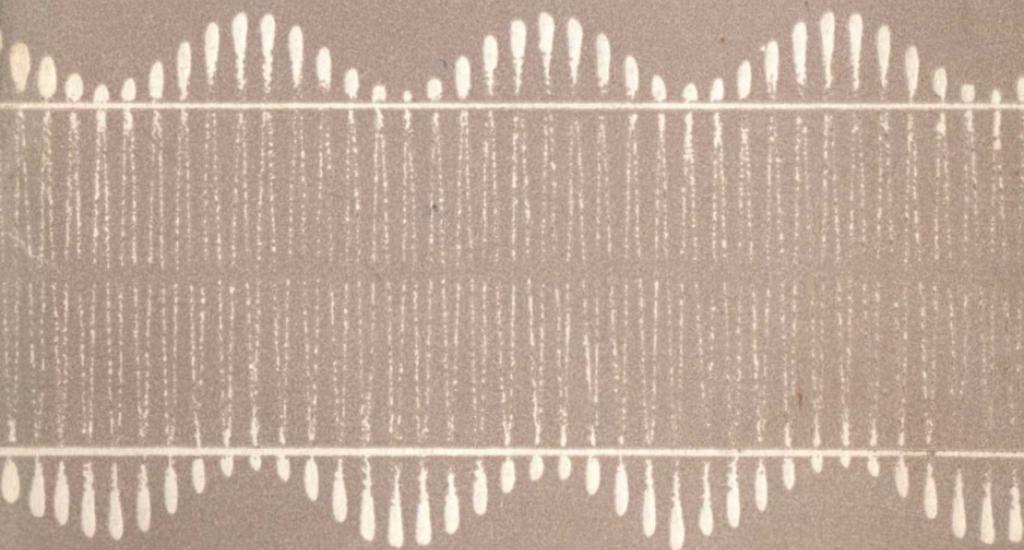
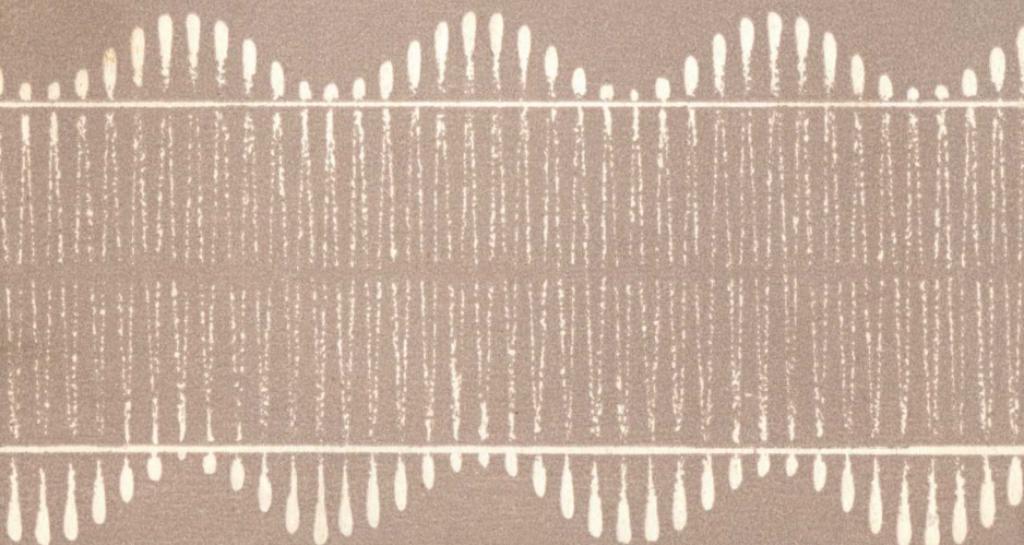


Ю.А.Василевский

ВИДЕОМАГНИТОФОН



40 к.



Ю.А.Василевский

ВИДЕОМАГНИТОФОН

МОСКВА
«ИСКУССТВО»
1973

6Ф3
В19

B 3211-118
025(01)-73 189-73

© Издательство «Искусство», 1973

Введение

Магнитная запись родилась в самом начале 20-го века как способ записи звука. Обладая поразительными, не имеющими себе равных достоинствами и простотой, этот способ, однако, не сразу завоевал признание: были и периоды почти полного забвения и периоды бурного развития. После первого шумного успеха у телеграфона, как тогда назывался аппарат магнитной записи, появился сильный соперник — граммофон, который звучал «чище» и громче. Система воспроизведения звука у телеграфона состояла из катушки индуктивности, через которую протягивалась проволока — носитель записи, и непосредственно соединенных с катушкой головных телефонов. Конечно, при отсутствии электронных усилителей такая система не могла соперничать с акустическим рупорным преобразователем («трубой») граммофона. В 1916 г. Анри Бюасс в своем курсе физики сказал: «Глядя на подобные изобретения (имелась в виду магнитная запись. — Ю. В.), не знаешь, чему больше удивляться: их необычайной гениальности или совершенной бесполезности» *.

Однако в 30-х годах и в начале 40-х годов на основе развития электронной техники аппарат магнитной записи претерпел второе рождение, на этот раз под именем «магнитофон». С этого времени начинается непрерывное быстрое развитие магнитной записи; в «проводочном» телеграфоне скрывались чрезвычайно большие потенциальные возможности, полностью не исчерпанные и в настоящее время.

В начале 50-х годов на магнитную ленту впервые было записано телевизионное изображение. А в 1956 г. был выпущен первый промышленный аппарат магнитной записи движущихся изображений — видеомагнитофон. Сначала видеомагнитофоны применялись для телевизионного вещания в студийных условиях. В настоящее время видеомагнитофон

* H. Buasse, *Cours de magnetisme et d'electricite*, Vol. 3, Paris, 1916.

ны и видеозапись применяются не только для телевизионного вещания, но и в научных исследованиях, в учебных процессах и в любительских целях.

Ежедневно в течение многих часов телевизионные передачи идут в записи на магнитную ленту. В практике телестудий запись изображений на магнитную ленту сильно потеснила запись на кинопленку. Выпуск магнитных видеолент различного назначения в мире составляет около миллиарда погонных метров в год.

Этот прогресс оказался возможным благодаря принципиальным особенностям, присущим способу магнитной записи вообще, и благодаря непрерывному совершенствованию видеомагнитофонов. На магнитной ленте запись изображений получается практически мгновенно, а задержка между записью и воспроизведением определяется только конструкцией видеомагнитофона и не зависит от свойств ленты. Магнитная лента до записи и после нее не требует химической или какой-либо другой обработки. В условиях эксплуатации одна и та же лента может быть использована до нескольких сотен раз.

Качество изображения, воспроизводимого видеомагнитофоном, настолько высоко, что при его тщательной настройке и правильном выборе магнитной ленты визуально нельзя отличить изображение объекта, передаваемое непосредственно с телевизионной камеры или в записи на видеомагнитофоне. Другими словами, ограничения, присущие телевизионному тракту, характеризуемые, например, четкостью передающей и приемной аппаратуры и отношением сигнала/помеха, возникают раньше, чем ограничения, присущие собственно видеомагнитофону и системе видеозаписи.

Запись движущихся изображений на магнитную ленту является одним из выдающихся технических достижений второй половины 20-го века. В этой книге мы в возможно доступной форме расскажем о том, как происходит видеозапись, в каких технических средствах она нуждается, а также о том, какие применения могут быть у видеомагнитофона.

* * *

Несколько слов об употребляемых в книге терминах. Видеомагнитофоном называется аппарат для магнитной записи телевизионного изображения и звука, сопровождающего изображение. Приставка «видео» происходит от латинского слова «video», означающего «вижу», «смотрю». Маг-

нитофон — это аппарат для магнитной записи только звука (это слово можно было бы перевести как «магнитный звук»).

Приставкой «видео» мы будем пользоваться тогда, когда желательно подчеркнуть, что речь идет именно о том процессе, сигнале или составной части аппарата, которые непосредственно связаны с записью и воспроизведением изображения, т. е. с основной функциональной задачей видеомагнитофона. Например: видеосигнал — сигнал изображения; видеозапись — запись изображения; видеоголовка — головка для записи или воспроизведения изображения. Кроме записи собственно изображения и применяемых для этого сигналов и деталей в видеомагнитофонах существуют процессы записи звука и сигналов регулирования; имеются головки, предназначенные для записи и воспроизведения этих сигналов, и т. п. К ним приставка «видео» не применяется. Магнитную ленту будем называть двояко: и видеолентой и просто лентой.

Глава I. Как происходит магнитная запись

§ 1. Что записывается на видеомагнитофоне

Телевизионная передающая камера внешне напоминает кинокамеру. Между телевизионной и кинокамерой существует и функциональное сходство: в обеих объект съемки с помощью объектива изображается в определенной плоскости внутри камеры. Но есть и важное различие. В кинокамере снимаемый объект в виде скрытого изображения

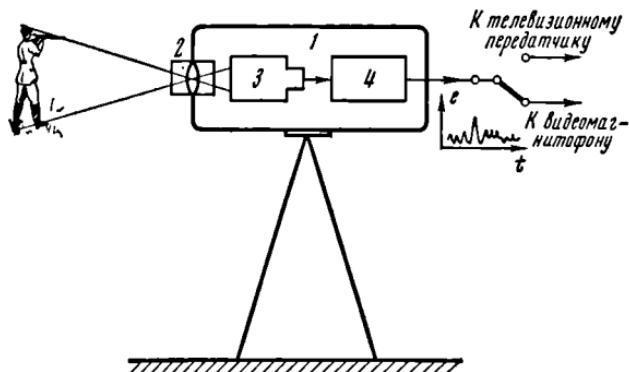


Рис. 1. Передающая телевизионная камера: 1 — камера; 2 — съемочный объектив; 3 — передающая телевизионная трубка; 4 — видеоусилитель; e — напряжение видеосигнала; t — время

регистрируется на кинопленке. Таким образом, если не вдаваться в тонкости фотографических процессов, преобразование изображения здесь простое, во всяком случае более привычное. В противоположность этому в телевизионной камере регистрации изображения не происходит. Однако его преобразование выглядит более сложно. Оптическое изображение преобразуется в колебания электрического тока.

Напомним коротко, как это происходит. Оптическое изображение с помощью объектива фокусируется на передающую телевизионную трубку, расположенную внутри передающей камеры, как показано на рис. 1.

Существует несколько разновидностей передающих телевизионных трубок. В качестве примера рассмотрим одну из них — так называемый видикон, показанный на рис. 2. Он представляет собой стеклянный баллон 1, из которого откачен воздух. На торцевую поверхность баллона, находящуюся в плоскости изображения объекта съемки, с внутренней стороны напесены два слоя: очень тонкий и поэтому почти полностью прозрачный металлический слой 2 и слой фотосопротивления 3, изготовленный из материала, электропроводность которого меняется под действием света. Когда на эту поверхность, т. е. на слой фотосопротивления, сфокусировано изображение объекта съемки, электропроводность будет больше в тех местах, где освещенность изображения больше, и наоборот. Металлический слой является, по существу, электродом, через который отводится

ток от любого участка слоя фотосопротивления. Он соединен с так называемым сигнальным сопротивлением 4.

В баллоне перемещается электронный луч 5, сфокусированный также на слой фотосопротивления, но только с внутренней стороны трубы. Электронный луч представляет собой электрический ток «в вакууме», т. е. является как бы проводником, который, перемещаясь, прикладывается то к одному, то к другому участку слоя фотосопротивления. Когда электронный луч оказывается на освещенном участке слоя, электропроводность которого большая, то и ток в цепи трубы большой, когда на темном участке слоя — малый. Ток, проходя по сигнальному сопротивлению, создает на нем падение напряжения, которое и является сигналом изображения, или видеосигналом.

В этом и заключается существо процесса преобразования оптического изображения в видеосигнал. Мы не останавливались здесь на тонкостях, связанных с инерционностью фотосопротивления, что не меняет, однако, описанный общий характер процесса.

Попытаемся теперь определить частоту колебаний видеосигнала. Электронный луч сфокусирован на слой фотосопротивления в виде электронного пятна, показанного кру-

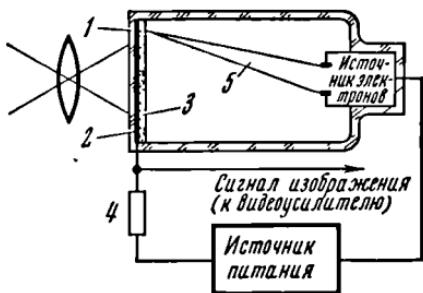


Рис. 2. Передающая телевизионная трубка видикон

жочком в левом верхнем углу поля, занимаемого кадром изображения на рис. 3. Перемещаясь, пятно прочерчивает строку по ширине кадра, быстро возвращается назад и прочерчивает следующую строку, расположенную под первой, и т. д. Всего по стандарту для телевизионного вещания, принятому в СССР, электронное пятно прочерчивает в пределах кадра 625 строк. Этим определяется диаметр электронного пятна — он должен быть таким, чтобы по высоте кадра уместилось 625 диаметров.

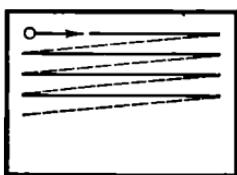


Рис. 3. Поле кадра изображения

Телевизионная передающая трубка не может различать детали сфокусированного на нее изображения, которые по размерам меньше диаметра электронного пятна, так как в пределах пятна происходит усреднение тока сигнала. Если, например, участок изображения в пределах пятна состоял из чередующихся черных и белых деталей, то на приемной трубке телевизора этот участок будет выглядеть как сплошной серый.

Рассмотрим частоту колебаний из расчета передачи изображения, наиболее богатого разрешаемыми деталями. Примером этого может быть передача рисунка, состоящего из черных и белых квадратов, подобно шахматной доске, когда сторона каждого квадрата на изображении рисунка, сфокусированном на передающей трубке, примерно равна диаметру электронного пятна. В этом случае по вертикали кадра изображения будет расположено 625 квадратов — по числу строк, ширина которых, как уже говорилось, также равна диаметру электронного пятна. А по горизонтали 833 квадрата, так как горизонтальная сторона больше вертикальной (отношение вертикальной стороны кадра к горизонтальной нормировано и составляет 3 : 4).

Поскольку каждый квадрат не меньше электронного пятна, то при переходе пятна вдоль строки от черного квадрата к белому ток передающей трубки претерпит изменение от минимального до максимального, т. е. при проходе электронного пятна по каждой паре квадратов совершается одно полное колебание. Всего в пределах кадра имеется $625 \times 833 \approx 500\,000$ квадратов, т. е., пробегая последовательно по всем строкам кадра, электронное пятно вызовет $500\,000 : 2 = 250\,000$ колебаний тока в цепи передающей трубки. В секунду передается 25 кадров, и, следовательно, всего в секунду совершается $25 \times 250\,000 \approx 6\,000\,000$ колебаний.

Одно колебание в секунду составляет 1 гц. Таким образом, частота колебаний тока при передаче телевизионного изображения с полной разрешающей способностью при разложении изображения на 625 строк составит 6 000 000 гц, или 6 Мгц. Если изображение разлагается на меньшее число строк, то соответственно ниже будет и частота колебаний. Четкость изображения, характеризуемая минимальным размером передаваемых деталей, также будет ниже.

В общем случае, конечно, изображение может состоять не только из такой регулярной последовательности черных и белых элементов, как только что рассмотренная. Это лишь предельный случай, на который должна быть рассчитана телевизионная система. Черные и белые участки могут меняться на изображении совсем не так часто; могут быть целые строки, состоящие только из белых или только из черных элементов. Даже могут быть целые кадры сплошь черные (ночь) или сплошь белые (снежные поля). Наконец, обычно изображение состоит не только из черных и белых участков, но имеет и полутона. В результате сигнал изображения может содержать все частоты ниже 6 Мгц, т. е. может быть заключен в широкой полосе от 0 до 6 Мгц. Частота 0 гц соответствует постоянному напряжению.

До сих пор мы ничего не говорили о том, как происходит отклонение электронного луча, вследствие которого он пробегает строку за строкой в передающей трубке и после окончания кадра снова возвращается в исходное положение. Это делается с помощью отклоняющих катушек (на рис. 2 они не показаны), магнитное поле которых взаимодействует с электронами луча и изменяет их путь. Отклоняющие катушки питаются от так называемого генератора развертки, который связан с синхрогенератором, как показано на рис. 4. В синхрогенераторе вырабатываются импульсы, которые, с одной стороны, управляют генератором развертки, т. е. током в отклоняющих катушках, а с другой — поступают на видеоусилитель. В видеоусилителе синхроимпульсы смешиваются с сигналом изображения, образуя полный видеосигнал. В полном видеосигнале (рис. 5) каждая строка изображения располагается между двумя строчными синхроим-

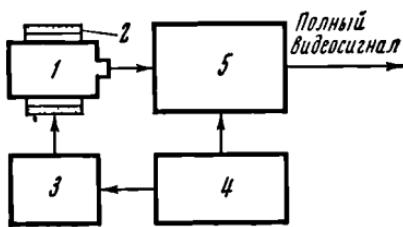


Рис. 4. Блок схема развертки изображения: 1 — передающая трубка; 2 — отклоняющие катушки; 3 — генератор развертки; 4 — синхрогенератор; 5 — видеоусилитель

пульсами. Каждый строчный синхроимпульс следует через определенное время после кадрового импульса. Этим точно определено расположение «изобразительной информации» по полю кадра. Очевидно, импульсы синхронизации кадров должны следовать с частотой кадров, т. е с частотой 25 импульсов в секунду, а импульсы синхронизации строк с частотой, в 625 раз большей.

Телевизионные изображения чаще передаются не по кадрам, а по полукадрам: каждому кадру соответствует 1 полукард с четными строками и 1 полукард с нечетными стро-



Рис. 5. Стока изображения и изменение напряжения вдоль нее

ками (чересстрочная развертка изображения). При этом полукаровая частота синхронизации, очевидно, составляет 50 импульсов в секунду.

Эти импульсы используются затем уже в телевизионном приемнике для согласования принимаемого изображения с передаваемым. Поэтому в видеосигнале обязательно должны присутствовать составляющие напряжения, изменяющиеся с частотой 25 и 50 гц и с частотой $625 \times 25 = 15\,625$ гц.

Полный телевизионный сигнал преобразован так, что больший уровень видеосигнала соответствует темным участкам изображения («уровень черного» составляет 75% от максимального уровня). А «уровень белого», соответствующий наиболее ярким местам изображения, составляет лишь 15% от максимального уровня. При такой форме сигнала строчные синхроимпульсы имеют максимальную величину, т. е. располагаются на уровне «чернее черного», и поэтому не вызывают каких-либо изменений яркости на приемной

телевизионной трубке. Трубка к моменту прихода строчного импульса погашена строчным гасящим импульсом так, что строчный синхроимпульс лишь еще больше запирает трубку.

Таким образом, оптическое изображение преобразуется телевизионной камерой в электрический сигнал, который изменяется в широком диапазоне, например с частотами от 0 до 6 Мгц. Этот электрический сигнал может быть использован или непосредственно для передачи «в эфир», или для записи на магнитную ленту.

Принципиально по своей природе сигнал, получаемый от телевизионной камеры, такой же, как и сигнал, получаемый от микрофона при записи звука. И тут и там наблюдается электрический колебательный процесс, который может быть записан на магнитную ленту. Поэтому магнитная запись телевизионных изображений принципиально не отличается от магнитной записи звука или от магнитной записи каких-либо других электрических сигналов, хотя, конечно, имеет свои особенности.

В видеомагнитофонах на одну и ту же ленту записывается изображение и звук, сопровождающий изображение. Оба эти сигнала записаны в виде изменений намагниченности ленты, т. е. намагниченность ленты происходит в разной степени.

§ 2. Некоторые сведения о магнитных явлениях и материалах

Ферромагнитные материалы

Записать на магнитной ленте электрический сигнал — это значит намагнитить ее так, чтобы изменения намагниченности вдоль дорожки записи на ленте соответствовали изменению сигнала во времени.

Мы знаем, что намагничиваться способны не все материалы, а только относящиеся к группе так называемых ферромагнитных материалов, или просто ферромагнетиков. К ним относятся некоторые металлы (железо, никель,cobальт и их сплавы) и окислы металлов (гамма-окиси железа, двуокись хрома). Разновидностью ферромагнитных окислов, отличающихся более сложной структурой (двойные окислы), являются ферриты.

Ферромагнитные материалы намагничиваются во внешнем магнитном поле, которое создается электрическим током. Внешнее поле может создаваться и постоянным магни-

том, например природным. Существуют минералы такие, как магнетит, которые могут быть намагниченны уже в природном состоянии. Однако если взглянуть глубже в природу постоянного магнита, то можно видеть, что и в нем магнитное поле создается микроскопическими электрическими токами. Эти микроскопические токи, циркулирующие в веществе, есть не что иное, как результат движения электронов вокруг атомных ядер и вокруг собственных осей. Электроны находятся в непрерывном движении в любом веществе, но магнитные поля, создаваемые движущимися электронами, проявляются наиболее сильно именно в ферромагнетиках, в частности из-за отсутствия взаимной компенсации магнитных полей, создаваемых отдельными электронами.

Намагничивание ферромагнитных материалов

Намагничивание ферромагнитных материалов в магнитном поле тока показано на рис. 6. Магнитное поле, создаваемое катушкой, прямо пропорционально току, проходящему по катушке. Это можно записать как

$$H = KI,$$

где H — напряженность магнитного поля в данной точке внутри или вблизи катушки, э; I — ток в катушке, а; K — коэффициент пропорциональности.



Рис. 6. Намагничивание ферромагнитного материала током, протекающим по катушке

При увеличении магнитного поля или, что то же самое, тока в намагничающей катушке, увеличивается и намагниченность ферромагнитного материала, находящегося в катушке. Но здесь уже нет прямой пропорциональности и рост намагниченности с увеличением тока происходит по некоторой кривой линии (рис. 7). При малых токах намагниченность растет медленно, затем происходит более или менее резкое изменение скорости намагничивания и, наконец, скорость намагничивания опять снижается настолько, что намагниченность, достигнув некоторого значения M_s , уже

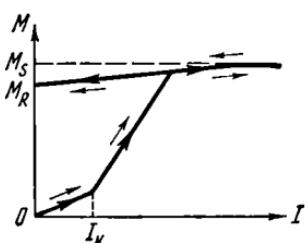


Рис. 7. Изменение намагниченности материала в зависимости от тока в намагничающей катушке

больше не растет, как бы мы ни увеличивали ток. При этом говорят, что материал достиг магнитного насыщения, а намагченность M_s называют намагченностью насыщения. Она является физической константой материала.

Такая нелинейная зависимость намагченности от тока объясняется физической природой ферромагнитных материалов. Мы уже говорили, что магнитные поля электронов как бы намагничивают каждый микроскопический объем ферромагнетика. Однако, пока к ферромагнитному материалу не приложено внешнее намагничивающее поле, например поле катушки, он не проявляет магнитных свойств. Как видно из рис. 7, до включения тока намагченность также равна нулю.

Действительно, каждый микроскопический объем ферромагнетика намагначен, причем намагначен до насыщения, характеризуемого величиной M_s . Но намагченные объемы при отсутствии внешнего поля «самоизвольно» приобретают такие направления намагченности, что намагченность ферромагнетика в целом равна нулю. Это показано на рис. 8, а, где ромбическими стрелками обозначены направления намагченности отдельных малых объемов материала. При намагничивании направления намагченности в малых объемах постепенно поворачиваются по направлению намагничивающего поля и при больших значениях тока направления намагченности всех малых объемов совпадают с направлением поля, как показано на рис. 8, б. Это означает, что весь материал в целом намагначен до насыщения.

Между малыми намагченными областями существует взаимодействие, которое оказывает существенное влияние на весь процесс намагничивания и перемагничивания материала. Именно в результате этого взаимодействия намагченность в материале ощутимо проявляется, лишь начиная с определенных значений поля, как на рис. 7. Это взаимодействие можно сравнить с трением, например, между лежащим на полу ящиком и полом: ящик не сдвигается с места до тех пор, пока сдвигающее усилие не превысит силу трения.

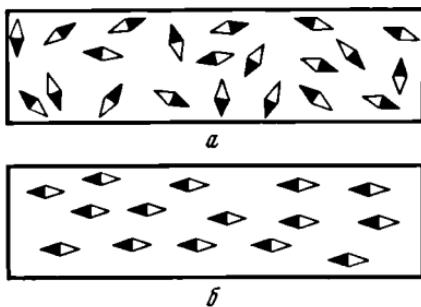


Рис. 8. Ненамагченный (а) и намагченный до насыщения материал (б)

Достигнув намагнченности насыщения, выключим ток в намагничивающей катушке. Намагнченность в материале не исчезнет; она лишь немножко снизится — до значения M_R . Это очень важное обстоятельство также вызвано взаимодействием малых намагнченных областей. Как и в начале намагничивания, оно препятствует изменению намагнченности материала. Величина M_R называется максимальной остаточной намагнченностью, т. е. намагнченностью, которая сохраняется в материале

после прекращения действия поля. На способности ферромагнитных материалов сохранять сообщенную им намагнченность и основана магнитная запись. Чтобы материал имел остаточную намагнченность, не обязательно намагничивать его до насыщения, т. е. не обязательно пользоваться очень большими токами в катушке. Остаточная намагнченность будет при любых токах, которые больше некоторой величины I_k (см. рис. 7).

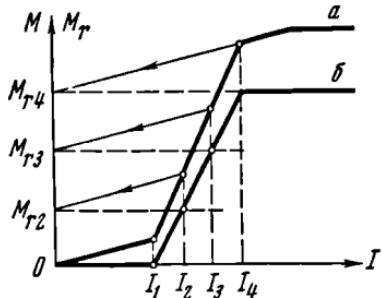


Рис. 9. Построение кривой остаточной намагнченности, показывающей величину намагнченности, сохраняющейся в материале после прекращения действия тока I_1 , I_2 , I_3 , и т. д.

Различные значения тока и соответствующие значения намагнченности показаны на рис. 9 (кривая а). По ним можно построить так называемую кривую остаточной намагнченности, показанную на том же рисунке (кривая б). Она идет несколько ниже кривой начального намагничивания и непосредственно связывает намагничивающий ток с остаточной намагнченностью. Забегая вперед, отметим, что воспроизводимый с ленты сигнал пропорционален остаточной намагнченности. Поэтому кривая б на рис. 9 может рассматриваться и как кривая изменения напряжения сигнала, воспроизводимого с ленты.

Посмотрим теперь, как будет меняться намагнченность материала, находящегося в катушке, если ток изменять от нуля в обратном направлении, т. е. в сторону отрицательных значений. Намагнченность будет снижаться и исчезнет вовсе при токе, равном $-I_k$ (рис. 10). Если же продолжить изменение тока в этом направлении, то в материале опять возникнет намагнченность, но уже в другом направлении. При очень больших токах снова возникнет магнитное насыщение материала в обратном направлении. Если ток будет

циклически изменяться, как показано внизу на рис. 11, то намагниченность материала будет меняться по петле, называемой петлей гистерезиса, показанной на том же рисунке вверху.

Если измерять намагниченность материала не в момент действия поля, а после его выключения, т. е. измерять остаточную намагниченность, то можно построить таким же способом, как на рис. 9, петлю остаточной намагниченности. Сверху и снизу петля остаточной намагниченности ограничена участками, параллельными оси абсцисс. Такая петля показана на рис. 18.

Характеристики ферромагнитных материалов

Две характерные точки петли гистерезиса мы уже знаем — это точки, соответствующие максимальной намагниченности M_s и максимальной остаточной намагниченности M_R . Рассмотрим еще одну — третью характерную точку, а именно точку пересечения петли с осью абсцисс. В этой точке намагниченность материала обращается в нуль. Она соответствует так называемой коэрцитивной силе материала. Коэрцитивную силу можно было бы назвать задерживающей силой, потому что она характеризует способность материала противостоять внешнему намагничивающему полю. Действительно, чем больше коэрцитивная сила, тем шире петля гистерезиса и тем большее поле или больший ток требуется для размагничивания материала. Это видно не только из петли гистерезиса, но и из кривой начального намагничивания, так как с величиной коэрцитивной силы связано значение тока I_c в точке перегиба кривой на рис. 7. Чем больше коэрцитивная сила, тем больше это значение. Коэрцитивную силу измеряют в единицах напряженности магнитного поля и обозначают буквой H_c , а не в единицах тока, так как хотя ток и пропорционален полю,

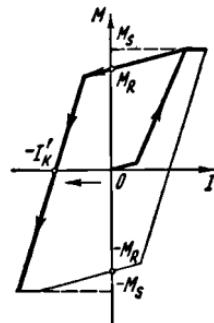


Рис. 10. Изменение намагниченности материала при изменении тока в области отрицательных значений

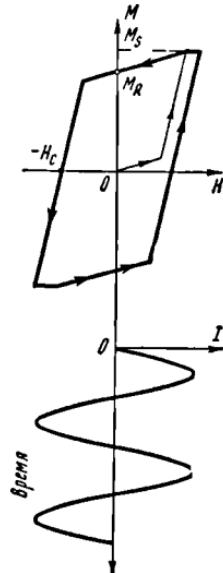


Рис. 11. Петля гистерезиса материала и ее характерные точки

но коэффициент пропорциональности зависит от числа витков намагничивающей катушки и в общем случае неизвестен.

Наконец, рассмотрим еще одну характеристику ферромагнитных материалов — магнитную проницаемость. При намагничивании, как уже говорили, происходит перераспределение направлений намагченности отдельных малых областей внутри ферромагнетика. Магнитные поля этих областей, точнее их геометрическая сумма, определяют намагченность материала M . С другой стороны, эти магнитные поля вносят определенный вклад в суммарное магнитное поле внутри катушки. Другими словами, магнитный поток, проходящий через намагничивающую катушку, будет определяться как магнитным полем, создаваемым током в катушке, так и полем, создаваемым самим намагничиваемым материалом, т. е. суммарным полем, равным $M+H$. Если мы вынем из катушки намагничиваемый материал, то магнитный поток через нее будет определяться только полем H , создаваемым током в катушке.

Магнитная проницаемость материала показывает, во сколько раз возрастет магнитный поток через катушку при внесении в нее материала по сравнению с «пустой» катушкой, и обозначается

$$\mu = \frac{M+H}{H} = \frac{M}{H} + 1.$$

Первое слагаемое в правой части характеризует наклон кривой начального намагничивания (см. рис. 7). Этот наклон неодинаков в различных точках, поэтому и магнитная проницаемость ферромагнетика имеет различные значения. В магнитной записи наибольшее значение имеет начальная магнитная проницаемость и примерно равная ей магнитная проницаемость возврата. Первая определяется наклоном кривой намагничивания в начале координат, вторая — наклоном касательной к петле гистерезиса в точке ее пересечения с осью ординат.

Магнитожесткие и магнитомягкие материалы

Ферромагнитные материалы, применяемые в устройствах магнитной видеозаписи, подразделяются на две разновидности — так называемые магнитожесткие и магнитомягкие материалы. Магнитожесткие материалы характеризуются высокой коэрцитивной силой и сравнительно низкой остаточной намагченностью. Они применяются для

изготовления носителей записи. Действительно, в носителях записи важно иметь достаточно большую коэрцитивную силу, чтобы намагниченные участки носителя, представляющие запись, не размагничивались под действием магнитных полей соседних участков, а также чтобы обеспечить устойчивость записи к воздействию посторонних магнитных полей, например магнитного поля земли. Кроме того, из более углубленного рассмотрения свойств носителей вытекает следующее требование: они должны обладать большим отношением коэрцитивной силы к остаточной намагниченности и малой начальной магнитной проницаемостью. Этим требованиям как раз удовлетворяют магнитожесткие материалы.

Магнитомягкие материалы применяются для изготовления магнитных головок. Для них, наоборот, важно, чтобы материал, из которого они изготовлены, легко перемагничивался, т. е. обладал малой коэрцитивной силой, и имел бы высокую намагниченность насыщения и высокую начальную магнитную проницаемость. Последнее важно для достижения высокого к. п. д. головки. В таблице приведены свойства некоторых материалов, применяемых в магнитной записи.

Свойства некоторых материалов, применяемых в магнитной записи

Магнитные материалы	Состав и условное обозначение	H_c , э	M_R , гс	M_S , гс	$\mu_{\text{нач}}$
Магнитожесткие:					
Порошок гамма-окиси железа	$\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3$	300	2100	3700	2
Порошок модифицированной двуокиси хрома	CrO_2	460	2500	4000	2
Железо-кобальтовый сплав в порошке	60% Fe; 40% Co	1000	6000	10 000	—
Никель-кобальтовый сплав в непрерывной фазе (слой толщиной 0,3 мкм)	27% Ni; 73% Co	350	17 000	19 000	—
Магнитомягкие:					
Сплав пермаллой	79% Ni; 5% Mo; 15% Fe; 0,5% Mn	0,004	6800	7900	100 000
Сплав альфесил	Fe; Al; Si	0,1	6600	7500	5000
Феррит	600 НН	0,4	1400	3100	600

Коэрцитивная сила порошковых материалов приведена для объемной концентрации порошка в измеряемом образце равной 30%; остаточная и максимальная намагченность порошковых материалов приведена для объемной концентрации порошка в измеряемом образце равной 100%. Так как 100%-ная концентрация в образце не может быть достигнута, свойства получены путем пересчета, исходя из величин, измеренных при меньших концентрациях.

§ 3. Принцип магнитной записи, воспроизведения и стирания электрических сигналов

Запись

Если в магнитном поле катушки с током находится достаточно длинный кусок ферромагнетика, длина которого больше действующей протяженности магнитного поля катушки, как показано на рис. 12, то при пропускании тока через катушку намагнитится только часть куска, расположенная в пределах поля. Можно изменить величину

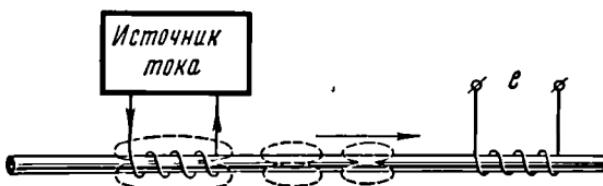


Рис. 12. Намагничивание длинного стержня в катушке с током: e — э.д.с. индукции

тока в катушке, изменив тем самым величину поля, и одновременно передвинуть ферромагнетик, например, на длину катушки. При этом намагнитится новый соседний участок куска. Поскольку величина поля будет другой, этот новый участок приобретет новую величину остаточной намагченности. Передвигая ферромагнетик и изменяя величину тока, получим на нем участки с различной остаточной намагченностью. Наконец, кусок или стержень из ферромагнетика можно передвигать непрерывно через катушку и непрерывно изменять ток в катушке в соответствии с определенным электрическим сигналом.

В результате этого ферромагнитный стержень будет представлять собой как бы цепочку намагниченных участков или просто постоянных магнитиков, намагченность

которых также будет соответствовать электрическому сигналу. Этот процесс, в сущности, и представляет собой магнитную запись. В настоящее время он выглядит более сложно, однако в первых аппаратах магнитной записи, появившихся еще в самом начале 20-го века, все происходило именно так: через намагничающую катушку протягивалась проволока и намагничивалась в изменяющемся магнитном поле катушки. Намагничающая катушка была «прообразом» головки записи, а проволока являлась носителем записи.

Если намагниченную с различной интенсивностью проволоку, или носитель записи, протягивать через вторую такую же катушку, не соединенную с источником тока, но на концах ее будет индуктироваться электродвижущая сила e (э. д. с. индукции), зависящая от остаточной намагниченности проволоки или в конечном итоге от сигнала в первой катушке. Таким образом, вторая катушка оказывается воспринимающим элементом, или головкой воспроизведения записи.

В современных системах магнитной записи магнитные головки записи и воспроизведения представляют собой не просто катушки медного провода. В современной головке записи, показанной на рис. 13, катушка, создающая поле, намотана на сердечник из магнитомягкого материала с зазором. С помощью сердечника магнитное поле катушки концентрируется в области зазора. Зазор обычно очень мал — от 0,5 до 5 мкм, т. е. много меньше толщины волоса, и это позволяет концентрировать магнитное поле в очень малой области.

Действительно, представим, что в катушку подан импульс тока. Если бы катушка не имела сердечника, т. е. была такой, как на рис. 12, то в самом лучшем случае, учитывая необходимую силу тока и толщину провода (поле до 1000 э), длина ее могла быть около 1 мм. Соответственно этому магнитный отпечаток на носителе записи также был бы порядка 1 мм. Если же катушка намотана на сердечни-

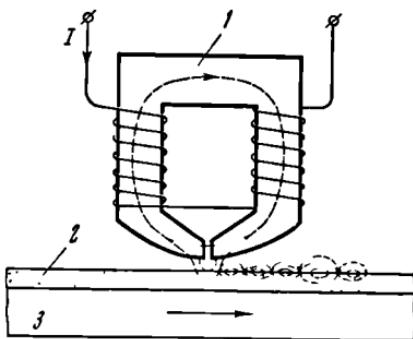


Рис. 13. Намагничивание магнитной ленты головкой записи 1 — головка записи; 2 — рабочий слой ленты; 3 — основа ленты

ке с зазором шириной около 2 мкм, то и действующая протяженность магнитного поля в области зазора в сердечнике также будет равна примерно 2 мкм. Такой же будет и наименьшая длина магнитного отпечатка на носителе, т. е. в 500 раз меньшая, чем в случае применения катушки без сердечника. Магнитное поле в области зазора можно рассматривать как поле рассеяния незамкнутой магнитной цепи. С такими полями приходится сталкиваться во многих

электрических машинах и приборах: электроизмерительных, СВЧ-приборах, громкоговорителях и др.

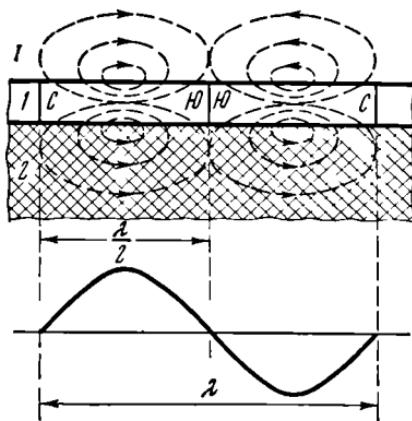
Изменилась и форма носителя. Вместо проволоки в настоящее время применяется магнитная лента, хотя применение проволоки сохранилось в некоторых специальных областях. Магнитная лента представляет собой пластмассовую основу, чаще всего лавсановую, на которую нанесен ферромагнитный рабочий слой. В видеомагнитофонах обычно применяются ленты общей толщиной 30—37 мкм, при-

Рис. 14. Волна записи на магнитной ленте: 1 — рабочий слой; 2 — основа

чем рабочий слой имеет толщину 5—12 мкм и является, собственно, носителем записи, хотя термин «носитель записи» чаще применяется к ленте в целом. Рабочий слой состоит из магнитного порошка окиси железа и связующего вещества. Основа и связующее вещество обычно бесцветны, и характерный бурый цвет придает ленте именно порошок. Частички магнитного порошка в рабочем слое ленты имеют размер порядка десятых долей микрона.

В связи с применением магнитных головок с сердечником и носителей в виде ленты изменились и условия взаимодействия головки с лентой: головка не охватывает ленту, а прилегает к ней с одной стороны.

Если при движении ленты ток в головке записи претерпел изменение, соответствующее одному полному периоду, то на ленте возникнут два противоположно намагниченных участка, соприкасающихся одноименными магнитными полюсами, как на рис. 14. Изменение намагниченности в этих участках в идеальном случае повторит изменение тока



записи. Как говорят, на ленте возникнет волна записи. Действительно, ток в головке в течение первого полупериода имеет одно направление; он постепенно возрастает, достигая максимума, и уменьшается до нуля. В течение второго полупериода то же самое происходит в другом направлении. Соответственно этому намагниченность ленты изменится волнообразно.

Длина волны записи на ленте, очевидно, зависит от скорости ее движения относительно головки и от частоты изменения тока в головке; она определяется простым соотношением:

$$\lambda = \frac{v}{f},$$

где λ — длина волны записи, см; f — частота тока записи, гц, v — относительная скорость головки и ленты, см/сек.

Воспроизведение записи

При воспроизведении записанная лента передвигается, скользя по головке воспроизведения, устройство которой такое же, как и головки записи. Когда против зазора головки оказывается расположенным намагниченный участок ленты, магнитный поток, исходящий из него, пойдет по пути наименьшего сопротивления и замкнется через сердечник головки, как на рис. 15. Сердечник изготовлен из материала с высокой магнитной проницаемостью. Задача зазора заключается в том, чтобы направить магнитный поток через сердечник головки, т. е. через обмотку. Чем меньше ширина зазора, тем с более коротких участков осуществляется выборка потока, т. е. тем выше разрешающая способность головки.

Во время движения ленты к зазору прикладываются участки ленты с различной намагниченностью, которые вызовут изменение магнитного потока в сердечнике. При изменении потока, сцепляющегося с обмоткой головки, в ней индуцируется э. д. с. индукции, пропорциональная скорости изменения потока. Поскольку скорость изменения потока при постоянной скорости ленты зависит лишь от частоты записанного сигнала, то э. д. с. индукции, или э. д. с. воспроизводимого сигнала, пропорциональна его частоте.

Таким образом, действие рассматриваемой головки воспроизведения основано на явлении электромагнитной индукции. Существуют головки воспроизведения, работа которых основана на других физических принципах: на эф-

фекте Холла, на отклонении электронного луча магнитным полем ленты, на принципе магнитного усилителя типа второй гармоники и др., но они практически не применяются в видеомагнитофонах. Пропорциональность между э. д. с. и частотой, которую иногда относят к недостаткам головок, основанных на электромагнитной индукции, является в то же время и чрезвычайно важным их достоинством, поскольку

при этом автоматически происходит коррекция частотной характеристики в области высоких частот.

Зависимость э. д. с. воспроизведения от частоты показана на рис. 16 (прямая 1).

По мере того как с увеличением частоты длина волны сигнала на ленте приближается по размеру к ширине зазора, магнитный поток в сердечнике уменьшается и совсем исчезает, когда длина волны оказывается равной ширине зазора (рис. 17). В этот момент к краям зазора прикладываются одноименные магнитные полюса и поток через сердечник не проходит. Уменьшение э. д. с. головки, происходящее из-за влияния ширины зазора, показано на рис. 16 (кривая 2).

Таким образом, частотная характеристика воспроизведения очень неравномерна: она имеет спад в сторону низких и высоких частот.

При записи и воспроизведении лента должна как можно плотнее прилегать к головке, так как неплотное прилегание дополнительно увеличивает спад частотной характеристики на высоких частотах. Резкое ухудшение



Рис. 15. Воспроизведение магнитной записи

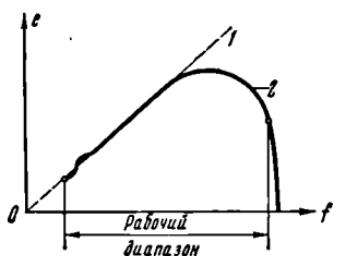


Рис. 16. Частотные характеристики э. д. с. головки воспроизведения

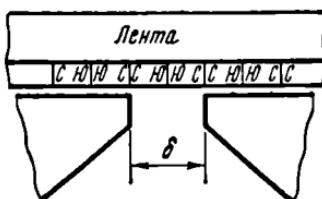


Рис. 17. Прекращение магнитного потока и исчезновение э. д. с. в головке воспроизведения

воспроизведения (пропадание высоких частот) получается также и потому, что лента в результате неправильной зарядки касается головок не рабочим слоем, а наружной стороной основы.

Практически причиной неплотного контакта головки с лентой является технологически обусловленная микрошероховатость поверхности ленты и головки, а также загрязнение рабочей поверхности головки и ее неправильная установка, когда головка касается ленты каким-либо одним краем.

Стирание записи

Одно из важнейших достоинств магнитной записи заключается в возможности многократно использовать одну и ту же ленту. Для этого надо удалить, или, как говорят, стереть, старую запись, например, размагничиванием ленты.

Если воздействовать на каждую частичку рабочего слоя ленты переменным магнитным полем, амплитуда которого спадает от максимального значения, соответствующего насыщению ленты, до нуля, происходит размагничивание.

В видеомагнитофоне, как и в обычном магнитофоне, такой процесс осуществляется с помощью стирающей магнитной головки, которая имеет в принципе такую же конструкцию, как и головка записи.

Если в головку записи подается ток сигнала с таким расчетом, чтобы каждая частичка ленты, проходя мимо зазора головки, успевала намагнититься, но не перемагниться, то в головку стирания подается такой ток, чтобы каждая частичка ленты успевала бы много раз перемагнититься за время прохода участка мимо зазора головки. По этой причине в головку стирания подается ток высокой частоты, например 100 кГц, и, кроме того, рабочий зазор головки делается широким, например 100 мкм, т. е. много шире, чем у головки записи.

Нетрудно подсчитать, сколько раз перемагнитится частичка ленты, например, при скорости ее движения относительно головки стирания 40 см/сек. Время пребывания частички в зоне зазора равно

$$\tau = \frac{\delta_c}{v} = \frac{0.01}{40} = 250 \text{ мксек},$$

где δ_c — ширина рабочего зазора головки стирания, равная 100 мкм, или 0,01 см; v — скорость ленты, см/сек. При частоте тока стирания 100 кГц время одного цикла перемагничивания частички составит 10 мксек. Таким образом, за время прохода ленты мимо зазора головки стирания каждая частичка ленты в данном случае перемагничивается 25 раз.

Представим себе достаточно малую частичку ленты, состоящую, однако, из нескольких элементарных магнитных областей. Пусть остаточная намагниченность частички, соответствующая записанному сигналу, равна M'_r (рис. 18). По мере входа частички (при движении ленты) в поле головки стирания амплитуда воздействующего на частичку поля сначала будет увеличиваться и где-то в пределах зазора достигнет такого значения, при котором остаточная намагниченность частички возрастет, достигнув максимальной величины M_R (остаточная намагниченность фиксируется каждый раз при исчезновении поля, т. е. при прохождении поля через нуль). Проследим по рис. 18, как будет меняться остаточная намагниченность частички от значения M_R по мере ее дальнейшего движения. Амплитуда поля достигает максимума над серединой зазора и в определенных точках за пределами зазора падает практически до нуля. С уменьшением амплитуды поля остаточная намагниченность будет уменьшаться по кривой, напоминающей спираль, пока эта кривая не придет в нулевую точку. Это и означает полное уничтожение остаточной намагниченности частички.

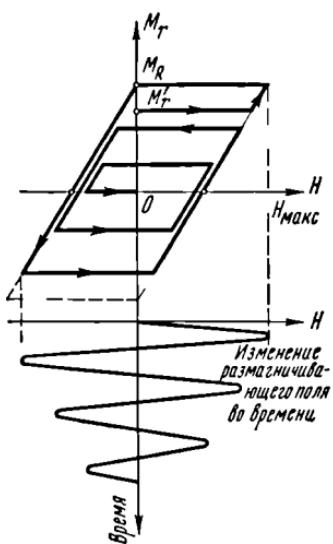


Рис. 18. Изменение остаточной намагниченности частицы рабочего слоя ленты при ее движении через зазор головки стирания

Важным условием этого процесса является медленное спадание амплитуды поля, воздействующего на частичку, в противном случае «спираль размагничивания» не придет в нулевую точку, т. е. на ленте сохранится остаточ-

ная намагниченность. Именно для достижения медленного спадания поля, воздействующего на каждую частичку, частота тока стирания делается достаточно большой (чтобы сократить интервалы между циклами перемагничивания), а зазор головки стирания делается значительно больше, чем у головок записи и воспроизведения. При большом зазоре, кроме того, легче создать сильное поле не только по длине ленты, но и по ее толщине, т. е. легче стирать запись в глубинных слоях носителя.

§ 4. Искажения при магнитной записи

Намагченность ферромагнитных материалов нелинейно зависит от намагничивающего тока. Это сохраняет силу и при намагничивании носителя магнитной записи. Если ток в головке имел строго синусоидальную форму, то распределение намагченности по длине носителя будет более или менее отличаться от синусоидального, т. е. волна записи на ленте будет иметь форму искаженной синусоиды. На рис. 19 показаны колебания тока в головке записи, происходящие с возрастающей амплитудой. Вследствие нелинейности кривой остаточной намагченности очень слабые колебания вообще не будут записаны; колебания средней величины записываются с характерным искажением: намагченность полуволны записи сначала растет очень медленно (как и кривая остаточной намагченности), а затем образует острый выброс. Наконец, колебания тока с очень большой амплитудой кроме этих искажений ограничиваются сверху вследствие загиба кривой остаточной намагченности в области насыщения.

Такие искажения характеризуются возникновением в записанном сигнале нечетных гармоник, прежде всего третьей гармоники. Они зависят от длины волны записи.

С уменьшением длины волны происходит линеаризация характеристики намагничивания и искажения уменьшаются. Это связано с усилением взаимодействия полюсов записанных на ленте магнитиков, а также со специфическим явлением размагничивания при записи.

В предыдущем параграфе мы говорили, что частотная характеристика воспроизведения магнитной записи обладает свойством электрического фильтра средних частот; она имеет завал в сторону низких и в сторону высоких частот. Это дополнительно уменьшает влияние искажений, так

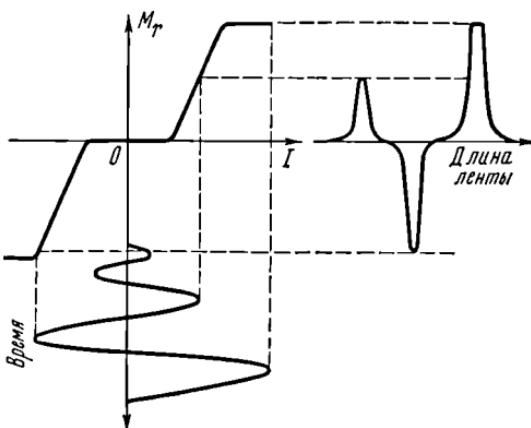


Рис. 19. Искажения записанного сигнала

как трети гармоники значительной части записываемых частот не пропускаются системой магнитной записи. Например, если система пропускает полосу частот от 0,5 Мгц до 11 Мгц, то третья гармоника основной частоты 4 Мгц уже не пропускается системой, так как она равна 12 Мгц.

Однако в магнитной записи существуют и кардинальные способы почти полного исключения искажений. Было установлено, что если вместе с током записываемого сигнала подавать в головку записи ток высокой частоты, которая в несколько раз выше, чем самая высокая из частот записываемого сигнала, то искажения в записываемом сигнале

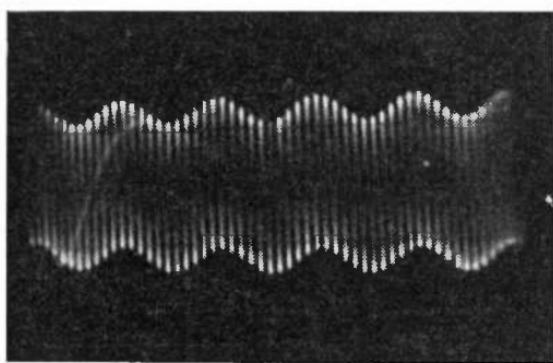


Рис. 20. Изменение во времени тока в головке записи

почти прекращаются. В этом случае ток в головке и соответственно магнитное поле в области зазора будут представлять собой сумму тока записываемого сигнала и дополнительного тока высокой частоты. На рис. 20 показана осциллограмма такого суммарного сигнала. Дополнительный высокочастотный ток называется током высокочастотного подмагничивания.

При записи звука, например, частота тока подмагничивания составляет $50 \div 100$ кгц. Сигнал, отвечающий этому току, на ленту не записывается; его задача заключается лишь в разрушении связей «сил трения» (см. § 2), существующих между элементарными намагниченными областями в ленте. Из осциллограммы видно, что, пока записываемый сигнал совершит одно колебание, сигнал высокочастотного подмагничивания изменится много раз; он как бы перетряхивает элементарные магнитные области носителя, в результате чего намагничивание ленты низкочастотной составляющей поля оказывается пропорциональным полю.

Таким образом, удается почти полностью исключить влияние фундаментального свойства процесса намагничивания ферромагнетиков, а именно — его нелинейности.

Нелинейные искажения различных систем передачи информации характеризуются амплитудной характеристикой. Аналогичная характеристика существует и в магнитной за-

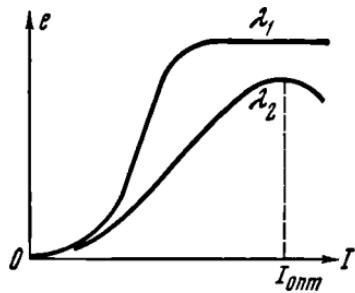


Рис. 21. Амплитудные характеристики сквозного канала записи-воспроизведения без высокочастотного подмагничивания

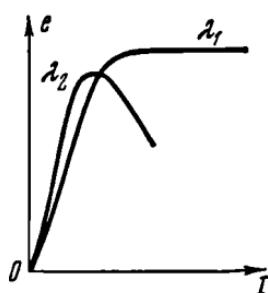


Рис. 22. Амплитудные характеристики сквозного канала записи-воспроизведения с высокочастотным подмагничиванием

Писи: зависимость амплитуды э. д. с. головки воспроизведения от амплитуды тока в головке записи. Амплитудные характеристики системы записи, работающей без высокочастотного подмагничивания для различных значений длины волны, показана на рис. 21. В этом случае на длинных волнах (длина волны λ_1) амплитудная характеристика по форме почти полностью повторяет кривую остаточного намагничивания ферромагнетиков. С уменьшением длины волны ($\lambda_2 < \lambda_1$) амплитудная характеристика спрямляется и на ней обозначается максимум, соответствующий некоторому оптимальному значению тока записи.

На рис. 22 показаны амплитудные характеристики системы записи с высокочастотным подмагничиванием. Здесь также с уменьшением длины волны резче обозначаются максимумы, но ход кривых в начальной части практически линеен.

§ 5. Устройство магнитофона

Теперь мы можем вкратце рассмотреть устройство и работу магнитофона — аппарата для магнитной записи звука. В видеомагнитофоне на одну и ту же ленту одновременно записываются изображение и звук, сопровождающий

изображение, т. е. магнитофон является как бы составной частью видеомагнитофона.

Магнитофон состоит из лентопротяжного механизма, усилителей записи и воспроизведения, генератора тока высокой частоты (для стирания и подмагничивания) и индикатора уровня записи.

На рис. 23 показана схема устройства магнитофона. Лента, прижатая обрезиненным прижимным роликом к ве-

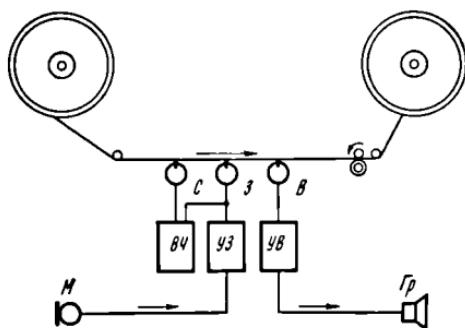


Рис. 23. Схема устройства магнитофона:
 ΓC — стирающая головка; ΓZ — записывающая головка; ΓB — воспроизведяющая головка; ΓV — генератор высокой частоты; $У З$ — усилитель записи; $У В$ — усилитель воспроизведения; M — микрофон; $Гр$ — громкоговоритель

подающую катушки передаются с помощью системы передачи от одного общего двигателя. Существуют и трехмоторные механизмы, в которых ведущий вал, принимающая и подающая катушки приводятся в движение каждая от собственного двигателя.

В современных магнитофонах приняты скорости движения ленты 19,05; 9,5 и 4,7 см/сек. Со снижением скорости уменьшаются длины волн записи и соответственно увеличивается спад частотной характеристики воспроизведения, т. е. ухудшается передача высоких частот. Однако уменьшение скорости связано с экономией ленты и в конечном итоге со снижением размеров и массы магнитофона, так как при малой скорости небольшая по объему катушка обеспечивает достаточно длительную непрерывную запись. Нетрудно подсчитать, что, например, при скорости 4,7 см/сек небольшая катушка ленты диаметром 100 мм позволяет вести запись или воспроизведение в течение 6 час (четырехдорожечная запись на ленте толщиной 18 мкм).

Скорость движения ленты в магнитофоне при записи или воспроизведении должна быть постоянной. Колебания скоп-

дущему валику, протягивается с постоянной скоростью мимо магнитных головок, разматываясь с левой (подавющей) катушки и наматываясь на правую (принимающую) катушку.

В магнитофонах широкого применения в основном используются одномоторные лентопротяжные механизмы, в которых врачающие усилия на ведущий вал и на принимающую и

ности вызывают колебания частоты воспроизведенного звука, очень неприятные для слуха. Они носят название детонации или «плавания» звука. Основная причина колебаний скорости в магнитофоне — биение вращающихся деталей лентопротяжного механизма.

Колебания скорости характеризуются степенью неравномерности, или коэффициентом детонации D , представляющим собой процентное отношение амплитуды колебания скорости к ее номинальному значению:

$$D = \frac{\Delta v}{v_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta f}{f_0} \cdot 100\%,$$

где Δv и Δf — соответственно амплитуды отклонений (наибольшие отклонения) скорости и частоты от номинальных значений v_0 и f_0 .

Колебания скорости практически не воспринимаются на слух, если коэффициент детонации не превышает 0,1 %. Величина коэффициента детонации определяется специальными приборами, хотя существует очень чувствительный субъективный способ ее оценки: прослушиванием записи продолжительных фортепianneых аккордов, взятых в среднем регистре. Если при этом не прослушивается «плавание» звука, то магнитофон можно считать с точки зрения детонации вполне пригодным для записи и воспроизведения любой музыки.

Современные магнитофоны даже при скорости 4,7 см/сек могут записывать и воспроизводить практически весь диапазон звуковых частот: от 40 гц до 16÷18 кгц. Более высокие скорости применяются для передачи такого же диапазона частот, но с лучшим отношением сигнал/шум и с меньшими нелинейными искажениями.

Записываемый звуковой сигнал, например с микрофона, усиливается усилителем записи, представляющим обычный усилитель низкой частоты, и подается в головку записи. Для исключения искажений, вызванных нелинейностью кристалловой намагничивания носителя, в магнитофонах применяется запись с высокочастотным подмагничиванием. Из рис. 23 видно, что генератор высокой частоты (~ 100 кгц) питает головку стирания и одновременно является источником тока высокочастотного подмагничивания для головки записи. В результате применения высокочастотного подмагничивания нелинейные искажения при записи звука на магнитофоне почти прекращаются. Амплитуда возникающей при записи паразитной третьей гармоники не превышает 0,5÷3 % от амплитуды основного тона.

Глава II. Магнитная запись телевизионных изображений — видеозапись

§ 6. Особенности видеозаписи

Важнейшая особенность видеозаписи, отличающая ее от других видов магнитной записи, например от записи звука, — это необходимость передавать очень широкий диапазон частот, составляющий около 6 $M\text{гц}$. Диапазон звуковых колебаний составляет примерно 16 $k\text{гц}$, т. е. в 400 раз меньше диапазона видеочастот!

Посмотрим, какому диапазону длин волн записи соответствовал бы такой частотный диапазон, если попытаться непосредственно записать его на ленту.

Из опыта известно, что на современном уровне развития техники записи наиболее короткая длина волны, которая может быть уверенно записана на магнитной ленте и воспроизведена с нее, составляет примерно 2 $\mu\text{мм}$.

Мы говорим о предельно малой длине волны в условиях эксплуатации промышленной аппаратуры; в лабораторных условиях удавалось записывать значительно более короткие волны. Для того чтобы записать и воспроизвести сигнал с длиной волны короче 2 $\mu\text{мм}$, головка должна иметь рабочий зазор шириной менее 1 $\mu\text{мм}$. Технологически изготовление столь узких зазоров очень трудно. Кроме того, при очень коротких волнах записи серьезные ограничения возникают из-за несовершенства качества поверхности магнитной ленты и головки, т. е. из-за отсутствия плотного контакта между головкой и лентой.

Итак, какая же должна быть скорость ленты относительно головки, если необходимо записать сигнал с частотой 6 $M\text{гц}$ при длине волны 2 $\mu\text{мм}$? Ее нетрудно определить:

$$v = \lambda_{\min} \cdot f_{\max} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 6000000 = 12 \text{ м/сек.}$$

Это очень большая скорость. В обычных современных магнитофонах лента движется со скоростью 4,7 или 9,5 см/сек. , т. е. в 250 или в 125 раз медленнее. Но большая скорость — это еще не самое главное препятствие. Посмотрим, какую длину волны записи при этом будет иметь наиболее низко-

частотный видеосигнал. Выберем в качестве самой низкой частоту полукадров, равную 50 гц. Соответствующая ей длина волны равна

$$\lambda_{\max} = \frac{\sigma}{f_{\min}} = \frac{1200}{50} = 24 \text{ см.}$$

Вот тут-то и возникает одно из главных затруднений. Чтобы вбрать в себя магнитный поток ленты, головка воспроизведения должна соприкасаться с лентой на участке, длина которого не меньше длины полуволны записи. В противном случае будет снижаться доля потока ленты, участвующая в наведении э. д. с. в головке. Если бы и удалось построить головку воспроизведения с полюсными наконечниками длиной 12 см, то она была бы мало эффективной из-за большого магнитного сопротивления длинных и узких полюсов.

Головки, основанные на явлении электромагнитной индукции, даже если они хорошо взаимодействуют с записанной на ленте волной, плохо воспроизводят низкие частоты, так как э. д. с. головки пропорциональна частоте. Существуют и другие затруднения на пути непосредственной записи видеосигнала на ленту, такие, как паразитная амплитудная модуляция.

Таким образом, непосредственно записать на ленту и воспроизвести с нее видеосигнал с диапазоном длин волн от $\lambda_{\min}=2 \text{ мкм}$ до $\lambda_{\max}=24 \text{ см}$ очень трудно.

Для того чтобы обойти затруднение, связанное с воспроизведением длинноволновых составляющих, лучше всего было бы сдвинуть частотный диапазон видеосигнала, скажем, на 10 кгц так, чтобы записывать частоты от 10 кгц до 6,01 Мгц. Тогда максимальная длина волны уменьшилась бы в 200 раз и стала бы вполне приемлемой, а минимальная — почти не изменилась. К сожалению, так просто переносить спектр частот практически невозможно.

Был предложен ряд вполне осуществимых решений. Из них наиболее оправданным оказался метод частотной модуляции, при котором видеосигнал модулирует по частоте некоторую несущую частоту. При этом действительно удалось как бы сдвинуть диапазон записываемых и воспроизводимых частот, хотя пришлось примириться и с его расширением. В студийных видеомагнитофонах, рассчитанных на высококачественную запись и воспроизведение телевизионных изображений с четкостью 625 строк, в результате частотной модуляции на ленту записывается сигнал с диапазоном частот от 0,5 Мгц до 11 Мгц.

Одновременно был применен особый способ так называемой поперечно-строчной видеозаписи, при котором запись на ленту происходит не вдоль ленты, а поперек в виде узких строчек шириной 0,25 мм, расположенных, как показано на рис. 24а.

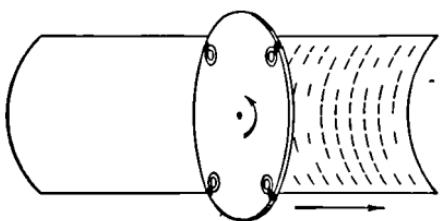


Рис. 24а. Принцип записи сигнала поперек ленты четырьмя вращающимися головками

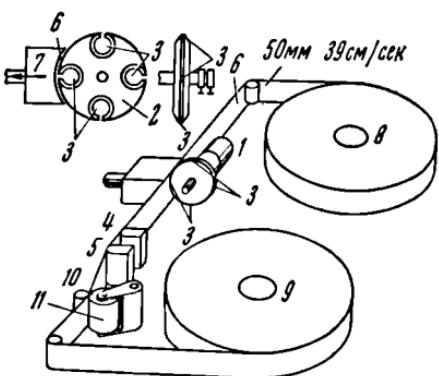


Рис. 24б. Аппарат поперечно-строчной видеозаписи. 1 — двигатель; 2 — диск с видеоголовками; 3 — видеоголовки; 4 — стирающая головка; 5 — головки для записи звука и управляющего сигнала; 6 — лента; 7 — направляющая камера; 8 — подающая катушка; 9 — принимающая катушка; 10 — ведущий вал; 11 — прижимной ролик

системе решается основная задача записи требуемого диапазона частот. При относительной скорости ленты и головки 40 м/сек самая короткая длина волны записи для частотно-модулированного сигнала равна

$$\lambda_{\min} = \frac{v}{f_{\max}} = \frac{40}{11} \approx 3,6 \text{ мкм},$$

а самая длинная

$$\lambda_{\max} = \frac{v}{f_{\min}} = \frac{40}{0,5} = 80 \text{ мкм}.$$

В этом способе применяется широкая магнитная лента шириной 50,8 мм, сравнительно медленно транспортируемая относительно вращающегося диска с четырьмя магнитными головками. Скорость ленты 39,7 см/сек, а диск с головками вращается с очень большой скоростью: 250 об/сек. За счет большой скорости вращения диска с головками достигается требуемая высокая относительная скорость ленты и головки. Эта скорость составляет 40 м/сек. Лентопротяжный механизм видеомагнитофона схематически показан на рис. 24б.

Более подробно мы еще остановимся на системе поперечно-строчной видеозаписи, а пока вернемся к вопросу, как в такой

Таким образом, обе длины волны имеют вполне приемлемые для магнитной записи значения. Добавим, что длина волны 80 мкм является в общем-то небольшой. Она полностью укладывается в зону контакта головки с лентой.

§ 7. Частотная модуляция в видеомагнитофоне

Для решения проблемы записи широкого диапазона видеочастот применяется частотная модуляция видеосигналом несущей частоты. Типичные частотно-модулированные колебания показаны на рис. 25. При частотной модуляции амплитуда несущей частоты не изменяется, а меня-

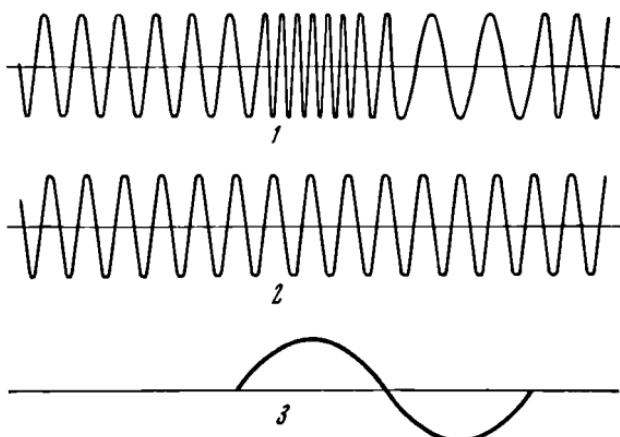


Рис. 25. Частотно модулированные колебания: 1 — несущая частота, модулированная частотой сигнала; 2 — несущая; 3 — модулирующий сигнал

ется сама частота от некоторого среднего значения (от значения несущей) на величину, называемую отклонением или девиацией частоты. Девиация частоты прямо пропорциональна амплитуде модулирующего сигнала. Это показано на рис. 26, а. На этом рисунке F_o — несущая частота; $\pm \Delta F_{o\text{ макс}}$ — максимальная девиация частоты; $F_{o\text{ мин}} = F_o - \Delta F_{o\text{ макс}}$ — низшая модулированная частота; $F_{o\text{ макс}} = F_o + \Delta F_{o\text{ макс}}$ — высшая модулированная частота. Отметим, что в данном случае низшая и высшая модулированные частоты симметричны относительно несущей. Обычно несущая частота много больше верхней частоты сигнала

f_{\max} ($F_0 \gg f_{\max}$) и имеет вполне определенное постоянное значение F_0 .

Однако для видеозаписи подобная обычная система частотной модуляции неприемлема, так как потребовалось бы записывать на ленту очень короткие волны, длина которых много меньше 2 мкм, как это следует из выражения $\lambda = \frac{v}{F_0}$ при $F_0 \gg f_{\max}$. Поэтому был разработан и впервые применен именно для видеозаписи особый метод частотной модуляции, при котором несущая частота имеет значения, очень

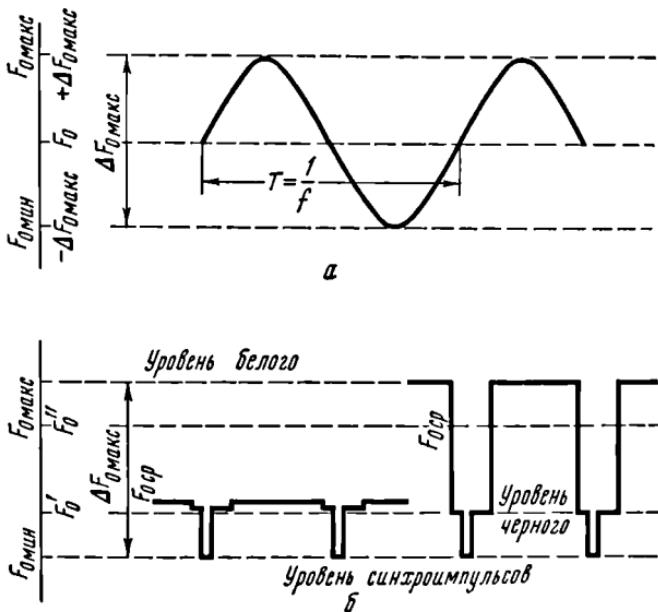


Рис. 26. Характеристики частотно модулированного сигнала:
а — обычная частотная модуляция, применяемая в радиосвязи;
б — частотная модуляция при видеозаписи

близкие к верхней частоте видеосигнала. Сама несущая частота оказывается непостоянной и зависит от яркости видеосигнала. Это связано с тем, что видеосигнал по своей природе несимметричен, в отличие от симметричного, например, звукового сигнала, показанного на рис. 26, а так как имеет постоянную составляющую. Модуляция также приобретает несимметричный характер, и поэтому трудно установить некоторое постоянное среднее значение частоты, т. е. постоянное значение несущей. Частотная модуляция видеосигналом приводится на рис. 26, б. Уровни вершин им-

пульсов синхронизации соответствуют низшей модулированной частоте $F_{\text{о мин}}$, а уровни белого — высшей $F_{\text{о макс}}$.

Для отечественного видеомагнитофона «Кадр-3» максимальная девиация частоты составляет $\Delta F_{\text{о макс}} = 2,14 \text{ Мгц}$.

На рис. 27 показан частотно-модулированный сигнал, соответствующий белой строке изображения для магнитофона «Кадр-3». Из рисунка видно, что низшая модулированная

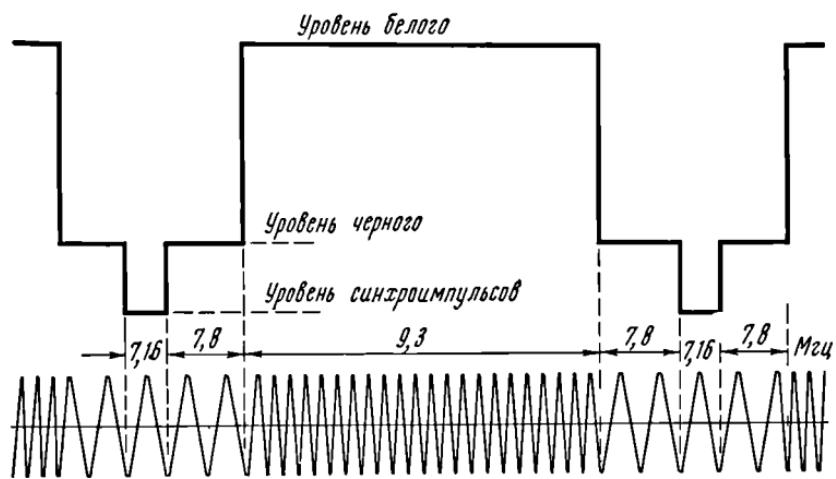


Рис. 27. Частотно-модулированный сигнал, соответствующий белой строке записываемого телевизионного изображения (изменения яркости вдоль строки отсутствуют)

частота равна $7,16 \text{ Мгц}$, а высшая — равна $9,3 \text{ Мгц}$. Рассматривая изображение «шахматной доски» в § 1, мы видели, что в предельном случае яркость изображения может меняться с частотой 6 Мгц , т. е. изменения частоты от $7,16$ до $9,3 \text{ Мгц}$, в свою очередь, происходят с частотой 6 Мгц . Получается сложный по своему составу сигнал. Спектральный анализ показывает, что в этом сигнале присутствуют частотные составляющие, начиная от $0,5 \text{ Мгц}$ до примерно 11 Мгц . Таким образом, видеомагнитофон, рассчитанный на передачу изображения с четкостью 625 строк, должен пропускать, т. е. записывать и воспроизводить полосу частот от $0,5$ до 11 Мгц .

В заключение заметим, что расположение несущей частоты в непосредственной близости от верхней передаваемой частоты не проходит «бесследно» для передаваемого сигнала. (В приведенном примере несущая расположена где-то между $7,8$ и $8,6 \text{ Мгц}$, а верхняя передаваемая частота

та составляет 6 Мгц). В видеосигнале при такой частотной модуляции возникают так называемые отраженные частоты, которые проявляются как помехи или как шум. Правда, уровень этих помех достаточно низок — больше чем в 100 раз ниже уровня полезного сигнала.

§ 8. Запись и воспроизведение частотно-модулированного сигнала

Запись и воспроизведение частотно-модулированного сигнала схематически показаны на рис. 28. На частотный модулятор 1 поступает полный видеосигнал, имею-

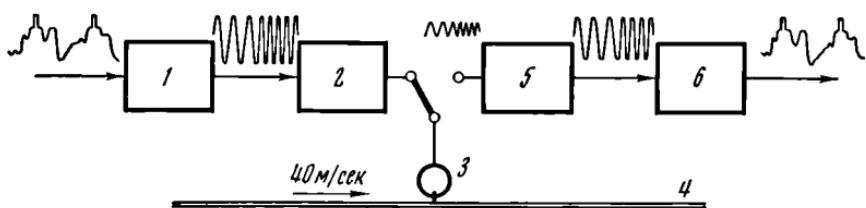


Рис. 28. Упрощенная схема сквозного канала записи воспроизведения телевизионных изображений

щий форму, показанную на рис. 5. На выходе модулятора возникает сигнал с различной частотой и с постоянной амплитудой. Этот сигнал усиливается усилителем записи 2 и записывается головкой 3 на ленту 4. При воспроизведении сигнал проходит через усилитель 5 и ограничитель-демодулятор 6. Чтобы получить на ленте наибольший остаточный магнитный поток, запись происходит с насыщением ленты (рис. 29).

Частотно-модулированный сигнал записывается без высокочастотного подмагничивания. Подмагничивание применяется для улучшения формы записанного на ленте сигнала, а в рассматриваемом способе записи с частотной модуляцией сохранение формы сигнала не столь важно, как, например, при записи звука. В дальнейшем, в процессе воспроизведения и демодуляции, выходной сигнал, т. е. восстановленный видеосигнал, определяется прежде всего положением точки прохождения намагниченности ленты через нуль, а эта точка зависит от длины волны и мало зависит от формы записанного сигнала. Кроме того, как уже говорилось, искажения подавляются, во-первых, из-за линеариза-

ции амплитудной характеристики при малых длинах волн записи, и во-вторых, вследствие того, что третьи гармоники, возникающие в результате искажений, в значительной мере выходят за пределы передаваемого диапазона.

В качестве примера на рис. 30. показана осциллограмма воспроизведенного с ленты сигнала с частотой 1 Мгц (скорость записи-воспроизведения 40 м/сек), откуда видно малое искажение формы сигнала.

Для воспроизведения записанную видеоленту необходимо перемотать «на начало», а видеоголовку переключить на

вход системы воспроизведения. Воспроизводимый с ленты сигнал усиливается широкополосным усилителем 5 с полосой пропускания от 0,5 до 11 Мгц и поступает на ограничитель-демодулятор 6 (см. рис. 28). На выходе системы воспроизведения

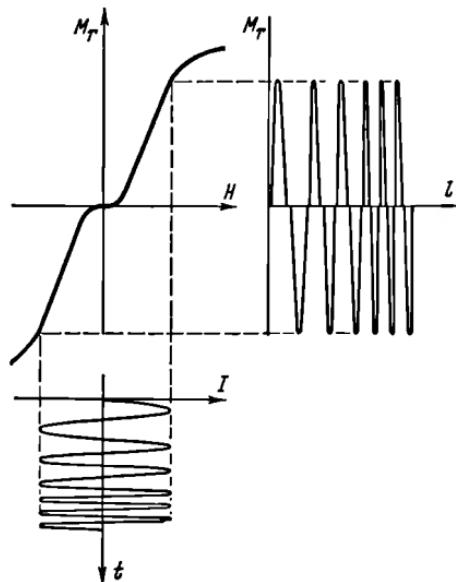


Рис. 29. Намагничивание ленты при видео-записи

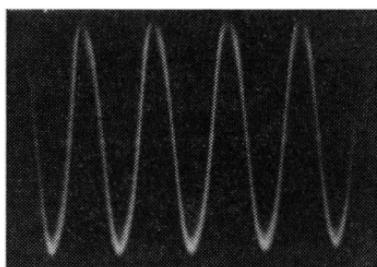


Рис. 30. Воспроизведенный видеоголовкой сигнал с частотой 1 Мгц

видеосигнал приобретает первоначальную форму, т. е. становится таким, каким он был на выходе системы при записи.

Запись и воспроизведение частотно-модулированного видеосигнала имеют свои особенности. Вследствие несовершенства качества рабочих поверхностей ленты и головок сигнал, записываемый, например, с постоянной амплитудой, при воспроизведении не имеет постоянной амплитуды. В системе магнитной записи-воспроизведения возникает, как говорят, паразитная амплитудная модуляция сигнала (рис. 31), которая увеличивается с уменьшением длины волны записи. В диапазоне длинных и средних волн записи,

т. е. примерно до значений $\lambda = 8 \div 12 \text{ мкм}$, для хороших лент ее глубина не превышает 10%. Однако для более коротких волн эта глубина возрастает.

Одно из достоинств способа записи с частотной модуляцией заключается в том, что паразитные колебания амплитуды почти неказываются на качестве изображения.

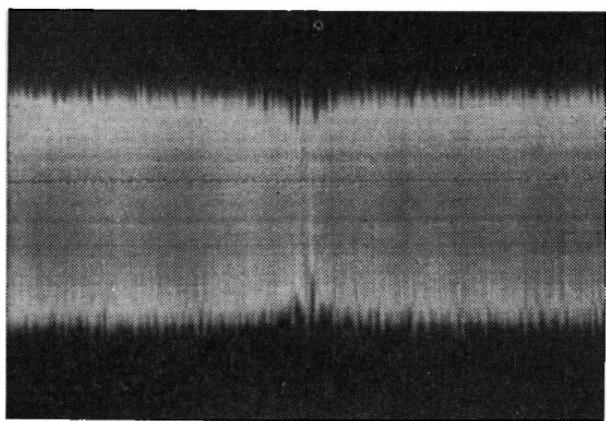


Рис. 31. Паразитная амплитудная модуляция воспроизведенного с ленты видеосигнала

В процессе воспроизведения и демодуляции частотно-модулированный сигнал проходит через ограничитель, в котором как бы срезаются все неравномерности амплитуды. Полезная информация зависит лишь от мгновенной частоты или от мгновенной длины волны.

С этим последним связана и одна из слабых сторон способа записи с частотной модуляцией. Скорость движения головок относительно ленты не может быть сделана абсолютно постоянной — она колеблется около некоторого среднего значения. Вместе с изменениями скорости меняется и частота воспроизводимого сигнала, т. е. возникает и паразитная частотная модуляция. Поскольку полезная информация определяется изменениями частоты сигнала, то возникающие дополнительные паразитные изменения частоты будут влиять на полезную информацию. Поэтому в системах видеозаписи с частотной модуляцией выдвигаются очень жесткие требования к равномерности относительной скорости головок и ленты. Если при записи звука допустима степень неравномерности скорости до 0,1%, то при видеозаписи она не должна превышать 0,01%.

§ 9. Другие способы преобразования видеосигнала при видеозаписи

Способ с частотной модуляцией в настоящее время является оптимальным, исходя из требований видеозаписи. Однако он все-таки связан с весьма сложными преобразованиями видеосигнала, что увеличивает сложность и стоимость аппаратуры. Кроме того, как мы видели, большая часть записываемых и воспроизводимых колебаний электрического тока лежит за пределами видеочастот, например для записи видеосигнала с полосой частот 6 Мгц в этом способе необходимо записывать частотно-модулированные колебания с полосой около 11 Мгц. Это как бы снижает к. п. д. системы лента — головка. Отсюда понятно стремление применить другие способы видеозаписи.

Значительно лучше используется частотная характеристика системы лента — головка при прямой записи. Известен образец видеомагнитофона нестудийного применения, в котором была сделана попытка записывать полосу видеочастот от 50 гц до 1,7 Мгц с высокочастотным подмагничиванием. Частота тока подмагничивания составляла 7 Мгц. При этом различие между самой короткой и самой длинной волной записи уже не было таким большим, как для полосы видеочастот 50 гц — 6 Мгц, о которой говорилось в § 6. Однако существенным недостатком видеомагнитофона оставалась все-таки слабая помехозащищенность от паразитных колебаний амплитуды видеосигнала. Эти паразитные колебания при воспроизведении записи просматриваются на экране телевизора в виде хаотических мерцаний, штрихов и кратковременных «выпадений» сигнала, захватывающих один или несколько последовательных элементов изображения. Такие искажения возникают, например, в результате случайных изменений контакта ленты с головкой. Они тем интенсивнее, чем выше скорость ленты относительно головки, так как при больших скоростях в зоне контакта ленты с головкой образуется хаотически изменяющаяся «воздушная подушка». Паразитные колебания амплитуды зависят также от частоты и проявляются сильнее с ее увеличением или, точнее, с уменьшением длины волны записи.

Известны конструкции видеомагнитофонов, в которых применялась обычная амплитудная модуляция. Несущая частота модулировалась по амплитуде видеосигналом. Однако и в этом случае помехозащищенность от паразитных колебаний амплитуды оказалась низкой. Это и понятно, так как полезная информация записывается в виде изменений

амплитуды, на которые накладывается паразитная модуляция.

Наиболее независимой от паразитных колебаний амплитуды остается в настоящее время лишь видеозапись с частотной модуляцией. В ней не так хорошо используется частотная характеристика ленты — головки, как при прямой записи, и поэтому четкость изображения не столь высока (при одинаковой минимальной длине волны), но уровень помех значительно ниже, в результате чего качество изображения в целом оказывается выше.

Глава III. Устройство видеомагнитофонов

§ 10. Требования, предъявляемые к видеомагнитофонам

Общим требованием при воспроизведении изображений является возможно более полное соответствие изображения объекту съемки. Изображение должно быть таким, каким мы видим объект невооруженным глазом. В идеальном случае изображение должно воспроизводить предмет не только до мельчайших деталей, но и быть тождественным с ним по цвету и объему.

Мы будем говорить, правда, о более скромной задаче: изображение должно передаваться с определенной четкостью, например с четкостью 625 строк, быть стабильным и протекать в требуемом темпе, без рывков и качаний.

В кино задача получать такие изображения решается сравнительно просто. Кинопленка движется с остановками и имеет перфорационные отверстия, с помощью которых заряжается в кинопроектор в строго определенном положении. Зарядка производится таким образом, что при остановке пленки в процессе прерывистого движения в кадровом окне кинопроектора, а следовательно, и на экране, всегда оказывается полный кадр изображения. Другими словами, кадровая синхронизация в кино осуществляется механически с помощью фиксированных относительно кадра перфорационных отверстий. О строчной синхронизации в кино не приходится говорить, так как изображение не разбивается на строки и элементы, а проецируется полностью с неподвижного позитива на экран.

Иначе обстоит дело при воспроизведении магнитной видеозаписи. Видеолента движется непрерывно с постоянной скоростью. С постоянной скоростью вращаются и видеоголовки. Важнейшая задача заключается в том, чтобы при этом каждый элемент изображения попал точно на свое место в кадре, так как в противном случае изображение уже не повторит объект.

Существует много причин, которые, казалось бы, непременно должны привести к нарушению целостности воспроизводимого с ленты изображения. Это — всегда ограничен-

ная теми или иными пределами точность изготовления и расположения деталей и узлов лентопротяжного механизма и ленты; качание роторов двигателей ленты и головок; проскальзывание ленты относительно ведущего валика и, наконец, деформация ленты во время работы видеомагнитофона. Последняя причина, вызывающая нарушение точности работы видеомагнитофона, является наиболее характерной и, пожалуй, наиболее существенной при видеозапи-

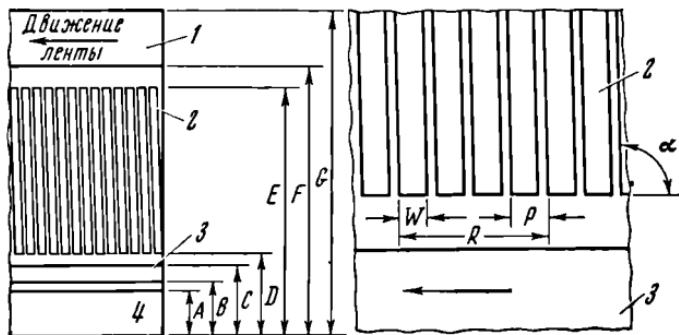


Рис. 32. Расположение дорожек на видеоленте при поперечно-строчной видеозаписи. 1 — дорожка записи звука, сопровождающего изображение; 2 — дорожки видеозаписи; 3 — дорожка записи звуковых режиссерских пояснений; 4 — дорожка записи управляющего сигнала

Размеры, мм	A	B	C	D	E	F	G	P	R	W
Мин	1,14	1,40	1,90	2,16	48,39	48,90	50,70	0,394	1,575	0,254
Макс	1,27	1,52	2,03	2,21	48,51	49,02	50,81	0,399	1,611	0,267

$$\alpha = 90^{\circ} 33' \pm 1'$$

си. Речь идет не о такой деформации ленты, которая выводит ее из строя или при которой рабочие показатели ленты оказываются ниже нормы. Имеется в виду неизбежная небольшая деформация ленты, представляющей собой гибко-упругий элемент. При этом возникают очень небольшие с физико-механической точки зрения взаимные смещения намагниченных участков.

Рассмотрим поперечно-строчную видеозапись. Если не принять специальных мер, то первое, с чем пришлось бы столкнуться в результате действия перечисленных причин,— это с уходом головок с дорожек видеозаписи на ленте. Как бы точно ни была установлена лента в начале

воспроизведения относительно ее положения при записи, все равно под действием колебаний скорости, вызванных, например, проскальзыванием ленты, наступил бы момент, когда головки читали бы не всю дорожку по ширине или совсем сошли бы с нее.

Чтобы исключить подобное явление, применяется система автоматического регулирования скорости движения ленты. Эта система работает только при воспроизведении. Но для обеспечения ее работы в процессе записи на ленту одновременно с видеосигналом записывается управляющий сигнал. Запись управляющего сигнала производится специальной неподвижной головкой на краевой дорожке вдоль ленты (рис. 32).

Фаза управляющего сигнала связана с расположением поперечных дорожек записи видеосигнала, так как управляющий сигнал вырабатывается датчиком оборотов двигателя видеоголовок. Этот сигнал при воспроизведении сравнивается с другим таким же сигналом, но только идущим не с ленты, а непосредственно от датчика оборотов видеоголовок того магнитофона, на котором воспроизводится видеозапись. В результате сравнения вырабатывается сигнал поправки, управляющий скоростью ведущего двигателя и, следовательно, транспортированием видеоленты. Эта скорость всегда поддерживается такой, чтобы видеоголовки следовали точно по дорожкам видеосигнала и полностью считывали их. Работа подобной системы автоматического регулирования схематически показана на рис. 33. Два управляющих сигнала — воспроизведенный головкой 1 с ленты 2 и вырабатываемый от датчика оборотов двигателя головок — поступают на устройство 3, называемое дискриминатором, выходное напряжение которого (сигнал поправки) пропорционально разности фаз обоих сигналов. Это напряжение поступает на генератор управляемой частоты 4, которая изменяется в зависимости от выходного напряжения дискриминатора. Затем напряжение усиливается усилителем мощности 5. Ведущий двигатель 6 питается усиленным сигналом генератора управляемой частоты.

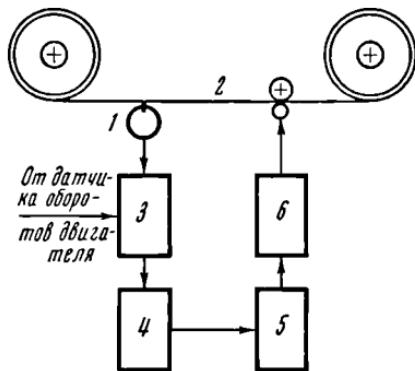


Рис. 33. Система автоматического регулирования скорости движения ленты в видеомагнитофоне

мой частоты, т. е. сигналом с частотой, изменяющейся в зависимости от разности фаз опорного и управляющего сигнала ленты. В результате изменения частоты питающего напряжения меняется скорость двигателя.

Таким образом, по краю видеоленты записывается специальный управляющий сигнал, который играет ту же роль, что и перфорационные отверстия в кинопленке. Этот сигнал можно назвать магнитной перфорацией.

После решения задачи попадания видеоголовок на дорожки видеозаписи необходимо решить вторую задачу — сохранить требуемую скорость движения видеоголовок вдоль дорожки. Более строго можно сказать, что требуется сохранить заданный темп изображения и точное взаимное расположение элементов, составляющих изображение. Это называют также сохранением временного масштаба — движение, показываемое на экране при воспроизведении записи, должно протекать все время в таком же темпе, как и «на натуре» (если, конечно, не возникает специального режиссерского требования ускорить его или замедлить). Нарушения временного масштаба также происходят вследствие указанных выше причин, например из-за качания ротора двигателя видеоголовок или деформации видеоленты. Влияние первой причины понятно: изменения скорости по известной нам формуле $f = \frac{v}{\lambda}$ приводят к изменению мгновенной частоты и, следовательно, к ускорению или замедлению воспроизводимого процесса. Деформация ленты вдоль дорожки записи (деформация в поперечном направлении в случае поперечно-строчной записи) изменяет длину волны записанного на дорожке частотно-модулированного сигнала и по этой же формуле также вызывает «уход» частоты.

Рассмотрим это явление подробнее на примере поперечно-строчной системы видеозаписи.

При поперечно-строчной видеозаписи диск с головками вращается со скоростью 250 об/сек. За один оборот диска на ленте записывается или воспроизводится четыре дорожки (по числу головок) длиной 46,2 мм каждая. Поэтому на запись одной дорожки на ленте затрачивается $\frac{1}{250} : 4$ сек, т. е. 1000 мкsec. Это соответствует времени передачи 16 строк телевизионного изображения, так как на передачу одной строки требуется 64 мкsec. Другими словами, на одной дорожке длиной 46,2 мм записывается 16 строк телевизионного изображения, а для одной строки требуется участок дорожки длиной около 3 мм.

Таким образом, если не управлять вращением двигателя видеоголовок, то изменение длины дорожки вследствие деформации ленты всего на 0,01 мм привело бы к сдвигу строки изображения или пакета, состоящего из 16 строк, на несколько элементов, что явилось бы браком изображения.

Однако деформация ленты в поперечном направлении невелика и легко поддается компенсации. Она значительно больше в продольном направлении. Поэтому приведенный простой расчет иллюстрирует один из важнейших ограничивающих факторов для продольной или наклонно-строчной систем видеозаписи, где видеозапись располагается практически вдоль ленты и где очень важна малая деформация ленты.

Для компенсации нарушений временного масштаба, вызываемых качанием ротора двигателя видеоголовок, деформацией ленты или другими причинами, служит вторая система автоматического управления, применяемая в видеомагнитофонах,— система автоматического управления скоростью двигателя видеоголовок. Она решает также и другую, родственную задачу—поддержание такой скорости двигателя видеоголовок, при которой кадровые импульсы видеосигнала записываются или воспроизводятся в строго определенном месте, т. е. при определенном угловом расположении головок относительно ленты. Поэтому система автоматического регулирования двигателя видеоголовок работает как при записи, так и при воспроизведении видеосигнала. Принцип ее работы подобен описанному принципу регулирования скорости двигателя ленты. Сигнал поправки в данном случае также получается в дискриминаторе из сравнения управляющего и опорного сигналов. В качестве управляющего служит сигнал датчика оборотов двигателя видеоголовок, а опорного — сетевое напряжение с частотой 50 гц или кадровые импульсы, выделенные из полного видеосигнала.

Рассмотренные две системы автоматического регулирования являются непременной составной частью видеомагнитофонов для поперечно-строчной видеозаписи. В видеомагнитофонах для наклонно-строчной видеозаписи иногда удается обойтись только одной системой регулирования скорости двигателя видеоголовок.

Кроме систем записи-воспроизведения видеосигнала и автоматического регулирования в видеомагнитофонах есть система записи и воспроизведения звука, сопровождающего изображение, и ряд вспомогательных устройств.

Звуковой сигнал поступает на видеомагнитофон или с эфира как сигнал, сопровождающий записываемое телевизионное изображение, или непосредственно с микрофона при записи изображения с натуры. Дорожка с записью звукового сигнала расположена по краю ленты, как и дорожка управляющего сигнала, но только с другой стороны (см. рис. 32). Для записи и воспроизведения звука используется головка, неподвижно устанавливаемая на плате видеомагнитофона. Поскольку звук и изображение записываются одновременно на одну и ту же ленту, а транспортирование ленты управляется рассмотренной выше системой автоматического регулирования, то высокая синхронность звука и изображения обеспечивается без каких-либо дополнительных устройств.

§ 11. Видеомагнитофоны с поперечно-строчной записью

Существует несколько принципов построения видеомагнитофонов. Отличаются они друг от друга тем, как решается задача получения высокой скорости видеоленты относительно головок, необходимой для записи широкой полосы частот. При видеозаписи в 1 сек на ленту требуется записать до 6 млн. колебаний, а при записи звука — только 16 тыс. Поскольку плотность записи на ленте в обоих случаях примерно одинакова, то задача фиксации большего количества колебаний в 1 сек может быть решена только увеличением относительной скорости движения ленты.

Исторически первой системой видеозаписи, получившей широкое распространение, была поперечно-строчная система. И в настоящее время эта система используется в давляющем большинстве студийных видеомагнитофонов. В этой системе видеозапись на ленту происходит в виде строчек или дорожек, расположенных почти поперек ленты.

Принцип поперечно-строчной записи показан на рис. 24а, а на рис. 34 дан вид сверху на ленту и диск с четырьмя видеоголовками. Плоскость диска перпендикулярна плоскости видеоленты. Для поперечно-строчной записи применяется видеолента шириной 50,8 мм. Головки во вращающемся диске расположены с таким расчетом (рис. 35), что когда одна из головок заканчивает дорожку записи, другая начинает следующую дорожку. В результате запись получается «разрывной». Однако при воспроизведении сигналы

от каждой видеоголовки связываются (коммутируются) специальным электронным коммутатором в непрерывный видеосигнал, такой же, каковой поступал на вход видеомагнитофона.

Видеолента транспортируется сравнительно медленно, например со скоростью 39,7 см/сек, а диск с видеоголовками вращается очень быстро со скоростью 250 об/сек.

За счет того, что лента все-таки двигается, а не стоит на месте, дорожки записи располагаются не строго поперек ленты, а с небольшим наклоном к направлению длины ленты. Расположение и размеры дорожек на видеоленте показаны на рис. 32. Ширина видеодорожек 0,25 мм, длина их 46,2 мм. На небольшом пространстве одной дорожки записывается информация, соответствующая 16 строкам телевизионного изображения.

Схема лентопротяжного механизма видеомагнитофона для поперечно-строчной записи показана на рис. 36. Важнейшим узлом этого механизма является блок вращающихся видеоголовок. Он приводится отдельно на рис. 37. Видеолента транспортируется в этом блоке через специальную направляющую камеру, в которой она на некотором участке принимает форму желоба с примерно таким же радиусом кривизны, как у диска с головками (см. рис. 35). В направляющей камере имеется канавка, расположенная против дуги движения видеоголовок. Видеоголовки могут слегка вдавливаться в ленту, уточняя своими полюсными наконечниками в канавку. Форма

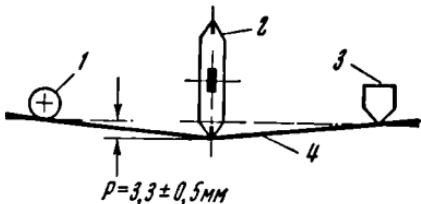


Рис. 34. Участок лентопротяжного тракта видеомагнитофона: 1 — направляющий ролик; 2 — диск с четырьмя видеоголовками; 3 — головка звукового канала; 4 — лента; $R=3,3 \pm 0,5$ мм

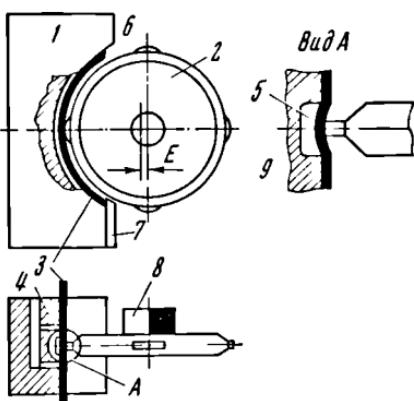


Рис. 35. Расположение видеоголовок в диске и диска в направляющей камере. 1 — направляющая камера; 2 — диск с видеоголовками; 3 — лента; 4 — щели вакуумного присоса; 5 — канавка; 6 — скос на камере; 7 — упор для ленты; 8 — обтюторатор фотодатчика; 9 — видеоголовка. E — смещение центра кривизны направляющей камеры от центра вращения диска; A — контакт головки с лентой

ленты и ее фиксация в направляющей камере обеспечиваются вакуумным присосом. Щели вакуумного присоса расположены по обе стороны канавки.

Видеоголовки, находящиеся во вращающемся диске, связаны с усилителями записи и воспроизведения бескон-

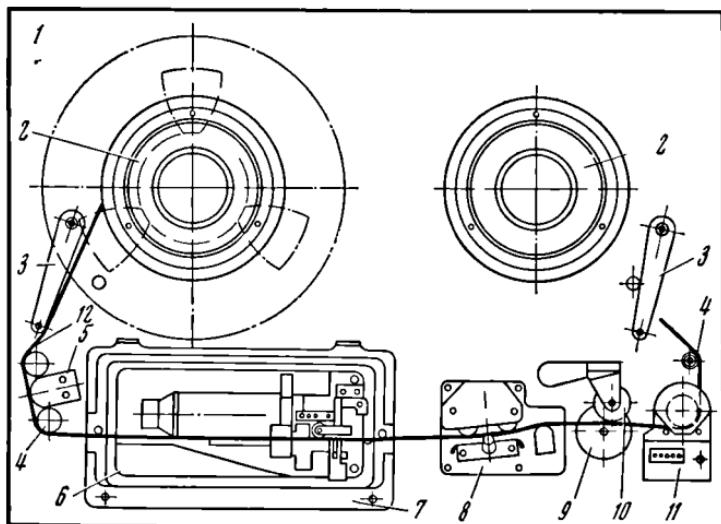


Рис. 36. Лентопротяжный механизм видеомагнитофона для поперечно строчной записи: 1 — плата; 2 — узел подающей и приемной катушек; 3 — натяжной рычаг; 4 — направляющий ролик; 5 — стирающая головка; 6 — видеоблок; 7 — плата видеоблока; 8 — звуковые головки; 9, 10 — ведущий вал и прижимной ролик; 11 — счетчик метража ленты; 12 — лента

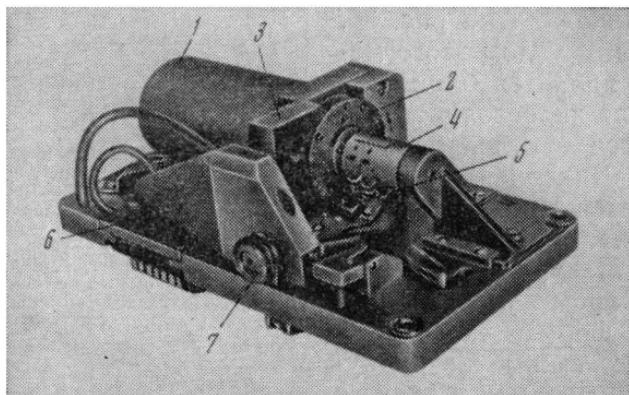


Рис. 37. Видеоблок: 1 — двигатель; 2 — диск с видеоголовками; 3 — направляющая камера; 4 — токосъемное устройство; 5 — головка управляющего сигнала; 6 — поворотный кронштейн; 7 — винт, регулирующий положение камеры по высоте

тактным токосъемником. Последний представляет собой четыре трансформатора (по числу головок), первичные обмотки которых, соединенные с головками, вращаются вместе с валом электродвигателя головок, а вторичные — неподвижны и соединены с усилителями. Первичные и вторичные обмотки по 15 витков каждая уложены в ферритовом сердечнике. Принцип устройства трансформатора с вращающейся обмоткой показан на рис. 38. Если обычный высокочастотный трансформатор броневого типа разрезать на две соосные части (по поверхности, проходящей вдоль зазора 4) и заставить, например, внутреннюю часть вращаться, то трансформирование напряжения произойдет с вращающейся части на неподвижную.

Очевидно, таким же способом можно трансформировать напряжение или ток в обратном направлении — от неподвижной части к вращающейся. Этот принцип и использован в бесконтактном токосъемнике. В видеомагнитофонах одни и те же видеоголовки служат как для записи, так и для воспроизведения видеосигнала. Поэтому к неподвижным контактам токосъемника подключаются или усилители записи, или усилители воспроизведения, в зависимости от того, какой процесс осуществляется на видеомагнитфоне.

На рис. 39 показана упрощенная электрическая блок-схема видеомагнитофона для поперечно-строчной видеозаписи. Система записи и воспроизведения видеосигнала состоит из частотного модулятора, усилителей записи и воспроизведения, коммутатора, частотного демодулятора и формирователя и функционально связана с устройствами автоматического регулирования, в частности для подачи опорного сигнала (кадровых импульсов), выделенного из видеосигнала. Вход системы используется только при записи, когда на него подается полный видеосигнал с эфира или от телевизионной передающей камеры. Этот сигнал модулирует по частоте некоторую несущую частоту, усиливается и записывается на ленту. Выход используется при воспроизведении. Воспроизведенный с ленты сигнал усиливается, коммутируется, демодулируется и формируется в полный

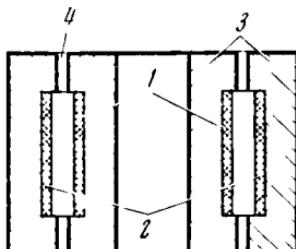


Рис. 38. Принцип устройства бесконтактного токосъемника: 1 — первичная (вращающаяся) обмотка; 2 — вторичная (неподвижная) обмотка; 3 — разрезной сердечник; 4 — зазор между вращающейся и неподвижной частями сердечника

видеосигнал такой же, какой был использован при записи.

В правильно настроенном видеомагнитофоне сигналы, поступающие при воспроизведении от каждой из четырех головок, скоммутированы и выровнены по напряжению таким образом, что на экране телевизора изображение не прерывается и изменения его яркости зависят только от яркости объекта. Но иногда возникает дефект изображения, который может рассматриваться как своеобразная ил-

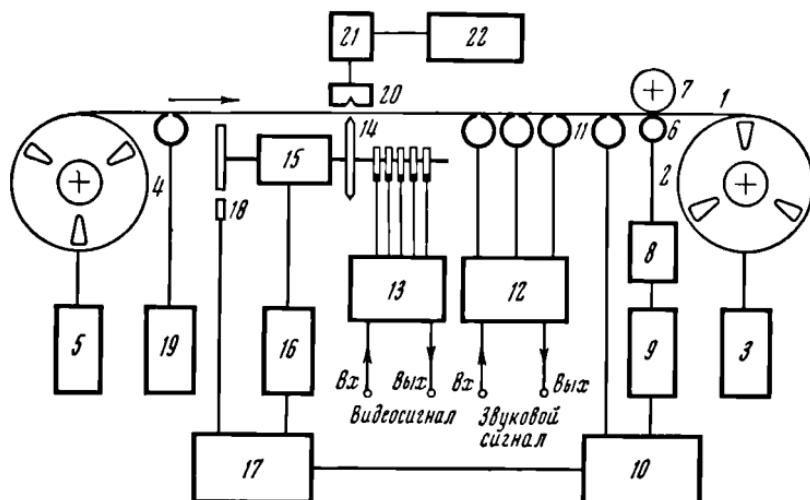


Рис. 39. Блок-схема видеомагнитофона для поперечно строчной видеозаписи
1 — видеолентка; 2 — принимающая катушка; 3, 5 — боковые двигатели;
4 — подающая катушка; 6 — ведущий вал; 7 — прижимной ролик; 8 — двигатель ленты; 9 — усилитель мощности, пытающий двигатель ленты; 10 — система регулирования скорости ленты; 11 — головка записи и воспроизведения звука; 12 — система записи и воспроизведения видеосигнала; 13 — диск с видеоголовками; 15 — двигатель видеоголовок; 16 — усилитель мощности, пытающий двигатель видеоголовок; 17 — система регулирования скорости двигателя видеоголовок; 18 — датчик оборотов двигателя видеоголовок; 19 — генератор и головка стирания изображения; 20 — направляющая вакуумная камера видеоленты; 21 — двигатель направляющей камеры; 22 — система автоматического регулирования положения направляющей вакуумной камеры

люстрация того, что изображение воспроизводится именно четырехголовочным видеомагнитофоном, у которого каждая из головок воспроизводит «за один заход» 16 строк изображения. Воспроизводимое изображение на экране телевизора при этом разбивается на правильно чередующиеся полосы, каждая из которых имеет ширину, соответствующую 16 строкам. Это говорит о недостаточно тщательной настройке видеомагнитофона, у которого нарушен контакт между видеоголовками и лентой. То есть существует

вует слишком большая разница между уровнями сигналов, воспроизводимых каждой из головок.

На рис. 39 (поз. 10, 17, 22) показаны также три системы автоматического регулирования. Первые две являются основными в видеомагнитофонах и служат для регулирования скорости ленты и видеоголовок. Третья система предназначена для автоматического регулирования положения

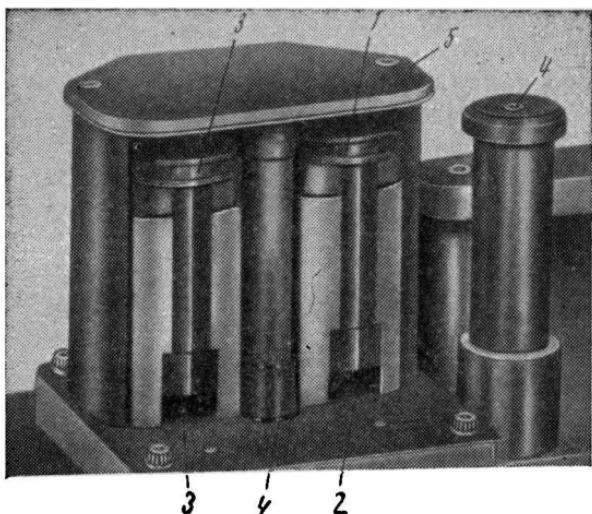


Рис. 40. Звуковые головки видеомагнитофона: 1 — головка записи и воспроизведения звукового сопровождения; 2 — головка записи и воспроизведения режиссерских пояснений, 3 — стирающая головка; 4 — направляющая колонка; 5 — электромагнитный экран

направляющей вакуумной камеры и применяется только в видеомагнитофонах для поперечно-строчной записи.

Датчиком оборотов двигателя видеоголовок, используемым в основных системах автоматического регулирования, является или электромагнитное устройство, работающее от дополнительного вращающегося диска, укрепленного на валу двигателя головок, по принципу тахогенератора, или простое фотоэлектрическое устройство: на диске головок имеется обтюратор 8 в виде цилиндрической проточки (см. рис. 35), половина которой имеет черное покрытие, а другая — отражательное. Световой пучок, направленный на эту проточку, отражается различно, в зависимости от положения диска, и улавливается фотоэлементом. Сигнал на выходе фотоэлемента и является сигналом датчика оборотов двигателя видеоголовок.

Звук записывается на верхней краевой дорожке магнитной ленты одной головкой и воспроизводится другой. В некоторых видеомагнитофонах запись и воспроизведение звука осуществляются одной головкой. Третья головка, из показанных на рис. 39 в системе записи звука, служит для стирания звукового сигнала. Кроме основного звукового канала в видеомагнитофонах есть вспомогательный звуковой канал, служащий для записи режиссерских пояснений и отметок. Дорожка этого канала расположена по нижнему краю видеоленты рядом с

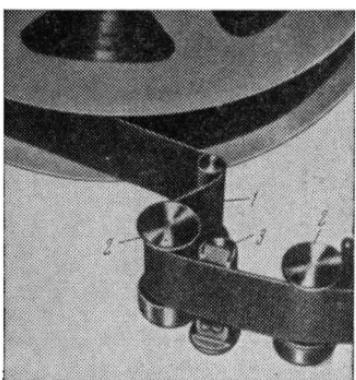


Рис. 41. Расположение стирающей головки: 1 — лента, 2 — направляющие ролики; 3 — стирающая головка

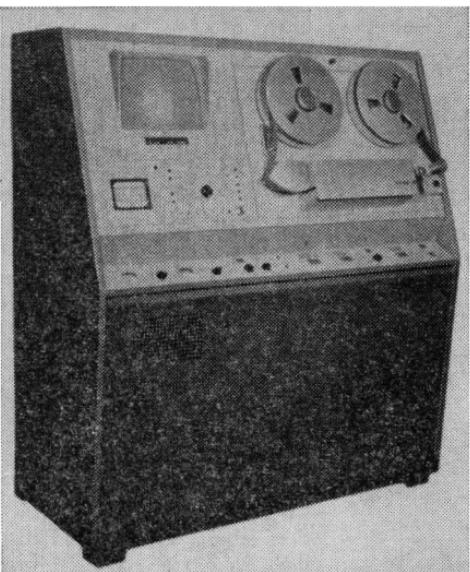


Рис. 42. Видеомагнитофон «Кадр-3»

дорожкой управляющего сигнала. Головки для записи и воспроизведения звука приводятся на рис. 40.

Для стирания изображения применяется отдельная стирающая головка. Она расположена неподвижно, как показано на рис. 41, и стирает одновременно по ширине весь участок ленты, занятый видеодорожками.

Отечественный видеомагнитофон «Кадр-3» с поперечно-строчной видеозаписью (рис. 42) представляет собой стационарный профессиональный аппарат, предназначенный для работы в телевизионных студиях. Он может записывать и воспроизводить как черно-белое, так и цветное изображение по принятым в СССР и в ряде других стран стандартам. Видеомагнитофон представляет собой уста-

навливающую на полу конструкцию, в которой объединены расположенный наклонно лентопротяжный механизм, панель управления, монитор, т. е. телевизор для контроля качества воспроизведенного изображения (на рис. 42 экран монитора расположен слева от лентопротяжного механизма), и электронные блоки усиления и преобразования видеосигнала, а также сигналов звука и управления. Эти блоки выполнены на полупроводниковых приборах с применением печатного монтажа. Размеры видеомагнитофона: $1480 \times 750 \times 1677$. Аппарат питается от сети переменного тока напряжением 220 в и потребляет мощность 1,8 квт.

Видеомагнитофон «Кадр-3» может записывать и воспроизводить телевизионные изображения в полосе частот от 50 гц до 6 Мгц и от 50 гц до 5 Мгц. В соответствии с этим существуют два режима работы видеомагнитофона: широкополосный (ШП) и узкополосный (УП).

Приведем некоторые характеристики этих режимов работы:

	ШП	УП
Расстановка частот модуляции:		
частота на уровне черного	7,8 Мгц	5,5 Мгц
частота на уровне белого	9,3 Мгц	6,8 Мгц
частота на уровне вершин синхроимпульсов	7,16 Мгц	4,95 Мгц
Скорость движения видеоленты	39,7 см/сек	19,85 см/сек
Время непрерывной записи-воспроизведения	1,5 час	3 час
Отношение сигнал/шум по каналу изображения, не менее	40 дб	38 дб
Отношение сигнал/шум по звуковому каналу, не менее	50 дб	40 дб
Полоса частот звукового канала	$50 \div 15\,000$ гц	$50 \div 10\,000$ гц
Коэффициент нелинейных искажений в звуковом канале, не более	3%	5 %
Неравномерность скорости движения ленты, не более	0,3 %	0,5 %
Стабильность временного масштаба воспроизведенного изображения для обоих режимов		± 15 мксек

Неравномерность скорости движения ленты, величина которой важна сама по себе, не следует путать с неравномерностью относительной скорости видеоголовок и ленты, которая должна быть значительно меньше.

Обеспечивая высокое качество изображения, видеомагнитофоны с поперечно-строчной записью обладают существенным недостатком — они сложны по устройству. Сложность связана прежде всего с применением для записи или воспроизведения сразу четырех головок. Этим вызван ряд специфических требований, таких, как необходимость особо тщательного подбора и установки головок относительно друг друга, выравнивания и коммутации сигналов каждой из головок и т. д., не говоря уж о том, что сами по себе видеоголовки являются сложным и дорогостоящим элементом видеомагнитофона и применение их делает аппарат более дорогим.

§ 12. Видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью

В 60-х годах появились первые сообщения о разработке видеомагнитофонов с одной и с двумя вращающимися видеоголовками. В этих видеомагнитофонах запись на ленту также происходит в виде строчек, но, в отличие от поперечно-строчной записи, строчки или дорожки видеозаписи располагаются не поперек ленты, а с большим наклоном к ее длине. Расположение дорожек на ленте для таких видеомагнитофонов показано на рис. 43. Видеозапись, осуществляемая в видеомагнитофонах с одной и с двумя вращающимися головками, называется наклонно-строчной. Ее называют также записью со спиральной, или с геликальной, разверткой. Смысл этих наименований станет понятным, когда мы рассмотрим движение видеоголовок относительно ленты.

Если для поперечно-строчной видеозаписи применяется лента шириной только 50,8 мм, то для наклонно-строчной применяются ленты различной ширины: 50,8; 25,4; 12,7 и 6,25 мм.

Наклон дорожек к краю ленты различен в зависимости от ее ширины и составляет около 3—4°. Длина дорожек также зависит от ширины ленты и особенностей конструкции системы. Стандарт на расположение дорожек при наклонно-строчной видеозаписи в настоящее время находится в стадии разработки. Например, при записи на ленту шириной 25,4 мм видеодорожка занимает на ленте участок длиной 465 мм. Ширина видеодорожек составляет 0,15 мм, а расстояние между ними 0,03 мм.

В системах с наклонно-строчной видеозаписью видеоголовки вращаются в так называемом видеобарабане, слегка выступая над образующей поверхностью барабана. Лента охватывает барабан по спирали, в результате чего головка записывает на ней наклонную дорожку от одного края до другого.

За счет большого наклона дорожки записи на ленте оказываются достаточно длинными; на каждой дорожке записывается один полукадр телевизионного изображения, т. е. 312,5 телевизионных строк для стандарта 625 строк в кадре. Мы знаем, что кадры следуют с частотой 25 гц, а полукадры — с частотой 50 гц. Поэтому, например, для одноголовочного видеомагнитофона частота вращения видеоголовки составляет 50 гц, т. е. 3000 об/мин. В двухголовочном видеомагнитофоне за один оборот записываются две дорожки (один полный кадр), поэтому скорость вращения головок в нем может быть в два раза ниже и составляет 1500 об/мин. Видеолента транспортируется с небольшой скоростью. Обычно в зависимости от конструкции применяется значение скорости ленты, лежащее в пределах от 20 до 40 см/сек. Относительная скорость ленты и головки составляет от 8 до 12 м/сек.

То обстоятельство, что на одной дорожке записывается сразу полукадр, т. е. все четные или все нечетные строки изображения, сильно упрощает электрическую схему и наладку видеомагнитофона, так как отпадает необходимость использовать электронный коммутатор и ряд других устройств.

Существует много разновидностей лентопротяжных механизмов для наклонно-строчной видеозаписи. Рассмотрим три основные разновидности.

Лентопротяжный механизм двухголовочного видеомагнитофона типа «180°» показан на рис. 44. Лента охватывает барабан в пределах 180°. В барабане со сдвигом на 180° установлены две вращающиеся видеоголовки, которые поочередно включаются на запись или воспроизведение как раз на время контакта с лентой. Сам барабан обычно представляет собой неподвижную направляющую ленты и со-

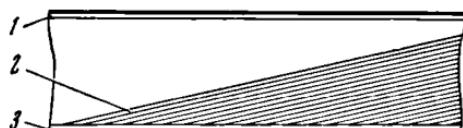


Рис. 43. Расположение видеодорожек, а также дорожек с записью звукового и управляющего сигналов на видеоленте при наклонно строчной видеозаписи 1 — дорожка записи звука, сопровождающего изображение; 2 — дорожки видеозаписи; 3 — дорожка записи управляющего сигнала

стоит из нижней и верхней половин или из нижнего и верхнего барабана. В щели между этими половинами на вращающейся тарелке установлены видеоголовки (рис. 45). Существуют конструкции и с вращающейся верхней половиной барабана. Подающая и принимающая катушки расположены на различной высоте относительно барабана, за счет чего лента охватывает барабан по наклонной траектории и при горизонтальном вращении головок на ней за-

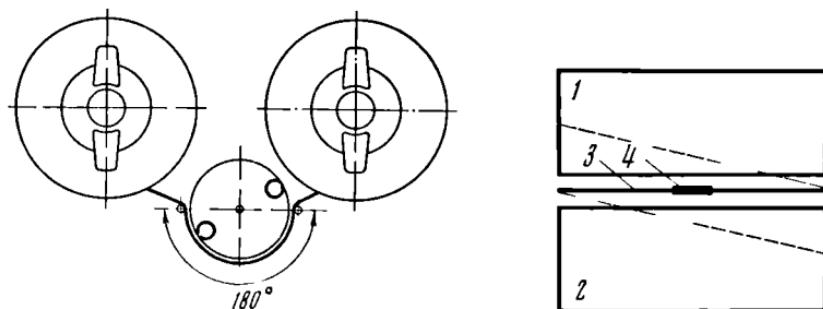


Рис. 44. Лентопротяжный механизм типа «180°»

Рис. 45. Барабан двухголовочного видеомагнитофона: 1, 2 — верхняя и нижняя половины барабана; 3 — вращающаяся тарелка; 4 — видеоголовка

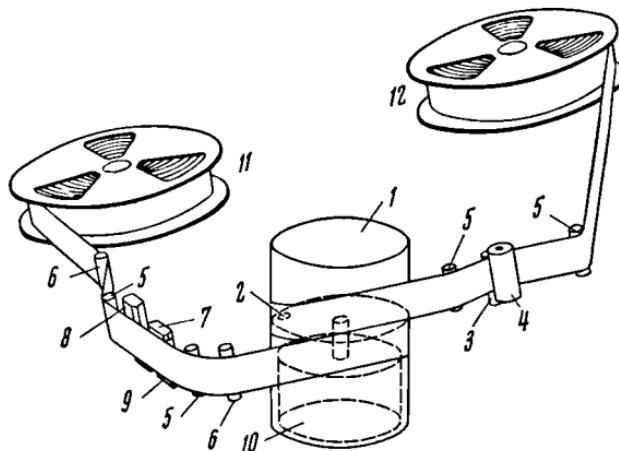


Рис. 46. Лентопротяжный механизм типа «360°-а»: 1 — барабан; 2 — видеоголовка; 3 — ведущий вал; 4 — прижимной ролик; 5 — направляющие; 6 — обводной ролик; 7 — звуковая головка; 8 — стирающая головка; 9 — головка управляющего сигнала; 10 — двигатель видеоголовки; 11 — подающая катушка; 12 — принимающая катушка

писывается наклонная дорожка. В этой конструкции, как и при поперечно-строчной видеозаписи, необходима тщательная установка видеоголовок и момента их переключения с тем, чтобы одна из головок начинала работу точно в момент выхода другой из соприкосновения с лентой.

В одноголовочном лентопротяжном механизме типа «360°-α» (рис. 46) лента охватывает барабан в форме греческой буквы α и перекрещивается в точке схода — захода на барабан. Единственная видеоголовка постоянно находится в контакте с лентой в пределах угла около 360°. Поскольку лента охватывает барабан по спирали и участок захода ленты на барабан расположен ниже участка схода,

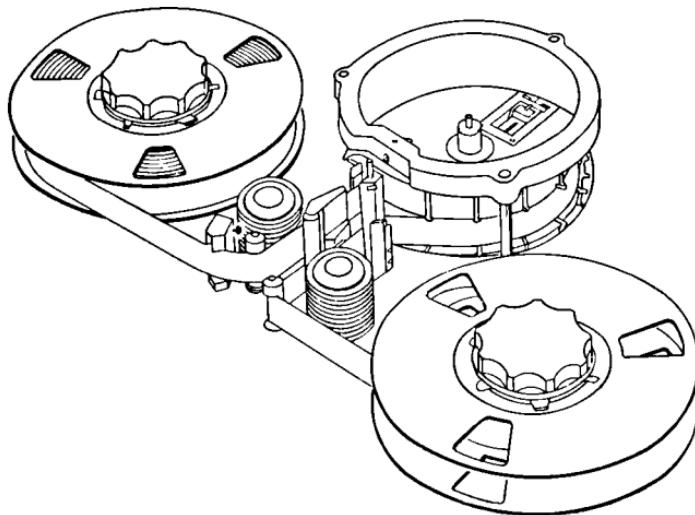


Рис. 47. Лентопротяжный механизм типа «360°-Ω»

то в результате вращения головки на ленте записывается наклонная дорожка. Для уменьшения сил трения, препятствующих транспортированию ленты, барабан устанавливается слегка наклонно к горизонтальной плоскости.

Одноголовочный лентопротяжный механизм типа «360°-Ω» (рис. 47) отличается от предыдущего только формой охвата барабана лентой. В этом случае лента охватывает барабан в форме буквы Ω без перекрещивания. В этой и в предыдущей конструкциях механизма существует некоторый «холостой» угол движения видеоголовки при ее переходе с одной дорожки на другую. Для охвата типа « Ω » этот угол может быть сделан несколько меньше, чем для типа « α ».

На рис. 48 показан лентопротяжный механизм комбинированного типа, объединяющий в себе некоторые особенности предыдущих типов.

Рассматривая лентопротяжные механизмы видеомагнитофонов для наклонно-строчной записи, нетрудно видеть, что лента подвергается в них более сильному износу, чем в видеомагнитофонах для поперечно-строчной видеозаписи. Действительно, в видеомагнитофоне типа «360°-а» лента петлей охватывает неподвижный барабан и скользит вокруг него со скоростью около 30 см/сек. Возникающие силы трения обуславливают значительное торможение, которое преодолевается ведущим двигателем. При этом происходит как фрикционный износ ленты, так и некоторая деформа-

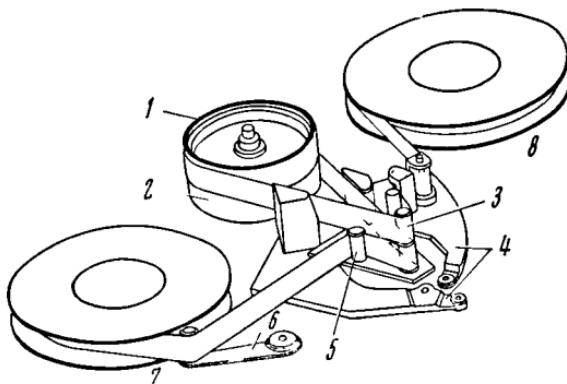


Рис. 48. Лентопротяжный механизм комбинированного типа: 1 — вращающийся верхний барабан; 2 — неподвижный нижний барабан; 3 — ведущий вал; 4 — направляющие стойки; 5 — направляющий ролик; 6 — натяжной рычаг; 7 — подающая катушка; 8 — принимающая катушка

ция растяжения. Следует учитывать также специфический перегиб ленты, связанный с тем, что подающая и принимающая катушки расположены горизонтально (или вертикально) в разных плоскостях, а лента охватывает барабан по спирали, за счет чего и переходит с одной плоскости на другую.

Однако именно наклонно-строчная видеозапись наиболее критична к продольной деформации ленты, так как при такой записи велика продольная составляющая относительной скорости и неравномерность движения ленты в продольном направлении влияет на характер записи.

Простой расчет показывает, что колебания относительной скорости головки и ленты в наклонно-строчной видеозаписи определяются в значительной мере условиями тран-

спортирования собственно ленты, в частности ее продольной деформацией, тогда как в поперечно-строчной записи колебания относительной скорости практически зависят лишь от стабильности вращения диска с головками. Обеспечить требуемую стабильность вращения диска с головками проще, чем исключить упругую деформацию ленты.

По этой причине в видеомагнитофонах с наклонно-строчной записью最难 обеспечить взаимозаменяемость записей и получить высококачественное изображение для телевизионного вещания, хотя они значительно проще и дешевле видеомагнитофонов с поперечно-строчной записью.

Видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью применяются главным образом в замкнутых телевизионных системах для любительских, научных или промышленных целей. Такие системы состоят из телевизионной съемочной камеры, видеомагнитофона и монитора, или телевизора; в них отсутствует преобразование видеосигнала для его передачи в эфир, и видеозапись обычно воспроизводится на том же видеомагнитфоне, на котором они были получены. Четкость изображения на этих видеомагнитофонах обычно составляет от 200 до 400 строк, хотя они могут работать совместно с телевизорами, рассчитанными на более высокий стандарт четкости, например 625 строк. Запись видеосигнала в них также происходит с применением частотной модуляции, как показано на рис. 28.



Рис. 49. Видеомагнитофон «Малахит»



Рис. 50. Видеомагнитофон типа DVK-2400ACE

В настоящее время известны десятки типов видеомагнитофонов с наклонно-строчной видеозаписью. В отечественном одноголовочном видеомагнитофоне типа «Малахит» (рис. 49) применяется видеолента шириной 25,4 мм. Скорость движения ленты 25 см/сек. Максимальная записываемая частота 2,5 Мгц.

На рис. 50 показан двухголовочный портативный видеомагнитофон типа DVK-2400ACE японской фирмы «Сони», работающий с лентой шириной 12,7 мм. Скорость движения ленты 29,14 см/сек. Четкость изображения 270 строк. Масса 5,7 кг. На этом же рисунке показана телевизионная передающая камера. Масса камеры 1,9 кг. Сравнительно небольшая масса видеомагнитофона и камеры позволяет их легко транспортировать и производить видеозапись «на ходу». Микрофон встроен в съемочную камеру. Нацеленная на объект съемки телевизионная камера оказывается одновременно нацеленной и на источник звука. На выходе камеры возникает видеосигнал и звуковой сигнал.

Видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью непрерывно совершенствуются. В настоящее время разработаны такие модели, которые по своим характеристикам приближаются к аппаратам, удовлетворяющим требованиям студийной видеозаписи. На них могут записываться как черно-белые, так и цветные изображения. Достоинство видеомагнитофонов с наклонно-строчной видеозаписью состоит в том, что на них в отличие от видеомагнитофонов с попечечно-строчной записью легко осуществить эффект замедления изображения или его остановку.

§ 13. Кассетные видеомагнитофоны

В самом конце 60-х годов появились так называемые кассетные видеомагнитофоны. Основная идея таких аппаратов, как и у обычных кассетных магнитофонов, заключается в том, что оператор не производит зарядку ленты в лентопротяжный тракт. Эта операция происходит автоматически. Например, для воспроизведения видеозаписи оператору достаточно установить кассету в гнездо или опустить в специальный карман на кассетном видеомагнитофоне и включить связанный с видеомагнитофоном телевизор.

Видеокассета представляет собой закрытую невскрываемую плоскую коробку. В ней установлены две катушки, одна с видеолентой, а другая — пустая, играющая роль приемной катушки. Коробка имеет посадочные отверстия,

через которые передаются вращающие усилия на катушки и устанавливается контакт между лентой и головками, находящимися в видеомагнитофоне. Внешне видеокассета напоминает в несколько раз увеличенную обычную магнитофонную кассету, например от кассетного магнитофона «Десна». Основное отличие от магнитофонной кассеты заключается в том, что катушки в видеокассете расположены ступенчато в соответствии с требованием наклоннострочной видеозаписи. Ширина видеоленты, применяемой в кассетах, 12,7 и 6,25 мм.

Существуют видеокассеты, содержащие лишь одну катушку с намотанной на нее лентой. Отличие видеокассеты

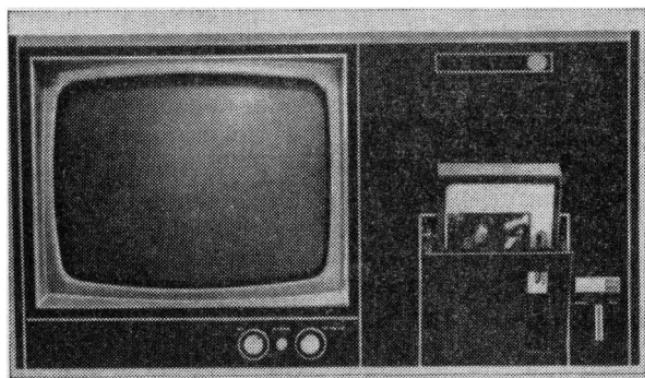


Рис. 51. Кассетный видеомагнитофон, объединенный с телевизором

от обычной катушки в данном случае состоит в том, что видеокассета закрыта со всех сторон и имеет отверстия для привода катушки и для автоматического захвата видеоленты и зарядки ее в тракт, после того как кассета установлена на видеомагнитофон. Установка такой кассеты на видеомагнитофон напоминает опускание монеты в кассовый автомат. Вынуть кассету можно только после того, как вся видеолента, если она воспроизвела, снова перемотана на катушку, находящуюся в кассете.

На рис. 51 показан кассетный видеомагнитофон, объединенный с телевизором для просмотра записанных программ. Телевизор может принимать также широковещательные программы. На передней панели аппарата справа виден карман с не полностью установленной кассетой.

Существуют переносные кассетные видеомагнитофоны. На таких аппаратах можно произвести запись и, подключив их к обычному телевизору, воспроизвести ее.

Простота управления и эксплуатации кассетных видеомагнитофонов делают их удобными для самого широкого применения. Но не только простота управления и эксплуатации являются характерной чертой кассетного видеомагнитофона. Такие простые особенности, как возможность не касаться видеоленты руками в процессе эксплуатации и ее закрытое расположение в видеокассете, оказываются чрезвычайно благоприятными с точки зрения надежности и качества видеозаписи.

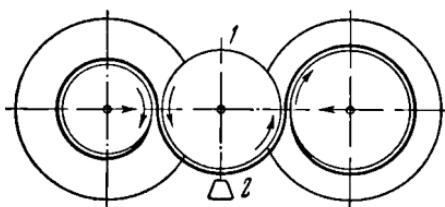


Рис. 52. Скоростной лентопротяжный механизм для продольной видеозаписи: 1 — ведущий вал; 2 — видеоголовка

Однако ведутся разработки по применению в кассетных видеомагнитофонах непосредственной записи видеосигнала без его преобразования, а также по применению новых принципов в лентопротяжных механизмах и в способах развертки видеозаписи на ленте. На рис. 52 приводится схема так называемого скоростного лентопротяжного механизма. Видеозапись на таком механизме происходит на дорожках, расположенных вдоль ленты. Видеолента в процессах записи-воспроизведения облегает большой ведущий вал, который ведет ее с большой скоростью: 5—6 м/сек. Подающая и принимающая катушки прижаты к ведущему валу пружинами и перемещаются по мере перемотки видеоленты.

Достоинство такого механизма в том, что в нем малы продольные и поперечные колебания ленты, особенно сильно проявляющиеся при высоких скоростях ее движения. Лента на большом участке фрикционно связана с ведущим валом, что сильно демпфирует колебания.

Катушка ленты длиной 720 м при скорости 6 м/сек полностью перематывается за 2 мин. Если шаг дорожки видеозаписи (ширина дорожки + междорожечное пространство) составляет 0,2 мм, то при 30 дорожках на ленте шириной 12,7 мм можно записать программу длительностью 2 час. Это уже немалое время. Основная проблема заключается в том, чтобы обеспечить быстрое (незаметное для глаза при воспроизведении) реверсирование механизма при переходе с дорожки на дорожку в конце или начале ленты.

§ 14. Видеоголовки

В видеомагнитофонах как для записи, так и для воспроизведения видеосигнала обычно используются одни и те же видеоголовки, которые можно было бы назвать универсальными видеоголовками. Принцип их действия точно такой же, как и головок для записи или воспроизведения звука. Как мы видели в § 3, этот принцип действия чрезвычайно прост. Однако насколько он прост в действии, настолько труден в реализации. Трудность связана, во-первых, с необходимостью записи и воспроизведения очень высоких частот — вплоть до $10-12 \text{ МГц}$ и, во-вторых, с тем, что требуется выдерживать геометрические размеры с точностью, которая лежит буквально на грани возможного в современной технологии.

В сердечнике магнитной головки действует переменное магнитное поле, которое при записи создается током в обмотке головки, а при воспроизведении — остаточным магнитным потоком ленты. В металлах, находящихся в переменном магнитном поле, возникают вихревые токи. По правилу Ленца вихревые токи наводятся всегда так, что создаваемое ими магнитное поле направлено навстречу намагничивающему полю, т. е. для головки — полю обмотки или полю ленты. В результате этого происходит снижение действующей магнитной проницаемости материала сердечника головки. Чем выше частота переменного магнитного поля, тем больше вихревые токи и тем ниже действующая проницаемость материала. На частотах порядка нескольких мегагерц проницаемость падает настолько сильно, что металлические магнитные материалы, обладающие высокой электропроводностью, уже непригодны для изготовления сердечников головок.

Остаточная намагниченность современных видеолент составляет около $M_R = 1000 \text{ Гс}$; толщина рабочего слоя $d = 10 \text{ мкм}$, а ширина видеодорожки $b = 0,25 \text{ мм}$. Если бы весь магнитный поток намагниченной до насыщения видеоленты участвовал в наведении э. д. с. видеоголовок, то амплитуда э. д. с. была бы равна

$$e_m = \omega \Phi_R = \omega \Phi M_R S = \omega \Phi M_R b d,$$

где ω — круговая частота, равная $\omega = 2\pi f$, а ω — число витков сердечника головки, которое мы примем равным 30.

Все величины, входящие в это уравнение, известны. Подставив их и выбрав различные значения частоты f ,

можно построить частотную характеристику э. д. с. головки для этого идеализированного случая (рис. 53, прямая *a*).

Если пойти по пути приближения к реальным условиям и подсчитать потери э. д. с., зависящие от длины волны записи, то получим кривую b (принято, что ширина рабочего зазора видеоголовки равна 1 мкм, эффективное расстояние между головкой и лентой, обусловленное микрошероховатостью

тостью поверхностей ленты и головки, равно $0,1 \text{ мкм}$). Реальные частотные характеристики э. д. с. видеоголовок в режиме воспроизведения представлены кривыми σ , g , d . Из рисунка видно, что реальная э. д. с. примерно на порядок ниже, чем идеализированная э. д. с. с учетом потерь, зависящих только от длины волны записи. Частично эту разницу можно объяснить тем, что остаточная намагниченность ленты непостоянна для всех значений длин волн; даже в поверхностных слоях носителя она падает с уменьшением длины волны. Однако в основном разница в уровнях расчетной и экспериментальной э. д. с. объясняется потерями, зависящими от частоты, т. е. от вихревых токов.

Вследствие того, что не удается обеспечить бесконечно большую величину магнитной проницаемости сердечника головки, через него проходит не весь магнитный поток лен-

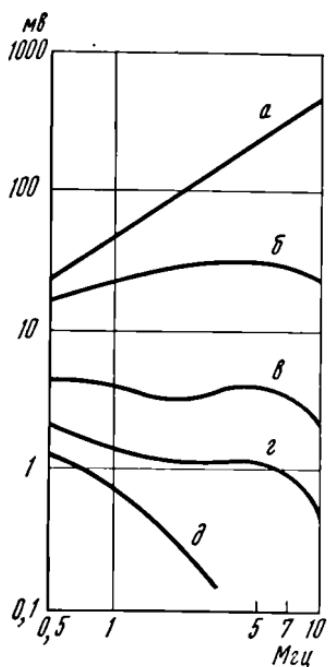


Рис. 53. Частотные характеристики видеоголовок

ты, входящий в головку, а лишь часть его. Другая часть потока, замыкаясь непосредственно через рабочий зазор, не участвует в наведении э. д. с. С увеличением частоты рас- тут вихревые токи в сердечнике головки; его действующая магнитная проницаемость падает, и вследствие этого маг- нитный поток, проходящий через сердечник, еще более уменьшается.

Головки, изготовленные целиком из металлического материала, имеют особенно большие потери э. д. с. из-за вихревых токов. Частотная характеристика такой головки, в которой приняты все меры по снижению потерь на вихревые токи, представлена на рис. 53 кривой d . Из рисунка видно, что, несмотря на принятые меры, такие головки

практически непригодны для видеозаписи. За частотами 3—4 Мгц воспроизводимый сигнал у таких головок падает до уровня шумов системы, т. е. высокочастотные сигналы не воспроизводятся.

В видеоголовках, которые получили практическое применение в видеомагнитофонах, сердечник изготовлен из феррита, а полюсные наконечники — из металла (рис. 54). Феррит представляет собой керамический магнитомягкий материал с низкой электропроводностью. В нем возникают значительно меньшие вихревые токи, чем в металлах. Недостаток феррита состоит в том, что он имеет пористую хрупкую структуру, из-за которой в нем трудно получить правильную форму ребер на границах рабочего зазора (рис. 55). Поэтому полюсные наконечники головки, образующие рабочий зазор, изготовлены из металла. В самом рабочем зазоре устанавливается немагнитная прокладка. В качестве материала прокладки используется тончайшая (толщиной около 1 мкм) бронзовая или серебряная фольга. Прокладка в зазоре может быть также получена нанесением тонкого слоя немагнитного металла или стекла на образующие зазор внутренние поверхности полюсных наконечников.

Рабочий зазор современных видеоголовок имеет ширину $\delta = 0,5 \div 3$ мкм и высоту $\vartheta = 0,1 \div 0,25$ мм. Высота рабочего зазора практически равна ширине дорожки видеозаписи на ленте.

На рис. 53 (кривая г) показана частотная характеристика видеоголовки с ферритовым сердечником и металлическими полюсными наконечниками, на которой в области высоких частот заметен подъем. Этот подъем вызван резонансом индуктивности и емкости головки и играет положительную роль при условии, если он мало искажает fazовую характеристику системы воспроизведения.

Видеоголовки с металлическими полюсными наконечниками имеют, однако, и ряд недостатков. Полюсные наконечники представляют собой участки с высокой электро-

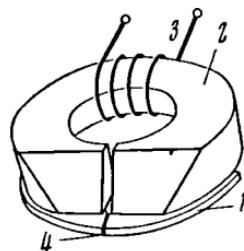


Рис. 54. Видеоголовка с ферритовым сердечником и металлическими полюсными наконечниками: 1 — полюсный наконечник; 2 — ферритовый сердечник; 3 — обмотка; 4 — рабочий зазор

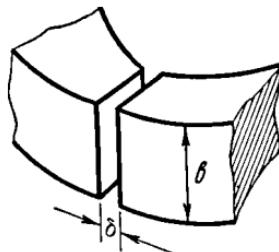


Рис. 55. Область рабочего зазора видеоголовки:
δ — ширина зазора; θ — высота зазора

проводностью и поэтому вносят некоторые потери, кроме того, в местах стыковки полюсных наконечников с сердечником возникает дополнительное магнитное сопротивление. Поэтому специально для видеоголовок были разработаны ферриты с плотной и прочной структурой, которые не подвержены выкрашиванию при обработке или три трения о ленту и обеспечивают правильную форму ребер на границах рабочего зазора.

На рис. 56 показан сердечник видеоголовки, изготовленной целиком из фер-

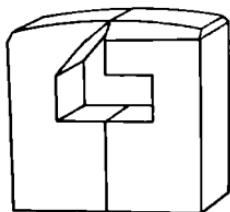


Рис. 56. Сердечник ферритовой видеоголовки

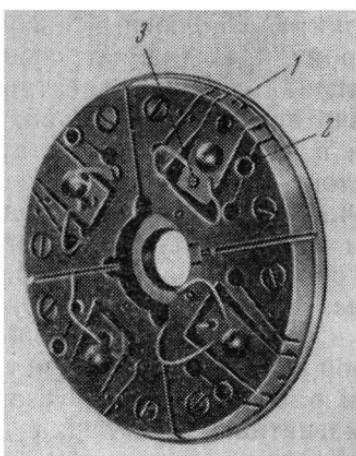


Рис. 57. Диск с видеоголовками:
1 — видеоголовка; 2, 3 — регулировочные винты

фита, а на рис. 53 (кривая *в*) — ее частотная характеристика. Для упрощения технологии изготовления внутренний скос в области рабочего зазора имеет только левый полюсный наконечник. Разница в значениях э. д. с. этой видеоголовки и идеализированной головки (кривая *б*), как видно из рисунка, наименьшая. Видеоголовки, изготовленные целиком из феррита, обусловливают, однако, относительно высокий уровень шума при воспроизведении записи. В настоящее время в видеомагнитофонах применяются головки как такого, так и предыдущего типа.

На рис. 57 показан диск видеомагнитофона для поперечно-строчной записи с установленными в нем четырьмя видеоголовками.

Глава IV. Видеолента

§ 15. Требования, предъявляемые к видеолентам

В первых видеомагнитофонах использовалась обычная магнитная лента для записи звука. В отечественной практике для этой цели применялась, например, неориентированная лента тип-б. Изготовленная в виде полосы, ширина которой соответствовала требованиям видеозаписи, она получила наименование тип-бТ. Однако качество телевизионного изображения, записанного на ленте, применявшийся для записи звука, было невысоким. На изображении просматривались значительные помехи, так называемый шум ленты, в виде мерцания — хаотического нарушения яркости по всем элементам телевизионного раstra. Такие помехи снижают четкость и контраст изображения. Возникая, например, на границе черного и белого участка, мерцание снижает резкость границы. Но и независимо от действия помех, ленты, разработанные для записи звука, не обеспечивают оптимальных характеристик изображения.

Видеозапись по сравнению со звукозаписью обладает рядом специфических особенностей и предъявляет свои требования к ленте. В настоящее время в СССР и за рубежом разработаны магнитные ленты, специально предназначенные для записи черно-белых и цветных телевизионных изображений.

Видеозапись происходит, во-первых, в весьма широком диапазоне частот, что повышает требования по снижению шума ленты; во-вторых, в режиме намагничивания ленты «от насыщения до насыщения» (строго говоря, намагченность видеоленты приобретает максимально достижимое значение, которое вследствие особенностей процесса записи несколько ниже, чем остаточная намагченность насыщения). Кроме того, видеозапись происходит при очень больших значениях относительной скорости ленты и головки и располагается на ленте не в продольном направлении, как звукозапись, а поперек.

С перечисленными условиями работы связаны требования, предъявляемые к видеолентам. Основные из них:

минимальный шум при работе в контакте с быстро врашающимися головками;

отсутствие так называемых выпадений видеосигналов; высокие разрешающая способность, остаточная намагниченность насыщения, износостойкость и стабильность размеров; низкая абразивность.

Эти требования в целом мало отличаются от предъявляемых к магнитным носителям вообще, независимо от области их применения. Однако очередность и значимость требований различна.

Например, в видеозаписи выпадения сигналов субъективно воспринимаются как сильная помеха на телевизионном изображении, тогда как при записи звука влияние выпадений не столь заметно: слух слабо реагирует на изменения уровня звука, если они редки и по длительности не превышают длительность слова, т. е. примерно 0,2 сек. Выпадения сигналов с длительностью 0,2 сек и более практически не возникают.

§ 16. Проблема шума и выпадения сигналов у видеолент

Шум видеолент

Требование большого отношения сигнал/шум имеет для видеолент первостепенное значение. Шум магнитных лент, как и шум любой системы передачи информации, возрастает с расширением передаваемого частотного диапазона. Можно показать, что он пропорционален относительной скорости ленты и головки. Мы видели, что рост этой скорости эквивалентен расширению полосы записываемых и воспроизводимых частот. Поскольку полоса частот при видеозаписи в сотни раз шире, чем при записи звука, то и эффект шума проявляется сильнее.

Чрезвычайно благоприятным обстоятельством является здесь то, что величина полезного сигнала при прочих равных условиях также пропорциональна относительной скорости ленты и головки. Казалось бы, поэтому отношение сигнал/шум не должно зависеть от нее. Однако это не так. В видеозаписи наряду с характерными для магнитной записи так называемыми волновыми потерями (зависящими от длины волны записываемого сигнала) резко возрастают частотно-зависимые потери в материале сердечника головок вследствие необходимости записи высоких частот порядка 10 Мгц. Возрастает и собственный шум головок. Сум-

марный эффект сводится к тому, что шум системы видеозаписи с расширением диапазона частот растет быстрее, чем полезный сигнал. Поэтому должны быть приняты все меры по снижению вклада видеоленты в общие шумы системы.

Источники шума при видеозаписи в общем случае (рис. 58) — это лента, головка и электронные блоки усиления и преобразования видеосигнала. Шумы этих трех источников, складываясь геометрически, образуют результирующий шум системы видеозаписи. Мы рассмотрим только одну, основную, часть результирующего шума, которую назовем для краткости шумом ленты, хотя ее правильнее было бы назвать шумом пары лента — головка, так как она возникает лишь в результате взаимодействия ленты и головки и зависит как от свойств ленты, так и от условий ее взаимодействия с головкой.

Подразделяют шум размагниченной и намагниченной ленты. Последний называют также модуляционным шумом. Если лента намагничена до насыщения (именно так происходит намагничивание ленты при видеозаписи), то ее модуляционный шум на 10—20 дБ выше шума в размагниченном состоянии. Модуляционный шум возникает как во время воспроизведения видеосигнала, так и во время воспроизведения паузы, так как в отсутствие полезного сигнала на ленте записывается и воспроизводится несущая частота. Таким образом, наибольшее значение при видеозаписи имеет модуляционный шум. Его можно представить состоящим из различных шумовых составляющих: структурной, контактной и составляющей, обусловленной неравномерностью относительной скорости головки и ленты. Рассмотрим их по отдельности.

Структурный шум связан с дискретной магнитной структурой рабочего слоя ленты, которая объясняется как существованием малых областей самопроизвольного намагничивания, так и частиц магнитного порошка, изолированных друг от друга немагнитным связующим. В сплошных метал-

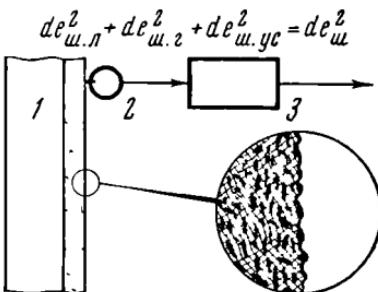


Рис. 58 Источники шума при видеозаписи (в круге схематически показан участок поверхности ленты и дискретная структура рабочего слоя): 1 — лента; 2 — видеоголовка; 3 — электронные блоки усиления и преобразования видеосигнала; $d\epsilon_{ш,л}$, $d\epsilon_{ш,г}$, $d\epsilon_{ш,yc}$ — приращения соответствующих компонентов шума (лента, головка и усилителя)

лических рабочих слоях на барабанах или дисках нет изолированных частиц, однако существует магнитная дискретность благодаря областям самопроизвольного намагничивания и границам между ними.

Можно показать, что структурный шум при прочих неизменных условиях возрастает с увеличением размеров частиц магнитного порошка в ленте, а также при образовании сгустков частиц. Шум возрастает также с увеличением

пористости на поверхности частиц, характеризуемой так называемой маслодемкостью магнитного порошка.

Другая важная составляющая шума — контактная — связана с качеством поверхности ленты.

В магнитной записи хорошо известна закономерность, характеризующая спад уровня воспроизведенного сигнала с возрастанием расстояния между лентой и головкой. Этот спад в децибелах выражается как

$$20 \lg \frac{e}{e_0} = -54,6 \frac{a}{\lambda},$$

где: e — э. д. с. головки воспроизведения при расстоянии a между нею и поверхностью ленты; e_0 — то же, при идеально плотном контакте ленты с головкой; λ — длина волны записи.

Из этого соотношения следует, что если $a = \lambda$, то уровень сигнала падает на 54,6 дБ. Практически это означает исчезновение сигнала — он полностью маскируется шумом.

Поверхность магнитных лент никогда не бывает идеально ровной. На ней имеются впадины и бугорки, которые отводят ленту от головки (см. рис. 61). На рис. 59 приведена профилограмма поверхности видеоленты. Анализ подобных профилограмм показывает, что у лучших современных лент высота неровностей достигает 0,1—0,15 мкм. На основании приведенной зависимости при таком расстоянии между лентой и головкой уровень сигнала с длиной волны 2 мкм падает более чем в два раза. Хаотически чередующиеся поверхостные бугорки вызывают хаотические колебания уровня воспроизведенного сигнала и, таким образом, являются источником так называемой контактной составляющей шума.

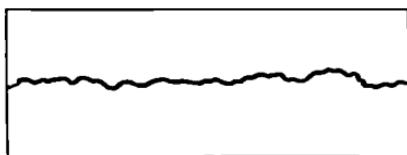


Рис. 59. Профилограмма поверхности видеоленты PEV 4000 в поперечном направлении. Средняя высота неровностей на данном участке 0,05 мкм

70

Контактная составляющая шума существует как у намагниченной, так и у размагниченной ленты. В первом случае контактный шум вызывает паразитную амплитудную модуляцию полезного сигнала, во втором — накладывается на структурный шум. Заметим, что контактный шум намагниченной ленты «закладывается» в ленту отчасти еще при записи сигнала.

Перейдем теперь к третьей составляющей модуляционного шума, обусловленной неравномерностью относительной скорости ленты и головки. Предварительно остановимся на общей характеристике модуляционного шума.

Основная особенность модуляционного шума состоит в том, что он возрастает с увеличением намагниченности ленты. Рассмотрим выражение модуляционного шума, которое хотя и носит чисто формальный характер, но представляет собой наглядную иллюстрацию этой особенности.

Предположим сначала, что намагниченность ленты M_r постоянна вдоль дорожки записи. В общем случае ее можно представить как

$$M_r = M_{r0}(1 + \xi),$$

где M_{r0} — средняя постоянная намагниченность, отличная от нуля; ξ — некоторая безразмерная случайная функция, изменяющаяся около среднего значения, характеризующая степень неоднородности (структурной, контактной или вызванной неравномерностью скорости) пары лента — головка.

Таким образом, намагниченность M_r представляется как некоторая хаотически изменяющаяся около среднего значения величина. Непосредственно из этого выражения следует, что с увеличением средней намагниченности увеличивается «шумовая слагающая намагниченности» ξM_{r0} и, следовательно, шумовой сигнал.

Среднюю намагниченность M_{r0} можно рассматривать так же, как переменную, например, синусоидальную величину. Если $M_{r0} = M_{rm} \cdot \sin kx$, то «шумовая слагающая намагниченности», равна

$$M_{rm} \xi \sin kx.$$

Приняв здесь $\xi = \sin k_1 x$, получим

$$M_{rm} \sin k_1 x \sin kx,$$

т. е. типичное выражение амплитудной модуляции сигнала.

Таким образом, при намагничивании ленты влияние неоднородностей возрастает, т. е. приводит к увеличению шума, а в выходном сигнале появляются продукты паразитной амплитудной модуляции.

Если бы мы теперь приняли, что случайная функция меняется не только по величине и направлению с постоянной пространственной частотой k_1 , но также и с переменной частотой, что бывает на практике, то обнаружили бы в выходном сигнале и продукты паразитной частотной модуляции. Основной причиной паразитной частотной модуляции полезного сигнала является неравномерность относительной скорости ленты и головок.

Сопоставлением данных субъективных и объективных измерений установлено, что если результирующее отношение сигнал/шум на выходе системы видеозаписи ниже 40 дБ, то мешающий эффект шумов на экране телевизора становится заметным, т. е. считается, что эта цифра является предельно допустимой для высококачественной системы видеозаписи.

Шум электризации

При видеозаписи может существовать еще один специфический источник шума, связанный с тем, что магнитная лента с порошковым рабочим слоем представляет собой магнитодиэлектрик, обладающий высоким электрическим сопротивлением. Удельное поверхностное сопротивление магнитной ленты на порошке гамма-окиси железа если не принято специальных мер по его снижению, может достигать значений 10^{13} ом на единицу площади. Быстрое движение головки по ленте вызывает сильную электризацию вследствие трения (трибоэлектрический эффект). Возникающие при этом электрические разряды образуют локализованные в пространстве токи и соответственно магнитные поля, действующие на головку. В результате этого при воспроизведении видеозаписи усиливается шум и появляются светлые штрихи на изображении.

Установлено, что светлые штрихи на изображении появляются, когда трибоэлектрический потенциал ленты превышает 500 в, и что такой потенциал возникает на ленте, если ее удельное поверхностное сопротивление превышает 10^9 ом на единицу площади. То есть поверхностное сопротивление должно быть ниже этой величины.

Другой вредный эффект, связанный с электризацией ленты, состоит в том, что поверхностью наэлектризованной ленты легко притягиваются отковавшиеся частицы магнитного порошка, а также пыль. Эти частицы, попадая между головкой и лентой и отчасти впрессовываясь в ленту, значи-

тельно усиливают контактную компоненту шума и вызывают выпадение сигналов.

Электризация наиболее ощутима у видеолент на порошке гамма-окиси железа. Видеоленты на порошке двуокиси хрома практически не электризуются, вследствие относительно низкой величины поверхностного сопротивления — до 10^5 ом на единицу площади.

Выпадения видеосигналов

Это явление, родственное шумам по природе, по своему проявлению и по способам устранения. Представим себе инородное (немагнитное) включение в рабочем слое, например песчинку, попавшую в ферролак и закрепившую-

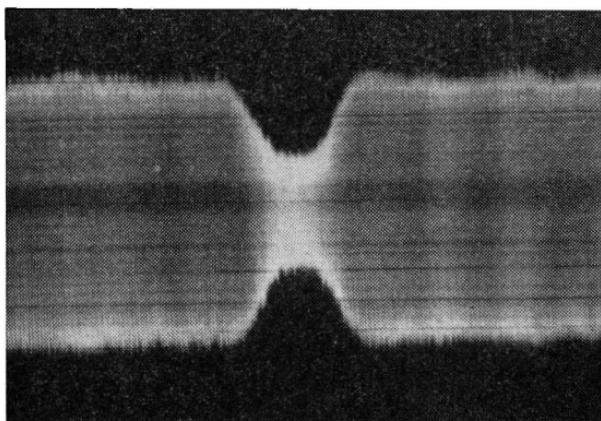


Рис. 60. Случайное снижение амплитуды при воспроизведении, вызывающее выпадение видеосигнала

ся в высохшем рабочем слое. В области инородного включения сигнал не записывается вовсе или записывается не полностью. При воспроизведении данного участка уровень сигнала оказывается ниже уровня ограничения, вследствие чего происходит выпадение записывавшегося (но не записанного) сигнала (рис. 60).

На экране телевизора это явление выглядит как возникновение темных штрихов, каждый из которых захватывает ряд последовательных элементов растровой строки. Длина штрихов различна в зависимости от протяженности дефекта ленты. При контроле качества видеолент выпадения подразделяют по длительности на три группы: свыше 5; 20 и 64 мксек. При длительности 64 мксек выпадает полная

строка растра. Это очень длительное выпадение, которое встречается крайне редко и оказывает наибольшее мешающее действие. Выпадения свыше 20 мксек считаются просто длительными, а около 5 мксек — короткими.

Инородное включение в рабочем слое ленты является наглядной, но маловероятной причиной выпадения сигналов, так как современная технология изготовления предусматривает тщательную очистку и фильтрацию исходных материалов, используемых при изготовлении ленты. Чаще всего выпадения возникают не в процессе записи, а в процессе воспроизведения сигнала, вследствие попадания на ленту

частичек порошка, отделившихся от рабочего слоя в процессе эксплуатации. Эти частички обусловливают скачкообразное возникновение зазора между носителем и головкой (рис. 61). В принципе причина здесь такая же, как и у контактного шума, с тем отличием, что выпадения вызываются при большем удалении ленты от головки.

Для предотвращения выпадения сигналов видеолента должна иметь прочный, не поддающийся выкрашиванию рабочий слой. Выкрашивание и связанное с ним внедрение отковавшихся частичек ферропорошка в рабочий слой характеризует износ видеоленты. Износстойкость видеоленты

определяется количеством рабочих циклов до резкого возрастания шума и выпадений сигналов вследствие выкрашивания и загрязнения ее поверхности.

§ 17. Изготовление и размеры видеолент

Магнитная лента для видеозаписи, или видеолента, представляет собой полиэтилентерефталатную (лавсановую) основу с нанесенным на нее рабочим слоем. Последний состоит из активного материала — магнитного порошка, занимающего от 30 до 40% объема, и немагнитного связующего вещества. Строение видеоленты показано на рис. 58. В качестве магнитного порошка для изготовления видеолент используется порошок гамма-окиси железа ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) или двуокиси хрома (CrO_2).

В процессе изготовления видеоленты порошок тщательно смешивается со связующим веществом, растворителем

(для связующего) и различными добавками, образуя так называемый магнитный лак, или ферролак. По технологии изготовления и по своим физико-химическим свойствам (вязкости, степени дисперсности частиц порошка и др.) ферролак напоминает обычный лак, выпускаемый лакокрасочной промышленностью. Ферролак поливается на движущуюся полиэтилентерефталатную основу и высушивается. Перед сушкой основа с нанесенным на нее ферролаком проходит через сильное постоянное магнитное поле, в котором частички порошка в ферролаке ориентируются в направлении поля. При высыхании лака ориентация частичек порошка в слое сохраняется. Для усиления эффекта этой ориентации применяются так называемые игольчатые порошки гамма-окиси железа или двуокиси хрома. Электронная микрофотография игольчатого порошка двуокиси хрома показана на рис. 62. Длина большой оси иголок составляет в среднем $0,3 \div 0,4 \text{ мкм}$, а отношение большой оси к малой, т. е. к поперечнику, составляет 10 : 1.

Ориентация частичек ферропорошка производится в том направлении, в котором происходит запись. Это улучшает выходные показатели видеоленты, такие, как отдачу, отношение сигнал/шум и др. В лентах для наклонно-строчной видеозаписи частички ориентируются в продольном направлении или под углом около 4° к краю ленты, под которым производится такая видеозапись. В лентах для поперечно-строчной видеозаписи частички ориентируются в поперечном направлении. Поперечная ориентация, улучшая выходные показатели по видеоканалу, одновременно снижает электроакустические показатели, так как звук записывается вдоль, а не поперек ленты. Оптимальной была бы ориентация, направленная в середине ленты поперек, а по краям (там, где записывается звук) — вдоль. Однако такая взаимно перпендикулярная ориентация сложна технологически.

В качестве компромиссного решения, удовлетворяющего требованиям видео- и звукозаписи, иногда применяется



Рис. 62. Электронная микрофотография магнитного порошка двуокиси хрома

ориентация видеолент для поперечно-строчной записи под углом 45—60° к краю. На рис. 63 приводится полярная диаграмма ориентации, показывающая величину максимальной остаточной намагниченности в зависимости от угла к краю ленты. Из рисунка видно, что у этой ленты наибольшая величина остаточной намагниченности может быть достигнута при намагничивании ленты под углом 60°.

После полива, сушки и обработки, целью которой является улучшить качество рабочей поверхности видеоленты,

полотно режется на полосы требуемой ширины. Последние и представляют собой видеоленту.

Видеоленты могут иметь следующие значения ширины: 50,8; 25,4; 12,7 и 6,25 мм. Допуск на ширину во всех случаях не превышает 0,1 мм (плюсовый допуск равен 0, а минусовый 0,1). В одном из первых типов отечественных видеомагнитофонов применялась также видеолента шириной 70 мм. Толщина видеолент составляет 30—37 мкм, причем ос-

Рис. 63 Полярная диаграмма ориентации видеоленты

нова имеет толщину около 25 мкм, а рабочий слой 5—12 мкм. Более высокие значения толщины неэкономичны, так как увеличение толщины связано с уменьшением информационной емкости на единицу веса и объема ленты; более тонкие ленты механически менее прочны и в большей мере подвержены деформации под действием механических нагрузок, которые в аппаратуре видеозаписи играют более существенную роль, чем, например, в аппаратуре записи звука.

§ 18. Особенности эксплуатации видеолент

При изготовлении видеоленты все же не достигается абсолютная чистота обработки ее поверхности. Поэтому контакт ленты с головкой в процессах записи-воспроиз-

ведения улучшается вдавливанием головки в ленту. Давление головки на ленту $20-40 \text{ кг/см}^2$, а глубина вдавливания $40-90 \text{ мкм}$. При этом деформация ленты не выходит за пределы обратимой области.

Важнейшим требованием к условиям эксплуатации видеоленты является предохранение ее от пыли и загрязнения. Транспортируется и хранится видеолента в металлических катушках, уложенных в хлорвиниловые мешки и помещаемых в прочных контейнерах. Один из таких контейнеров показан на рис. 64. Видеолента должна эксплуатироваться в обестыленном помещении,

Причиной выпадений сигналов и износа может быть даже табачный дым или отпечатки пальцев на ленте, если оператор работал без перчаток.

Одним из встречающихся дефектов производства видеолент является выделение из рабочего слоя при работе в тракте видеозаписи смолистых компонентов, входивших в состав магнитного лака, или продуктов реакции этих компонентов. Выделение связано с ненормальным протеканием процессов полимеризации лака и сушки ленты и усиливается под действием высокой температуры в результате трения головок о ленту и их давления на ленту.

При работе магнитные головки замазываются этими выделениями и забиваются мельчайшими частицами порошка и пыли. На головках образуется так называемый нагар, который нарушает контакт с лентой и резко снижает качество изображения. Появление нагара свидетельствует о браке ленты. Однако небольшой нагар при длительной непрерывной записи или воспроизведении может образоваться и при использовании доброкачественных лент. Его образование на какой-либо из головок сразу же обнаруживается на экране телевизора в виде резко выделяющихся дефектных полос, состоящих каждой из 16 строк, следующих с интервалом в 48 строк.

Для предотвращения нагара головки и другие элементы тракта должны тщательно обезжикиваться, например бен-



Рис. 64 Катушка и контейнер для переноски и хранения видеоленты шириной 50,8 мм

зином квалификации ЧДА (чистый для анализа) или спиртом.

Видеоленты в зависимости от условий эксплуатации и состояния аппаратуры допускают от нескольких десятков до нескольких сотен рабочих циклов. В лабораторных условиях видеоленты высокого качества выдерживают десятки тысяч циклов. Под циклом понимается рабочий ход ленты в одном направлении (запись или воспроизведение) и обратная перемотка ее на катушку. Количество рабочих циклов ограничивается снижением качества воспроизводимого изображения, оно происходит главным образом вследствие выкрашивания из рабочего слоя частиц ферропорошка и резкого возрастания числа выпадений сигналов. Это ограничение, однако, не связано принципиально со способностью ферромагнитного материала к многократному повторению записи, воспроизведения и стирания. В принципе ферромагнитный материал допускает практически неограниченное число таких циклов.

Глава V. Применение видеозаписи

§ 19. Общие сведения

Видеозапись обладает такими же возможностями применения, как и съемка изображений на обычную кинопленку, и может заменить ее при выполнении большинства задач, которые раньше считались допустимыми лишь для киносъемки. Сюда относятся области применения, начиная от производства художественных телевизионных фильмов и кончая кинолюбительством. В принципе исключительно средствами видеозаписи и телевизионной техники возможно изготовление и показ фильмов не только по телевидению, но и на большом экране киногастронов. Это может быть достигнуто, например, воспроизведением видеозаписи телевизионной проекционной системой типа «Эйдофор».

Мы не будем здесь сравнивать методы видеозаписи и киносъемки. Оба они имеют свои достоинства и недостатки. Отметим лишь, что для передачи изображений по телевидению видеозапись имеет преимущества по сравнению с киносъемкой.

Основные достоинства изображения на кинопленке — высокая четкость и большое количество различимых градаций яркости — в данном случае, т. е. при телевизионной передаче, ограничиваются («сводятся на нет») особенностями телевизионной системы. В значительной мере это относится и к видеозаписи. Достигнутое в настоящее время качество видеозаписи столь высоко, что ограничения, присущие телевизионному тракту, характеризуемые определенной четкостью и величиной отношения сигнал/шум передающей и приемной аппаратуры, возникают раньше, чем ограничения, связанные с магнитной лентой и с видеозаписью. Другими словами, в хорошо отлаженной системе трудно отличить телевизионное изображение, передаваемое в записи или «с натуры».

Таким образом, качественные характеристики видеозаписи, как и киносъемки, при телевизионной передаче не являются ограничительными; они как бы выравниваются телевизионной системой. Но при этом сохраняют силу дру-

гие достоинства видеозаписи, обусловливающие ее преимущества. Главные из этих преимуществ — это отсутствие затрат времени на какую-либо обработку записи на магнитной ленте, возможность немедленного контроля записанного изображения и простота создания таких эффектов, как замедление, остановка и повторение изображения, независимо от того, были ли эти эффекты предусмотрены в процессе записи изображения. Видеозапись — практически единственный метод регистрации и изучения процессов, требующих непрерывного повторения циклов записи — воспроиз-

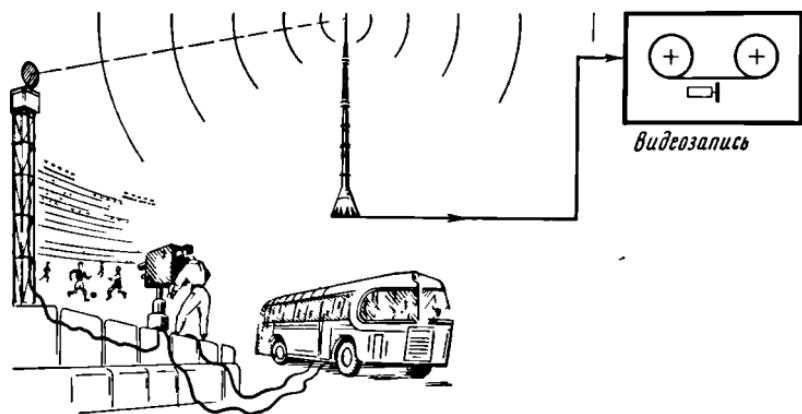


Рис. 65. Телепередача и видеозапись футбольного матча

изведение — стирание, например спонтанно протекающих процессов разрушения материала под нагрузкой, когда момент разрушения трудно предсказать.

В практике телевизионного вещания видеозапись применяется для съемки хроникальных и спортивных сюжетов, художественных фильмов, спектаклей, концертов и т. п. Методами видеозаписи могут готовиться целые телевизионные программы, включающие в себя фрагменты из кинофильмов, интервью, выступления «от автора» и др.

Запись внестудийных программ, например футбольного матча, может происходить различно. В большинстве случаев со стадиона организуется телевизионная передача через «эфир» или по кабелю в телевизионный центр. В телевизионном центре эта передача принимается и записывается на видеомагнитофоне, а затем в удобное время запись передается по одной из программ телевидения. Некоторые стадионы имеют постоянно установленное оборудование для теле-

визионной съемки и передачи; если же такого оборудования нет, то на стадион направляется специальный автобус с телевизионным оборудованием (рис. 65).

Однако возможна и полностью автономная запись. В этом случае видеозапись производится непосредственно на стадионе, например на видеомагнитофоне, установленном в автобусе. На телекомплекс доставляется уже записанная видеолента. Для простых репортажных записей, когда не требуется нескольких «точек съемки», могут применяться

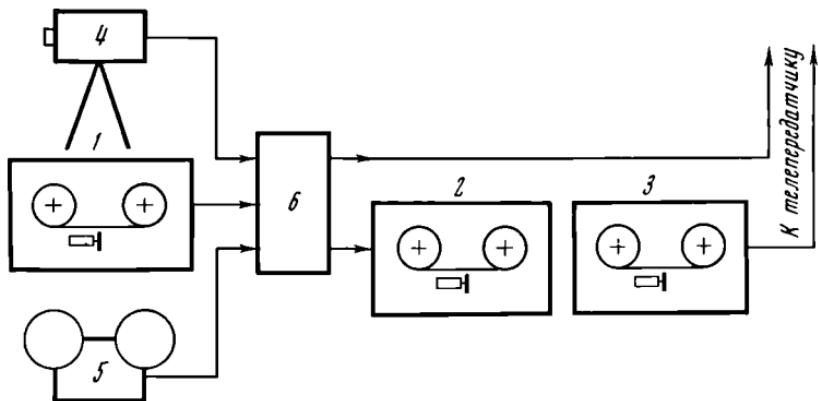


Рис. 66. Схема записи телевизионных программ на телекомплексе

переносные видеомагнитофоны (см. рис. 50). В данном случае функции режиссера, телеоператора и инженера видеозаписи выполняет одно лицо.

Запись студийных программ на телекомпликах происходит по схеме, упрощенно показанной на рис. 66. На пульт управления 6 подаются видеосигналы от телевизионной передающей камеры 4, установленной в съемочном павильоне или в дикторской комнате, а также от видеомагнитофона 1 и от телевизионной киноустановки 5. В зависимости от требований программы на телепередатчик включается один из этих сигналов. Видеомагнитофон 2 служит для записи комплексной программы, составленной, например, из отрывков кинофильмов, из ранее сделанных видеозаписей и из комментариев диктора, передаваемых камерой 4. Видеомагнитофон 3 служит для передачи предварительно записанной на видеоленте комплексной программы, в этом случае он может заменить собой весь предшествующий ряд аппаратуры. На крупных телекомпликах используется по несколько десятков студийных видеомагнитофонов. Они сосредоточены в аппа-

ратных видеозаписи, куда через пульт управления поданы кабели от съемочных камер, расположенных в павильонах, концертных и театральных залах и других помещениях телекомпании.

Ненадобность какой-либо обработки, оперативность, возможность стирания неудачных кадров делают видеозапись удобной не только в телевизионном вещании, но и в любительском и учебном кино и в особенности в научных исследованиях. В этих областях с помощью методов видеозаписи могут решаться многие из тех задач, которые ранее решались исключительно кино- и фотосъемкой. Например, запись хирургических операций или процессов, протекающих в микроорганизмах; изменение временного масштаба: ускорение или замедление процесса при воспроизведении изображения по сравнению с его естественным протеканием. Видеозапись обладает здесь тем преимуществом по сравнению с киносъемкой, что может быть воспроизведена немедленно, следовательно, сокращается время, затрачиваемое на анализ процесса.

Другим неоспоримым преимуществом магнитной видеозаписи, как уже упоминалось, является то, что она позволяет получать изображения спонтанно протекающих процессов. Поясним это таким примером. Пусть требуется изучить процесс поломки или разрушения деталей при форсировании режима двигателя, причем разрушение может произойти в любой момент времени: сразу же после пуска или через несколько часов. Кинематографическая рапид-съемка для фиксирования момента разрушения мало пригодна, так как не существует кинокамер, позволяющих вести длительную рапид-съемку. Если бы даже и существовали такие камеры, то для непрерывной съемки в течение нескольких часов потребовалось непомерно большое количество кинопленки.

Особенность магнитной записи, заключающаяся в возможности многократного стирания и повторения записи, позволяет сравнительно легко решить эту задачу. Запись производится на магнитном барабане, диске или кольце ленты. Цикл записи продолжается около секунды. В каждый момент времени на носителе уже зафиксировано состояние объекта в интервале предшествующей секунды, т. е. в интервале между началом записи и ее стиранием. Если деталь разрушается, что происходит обычно в течение долей секунды, то сигнал, поступающий от специального датчика, выключает запись и стирание и на носителе остается зафиксированным процесс разрушения детали.

Принцип действия соответствующего устройства видеозаписи приведен на рис. 67. Магнитный барабан 1 вращается с большой скоростью (окружная скорость поверхности барабана несколько десятков метров в секунду). Параллельно оси барабана сравнительно медленно перемещается блок магнитных головок, состоящий из головки записи 2 и головки стирания 3. Между головками и образующей поверхностью барабана поддерживается минимальный контактный зазор с помощью конструкции головок, плавающих на воздушной подушке. Головка 2 записывает спиралевидную дорожку, расположенную на барабане, как резьба на винте, а головка 3 непрерывно стирает предшествующую запись. Витки спиралевидной дорожки следуют без промежутков — виток к витку. На каждом витке записывается один кадр изображения, причем так, что начала всех кадров расположены на одной линии, параллельной оси барабана, например на линии 4. При этом одноименные элементы всех кадров располагаются вдоль одних и тех же линий, параллельных линии 4. Когда блок головок доходит до правого края барабана, на барабане оказываются записанными порядка сотни кадров. В этот момент слева на барабан заходит второй такой же блок головок и, стирая старую запись, производит новую. Первый блок тем временем возвращается в левое исходное положение. Таким образом, в любой момент на барабане записано указанное количество кадров.

При воспроизведении головка записи играет роль воспроизводящей головки. Стирание выключено. Блок головок при этом может перемещаться медленнее или быстрее, чем при записи, или даже быть неподвижным. Поскольку изображение обычно мало меняется от кадра к кадру, то «смазывание» изображения, возникающее при более медленном движении головки, когда она захватывает две смежные дорожки, невелико. Таким образом, любой быстро протекающий процесс может быть воспроизведен и детально изучен при любой степени замедления, вплоть до его остановки.

Следует сказать еще об одном применении видеозаписи в научно-исследовательских целях. При создании электронно-вычислительных машин специального назначения воз-

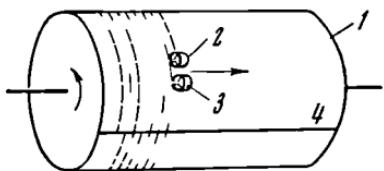


Рис. 67. Схема устройства видеозаписи на магнитном барабане для непрерывного повторения циклов записи — воспроизведение — стирание

никает необходимость вывода результатов, производимых машиной расчетов, на большой экран. Эти результаты могут быть представлены в виде графиков, гистограмм, таблиц и т. п. Если они закодированы в видеосигнал, то задача демонстрирования, например, хода какой-либо кривой может быть решена путем видеозаписи и последующего воспроизведения изображения с любой заданной скоростью. Изображение может воспроизводиться или на экране телевизора или на большом экране аппаратуры типа «Эйдофор».

Подобного рода устройства могут быть основаны не только на применении магнитного барабана, но также и на применении магнитного диска или видеоленты.

Барабанные и дисковые носители представляют собой чрезвычайно тщательно отрихтованный и сбалансированный металлический цилиндр или диск из немагнитного металла, на который тем или иным способом нанесен магнитный рабочий слой. Один из способов состоит в электролитическом нанесении магнитного слоя, состоящего из никель-кобальтового сплава.

Возможность многократного повторения циклов запись — воспроизведение — стирание оказывается чрезвычайно важной, например, еще и для изучения Земли из космического пространства. При съемке из космоса распределения облачного покрова Земли (с метеорологической целью) возникает задача передачи на Землю всей картины облачности, в том числе и из тех точек, из которых в данный момент невозможна телевизионная связь с земной приемной станцией. Как известно, телевизионные сигналы передаются в диапазоне ультракоротких волн, распространяющихся в пределах направлений прямой видимости. Поэтому, например, со спутника, пролетающего над восточным полушарием, нельзя принять телевизионный сигнал в западном полушарии, и наоборот. Для решения этой задачи снимаемое изображение записывается на спутнике на видеоленту. Когда метеорологический спутник пролетает над земной приемной станцией, видеозапись воспроизводится, затем она стирается и производится новая запись с цикличностью, соответствующей времени обращения спутника вокруг Земли.

§ 20. Монтаж видеозаписей

Монтажом с технической точки зрения называется процесс составления или компоновки фильма из уже имеющегося отснятого или записанного материала. Впервые в этом смысле монтаж начал применяться в кино. «Сущ-

ность» процесса хорошо подмечена на известной карикатуре, изображающей режиссера с ножницами в руках, запутавшегося в отрезках кинопленки. Из груды отснятого материала на заключительной стадии изготовления фильма вырезаются участки пленки, содержащие нужные сцены, и склеиваются в определенной последовательности.

Монтаж прост, когда речь идет о кинопленке: содержание каждого кадра легко видеть и тем самым определить место разрезания пленки. Кинопленка разрезается по межкадровому пространству и склеивается в специальном прессе, в котором склеиваемые отрезки фиксируются относительно друг друга с помощью перфораций.

Разрезанием и склейкой монтировать гораздо сложнее, когда речь идет о видеоленте. Действительно, на магнитной ленте «на глаз», не имея видеомагнитофона, нельзя обнаружить не только содержание записи, но и даже ее следы. Несмотря на это, монтаж видеоленты разрезанием и склейкой все-таки возможен. Для видеозаписи, которая по своей природе обладает уникальными свойствами осуществляется электрически и легко стирается, — напрашивается другой способ монтажа, который происходил бы без разрезания и склейки, путем «вписывания» новых фрагментов на предварительно стертые участки старой записи. Такой способ существует и получил название электронного монтажа.

Рассмотрим сначала способ монтажа с разрезанием и склейкой видеоленты. Пусть, например, требуется вырезать из одной видеоленты какую-либо сцену и вмонтировать ее в другую ленту. Здесь возникают две задачи. Во-первых, определить сюжетно расположение на ленте моментов начала и конца требуемой сцены и, во-вторых, определить линию разреза ленты так, чтобы после монтажа склейка была бы незаметной при воспроизведении.

Просматривая изображение на студийном видеомагнитофоне без специальных приспособлений, можно лишь очень грубо наметить моменты начала или конца сцены. Более точно их можно определить, если на режиссерской дорожке видеоленты (см. рис. 32) предварительно записаны тональные сигналы, отмечающие начало или конец. Для еще более точного определения на режиссерской дорожке записывается сигнал, который в закодированной форме представляет адрес каждого кадра: минуты и секунды, прошедшие с момента начала записи, и номер кадра. Изображение и адресный сигнал переписываются затем на видеомагнитофоне с наклонно-строчной записью, чтобы получить вспомогательную видеоленту. На таком видеомагнитофоне изображение

при воспроизведении можно замедлять или даже останавливать. При этом не требуется высокого качества вспомогательной записи.

Просматривая вспомогательную запись в замедленном темпе, можно очень точно определить момент начала или окончания сцены. При этом режиссер нажатием кнопки вводит адрес требуемого момента в запоминающее устройство вычислительной машины. Монтаж, например разрезание основной видеоленты и получение отрезка с требуемой сценой, производится по этим накопленным адресам. Видеомагнитофон с вспомогательной наклонно-строчной записью играет здесь роль монтажного проекционного аппарата, применяемого в кинематографии, на котором просматриваются и отбираются фрагменты кинофильма.

Другая задача при монтаже способом разрезания и склейки заключается в определении линии разреза видеоленты. Это должно быть сделано очень точно, чтобы не сбить синхронизацию изображения. Разрезать видеоленту следует строго между кадрами и строго между дорожками видеозаписи, показанными на рис. 32. Для этой цели на видеоленту вместе с управляющим сигналом записываются так называемые монтажные импульсы, располагающиеся на ленте между кадрами в точках, где возможен разрез. Разрезают ленту по линии, проходящей через такой импульс. Линия разреза должна проходить с таким же углом наклона к краю ленты, как и видеодорожки. Расположение монтажного импульса может быть визуально обнаружено с помощью различных приемов. Простейший из них основан на хорошо известном в магнитной записи способе визуализации с помощью очень мелкого порошка карбонильного железа, т. е. порошка железа, полученного термическим разложением карбонила железа. Из этого порошка и из какой-либо летучей жидкости, например эфира или гептана, приготавляется суспензия и наносится кисточкой на ленту с записью. Частички карбонильного железа притягиваются записанными участками, представляющими как бы цепочку магнитиков. Жидкость улетучивается, и запись оказывается видимой в форме чередующихся сгустков серого порошка карбонильного железа на коричневом фоне ленты.

Длина этих сгустков равна ширине дорожки записи, так как волна сигнала, как бы коротка она ни была по длине, располагается по всей ширине дорожки.

На рис. 68 в круге под делениями показана визуализированная запись управляющего сигнала, на которой выде-

ляются монтажные импульсы, отмечающие начало каждого полукадра.

Склейка отрезков видеоленты производится липкой лентой, толщиной не более $15 \div 20 \text{ мкм}$, чтобы не вызывать помех при транспортировании видеоленты через направляющие видеоблока.

Монтаж видеозаписи способом разрезания и склейки видеоленты осуществим для видеомагнитофонов с попереч-

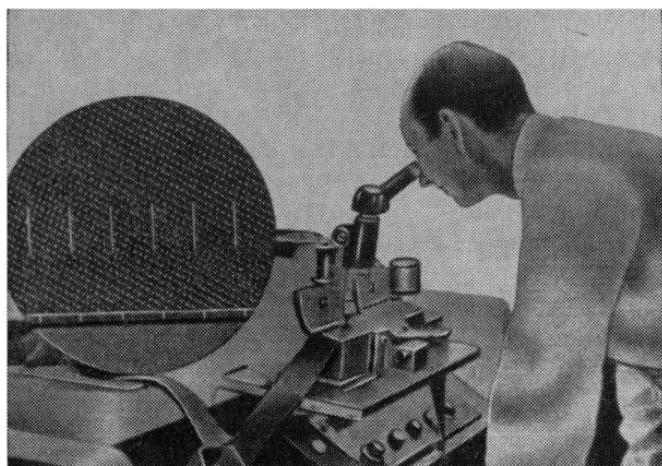


Рис. 68. Определение местоположения монтажных импульсов под микроскопом

но-строчной записью. Для видеомагнитофонов с наклонно-строчной записью это сложнее. Вследствие того что дорожка записи у них расположена под малым углом к краю ленты, склейка на ленте при ее разрезании вдоль дорожки оказывается чересчур длинной и поэтому механически нестабильной и легко деформируемой. Для видеомагнитофонов с наклонно-строчной записью применяется электронный монтаж, который применим и для видеомагнитофонов с поперечно-строчной записью.

Сущность электронного монтажа заключается в том, что он производится без разрезания и склейки ленты, а перезаписью фрагментов с различных видеолент на видеоленту, которую условно назовем основной. На основной ленте может быть записана телевизионная программа, в которую требуется вмонтировать несколько новых фрагментов, взятых из других видеозаписей. При перезаписи этих фрагментов на основную ленту старая запись в соответствующих

местах основной ленты автоматически стирается и на ее место вписывается новая. Для электронного монтажа расположение записей на основной и перезаписываемой лентах должно быть стандартизовано. Кроме того, необходимы два видеомагнитофона — для основной и перезаписываемой ленты, — снабженные устройством электронного монтажа. Оба видеомагнитофона связаны между собой и синхронизируются от общего синхросигнала, т. е. кадры записи или воспроизведения начинаются у них одновременно. Расположение перезаписываемых участков предварительно отмечается тональным или адресным сигналом на режиссерской дорожке. При воспроизведении перезаписываемой ленты, в момент появления тонального сигнала, видеомагнитофон с основной лентой включается на запись. При этом старая запись на основной ленте стирается. Специальным устройством для электронного монтажа обеспечивается точное совмещение вставки со старой записью.

§ 21. Повторение, замедление и остановка изображения на видеомагнитофоне

Простейший способ повторения изображения, например какого-либо игрового эпизода в футболе, состоит в записи матча на видеомагнитофоне одновременно с прямой телевизионной передачей со стадиона (рис. 69). В момент окончания острого эпизода игры видеолента перематывается назад, т. е. к видеоголовкам возвращается начало эпизода; выключается прямая передача, и в тракт телевизионной передачи включается видеомагнитофон. В течение определенного времени видеомагнитофон воспроизводит (повторяет) данный эпизод, после чего опять начинается прямая передача до следующего острого момента.

Если прямой передачи матча нет, но происходит его запись для передачи в эфир в другое время, то возможны два способа. Первый способ отличается от только что описанного лишь тем, что прямой видеосигнал и сигнал, время от времени воспроизводимый с видеомагнитофона, идет не в эфир, а записывается на втором видеомагнитофоне. Этот способ неудобен тем, что происходит потеря времени до 10 сек на перемотку видеоленты на первом видеомагнитофоне, т. е. эпизод воспроизводится не сразу же после его окончания, а когда игра уже может переместиться к другим воротам.

Во втором способе матч записывается сначала полностью без перерывов на первом видеомагнитофоне, а затем перезаписывается на втором. Во время перезаписи предварительно отмеченные участки ленты перезаписываются подряд два раза. В нужный момент перезапись останавливается. На первом видеомагнитофоне лента возвращается назад и снова включается на воспроизведение. Второй видеомагнитофон снова включается на запись. Когда запись таким путем смонтирована, она может быть передана в эфир в любое время, на любом студийном видеомагнитофоне.

Рассмотрим теперь замедление изображения или, как говорят, изменение масштаба времени при воспроизведении видеозаписи. Многим, наверное, известен эффект замедления при воспроизведении звукозаписи, когда, например, магнитофон включен «не на ту скорость». Звук становится очень низким и тягучим; меняется весь его тональный состав.

Речь или музыка искажаются настолько сильно, что, по существу, нельзя говорить о замедлении речи или музыки при их замедленном воспроизведении. Замедлить речь, если это необходимо, чтобы она была разборчива, лучше всего повторяя отдельные слова или предложения в естественном темпе по несколько раз и увеличивая паузу между ними. При этом, правда, в единицу времени передается меньше слов. Примерно так же обстоит дело при замедленной передаче изображений. Замедление изображения нельзя осуществить простым снижением относительной скорости головки и ленты при воспроизведении, например нельзя получить двукратное замедление при двукратном снижении скорости. Замедление изображения происходит, если в единицу времени передается меньше кадров, чем записывалось. При этом каждый кадр должен передаваться с почти полной разрешающей способностью, как слово или предложение при передаче речи.

В качестве простого примера рассмотрим наклонно-строчную видеозапись, когда на одной дорожке на ленте записывается целый кадр изображения. Представим, что дорожка, записанная на ленте, остановилась при остановке ленты

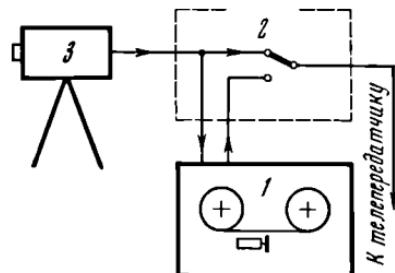


Рис. 69 Прямая передача и одно временная запись изображения на видеомагнитофоне: 1 — видеомагнитофон; 2 — пульт управления; 3 — телевизионная передающая камера

как раз по траектории движения видеоголовки. Если скорость движения видеоголовки такая же, как при записи, то в этом случае можно наблюдать неподвижное изображение на экране телевизора, соединенного с видеомагнитофоном. Воспроизведение неподвижного изображения имеет две особенности, вызванные неподвижностью ленты. Во-первых, из-за остановки ленты относительная скорость ленты и головки все-таки несколько снизится, хотя и очень незначительно (на $0,1 \div 0,3\%$), поскольку в основном она определяется скоростью головки, а не ленты. Соответственно несколько снизится частота воспроизводимого сигнала и разрешающая способность изображения.

Во-вторых, на концах неподвижной дорожки видеоголовка будет частично сходить с дорожки. Действительно, дорожка, записанная при движении ленты, несколько длиннее траектории движения видеоголовки по неподвижной ленте.

Если ленту транспортировать медленнее, чем при записи, например со скоростью менее 25 дорожек в секунду, т. е. меньше, чем 25 кадр/сек, то изображение будет двигаться в замедленном темпе. Темп движения замедлится во столько раз, во сколько снизилось число кадров в секунду. Например, если воспроизводится 5 кадров, то движение замедляется в пять раз (при условии, что записывалось 25 кадр/сек).

Мы рассмотрели замедление и остановку изображения на видеомагнитофоне с наклонно-строчной записью. Другой случай замедления при записи изображений на магнитном барабане был рассмотрен в § 19.

Сложнее получить эффект замедления на студийных видеомагнитофонах с поперечно-строчной записью, хотя эта задача была решена еще в 1964 г. при передаче спортивных соревнований с олимпиады в Токио. Применялся специальный видеомагнитофон с двумя вращающимися четырехголовочными дисками, причем в одном из дисков видеоголовки были свинуты относительно друг друга в направлении оси диска. Такие системы, однако, неперспективны, и мы не будем на них останавливаться.

В настоящее время в большинстве случаев для замедления изображения при студийной видеозаписи применяются специальные дисковые видеомагнитофоны. Видеосигнал в этих видеомагнитофонах записывается не на магнитную ленту, а на магнитный диск. Не следует путать магнитный диск с диском видеоголовок. В дисковом видеомагнитофоне большая скорость носителя относительно головки достигается не за счет быстрого движения видеоголовок, а за счет

быстрого вращения носителя — магнитного диска. Магнитный диск представляет собой диск из алюминиевого сплава, на который с обеих сторон нанесен магнитный рабочий слой. Применяются два вида рабочих слоев: ферролаковый слой из такого же материала, как и рабочий слой обычной магнитной ленты, или металлический рабочий слой из магнитного никель-кобальтового сплава. Внешне магнитный диск (рис. 70) напоминает грампластинку. Диаметр диска составляет от 305 до 356 мм, толщина 1,3 мм.

Принцип действия дискового видеомагнитофона сходен с принципом действия барабанного аппарата видеозаписи, показанного на рис. 67, с тем отличием, что запись происходит не по спирали, а по дорожкам в виде концентрических замкнутых окружностей. На каждой круговой видеодорожке записывается один кадр или полукадр изображения. Например, в дисковом видеомагнитофоне, схематически показанном на рис. 71, по дорожкам на верхней стороне диска 9 записываются полукаадры с нечетными строками, а по дорожкам на нижней — полукаадры с четными строками. На каждой стороне диска записывается по 450 дорожек, т. е. по 450 полукаадров. Откуда следует, что непрерывная запись при частоте 25 кадр/сек может продолжаться 18 сек. Во время записи одной дорожки

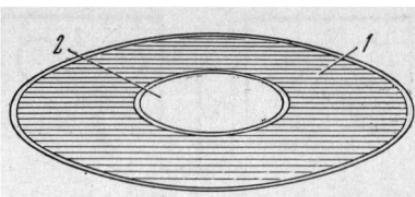


Рис. 70. Магнитный диск: 1 — рабочий слой; 2 — посадочное отверстие

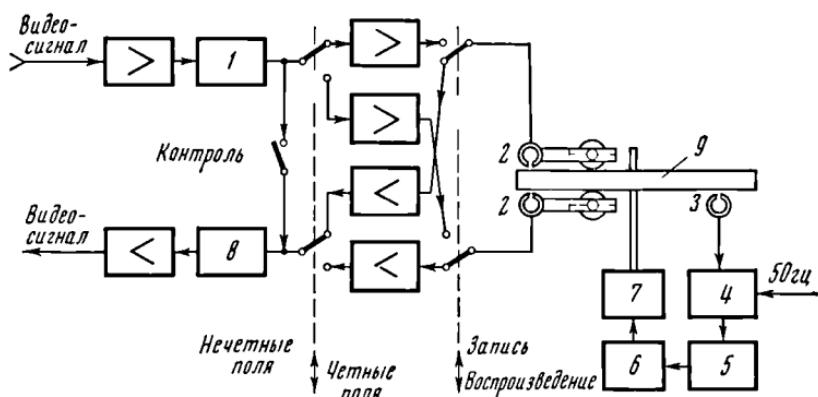


Рис. 71. Блок-схема дискового видеомагнитофона: 1 — частотный модулятор; 2 — видеоголовки; 3 — головка управляющего сигнала; 4 — дискриминатор (фазовый детектор); 5 — усилитель сигнала поправки; 6 — блок питания; 7 — двигатель постоянного тока; 8 — демодулятор; 9 — магнитный диск

видеоголовка неподвижна, а в интервале между кадрами видеоголовка небольшим скачком смещается в радиальном направлении на соседнюю дорожку. Когда таким путем головка доходит до внутреннего края диска, она скачком возвращается снова на первую дорожку на внешнем крае диска. Начинается «новая» запись. Одновременно с записью происходит стирание предшествующей записи. Таким образом, на диске все время оказывается записанной видеонформация в интервале 18 сек; после записи она стирается и записывается следующая «порция». Если желательно «не потерять информацию» в момент перехода видеоголовки с одного края диска на другой, то возможна работа двух дисковых видеомагнитофонов, спаренных таким образом, что в момент перемещения видеоголовки на одном из них — видеозапись производится на другом. При воспроизведении замедление изображения осуществляется за счет того, что каждая дорожка считывается не по одному разу, а по нескольку раз. Например, при двукратном считывании каждой дорожки получают двукратное замедление (12,5 кадр/сек). Переход видеоголовки с одной дорожки на другую после нескольких проходов по одной и той же дорожке осуществляется автоматически, в зависимости от заданной степени замедления.

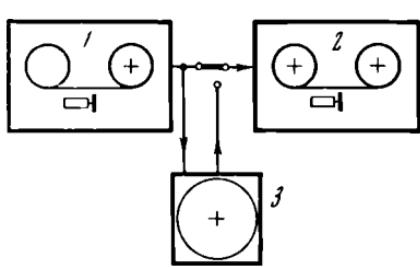


Рис. 72. Схема перезаписи замедленного изображения с дискового видеомагнитофона на обычный ленточный магнитофон. 1, 2 — видеомагнитофоны; 3 — дисковый видеомагнитофон

Если видеоголовка воспроизводит все время только одну дорожку, то получается остановка изображения. В дисковом видеомагнитофоне (см. рис. 71) видеосигнал преобразуется системой, состоящей из частотного модулятора 1 и демодулятора 8. Частота 4,95 Мгц соответствует уровню синхроимпульсов, а частота 6,8 Мгц — уровню «белого». Обеспечивается четкость 350 строк. Существуют подобные видеомагнитофоны, обеспечивающие и более высокую четкость.

Диск вращается со скоростью 3000 об/мин, что необходимо для записи 50 полукадров в секунду, или одного полукадра за один оборот. Вращение диска обеспечивается двигателем постоянного тока 7 и системой автоматического регулирования скорости вращения, состоящей из блоков 4, 5

Если видеоголовка воспроизводит все время только одну дорожку, то получается остановка изображения.

В дисковом видеомагнитофоне (см. рис. 71) видеосигнал преобразуется системой, состоящей из частотного модулятора 1 и демодулятора 8. Частота 4,95 Мгц соответствует уровню синхроимпульсов, а частота 6,8 Мгц — уровню «белого». Обеспечивается четкость 350 строк. Существуют подобные видеомагнитофоны, обеспечивающие и более высокую четкость.

Диск вращается со скоростью 3000 об/мин, что необходимо для записи 50 полукадров в секунду, или одного полукадра за один оборот. Вращение диска обеспечивается двигателем постоянного тока 7 и системой автоматического регулирования скорости вращения, состоящей из блоков 4, 5

и 6 (см. рис. 71). Принцип действия системы автоматического регулирования (см. § 10) основан на сравнении управляющего сигнала, воспроизведенного со специальной дорожкой головкой 3 (см. рис. 71) с опорным напряжением с частотой 50 гц.

Дисковый видеомагнитофон коммутируется с телевизионной камерой так же, как обычный ленточный видеомагнитофон. Эпизоды в замедленном темпе могут быть вмонтированы при перезаписи программы с одной ленты на другую. В этом случае программа с первой видеоленты переписывается одновременно на диск и на вторую ленту. В тех местах, где это требуется, на вход видеомагнитофона 2 (рис. 72) включается выход дискового видеомагнитофона, воспроизводящего изображение в замедленном темпе.

§ 22. Размножение видеозаписей

Существует два способа размножения видеозаписей. Первый состоит в обычной перезаписи изображения с одной ленты (оригинала) на другую ленту. Этот спо-

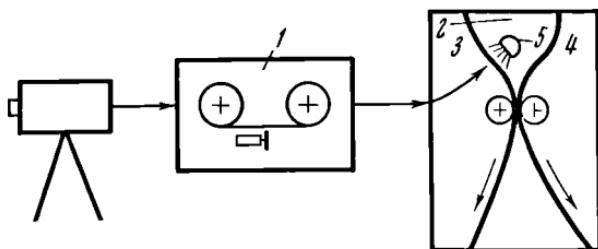


Рис. 73. Контактное копирование видеозаписи: 1 — видеомагнитофон; 2 — копировальный аппарат; 3 — лента оригинал; 4 — лента копия; 5 — нагреватель

соб требует вторичного видеомагнитофона или нескольких «вторичных» видеомагнитофонов, если желательно получить сразу несколько копий. Он прост по выполнению, но имеет недостаток, заключающийся в большой затрате времени, так как перезапись происходит в темпе обычного воспроизведения, как говорят, в реальном масштабе времени. Например, на перезапись часовой телевизионной программы требуется час времени. Кроме того, при этом способе происходит износ магнитных головок и лентопротяжных механизмов видеомагнитофонов.

На рис. 73 показан второй способ — так называемое контактное копирование. В этом способе лента-ориги-

нал 3 транспортируется в контакте с лентой 4, на которой записывается копия. Ленты соприкасаются друг с другом рабочими слоями. Лента-копия нагревается нагревателем 5 до температуры выше точки Кюри. (Точной Кюри называется температура, при которой исчезают ферромагнитные свойства материала.) Нагрев очень кратковременный, и тепло не успевает проникнуть в основу. На пути от нагревателя 5 до контакта с лентой-оригиналом между прижимными роликами лента-копия успевает несколько остить и перейти обратно точку Кюри.

В этот момент, когда лента уже вновь обладает магнитными свойствами, но температура ее все еще весьма высока, она оказывается очень чувствительной к внешнему магнитному полю, создаваемому лентой-оригиналом. Поле в несколько эрстед достаточно для намагничивания такой нагретой ленты. В результате контактирования с лентой-оригиналом нагретая лента-копия намагничивается магнитным полем оригинала, причем ее намагниченность является как бы зеркальным отражением намагниченности ленты-оригинала (рис. 74).

Чтобы получить «прямую», а не «зеркальную» намагниченность, применяют оригинал с зеркальной записью. Тогда на копии

образуется прямая запись. Зеркальная запись на оригинале получается специальным «обращением» записываемого видеосигнала. Контактное копирование особенно удобно, если в качестве ленты-копии применяется видеолента с двуокисью хрома, обладающая низкой температурой Кюри. Температура Кюри двуокиси хрома 125°C. Для сравнения укажем, что температура Кюри гамма-окиси железа, применяемой в обычных лентах, составляет 675°C.

Скорость ленты при контактном копировании в десять раз выше, чем при видеозаписи, вследствие этого размножение видеозаписей вторым способом происходит в десять раз быстрее, чем первым.

§ 23. Применение кассетных видеомагнитофонов

Кассетные видеомагнитофоны характеризуются простотой обслуживания и компактностью. Собственно видеокассеты по объему соизмеримы с книгой. Можно даже

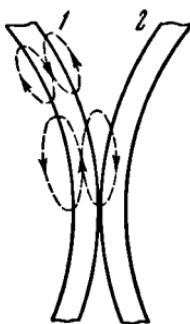


Рис. 74. Намагничивание ленты копии в обратном направлении: 1 — лента - оригинал; 2 — лента копия

сказать, что видеокассета в этом отношении сравнима с обычной грампластинкой; она хотя и толще грампластинки, но меньше ее по диаметру. Видеокассеты могут выпускаться с записанными на них телевизионными программами. Нетрудно видеть, что такие же черты, как простота и компактность, присущи обычным проигрывателям для грампластинок, и именно они сделали проигрыватель массовым аппаратом, применяемым как для культурного отдыха, так и для воспитательных, просветительных и учебных целей. Грампластинка донесла до нас не только голоса великих людей и музыку в исполнении мастеров искусства. Она играет важную роль в процессах обучения, например, иностранным языкам.

Родственные, но гораздо более широкие перспективы несет с собой применение видеокассет. Перспективность объясняется прежде всего тем, что видеокассета позволяет не только слышать, но и видеть. Немалое значение имеет и то, что один из двух основных узлов аппаратуры для просмотра программ, записанных на видеокассетах, — обычный телевизор — существует почти в каждой семье. Другой узел, который мы здесь имели в виду — это собственно кассетный видеомагнитофон, выполненный в виде приставки к телевизору.

На видеокассетах могут быть записаны важные общественно-политические события, кинофильмы, спектакли, концерты, научные и образовательные программы. То обстоятельство, что видеокассеты могут просматриваться в каждой семье или иметь «индивидуальное потребление», может сделать тематику записей чрезвычайно разнообразной, например записи детских спектаклей, старых кинофильмов с участием любимых артистов, видовых фильмов, посвященных отдельным странам или маршрутам путешествий, и т. п. Чрезвычайно большие возможности у видеокассет с записями учебных и научных программ, а также программ по промышленной подготовке и повышению квалификации специалистов, например по повышению квалификации шоферов, по обслуживанию станков и аппаратов.

Учебные записи лекций на видеокассетах, очевидно, представляют собой значительно более гибкое средство обучения, чем лекции по тому или иному предмету, передаваемые по телевидению. Дело здесь не только в том, что видеокассеты можно смотреть и слушать в любое удобное время, не будучи связанным расписанием телевизионных передач. Гораздо важнее, что темы занятий могут быть подобраны более конкретно в соответствии с уровнем подготовки уч-

щегося. Например, в общем курсе физики лекциям по теории относительности отводится лишь несколько часов. При желании более углубленного ознакомления с предметом можно прослушать специальный курс лекций по теории относительности, прочитанный известным специалистом в этой области. Наконец, запись на видеокассете можно останавливать, например для записи формул с доски, замедлять или повторять воспроизведение какого-либо фрагмента.

Трудно проследить все возможные направления своеобразной «кинофикации» жизни, обусловленной применением видеокассет. В каждой семье смогут быть собраны тематические коллекции видеозаписей по той или иной отрасли знаний, во многих отношениях более эффективные, чем библиотечки книг. Такие тематические собрания видеозаписей могут быть и в магазинах для демонстрации покупателям, например записи по применению товаров, и в залах ожидания, и в ателье бытового обслуживания — например записи фасонов одежды и др.

Видеокассеты с записями могут продаваться как магнитофонные записи и грампластинки или выдаваться на прокат, как в настоящее время обычные кинофильмы, или, наконец, передаваться по специальной телевизионной сети по выбору владельца телевизора, но это — в будущем. Заглядывая в это не столь уж отдаленное будущее, когда, как предсказывают футурологи, поток информации станет настолько большим, что человек не сможет обходиться без индивидуальной электронно-вычислительной машины, можно представить себе такую картину. Телевизионное вещание будет происходить не через антенны, а по кабелю, связывающему посредством коммутатора каждый телевизор с сетью библиотек, музеев, научных учреждений и т. п. Владелец телевизора сможет с помощью электронно-вычислительной машины отобрать и просмотреть передаваемую по кабелю информацию — книгу, статью в научном журнале, патент или музейный экспонат, например картину или новую археологическую находку. Эта информация по каждой отрасли знаний или виду искусства будет записана на видеокассеты, собрана и систематизирована в соответствующем институте, библиотеке или музее, где она автоматически по определенному сигналу может отбираться и воспроизводиться для передачи по кабельной сети к телевизионным приемникам. Первым уже осуществленным шагом в этом направлении является видеотелефон.

В настоящее время ведутся интенсивные разработки различных систем кассетного телевидения или кассетного кино,

основанных на различных физических явлениях. Кассетное телевидение с использованием магнитной записи и магнитной ленты, т. е. с использованием рассмотренного в этой книге принципа видеомагнитофона, — это лишь одно из направлений. В одной из систем используется принцип механической записи, в результате которого получается видео-граммофонная пластинка. В другой запись происходит в виде голограммы, образованной ячейками на виниловой пленке, возникшими при ее локальном нагреве лазерным лучом. Изображение, закодированное в голограмме, воспроизводится также с помощью лазера. Существуют и другие системы. Какая из них в будущем получит наибольшее распространение, пока трудно сказать, в настоящее же время лишь кассетные видеомагнитофоны уверенно вышли из стен лабораторий. Можно добавить, что только на видеокассетах с магнитной лентой записывать изображение так же просто, как и воспроизводить его, и только на магнитной ленте изображение можно многократно записывать, воспроизводить и стирать. Другие системы кассетного телевидения рассчитаны на запись кассет в специальных лабораториях; при этом потребитель получает «готовую» запись. Кассеты с магнитной лентой могут доходить до потребителя как с «готовой» записью, так и без нее.

§ 24. О видеозаписи цветных изображений

Магнитная запись представляет собой намагничивание магнитной ленты электрическим сигналом. Поэтому с точки зрения характеристик собственно записи и магнитной ленты безразлично, что закодировано в электрическом сигнале — черно-белое или цветное телевизионное изображение. В этом существенное отличие видеозаписи и видеоленты от киносъемки и кинопленки. Видеолента, предназначенная для записи цветных телевизионных изображений, обладает оптимальными характеристиками также и для записи черно-белых изображений, чего нельзя сказать о цветной кинопленке. Так называемая цветная видеолента по своему строению не отличается от черно-белой. Можно также сказать, что высококачественная черно-белая видеолента является одновременно и цветной видеолентой.

Для того чтобы на видеоленте записывать цветное изображение, она просто должна иметь более высокие разрешающую способность и отношение сигнал/шум, чем лента, предназначенная для черно-белой записи, хотя это простое

отличие достигается решением целого ряда сложных технологических задач при изготовлении видеоленты.

В СССР принята так называемая совместимая система цветного телевидения СЕКАМ. Совместимость в данном случае следует понимать как возможность наблюдать цветную передачу (в виде черно-белого изображения) на экране черно-белого телевизора и как возможность наблюдать черно-белую передачу на экране цветного телевизора. Цветной видеосигнал в системе СЕКАМ занимает такую же полосу частот и имеет такие же частоты строчной и кадровой развертки, как и обычный черно-белый видеосигнал. Однако способ кодирования цветного видеосигнала другой, поскольку в нем должна содержаться цветовая информация.

Хотя полоса частот цветного видеосигнала такая же, как и черно-белого, в нем большее значение приобретают высокие частоты, потому что именно в высокочастотном участке записываемой и воспроизводимой полосы частот содержится цветовая информация, т. е. этот участок «ответствен» не только за четкость, но и за цветность изображения. Отсюда и вытекают дополнительные требования к видеоленте для цветной записи.

Таким образом, видеомагнитофон для цветной видеозаписи работает по тому же принципу и использует такой же лентопротяжный механизм и такие же видеоголовки, что и видеомагнитофон для черно-белой записи. В этих видеомагнитофонах может использоваться также одна и та же видеолента. Основное отличие состоит в том, что в цветном видеомагнитофоне должны быть дополнительные электронные блоки, чтобы получать и вводить в видеосигнал информацию о цвете изображения. В современных видеомагнитофонах цветной видеосигнал, как и черно-белый, записывается на ленту с применением частотной модуляции.

§ 25. Применение видеомагнитофона в кинематографии

Слово «кинематография» в буквальном смысле значит запись движения, т. е. запись движущихся изображений. Мы привыкли связывать ее с пофазным фотографированием объекта съемки на кинофотопленку. Videомагнитофон и магнитная видеозапись вообще специально созданы для записи движущихся изображений и поэтому могут найти самое широкое применение в кинематографии, вплоть до полной замены фотографических методов в процессе производства кинофильмов.

Мы начнем с наиболее скромной, вспомогательной роли, которую может играть видеомагнитофон в обычном фотографическом процессе производства кинофильмов.

Известно, что при съемке кинофильмов, в особенности художественных, многие сцены приходится снимать по несколько раз, как говорят, получать по несколько дублей. Это происходит потому, что у режиссера нет полной уверенности в правильности какой-либо отдельно взятой съемки. Правильность здесь следует понимать как с точки зрения актерского исполнения, так и композиции кадра, расстановки света и т. п.

Разумеется, все это можно проконтролировать в момент съемки, например наблюдать композицию кадра в видоискателе или визире съемочной камеры. Но такой контроль часто оказывается недостаточным. Причиной тому является и быстрота естественного протекания событий в данной сцене, и особенности процесса съемки и преобразования изображения, при котором на пленке может быть нарушен световой и цветовой баланс по сравнению с натурой, и другие причины.

Предварительная запись дублей на видеомагнитофоне с рассмотренной точки зрения упрощает, ускоряет и удешевляет процесс съемки фильма. Записав сцену на видеомагнитофон, можно немедленно воспроизвести запись, остановить при воспроизведении любой кадр, если это необходимо, и оценить сцену с художественной точки зрения. То обстоятельство, что видеозапись воспроизводится и анализируется немедленно, оказывается весьма плодотворным, потому что, если сцена признана удачной, то по «горячему следу» ее значительно проще повторить уже для окончательной съемки на кинопленку. При этом, например, проще сохранить эмоциональное состояние исполнителей, композицию и расстановку света в кадре.

Перейдем теперь к более значительной роли, которую может играть видеозапись в кинематографии. Речь идет об изготовлении кинофильмов исключительно методами видеозаписи.

Прежде всего следует еще раз подчеркнуть, что во всех тех случаях, когда демонстрирование изображения, и в частности кинофильмов, осуществляется телевизионными методами, то применение записи на видеоленте более целесообразно, чем применение кинопленки.

В § 19 мы уже говорили, что телевизионная система с точки зрения качества изображения уравнивает возможности кинопленки и видеоленты. А с точки зрения оператив-

ности и стоимости применение видеоленты для записи кинофильмов имеет преимущество перед применением кинопленки. Здесь мы указем еще на одно обстоятельство, обусловливающее преимущество видеоленты. Оно связано с тем, что с кинопленки воспроизводится оптическое изображение, которое для передачи по телевидению должно быть преобразовано в электрический сигнал, тогда как с видеоленты электрический сигнал воспроизводится непосредственно, т. е. не требуется оптико-электрическое преобразование, сопровождающееся искажением сигнала. Наиболее сильно искажается при таком преобразовании цветное изображение. Поэтому с видеоленты получается лучшее цветное телевизионное изображение, чем с кинопленки.

В настоящее время можно наметить три разновидности телевизионных методов демонстрирования изображений, отличающихся применяемыми техническими средствами и требованиями к изображению:

- 1) обычный телевизионный прием широковещательных программ;
- 2) так называемое кассетное кино;
- 3) демонстрирование телевизионных изображений на большом экране с помощью специальных демонстрационных систем.

Первая разновидность общеизвестна, а вторая достаточно подробно рассмотрена в § 13 и 23. Рассмотрим третью разновидность.

Проблема телевизионного большого экрана возникла давно — сразу же после появления телевизора. Было затрачено много сил и средств на разработку проекционных систем, которые позволили бы проецировать изображение непосредственно с экрана телевизора на большой экран площадью 10—20 m^2 и более. Однако ни применение специальной светосильной проекционной оптики (типа оптики Шмидта), ни увеличение тока электронного луча в приемной телевизионной трубке практически не позволили решить проблему. Причина заключалась в том, что обычные люминофоры, применяемые для изготовления светящегося экранчика телевизионной трубки, принципиально не могут обеспечить необходимую для проекции на большой экран яркость и требуемый световой баланс трубки.

Это можно пояснить следующим образом. Проецируя изображение, например, с приемной телевизионной трубки размером 12×16 см на экран размером 3×4 м, мы тем самым увеличиваем изображение в 625 раз (применение телевизионных трубок большого размера с целью уменьшить

увеличение затрудняет создание проекционной оптики). Иначе говоря, площадь каждого элемента изображения увеличивается в 625 раз. Для того чтобы обеспечить «нормальную» яркость элемента изображения на большом экране, яркость элемента на телевизионной трубке должна быть в данном случае в 625 раз выше «нормальной». Из опыта обращения с обычным телевизором мы знаем, что запас регулировки позволяет увеличить яркость трубы не более чем в десять раз по сравнению с «нормальной». Практически такие системы оказались пригодны лишь для проекции на малые экраны площадью порядка 1 м².

Когда стало ясно, что добиться создания люминофоров с большой светоотдачей нельзя, пошли по другому пути. К 1950 г. была разработана своеобразная, весьма сложная система проекции телевизионных изображений на большой экран, получившая название «Эйдофор» (от греческих слов «несущий» и «образ»).

В этой системе телевизионное изображение не само создает картину освещенности на большом экране; оно используется для управления светом внешнего мощного источника, например ксеноновой лампы. Основной элемент системы «Эйдофор» — прозрачная пластина, установленная на пути света ксеноновой лампы. На одну сторону пластины нанесен управляющий слой, представляющий собой пленку из вязкого диэлектрика типа минерального масла. Другая сторона пластины покрыта прозрачным электродом. Электронная пушка наносит на управляющий слой электрический заряд в виде телевизионного раstra. Под действием электростатических сил между нанесенной структурой зарядов и зарядами обратного знака, индуцированными в прозрачном электроде, управляющий слой деформируется, т. е. меняется его светопреломляющая способность.

Специальная оптическая система, состоящая из объектива и двух решеток, преобразует изменения преломляющей способности слоя в изменения освещенности большого экрана. Суть этого преобразования состоит в том, что в отсутствие деформации слоя щелевые источники света, образованные первой решеткой, проецируются на непрозрачные заслонки второй решетки, в результате чего на экране темно. Деформации слоя направляют свет в щели между заслонками второй решетки, создавая освещенность в соответствующих точках экрана.

Структура зарядов на управляющем слое к концу кадрового времени уничтожается, и на слой наносятся заряды, соответствующие следующему кадру.

«Цветные» устройства такого рода работают либо со светофильтрами, либо с двумя-тремя самостоятельными (монохроматическими) системами для каждого основного цвета. Они создают более широкий диапазон цветов, чем цветная кинопленка, так как цвет определяется фильтрами, а не красителями. Яркость, коэффициент контрастности, геометрическая точность и площадь поля изображения такие же, как и при проекции цветной кинопленки.

Разрешающая способность, или способность передавать мелкие детали изображения, соответствует телевизионному стандарту, например 625 строкам. Равномерность освещенности высока и составляет на краях экрана не менее 70% от освещенности в центре. Рассмотренная аппаратура характеризуется большой стоимостью и сложностью в эксплуатации.

Наряду с двумя рассмотренными системами, нашедшими практическое применение, предлагались различные способы поэлементной проекции телевизионного изображения. Однако они оказались непригодными, потому что каждый отдельно взятый элемент изображения передается в течение очень короткого времени (меньше, чем за 0,1 мксек) и трудно создать яркость элемента, достаточную для зрительного восприятия. Это станет понятно, если учесть, что ощущение яркости зависит не только от ее величины, но и от времени.

Так было до появления лазеров, которые заставили пересмотреть вопрос «о возможном и невозможном в оптике», в частности о достижимой концентрации энергии в световом пучке. Лазеры позволили сравнительно дешево и надежно решать проблему проекции телевизионных изображений на большой экран.

В одной из проекционных лазерных систем в приемной телевизионной трубке на месте люминофора помещена монокристаллическая пластина, представляющая собой полупроводниковый лазер. Ток, возбуждающий лазер и вызывающий излучение, создается электронным лучом в трубке. Ток луча, проходя через полупроводниковую пластину, отводится через специальный электрод.

При развертке пластины электронным лучом на ней последовательно один за другим вспыхивают элементы изображения. Яркость вспыхивающих на пластине элементов изображения в сотни тысяч раз больше той, которая достаточно для зрительного восприятия и которую выше мы условно назвали «нормальной». Другими словами, изображение на приемной телевизионной трубке с размером плас-

тины, равным размеру кадра на кинопленке, может быть спроектировано на экран площадью в несколько десятков квадратных метров. Это обусловлено особенностю полупроводникового лазерного преобразователя, обладающего почти 100%-ным к. п. д. Большая часть энергии источника тока преобразуется в нем в энергию излучения в узкой полосе длин волн, т. е. с минимальными тепловыми потерями.

Цвет изображения зависит от материала полупроводниковой пластины. Применяя составную пластину или систему приемных трубок с монохроматическими пластинами, можно получить цветное изображение. Цветовая насыщенность лазерного проектора выше, чем при цветной кинопрекции, и выше, чем у проектора типа «Эйдофор», поскольку цвет создается источниками, по существу, монохроматического излучения.

Основная сложность при создании лазерных проекторов связана с получением монокристаллических полупроводниковых пластин. В настоящее время подобные проекторы находятся в стадии разработки. В будущем они получат, по-видимому, широкое распространение. По всем показателям, кроме четкости изображения, такие системы превосходят системы с кинопленкой. Увеличение четкости телевизионного канала, например с 625 строк до 1000—2000 строк, позволяет достичь сравнимую или даже более высокую четкость изображения, чем при проекции кинопленки.

Рассмотренные системы для демонстрации телевизионных изображений на большом экране могут получать входной видеосигнал в электрической форме непосредственно с видеомагнитофона. Таким образом становится вполне реальной возможность полной замены фотографических методов при съемке и демонстрации фильмов без каких-либо потерь качества изображения.

Приложение

Качественные показатели видеолент

Видеоленты характеризуются четырьмя группами показателей: 1) выходными показателями по видеоканалу; 2) электроакустическими; 3) физико-механическими и 4) магнитными.

Первая группа показателей характеризует качество изображения. Поэтому выполнение требований, предъявляемых к этим показателям, имеет первостепенное значение при испытаниях видеолент и вместе с тем является наиболее трудной задачей.

Выходные показатели по видеоканалу некоторых типов видеолент шириной 50,8 мм приведены в табл. 1. Опыт показывает, что оценка лент по этим объективным показателям достаточно хорошо отвечает субъективной визуальной оценке качества изображения, воспроизведенного с ленты. Правда, можно лишь в том случае отдать предпочтение какой-либо видеоленте, если она лучше других по всем или по крайней мере по основным показателям. Если это не так, например, если уровень шума у одной ленты лучше, а частотная характеристика хуже, чем у другой, то окончательное суждение может быть получено только после субъективной проверки.

Таким образом, окончательно о качестве видеоленты следует судить по результатам объективной (по указанным показателям) и субъективной оценки, а также по опыту ее длительной эксплуатации.

Электроакустические показатели характеризуют качество звукового сопровождения записанной телевизионной программы. Они приведены в табл. 2.

К физико-механическим показателям относят размеры видеолент, их динамометрические характеристики (нагрузка, соответствующая пределу текучести, разрывное усилие, относительное удлинение и др.), тепло- и влагостойкость, коэффициент трения, абразивность, поверхностное электрическое сопротивление и т. п. Некоторые физико-механические показатели видеолент приведены в табл. 3.

Магнитные показатели представляют собой характерные точки предельной петли гистерезиса видеоленты, намагничиваемой в специальной намагничивающей катушке: коэрцитивную силу, остаточную намагниченность, максимальную намагниченность, а также степень ориентации.

В табл. 4 и 5 приведены выходные показатели по видеоканалу и некоторые физико-механические показатели видеолент шириной 25,4 мм, а также так называемых инструментальных лент, которые в ряде случаев могут быть использованы в наклонно-строчных системах видеозаписи.

Ленты, предназначенные для цветной и черно-белой видеозаписи, испытываются по одинаковым методикам, но с тем отличием, что к выходным показателям «цветных» лент предъявляются более жесткие требования. Большинство выходных и электроакустических показателей определяется в относительных единицах — децибелах — по отношению к соответствующим показателям так называемой типовой видеоленты. В качестве типовой выбираются различные видеоленты.

Таблица 1

Выходные показатели по видеоканалу видеолент шириной 50,8 мм

Тип видеоленты	PEV-387	PEV-4000	Fuji-700	Scotch-399	ТЛЦ
Фирма	«Агфа-Геверт»	«Агфа-Геверт»	«Фудзи фотоФильм К°»	«3М»	Опытная
Страна	ФРГ	ФРГ	Япония	США	СССР
Назначение	Черно-белая	Цветная	Цветная	Цветная	Цветная
Показатели:					
Относительная отдача, дБ	+4	+3,5	+2	+2	+1,6
Относительная частотная характеристика, дБ	+3	+3	+3,7	+3,5	+1,5
Относительный уровень шума, дБ	-1	-4	-1,5	-2	-1,5
Усредненное число выпадений в течение 10 сек длительностью:					
более 5 мксек	0,4	0,1	1,5	1	2,5
более 20 мксек	0	0	0,1	0,2	1
более 64 мксек	0	0	0	0	0
Износостойкость	Более 200 циклов				

Таблица 2

Электроакустические показатели видеолент шириной 50,8 мм

Показатели \ Тип видеоленты	PEV-387	PEV-4000	Fuji-700	Scotch-399	ТЛЦ
Относительная величина тока оптимального высокочастотного подмагничивания, дБ	-4	-4,5	-4	-3,5	-4,5
Относительная средняя чувствительность, дБ	7,5	6,5	7,5	7	5,5
Относительная частотная характеристика, дБ	11,5	11,5	10,5	11	9
Относительный уровень шума размагнитенной ленты, дБ	-66	-68	-67	-67	-66
Относительный уровень шума намагнитенной ленты, дБ	-35	-42	-40	-41	-35
Нелинейные искажения, %	2	2,5	2	1,7	3
Относительный уровень стирания, дБ	-87	-85	-89	-90	-90
Уровень записи при нелинейных искажениях 3%, дБ	1,5	1,5	1	2	1

Методы измерения рассмотренных показателей подробно изложены в Технических условиях на видеоленту (магнитная лента типа ТЛЦ ТУ6-17 96-70), а также в ГОСТ 13265-67 и в проспектах на видеоленты. Здесь мы кратко остановимся лишь на измерении отношения сигнала/шум.

Отношение сигнал/шум системы видеозаписи, включая ленту, измеряется на выходе ЧМ-демодулятора видеомагнитофона как отношение двойного пикового напряжения испытательного сигнала к эффективному напряжению шума. Испытательный сигнал частотой 7 или 8,25 МГц записывается при токе записи, создающем максимально достижимую намагниченность ленты (оптимальный ток записи), а канал воспроизведения регулируется так, чтобы напряжение на выходе демодулятора соответствовало уровню белого на экране телевизора (см. рис. 27) и равнялось бы стандартизованному значению 0,714 в (двойное пиковое значение).

Таким образом, в децибелах отношение сигнал/шум равно

$$20 \lg \frac{0,714}{e_{\text{ш}}},$$

где $e_{\text{ш}}$ — эффективное значение напряжения результирующего шума системы видеозаписи (см. рис. 58) в вольтах.

Таблица 3

Некоторые физико-механические и магнитные показатели видеолент шириной 50,8 мм

Показатель \ Тип видеоленты	PEV-387	PEV-4000	Fuji-700	Scotch-399	ТЛЦ
Общая толщина, мкм	34	35	37	37	37
Толщина основы, мкм	24	24	24	24	26
Разрывное усилие, н	178	220	243	234	290
Относительное остаточное удлинение под нагрузкой 10 н при ширине ленты 6,25 мм, %	0,08	0,08	0,09	0,06	0,05
Полное относительное удлинение под нагрузкой 10 н при ширине 6,25 мм, %	1,4	1,5	1,5	1,4	1,2
Поверхностное сопротивление, ом	$7 \cdot 10^9$	$0,7 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{10}$
Коэффициент трения	—	0,176	0,177	—	—
Микротвердость, н/мм ²	—	100	90	—	—
Микрошероховатость, мкм:					
вдоль	—	0,025	0,1	—	—
поперек	—	0,05	0,01	—	—
Магнитная ориентация	—	$45^\circ + 4 \text{ дБ}$	$45^\circ + 4 \text{ дБ}$	—	Нет

Следует заметить, что отношение сигнал/шум зависит от применяемого вольтметра и от того, с каким фильтром производилось измерение.

Иногда измеряют не отношение сигнал/шум, а уровень шума относительно типовой ленты. Он равен разности отношений:

$$20 \lg \frac{0,714}{e_{\text{ш1}}} - 20 \lg \frac{0,714}{e_{\text{ш2}}} = 20 \lg \frac{e_{\text{ш2}}}{e_{\text{ш1}}},$$

где $e_{\text{ш1}}$ и $e_{\text{ш2}}$ — соответственно эффективные значения напряжения результирующего шума для типовой и для испытуемой видеоленты. Приведенные в табл. 1 и 4 показатели шума определены указанными двумя способами.

Таблица 4

Выходные показатели по видеоканалу магнитных лент шириной 25,4 мм

Тип ленты	V-11-60A	V-41	Атрех-748	Control Date	РЕ-31	Г-1
Фирма	«Сони»	«Пираль»	«Ампекс»	—	«Агфа-Геверт»	«ШХК»
Страна	Япония	Франция	США	США	ФРГ	СССР
Назначение	Видеозапись	Видеозапись	Инструментальная запись	Инструментальная запись	Инструментальная запись	Инструментальная запись
Показатели:						
Оптимальный ток видеозаписи, <i>дБ</i>	+3,5	0	0	-0,5	-0,5	+2,5
Относительная отдача, <i>дБ</i>	+3	-10	0	+2	-2	-10
Отношение сигнал/шум, <i>дБ</i>	29	28	29,5	29	28	28
Относительное число выпадений	2	3	1	1	4	5

Таблица 5

Некоторые физико-механические и магнитные показатели лент шириной 25,4 мм

Показатель \ Тип ленты	V-11-60A	V-41	Ampex-748	Control Date	PE-31	Г-1
Общая толщина, мкм	34	27	31	33	31	33
Толщина основы, мкм	25	22	23	23	20	24
Предел текучести, к	73,5	69	72,5	72,5	110	80
Предел прочности, к	140	104	95	99	157	145
Относительное удлинение при разрыве, %	144	109	152	150	70	107
Поверхностное сопротивление, ом	$0,9 \cdot 10^9$	$0,3 \cdot 10^8$	$0,14 \cdot 10^{10}$	$0,3 \cdot 10^{10}$	$0,8 \cdot 10^{11}$	$0,5 \cdot 10^{11}$
Коэффициент трения	0,250	0,246	0,246	0,255	0,246	0,190
Микротвердость, к/мм ²	75,5	109	131	120	85,5	65
Микрошероховатость, мкм:						
вдоль	0,05	0,03	0,09	0,05	0,11	0,19
поперек	0,05	0,05	0,12	0,16	0,14	0,20
Магнитная ориентация	Нет	Вдоль + 6 дб	Вдоль + 6 дб	—	—	Нет

Содержание

Введение	3
Глава I. Как происходит магнитная запись	6
§ 1. Что записывается на видеомагнитофоне	6
§ 2. Некоторые сведения о магнитных явлениях и материалах	11
§ 3. Принцип магнитной записи, воспроизведения и стирания электрических сигналов	18
§ 4. Искажения при магнитной записи	25
§ 5. Устройство магнитофона	27
Глава II. Магнитная запись телевизионных изображений — видеозапись	30
§ 6. Особенности видеозаписи	30
§ 7. Частотная модуляция в видеомагнитофоне	33
§ 8. Запись и воспроизведение частотно модулированного сигнала	36
§ 9. Другие способы преобразования видеосигнала при видеозаписи	39
Глава III. Устройство видеомагнитофонов	41
§ 10. Требования, предъявляемые к видеомагнитофонам	41
§ 11. Видеомагнитофоны с поперечно-строчной записью	46
§ 12. Видеомагнитофоны с наклонно-строчной записью	54
§ 13. Кассетные видеомагнитофоны	60
§ 14. Видеоголовки	63
Глава IV. Видеолента	67
§ 15. Требования, предъявляемые к видеолентам	67
§ 16. Проблема шума и выпадения сигналов у видеолент	68
§ 17. Изготовление и размеры видеолент	74
§ 18. Особенности эксплуатации видеолент	76
Глава V. Применение видеозаписи	79
§ 19. Общие сведения	79
§ 20. Монтаж видеозаписей	84
§ 21. Повторение, замедление и остановка изображения на видеомагнитофоне	88
§ 22. Размножение видеозаписей	93
§ 23. Применение кассетных видеомагнитофонов	94
§ 24. О видеозаписи цветных изображений	97
§ 25. Применение видеомагнитофона в кинематографии	99
Приложение	100

Василевский Ю. А.

В 19 Видеомагнитофон. М., «Искусство», 1973.
 112 с. с ил.

В книге говорится об одном из замечательных технических достижений нашего времени — магнитной записи движущихся изображений; для демонстрирования на экране телевизора такая запись обладает большими преимуществами по сравнению с обычной киносъемкой. Рассматриваются принцип магнитной записи изображений, устройство и различные применения видеомагнитофонов, а также свойства и особенности эксплуатации видеолент. Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современной техникой. Она может быть полезна работникам теле- и киностудий, а также специалистам различных областей науки и техники, связанным с видеозаписью или начинаяющим знакомство с нею.

В 3211-118
025(01)-73 189-73

6Ф3

Юрий Антонович Василевский

ВИДЕОМАГНИТОФОН

Редактор М. Г. Иванова. Художник А. А. Рюмин. Художественный редактор Э. Э. Ринчино. Технический редактор Н. С. Еремина. Корректоры В. П. Акулинина и А. А. Паранюкина. Сдано в набор 12/II-73 г. Подп. в печ. 7/IX-73 г. А09323. Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 6,027. Изд. № 16629. Тираж 25 000 экз. Заказ 113. Цена 40 коп. Издательство «Искусство», Москва, К-51, Цветной бульвар, 25. Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ярославль, ул. Свободы, 97.

В ближайшие месяцы
в издательстве «Искусство»
выйдут из печати
следующие книги по кинотехнике:

Бургов В. А.
Физика
магнитной
звукозаписи.

Емельянов Е. Д.
Звукофикация
театров.

Лисогор М. М.
Идаров А. М.
Киномеханик
III категории.

Готовятся
к изданию:

Гордийчук И. Б.
Советская
киносъемочная
аппаратура,
изд. II.

Ухин Г. Н.
Охрана труда
и техника безопасности
на киноустановках.

