{\text{такт}}\cdot16\cdot64\cdot10^{-6}=f_{\text{такт}}\cdot2^{10}\cdot10^{-6}$ бит. При $f_{\text{такт}}=10$ Мбит/с объем $Q_2=10\cdot240$ бит. Отсюда видно, что во втором случае требуемый объем *БЗУ* на порядок меньше.

Импульсы синхронизации при записи включаются в сигнал в устройстве объединения *УО* и в аппаратах с двумя и четырьмя головками записываются на ленту.

В канале воспроизведения синхроимпульсы с помощью устройства разделения *УР* выделяются из общей структуры записываемого сигнала. Для этого они должны быть наделены какими-то характерными признаками, отличающими их от цифрового сигнала.

Если для записи используется ЧМ канал видеомагнитофона, то таким признаком может служить, как и в телевизионном сигнале, уровень синхроимпульсов. В этом случае расстановку частот в модуляторе можно принять такую же, как и при записи видеосигнала, что позволит после воспроизведения и демодуляции выделить синхросигналы с помощью устройств амплитудной селекции, входящих в состав видеомагнитофона.

При прямой записи цифрового сигнала на видеомагнитофоне амплитудная селекция синхроимпульсов невозможна, поскольку при импульсной записи информация об амплитуде импульсов в процессе воспроизведения теряется.

Для выделения синхроимпульсов в данном случае можно поступить следующим образом. Синхроимпульс заменяется некоторой кодовой последовательностью символов, вероятность появления которой достаточно мала. Если эта комбинация содержит n символов, то при равной вероятности появления символов «0» или «1» вероятность появления ложной синхрогруппы из-за случайного сочетания символов в информационной последовательности равна $p=0{,}5^n$. Очевидно, что какая бы группа символов ни была выбрана в качестве синхрокомбинации, всегда существует определенная вероятность появления такого же сочетания символов в записываемом сигнале. Поэтому структура синхрокомбинации является недостаточным признаком для безошибочной работы, и для осуществления надежной синхронизации необходимо использовать еще одно важное свойство синхросигнала, а именно его периодичность. Периодичность истинного синхросигнала определяется тем, что он появляется всегда на одних и тех же позициях в пределах цикла передачи, а ложные синхрогруппы занимают случайное положение. Контролируя периодичность появления синхрокомбинаций, можно определить, являются они истинными или ложными. Вероятность ошибки при этом оказывается тем меньше, чем больше циклов используется в процессе принятия решения. Структурная схема устройства выделения синхросигнала приведена на рис. 6.10. Эта схема аналогична приемнику цикловой синхронизации в цифровых системах связи с временным делением каналов. Работает приемник следующим образом. Сформированный цифровой сигнал поступает на вход опознавателя кодовой комбинации *О*, выход которого связан с анализатором *А*. На второй вход *А* поступает сигнал цикловой синхронизации, сформированный генератором *Г*. Поскольку частота следования циклов всегда кратна тактовой частоте, *Г* вырабатывает сигнал цикловой синхронизации путем деления тактовой частоты на число, равное числу символов, передаваемых в пределах цикла. Однако фаза синхроимпульсов, вырабатываемых *Г*, может быть произвольной, и задача системы цикловой синхронизации состоит в том, чтобы осуществить фазирование *Г* с ис-

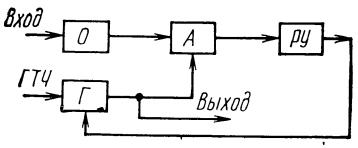

Рис. 6.10. Устройство выделения синхрогрупп из непрерывного цифрового потока

тинными сигналами цикловой синхронизации. Совпадение или несовпадение фаз истинного синхросигнала и синхросигнала, вырабатываемого автономно генератором *Г*, определяет анализатор *А*. Если сигналы на его входах совпадают по времени, то это означает, что система находится в состоянии синхронизма и на выходе *А* сигнала нет. При отсутствии синхронизма на выходе *А* появляется импульс, попадающий на вход решающего устройства *РУ*. Если в течение нескольких циклов синхронизм отсутствует, *РУ* констатирует отсутствие синхронизма и вырабатывает сигнал ошибки, вызывающий задержку (торможение) импульсов цикловой синхронизации, вырабатываемых *Г*, на один такт. Цикл оказывается увеличенным на время одного такта, а расстояние между истинной синхрогруппой и импульсом генератора *Г* сокращается. Если при этом синхронизм не будет достигнут, *РУ* вновь вырабатывает сигнал ошибки, импульс *Г* вновь сдвигается на один такт и т. д. Этот процесс повторяется до тех пор, пока импульсы цикловой синхронизации и импульсы *Г* не совпадут, после чего анализатор определит наличие синхронизма. Из приведенного описания принципа действия системы цикловой синхронизации видно, что *РУ* является пороговым элементом. Решение о наличии и отсутствии синхронизма оно принимает не на основании одиночного испытания, а только при последовательных повторениях какого-либо события. Тем самым обеспечивается необходимая защита от ложных синхрокомбинаций и действия помех.

Так, при появлении в пределах одного цикла ложной синхрокомбинации *РУ* не примет решения о необходимости «торможения» импульсов цикловой синхронизации, а вероятность появления ложных синхрогрупп на одних и тех же позициях в течение нескольких циклов пренебрежимо мала. С другой стороны, одиночные искажения синхрокомбинаций помехами не могут вывести систему из состояния синхронизма, а вероятность поражения помехами нескольких синхрогрупп подряд также крайне мала. На выходе канала З—В синхросимволы из выходного сигнала исключаются, а информационные символы записываются в буферное *ЗУ*.

Таким образом, отказ от ЧМ преобразования в канале З—В цифровых сигналов приводит к необходимости включения в состав АМЗ весьма сложной системы синхронизации.

6.4. Цифровая звукозапись

Большинство магнитофонов, предназначенных для записи звука, являются аналоговыми устройствами. В них используется прямая запись звуковых сигналов с высокочастотным подмагничиванием. Качественные характеристики современных магнитофонов довольно высоки — отношение сигнал/шум в паузе превышает 60 дБ, уровень нелинейных искажений обычно меньше 1%, амплитудно-частотная характеристика равномерна в диапазоне передаваемых частот, детонация, т. е. колебания высоты тона, вызываемые нестабильностью скорости записи или воспроизведения, составляет доли процента и т. д. В аппаратах, которые используют специальные устройства шумоподавления, отношение сигнал/шум возрастает еще примерно на 10—12 дБ. В то же время аналоговым магнитофонам присущи по крайней мере два серьезных недостатка:

1. Накопление шумов и искажений при перезаписи. Каждая перезапись ухудшает отношение сигнал/шум примерно на 1,5—

2 дБ. Нелинейные искажения возрастают в 1,5—2 раза. Перезапись является необходимым этапом подготовки программ в радиовещании, причем число последовательных перезаписей может доходить до десяти. Очевидно, что значительное ухудшение качества вещательных программ недопустимо, а сокращение возможного числа перезаписей ограничивает в значительной степени формирование программ.

2. Высокий уровень модуляционного шума. У современных магнитных лент уровень модуляционного шума составляет —36—46 дБ. Модуляционный шум субъективно особенно заметен при записи низкочастотных сигналов, в частности при звучании таких музыкальных инструментов, как контрабас, виолончель.

Существенного улучшения качества можно добиться при переходе к цифровым методам записи звука. В этом случае характеристики канала записи—воспроизведения практически не зависят от числа перезаписей и определяются только параметрами системы преобразования аналог—код. Модуляционный шум в системе отсутствует, а уровень шума квантования может быть снижен до сколь угодно малой величины соответствующим выбором числа уровней квантования. При цифровой звукозаписи нелинейные искажения сигнала вызываются не процессом намагничивания носителя записи, линеаризация которого весьма затруднительна, а режимом работы аналоговых элементов тракта, в первую очередь, усилителей, число которых невелико. Поэтому при цифровой звукозаписи удается снизить нелинейные искажения до значения менее 0,1%. Временные искажения сигналов, вызываемые нестабильностью скорости ленты, при записи звука могут быть устранены, если воспроизводимый цифровой сигнал перед декодированием записывать в буферное запоминающее устройство, а затем считывать его с постоянной скоростью. Использование буферного *ЗУ* позволяет полностью устранить детонацию звука, даже при сравнительно невысоком качестве лентопротяжного механизма магнитофона.

При цифровой записи звука полностью устраняется такое неприятное явление, как копирэффект, поскольку уровень скопированного цифрового сигнала достаточно мал для того, чтобы быть полностью устраненным регенератором, входящим в состав декодера. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики выходного сигнала при цифровой записи определяются не трактом записи—воспроизведения, как при прямой записи с ВЧП, а электронными блоками аппарата. Поэтому АЧХ сквозного канала может быть выдержана равномерной с любой степенью точности. Значительные трудности возникают при прямой записи стереофонических сигналов из-за необходимости совпадения фазовых характеристик обоих каналов, поскольку фазовые характеристики зависят от режима записи и ряда конструктивных параметров тракта, трудно поддающихся измерению и стабилизации. В случае цифровой записи ФЧХ каналов от характеристик тракта не зависят и определяются только фильтрами демодулятора. Фильтры представляют собой линейные устройства, сделать которые идентичными практически не вызывает затруднений.

Какой же ценой добиваются столь высокого качества записи звука при использовании цифровых методов? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим характеристики записываемого цифрового сигнала.

Наиболее простым и чаще всего используемым способом цифровой модуляции, в процессе которой аналоговый звуковой сигнал преобразуется в цифровой, является импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Преобразование сигнала при ИКМ происходит в результате трех операций — дискретизации, квантования и кодирования. В процессе дискретизации непрерывный сигнал заменяется последовательностью отсчетов, следующих через интервал времени T (рис. 6.11), и представляет собой последовательность импуль-

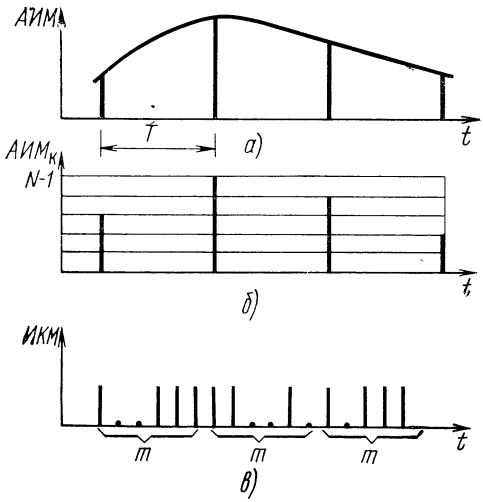

Рис. 6.11. Процедура импульсно-кодовой модуляции:
а — дискретизация; *б* — квантование; *в* — кодирование

сов, модулированных по амплитуде (АИМ сигнал). Промежуток времени T называется периодом дискретизации и выбирается в соответствии с теоремой Котельникова, исходя из соотношения

$$T = 1/f_{\text{дискр}} = 1/2F_{\text{макс}}, \qquad (6.1)$$

где $f_{\text{дискр}}$ — частота дискретизации; $F_{\text{макс}}$ — максимальная частота в спектре кодируемого сигнала.

Предполагается, что исходный сигнал имеет спектр, начинающийся от нулевых частот. Амплитуда импульсов АИМ сигнала может быть произвольной в пределах исходного динамического диапазона сигнала. Такой сигнал также является аналоговым. При квантовании непрерывной АИМ сигнал превращается в дискретный. Операция квантования АИМ сигнала состоит в замене всех возможных значений амплитуды АИМ сигнала рядом разрешенных дискретных значений. При этом каждое значение амплитуды заменяется ближайшим разрешенным значением. В результате квантования образуется квантованный АИМ сигнал (рис. 6.11*б*). Расстояние между двумя соседними разрешенными уровнями на-

зывается шагом квантования (Δ), а разность между истинными и квантованными значениями сигнала — шумом квантования. Мощность шума квантования $P_{кв}$ зависит только от величины Δ и равна

$$P_{кв} = \Delta^2/12. \qquad (6.2)$$

Очевидно, что шум квантования тем меньше, чем меньше Δ. Если мгновенные значения сигнала лежат в диапазоне $\pm u_{макс}$, то число уровней квантования при шаге Δ

$$N = 2\,u_{макс}/\Delta. \qquad (6.3)$$

Строго говоря, квантованный АИМ сигнал уже является цифровым, но в системе счисления с основанием N. Среди цифровых сигналов наибольшей помехоустойчивостью обладают двоичные сигналы. Для преобразования N-уровневых сигналов в двоичные необходимо каждое значение уровня записать в двоичной системе счисления. При этом номер (значение) уровня будет преобразован в кодовую комбинацию символов «0» и «1» (рис. 6.11*в*). Число символов в кодовой комбинации m связано с числом уровней N соотношением

$$N = 2^m. \qquad (6.4)$$

Из (6.2)—(6.4) для отношения сигнал/шум при ИКМ можно получить

$$P_с/P_{кв} \approx N^2, \text{ или } P_с/P_{кв} \approx 6\,m. \qquad (6.5)$$

Таким образом, отношение сигнал/шум квантования при ИКМ растет на 6 дБ при увеличении числа символов в кодовой группе на один разряд. Операции квантования и кодирования обычно осуществляются одним устройством, называемым кодером.

При декодировании над сигналом осуществляются преобразования, обратные тем, которые совершались при кодировании. Вначале в декодере цифровой сигнал преобразуется в последовательность квантованных АИМ импульсов, а затем с помощью ФНЧ из АИМ сигнала выделяется исходный звуковой сигнал. Частота среза ФНЧ выбирается равной $F_{макс}$.

Исходя из частоты дискретизации и использованного числа разрядов в кодовой группе, можно рассчитать минимальную тактовую частоту цифрового сигнала при ИКМ: $f_{такт.мин} = f_{дискр} m$. Однако выбор числа символов в кодовой группе, исходя только из необходимого отношения сигнал/шум, оказывается недостаточным. Во-первых, при декодировании непрерывную последовательность двоичных импульсов необходимо разбивать на кодовые комбинации, каждая из которых соответствует одному отсчету сигнала. Иными словами, в ИКМ последовательность надо вводить сигнал синхронизации кодовых групп. Для этого необходим по крайней мере один дополнительный разряд.

Во-вторых, ИКМ сигнал очень чувствителен к ошибкам, возникающим при записи и воспроизведении. Даже при одиночной ошибке в кодовой группе амплитуда квантованного АИМ импульса в декодере может измениться на половину шкалы квантования, что приведет к соответствующему изменению мгновенного значения выходного сигнала. При прослушивании записи каждая ошибка воспринимается как щелчок, а при большом числе ошибок возникает специфический «треск». Установлено, что достаточно редкие ошибки такого рода субъективно незаметны. Так, в частности, обстоит

дело при вероятности ошибки не более $p_{ош} \approx 10^{-9}$. Тракт записи — воспроизведения обеспечивает передачу цифрового сигнала с $p_{ош} = 10^{-5} \div 10^{-6}$. Следовательно, достоверность тракта цифровой записи на несколько порядков ниже требуемой для качественной звукозаписи, и для ее повышения применяют специальные корректирующие коды. При этом число разрядов в кодовой группе также необходимо увеличить на три-четыре. Таким образом, тактовая частота цифрового сигнала при звукозаписи

$$f_{такт} = f_{дискр}\,[m + (4 \div 5)], \qquad (6.6)$$

а при одновременной записи n каналов

$$f_{такт} = f_{дискр}\,[m + (4 \div 5)]\,n. \qquad (6.7)$$

Рассмотрим вопрос о выборе частоты дискретизации. В соответствии с теоремой Котельникова минимальная частота дискретизации $f_{дискр} = 2F_{макс}$. Однако при таком выборе невозможно выделить исходный сигнал и поэтому выбирают $f_{дискр} > 2F_{макс}$. Так, при спектре звукового сигнала до 15 кГц тактовую частоту дискретизации выбирают равной 32 кГц, при полосе кодируемого сигнала до 20 кГц частота дискретизации выбирается примерно 45 кГц.

Основываясь на этих данных, можно рассчитать тактовую частоту цифрового кода при кодировании сигналов звукового вещания. Допустим, что отношение сигнал/шум должно быть не менее 80 дБ. При этом из (6.5) получаем $m = 14$. Приняв $f_{дискр} = 45$ кГц, из (6.6) имеем $f_{такт} = 45 \cdot (18 \div 19) = 810 \div 855$ кбит/с. Если необходимо записать стереофонический сигнал, то $f_{такт} = 1620 \div 1710$ кбит/с.

Цифровые потоки оказываются весьма скоростными, и для их записи часто применяют видеомагнитофоны, хотя принципиально можно использовать и многодорожечные аппараты цифровой записи.

Использование видеомагнитофонов для цифровой записи звука имеет некоторые особенности. Так, частота дискретизации выбирается кратной частотам синхронизации, а число кодовых групп, соответствующих одной телевизионной строке, должно быть целым. Так, в аппарате, описанном в [48], это число выбрано равным трем. В этом аппарате два стереоканала преобразуются в общий цифровой сигнал, кодовые группы которого содержат 26 бит. Исходя из этого, тактовая частота цифрового потока составляет 2,36 Мбит/с, а частота дискретизации 44,055 кГц. В аппарате, используемом для записи оригиналов при изготовлении грампластинок [49], частота дискретизации равна 47,25 кГц. Число звуковых каналов, записываемых в цифровой форме, может быть больше двух. Так, в аппарате [50], использующем видеомагнитофон для цифровой звукозаписи, число каналов равно восьми, а тактовая частота записи составляет 7,1825 Мбит/с. Для записи на ленту используется один из кодов, допускающих самосинхронизацию (например, фазовый код Миллера, см. § 6.2). В этом случае максимальная частота следования символов примерно в 1,5 раза превышает полосу пропускания тракта воспроизведения.

Цифровая запись может быть использована и в аналоговом видеомагнитофоне для записи звукового сопровождения. В этом случае видеосигналы записываются обычным способом — вращающимися головками, а для записи звукового сигнала в цифровой форме используются дорожки, расположенные вдоль ленты.

Глава 7

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ВИДЕОЗАПИСИ

7.1. Перспективы совершенствования аналоговых видеомагнитофонов

Отметим, что к середине 80-х годов ожидается постепенный переход телевизионного вещания на видеомагнитофоны, работающие на ленте 25,4 мм. К этому времени конкуренция между форматами С и В приведет, по-видимому, к постепенному вытеснению формата В, хотя он и появился на два года раньше. Это связано в первую очередь с более мощным промышленным потенциалом фирм, выпускающих видеомагнитофоны с несегментным форматом. Переход телевещания на ленту шириной 25,4 мм вызван экономическими факторами, при этом качественные параметры изображения и звукового сопровождения будут улучшаться. Улучшение связано в первую очередь с применением магнитной ленты с высокоэнергетическим покрытием (кобальтовым или хромдиоксидным). В новых видеомагнитофонах будут применяться ферритовые магнитные головки со сроком службы до 1000 ч и более, что позволит значительно сократить эксплуатационные расходы и затраты на их ремонт. Все электронные системы видеомагнитофонов будут выполняться на интегральных схемах с широким использованием микропроцессоров. Студийные видеомагнитофоны будут иметь широкий набор монтажных режимов («Стоп-кадр», «Реверс», «Ускорение», «Замедление», «Шаговое перемещение ленты»), что значительно облегчит подготовку программ и позволит сделать монтаж «зримым» для режиссеров. Наряду с усовершенствованием самих видеомагнитофонов дальнейшее развитие получат устройства обработки. Цифровые корректоры временных искажений (ЦКВИ) будут использоваться на телецентрах в комплекте с аналоговыми видеомагнитофонами различного типа, причем, качество выходных сигналов в значительной степени будет определяться этими устройствами. В состав ЦКВИ войдут корректор временных искажений, компенсатор выпадений, шумоподавитель и ряд других корректоров, улучшающих качество сигнала. Большие возможности для улучшения технологии подготовки программ открывает цифровая память на кадр или несколько кадров. С помощью кадровой памяти будет осуществляться синхронизация источников сигналов, запоминание и запись отдельных кадров в любую точку программы, запись мультипликационных кинофильмов и шумоподавление на 6—12 дБ. Шумоподавление позволит увеличить число перезаписей на аналоговых видеомагнитофонах до 10—20, что значительно рас-

ширит возможности подготовки и передачи программ. Кадровая память позволит в широких пределах менять размеры изображения, перевертывать его по вертикали и горизонтали и создавать различные спецэффекты.

Процесс уменьшения расхода носителя на 1 ч программы получит, по-видимому, дальнейшее развитие. Появятся профессиональные кассетные видеомагнитофоны на ленту шириной 19 мм (кассеты «U-matic») и у́же. Качество изображения в этих аппаратах должно быть не хуже обычных, катушечных, а заправка кассеты в видеомагнитофон автоматизирована. Особенно широкое применение найдут кассетные видеомагнитофоны в видеожурналистике. В этой области применения видеомагнитофонов допустимо некоторое снижение качества изображения, что позволит создать более компактные, облегченные конструкции с автономным питанием.

7.2. Проблемы и перспективы цифровой видеозаписи

Если цифровая обработка сигналов уже широко применяется в аналоговых видеомагнитофонах, то цифровые видеомагнитофоны (ЦВМф) делают первые шаги. Для того чтобы их применение стало реальностью, они должны обладать значительными экономическими и технологическими преимуществами по сравнению с аналоговыми. Невозможно создать такой ЦВМф, который имел бы универсальное назначение и был лучше аналоговых во всех областях применения видеомагнитофонов.

Наиболее существенно преимущества ЦВМф проявляются при многократной перезаписи видеосигнала. Если в АВМф при перезаписи растет уровень муара, увеличиваются дифференциальные искажения, ухудшается отношение сигнал/шум, то в ЦВМф можно добиться того, чтобы число перезаписей не имело значения. Следует сразу оговориться, что принципиальная возможность не обязательно будет полностью реализована в той или иной конструкции ЦВМф.

Характеристики новых ЦВМф должны быть такими, чтобы полностью исключались помехи типа полосатости (из-за сегментации поля), остаточные временны́е ошибки должны быть уменьшены до уровня нестабильности опорного синхросигнала студии, а выпадения сигнала должны эффективно маскироваться и компенсироваться, ЦВМф должны удобно сопрягаться с другим цифровым оборудованием студии, записывать звук в цифровой форме с максимально высоким качеством, обеспечивать удобный раздельный монтаж программ, хорошую взаимозаменяемость записей и т. д. Их эксплуатационные расходы, ремонтопригодность и удобства в управлении должны быть не хуже, чем у современных аналоговых профессиональных видеомагнитофонов на ленте шириной 25,4 мм.

Для того чтобы удовлетворить этим многочисленным требованиям и реализовать на практике цифровую видеозапись, необходимо решить ряд проблем. К этим проблемам прежде всего относятся:

1. Выбор формата записи, обеспечивающего оптимальную плотность записи (бит/мм^2).

2. Выбор способа записи с учетом характеристик головок, лент и технологических возможностей производства аппаратуры.

3. Выбор частоты дискретизации $f_д$ для видеосигнала и сигнала звукового сопровождения $f_{д.з}$.

4. Выбор способа кодирования и синхронизации сигнала, записываемого на ленту (канального кодирования, т. е. кодирования в канале запись—воспроизведение).

Кроме того, должны учитываться не только конструкторско-технологические требования, но и возможности международной стандартизации.

Рассмотрим эти вопросы подробнее. Частота дискретизации $f_д$ обычно выбирается кратной частоте цветовой поднесущей $F_{цв}$. В аппаратуре цифровой обработки сигналов наиболее часто встречается $f_д=3F_{цв}$, но лучшие результаты дает $f_д=4F_{цв}$. Преимущество частоты $4F_{цв}$ состоит в том, что каждая телевизионная строка содержит целое число выборок, в результате выборки располагаются вертикально. Это упрощает цифровую обработку сигнала, но приводит к увеличению суммарного информационного потока R на 33%. При одинаковой поверхностной плотности записи и вероятности ошибок P_0 последнее обстоятельство вызывает увеличение расхода ленты на 33%, что влечет за собой рост размеров катушек, габаритов видеомагнитофона и т. д. Поэтому для цифровой видеозаписи естественно стремление к максимальному понижению частоты дискретизации. Дискретизация сигналов на частоте, ниже частоты, соответствующей критерию Найквиста, практически возможна для систем цветного телевидения с квадратурной модуляцией цветовой поднесущей (НТСЦ, ПАЛ). Имеются положительные результаты с цифровым кодированием сигналов ПАЛ при $f_д=2F_{цв}$, что дает большую экономию. Однако сигналы СЕКАМ из-за применения амплитудной и частотной модуляции в одной и той же спектральной области не позволяют использовать частоту дискретизации ниже критерия Найквиста. В табл. 7.1 приведены частоты дискретизации и суммарные скорости передачи информации R_Σ при кодировании полных цветовых телевизионных сигналов различных систем. Из нее следует, что советский цифро-

ТАБЛИЦА 7.1

Сигналы	Частота дискретизации, МГц, и скорость передачи, Мбит/с, при			
	$f_д=2F_{цв}$	$f_д=3F_{цв}$	$f_д=4F_{цв}$, МГц	$f_{д.з}$, кГц
НТСЦ	7,2 57,2	10,7 85,6	14,3 114,4	—
ПАЛ	8,9 70,9	13,3 106,3	17,7 141,8	—
СЕКАМ	—	13,3 106,3	17,7 141,8	—
Звук	—	—	—	46—60

вой видеомагнитофон должен записывать информационный поток =106,3 ... 141,3 Мбит/с. Некоторое снижение этой величины можно получить, применив предварительное сжатие информационного потока R_Σ перед записью за счет сокращения избыточности, например путем ортогональных преобразований или адаптивного кодирования. Однако способы сжатия могут оказаться сложными, технологически неудобными, повысят требования к таким параметрам системы записи, как достоверность, и исключат возможности международного обмена сигналограммами с записью цифрового сигнала.

Развитие цифровой аппаратуры может привести к появлению студий, в которых будет осуществляться раздельная передача составляющих телевизионных сигналов. При этом дискретизация яркостного сигнала будет производиться частотой $2F_{цв}$, а двух цветовых сигналов — частотой $F_{цв}$ с последовательным их чередованием через строку. Суммарная скорость информационного потока при этом получается такая же, как при $3F_{цв}$.

Выбор частоты дискретизации звуковых сигналов $f_{д.з}$ также весьма критичен. Целесообразно, чтобы частота $f_{д.з}$ для цифровых видеомагнитофонов и цифровых магнитофонов была одинаковой и соответствовала международным рекомендациям. Для повышения помехоустойчивости желательно применить блочное кодирование, причем, должна быть предусмотрена целочисленная связь с числом кадров в телевизионных системах 525/60 и 625/50.

Предварительный анализ требуемой скорости передачи информации показывает, что на цифровом видеомагнитофоне необходимо записывать примерно в 4 раза бо́льшую полосу частот, чем в канале записи ЧМ сигнала аналогового видеомагнитофона. С другой стороны, отношение сигнал/шум может быть значительно меньше, примерно 37 дБ, и зависит от требуемой достоверности. Теоретически наибольшая поверхностная плотность σ_s получается при использовании узких дорожек и длинных волн, так как отношение сигнал/шум при заданных параметрах ленты пропорционально ширине дорожки, но обратно пропорционально квадрату продольной плотности записи. Различные технологические и эксплуатационные характеристики ЦВМф определяются форматом записи. В гл. 2 было показано, что в видеозаписи применяются следующие форматы: продольный (ПД), поперечно-строчный (ПС) и наклонно-строчный (НС), последний бывает сегментным и несегментным. В принципе все эти форматы могут быть применены и для цифровой видеозаписи. Однако расчеты показывают, что наиболее высокую плотность записи можно достичь при наклонно-строчном формате. Он предпочтительнее других.

Имеются сообщения о разработке экспериментальных цифровых ВМф на основе широкораспространенных форматов записи, применяемых в профессиональной видеозаписи для лент шириной 50,8 мм и 25,4 мм. В табл. 7.2 приведены их основные характеристики.

Первый в мире макет цифрового ВМф продемонстрировала в 1978 г. фирма «Bosh Fernseh» (ФРГ). Он был создан на базе аналогового видеомагнитофона БЦН-40, работающего на ленте 25,4 мм по формату В. Для повышения скорости головка/лента число оборотов диска с видеоголовками было увеличено вдвое и уменьшена ширина магнитной строчки до 60 мкм. Применение кода NRZ-L

для канального кодирования позволило записать в канале с рабочей полосой частот 40 МГц поток цифровой информации $R_\Sigma = 80$ Мбит/с.

Фирма «Ampex» (США) на базе поперечно-строчного формата разработала экспериментальный восьмиголовочный цифровой видеомагнитофон, на котором по двум каналам записывается поток цифровой информации $R_\Sigma = 86$ Мбит/с. В формате фирмы «Ampex» предусматривается запись звукового сопровождения как в аналоговой, так и в цифровой форме. Для этого используются участки магнитных строчек, на которых записывается видеосигнал в цифровой форме. Чтобы цифровой звуковой поток сделать непрерыв-

ТАБЛИЦА 7.2

Параметр	Значения параметров экспериментальных цифровых видеомагнитофонов		
	«Bosh Fernseh» (ФРГ)	«Ampex» (США)	«Sony» (Япония)
Время демонстрации, город	Январь 1978 г., Лондон	Февраль 1979 г., Сан-Франциско	Апрель 1979 г., Даллас
Система цветного телевидения	ПАЛ	НТСЦ	НТСЦ
Ширина ленты, мм	25,4	50,8	25,4
Базовый формат записи	Наклонно-строчный сегментный, тип В	Поперечно-строчный	Наклонно-строчный несегментный, тип С
Суммарный информационный поток, Мбит/с	80	86	120
Число каналов для записи изображения	1	2	2
Число видеоголовок для записи	2	8	2
Скорость ленты, см/с	24	38	24
Скорость головка/лента, м/с	48	40	21
Шаг записи, мкм	100	200	180
Ширина строчки, мкм	60	127	40×3
Продольная плотность записи, кбит/см	17	11	23
Поверхностная плотность записи, Мбит/см²	1,6	0,5	2,3
Звуковое сопровождение	—	Цифровой канал с $f_д$ = 50 кГц и буферной памятью. Запись вместе с сигналом изображения	Отдельный цифровой канал с потоком 3,57 Мбит/с для двух стереозвуковых сигналов с $f_д$=44,0 кГц
Монтажные режимы: «Стоп-кадр», «Замедление»	Отсутствуют	Отсутствуют	Имеются
Взаимозаменяемость записей	Обеспечивается точным изготовлением механических узлов и головок	Обеспечивается точным изготовлением механических узлов и головок	Обеспечивается системой автотрекинга и точным изготовлением механических узлов и головок

ным, в состав видеомагнитофона включены буферные блоки цифровой памяти. Разработчики подчеркивают, что выбор сравнительно широких строчек (120 мкм) для записи обусловлен требованиями высокой достоверности и взаимозаменяемости записи.

Необычный цифровой видеомагнитофон разработала фирма «Sony» (Япония) на базе лентопротяжного механизма видеомагнитофона BVH-1100, работающего на ленте 25,4 мм. В нем остались неизменными скорость ленты, скорость головка/лента и несегментный формат записи С, что позволило сохранить режимы «Стоп-кадр» и «Замедление». Записать цифровую информацию удалось путем установки на барабан БВГ специальных видеоголовок. Сердечник видеоголовки общей шириной 130 мкм состоит из трех частей, что позволяет записывать параллельно три канала. По двум каналам записывается видеосигнал в цифровой форме, а по третьему — звуковое сопровождение тоже в цифровой форме. Перекрестные искажения между каналами не более 30 дБ, что достаточно для записи и воспроизведения цифровой информации. Применение рационального канального кодирования (8—10 блочного кода) позволило записать на видеомагнитофоне суммарный поток цифровой информации R^{Σ} до 120 Мбит/с. Влияние выпадений и помех снижено за счет применения эффективных способов коррекции и маскирования ошибок. В цифровых ВМф фирмы «Sony» удалось достичь высокой плотности записи и с помощью автотрекинга обеспечить хорошую взаимозаменяемость, несмотря на использование сравнительно узких магнитных строчек.

Первые модели цифровых ВМф пока не применяются для телевизионного вещания, но служат базой при проведении широких исследовательских работ.

Список литературы

1. **Рузанов И. В., Лишин Л. Г., Катопуло В. И.** Запись цветных телевизионных программ на видеомагнитофонах «Кадр-1Ц». — Техника кино и телевидения. 1970, № 7, с. 3—8.
2. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Телевидение. М.: Связь, 1974.
3. **Мановцев А. П.** Введение в цифровую радиотелеметрию. М.: Энергия, 1967.
4. **Гитлиц М. В.** Магнитная запись в системах передачи информации. М.: Связь, 1978.
5. **Баскевич А. Н., Бугровский М. И.** Запись и воспроизведение сигналов радиолокационной станции с помощью видеомагнитофонов. — В кн.: Зарубежная радиоэлектроника. М., 1976, с. 23—35.
6. **Техника** магнитной видеозаписи/Гончаров А. В., Лазарев В. И., Пархоменко В. И., Штейн А. Б. М.: Энергия, 1978.
7. **Лишин Л. Г., Молодцов В. Е.** Периодная модуляция в узкополосных видеомагнитофонах. — Труды ВНИИТР. 1973, вып. 4 (23), с. 3—9.
8. **Справочник** радиолюбителя конструктора, 2-е изд. М.: Энергия, 1977.
9. **Transverse** track recorders IEC Recomendation Publucation 347, First Edition, 1972.

10. **ГОСТ** 19464—74. Носители записи телевизионных программ. Видеофонограмма на ленте 50,8 мм.
11. **J. Roizen.** I-inch VTR's clear their biqqest hurdle. — Broadcast Euq. (USA). 1978, v. 20, N 2, p. 30—36.
12. **Muenzer P. J.** Die Entwicklunq der Video-Kassettenrecorder. — Funkschau. 1978, N 11, S. 496—501; 1978, N 2, S. 566—570.
13. **Пархоменко В. И., Гончаров А. В.** Видеомагнитофон «Кадр-5». — Техника кино и телевидения. 1976, № 9, с. 39—41.
14. **Травников Е. Н.** Механизмы аппаратуры магнитной записи. Киев: Техніка, 1976, вып. 3, с. 464.
15. **Пархоменко В. И., Лишин Л. Г., Лазарев В. И.** Видеомагнитофон «Кадр-103». — Техника кино и телевидения. 1975, № 1, с. 45—50.
16. **Лазарев В. И., Лишин Л. Г., Пархоменко В. И.** Бытовые видеомагнитофоны. М.: Энергия, 1971.
17. **Видеомагнитофон.** — Радио/Лаврентьев К. А., Кретов С. Д., Плаксин Е. П., Степанов В. И., 1974, № 8, с. 17—21.
18. **Режим** стоп-кадра двухголовочного видеомагнитофона. — Техника кино и телевидения/Кретов С. Д., Лишин Л. Г., Плаксин Е. П., Степанов В. И., 1975, № 3, с. 47—50.
19. **Смирнов Б. В., Лишин Л. Г., Сакс Е. К.** Компенсация выпадений при воспроизведении сигналов цветного телевидения системы СЕКАМ. — Техника кино и телевидения. 1975, № 5, с. 55—62.
20. **Рудман В. И.** Исследование детектора выпадений в системах контроля магнитных видеолент. — Труды ВНИИТР. 1974, вып. 6 (25), с. 33—41.
21. **Штейн А. Б., Юровицкая М. П.** Компенсация выпадений сигнала в видеомагнитофоне «Кадр-5». — Техника кино и телевидения. 1978, № 2, с. 30—33.
22. **А. С.** 374767 (СССР). Устройство компенсации выпадений при магнитной видеозаписи сигналов цветного телевидения/Смирнов Б. В., Лишин Л. Г.
23. **Лишин Л. Г.** Запись цветных телевизионных сигналов на узкополосных видеомагнитофонах. — В кн.: Вопросы магнитной записи электрических сигналов. М., 1973, вып. 2, с. 196—205.
24. **Штейн А. Б.** Разделение сигналов яркости и цветности в аппаратуре регенерации цветовых сигналов. — Труды ВНИТР. 1974, вып. 6 (25), с. 3—13.
25. **А. С.** № 1458541 (СССР). Способ магнитной регистрации полного видеосигнала цветового телевидения/Касань П.
26. **А. С.** 477558 (СССР). Устройство для видеозаписей/Лишин Л. Г., Катопуло В. И.
27. **Бессуднов Р. П.** Уменьшение помех при записи сигнала цветности системы СЕКАМ методом переноса спектра. — Техника кино и телевидения. 1978, № 1, с. 58—63.
28. **Лишин Л. Г., Катопуло В. И.** Блок цветности для записи сигналов СЕКАМ ЗБ на узкополосном видеомагнитофоне. — Техника кино и телевидения. 1973, № 1, с. 46—49.
29. **Лишин Л. Г., Катопуло В. И.** Перенос спектра сигналов цветности при магнитной видеозаписи. — Техника кино и телевидения. 1974, № 6, с. 51—56.
30. **Максаков Л. С., Маковеев В. Г.** Крупнейший в мире телецентр. М.: Связь, 1974.

31. **Шкуд М. А., Островский И. В., Агеев Э. И.** Телевизионный комплекс «Олимпиада-80». — Техника кино и телевидения. 1977, № 6, с. 7—18.
32. **Бельский В. Н., Гордин Б. А., Давиденко С. Н.** Пульт аппаратной магнитной видеозаписи ПАВЗ-Ш. — Техника кино и телевидения. 1975, № 3, с. 60—63.
33. **Кугумова Т. Ч., Герпиков А. В., Найденов А. В.** Улучшение коммутации в аппаратной видеозаписи. — Техника кино и телевидения. 1976, № 5, с. 72—73.
34. **Бельский В. Н., Рузанов И. В., Давиденко С. Н.** Блок видеозаписи ОТЦ. — Техника кино и телевидения. 1969, № 10, с. 3—7.
35. **Росселевич И. А., Фарбер Е. И., Харгинян Р. С.** Развитие технических средств студийного и внестудийного телевизионного вещания в СССР. — Техника кино и телевидения. 1977, № 10, с. 49—67.
36. **Рузанов И. В., Пархоменко В. И.** Передвижная телевизионная станция магнитной видеозаписи ПТМЗ. — Техника кино и телевидения. 1967, № 11, с. 8—9.
37. **Передвижная** станция магнитной видеозаписи ПВС-1. — Техника кино и телевидения/Бельский В. Н., Давиденко С. Г., Маркова Ю. Б. и др. 1971, № 6, с. 27—28.
38. **Развитие** передвижных средств магнитной видеозаписи. — Техника кино и телевидения/Красовский В. А., Ефимов Ю. Е. Привознов Г. В., Омельченко Л. В. 1976, № 1, с. 38—41.
39. **Петропавловский В. А., Постникова Л. Н., Штейнберг А. Л.** Репортажная станция цветного телевидения. — Техника кино и телевидения. 1978, № 7, с. 63—68.
40. **Регенератор** РГ-100. — Техника кино и телевидения/Лишин Л. Г., Рудман В. И., Сакс Е. К. и др. 1978, № 9, с. 55—58.
41. **Тельнов Н. И.** Электронный монтаж видеозаписей и кинофильмов. — Техника кино и телевидения. 1977, № 2, с. 66—76.
42. **Уакин С. Н., Давиденко С. Н.** Система электронного монтажа видеофонограмм с использованием видеомагнитофонов второго поколения. — Техника кино и телевидения. 1976, № 6, с. 42—47.
43. **Бобылев В. И., Ханевский И. А., Шапиро А. С.** Универсальный видеомагнитофон для электронного монтажа. — Техника кино и телевидения. 1978, № 1, с. 9—15.
44. **Разоринов Г. Н., Порицкий О. В., Корж Н. А.** Алгоритмы трехинтервального сигнала цифровой магнитной записи. — В кн.: Вестник Киевского политехнического института. Сер. радиотехники и электроакустики. Киев, 1975, вып. 12.
45. **Mallinson J. C., Miller J. W.** Optimal codes for diqifal magnetic recordinq. — The Radio and Electronic Engineering, v. 47, N 4, p. 172—176.
46. **Пархоменко В. И., Рудман В. И.** Проблемы цифровой магнитной видеозаписи. — Техника кино и телевидения. 1978, № 5, с. 28—33.
47. **Лишин Л. Г.** Магнитная запись цветных изображений. М.: Энергия, 1979, вып. 990, с. 120.
48. **Kosaka** Masahira Samplind frequency consideration. — J. Andio Enq. Soc. 1978, v. 26, N 4, p. 234, 236, 238, 240.
49. **J. M. P.** Technique phouoqraphie Le aisque PCM. — Hi-Fi Electronvons. 1977, N 57, 76—79.
50. **Пат.** № 5245213 (Япония).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава 1. Магнитная запись широкополосных и телевизионных сигналов 5

1.1. Применение видеомагнитофонов 5
1.2. Основные характеристики телевизионных сигналов 7
1.3. Магнитная запись телеметрических сигналов 10
1.4. Запись радиолокационных сигналов 13

Глава 2. Особенности магнитной записи видеосигналов . . . 15

2.1. Структурные схемы аппаратов магнитной записи 15
2.2. Характеристики процесса записи 16
2.3. Процесс воспроизведения 19
2.4. Помехи тракта записи — воспроизведения 21
2.5. Трудности, возникающие при магнитной записи видеосигналов . 24
2.6. Способы магнитной записи видеосигналов 28
2.7. Функциональная схема видеомагнитофона с четырьмя вращающимися головками 33
2.8. Особенности видеомагнитофонов с одной и двумя вращающимися головками 48

Глава 3. Устройство современных видеомагнитофонов . . . 50

3.1. Общие сведения 50
3.2. Лентопротяжные механизмы профессиональных видеомагнитофонов 66
3.3. Лентопротяжные механизмы бытовых видеомагнитофонов . . 73
3.4. Блоки вращающихся головок 81
3.5. Структурные схемы видеомагнитофонов 86
3.6. Устройства компенсации выпадений 95

Глава 4. Особенности записи цветовых сигналов . . . 102

4.1. Общие сведения 102
4.2. Принципы сравнительной оценки способов записи 102
4.3. Запись с перекодированием 104
4.4. Запись с разделением и преобразованием 108
4.5. Запись способом ПЧМ сигналов НТСЦ и ПАЛ 118

Глава 5. Применение видеомагнитофонов для телевизионного вещания 125

5.1. Общие сведения 125
5.2. Внестудийное вещание и видеожурналистика 128
5.3. Монтаж программы 135

Глава 6. Запись цифровых сигналов 143

6.1. Особенности записи цифровых сигналов на видеомагнитофон . . 143
6.2. Методы цифровой модуляции 146
6.3. Структурная схема устройства записи цифровой информации на видеомагнитофоне 153
6.4. Цифровая звукозапись 156

Глава 7. Перспективы совершенствования аппаратуры видеозаписи 161

7.1. Перспективы совершенствования аналоговых видеомагнитофонов . 161
7.2. Проблемы и перспективы цифровой видеозаписи 162
Список литературы 166

90 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «СВЯЗЬ»