



---

# СПРАВОЧНИК ПО ТЕХНИКЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ



Под редакцией О. В. Порицкого, Е. Н. Травникова

КИЕВ ● „ТЕХНІКА“ ● 1981

---

ББК 32.871я2  
6Ф2.7(083)

**Справочник по технике магнитной записи** /В. И. Антонов, В. П. Веклич, Л. П. Водяницкий и др.; Под ред. О. В. Порицкого, Е. Н. Травникова.— К.: Техніка, 1981.— 319 с., ил.— Библиограф.: с. 317—318.

В пер.: 1 р. 50 к. 55000 экз.

В справочнике систематизированы справочные сведения по каналам магнитной записи-воспроизведения и параметрам аппаратуры магнитной записи (АМЗ), конструкциям, расчету и выбору магнитных головок и носителей записи. Рассмотрены кинематические схемы и конструкции механизмов транспортирования носителей (МТН), электродвигателей и электромагнитов, систем пневмопитания МТН технология изготовления точных механических узлов АМЗ и магнитных головок. Описаны вопросы рационального построения и приведены принципиальные схемы систем автоматического регулирования скорости и натяжения магнитной ленты усилителей и генераторов, трактов модуляционной, видео- и цифровой магнитной записи, устройств управления и автоматики. Освещены вопросы электропитания, настройки, испытаний и измерений в АМЗ.

Расчитан на инженерно-технических работников, занимающихся разработкой, производством, эксплуатацией и применением АМЗ в различных областях техники, а также может быть полезен студентам радиотехнических и приборостроительных специальностей вузов и техникумов и подготовленным радиолюбителям.

С  $\frac{30403-138}{M202(04)-81}$  51.81. 2402030000

ББК 32.871я2 + 32.94я2  
6Ф2.7(083)

Рецензенты: канд. техн. наук А. Н. Лысенко, Е. Ф. Перлов  
Редакция литературы по энергетике, электронике, кибернетике и связи  
Зав. редакцией З. В. Божко

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрено дальнейшее увеличение производства приборов, средств автоматизации, информационно-вычислительной и измерительной техники, в том числе аппаратуры магнитной записи (АМЗ). АМЗ применяется во всех областях науки и техники, когда возникает необходимость регистрации больших массивов информации в аналоговой или цифровой форме. Применение АМЗ способствует совершенствованию технологии радиовещания и телевидения, кинематографии, техники средств связи, облегчает автоматизацию сложных производственных процессов и систем управления производством, помогает совершенствовать процессы обучения, находит широкое распространение в быту. В зависимости от назначения различают следующие виды АМЗ: для звукозаписи и видеозаписи, аналоговой и цифровой магнитной записи и др. Каждый из них представляет собой сложный комплекс электромеханических, электромагнитных и радиоэлектронных устройств, рациональное сопряжение которых и творческое решение конструкций и принципиальных схем обуславливают скорость, точность, достоверность и надежность процессов записи—воспроизведения информации.

Различные типы АМЗ содержат ряд аналогичных элементов, узлов и функциональных блоков, имеющих общие технические параметры и конструктивное исполнение. Это дало возможность впервые попытаться охватить в рамках одного издания справочные сведения по основным вопросам современной техники магнитной записи. Значительную часть книги занимают вопросы, универсальные для различных типов АМЗ. К ним относятся: характеристики канала магнитной записи—воспроизведения, система параметров АМЗ, рекомендации по рациональному конструированию или выбору магнитных головок и лент, механизмов транспортирования носителей записи (МТН) с учетом основных тенденций их развития, систем точного электропривода, технологии изготовления

прецизионных узлов АМЗ и магнитных головок, владке и испытаням аппаратуры. В справочнике частично отражена и специфика разных типов АМЗ: особенности конструкций видеомагнитофонов и АМЗ на магнитных дисках, особенности построения трактов прямой, видео, точной модуляционной и цифровой магнитной записи.

Над справочником работал авторский коллектив, состоящий из 20-ти специалистов определенных направлений. Отбор тематики, систематизацию и редактирование материалов осуществляли канд. техн. наук О. В. Порицкий (гл. 1, 5, 6, § 2 гл. 7) и ведущий конструктор Е. Н. Травников (гл. 2, 3, 4 и § 1 гл. 7).

Авторы выражают благодарность рецензентам канд. техн. наук А. Н. Лысенко и инж. Е. Ф. Перлову за ценные замечания по рукописи, а также кандидатам техн. наук В. Г. Королькову, В. В. Коваленко и М. П. Сухареву за советы по структуре и содержанию справочника.

Отзывы и пожелания просьба направлять по адресу: 252601, Киев, 1, Крещатик, 5, издательство «Техніка».

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АД — асинхронный двигатель	ИПХ — импульсная переходная характеристика
АКД — асинхронный конденсаторный двигатель	КД — коэффициент детонации
АМЗ — аппаратура магнитной записи	КИМ — кодово-импульсная модуляция
АТМЗ — аппаратура точной магнитной записи	ККС — коэффициент колебания скорости
АЦМЗ — аппаратура цифровой магнитной записи	КМВ — канал магнитного воспроизведения
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика	КМЗ — канал магнитной записи
БАМЗ — бытовая аппаратура магнитной записи	КМЗВ — канал магнитной записи-воспроизведения
БВГ — блок вращающихся головок	КП — канал перезаписи
БДТП — бесколлекторный двигатель постоянного тока	КС — канал сквозной записи-воспроизведения
БМГ — блок магнитных головок	КСЛ — колебания скорости ленты
ВГ — видеоголовка	М — модулятор
ВМ — видеомагнитофон	МБ — магнитный барабан
ВЧ — высокие частоты	МВС — межразрядное влияние символов
ВЧП — высокочастотное подмагничивание	МГ — магнитная головка
ГВ — воспроизводящая магнитная головка	МД — магнитный диск
ГЗ — записывающая магнитная головка	МЗ — магнитная запись
ГЗВ — головка записи-воспроизведения	МЗВ — магнитная запись-воспроизведение
ГК — комбинированная магнитная головка	МКЗВ — многоканальная запись-воспроизведение
ГС — стирающая магнитная головка	МЛ — магнитная лента
ГУ — универсальная магнитная головка	МП — магнитная проволока
ДМ — демодулятор	МТЛ — механизм транспортирования ленты
ДС — дрейф скорости (скольжение)	МТН — механизм транспортирования носителя
ЕПХ — единичная переходная характеристика	НГМД — накопитель информации на гибком магнитном диске
ЗУ — запоминающее устройство	НИ — нелинейные искажения
ЗВ — запись-воспроизведение	НМБ — накопитель информации на магнитном барабане
ИМГ — интегральная магнитная головка	НМД — накопитель информации на магнитном диске
	НМЛ — накопитель информации на магнитной ленте

НСЗ — наклонно-срочная запись  
НЧ — низкие частоты  
ПАМ — паразитная амплитудная модуляция  
ПМГ — плавающая магнитная головка  
ПМД — пакет магнитных дисков  
ПМЗ — прямая магнитная запись  
ПМЗВ — прямая магнитная запись-воспроизведение  
ПС — пневмосистема  
ПСЗ — поперечно-строчная запись  
ПФМ — паразитная фазовая модуляция  
ПХ — переходная характеристика  
ПЧМ — паразитная частотная модуляция  
САР—ВН — система автоматического регулирования вакуумной направляющей  
САР—Н — система автоматического регулирования натяжения ленты  
САР—СД — система автоматического регулирования скорости ленты

САР—СД — система автоматического регулирования скорости диска  
СГД — синхронный гистерезисный двигатель  
СД — синхронный двигатель  
ТМЗ — точная магнитная запись  
УВ — усилитель воспроизведения  
УЗ — усилитель записи  
УНЧ — усилитель низкой частоты  
УПМГ — устройство позиционирования магнитных головок  
УПТ — усилитель постоянного тока  
УУ — универсальный усилитель  
ФЧХ — фазочастотная характеристика  
ЦМЗ — цифровая магнитная запись  
ЧМ — частотная модуляция  
ЧХ — частотная характеристика  
ЧП — частотные потери  
ШД — шаговый двигатель  
ШИМ — широкоимпульсная модуляция  
ЭД — электродвигатель  
ЭМ — электромагнит  
ЭО — электронный осциллограф

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТУРЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

### 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ- ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ (КМЗВ)

**Согласование характеристик КМЗВ.** Рациональное проектирование аппаратуры магнитной записи (АМЗ) должно начинаться с согласованного выбора характеристик системы «головка — носитель» и других составляющих ее устройств. Для эффективного применения АМЗ необходимо правильно согласовывать параметры источника сигналов, АМЗ и устройства или условия обработки воспроизведенной информации. Поэтому при разработке и применении любых типов АМЗ необходимо учитывать такие характеристики КМЗВ, как частотные, временные и нелинейные искажения; шумы и перекрестные помехи. Применительно к аппаратуре точной и высокоплотной цифровой магнитной записи желательно также знать фазовые искажения и ориентироваться в вероятностных характеристиках случайных паразитных модуляций сигнала.

Рабочие параметры АМЗ определяются характеристиками КМЗВ и принятым способом записи.

**Способы записи, состав АМЗ.** Наиболее широко распространена прямая (т. е. без промежуточных преобразований) магнитная запись — воспроизведение входных сигналов (ПМЗВ). Диапазон частот ПМЗВ может простирается от 20 Гц до 2 МГц; выходной сигнал (вследствие дифференцирования его воспроизводящей головкой) близок по форме к производной от входного сигнала. Применяют ПМЗВ в звукозаписи, а также в точной магнитной записи, когда нет жестких требований к сохранению исходной фазовой структуры (а значит, и формы) воспроизведенного сигнала [2, 31].

При необходимости точной передачи формы, крайних НЧ-составляющих и других параметров сигналов применяют модуляционные способы магнитной записи, т. е. записывают и воспроизводят гармоническую или прямоугольную несущую, промодулированную по закону входного сигнала. В аппаратуре точной магнитной записи (АТМЗ) обычно используют частотную модуляцию (ЧМ) большой глубины (т. е. с высокой относительной девиацией частоты) — до 40%. Применяя ЧМ, можно осуществить точную (до 0,2—0,5%) передачу сигналов в диапазоне частот от 0 Гц до частоты, соответствующей 20—30% верхней границы пропускания в режиме ПМЗВ. При этом существенно уменьшаются нелинейные искажения и полностью исключается влияние паразитной амплитудной модуляции сигнала. Одновременно резко возрастают требования к стабильности скорости движения носителя записи (колебания скорости вызывают паразитную ЧМ, ухудшающую отношение сигнал/шум на выходе демодулятора). Сужение полосы частот регистрируемого сигнала (при той же полосе канала) повышает верность ЧМ-записи, так как способствует передаче большего участка бесконечно широкого спектра ЧМ-сигнала [5].

Для видеозаписи не требуется высокой точности, но сохраняется необходимость передачи крайних НЧ и резко возрастают требования к эффективности использования полосы пропускания. Здесь также применяют ЧМ-записи,



но с меньшей глубиной модуляции и низкими значениями частоты несущей (соизмерима с верхней частотой видеосигнала).

При необходимости организовать запись-воспроизведение большого числа узкополосных сигналов (временным уплотнением в канале) применяют запись с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [5]. Другие способы модуляции в АМЗ применяются редко.

В связи с развитием цифровой информационно-вычислительной и измерительной техники все шире применяется аппаратура цифровой магнитной записи (АЦМЗ). Для первичного сбора цифровой информации применяют кассетные (реже рулонные) цифровые аппараты; для работы в комплексе с ЭВМ — стартовые накопители информации на магнитных лентах (НМЛ) и многодорожечные с позиционируемой магнитной головкой на магнитных дисках [5, 23].

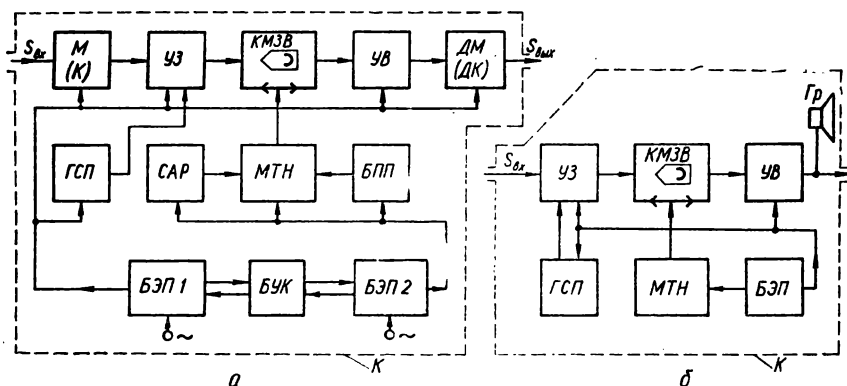


Рис. 1.1. Функциональные схемы АМЗ: а — точная (либо цифровая) б — бытовая

АЦМЗ применяют и в тех случаях, когда нужна особо высокая точность передачи непрерывных сигналов (например, в стереомагнитофонах экстракласса). Для этого используют импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ), т. е. дискретизируют сигнал во времени, квантуют его по уровню, результаты квантования выражают в двоичном цифровом коде и перекодируют в форму, обеспечивающую высокоплотную цифровую запись. Основной недостаток ИКМ — слабое использование пропускной способности канала. Эффективность ИКМ можно повышать, используя экономичные методы дискретизации сигнала (например, дифференциальную ИКМ) и высокоинформативные коды в АЦМЗ [5, 23].

Обобщенная функциональная схема аппарата точной или цифровой магнитной записи показана на рис. 1.1, а. Схема состоит из трех основных групп:

I. Тракт магнитной записи-воспроизведения, куда входят модулятор (для АЦМЗ — кодер)  $M(K)$ ; усилитель записи  $УЗ$ ; канал магнитной записи-воспроизведения  $КМЗВ$  (записывающая головка  $ГЗ$ , магнитный носитель, обычно лента  $МЛ$  и воспроизводящая головка  $ГВ$ , обеспечивающие поочередно или одновременно запись-воспроизведение информации); усилитель воспроизведения  $УВ$  и демодулятор (в АЦМЗ — декодер)  $ДМ(ДК)$ ; генератор стирания и подмагничивания  $ГСП$ .

II. Механизм транспортирования носителя записи  $МТН$  (обычно ленточный  $МТЛ$ ), обслуживающие его системы автоматического регулирования скорости и натяжения ленты  $САР$  и блок пневматического питания  $БПП$ .

III. Вспомогательные блоки: электропитания  $БЭП1$ ,  $БЭП2$ ; управления и контроля  $БУК$ .

Функциональные схемы АМЗ могут существенно изменяться в зависимости от назначения и класса аппаратуры. Простая функциональная схема бытовой АМЗ показана на рис. 1.1, б.

**Общая характеристика КМЗВ.** В КМЗВ происходят все физические преобразования сигнала, составляющие сущность процессов магнитной записи-воспроизведения (МЗВ).

Процесс МЗВ можно рассматривать как осуществление сложных преобразований текущих координат сигналов, которые охватывают изменения физического смысла описываемых величин и масштабы их отображения

$$u_{\text{вх}}(t) \rightarrow i_3(t) \rightarrow \Phi_3(t) \rightarrow \Phi_r(x) \rightarrow \Phi_b(x) \rightarrow \Phi_b(t) \rightarrow e_b(t) \rightarrow u_{\text{вых}}(t),$$

где  $u_{\text{вх}}(t)$ ,  $u_{\text{вых}}(t)$  — входное и выходное напряжения;  $t$  — текущее время;  $i_3(t)$  — ток записи;  $\Phi_3(t)$  — магнитный поток в сердечнике ГЗ;  $\Phi_r(x)$  — остаточный магнитный поток сигналограммы;  $x$  — путь, пройденный носителем;  $\Phi_b(x) \rightarrow \Phi_b(t)$  — магнитный поток в сердечнике ГВ;  $e_b(t)$  — ЭДС на выходе ГВ.

На этапах  $\Phi_3(t) \rightarrow \Phi_r(x)$  и  $\Phi_b(x) \rightarrow \Phi_b(t)$  описание сигнала переходит из время-частотной области  $(t, \omega)$  в пространственно-волновую  $(x, \Omega)$ . При постоянной скорости носителя записи путь  $x = V_0 t$ , и этот переход описывается простыми соотношениями

$$\left. \begin{aligned} \omega &= 2\pi f = 2\pi V_0 / \lambda = \Omega V_0; \\ \Omega &= 2\pi / \lambda = 2\pi f / V_0 = \omega / V_0; \\ \omega t &= \Omega x, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где  $\omega$  — циклическая частота;  $f$  — частота;  $V_0$  — номинальная скорость носителя;  $\lambda$  — длина волны записи;  $\Omega$  — циклическая пространственная частота.

При анализе искажений сигналов в АМЗ обычно приходится учитывать флуктуации масштабов преобразований  $t \rightarrow x \rightarrow t$  и  $\Phi_3 \rightarrow \Phi_r \rightarrow \Phi_b$ . Поэтому удобно, исключив постоянную задержку воспроизведения относительно записи  $t_0$ , рассматривать процесс МЗВ как передачу сигнала в канале с переменными параметрами [5]. Комплексную передаточную функцию такого КМЗВ можно описать в области  $(t, \omega)$  или  $(x, \Omega)$  выражениями

$$\left. \begin{aligned} K(\omega, t) &= K(\omega, t) \exp[j\varphi(\omega, t)]; \\ K(\Omega, x) &= K(\Omega, x) \exp[j\varphi(\Omega, x)], \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где  $K(\omega, t)$ ,  $K(\Omega, x)$  — переменный модуль передаточной функции или флуктуирующие амплитудно-частотная (АЧХ) и амплитудно-волновая (АВХ) характеристики;  $\varphi(\omega, t)$ ,  $\varphi(\Omega, x)$  — флуктуирующие фазочастотная (ФЧХ) и фазоволновая (ФВХ) характеристики.

Если флуктуации учитывать не нужно, используют усредненные значения переменных характеристик:  $\overline{K(\omega, t)} = \overline{K(\omega)}$ ;  $\overline{K(\Omega, x)} = \overline{K(\Omega)}$ ;  $\overline{K(\omega, t)} = K(\omega)$ ;  $\overline{K(\Omega, x)} = K(\Omega)$ ;  $\overline{\varphi(\omega, t)} = \varphi(\omega)$ ;  $\overline{\varphi(\Omega, x)} = \varphi(\Omega)$ .

**Волновые и частотные потери** [2, 5, 31] АЧХ и АВХ идеального КМЗВ определяются только при дифференцировании сигнала индукционной ГВ. При МЗВ гармонического сигнала  $u_{\text{вх}}(t) = U_0 \cos \omega_0 t$

$$e_b(t) \sim [d\Phi_b(x)/dx] (dx/dt) \sim j\omega_0 U_0 \sin \omega_0 t.$$

Поэтому идеальные АЧХ и АВХ представляют собой прямые, возрастающие пропорционально частоте (6 дБ/октава)  $K_{\text{ид}}(\omega) = \omega$ ;  $K_{\text{ид}}(\Omega) = \Omega$ . Отклонения реальных АЧХ и АВХ от их идеализированного представления определяются волновыми и частотными потерями, которые зависят от длины волны записи  $\lambda$  (пространственной частоты  $\Omega = 2\pi/\lambda$ ) и от частоты сигнала  $\omega = 2\pi f$  соответственно.

**Слойные потери** зависят от средней толщины рабочего слоя носителя записи  $d = dx$  и от магнитной проницаемости размагничивания  $\mu_p$ , т. е. средней крутизны зависимости  $B(H)$  на спинке петли гистерезиса (ПГ). При  $\mu_p = 1$

$$\overline{K_{\text{сл}}(\Omega, x)} = K_{\text{сл}}(\Omega) = [1 - \exp(-\Omega d)] / (\Omega d). \quad (1.3)$$

По мере увеличения  $\mu_p$  слойные потери быстро нарастают вследствие саморазмагничивания.

Щелевые потери зависят от эффективной ширины рабочего зазора ГВ  $\Delta_B$ , которая зависит от толщины прокладки в зазоре  $\Delta$  и качества изготовления головки и обычно составляет  $\Delta_B \approx (1,2 \dots 1,5) \Delta$ . Чем тоньше зазор, тем выше отношение  $\Delta_B/\Delta$ ; у МГ со сверхтонкими зазорами ( $\Delta < 1$  мкм),  $\Delta_B/\Delta \geq 1,5$ . Приближенная формула для определения щелевых потерь

$$K_{щ}(\Omega) \approx \sin(0,5\Omega\Delta_B)/(0,5\Omega\Delta_B). \quad (1.4)$$

Вследствие неизбежных технологических закруглений кромок зазора при  $\Delta_B \leq 5$  мкм исчезают периодические максимумы  $K_{щ}(\Omega)$ .

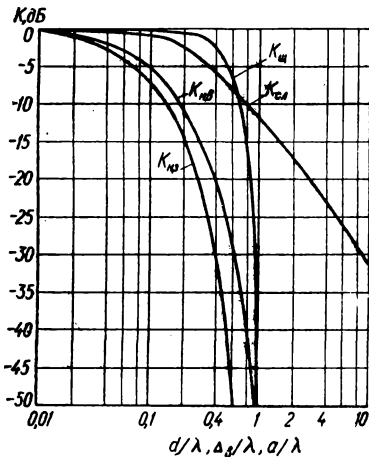


Рис. 1.2. Номограмма для расчета слойных  $K_{сл}(d/\lambda)$ , щелевых  $K_{щ}(\Delta_B/\lambda)$  и контактных  $K_{н.з}(a/\lambda)$ ,  $K_{н.в}(a/\lambda)$  потерь в КМЗВ

Контактные потери обусловлены немагнитным зазором, эквивалентным средней шероховатости поверхностей носителей и головок, а также аэродинамическим зазором, возникающим между этими поверхностями при быстром движении носителя. Средняя ширина этого зазора для магнитных лент  $a(x) = a_0 = 0,3 \dots 1,0$  мкм. Потери неконтакта при записи (без подмагничивания) и при воспроизведении соответственно составляют:

$$\begin{aligned} \overline{K_{н.з}(\Omega, x)} &= K_{н.з}(\Omega) \approx \\ &\approx \exp[-(1,3 \dots 1,5)\Omega a_0]; \quad (1.5) \\ \overline{K_{н.в}(\Omega, x)} &= K_{н.в}(\Omega) = \exp[-\Omega a_0]. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Номограмма для расчета слойных, щелевых и контактных потерь показана на рис. 1.2.

Потери перекоса обусловлены малой технологической непараллельностью ( $\angle\alpha$ ) рабочих зазоров ГЗ и ГВ

$$\overline{K_{п}(\Omega, x)} = K_{п}(\Omega) = \sin(0,5\Omega b \operatorname{tg} \alpha)/(0,5\Omega b \operatorname{tg} \alpha), \quad (1.7)$$

где  $\alpha = \overline{\alpha(x)}$  — угол перекоса, рад;  $b = \overline{b(x)}$  — ширина дорожки записи.

При необходимости точной передачи крайних низких частот необходимо учитывать осциллирующие волновые искажения («змейку»), которые определяются размерами и формой сердечников ГВ, а также расположением их внешнего экрана,

$$K_{зм}(\Omega) = 0,5\Omega^2 S(\Omega),$$

где  $S(\Omega) = F[\psi(x)] = 2 \int_0^{\infty} \psi(x) \exp(-j\Omega x) dx$  — прямое преобразование Фурье,

т. е. пространственный спектр функции потокоцепления головки и сигналограммы (СГ);

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq x \leq l/2; \\ \exp[-2\pi i(x-l/2)/l] & \text{при } l/2 < x < \infty; \end{cases}$$

$l(x)$  — кратчайшее расстояние от элемента СГ с координатой  $x$  ( $x$  — отсчитыв-

вается от центра зазора) до сердечника ГВ;  $l$  — длина контактной зоны головки и ленты.

Для уменьшения осцилляций следует стремиться к получению плавного контура  $\psi(x)$ . Наилучшие результаты дает сердечник параболической формы, наихудшие — прямоугольный сердечник с близко расположенным экраном,

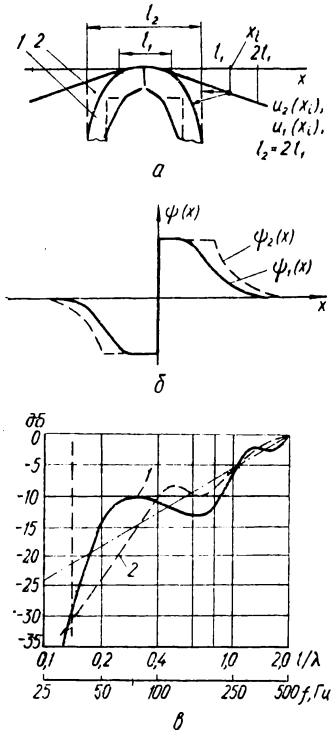


Рис. 1.3. Осциллирующие волновые искажения в области крайних НЧ («змейка»): а — графоаналитический расчет расстояний  $u(x)$ ; б — форма функции потокосцепления; в — ход АЧХ; 1 — ВГ с параболической формой рабочей зоны (—); 2 — то же с прямоугольной формой (---);  $V_0 = 76,2$  см/с

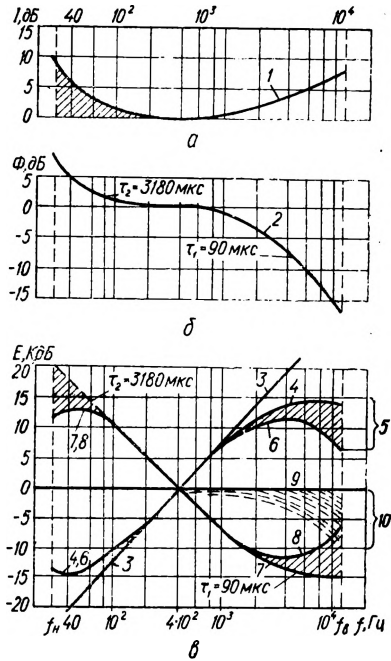


Рис. 1.4. К объяснению стандартного распределения частотных коррекций в звукозаписи при  $V_0 = 9,53$  см/с:

1 — частотные предискажения в УЗ  $K_{y3}(\omega)$ ; 2 — стандартная СГ по магнитному потоку  $N_f(\omega)$ ; 3 — АЧХ идеального КМВ  $K_{ид}(\omega)$ ; 4 — воспроизведение стандартной СГ в идеальном КМВ; 5 — дополнительные потери в реальной КМВ; 6 — АЧХ КМЗВ; 7 — стандартная коррекция КМВ; 8 — реальная коррекция КМВ; 9 — откорректированная АЧХ; 10 — область флуктуаций АЧХ

который ограничивает ход  $u(x)$ . Графический расчет  $u(x)$ , форма  $\psi(x)$  и ход  $K_{зм}(\Omega)$  показаны на рис. 1.3, а, б, в.

Частотные потери  $K_{\omega}(\omega)$  определяются расходом энергии на перемагничивание сердечников магнитных головок (МГ) ( $\sim \omega$ ) и на вихревые токи в сердечниках и металлических конструкциях МГ ( $\sim \omega^2$ ). Они начинают ощущаться в области средних звуковых частот и нарастают с приращениями  $0,5 \rightarrow 1 \rightarrow 1,5 \rightarrow 2$  дБ/октава. В диапазоне частот до  $f_B \ll 20$  кГц частотные потери МГ

с металлическими сердечниками обычно не превосходят 2—5 дБ, с ферритовыми 0,5—1 дБ. В то же время они нередко становятся определяющими в широкополосной АМЗ (т. е. при  $f_b > 100$  кГц).

**АЧХ КМЗВ и стандартные частотные характеристики звукозаписи.** Идеальную АЧХ и потери нормируют по их значениям при  $f_0 = 400$  Гц или  $f_{01} = 1000$  Гц и выражают в децибеллах:  $K_{дБ} = 20 \lg(K/K_0)$ . Затем, используя (1.1), переводят все полученные результаты в частотную  $K(\omega)$  или в волновую  $K(\Omega)$  области. Суммирование в частотной области идеальной АЧХ, волновых и частотных потерь, выраженных в дБ, дает АЧХ КМЗВ в дБ:

$$K_{\Sigma дБ}(\omega) = K_{ид дБ}(\omega) + K_{сл дБ}(\omega) + K_{шдБ}(\omega) + K_{н.з дБ}(\omega) + K_{н.в дБ}(\omega) + K_{п дБ}(\omega) + K_{эм дБ} + K_{ч дБ}(\omega).$$

Та же процедура в волновой области дает амплитудно-волновую характеристику (АВХ) КМЗВ —  $K_{\Sigma дБ}(\Omega)$ .

Для анализа процессов в КМЗВ очень удобна простая аппроксимация АЧХ

$$K_{\Sigma}(\omega) \approx \exp(-|\omega|/\omega_1), \quad (1.8)$$

где  $\omega_1$  — частота, примерно соответствующая максимуму АЧХ. При правильном подборе  $\omega_1$  средняя квадратическая погрешность этой аппроксимации  $\leq 3...5\%$ . Другая распространенная аппроксимация

$$K_{\Sigma}(\omega) = \omega / \sqrt{1 + \omega^2 \tau_1^2}, \quad (1.9)$$

где  $\tau_1 = R_1 C_1$  — постоянная времени параллельного  $RC$ -контура, частотная характеристика (ЧХ) сопротивления которого  $z_{пар}(\omega)/z_{пар}(0)$  примерно совпадает с АЧХ суммы потерь КМЗВ.

Выражения типа (1.9) позволяют с помощью одного значения  $\tau$  задать весь ход АЧХ, что используется при международной стандартизации частотных коррекций магнитофонов для взаимного обмена записями [12]. Основные принципы такой стандартизации пояснены на графиках рис. 1.4, а, б, в.

Для увеличения отношения сигнал/шум в области НЧ (где часто прослушивается фон источников питания) в УЗ предусмотрены стандартные низкочастотные предьскажения (ПИ) (см. низкочастотный участок кривой 1 на рис. 1.4, а). Эти ПИ должны описываться ЧХ сопротивления последовательного  $RC$ -контура с постоянной времени  $\tau_2 = R_2 C_2$ ,  $K_{НЧкор}(\omega) = \sqrt{1 + \omega^2 \tau_2^2} / \omega \tau_2$ . НЧ-подъем компенсируется соответствующим спадом коррекции в УВ (кривая 8 на рис. 1.4, в). В УЗ осуществляются также высокочастотные ПИ (см. высокочастотный участок кривой 1). Высокочастотные ПИ должны быть подобраны так, чтобы при постоянном  $u_{вх}$  обеспечивать стандартный спад АЧХ магнитного потока сигналограммы в режиме ее короткого замыкания (кривая 2 на рис. 1.4, б):

$$N_{\Phi}(\omega) = [\sqrt{1 + \omega^2 \tau_2^2} / (\omega \tau_2)] [1 / \sqrt{1 + \omega^2 \tau_1^2}],$$

или в децибеллах:

$$N_{\Phi дБ}(\omega) = 10 \lg [1 + 1/(\omega^2 \tau_2^2)] - 10 \lg (1 + \omega^2 \tau_1^2).$$

Значения  $\tau_1$  выбирают как компромисс между требованиями увеличения отношения сигнал/шум (оно возрастает по мере уменьшения  $\tau_1$ , так как при этом увеличивается энергия записанного сигнала в области ВЧ) и требованиями уменьшения нелинейных искажений. Нелинейные искажения также возрастают по мере уменьшения  $\tau_1$ , так как для того чтобы обеспечить плавный спад кривой 2, необходимы большие ПИ, что может привести к перегрузке ленты). Стандартизованные значения  $\tau_1$  и  $\tau_2$  приведены в табл. 1.1.

### 1.1. Стандартизованные значения постоянных $\tau_1$ и $\tau_2$

Назначение	Номер $\tau$	Рекомендованные значения $\tau$ , мкс, в зависимости от скорости ленты, см/с			
		76,2 и 38,1	19,05	9,53	4,76
Для общей стандартизации магнитофонов*	$\tau_1$	35	70	90	120
	$\tau_2$	$\infty$	$\infty$	3180	3180
Измерительные ленты для студийных репортёрских магнитофонов (ГОСТ 8304—77)	$\tau_1$	35	70	90	—
	$\tau_2$	$\infty$	$\infty$	3180	—
Измерительные ленты для бытовых магнитофонов (ГОСТ 19796—74)	$\tau_1$	—	70	90	120
	$\tau_2$	—	$\infty$	3180	1590

\* Согласно публикации Международного электротехнического комитета (МЭК) № 94, 1974 и изменения № 3, 1976.

АЧХ стандартной сигналограммы на выходе идеального КМВ (прямая 3 на рис. 1. 4, е) имела бы вид  $\omega N_{\Phi}(\omega)$  (кривая 4). Для полного выравнивания такой АЧХ была бы достаточна стандартная коррекция воспроизводящего канала  $K_{в.ст}(\omega) = 1/[\omega N_{\Phi}(\omega)]$  (кривая 7). АЧХ той же сигналограммы в реальном КМВ отличается на величину шелевых и частотных потерь (зона 5 и кривая 6). Поэтому ЧХ УВ придает форму кривой 8. Откорректированная таким образом АЧХ КМВ обеспечивает равномерную передачу спектра частот для всех стандартных записей (кривая 9). Схемы корректоров АЧХ описаны в гл. 6.

**Фазочастотная характеристика (ФЧХ).** КМЗВ описывает зависимость суммарного фазового сдвига гармонического сигнала между входом и выходом канала от частоты. Для получения однозначных результатов из суммарной зависимости вычитают постоянную составляющую  $\tau_0\omega$  фазового сдвига, вызванного задержкой процесса воспроизведения относительно процесса записи  $\tau_{з.в}(t) = \tau_0 + \Delta\tau(t)$ . Флуктуирующую составляющую  $\Delta\tau(t)\omega$  исключать нецелесообразно, так как она обусловлена КСЛ и приводит к искажениям сигнала.

Три основные компоненты ФЧХ: постоянный (частотно-независимый) фазовый сдвиг  $\alpha$ , линейный (пропорциональный частоте) фазовый сдвиг  $\beta(t)\omega$ , фазовые искажения  $\gamma(\omega, t)$  и суммарная характеристика схематически показаны на рис. 1.5. Постоянный фазовый сдвиг  $\alpha = \pi/2$  определяется дифференцированием сигнала в ГВ (прямая 1). Линейный фазовый сдвиг обусловлен линейной составляющей электромагнитного запаздывания  $\tau_{эм}$  и запаздыванием сигнала вследствие КСЛ  $\Delta\tau(t)$ :  $\beta(t)\omega = [\tau_{эм} + \Delta\tau(t)]\omega$ . Ему соответствует прямая 2, проходящая через начало координат ( $\varphi, \omega$ ). Вследствие флуктуаций  $\Delta\tau(t)$  ФЧХ «раскачивается» в пределах угла  $\psi = \arctg[\tau_{эм} + \Delta\tau(t)]$ . Фазовые искажения  $\gamma(\omega, t)$  описывают частотно-зависимые искажения фазовой структуры сигнала. Причины этих искажений многообразны: специфика

процесса записи, саморазмагничивание сигналограммы, потери в сердечниках МГ, согласование усилителей и МГ и т. д. Примерный характер фазовых искажений и суммарной ФЧХ показан на рис. 1.5 кривыми 3 и 4 [9]. Флуктуации фазовых искажений  $\gamma(\omega, t)$  невелики. Пределы флуктуаций линейной компоненты и суммарной ФЧХ условно изображены заштрихованными зонами 5 и 6. Флуктуирующая ФЧХ КМЗВ имеет вид

$$\varphi(\omega, t) = \alpha + \beta(t)\omega + \gamma(\omega, t) = \pi/2 + [\tau_{эм} + \Delta\tau(t)]\omega + \gamma(\omega, t). \quad (1.10)$$

Подставив в формулу (1.10) средние значения  $\overline{\Delta\tau(t)} = 0$  и  $\overline{\gamma(\omega, t)} = \gamma(\omega)$ , получим усредненную ФЧХ

$$\overline{\varphi(\omega, t)} = \varphi(\omega) = \pi/2 + \tau_{эм}\omega + \gamma(\omega). \quad (1.11)$$

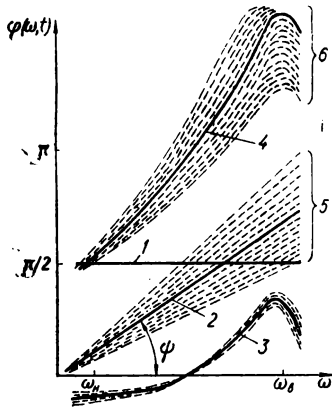


Рис. 1.5. ФЧХ КМЗВ и ее основные компоненты:

1 — частотно-независимый фазовый сдвиг  $\alpha = \pi/2$ ; 2 — фазовый сдвиг постоянного запаздывания  $\beta(t)\omega = \tau_{эм}\omega$ ; 3 — фазовые искажения  $\gamma(\omega)$ ; 4 — суммарная ФЧХ; 5 — область флуктуаций  $\beta(t)\omega$ ; 6 — то же для суммарной ФЧХ

Постоянное запаздывание сигнала на  $\tau_{эм}$  (так же, как и на  $\tau_0$ ) искажений не вносит. Компонента  $\gamma(\omega)$ , особенно в области средних частот, относительно невелика. Наибольший вклад в фазовые искажения вносит постоянный фазовый сдвиг  $\alpha = \pi/2$  (не воспринимается слухом, но полностью перестраивает фазовую структуру, а значит и форму сложных сигналов). Поэтому для анализа систем точной и цифровой магнитной записи обычно достаточно аппроксимация комплексной передаточной функции в виде

$$\dot{K}(\omega) = \omega \exp(-|\omega/\omega_1 + j\pi/2), \quad (1.12)$$

где  $\omega_1$  — координата максимума АЧХ КМЗВ.

Основное назначение фазовых коррекций в АМЗ — компенсация постоянного фазового сдвига  $\alpha = \pi/2$ . Способы компенсации  $\alpha$  при помощи интеграторов (они обеспечивают фазовый сдвиг  $\theta_{инт} = -\pi/2 = -\alpha$ ) имеют ограниченное применение, так как спадающая АЧХ интегрирования ( $K_{инт}(\omega) = 1/\omega$ ) существенно уменьшает полосу пропускания КМЗВ. В АЦМЗ широко применяют дополнительное широкополосное дифференцирование, в результате которого суммарный постоянный фазовый сдвиг оказывается равным  $\alpha_{КМЗВ} + \alpha_{доп} = \pi/2 + \pi/2 = \pi$ , т. е. соответствует фазовой структуре инвертированного сигнала. Основной недостаток — возрастание неравномерности АЧХ, так как  $K'_{ид}(\omega) = -\omega^{-2}$ . Простая схема для дополнительного широкополосного дифференцирования показана на рис. 1.6, а.

«Классические» многозвенные широкополосные фазовые LC-цепи (ШФЦ) обеспечивают коррекцию  $\alpha$  при сохранении равномерной АЧХ. Однако они громоздки, вносят большое затухание, подвержены наводкам и потому применяются редко. В аппаратуре точной ПМЗВ чаще применяют двух-, трехкаскадные активные фазовые корректоры, позволяющие моделировать и заменять ШФЦ (рис. 1.6, б). Для моделирования цепи 1-го порядка в схему на рис. 1.6, б в качестве импеданса включают одну индуктивность или емкость, для моделирования цепи 2-го порядка необходим резонансный контур. Настройка выполняется методом последовательных приближений взаимозависимыми регуляторами  $R$  и  $R_K$ ; с помощью  $R$  выравнивают АЧХ,  $R_K$  используют для формирования ФЧХ [5].

Частотно-зависимая нелинейность. Амплитудная характеристика (АХ) КМЗВ, т. е. зависимость остаточного магнитного потока носителя  $\Phi$  от тока за-

писи  $I_3$ , существенно нелинейна (кривая 1 на рис. 1.7). Для линейризации КМЗВ применяют высокочастотное подмагничивание (ВЧП) либо (реже, как менее эффективное) постоянное подмагничивание (ПП) носителя в процессе записи [2, 31].

По мере увеличения тока ВЧП  $I_{ВЧП}$  происходят нарастающая линейризация нижнего перегиба и возрастание средней крутизны АХ процесса запись-воспроизведение, одновременно несколько уменьшается и протяженность ее линейного участка (кривые 2, 3, 4 на рис. 1.7). Этот процесс начинается с коротких волн и по мере увеличения  $I_{ВЧП}$  распространяется на более длинные (низкие частоты). Поэтому с помощью ВЧП невозможно добиться полной линейризации КМЗВ в широком диапазоне частот: оптимальный для средних частот  $I_{ВЧП}$  будет несколько недостаточен для НЧ и чрезмерен для ВЧ. Значение  $I_{ВЧП}$  выбирают, исследуя записи средних частот (обычно  $f_{01} = 1000$  Гц) при разных значениях тока подмагничивания. Затем устанавливают  $I_{ВЧП}$ , соответствующий одному из трех близко расположенных режимов: максимума отдачи (ему обычно отдают предпочтение), минимума нелинейных искажений либо максимума отношения сигнал/шум.

Форма амплитудных характеристик КМЗВ показана на рис. 1.8, а. Кривые сняты по напряжению при записи гармонических сигналов разных частот и пересчитаны к остаточному магнитному потоку в носителе  $\Phi_{рт}$ . На рис. 1.8, б показано семейство АЧХ КМЗВ для разных уровней записи, полученное перестройкой данных рис. 1.8, а при четырех фиксированных значениях тока записи  $I_3$ . Из рис. 1.8, б видно, что ход АЧХ существенно зависит от уровня записи и становится равномернее по мере его уменьшения. Поэтому при использовании ПМЗВ принципиально нельзя добиться равномерных АЧХ в широком диапазоне уровней записи. Номинальный уровень профессиональной звукозаписи (0 дБ) соответствует удельному остаточному магнитному потоку 256 пВб на 1 мм ширины носителя. АЧХ снижают при уровне -20 дБ (25,6 пВб/мм), т. е. в значительно лучших условиях. В АТМЗ номинальный уровень устанавливают исходя из требований к отношению сигнал/шум и нелинейным искажениям и исследуют АЧХ при этом же уровне.

Характеристики, показанные на рис. 1.8, а, б, соответствуют воспроизведению сигналов потокочувствительными головками, отдача которых  $\sim \Phi_B(x)$  (при сопоставлении АХ такая форма графиков удобнее). Для перехода к индукционному воспроизведению достаточно все ординаты кривых умножить на нормированную частоту  $f/f_{01}$ . Примерный вид характеристической поверхности передачи индукционного КМЗВ показан на рис. 1.9. Одни из ортогональных сечений этой поверхности ( $f, U$ ) дают АЧХ при выбранных уровнях записи, а другие ( $I, U$ ) — АХ при выбранной частоте (см. заштрихованные сечения на том же рис.).

Уровень нелинейных искажений в КМЗВ оценивают при помощи коэффи-

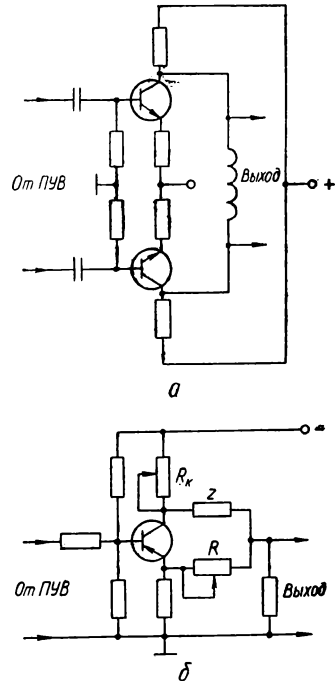


Рис. 1.6. Схема корректора для дополнительного дифференцирования цифровых сигналов (а) и активный эквивалент фазового корректора мостового типа (б)



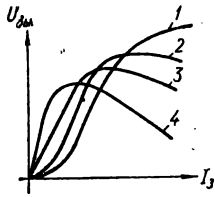


Рис. 1.7. К объяснению линейзации КМЗВ с помощью ВЧП:  $\omega_0, \omega_{ВЧП} = \text{const}$   $I_{ВЧП1} < I_{ВЧП2} < I_{ВЧП3}$  (оптимум)  $< I_{ВЧП4}$

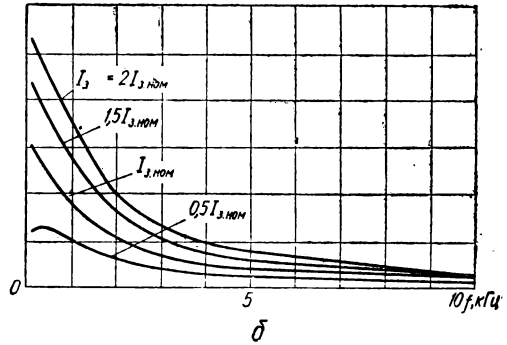
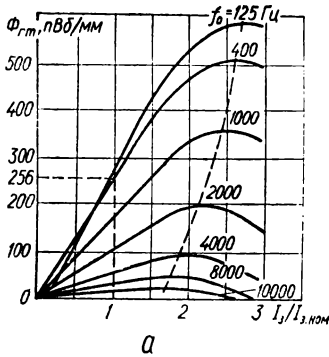


Рис. 1.8. Амплитудные характеристики КМЗВ по магнитному потоку при разных частотах (а) и амплитудно-частотные характеристики при разных уровнях записи (б) для ленты А-2601-6 при скорости  $V_0 = 9,53$  см/с

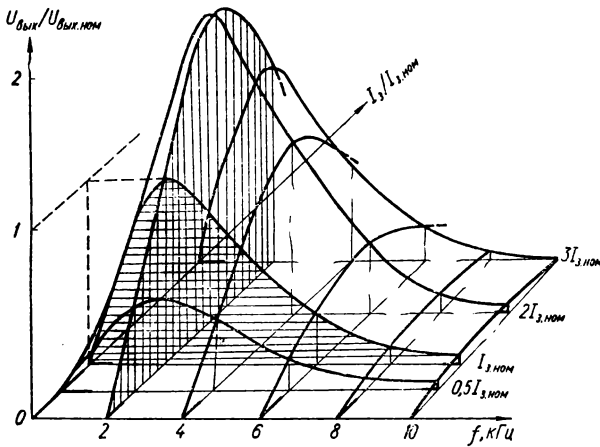


Рис. 1.9. Характеристическая поверхность передач КМЗВ  $V = 9,53$  см/с

циента гармоник или коэффициента разностной частоты. В тех случаях, когда требуется особо высокая линейность (например, при многократной перезаписи фонограмм), хорошие результаты дают дополнительные компенсаторы с обратной (зеркальной) нелинейностью, разработанные В. Г. Корольковым [31].

К импульсным характеристикам КМЗВ относятся импульсная переходная характеристика (ИПХ) или весовая функция  $g(t)$  (отклик\* КМЗВ на воздействие в виде  $\delta$ -функции Дирака, т. е. единичного по площади импульса  $\delta(t - t_0)$ , амплитуда которого принимает бесконечное значение при  $t = t_0$ ) и переходная характеристика (ПХ)  $h(t)$  (отклик канала на единичный перепад — «ступеньку» входного сигнала  $1(t - t_0)$ ). Характеристики ИПХ и ПХ можно представить как во время-частотной, так и в пространственно-волновой областях (в последнем случае их описание имеет вид  $g(x)$ ,  $\delta(x - x_0)$ ,  $h(x)$ ,  $1(x - x_0)$ ,  $\Omega$ ).

Переходная характеристика имеет большое значение в теории цифровой магнитной записи (ЦМЗ), так как большинство цифровых сигналов (кодов) представляет собой последовательность сдвинутых во времени разнополярных единичных перепадов (см. входные сигналы на рис. 1.11, а, б):

$$u_{\text{вх}}(t) = U_0 \sum_{i=1}^n (-1)^i 1(t - t_i) = U_0 \sum_{i=1}^n (-1)^i 1(t - mT_{\text{min}}), \quad (1.13)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $m$  — последовательность чисел, выбираемая из натурального ряда в соответствии со входной информацией и алгоритмом кодирования;  $T_{\text{min}} = T_T/k$  — минимальное дискретное приращение интервала между нуль-пересечениями для данного типа сигнала;  $T_T$  — тактовый интервал (обычно  $k = 1 \dots 4$ ).

В соответствии с формулой (1.13) описание цифрового сигнала на выходе линейного канала можно получить в виде суперпозиции (алгебраической суммы) прямых и инвертированных, соответственно сдвинутых ПХ (минуя обязательную в общем случае операцию свертки с помощью интеграла Дюамеля). Маллинсон доказал, что описанная методика практически пригодна для исследования не только линеаризованного, но и обычного КМЗВ, если запись выполняется без насыщения в интервале плотностей  $v \approx 30 \dots 300$  бит/мм. Небольшие погрешности, возникающие при определении  $g(t)$  и  $h(t)$  с помощью обычных линейных методик, можно откорректировать по результатам испытаний. Тогда

$$u_{\text{вых}}(t) \approx U_0 \sum_{i=1}^n (-1)^i h(t - mT_{\text{min}}). \quad (1.14)$$

При определении ИПХ и ПХ КМЗВ удобно задавать параметры канала в пространственно-волновой области ( $x$ ,  $\Omega = 2\pi/\lambda$ ). При этом  $g(x)$  и  $h(x)$  имеют наиболее общий характер, так как в широких пределах не зависят от скорости ленты. Переход во временную область осуществляется простой подстановкой  $x = V_0 t$ , где  $V_0$  — номинальная скорость ленты.

Так как  $\delta(x - x_0)$  имеет единичный равномерный бесконечно широкий спектр  $S_{\text{вх}}(\Omega) = S_{\delta}(\Omega) = 1$ , то спектр выходного сигнала КМЗВ  $S_{\text{вых}}(\Omega) = S_{\delta}(\Omega) \dot{K}(\Omega) = \dot{K}(\Omega)$ , т. е. равен передаточной функции канала. Тогда, в соответствии с известной процедурой нахождения формы сигнала по его спектру, отклик КМЗВ  $g(x)$  определится как вещественная часть обратного преобразования Фурье от  $\dot{K}(\Omega)$ :

$$g(x) = (1/2\pi) \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{K}(\Omega) \exp(j\Omega x) d\Omega. \quad (1.15)$$

\* Отклик — выходное напряжение четырехполосника при заданном воздействии на его входе.

1.2. Аппроксимации передаточной функции и импульсные характеристики для разных вариантов КМЗВ

Номер варианта	Варианты КМЗВ и аппроксимации $K(\Omega)$	Импульсные характеристики КМЗВ	
		Переходная характеристика $h(x)$	Импульсная переходная характеристика $g(x)$
1	С потокочувствительным воспроизведением $K_{\Phi}(\Omega) = \exp \times (- \Omega /\Omega_1)$	$h_{\Phi}(x) = \frac{1}{\pi} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \Omega_1 x_1$	$g_{\Phi}(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\Omega_1}{1 + \Omega_1^2 x^2}$
2	С индукционным воспроизведением $K(\Omega) = \Omega \exp \times (- \Omega /\Omega_1 + j\pi/2)$	$h(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\Omega_1}{1 + \Omega_1^2 x^2}$	$g(x) = -\frac{1}{\pi} \times \frac{2\Omega_1^3 x}{(1 + \Omega_1^2 x^2)^2}$
3	То же при $\alpha = \pi$ , т. е. откорректированный по ФЧХ $K_{\pi}(\Omega) = \Omega \exp \times (- \Omega /\Omega_1 + j\pi)$	$h_{\pi}(x) = -\frac{1}{\pi} \frac{\Omega_1^2 x}{1 + \Omega_1^2 x^2}$	$g_{\pi}(x) = \frac{1}{\pi} \times \frac{\Omega_1^2 (\Omega_1^2 x^2 - 1)}{(1 + \Omega_1^2 x^2)^2}$
4	То же с дополнительным дифференцированием $K'(\Omega) = \Omega^2 \exp \times (- \Omega /\Omega_1 + j\pi)$	$h'(x) = \frac{1}{\pi} \frac{2\Omega_1^3 x}{(1 + \Omega_1^2 x^2)^2}$	$g'(x) = -\frac{1}{\pi} \times \frac{2\Omega_1^3 (\Omega_1^2 x^2 - 1)}{(1 + \Omega_1^2 x^2)^4}$
5	То же, что и 3, при произвольном значении $\alpha$ $K_{\alpha}(\Omega) = \Omega \exp \times (- \Omega /\Omega_1 + j\alpha)$	$h_{\alpha}(x) = -\frac{1}{\pi} \frac{\Omega_1}{1 + \Omega_1^2 x^2} \times \left( \frac{\sin \alpha}{\Omega_1} + x \cos \alpha \right)$	$g_{\alpha}(x) = \frac{1}{\pi} \times \frac{2\Omega_1^2 x \sin \alpha + \Omega_1^2 (\Omega_1^2 x^2 - 1) \cos \alpha}{(1 + \Omega_1^2 x^2)^2}$

Примечания: 1.  $\Omega_1 = 2\pi/\lambda_1$  — соответствует максимуму амплитудно-волновой характеристики (АВХ) КМЗВ.

2. Компоненты фазовой характеристики  $\beta(\Omega)$  (как не дающая искажений) и  $\gamma(\Omega)$  (недостаточно изученная) из рассмотрения исключены.

Импульсные характеристики  $h(x)$  и  $g(x)$  связаны между собой следующим образом:

$$h(x) = \int g(x) dx + h(0) \text{ и} \\ g(x) = d[h(x)]/dx. \quad (1.16)$$

Наибольший интерес представляет форма ПХ и ИПХ для КМЗВ с потокочувствительным и индукционным воспроизведением при различных способах и разной степени компенсации постоянного фазового сдвига  $\alpha = \pi/2$ . Соответствующие значения аппроксимаций передаточной функции КМЗВ, согласно формуле (1.12), и аналитические выражения для вычисленных по ним откликов приведены в табл. 1.2. Форма  $K(\Omega)$  и  $\varphi(\Omega)$ , ход переходных характеристик КМЗВ и сравнение расчетных и экспериментальных данных показаны на рис. 1.10.

Подставив вычисленные значения  $h(t)$  в формулу (1.14) и выполнив суммирование, получим описание формы произведенного цифрового сигнала. Суммирование легко выполнить графоаналитическим путем (с помощью лекал — шаблонов) либо на ЭВМ. Полученные таким образом результаты имеют большое значение при изучении межразрядного влияния символов (МВС) в цифровой магнитной записи.

**Межразрядное влияние символов в цифровой магнитной записи** является следствием ограничения полосы пропускания, частотных и фазовых искажений КМЗВ. Оно проявляется в виде флуктуаций базовой линии и смещения пиков или нуль-пересечений сигнала, зависит от типа цифрового сигнала (кода) и передаваемых кодовых комбинаций. В результате искажений МВС уменьшается степень различия между информационными параметрами цифровых сигналов: амплитудами, начальными фазами посылок и длительностями характеристических интервалов (между пиками или нуль-пересечениями), что может значительно повысить вероятность сбоев демодулятора (декодера) или синхроблока в условиях помех. Рассмотрим основные механизмы возникновения МВС в реальных КМЗВ.

1. Изменения фазовой структуры сигнала вследствие его дифференцирования в ГВ приводят к значительным флуктуациям базовой линии и относительно меньшим сдвигам пиков сигнала, ухудшающим условия его дискриминации. Особенно опасна эта компонента МВС

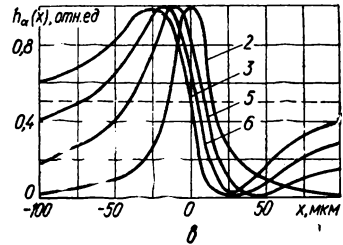
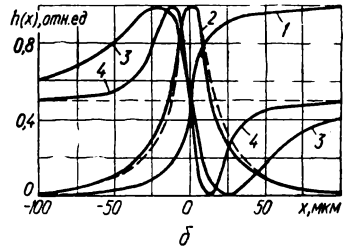
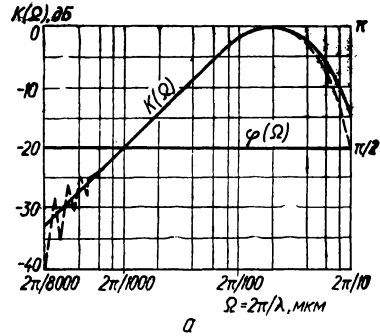


Рис. 1.10. Амплитудно- и фазово-волновые характеристики КМЗВ  $K(\Omega)$  и  $\varphi(\Omega)$  (а), переходные характеристики для разных вариантов канала (б) и для разных значений постоянного фазового сдвига  $\alpha$  (в); (—) — расчеты, (---) — испытания МЛ-А4402 и МГ-УГ-9; 1 — потокочувствительное воспроизведение  $h_{\phi}(x)$ ,  $\alpha = 0$ ; 2 — индукционное воспроизведение  $h(x)$ ,  $\alpha = \pi/2$ ; 3 — то же, с откорректированным постоянным фазовым сдвигом  $h(x)$ ,  $\alpha = \pi$ ; 4 — то же, с дополнительным дифференцированием  $h'(x)$ ,  $\alpha = \pi$ ; 5 — то же, с неполной коррекцией  $h_{\alpha}(x)$ ,  $\alpha = 2\pi/3$ ; 6 — то же, с неполной коррекцией  $h_{\alpha}(x)$ ,  $\alpha = 5\pi/6$

при пороговой дискриминации символов цифрового сигнала «без возвращения к нулю» (БВН) по всплескам дифференцирования на выходе ГВ (рис. 1.11, а) [5].

2. Ограничение крайних низкочастотных спектральных составляющих сигнала также приводит к флуктуациям его базовой линии. Амплитуды этих

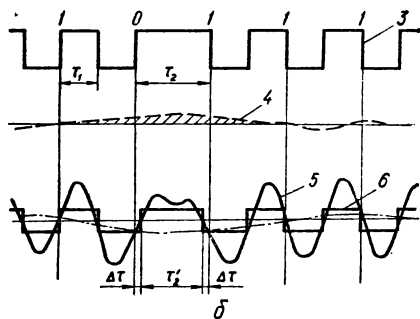
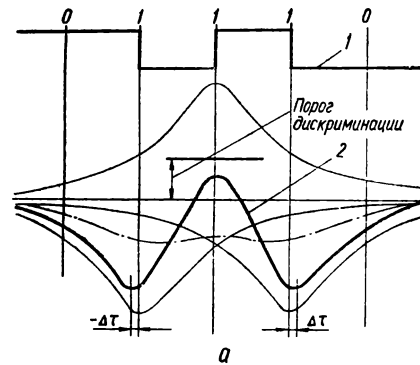


Рис. 1.11. К пояснению межразрядного влияния символов вследствие дифференцирования БВН-1 сигнала (а) и ограничения НЧ-составляющих спектра ОФМ сигнала (б);

1, 2 — входной и выходной БВН-1 сигналы; 3 — входной ОФМ сигнал; 4 — его переходящая НЧ-компонента; 5 — выходной ОФМ сигнал; 6 — он же, сформированный двусторонним ограничением; (—) — базовая линия;  $\tau_1, \tau_2$  — характеристические интервалы;  $\tau'_1, \tau'_2$  — они же с учетом МВС;  $\Delta\tau = \tau - \tau'$  — погрешность

меренные в долях такта). Уменьшение  $S_d$  ( $\tau'_i, \tau'_{i-1}$  и  $\tau_{\min}$ , рис. 1.11, б) в 1,5—2 раза приводит к значительному (на один-два порядка) снижению достоверности ЦМЗ.

Искажения МВС значительно возрастают при передаче «трудных» кодовых комбинаций, мгновенные спектры которых значительно отличаются от средних спектров сигналов, обычно используемых при согласовании характеристик сигнала и канала. Для каждого типа цифрового сигнала (кода) есть свои «наиболее трудные» сочетания символов. Например, для БВН-1 сигналов

флуктуаций обычно меньше, чем в предыдущем случае, и происходят они по закону, обратному сумме подавленных в канале крайних НЧ спектральных компонент текущей реализации цифрового сигнала. После формирования жестким безынерционным ограничением появляются погрешности  $\Delta\tau$  в передаче длительностей характеристических интервалов  $\tau_1, \tau_2 \dots$  сигнала. Эти искажения проиллюстрированы на рис. 1.11, б на примере сигнала с относительной фазовой модуляцией (ОФМ), постоянные фазовые сдвиги в котором уже компенсированы дополнительным дифференцированием [5].

3. Ослабленная передача и ограничение высокочастотных составляющих спектра сигнала приводят к уменьшению крутизны фронтов и уменьшению амплитуды («расплыванию») коротких импульсов. После формирования сигнала выявляется уширение его минимального характеристического интервала  $\tau_1$  за счет сокращения соседних, более длительных интервалов. Обычно  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 \dots$ , поэтому возможно также уширение  $\tau_2$  за счет более длительного  $\tau_3$  (см. рис. 1.13) и т. д.

Для оценки степени различимости отображения двоичных символов в данном сигнале (коде) используют коэффициент дискриминации

$$S_d = (\tau_i - \tau_{i-1})_{\min} / \tau_{\min}$$

или «окло демодуляции» [23]

$$\Delta\tau_{кр} = (\tau_i - \tau_{i-1})_{\min} / T_T.$$

Первый критерий удобен при анализе МВС, второй — при практических расчетах (устанавливает максимально допустимые пределы флуктуаций  $\tau$ , вследствие МВС (т. е. рассчитанного по

это комбинация из четырех единиц (переходов), окруженных нулями, для ОФМ-0 сигналов — комбинация из двух единиц (пяти переходов), окруженных нулями, и т. п. [5]. Описание основных типов сигналов ЦМЗ приведено в гл. 6.

Непременным условием уменьшения МВС является правильное согласование характеристик сигнала и канала. При решении этой задачи полезно использовать усредненные энергетические спектры сигналов ЦМЗ  $P_c(\omega)$ , которые рассчитывают для каждого типа сигнала, применительно к случаю передачи равновероятной случайной двоичной последовательности:  $p(0) = p(1)$ . Нормированные по тактовой частоте  $\omega_T$  графики спектров  $P_c(\omega/\omega_T) = P_c(\omega) \times (\pi^2/2T)$  наиболее распространенных сигналов цифровой магнитной записи: БВН, ФМ, УФМ, УБВН показаны на рис. 1.12, а и б.

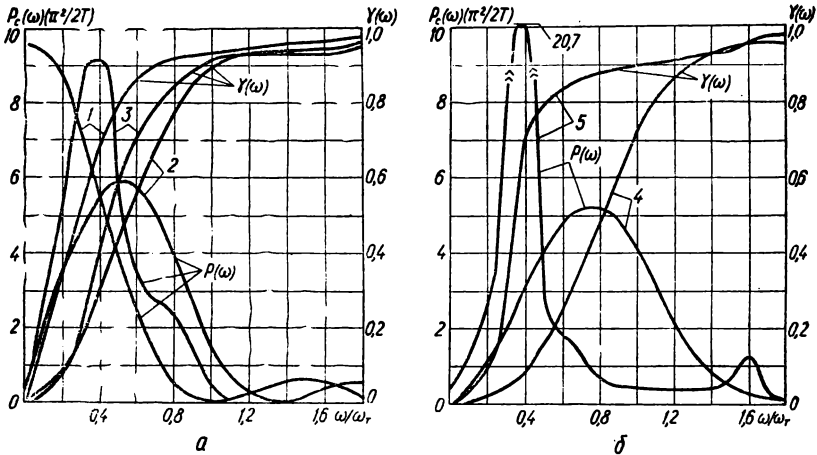


Рис. 1.12. Средние энергетические спектры  $P_c(\omega/\omega_T)$  и энергетические коэффициенты  $\gamma_c(\omega/\omega_T)$  сигналов ЦМЗ; 1 — БВН, 2 — УБВН — 2/3; 3 — УБВН — 4/5; 4 — ФМ; 5 — УФМ

Согласование параметров сигнала и канала удобно производить с помощью коэффициентов, которые легко определить по графикам  $P_c(\omega/\omega_T)$ . Наиболее полезен в данном случае коэффициент распределения энергии в спектре сигнала

$$\gamma_c(\omega) = \int_0^{\omega} P_c(\omega) d\omega / \int_0^{\infty} P_c(\omega) d\omega$$

показывающий, какая доля энергии сигнала приходится на полосу частот от 0 до  $\omega$ . Графики зависимости  $\gamma(\omega/\omega_T)$ , где  $\omega_T = 2\pi f_T$  — циклическая тактовая частота, также показаны на рис. 1.12. При правильном выборе тактовой частоты (т. е. соотношения  $\omega_T/\omega_b$ , где  $\omega_b$  — верхняя граничная частота пропускания КМЗВ, соответствующая значению  $\gamma(\omega/\omega_T) \geq 0,9$ ) ВЧ-искажения МВС обычно не выходят за допустимые пределы. Для достаточного уменьшения НЧ-компоненты МВС необходимо, чтобы потери несогласования спектра сигнала и АЧХ канала в области крайних НЧ не превышали 5 — 10%. Коэффициент информационной эффективности сигнала  $\alpha_c = \omega_T/\omega_1$ , где  $\omega_1 = 2\pi f_1$  — координата первого нуля спектра, т. е. верхней граничной частоты первого лепестка спектра, пропускание которого принципиально достаточно для передачи

импульса или характеристического интервала длительностью  $\tau_1 \geq 2\pi/\omega_1$ . Коэффициент  $\alpha_c$  численно совпадает со значениями информационной плотности кода, определяемыми по данным математической теории кодирования. Коэффициент использования полосы частот КМЗВ  $\beta_c = \omega_T/\omega_B$  характеризует правильность выбора тактовой частоты, обычно  $\beta_c \geq \alpha_c$ . Значения коэффициентов  $\alpha_c$ ,  $\beta_c$ ,  $S_d$  и согласованной нормированной полосы частот  $\omega_H/\omega_T - \omega_B/\omega_T$  приведены в табл. 1.3.

1.3. Значения информационных коэффициентов и согласованной полосы частот для основных типов сигналов ЦМЗ

Тип сигнала	Информационные коэффициенты			Согласованная полоса частот	
	$\alpha_c = \omega_T/\omega_1$	$\beta_c = \omega_T/\omega_B$ при $\gamma_c = 0,9$	$S_d = \frac{(\tau_i - \tau_{i-1})_{\min}}{\tau_{\min}}$	$\omega_H/\omega_T$ при $\gamma_c = 0,05$	$\omega_B/\omega_T$ при $\gamma_c = 0,9$
БВН	(1,0)	(1,4)	(1)	(0,03)	(0,7)
ФМ	0,5	0,77	1	0,3	1,3
УФМ	0,5	0,91	0,5	0,14	1,1
УБВН-2/3	0,67	1	1	0,13	1
УБВН-4/5	0,8	1,06	1	0,16	0,94

Наиболее высокие показатели формально обеспечивают БВН сигналы. Они действительно весьма эффективны в линейных каналах с полосой пропускания  $0 - \omega_B$ , однако принципиально непригодны для высокоплотной ЦМЗ вследствие большой НЧ МВС. Высокие значения информационных коэффициентов ( $\alpha_c = 1$ ,  $\beta_c = 1,4$  и др.) БВН сигналов нельзя практически реализовать в АМЗ, так как максимум энергии у них лежит в области нулевых частот ( $P_c(0) = 9,6$ ), которые нельзя ни пропустить, ни откорректировать в АМЗ. Табличные данные по этому сигналу приведены в скобках лишь в качестве базы сравнения. Остальные сигналы расположены в таблице в порядке возрастания  $\beta_c$ , определенного при  $\gamma_c = 0,9$ .

При тщательной коррекции АЧХ и ФЧХ КМЗВ можно существенно (в 1,2—1,5 раза) уменьшить искажения МВС и за счет этого значительно повысить информационную плотность  $\nu$  (бит/мм) и (или) достоверность  $D$  (бит/сбой) ЦМЗ. Выбор типа коррекции АЧХ и ФЧХ нужно решать в комплексе, т. е. с учетом их взаимного влияния. Если, например, принята стандартная низкочастотная RC-коррекция магнитофона, то следует учесть, что в области НЧ она дает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi(\omega) \rightarrow -\pi/2$  при  $\omega \rightarrow 0$ . Тогда нецелесообразно применять для корректирования фазового сдвига КМЗВ  $\alpha = \pi/2$  способ дополнительного дифференцирования сигнала, так как он обуславливает противоположные фазовый сдвиг  $\Delta\varphi(\omega) \rightarrow \pi/2$  и коррекцию АЧХ  $K'(\omega) = \omega^2$ . В таких случаях целесообразнее использовать фазовые предискажения, создающие компенсирующие фазовые сдвиги в структуре самого записываемого сигнала.

Технические средства коррекций АЧХ и ФЧХ разнообразны [5, 12, 23]. Для уменьшения искажений МВС предложены и специальные корректоры — «сужающие фильтры». В основе их построения лежит суммирование откликов дифференцирующей цепочки с малой постоянной времени и интегрирующей цепочки с большой постоянной времени [23]. Для ориентировочной оценки по осциллографу величины корректируемого постоянного фазового сдвига  $\alpha$  можно использовать кривые  $h_d(x)$ , приведенные на графике рис. 1.10, в.

Для частичной компенсации МВС при передаче «трудных» кодовых комбинаций применяют логические устройства с временными предсказаниями — сужением длительности минимального характеристического интервала  $\tau_1$ . Структурная схема одного из таких устройств и временные диаграммы его работы показаны на рис. 1.13. Три последних такта записываемого сигнала запоминаются в сдвиговом регистре  $RG$ , который ведет две смещенные на  $T_T/2$  последовательноности синхроимпульсов. Опираясь на состояние этого регистра, дешифратор  $DC$  пропускает сигнал на одну из трех шин: I, II или III. В шины I и III включены элементы задержки ЭЗ на время  $\Delta\tau_1$  и  $\Delta\tau_2$ . Далее сигнал суммируется ячейкой ИЛИ. Задержка  $\Delta\tau_1$  остается включенной при передаче всех благоприятных кодовых комбинаций [23].

Если фронт импульса пропустить через ЭЗ с  $\Delta\tau_1$  (шина I), а срез через ЭЗ с  $\Delta\tau_2$  (шина III), то длительность импульса изменится на интервал предскажений  $\pm\Delta\tau_{ПИ} = \Delta\tau_2 - \Delta\tau_1$ . При  $\Delta\tau_1 > \Delta\tau_2$  длительность импульса уменьшится, при  $\Delta\tau_1 < \Delta\tau_2$  — увеличится. Если фронт задержать на  $\Delta\tau_1$ , а срез пропустить без задержки (шина II), то отрицательные ПИ возрастут. Величины  $\Delta\tau_1$  и  $\Delta\tau_2$  подбирают так, чтобы  $-\Delta\tau_{ПИ} \approx \Delta\tau_{МВС}$  (рис. 1.13, а). Тогда длительность характеристического интервала  $\tau'_1$  после его уширения в КМЗВ станет примерно равной его номинальному значению. Алгоритм работы дешифратора задается в зависимости от типа сигнала. Применение логических временных предскажений позволяет уменьшить МВС при наиболее трудных ситуациях, что существенно повышает достоверность цифровой записи.

**Флуктуации АЧХ и паразитная АМ.** Любые подвижные механические системы, в том числе и наиболее совершенные механизмы транспортирования лент (МТЛ), принципиально не могут обеспечить абсолютно точное перемещение носителя в рабочей зоне магнитных головок вследствие неизбежных вибраций конструкций и случайных колебаний лент. В рабочей зоне ГЗ и ГВ всегда наблюдаются сложные колебания МЛ, приводящие к флуктуациям элементов КМЗВ: перпендикулярные, обуславливающие изменения ширины зазора МГ—МЛ (флуктуирующий неkontakt)  $a(x)$ ,  $a(t)$ ; поперечные, вызывающие изменения ширины дорожки записи,  $b(x)$ ,  $b(t)$ ; динамические перекосы  $\alpha(x)$ ,  $\alpha(t)$ ; крутильные (в плоскости, перпендикулярной перекоосу), создающие неkontakt, особенно ощутимый в многодорожечной записи,  $a(x, y)$ ,  $a(t, y)$ . Носители записи также отличаются некоторой нестабильностью толщины рабочего

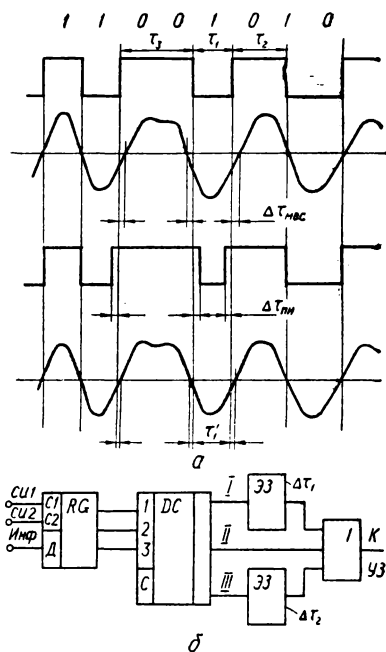


Рис. 1.13. К пояснению компенсации МВС логическими временными предсказаниями:

а — временные диаграммы для УФМ сигнала; б — структурная схема компенсатора;  $RG$  — регистр сдвига;  $DC$  — дешифратор; ЭЗ — элементы задержки; I — сумматор (ИЛИ)



слоя  $d(x)$ ,  $d(t)$ ; его шероховатостью  $a_{\text{ПОВ}}(x)$ ,  $a_{\text{ПОВ}}(t)$  и непостоянством остаточной индукции и коэрцитивности  $B_r(x)$ ,  $B_r(t)$ ,  $H_c(x)$ ,  $H_c(t)$ . Амплитуды рассматриваемых нестабильностей невелики: порядка единиц (реже, 10–20) процентов от их среднего значения.

Изменения ширины дорожки и магнитных параметров лент  $b(x)$ ,  $B_r(x)$ ,  $H_c(x)$  в основном определяют флуктуации среднего значения передаточной функции КМЗВ —  $K_0$ , т. е. отдачу сигналограммы. Колебания толщины рабочего слоя  $d(x)$  влияют и на отдачу сигналограммы (так как  $\Phi_r = B_r b d$ ) и на ее амплитудно-волновую характеристику [см. выражение (1.4)]. Подставив в выражения для волновых потерь неконтакта (1.5), (1.6) и перекоса (1.7) при переменных параметрах  $a(x)$  и  $\alpha(x)$  вместо использовавшихся выше их средних значений  $\overline{a(x)} = a_0$  и  $\overline{\alpha(x)} = \alpha_0$ , убедимся, что эти колебания МЛ приводят к существенным флуктуациям АВХ и АЧХ КМЗВ. Амплитуды колебаний неконтакта и перекоса очень малы (доли микрометра по  $a(x)$ , угловые минуты по  $\alpha(x)$ ), однако крутизна их преобразования в параметры канала достаточно высока и возрастает по мере роста волновой частоты сигнала  $\Omega = 2\pi/\lambda$  или физической плотности записи  $\nu_{\text{физ}} = 1/\lambda$ .

Характеристики конструктивных нестабильностей элементов КМЗВ и закономерности их преобразований во флуктуации передаточной функции канала  $K(\omega, x)$  или  $K(\omega, t)$  подробно исследованы отечественными учеными М. В. Гитлицем, К. М. Рагульским и их сотрудниками. Установлено, что все малые механические флуктуации (в пределах данной партии МЛ и данного аппарата) представляют собой стационарные случайные процессы (ССП), содержащие широкополосные и узкополосные составляющие, распределенные по законам, близким к нормальному (гауссову) распределению. Результатом флуктуаций  $K(\Omega, x)$ ,  $K(\omega, t)$  является паразитная амплитудная модуляция выходного сигнала (ПАМ). Флуктуационная ПАМ имеет непрерывный, преимущественно односторонний (в сторону уменьшения сигнала) характер, глубина ее возрастает по мере уменьшения длины волны записи  $\lambda$ . Примерная область флуктуаций АЧХ показана зоной  $IO$  на рис. 1.4, вид обгибающей — на рис. 1.14, а.

Разберем в качестве примера вероятностные характеристики «ПАМ неконтакта» при воспроизведении. Неконтакт — ССП, описываемый выражениями

$$a(x) = a_0 + \Delta a_-(x), \quad x = V_0 t,$$

включает флуктуации расстояния ГВ — ленты, обусловленные шероховатостью их рабочих поверхностей, и флуктуации аэродинамического зазора, возникающего при высоких скоростях ленты. При этом в ленте возникают автоколебания, создающие узкополосную компоненту неконтакта со средней частотой  $\Omega_a \approx 200 \dots 300$  Гц и шириной полосы  $\Delta\Omega_{a0,7} \approx 100 \dots 150$  Гц. Среднее значение неконтакта  $a_0$  и его дисперсия  $D$  зависят от качества поверхности ленты, силы ее прижима к МГ и обычно составляют  $a_0 = \overline{a(x)} \approx 0,3 \dots 1$  мкм;  $D = \sigma_a^2 = 0,01 \dots 0,1$  мкм<sup>2</sup> (т. е. среднее квадратическое отклонение  $\sigma_a = 0,1 \dots 0,3$  мкм). Закон преобразования механического неконтакта во флуктуации АВХ (АЧХ) — это выражение для контактных потерь (1.6):

$$K_{н. в}(\Omega, x) = K_{ав}[\Omega, a(x)] = \exp[-\Omega a(x)]. \quad (1.6a)$$

Для механического неконтакта характерны энергетический спектр колоколообразной формы, корреляционная функция вида

$$B_a(x) = \sigma_a \exp[-(\Delta\Omega_a x)^2/4] \cos \Omega_a x$$

и нормальное распределение величин  $a$

$$\omega_a(x) = [\sqrt{2\pi}\sigma_a]^{-1} \exp[-(a - a_0)^2/2\sigma_a^2]. \quad (1.17)$$

АВХ  $K(\Omega, x)$  и АЧХ  $K(\omega, t)$  параметрического КМВ с флуктуирующим неконтактом представляют собой стационарный случайный процесс, корреляционная функция которого

$$B_K(x, \Omega) = \frac{K_a(j\Omega, x) K_a(-j\Omega, x + l)}{\exp\{-2a_0\Omega + \sigma_a^2 \Omega^2 [l + \exp(-\Delta\Omega^2 x^2/4) \cos \Omega a x]\}}; \quad (1.18)$$

т. е. спадает более круто, чем  $B_a(x)$ . Графики корреляционных функций, рассчитанные по формулам (1.17), (1.18) и измеренные на аппарате точной магнитной записи МЭЗ-74, показаны на рис. 1.14, б.

Найдем статистическое распределение флуктуирующей АВХ КМВ с неконтактом  $w_x[K(\Omega)]$ . Для этого определим обратную функцию от закона преобразования неконтакта, подставим ее в формулу (1.17), возьмем производную от того же закона и умножим все выражение на модуль этой производной:

$$w_x[K(\Omega)] = w_x\{a = F[K(\Omega)]\} |F'[K(\Omega)]|. \quad (1.19)$$

Для однозначности результата фиксируем частоту сигнала  $\Omega$ :  $\Omega_0 = 2\pi/\lambda_0$ . Закон преобразования  $K_a(\Omega_0) = \exp[-\Omega_0 a]$ , обратный закон  $a = \ln K_a(\Omega_0)/\Omega_0$ , производная  $a' = |\Omega_0 K_a(\Omega_0)|^{-1}$ . Подставив эти результаты в выражение (1.19), после преобразований получим

$$w_x[K(\Omega)] = |\sqrt{2\pi} \sigma_K K_a \times (\Omega_0)^{-1} \exp\{-[\ln K_a(\Omega_0) - \ln K_a(\Omega)]^2 / 2\sigma_K^2\}|, \quad (1.20)$$

где  $\ln K_a(\Omega_0) = a_0 \Omega_0$ ;  $\sigma_K = \sigma_a \Omega_0$ .

Из выражения (1.20) видно, что частотная характеристика флуктуирующего неконтакта распределена по логарифмически нормальному закону. Отклик исследуемого параметрического канала на входной гармонический сигнал  $u_{\text{вх}}(t) = U_m \cos \omega_0 t$ , т. е. выражение

$$u_{\text{вых}}(t) = u_{\text{вх}}(t) K(\omega_0 t) = U_m \{\exp[-2\lambda a(t)/\lambda_0]\} \cos \omega_0 t,$$

где  $t = x/V_0$ ;  $\omega_0 = \Omega_0 V_0$ ;  $a(t)$  — ССП, описывает уже нестационарный случайный процесс (НСП). Если частота сигнала значительно выше средней частоты неконтакта:  $\Omega_0 \gg \Omega_a$ , то огибающая процесса  $U_m \{\exp[-2\lambda a(t)/\lambda_0]\}$  будет

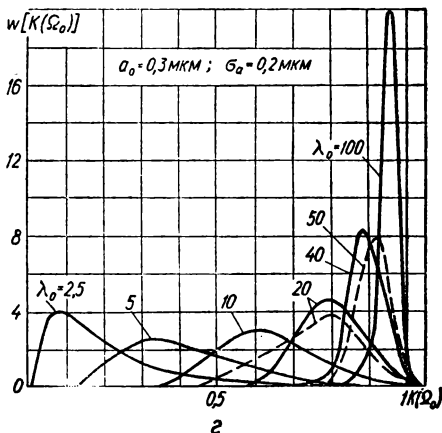
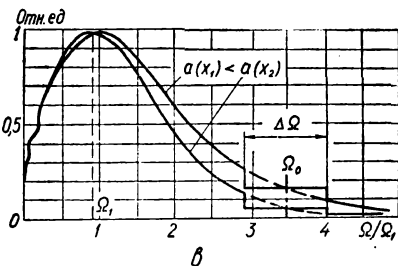
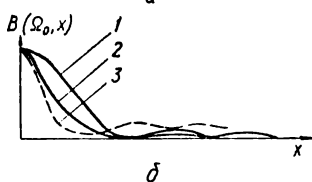
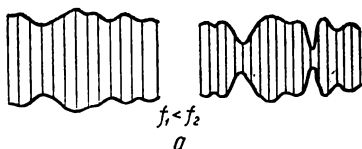


Рис. 1.14. Паразитная АМ неконтакта: а — форма огибающей; б — вид корреляционных функций, 1 — неконтакта, 2 — КМВ, 3 — КМЗВ; в — ступенчатая аппроксимация рабочего участка АВХ КМЗВ; г — распределения АВХ неконтакта МЗВ при разных длинах волн записи, (—) — результаты испытаний аппарата МЭЗ-74

Распределена по тому же закону, что и флуктуации АЧХ КМВ, т. е.

$$\omega_t [U_m(\omega_0)] = \omega_t [K(\omega_0)].$$

Аналогичные результаты дает и анализ флуктуаций канала записи

$$K_{н.з}(\Omega, x) = K_{aз}[\Omega, a(x)] \approx \exp[-1,4\Omega_0 a(x)]. \quad (1.5a)$$

Строгий анализ ПАМ в канале запись-воспроизведение сопряжен со значительными трудностями, так как флуктуирующая АЧХ последовательной параметрической системы в общем случае не равна произведению АЧХ составляющих ее звеньев, т. е.

$$K_{з.в}(\omega, t) \neq K_з(\omega, t) K_в(\omega, t).$$

Исключение составляет случай перемножения ССП, частотные характеристики которых не зависят от частоты, например  $K(\omega, t) = K(t)$ . Этому условию, в пределах каждой ступеньки, соответствует равномерно-ступенчатая аппроксимация АВХ записи и АВХ воспроизведения. Такая аппроксимация может быть использована при исследовании передачи в КМЗВ гармонического сигнала с частотой  $\Omega_0 \gg \Omega_a$  при ширине спектра ПАМ  $\Delta\Omega_a \ll \Omega_0$ .

Границы участка равномерной аппроксимации АВХ  $\Omega_0 \pm (\Omega_a + \Delta\Omega_a/2)$  (рис. 1.14, в). Используя эту аппроксимацию, можно написать выражение для флуктуирующей АВХ неконтакта процесса запись-воспроизведение

$$K_{з.в}(\Omega_0, x) = K_{н.з}(\Omega_0, x) K_{н.в}(\Omega_0 x) \approx \exp[-1,4\Omega_0 a_з(x)] \exp[-\Omega_0 a_в(x)] = \\ = \exp\{-\Omega_0 [1,4a_з(x) + a_в(x)]\} \quad (1.21)$$

при  $\Omega_0 \gg \Omega_a$  и  $\Delta\Omega_a \ll \Omega_0$ .

В показатель степени экспоненты (1.21) входят два нормально распределенных, некоррелированных (т. е. статистически независимых) ССП  $a_з(x)$  и  $a_в(x)$ . Сумма таких процессов также нормальный ССП со следующими параметрами: математическим ожиданием  $m_{1з} = m_{1з} + m_{1в} = a_{0з} + a_{0в}$  и дисперсией  $D_{з.в} = \sigma_{з.в}^2 = \sigma_з^2 + \sigma_в^2$ . Поэтому, приняв  $a_{0з} = a_{0в} = a_0$  и  $\sigma_{аз} = \sigma_{ав} = \sigma_a$ , перепишем выражение (1.21) в виде

$$K_{з.в}(\Omega_0 x) \approx \exp[-\Omega_0 a_{з.в}(x)],$$

где  $a_{з.в}(x) = 1,4a_з(x) + a_в(x)$  — эквивалентный неконтакт процесса запись-воспроизведение ССП с параметрами  $m_1 = a_{0з.в} = 1,4a_{0з} + a_{0в} = 2,4a_0$ ;  $D_{а.з.в} = \sigma_{а.з.в}^2 = (1,4\sigma_{аз})^2 + (\sigma_{ав})^2 = 2,96\sigma_a^2 \approx 3\sigma_a^2$ ;  $\sigma_{а.з.в} \approx 1,7\sigma_a$ .

Нормальному распределению эквивалентного неконтакта процесса МЗВ  $W_x[a_{з.в}(x)]$  соответствует логарифмически нормальное распределение АВХ неконтакта с новыми параметрами

$$W_x[K_{а.з.в}(\Omega)] \approx [V\sqrt{2\pi}\sigma_{К.з.в}K_{а.з.в}(\Omega)]^{-1} \times \\ \times \exp\{-[\ln K_{а.з.в}(\Omega) - \ln K_{а.з.в}(\Omega_0)]/2\sigma_{К.з.в}\}, \quad (1.22)$$

где  $\ln K_{а.з.в}(\Omega_0) = 2,4a_0\Omega_0$ ;  $\sigma_{К.з.в} \approx 1,7\sigma_a\Omega_0$ ;  $\sigma_{К.з.в}^2 \approx 3\sigma_a^2\Omega_0^2$ .

Выражение (1.22) справедливо при записи без ВЧП и полной коррекции всех потерь кроме контактных  $K_a(\Omega)$ . При правильном выборе ВЧП дисперсия  $D = \sigma_{К.з.в}^2$  уменьшается в 1,5—2 раза. Погрешность выражения (1.22) не выше погрешностей принятых аппроксимаций. Результаты расчетов по выражению (1.22) и измерений  $W_x[K_{а.з.в}(\Omega)]$  для разных длин волн записи  $\lambda_0$  показаны на рис. 1.14, г. Неконтакт — преобладающая, но не единственная причина ПАМ. Поэтому на практике зависимость глубины ПАМ от  $\lambda_0$  выражена менее резко (см. штриховые кривые на рис. 1.14, г).

Другой вид ПАМ — эпизодически повторяющиеся глубокие провалы огибающей сигнала (выпадения) являются одной из основных причин сбоев АЦМЗ. Выпадения — дискретный ССП, обусловленный локальными нарушениями контакта лента — головка вследствие немагнитных вкраплений в рабочий слой ленты, выкрашивания рабочего слоя, попадания продуктов выкрашивания — окатышей или песчинок между головкой и лентой и др. (рис. 1.15, а). Положение выкрашенных участков и вкраплений в рабочий слой при записи и воспроизведении постоянно. Поэтому глубина обусловленных ими провалов огибающей равна произведению контактных потерь при записи и воспроизведении:

$$K_{з, в}(\Omega_0, x) = \exp[-2,4\Omega_0 a(x)]. \quad (1.23)$$

Окатыши и песчинки иногда смещаются при перематке ленты, поэтому влияние их может сказаться дважды: при записи и при воспроизведении. При вы-

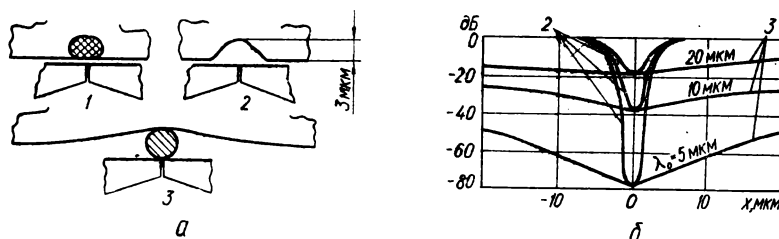


Рис. 1.15. Контактные механизмы выпадений (а) и провалы огибающей сигнала при дефектах размером 3 мкм и разных длинах волн записи (б): 1 — немагнитное вкрапление; 2 — выкрашивание; 3 — окатыш или песчинка

соком качестве МЛ выпадения относительно редки и распределены вдоль ленты по закону Пуассона; на лентах среднего качества наблюдаются сложные законы группирования и распределения длительностей выпадений.

Лента огибает окатыши и песчинки по экспоненциальному закону  $a(x) = a_0 \exp(-x/x_0)$ ,  $x_0 \approx 300 \dots 500$  мкм. Подставив его в выражение (1.23), получим описание соответствующего провала огибающей

$$K_{з, в}(\Omega_0, x) = \exp\{-\Omega_0 [a_0 \exp(-x/x_0)]\},$$

из которого видно, что глубина и продолжительность провалов нарастают по мере увеличения плотности записи (волновой частоты  $\Omega_0$ ).

Выпадения не следует ассоциировать с импульсными помехами типа перерыва связи, так как они обычно не достигают нулевого уровня и даже в моменты глубоких выпадений сохраняется потенциальная возможность восстановления сигнала. Намагниченный окатыш дает сложную импульсную помеху. Расчетные значения провалов огибающей вследствие фиксированных дефектов размером 3 мкм при разных длинах волн записи показаны на рис. 1.15, б.

Другие источники шумов и помех. Приведем ориентировочные значения относительного уровня различных помех КМЗВ: шум размагниченной ленты  $L_{ш, р} = -(68 \dots 63)$  дБ; шум в паузе (после многократного стирания)  $L_{ш, п} = -(63 \dots 58)$  дБ; шум намагниченной ленты  $L_{ш, н} = -(48 \dots 31)$  дБ; остатки предыдущих записей (после однократного стирания)  $L_{ост} < -40$  дБ; помеха копирования соседней по рулону записи (копирэффekt)  $L_k = -(55 \dots 50)$  дБ; перекрестные помехи из соседних каналов  $L_{пер} = -(60 \dots 20)$  дБ; шумы УВ  $L_{УВ} = -(30 \dots 60)$  дБ.

Согласно современным представлениям физическая природа шума лент имеет сложный, комбинированный характер. Аддитивная (т. е. суммирующаяся с сигналом  $u_{вых} = u_{сиг} + u_{шума}$ ) составляющая обусловлена дискретным

строением рабочего слоя носителя и самопроизвольным намагничиванием составляющих его одно- и многодоменных частиц [2, 31]. Модуляционная (или структурная) составляющая, воздействующая на сигнал по схеме  $u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}}[1 + m(t)]$ , обусловлена неоднородностью магнитной микроструктуры рабочего слоя, модулирующей сигнал или остаточную намагниченность паузы. Относительный уровень шумов ленты в АМЗ зависит от ширины дорожки  $b$ , так как когерентные сигналы от бесконечно узких элементарных дорожек суммируются алгебраически, а некогерентные шумы — квадратурно. Относительный уровень шума, в дБ, приведенный к заданной ширине дорожки  $b$ ,

$$L_{\text{ш. л}} = L_{\text{ш. л0}} + 10 \lg(b_0/b),$$

где  $L_{\text{ш. л0}}$  — табличные данные шума для стандартной ширины ленты  $b_0 = 6,25$  мм, дБ.

Шумы магнитных лент определяют динамический диапазон только в высококачественной АМЗ, например, в студийных магнитофонах. В большинстве других случаев отношение сигнал/шум определяется флуктуационными шумами входных цепей УВ, перекрестными помехами либо помехами, проникающими от источников питания. В качестве меры перекрестных помех многоканальной записи удобно принять относительное проникание

$$R = 20 \lg(U_{\text{м пер}}/U_{\text{м сигн}}).$$

Различают две основные причины и, соответственно, две составляющие перекрестных помех: электромагнитная связь между головками в блоке (усиливается по мере роста частоты сигнала) и взаимное влияние процессов записи-воспроизведения по соседним дорожкам (усиливается с ростом длины волны записи). Взаимодействие этих противоположных факторов определяет ЧХ переходного затухания

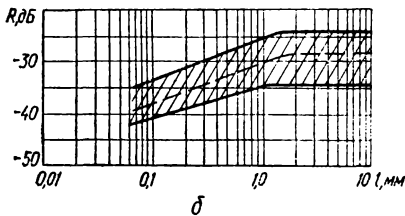
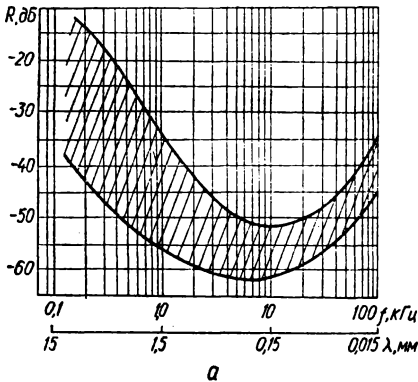


Рис 1.16. Примерные пределы относительного проникания в смещенных многодорожечных блоках МГ: а — для непрерывных (2—6 дорожек на 6,25 мм); б — для импульсных (4—9 дорожек на 6,25 мм) сигналов

(рис. 1.16, а). При импульсной записи основное значение приобретает второй фактор (рис. 1.16, б).

**Флуктуации ФЧХ и паразитная угловая модуляция.** Основной причиной флуктуаций ФЧХ являются колебания скорости транспортирования магнитных лент (КСЛ). Даже наиболее совершенные МТЛ не могут обеспечить стабильность скорости с погрешностью менее чем 0,05—0,1%. Согласно современным взглядам, колебания скорости — стационарный случайный процесс (ССП), включающий два типа составляющих.

1. Узкополосные составляющие — обусловлены эксцентриситетом, эллиптичностью и динамическими биениями вращающихся деталей, неоднородностью упругих свойств обрешиненных роликов, качаниями роторов электродвигателей, вибрациями конструкций и др.

2. Широкополосные составляющие — возникают вследствие неравномерного трения в подшипниках, во фрикционных и ременных передачах, ленты о головки и колонки, а также вследствие случайных возмущений в МТЛ (например, от «залипания» ленты).

По мере совершенствования конструкции и технологии изготовления МТЛ относительный вклад узкополосных составляющих в суммарные колебания скорости ленты (КСЛ) уменьшается, а законы распределения КСЛ приближаются к нормальным (рис. 1.17, а). Спектр широкополосных компонент КСЛ простирается до 200—300 Гц. Узкополосные компоненты ФЧХ (за исключением обусловленных продольными колебаниями лент) расположены в низкочастотной части спектра (рис. 1.17, б).

Описанное выше разложение ФЧХ на сумму трех компонент [см. выражение (1.10) и рис. 1.5] позволяет установить простую взаимосвязь между колебаниями скорости носителей записи, флуктуациями ФЧХ и соответ-

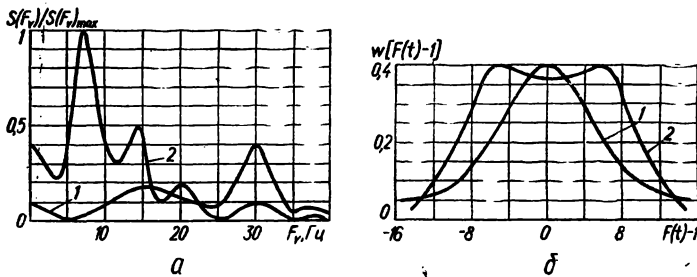


Рис. 1.17. Нормированные спектры амплитуд (а) и распределения колебаний (б) скорости ленты:

1 — высококачественный кольцевой МТЛ; 2 — МТЛ среднего качества;  $F_v$  — частота КСЛ;  $[F(t) - 1]$  — мгновенные значения КСЛ (переменная составляющая функции временного масштаба)

ствующими искажениями сигнала. Для этого достаточно исследовать линейную составляющую ФЧХ

$$\beta(t)\omega = [\tau_{эм} + \Delta\tau(t)]\omega,$$

где  $\tau_{эм}$  — линейная компонента электромагнитного запаздывания;  $\Delta\tau(t)$  — переменное опережение — запаздывание, обусловленное неравномерностью скорости носителя записи. Согласно определению ФЧХ, угол наклона линейной составляющей ФЧХ к оси частот  $\varphi(t) = \text{arctg} [\tau_{эм} + \Delta\tau(t)]$ , поэтому переменное запаздывание в КМЗВ отображается изменениями средней крутизны (раскачиванием) ФЧХ в области  $(\varphi, \omega)$  вокруг ее среднего значения  $\tau_{эм}\omega$ , определяемого постоянным запаздыванием сигнала.

Исключим неискажающую компоненту ФЧХ  $\tau_{эм}\omega$  из дальнейшего рассмотрения и в соответствии с формулами (1.2) и (1.12) опишем передаточную функцию КМЗВ в виде

$$\dot{K}(\omega, t) = K_0\omega \exp\{-|\omega|/\omega_1 + j[\pi/2 + \Delta\tau(t)\omega]\}. \quad (1.24)$$

Подадим на вход такого КМЗВ гармонический сигнал  $u_{вх}(t) = U_m \cos \omega_0 t = U_m \exp(j\omega_0 t)$ . Тогда сигнал на выходе

$$u_{вых}(t) = u_{вх}(t) \dot{K}(\omega, t) = U_m K_0 \omega_0 \exp\{-|\omega_0|/\omega_1 + j[\omega_0 t + \pi/2 + \theta(t)]\} \quad (1.25)$$

приобретает постоянный фазовый сдвиг  $\alpha = \pi/2$  и угловую модуляцию  $\theta(t) = \Delta\tau(t)\omega_0$ . В рассматриваемом случае модулирующей функцией являются флуктуации временной задержки и индекс угловой модуляции  $\theta = \Delta\tau_{\max}\omega_0$  от частоты модуляции не зависит. Это соответствует фазовой модуляции (являющейся частным случаем угловой). Если принять в качестве модулиру-

ющей функции КСЛ (как это обычно и делают), то индекс модуляции окажется обратно пропорциональным частоте КСЛ. Это означает, что по отношению к КСЛ наблюдается другой вид угловой модуляции — паразитная частотная модуляция.

Связь между КСЛ, ФЧХ и параметрами паразитной частотной модуляции (ПЧМ) легко установить с помощью функции временного масштаба  $F(t)$ . Для описания КСЛ ее можно представить в виде

$$F(t) \approx 1 + k_{vв}(t) - k_{vз}(t), \quad (1.26)$$

где  $k_{vз}(t) \approx \Delta V_{\sim з}(t)/V_0$  и  $k_{vв}(t) \approx \Delta V_{\sim в}(t)/V_0$  — флуктуации скорости носителя при записи и при воспроизведении, нормированные по его номинальной скорости  $V_0$ .

Тогда временные рассогласования между входом и выходом КМЗВ (т. е. переменную составляющую задержки в канале) можно определить по выражению

$$\Delta \tau(t) = t_0 - \int_0^t F(t) dt. \quad (1.27)$$

Подставив результаты вычислений по формуле (1.26) в выражение (1.27) и далее в (1.24) и (1.25), нетрудно определить временные ошибки и параметры ПЧМ для конкретных случаев КСЛ. Рассмотрим такой расчет на конкретном примере.

Аппроксимируем  $i$ -ю узкополосную составляющую КСЛ гармоническим колебанием  $k_{vi}(t) = k_{vi} \cos(\omega_{vi}t + \varphi)$ . Примем далее, что эта составляющая КСЛ имеет одинаковые амплитуду и частоту при записи и при воспроизведении ( $k_{vиз} = k_{vив} = k_{vi}$ ,  $\omega_{vиз} = \omega_{vив} = \omega_{vi}$ ), а отличается только случайными начальными фазами  $\varphi_з$  и  $\varphi_в$ . Наиболее интересен самый тяжелый случай — разность случайных фаз  $\varphi_з - \varphi_в = \pi$ , который дает возможность оценить максимальные погрешности. По формуле (1.26) определим  $F(t) = 1 - 2k_{vi} \times \cos \omega_{vi}t$ . Подставив этот результат в выражение (1.27), выполнив действия и учтя, что относительные приращения скорости носителя пропорциональны относительной девиации частоты воспроизведенного сигнала  $k_{vi} = \Delta v_{\sim i}/V_0 = \Delta \omega_i/\omega_0$ , получим

$$\begin{aligned} \Delta \tau(t) &= (2k_{vi}/\omega_{vi}) \sin \omega_{vi}t = [2\Delta \omega_i/(\omega_0 \omega_{vi})] \times \\ &\times \sin \omega_{vi}t = (2\theta_{\text{ЧМЗ}}/\omega_0) \sin \omega_{vi}t = (2\theta_{\text{ЧМВ}}/\omega_0) \sin \omega_{vi}t, \end{aligned} \quad (1.28)$$

где  $\theta_{\text{ЧМЗ}} = \theta_{\text{ЧМВ}} = \Delta \omega_i/\omega_{vi}$  — индекс ПЧМ, обусловленной КСЛ при записи или при воспроизведении.

Из выражения (1.28) легко получить выражения для максимальных значений флуктуаций параметров сигнала, возникающих вследствие узкополосных компонент КСЛ. Временная ошибка

$$\Delta \tau_{\text{max}} = 2K_{vi}/\omega_{vi} = 2\theta_{\text{ЧМЗ}}/\omega_0 = 2\theta_{\text{ЧМВ}}/\omega_0.$$

Амплитуда флуктуации фазы (индекс ПЧМ ЗВ), рад

$$\theta_{\text{max}} = \Delta \tau_{\text{max}} \omega_0 = 2k_{vi} \omega_0/\omega_{vi} = 2\theta_{\text{ЧМЗ}} = 2\theta_{\text{ЧМВ}}.$$

Расчетная оценка влияния удельных узкополосных компонент КСЛ на величину временных и фазовых погрешностей при коэффициенте колебаний скорости по соответствующей компоненте  $k_{vi} = 0,1\%$  и применительно к диапазону скоростей носителя 9,53..38,1 см/с приведена в табл. 1.4.

Другой причиной флуктуаций ФЧХ является вторичная паразитная фазовая модуляция (вторичная ПФМ), возникающая в процессе дифференцирования паразитно-промодулированного по амплитуде сигнала (ПАМ) индук-

1.4. Расчетная оценка влияния удельных ( $k_{vi} = 0,1\%$ ) узкополосных компонент КСЛ на величину временных и фазовых погрешностей выходного сигнала при  $V_0 = 9,53-38,1$  см/с

Причина узкополосной компоненты КСЛ	Частота узкополосной компоненты $f_{vi}$ , Гц	Временная погрешность $\Delta t_{max}$ , мкс	Фазовая погрешность при разных частотах сигналов $f_0$ , $\theta_{max}$ , рад		
			$f_{01} = 10^3$ Гц	$f_{02} = 10^4$ Гц	$f_{03} = 10^6$ Гц
От подающего и приемного узлов	0,2—2	80—800	(0,016—0,16)π	(0,16—1,6) π	(1,6—16) π
От прижимного ролика	1—5	30—160	(0,006—0,032)π	(0,06—0,32) π	(0,6—3,2) π
От ведущего вала	2—10	15—80	(0,003—0,016)π	(0,03—0,16) π	(0,3—1,6) π
Сумма	—	125—1040	(0,025—0,2) π	(0,25—2) π	(2,5—20) π

ционной ГВ. Максимальные фазовые сдвиги вторичной ПФМ значительно меньше, чем от ПЧМ, обусловленной КСЛ.

Точность и достоверность магнитной записи. Для оценки точности АМЗ, как правило, следует применять критерии и нормы, использующиеся в информационных системах, для работы в составе которых она предназначена. Например, электроакустические параметры в звукозаписи, амплитудно-точностные и спектрально-корреляционные характеристики в АЦМЗ, скорость и достоверность передачи информации в АЦМЗ и т. п. Из числа универсальных критериев наиболее распространена нормированная среднеквадратичная погрешность на интервале времени  $t_2 - t_1$  [5]

$$\delta = (1/S_H) \sqrt{1(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} [S_{\text{вых}}(t + \tau_{3-в}) - S_{\text{вх}}(t)]^2 dt}$$

где  $S_H$  — величина, по которой нормируют среднеквадратичную погрешность (обычно эффективное значение выходного сигнала);  $S_{\text{вых}}$  и  $S_{\text{вх}}$  — значения сигналов, нормированные по своим максимумам;  $\tau_{3-в}$  — интервал времени между началом записи и началом воспроизведения.

Рациональное построение и тщательная настройка АМЗ дают возможность решать многие задачи точной магнитной записи в тракте ПМЗВ. Основные погрешности ПМЗВ связаны с индукционным воспроизведением, ПАМ и КСЛ. К ним относятся искажения фазовой структуры (формы) сигналов, погрешности в передаче амплитуд  $\geq 5...10\%$ , временные ошибки, ПЧМ и др. Погрешности модуляционных способов записи ЧМ, ШИМ в основном обусловлены КСЛ. Например, погрешность передачи амплитуд при ЧМ записи по крайней мере в два раза хуже, чем нестабильность скорости сигналограммы. При



модуляционной записи сохраняются временные ошибки и ПЧМ, но открывается возможность их электронной компенсации.

Дальнейшее повышение точности путем использования ИКМ практически ограничено величинами порядка 0,03—0,1% в связи с неизбежными аппаратными погрешностями процессов дискретизации и восстановления сигналов и ограничениями быстродействия преобразователей аналог—код—аналог. Применение ИКМ связано со значительным увеличением объема сигнала и соответствующим ухудшением использования полосы пропускания КМЗВ. Пути преодоления этого недостатка — рациональное кодирование информация и совершенствование методов и средств высокоплотной ЦМЗ.

Основные принципы оценки АЦМЗ — это совместное рассмотрение информационной плотности записи  $v$ , бит/мм, и достоверности  $D$ , бит/сбой. Увеличение плотности ЦМЗ всегда сопряжено с увеличением относительного уровня помех, а значит, и некоторым ухудшением помехоустойчивости (т. е. повышением вероятности сбоев  $p$ , сбой/бит). Поэтому для сравнительной оценки технического уровня АЦМЗ одного класса удобен сбалансированный синтезирующий критерий — добротность тракта ЦМЗ

$$q = vlgD.$$

## 2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АМЗ

Количественная оценка сложных взаимосвязанных характеристик КМЗВ и АМЗ в целом производится при помощи системы рабочих (метрологических), конструктивных и эксплуатационных технических параметров.

**Рабочие (метрологические) параметры АМЗ.** Номинальная (расчетная) скорость движения носителя  $V_n$  при записи и воспроизведении, значения которой: 2,38; 4,76; 9,52; 19,05; 38,1; 76,2; 152,4; 304,8 см/с, стандартизованы на основании рекомендаций ИСО 3413.

Среднее значение скорости движения МЛ  $V_{cp}$  за установленный интервал времени измеряют в середине катушки. Отклонение от средней скорости движения ленты  $\Delta V_{cp} = |(V_{cp} - V_n)/V_n| \cdot 100\%$ . ГОСТ 12392—71 и ГОСТ 12107—66 устанавливают допустимые отклонения средней скорости движения ленты от ее номинального значения от  $\pm 0,5$  до  $\pm 3\%$ .

Колебания скорости движения МЛ при записи и воспроизведении (КСЛ) — почти периодические и случайные отклонения мгновенной скорости от ее среднего значения — оценивают коэффициентом колебания скорости (ККС), который выражает отношение значения амплитуды колебания мгновенной скорости  $\Delta V_{\sim} = (V_{max} - V_{min})/2$  к ее среднему значению [22], т. е.

$$k_o = [\Delta V_{\sim}/V_{cp}] \cdot 100\% = [(V_{max} - V_{min})/2V_{cp}] \cdot 100\%.$$

Иногда применяют также эффективные (среднеквадратические) оценки колебаний скорости  $\Delta V_{\sim \text{эф}} = (V_{max} - V_{min})/2\sqrt{2}$ . Соответственно различают максимальные и эффективные значения ККС:  $k_{o \text{ max}}$  и  $k_{o \text{ эф}}$ . Частотный диапазон КСЛ простирается от долей герца до единиц килогерц. Рекомендованные полосы измерения ККС для широкополосной АМЗ и соответствующие значения ККС (по данным зарубежных фирм) приведены в табл. 1.5. КСЛ приводят к возникновению искажений: временных масштабов и паразитной частотной модуляции (ПЧМ) воспроизводимого сигнала. При этом относительная девиация частоты  $\Delta f/f_0$  паразитной ЧМ равна ККС, а закон модуляции частоты сигнала повторяет суммарный закон изменения скорости в процессе ЗВ [5].

Детонация — искажения звука, обусловленные ПЧМ. Интенсивность этих искажений оценивают при помощи коэффициента детонации (КД), который представляет собой ККС, «взвешенный» в соответствии с частотным восприятием КСЛ человеческим ухом:  $k_d = (\Delta V_{\sim}/V_{cp})\eta(\omega) \cdot 100\%$ ;  $\eta(\omega)$  — АЧХ «фильтра — ухо» (рис. 1.18). КД используется только применительно к АМЗ звукозаписи. Максимально допустимые значения КД для профессиональной

### 1.5. Рекомендуемые полосы измерения ККС и его значения

Скорость ленты, см/с	Частотный диапазон измерения ККС, Гц	ККС аппаратов ( $k_v$ ), %		Скорость ленты, см/с	Частотный диапазон измерения ККС, Гц	ККС аппаратов ( $k_v$ ), %	
		стационарного FR-3700B	портативного М14Е			стационарного FR-3700 B	портативного М14Е
304,8	0,2—10 000	0,11	0,25	19,05	0,2—1250	0,25	0,5
152,4		0,13	0,3	9,52	0,2—625	0,32	0,65
76,2	0,2—5000	0,13	0,35	4,76	0,2—312	0,38	1,2
33,1	0,2—2500	0,18	0,4	2,38	0,2—156	0,5	—

Примечание. Дрейф скорости при этих значениях  $V_n$  должен составлять не более  $\pm 0,01$ ;  $\pm 0,2\%$  соответственно для стационарного и портативного аппаратов.

АМЗ по ГОСТ 12107—65 приведены в табл. 1.6. Там же дана допустимая величина КД для бытовой АМЗ (БАМЗ).

Дрейф скорости (ДС) или скольжение — это медленные изменения средней скорости движения МЛ по длине рулона, определяемые как отношение

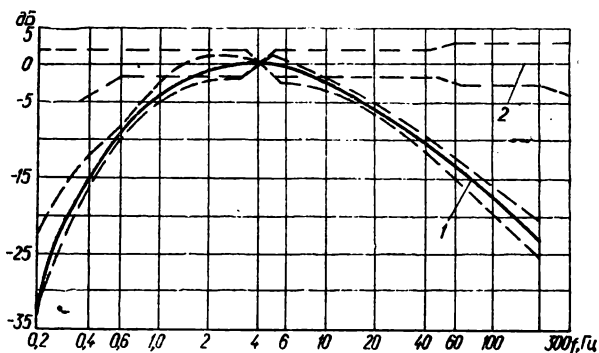


Рис. 1.18. АЧХ взвешивающего фильтра для измерения:

1 — коэффициента детонации; 2 — ККС и ПАМ

разности максимального  $V_{cp \max}$  и минимального  $V_{cp \min}$  значений средней скорости к среднему значению скорости по всей длине рулона:

$$k_{\Delta} = [(V_{cp \max} - V_{cp \min}) / V_{cp}] \cdot 100\% = (2\Delta V_{cp} / V_{cp}) \cdot 100\%.$$

Основной причиной ДС является изменение натяжения МЛ по мере ее перемотки с подающей на приемную катушку, растяжение ленты и изменение скорости двигателей вследствие нестабильности их питания. Дрейф скорости относится к крайним низкочастотным колебаниям скорости МЛ (частоты ниже 0,5 Гц). Пределы изменения ДС в АМЗ составляют от  $k_{\Delta} = \pm 0,015\%$  (для АМЗ, снабженной САР по натяжению и по средней скорости) до  $k_{\Delta} = \pm 0,5\%$  (для АМЗ без САР).

Частотный диапазон современной АМЗ простирается от постоянного тока до нескольких мегагерц и условно разбит на три полосы: узкая, средняя и

### 1.6. Коэффициент детонации для профессиональной и бытовой АМЗ

Скорость ленты, см/с	K <sub>д</sub> для профессиональной АМЗ, %	K <sub>д</sub> , %, в зависимости от класса бытовой АМЗ			
		I	II	III	IV

При питании от сети

38,1	0,04—0,06	—	—	—	—
19,05	0,06—0,15	0,1	0,2	—	—
9,52	0,1—0,2	0,2	0,3	0,3	—
4,76	—	0,3	0,4	—	—

При питании от автономного и универсального источников

19,05	—	—	0,3	—	—
9,52	—	—	0,4	0,4	—
4,76	—	—	0,5	—	0,6

широкая. Рекомендованные ИСО 3612, ИСО 3615 полосы частот для прямой (ПМЗ) и ЧМ-записи приведены в табл. 1.7 и 1.8. Там же даны и рекомендации по выбору частоты высокочастотного подмагничивания (ВЧП) при ПМЗ и несущей частоты при ЧМ-записи. Профессиональная АМЗ для звукозаписи разделена на три группы: студийная (I), перевозимая (II) и переносная (III). Для БАМЗ установлены четыре класса аппаратуры. Соответствующие данные согласно ГОСТ 12107—66 и ГОСТ 12392—71 приведены в табл. 1.9 и 1.10.

Общая неравномерность АЧХ — это выраженная в децибеллах полуразность отношений максимального ( $U_{\max}$ ) и минимального ( $U_{\min}$ ) значений выходного сигнала в диапазоне частот к уровню сигнала на опорной частоте ( $U_{\text{оп}}$ ) при неизменном сигнале на входе:

$$M = 0,5 [20 \lg (U_{\max}/U_{\text{оп}}) - 20 \lg (U_{\min}/U_{\text{оп}})] = 0,5 [20 \lg (U_{\max}/U_{\min})].$$

### 1.7. Полосы частот и частоты подмагничивания при прямой записи

Скорость ленты, см/с	Узкая полоса		Средняя полоса		Широкая полоса		
	Диапазон частот, кГц	Частота подмагничивания, кГц	Диапазон частот, кГц	Частота подмагничивания, кГц	Диапазон частот, кГц		Частота подмагничивания, кГц
					I группа	II группа	
304,8	0,1—200	2000(2048)	0,3—500	4500—6000	0,4—1500	0,4—2000	6000—8000
152,4	0,1—100	1000(1024)	0,3—250	2250—3000	0,4—750	0,4—1000	3000—4000
76,2	0,1—50	500(512)	0,2—125	1125—1500	0,4—375	0,4—500	1500—2000
38,1	0,1—25	250(256)	0,1—60	562—750	0,4—187	0,4—250	750—1000
19,05	0,1—12	125(128)	0,1—30	281—375	0,4—93	0,4—125	375—500
9,52	0,1—6	62,5(64)	0,1—15	140—187	0,4—46	0,4—62,5	187—250
4,76	0,1—3	31,25(32)	0,1—7,5	70—93	0,4—23	0,4—31,25	93—125
2,38	0,1—1,5	15,63(16)	0,1—3,8	35—46	0,4—11,5	0,4—15,63	46—62,5

Примечание. В скобках указаны значения частот ВЧП, удобные для привязки к единому синхрогенератору системы РЭА.

### 1.8. Полосы частот и несущие частоты при ЧМ-записи

Скорость ленты, см/с	Узкая полоса		Средняя полоса		Широкая полоса			
	Диапазон частот, кГц	Несущая частота, кГц	Диапазон частот, кГц	Несущая частота, кГц	I группа		II группа	
					Диапазон частот, кГц	Несущая частота, кГц	Диапазон частот, кГц	Несущая частота, кГц
304,8	0—20	108	0—40	216	0—80	432	0—400	900
152,4	0—10	54	0—20	108	0—40	216	0—200	450
76,2	0—5	27	0—10	54	0—20	108	0—100	225
38,1	0—2,5	13,5	0—5	27	0—10	54	0—50	112,5
19,05	0—1,25	6,75	0—2,5	13,5	0—5	27	0—25	56,25
9,52	0—0,625	3,375	0—1,25	6,75	0—2,5	13,5	0—12,5	28,125
4,76	0—0,312	1,688	0—0,625	3,375	0—1,25	6,75	0—6,25	14,062
2,38	0—0,156	0,844	0—0,312	1,688	0—0,625	3,375	—	—

### 1.9. Полосы частот и отношение сигнал/шум профессиональной АМЗ

Параметр	Нормы для групп АМЗ			
	I	II	III	
			A	B
Полоса частот, Гц, на скоростях:			31,5—16 000	—
38,1 см/с			31,5—12 500	40—12 500
19,05 см/с			31,5—10 000	63—10 000
9,52 см/с				
Отношение сигнал/шум тракта ЗВ с линейного входа, дБ, не хуже, для АМЗ стереофонической на скоростях:				
38 см/с	57	51	—	—
19 см/с	52	49	—	—
9 см/с	50	47	—	—
Для АМЗ монофонической на скоростях:				
38 см/с	60		54	—
19 см/с	56		52	48
9 см/с	53		50	48

### 1.10. Полосы частот, отношение сигнал/шум и коэффициент гармоник бытовой АМЗ

Параметр	Нормы для классов БАМЗ			
	I	II	III	IV
Полоса частот, Гц, на скоростях:				
19,05 см/с	40—18 000	40—16 000	—	—
9,52 см/с	40—14 000	63—12 500	63—12 500	—
4,76 см/с	63—8 000	63—6 300	—	80—6300
Отношение сигнал/шум тракта ЗВ, дБ, не хуже, для магнитофонов с числом дорожек:				
2	—48	—45	—42	—40
4	—45	—42	—39	—37
Коэффициент гармоник на линейном выходе, %, не более	3	4	4	5

В требованиях к АМЗ обычно отдельно задают положительные и отрицательные отклонения. Для аппаратуры ПМЗ  $M \leq \pm 3$  дБ, для аппаратуры ТМЗ с ЧМ в узкой, средней и широкой полосе I группы допускается  $M \leq \pm 1$  дБ, а для аппаратуры ЧМ-записи с широкой полосой группы II  $M \leq (+1; -3)$  дБ.

Значение несущей частоты  $f_0$  при ЧМ-записи определяется из условий комбинационных искажений и зависит от принятой глубины частотной модуляции  $m = \Delta f / f_0$  ( $\Delta f$  — девиация частоты) и верхнего значения частоты записываемого сигнала  $F_m$ . Для аппаратуры ЧМ-записи в узкой, средней и широкой полосе группы I рекомендуется глубина модуляции  $m = 40\%$  и для ЧМ в широкой полосе группы II —  $30\%$ . Величину  $f_0$  выбирают равной  $5,4 F_m$  при относительной девиации  $40\%$  и  $2,25 F_m$  при  $m = 30\%$ .

Нелинейные искажения в АМЗ обычно характеризуют коэффициентом гармоник  $k_r = [\sqrt{u_2^2 + u_3^2 + \dots} / u_1] \cdot 100\%$ , где  $u_1$  — напряжение первой гармоники на выходе АМЗ при использовании гармонического испытательного сигнала;  $u_2, u_3$  — напряжения высших гармонических составляющих. Реже, обычно в широкополосной АМЗ, используют методы измерений, основанные на измерении комбинационных искажений или взаимной модуляции испытательных сигналов [22]. Значения  $k_r$  для аппаратуры ПМЗ обычно находятся в пределах  $2 \dots 3\%$ , при ЧМ-записи  $k_r \leq 1 \dots 1,5\%$ . Допустимые значения  $k_r$  для БАМЗ приведены в табл. 1.10.

Нелинейность статической характеристики тракта ЧМ ЗВ по постоянному току, в основном, определяется нелинейностью модуляционной характеристики демодулятора. Определяют ее как отклонение от линейного закона зависимости выходного напряжения постоянного тока демодулятора от входного напряжения модулятора. За меру нелинейности принимают отношение

$$n_U = [(U_{\text{вых}+} - |U_{\text{вых}-}|) / (U_{\text{вых}+} + |U_{\text{вых}-}|)] \cdot 100\%.$$

Нелинейность статической характеристики по постоянному току не должна превышать в современной аппаратуре ТМЗ  $\pm 1\%$ .

Дрейф нуля характеризует изменение выходного напряжения постоянного тока тракта ЧМ ЗВ за заданное время или за время воспроизведения полной катушки МЛ при записи несущей частоты и определяется как

$$\delta = [(\Delta U_+ + |\Delta U_-|) / 2(U_{\text{вых}+} + |U_{\text{вых}-}|)] \cdot 100\%.$$

где  $\Delta U_+$ ,  $\Delta U_-$  — максимальные отклонения выходного напряжения постоянного тока от нуля в положительную и отрицательную стороны при воспроизведении несущей частоты;  $U_{\text{вых}+}$ ,  $U_{\text{вых}-}$  — максимальные значения выходных напряжений при положительной и отрицательной девиациях. Дрейф нуля определяется нестабильностью несущей частоты модулятора, нестабильностью характеристик демодулятора, ДС движения МЛ и для аппаратуры ТМЗ не должен превышать 1%.

Отношение сигнал/шум (С/Ш) (величина, обратная относительному уровню аддитивных шумов) характеризует динамический диапазон АМЗ (но не точность передачи сигналов) и определяется как отношение среднеквадратического напряжения выходного сигнала, при номинальном уровне сигнала на входе, к среднеквадратическому напряжению шума в паузе. Отношение С/Ш зависит от качества магнитных лент, уровня собственных шумов предварительного усилителя воспроизведения и конструкции магнитных головок [5]. Некоторые значения отношения С/Ш для современной высококачественной АМЗ приведены в табл. 1.11, для профессиональной АМЗ — в табл. 1.9, для бытовой — в табл. 1.10.

1.11. Отношение сигнал/шум, дБ, для различных типов аппаратов

Скорость ленты, см/с	При прямой записи и полосе частот				При ЧМ-записи и полосе частот					
	средней	широкой			узкой	средней	широкой			
		I группа	II группа				I группа	II группа		
	FR-3700B		M14E		FR-3700B		M14E	FR-3700B	M14E	
304,8	37	30	25	24	55	51	50	49	35	32
152,4					55	51		48	35	34
76,2					54	50		47	34	34
38,1	36	28	24	24	53	48	48	46	33	34
19,05			23		48	44		30	33	
9,52			22		46	42		30	31	
4,76	34	26	20	22	47	45	43	38	27	28
2,38					31	24		19	20	—

Переходные помехи МКЗВ — это помехи, обусловленные прониканием сигналов от соседних каналов и соседних дорожек записи. Величина этих помех зависит от качества экранирования МГ в блоке и блоков электроники соседних каналов и возрастает при повышении поперечной плотности многоканальной записи и при расширении ее частотного диапазона. Для уменьшения переходных помех блоки МГЗВ обычно разбивают на два идентичных конструктивных узла с шахматным расположением дорожек. Значение переходных помех многоканальной АМЗ колеблется от  $-15$  до  $-50$  дБ.

Временной сдвиг между каналами АМЗ — это несовпадение временного масштаба сигналов в КМЗ и КМВ. Различают постоянную и переменную составляющие межканального временного сдвига (или статический и динамический перекося). К основным источникам временных сдвигов относят:

непараллельность рабочих зазоров блоков магнитных головок (БМГ) записи и воспроизведения;

разброс положения рабочих зазоров головок в блоке относительно их средней линии;

непараллельность рабочих поверхностей МГ и направляющих элементов (приводят к изменяющимся в зависимости от натяжения ленты перекосам);  
 перекосы направляющих роликов;  
 динамические перекосы от неточности резки магнитной ленты по ширине;  
 неравномерность растяжения МЛ по ширине, разные значения фазовых искажений каналов и межразрядного влияния символов в ЦМЗ.

Обычно раздельно определяют временной сдвиг между соседними и между крайними дорожками одного и того же БМГ. Наименьшую величину максимальных временных сдвигов удается достичь в рабочих зонах МТЛ с нулевой петлей [30]. Примерные значения величин динамических перекосов в высококачественной АМЗ приведены в табл. 1.12.

### 1.12. Динамический перекося и временная ошибка, мкс, для различных типов аппаратов

Скорость ленты, см/с	Динамический перекося между дорожками					Временная ошибка	
	соседними одного блока МГ		крайними одного блока МГ		соседними разных блоков МГ	FR-3700B	M14E
	FR-3700B	M14E	FR-3700B	M14E	FR-3700B		
304,8	± 0,15	± 0,15	± 0,4	± 0,5	± 0,75	± 0,25	± 1
152,4	± 0,3	± 0,3	± 0,75	± 1	± 1,5	± 0,35	± 2
76,2	± 0,6	± 0,6	± 1,5	± 2	± 3	± 0,5	± 4
38,1	± 1,2	± 1,2	± 3	± 4	± 6	± 0,75	± 8
19,05	± 2,4	± 2,4	± 6	± 8	± 12	± 1	± 16
9,52	± 4,8	± 4,8	± 12	± 16	± 24	± 2	± 32
4,76	± 9,6	± 9,6	± 24	± 32	± 48	± 5	± 64
2,38	± 19,2	—	± 48	—	± 96	± 10	—

Термин «временная ошибка» применяют, если говорят об ошибке по времени воспроизведения записанного на МЛ события на ограниченном отрезке времени воспроизведения. При этом сам параметр выражается в максимальном смещении воспроизводимого импульса (или нуль-пересечения сигнала) во времени, когда отсчет ведется относительно предыдущего импульса или нуль-перехода. К основным причинам, вызывающим временные ошибки, относят нестабильность скорости движения МЛ, наличие переходных помех в многодорожечных БМГ, разброс параметров устройств записи и формирователей выходного сигнала воспроизведения, межразрядное влияние символов кодовой последовательности при ЦМЗ и др. Искажения временного масштаба отражают точность автоматического регулирования скорости воспроизведения. Искажение масштаба времени прямо пропорционально амплитуде КС и обратно пропорционально ее частоте. Обычно временная ошибка возрастает и при увеличении интервалов измерения. Значения временных ошибок для современной АМЗ колеблются от десятых долей до десятков и сотен микросекунд.

*Достоверность (D), бит/сбой*, — это величина, обратная средней вероятности возникновения ошибки (сбоя)  $P_{ош}$  при ЦМЗ:  $D = 1/P_{ош}$ . Так как поток ошибок представляет собой дискретный случайный процесс, то и величины  $D$  и  $P_{ош}$  являются случайными и могут колебаться в широких пределах в зависимости от условий измерений, которые оказываются тем точнее, чем больше объем усредняемого статистического материала. Достаточным считается такой объем, при котором средняя вероятность ошибки  $P_{ош}$  с доверительной вероятностью  $p_{дов} = 0,95$  заключена в пределах заданного доверительного интервала  $\Delta p_{дов}$  [5]. Излишне точные измерения достоверности лишены практического смысла. Обычно достаточно округлить результаты до значений ряда  $D = \dots 10^{n-1}; 2 \cdot 10^{n-1}; 5 \cdot 10^{n-1}; 10^n; 2 \cdot 10^n \dots$  (бит/сбой). Основными

причинами ошибок являются микродефекты рабочего слоя МЛ, приводящие к значительным кратковременным уменьшениям уровня сигнала.

Определенное значение имеет также неравномерность скорости движения МЛ, нарушающая работу систем синхронизации и демодуляции сигнала. При параллельном формате ЦМЗ большое значение имеют характеристики динамического перекося строки. Требования к достоверности зависят от плотности записи и назначения аппаратуры. При высокой плотности записи малоотвественной информации допустимы значения  $D = 10^4 \dots 10^5$  бит/сбой. В большинстве случаев требуется  $D = 10^6 \dots 10^7$  бит/сбой. Дальнейшее увеличение достоверности (до  $D = 10^8 \dots 10^{10}$ ) достигается специальным отбором носителей и применением систем обнаружения и коррекции ошибок.

*Паразитная амплитудная модуляция ПАМ* — специфическая внутренняя помеха КМЗВ — одна из основных причин снижения верности передачи при ПМЗ, представляющая собой сложный стационарный (для данной партии носителя) случайный процесс, в структуре которого можно выделить непрерывные (флуктуирующие) компоненты, обусловленные несовершенством механического контакта в системе головка—носитель и неоднородностью рабочего слоя лент, дискретную (импульсную) компоненту, вызываемую эпизодически повторяющимися дефектами рабочего слоя носителя.

Для всех компонент ПАМ характерна зависимость глубины модуляции от плотности записи  $\nu$ . При увеличении  $\nu$  выше определенного предела ПАМ быстро нарастает и при определенном значении  $\nu \geq \nu_{\max}$  существенно декоррелирует сигнал. При аппаратурном анализе воспроизведенного сигнала необходимо оценивать параметры ПАМ в соответствии с общими методами исследования случайных процессов, т. е. определять среднее значение (математическое ожидание) огибающей  $m_1$ , ее среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , дисперсию (мощность) переменной составляющей огибающей  $\sigma^2$ , функцию корреляции  $B(\tau)$ , средний энергетический спектр  $P(\omega)$  и др. При оценке глубины ПАМ по экрану осциллографа производят субъективное усреднение максимальных и минимальных значений сигнала  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$ . Учитывая преимущественно односторонний характер ПАМ (в сторону уменьшения сигнала), глубину модуляции лучше оценивать не по классическим формулам для АМ, а по критерию Иштуткина  $k_{\text{пam}} = (U_{\max} - U_{\min})/2U_{\max}$ .

**Конструктивные параметры АМЗ.** Число скоростей характеризует оперативные возможности и универсальность аппаратуры. Стационарные высококачественные аппараты имеют большое число, часто все восемь, стандартных скоростей. Скорости перемотки ленты вперед или назад обычно в 2—10 раз выше верхней рабочей скорости и составляют 3...9 м/с.

*Типоразмеры МЛ и катушек* стандартизованы, стандарты определяют длину ленты в рулоне, а значит, и время непрерывной работы АМЗ в режиме ЗВ.

*Число дорожек ЗВ* (число каналов) характеризует максимально возможное количество одновременно регистрируемых процессов или число разрядов цифрового кода (при параллельной записи): для МЛ шириной 6,25 мм — 4 и 7 дорожек; для 12,7 мм — 7,14 и 21 дорожка; для 25,4 мм — 7,14, 28 и 42 дорожки. Стандарт рекомендует применение БМГ с шахматным расположением дорожек при числе дорожек более четырех. В накопителях информации на МЛ (НМЛ) стандартного вычислительного формата принято девять дорожек на ленте шириной 12,7 мм. В АЦМЗ используют и более высокие плотности — до 64 дорожек на МЛ шириной 25,4 мм.

Размеры и расположение дорожек на МЛ стандартизованы для обеспечения возможности обмена информацией. Стандартное положение дорожек на ленте, т. е. расстояние от центральной линии базовой дорожки до центральной линии любой дорожки при различной ширине лент, приведено в табл. 1.13. За базовую дорожки принята дорожка № 1. Положение ее центральной линии относительно базового края МЛ и другие параметры приведены в табл. 1.14. Дорожки нумеруются, начиная с дорожки № 1, сверху вниз, так что если смотреть на ленту со стороны рабочего слоя, то записанный ранее сигнал



### 1.13. Расстояние от центра базовой до центра любой дорожки, мм

Номер дорожки	При числе дорожек и ширине МЛ, мм							
	$\frac{42}{25,4}$	$\frac{21}{12,7}$	$\frac{28}{25,4}$	$\frac{14}{25,4}$	$\frac{14}{12,7}$	$\frac{7}{12,7}$	$\frac{7}{6,25}$	$\frac{4}{6,25}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,585	0,585	0,89	1,78	0,89	1,78	0,89	1,78
3	1,17	1,17	1,78	3,56	1,78	3,56	1,78	3,56
4	1,755	1,755	2,67	5,34	2,67	5,34	2,67	5,34
5	2,34	2,34	3,56	7,12	3,56	7,12	3,56	
6	2,925	2,925	4,45	8,9	4,45	8,9	4,45	
7	3,51	3,51	5,34	10,68	5,34	10,68	5,34	
8	4,095	4,095	6,23	12,46	6,23			
9	4,68	4,68	7,12	14,24	7,12			
10	5,265	5,265	8,01	16,02	8,01			
11	5,85	5,85	8,9	17,8	8,9			
12	6,435	6,435	9,79	19,58	9,79			
13	7,02	7,02	10,68	21,36	10,68			
14	7,605	7,605	11,57	23,14	11,57			
15	8,19	8,19	12,46					
16	8,775	8,775	13,36					
17	9,36	9,36	14,24					
18	9,945	9,945	15,13					
19	10,53	10,53	16,02					
20	11,115	11,115	16,91					
21	11,7	11,7	17,8					
22	12,285		18,69					
23	12,87		19,58					
24	13,455		20,47					
25	14,04		21,36					
26	14,625		22,25					
27	15,21		23,14					
28	15,795		24,03					
29	16,38							
30	16,965							
31	17,55							
32	18,135							
33	18,72							
34	19,305							
35	19,89							
36	20,475							
37	21,06							
38	21,645							
39	22,23							
40	22,815							
41	23,4							
42	23,985							

Примечание. Числитель — число дорожек, знаменатель — ширина дорожки.

### 1 14. Основные параметры дорожек многодорожечной записи на МЛ, мм

Параметр	При числе дорожек и ширине МЛ, мм							
	$\frac{42}{25,4}$	$\frac{21}{12,7}$	$\frac{28}{25,4}$	$\frac{14}{25,4}$	$\frac{14}{12,7}$	$\frac{7}{12,7}$	$\frac{7}{25}$	$\frac{4}{6,25}$
Ширина дорожки	$0,46 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$	$1,27 \pm 0,13$	$0,64 \pm 0,03$	$1,27 \pm 0,13$	$0,64 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,05$
Расстояние от базовой кромки ленты до центральной линии дорожки № 1	$0,7 \pm 0,04$	$0,44 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,04$	$1,12 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,04$	$1,02 \pm 0,05$	$0,43 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,05$
Допуск на расположение дорожек	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$

Примечание. В числителе — число дорожек, в знаменателе — ширина ленты.

находится справа от наблюдателя. Кроме того, для БМГ с шахматным расположением дорожек нормировано продольное смещение информации, характеризующее расстояние между зонами, записанными одновременно на четных и нечетных дорожках. Этот параметр обычно определяют как расстояние между центральными линиями рабочих зазоров двух основных блоков с шахматным расположением головок, когда зазоры расположены в плоскости ленты. Для фиксированных блоков головок расстояние составляет  $(38,1 \pm 0,03)$  мм, для фиксируемых блоков  $(38,1 \pm 0,05)$  мм.

*Время пуска (старта)* при ЗВ — это время, за которое МЛ набирает номинальную скорость (с точностью до допустимой величины ДС) из состояния покоя. Оно определяется скоростью движения ленты, емкостью катушек, мощностью двигателей, инерцией элементов тракта МТЛ и стандартизованным межзонным промежутком. Для обычной АМЗ без буферных накопителей время пуска составляет 0,5—10 с. В старт-стопных МТЛ вычислительной техники время пуска при скорости движения ленты 2—3 м/с составляет 5—15 мс.

*Время остановки (стопа)* — это время перехода ленты в рабочей зоне из состояния движения в состояние покоя. Для АМЗ без буферных накопителей оно составляет единицы секунд, для аппаратов вычислительной техники, работающих в старт-стопном режиме, 1—15 мс.

*Натяжение МЛ* характеризует величину мгновенной или средней силы упругой продольной деформации ленты. В АМЗ нормируют среднее значение натяжения. Изменение натяжения вызывает изменения средней скорости движения МЛ, удельного давления ее на МГ и плотности намотки ленты в рулоне. Повышенное натяжение приводит к значительной деформации МЛ и увеличенному износу головок; пониженное — к нарушению контакта лента — головка и неплотной намотке на катушки. Рекомендации по натяжению МЛ в подматывающей ветви для различных скоростей приведены в табл. 1.15.

*Способы записи* прямой (ПМЗ), модуляционной (ММЗ) и цифровой (ЦМЗ) характеризуют процесс преобразования сигнала в КМЗВ. Из модуляционных способов записи (амплитудная (АМ), широтно-импульсная (ШИМ), частотная (ЧМ) модуляции и др.) наиболее широко применяется ЧМ-запись (подробнее см. гл. 1.1, 6.2, 6.4). От способа записи и вида модуляции зависит эффективность использования полосы пропускания КМЗВ (табл. 1.16).

*Параметры входа и выхода* характеризуют согласуемость АМЗ с другим оборудованием по входу и выходу. К таким параметрам относят входное и выходное сопротивление, уровни входных и выходных сигналов, полярность и длительность входных и выходных импульсов для цифровой записи и др. Эти параметры являются фиксированными для данного типа АМЗ и требуют лишь периодического контроля в процессе ее выпуска.

### 1.15. Рекомендуемые натяжения МЛ шириной 25,4 мм в подматывающей ветви, Н

Скорость ленты, см/с	При толщине ленты, мкм			
	26	31	37	50
4,76	0,73 ± 0,04	0,78 ± 0,047	0,78 ± 0,047	1,18 ± 0,094
9,52	0,83 ± 0,05	0,88 ± 0,053	0,93 ± 0,056	1,32 ± 0,1
19,05	0,98 ± 0,078	1,08 ± 0,08	1,08 ± 0,08	1,42 ± 0,14
38,1	1,08 ± 0,08	1,18 ± 0,12	1,27 ± 0,1	1,57 ± 0,157
76,2	1,22 ± 0,122	1,57 ± 0,157	1,67 ± 0,167	2,25 ± 0,27
152,4	1,47 ± 0,147	1,96 ± 0,196	2,25 ± 0,225	2,74 ± 0,41
800	2,25 ± 0,34	2,74 ± 0,41	3,04 ± 0,456	3,53 ± 0,7

### 1.16. Эффективность использования полосы пропускания КМЗВ при различных способах записи

ПМЗ	ЧМ-запись с полосами частот				АМ	ШИМ	ИКМ
	узкой	средней	широкой				
			I группа	II группа			
1	0,1	0,08	0,053	0,2	0,04—0,01	0,02—0,005	0,01—0,001

К эксплуатационным параметрам АМЗ относятся:

способность аппаратуры выполнять свои функции в условиях высоких и низких температур и давлений воздуха или газа, повышенной и пониженной влажности;

устойчивость к ударным и вибрационным перегрузкам;

заданные напряжения питания и потребляемая мощность, надежность и др.

Эксплуатационные требования к АМЗ определяются видом объектов размещения (стационарное помещение, самолет, корабль, автомашина и др.). На подвижных объектах АМЗ подвергается механическим воздействиям, поэтому АМЗ, обеспечивающая заданные параметры в условиях воздействия вибраций и ударов, называется виброустойчивой и удароустойчивой, противостоящая разрушающему действию длительных вибраций и ударов и после этого нормально выполняющая свои функции — вибропрочной и ударопрочной. Согласно ГОСТ 16962—71, по вибрационным воздействиям для аппаратуры установлено 20 степеней жесткости, по ударным — 4 и 8, по линейным нагрузкам — 7 (табл. 1.17). Значения воздействующих климатических факторов внешней среды и соответствующие им степени жесткости аппаратуры согласно ГОСТ 16962—71 приведены в табл. 1.18 и 1.19.

Технико-экономические показатели уровня разработки определяются основными параметрами АМЗ, на которые составляют технико-экономическую характеристику (ТЭХ) и карту технического уровня и качества (КУ). ТЭХ необходима для обеспечения и ускорения подготовки и организации серийного производства аппаратуры. КУ используют для оценки качества аппаратуры при определении целесообразности дальнейшей разработки или внедрения ее в производство, для государственной или отраслевой аттестации, модернизации аппаратуры или снятия ее с производства и эксплуатации. ТЭХ и КУ выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.116—71. ТЭХ представляют собой систему основных технико-экономических показателей

### 1.17. Требования к АМЗ по механическим воздействиям

Нагрузка	Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, g	Длительность удара, мс	Степень жесткости
Вибрационная	1—35	0,5	—	I
	1—60	1; 2		II; III
	1—80 1—100	5 1		IV V
	1—200	5; 10		VI; VII
	1—600	5; 10		VIII; IX
	1—1000	10		X
	1—2000	5; 10; 15; 20		XI; XII; XIII; XIV
	1—3000	20		XV
	1—5000	10; 20; 30; 40		XVI; XVII; XVIII; XIX
	100—5000	40		XX
Ударная: многократная	—	15	2—15	I
		40	2—10	II
одиночная	—	75	2—6	III
		100	1—3	IV
		4	40—60	I
		20	20—50	II
		75	2—6	III
		150	1—3	IV
		500	1—2	V
		1000	0,2—1	VI
		1500	0,2—0,5	VII
		3000	0,2—0,5	VIII
Линейная (центробежная)	—	10	—	I
		25		II
		50		III
		100		IV
		150		V
		200		VI
		500		VII

### 1.18. Требования к АМЗ по климатическим воздействиям

Воздействующий фактор	Величина	Степень жесткости	Воздействующий фактор	Величина	Степень жесткости
Температура воздуха или другого газа при эксплуатации, °С	<i>Верхнее значение</i>		При хранении и транспортировании	<i>Верхнее значение</i>	I
	40	I		50	II
	45	II			
	50	III			
	55	IV			
	60	V			
	60	VI			
	70	VI			
	85	VII			
	100	VIII			
	125	IX			
	155	X			
	200	XI	Пониженное атмосферное давление, Па	7·10 <sup>4</sup>	I
	250	XII		5,3·10 <sup>4</sup>	II
	315	XIII		2,6·10 <sup>4</sup>	III
	400	XIV		1,2·10 <sup>4</sup>	IV
	500	XV		2·10 <sup>3</sup>	V
				667	VI
				133	VII
				13,3	VIII
			0,13	IX	
			1,3·10 <sup>-4</sup>	X	
	<i>Нижнее значение</i>		Повышенное давление воздуха или другого газа, МПа		
	1	I			
	-5	II			
	-10	III			
	-25	IV			
	-30	V			
	-40	VI			
	-45	VII			
	-60	VIII			
	-85	IX			
			0,15	I	
			0,3	II	

### 1.19. Требования к АМЗ по влагустойчивости

Относительная влажность		Продолжительность воздействия в течение года, мес	Степень жесткости
Верхнее значение при t = 25°С* и ниже	Среднемесячное значение в наиболее теплый и влажный период при 23°С		
80% без конденсации влаги	65%	12	I
98% без конденсации влаги	80%	2	II
		6	III

Относительная влажность		Продолжительность воздействия в течение года, мес	Степень жесткости
Верхнее значение при $t = 25^\circ \text{C}$ * и ниже	Среднемесячное значение в наиболее теплый и влажный период при $20^\circ \text{C}$		
100% с конденсацией влаги	80%	6	IV
100% с конденсацией влаги	90%	12	V
98%** без конденсации влаги	80%***	3	VI
		12	VII
100%** с конденсацией влаги	90%***	12	VII

- \* При более высоких температурах относительная влажность ниже.
- \*\* При  $35^\circ \text{C}$  и ниже.
- \*\*\* При  $27^\circ \text{C}$ .

аппаратуры, которые условно разбиты на четыре основные группы показателей: технические и эксплуатационные, конструктивно-технологические, производственные, экономические. КУ включает в себя следующие основные показатели качества аппаратуры: назначения, надежности и долговечности, технологичности, эргономические и эстетические, стандартизации и унификации, патентно-правовые, экономические.

## Глава 2

### МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ И НОСИТЕЛИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

#### 1. МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ

Магнитные головки (МГ) и носители магнитной записи являются основным звеном АМЗ, определяющим частотный и динамический диапазоны, АЧХ, ФЧХ, нелинейность, достоверность, надежность и др.

Магнитными головками называют электромагнитные устройства, предназначенные для обработки информации в виде электрических, магнитных и электромагнитных сигналов в процессе записи, воспроизведения и стирания на магнитных носителях.

По выполняемым функциям различают головки записывающие (ГЗ), воспроизводящие (ГВ) и стирающие (ГС). Магнитные головки и блоки МГ (БМГ), используемые для записи, воспроизведения и стирания поочередно, называют универсальными (ГУ), одновременно — комбинированными (ГК). По принципу действия ГВ делят на индукционные и потокочувствительные (ПЧГ). К индукционным МГ относят ГЗ, ГС и большинство ГВ, использующих закон электромагнитной индукции ( $E \sim d\Phi/dt$ ). Воспроизводящие МГ, чувствительные непосредственно к величине магнитного потока ( $E \sim \Phi$ ), называют потокочувствительными.

**Особенности конструкции МГ.** Конструктивно МГ содержит сердечник 1, прокладки рабочего 2 и дополнительного 3 зазоров, обмотку 4 (рис. 2.1), корпус 1 и экраны 2 (рис. 2.2) [6]. Различают сердечники, состоящие из полу-сердечников, набранных из С-образных пластин магнитомягкого материала; образованные изогнутой пластиной или пленкой; состоящие из полусердечников ферритов; содержащие полюсные наконечники. При необходимом максимально плотном наборе пластин в полусердечнике толщина отдельных пластин и клеевых (изолирующих) прослоек между ними определяется допустимыми потерями на вихревые токи. Ширина сердечника равна длине рабочего зазора и определяет ширину дорожки записи, воспроизведения и стирания. Обычно ширина сердечника ГС несколько больше, а ГВ — несколько меньше, чем сердечника ГЗ. В универсальных МГ и многорожечных БМГ с высокой поперечной плотностью записи-воспроизведения ширина сердечника определяется заданной шириной дорожки записи.

Для фиксации рабочего зазора МГ, защиты его кромок от разрушения, а также исключения короткозамкнутых витков используют тонкую немагнитную фольгу из металлического проката, слюды, пластмассы; проводящую или непроводящую пленку, полученную напылением, осаждением; стеклянный или полимерный слой (иногда с керамическим наполнителем). Дополнительный зазор формируют аналогично рабочему. Обмотку размещают на изолирующем каркасе. Исходя из требований компактного размещения большого количества витков для увеличения ЭДС воспроизведения, провод обмотки ГВ выбирают минимального диаметра, допустимого по прочности. В ГЗ и ГС применяют провод увеличенной площади сечения. Количество витков ГЗ, ГВ и ГС зависит от заданной индуктивности, определяемой согласованием с электронными блоками.

Для уменьшения внешних наводок и собственного излучения МГ используют внешний экран. В многорожечных БМГ для уменьшения влияния между дорожками при записи и воспроизведении применяют электрические, магнитные или комбинированные экраны из тонких пластин или пленок, выполненные конструктивно сплошными или разрезными. Пластины экранов и сердечников МГ из магнитомягких металлических материалов проходят предварительную термообработку. Корпус МГ служит для фиксации сердечников, экранов, упоров и других элементов, для установки и юстировки МГ в аппарате, а также позволяет выполнять прецизионные операции по формированию зазоров. Обмотку, выводы и места распайки МГ для герметизации заливают компаундом.

**Основные материалы для МГ.** Для сердечников и экранов МГ применяют магнитные материалы с высокими магнитной проницаемостью, индукцией насыщения, точкой Кюри и твердостью, низкими коэрцитивной силой, остаточной индукцией, удельной электрической проводимостью и пористостью. К таким материалам относятся пермаллоевые сплавы, сендаст и магнитомягкие ферриты.

Применяют пермаллоевые сплавы марок 79НМ, 80НХС, 81НМА — с наименьшей магнитной проницаемостью в слабых полях; 50НХС — с высокой магнитной проницаемостью и повышенным удельным электросопротивлением; 50Н — с повышенными магнитной проницаемостью и индукцией технического насыщения. Промышленность выпускает пермаллоевые сплавы в виде холоднокатаных нетермообработанных лент трех классов: с нормальными (I), повышенными (II) и высокими (III) магнитными свойствами, которые можно получить только после термообработки. Размеры и предельные отклонения пермаллоевых лент приведены в табл. 2.1, магнитные свойства сплавов — в табл. 2.2, физические и механические — в табл. 2.3. Их твердость по шкале Виккерса — от 0,6 до 1 ГПа. Лучшим материалом для сердечников и экранов МГ является сплав марки 81НМА, обладающий высокой проницаемостью, твердостью и стабильностью свойств. Перспективным материалом для сердечников и экранов МГ является аморфный пермаллой на основе Fe—Ni—Co с присадками, изготавливаемый по специальной технологии. Пермаллоевые сплавы легируют редкоземельными элементами, а также создают новые композиционные материалы введением в состав равномерно распределенных

Рис. 2.1. Схематическое изображение магнитной головки:

$\delta_1, \delta_2$  — ширина;  $t_1, t_2$  — длина;  $h_1, h_2$  — глубина соответственно рабочего и дополнительного зазоров;  $l_{cp}, S_{cp}$  — средние длина и сечение магнитопровода

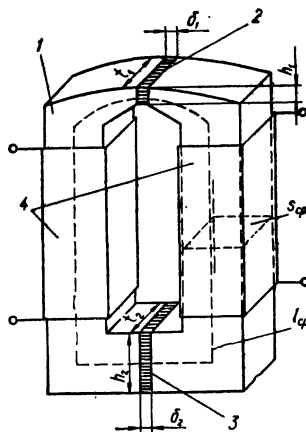
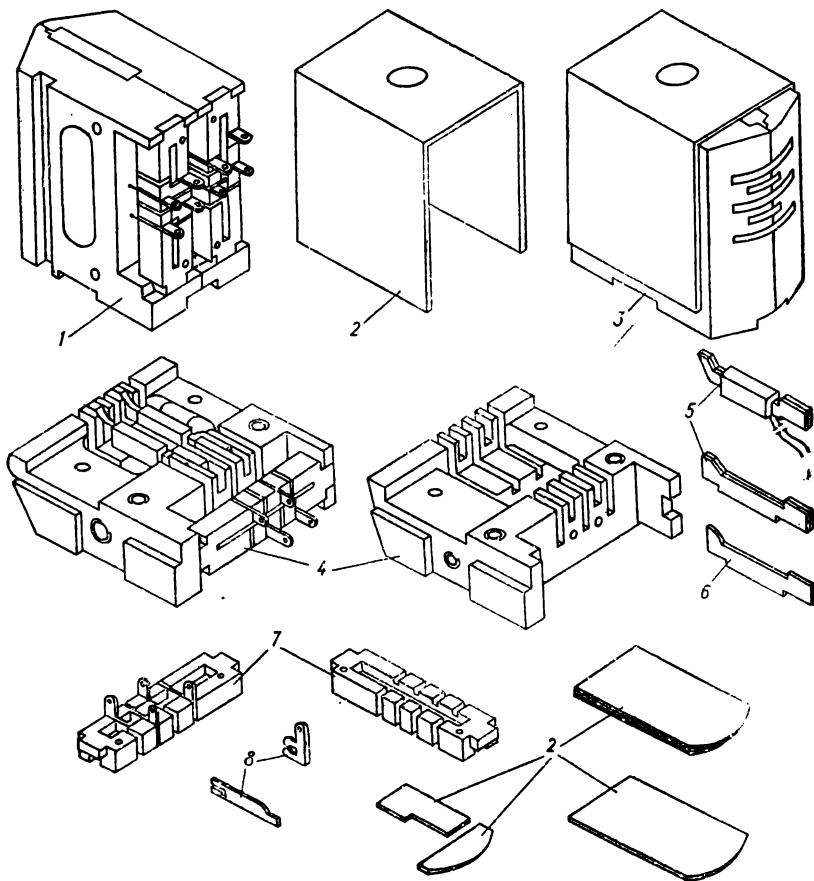


Рис. 2.2. Конструкция многорожечного БМГ:

1 — корпус; 2 — экраны; 3 — БМГ в сборке; 4 — полублоки; 5 — сердечник; 6 — пластины; 7 — платы; 8 — лепестки





частиц износостойкого материала до образования структур феррит-пермаллового типа.

Широко применяется для сердечников и наконечников МГ сплав сендаст, примерный состав которого (6—12)% Si, (4—9)% Al, остальное Fe. В табл. 2.4 приведены основные параметры сендаста и его модификаций — спиналлоя и сеналлоя, разработанных фирмами США и Японии. В СССР для наконечников составных МГ используют сендастовый сплав марки ЮСЮ-ВИ. Имея высокие магнитные характеристики, этот материал обладает твердостью и износостойкостью в несколько раз большей, чем пермаллой. Кроме того, преимуществами сендаста являются большая индукция насыщения, высокая точка Кюри, отсутствие специфических магнитострикционных шумов; недостатки — низкое удельное электрическое сопротивление, хрупкость и сложность механической обработки. Для МГ записи и воспроизведения сигналов

## 2.1. Размеры пермалловых лент

Толщина, мм	Допуск, мкм	Ширина, мм	Длина, м, не менее
0,02	—3	70, 80, 90, 100	30
0,05	—8	70, 80, 90, 100, 150, 200, 250	
0,08	—10	80, 90, 100, 150, 200, 250	20
0,1	—20		
0,15	—20		
0,2	—30		

высоких частот, где существенно влияние поверхностного эффекта и потерь на вихревые токи, применяется способ образования многослойных структур из тонких пленок сендаста и прослоек SiO<sub>2</sub>.

Разработаны и широко применяются для МГ высокоплотные ферриты обычной технологии, горячепрессованные (ГПФ) и монокристаллические (МКФ) ферриты Ni-Zn и Mn-Zn состава (табл. 2.4). Преимущества МКФ — большая твердость, отсутствие пор и большая по сравнению с другими ферритами индукция насыщения; недостатки — относительно не-

большое удельное электрическое сопротивление, остаточные внутренние напряжения, неоднородность свойств по объему заготовки и по направлениям (анизотропия), что усложняет изготовление МГ. Преимущества ГПФ — изотропность свойств и возможность варьирования их в широких пределах; недостатки — поры и границы между зернами, являющиеся центрами эрозии и снижающие износостойкость головок. Общие недостатки ферритов обусловлены присущими им структурными дефектами и хрупкостью, невысокой индукцией насыщения и повышенными магнитострикционными шумами.

Для изготовления корпусов головок используют металлы и пластмассы (в том числе с керамическим наполнителем). Для многорожечных блоков МГ разработан медно-никелевый сплав 65Т, отличающийся высокой коррозионной стойкостью, коэффициентом температурного расширения, близким к характеристикам пермалловых сплавов. Кроме того, он удовлетворительно обрабатывается фрезерованием и шлифованием. Разработаны также термостойкий клей типа УП-5-181 и компаунд типа УП-5-162 с повышенной прочностью и малой усадкой. Применение указанных материалов в сочетании с пермаллоем марки 81НМА позволило создать БМГ с минимальным отклонением характеристик от номинальных.

Унифицированные многорожечные блоки магнитных головок (БМГ). Конструктивное неразъемное объединение двух и более МГ, каждая из которых предназначена для отдельной дорожки записи, воспроизведения и стирания, называют многорожечным БМГ. Блоки имеют модификации полублочной конструкции, обеспечивающие наиболее стабильные и высокие рабочие параметры (рис. 2.2), и отличаются:

- материалом корпуса (металл, пластмасса и др.);
- способом его изготовления (фрезерование, точное литье, электроискровая порезка, прессование и др.);
- материалом сердечников (пермаллой, сендаст, феррит);

## 2.2. Магнитные свойства пермаллоевых сплавов

Марка сплава	Толщина листа, мм	Относительная магнитная проницаемость		Коэрцитивная сила, А/м	Индукция технического насыщения, Тл
		Начальная	Максимальная		
79НМ	0,02	16 000	70 000	4	0,75
	0,05; 0,08	16 000	90 000	3,2	
	0,1; 0,15	20 000	120 000	2,4	
	0,2	22 000	130 000	1,6	
80НХС	0,02	18 000	70 000	4	0,63
	0,05; 0,08	20 000	90 000	3,2	
	0,1; 0,15	22 000	120 000	2,4	
	0,2	28 000	130 000	1,6	
50НХС	0,02	1500	15 000	20	1
	0,05; 0,08	2000	20 000	16	
	0,1; 0,15	2500	25 000	13	
	0,2	3000	28 000	10	
50Н	0,05; 0,08	2000	20 000	20	1,5
	0,1; 0,15	23 000	25 000	16	
	0,2	2600	30 000	12	
81НМА	0,02; 0,05	50 000	—	—	0,5
	0,1; 0,2	70 000	250 000	1,2	

### 2.3. Физические и механические свойства пермаллоевых сплавов

Марка сплава	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Температура точки Кюри, °С	Магнитострелка насыщения	Твердость по Бринеллю*, ГПа	Предел прочности, ГПа	Предел текучести*, ГПа	Модуль нормальной упругости, ГПа	Относительное удлинение*, %	Относительное сжатие*, %
79НМ	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$0,55 \cdot 10^{-6}$	430	$2 \cdot 10^6$	2,1/1,2	1/0,5	1/0,15	2,1	3/50	—
80НХС	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$0,62 \cdot 10^{-6}$	330	—	2,4/1,3	0,9/0,5	0,9/0,15	—	4/40	15
81НМА	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	260	$0,5 \cdot 10^6$	2,55/1,6	1,3/0,6	1,2/0,25	2,1	2/50	—
50НХС	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	360	—	1/1,3	0,9/0,5	0,8/0,15	—	2/40	—
50Н	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$	500	$25 \cdot 10^6$	1,7/1,3	0,8/0,4	0,7/0,15	1,6	3/35	15/60

\* В числителе значение для сплава в закаленном состоянии, в знаменателе—после термической обработки.

### 2.4. Свойства сендастовых сплавов и ферритов

Параметр	Сплавы			Ферриты				
	Сендаст	Спиналлоу	Сеналлой	Mn-Zn ГПФ		Ni-Zn ГПФ		Mn-Zn МКФ
Начальная магнитная проницаемость при частоте, МГц:								
0	30 000	10 000	30 000	5000	30 000	300	1500	25 000
5	50	200	80	720	480	330	580	400
Индукция насыщения $B_s$ , Тл	1,1	0,9	1,1	0,56	0,36	0,44	0,37	0,55
Коэрцитивная сила $H_c$ , А/м	3,2	8,0	2,0	12	1,6	28	12	0,8
Точка Кюри $\theta$ , °С	500	500	500	300	90	200	150	150
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	—	0,1	0,1	$10^2$	$10^2$	0,1
Пористость, %	0	0,1	—	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Твердость по шкале Виккерса, ГПа	4,4	5,4	4,9	6,4	6,4	7,4	7,4	7,4

способом соединения полублоков между собой (с помощью пружин, винтов, штифтов, металлических скоб, специальных заливочных компаундов, лазерной сварки и т. д.);

способом формирования рабочего зазора (прокладка между сердечниками, напыление и электроосаждение на полюса соответствующего покрытия, заливка рабочего зазора стеклом, полимером и др.);

профилем рабочей поверхности (цилиндрическая, гиперболическая со скосами, притертая абразивной лентой);

типом намотки (каркасная, бескаркасная, изготовленная методом печатного монтажа и т. д.).

В многодорожечных БМГ достигается: отклонение линии рабочих зазоров от перпендикуляра к установочной поверхности в пределах 15—30°;

точность ширины дорожки и расстояния между центральными линиями соседних дорожек 0,01 мм (в отдельных случаях 0,005 мм); точность совпадения рабочих зазоров отдельных МГ блока в пределах от 0,5 до 1 мкм. Взаимные угловые перекосы рабочих зазоров БМГ практически отсутствуют. Многодорожечные БМГ полублочной конструкции имеют идентичные параметры, что обеспечивает взаимозаменяемость и исключает необходимость существенной подстройки АМЗ при смене МГ.

По ОСТ4.325.000 разработаны многодорожечные БМГ, предназначенные для использования в АМЗ специального назначения по ГОСТ 20939—75 и ГОСТ 20940—75. Количество дорожек от 2 до 32, ширина дорожек от 0,4 до 1 мм, ширина рабочего зазора головок записи 3 и 5 мкм, воспроизведения — 3 и 1,5 мкм, стирания —  $2 \times 100$  мкм.

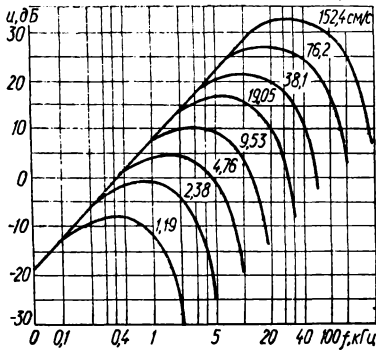


Рис. 2.3. Амплитудно-частотные характеристики записи-воспроизведения БМГ ( $\Gamma_3 - \delta_1 = 5$  мкм;  $\Gamma_B - \delta_1 = 1,5$  мкм;  $\Phi_{уд} = 150$  нВб/м;  $K_{400} < < 5\%$ ; тип ленты И4404)

Предельное отклонение от номинальных значений индуктивности и добротности не превышает  $\pm 20\%$ . ЭДС воспроизведения  $\pm 15\%$ , АЧХ запи-

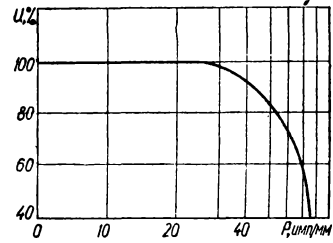


Рис. 2.4. Плотностная характеристика уровня ( $\Gamma_3 - \delta_1 = 5$  мкм;  $\Gamma_B - \delta_1 = 3$  мкм;  $\Phi_{уд} = \Phi_{уд \max}$  при  $P = 64$  нмП./мм; тип ленты И4406)

си-воспроизведения  $\pm 3$  и  $\pm 4$  дБ при минимальной длине волны соответственно 10 и 5 мкм. Основные характеристики БМГ показаны на рис. 2.3 и 2.4. В СССР разработаны и серийно изготавливаются пермаллоевые и ферритовые БМГ для бытовых и профессиональных АМЗ. Основные типы и характеристики этих головок приведены в табл. 2.5.

Магнитные головки для видеозаписи. Уменьшение рассеяния магнитного потока и высокочастотных потерь, увеличение износостойчивости и надежности контакта определяют минимальные размеры видеоголовок (ВГ), конфигурацию сердечника, нанесение обмотки и использование для магнитопроводов специальных материалов.

Для видеоманитофонов (ВМ) применяются в основном два типа ВГ: составные (с наконечниками) и несоставные (ферритовые). Недостатки составной конструкции (феррит-сендаст) — частотные потери в металлических наконечниках, невысокая износостойчивость и относительная сложность изготовления. Преимущества ферритовых ВГ — простота конструкции, высокая износостойчивость, минимальные потери на вихревые токи; недостатки — специфический шум магнестрикционного характера, хрупкость ферритов, склонность к образованию сколов и трещин, что приводит к разрушению ВГ, особенно в месте контакта с носителем. Эти недостатки отсутствуют в магнитных сплавах (типа сендаст); кроме того, у них выше индукция насыщения, что существенно при записи. Для наконечников и сердечников ВГ используют материалы сендаст, ГПФ и МКФ.

Конструкция ВГ определяется шириной дорожки записи (от 0,025 до 0,25 мм), глубиной (от 0,03 до 0,15 мм), шириной рабочего зазора (от 0,4 до

## 2.5. Основные типы и характеристики БМГ для магнитофонов

Магнитофон	Головка		Дорожка		Ширина рабочего зазора, мкм	Количество витков	Индуктивность, мГн	Ток, мА		ЭДС воспроизведения, мВ, не менее	Частотная характеристика, дБ, не хуже	Мощность потерь, мВт, не более
	Тип	Количество	Количество	Ширина, мм				подмагничивающая	стирания			
Катушечный высшего класса	6А44.Н.1	4	4	1	7/10*	500	11—19	2,35	—	—	—	—
	6В44.Н.1			2	1000	80—120	—	—	0,33	6	—	
	6С44.1			1,2	200	125	0,5—1,3	—	80	—	—	100
Катушечный 1 класса стерео, моно	6А24.Н4.У	2	4	0,96	7/50*	800	15—25	2,7	—	—	—22	—
	6В24.Н4.У			1	3	720	60—95	—	—	0,375	—	—
	6С2419.2У			1,2	2×100	85	0,5—0,7	—	60	—	—	55
Катушечный 2 и 3 класса стерео, моно	6Д24.Н.1.О	2	4	1	3	760	60—95	1,8	—	0,33	—12	—
	6Д24.Н.4.О			1,2	250	800	60—95	—	—	0,38	7	—
	6С249.1.У			—	100	100	0,7—1,05	—	60	—	—	80
Катушечный 3 класса моно	6Д12П.2.О	1	2	2,7	4	2400	950—1350	0,8	—	2,4	2	—
	6Д12.Н.3.О			2,5	3	480	48—60	2,8	—	0,47	2	—
	6С129.1.У			3	250	200	1,4—2,1	—	60	—	—	45
Кассетный	3Д44.Н.1	2	4	0,6	1,5	1400	100—200	—	—	0,12	—	—
	3Д24.Н.1.У					1300	55—95	0,5	—	0,17	6±3	—
	3Д24.Н.1.О					1300	55—90	1,2	—	0,15	4±4	—
	3Д12.2.О	1	2	1,5	1,5	2×350	45—75	0,23	—	1,5	4±4	—
	6С124.1.О	2	100	2	100	90	0,2—0,4	—	100	—	—	80
3С124.1.У	2	2×100	2	2×100	90	0,22—0,37	—	80	—	—	40	

\* Ширина дополнительного зазора

2 мкм), количеством витков (от 4 до 30), индуктивностью (от 0,4 до 16 мкГн). Размеры окна под намотку от  $0,12 \times 0,3$  до  $0,5 \times 1$  мм, размеры сердечников от  $1,2 \times 2$  до  $5 \times 5$  мм, толщина сердечников от 0,1 до 0,4 мм и т. д. Наиболее распространенные конструкции ферритовых ВГ показаны на рис. 2.5. Ширина рабочего зазора выбирается из условия минимальных щелевых потерь на верхних частотах. Эффективная ширина зазора больше геометрической в 1,1—1,5 раза. Причиной этого является скругление кромок полюсов, механическое нарушение структуры, диффузия составляющих слоев (особенно PbO) в феррит. Серийно выпускаются два типа ВГ: ФГВ-1 и ФГВ-2 [29]. Материалом для изготовления сердечников является МКФ Мп-Zn состава. Головки с шириной рабочего зазора ( $0,7 \pm 0,2$ ) мкм, длиной 130 мкм, индуктивностью 1,8 мкГн (ФГВ-1) и 3,3 мкГн (ФГВ-2) предназначены для работы в диапазоне частот от 0,25 до 5,5 МГц при относительной скорости 8,1—11 м/с.

Магнитные головки для дисковых накопителей магнитной записи. Наиболее широко применяются «плавающие» магнитные головки (ПМГ), использующие аэродинамический эффект. Неконтакт (воздушный зазор), т. е. промежу-

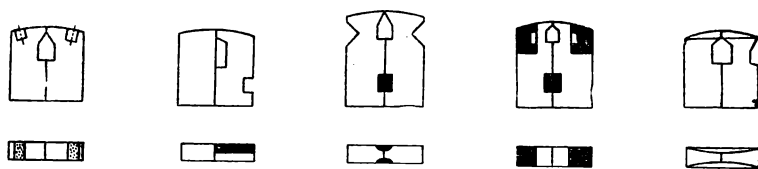


Рис. 2.5. Конструкции сердечников головок для видеозаписи

ток между поверхностью ПМГ в месте расположения рабочего зазора и внешней поверхностью рабочего слоя магнитного диска (МД), и характеристики магнитного слоя определяют параметры бесконтактных ПМГ: ширину рабочего зазора, которая должна быть не меньше величины неконтакта; глубину — минимальную (достигает 15—20 мкм), так как отсутствует постоянный износ. Кроме того, в конструкции МГ должны быть приняты меры по локализации магнитного поля записи у рабочего зазора. Величина неконтакта является определяющей для неравномерности АЧХ головки, расширения полосы записываемых частот, повышения поперечной и продольной плотности записи.

Корпус ПМГ состоит из особо твердой малопористой керамики (спеченный пирофиллит, ситалл, сапфир и др.). Пара твердая керамика — МД является наиболее надежной в случае касания между собой поверхностями, обработанными до минимальной шероховатости. В одних ПМГ сердечник вставляют (запаивают, приклеивают) в прецизионное отверстие корпуса, в других — сердечник составной, причем часть сердечника с обмоткой съемная. Для сердечников ПМГ наряду с пермаллоевыми сплавами и сендастом широко применяют ферриты (ГПФ, МКФ). Конструктивное оформление и способ сборки многорожечных ПМГ — пакетно-групповой. Существенный недостаток ПМГ — температурная нестабильность положения сердечников в корпусе (плавающем элементе). При небольших величинах неконтакта (0,5—1,5 мкм) и соответствующих рабочих зазорах головок сдвиг сердечника головки по отношению к рабочей поверхности несущего элемента 0,1—0,2 мкм отрицательно сказывается на устойчивости плавания и характеристиках пары головка — магнитный диск.

Потокочувствительные магнитные головки (ПЧГ), предназначенные для исследования медленно изменяющихся процессов (с частотой ниже 40 Гц), используются также для воспроизведения звуковых и более высоких частот. При этом ЭДС воспроизведения ПЧГ пропорциональна остаточному потоку носителя и не зависит от скорости его изменения, что существенно для сигналов, первоначальную форму которых необходимо сохранить при воспроизведении. Практически частотный диапазон ПЧГ ограничен снизу уменьшением

магнитного потока сцепления при длинах волн, больших протяженности рабочей поверхности головки, сверху — разрешающей способностью рабочего зазора, частотными потерями в магнитопроводе и отсутствием самокоррекции с ростом частоты.

Головки, основанные на модуляции воспроизводимого магнитного потока переменным потоком более высокой частоты с последующим параметрическим усилением, называют магнитомодуляционными (ММГ). Гальваномагнитными ПЧГ называют головки, использующие эффект Холла (МХГ), и головки, электрическое сопротивление которых зависит от величины магнитного поля, т. е. магниторезистивные головки (МРГ). Головки, управляющие световым лучом, называют магнитооптическими (МОГ). Конструктивные особенности ПЧГ состоят в разветвлении магнитопровода ММГ, отсутствии обмотки и размещении датчиков в дополнительном или рабочем зазоре МХГ и МОГ, миниатюризации МРГ.

С целью расширения частотного диапазона в ММГ и МРГ применяют сердечники из очень тонких пермаллоевых пленок. Недостатки ПЧГ — температурная зависимость ЭДС, небольшой динамический диапазон. Применяют ПЧГ для воспроизведения и расшифровки данных в вычислительной и измерительной технике, в автоматике и т. д.

**Интегральные магнитные головки (ИМГ)** — новое направление развития МГ по пути миниатюризации и увеличения плотности записи. Преимущества ИМГ: совмещение процессов изготовления материалов для головки и самой головки; возможность одновременного изготовления на подложке большого числа ИМГ с высокой точностью и воспроизводимостью их параметров; практически неограниченная миниатюризация, уменьшение ширины дорожки (шага) и т. д.; возможность автоматизации технологических процессов; ожидаемые более высокие параметры при записи сигналов ВЧ.

По конструкции ИМГ делят на горизонтальные и вертикальные. В головках горизонтальной конструкции магнитные пленки, образующие магнитопровод, параллельны плоскости носителя записи. В головках вертикальной конструкции магнитные пленки, формирующие рабочий зазор, перпендикулярны плоскости носителя. Оба типа ИМГ изготавливают по интегральной или гибридной технологии; в последнем случае сердечник или обмотку изготавливают из фольги, проволоки и т. д. В качестве материала сердечников используют пермаллой, сендаст, феррит; обмотки — медь, алюминий, серебро, золото; изоляционный слой —  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TaO}_3$ , титан и др.; корпуса-подложки — стекло, ситалл, кремний, сапфир и т. д. Недостатки ИМГ: большие токи записи и небольшая ЭДС.

Применяют ИМГ в основном для цифровой бесконтактной записи при больших относительных скоростях. Уменьшение ширины дорожки записи и низкая ЭДС воспроизведения одновитковых ИМГ привели к разработке магниторезистивных головок (МРГ). Магниторезистивным элементом являются тонкие пленки, например, из материала  $\text{NiFe}$ . В зависимости от конструкции толщина пленки определяет ширину дорожки записи (несколько микрометров) или разрешающую способность при воспроизведении (меньше микрометра).

**Элементы расчета МГ.** Магнитный сердечник, рабочий и дополнительный зазоры образуют магнитопровод головки (см. рис. 2.1). Магнитное сопротивление магнитопровода,  $\text{Гн}^{-1}$ ,

$$R_m = R_c + R_{p.з} + R_{д.з.}$$

где  $R_c = l_{cp}/(\mu_0 \mu_n S_{cp})$ ,  $R_{p.з} = \delta_1/(\mu_0 h_1 t_1)$ ,  $R_{д.з.} = \delta_2/(\mu_0 h_2 t_2)$  — магнитное сопротивление соответственно сердечника, рабочего и дополнительного зазоров;  $\mu_0 = 0,4\pi \cdot 10^{-9}$ ,  $\text{Гн/м}$  — магнитная постоянная;  $\mu_n$  — относительная магнитная проницаемость материала сердечника. Рассеяние не учитывается.

Эффективность МГ определяют через коэффициент использования магнитного потока при воспроизведении

$$A_m = \Phi_m / \Phi_{уд} = R_{p.з} / R_m.$$

где  $\Phi_M$  и  $\Phi_{уд}$  — магнитные потоки в магнитопроводе и с носителя соответственно.

Индуктивность обмотки МГ, Гн,

$$L = \omega^2 / R_M,$$

где  $\omega$  — количество витков.

Ток записи (подмагничивания или стирания), А,

$$i_M = H_M l_{ср} / \omega,$$

где  $H_M$  — поле намагничивания магнитопровода, А/м.

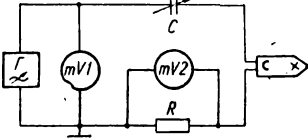


Рис. 2.6. Схема измерения мощности потерь магнитных головок стирания

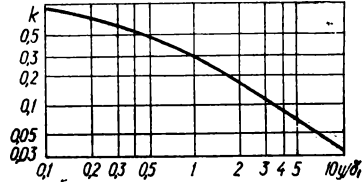


Рис. 2.7. Зависимость контактных потерь при записи

ЭДС воспроизведения магнитной головки, В,

$$E_B = \omega d\Phi_M / dt = \omega v d\Phi_M / dx,$$

где  $v = dx/dt$  — относительная скорость носителя записи, м/с.

Стирающие магнитные головки. Оптимальное значение ширины рабочего зазора  $\delta_1$  и частоты тока стирания  $f_{ст}$  выбирают из условия многократного (не менее 20 циклов) перемагничивания наименьшего участка носителя записи:  $\delta_1 f_{ст} = 20v$ . Ампервитки обмотки головок

$$i_{ст} \omega = H_{р.з} \delta_1 R_M / R_{р.з},$$

где  $H_{р.з}$  — магнитное поле в рабочем зазоре, А/м.

Для стирающих головок и реальных носителей записи магнитное поле стирания в наиболее удаленном слое носителя  $H_{ст} = H_{р.з}$ . Необходимая для стирания напряженность магнитного поля  $H_{ст} = (3 \dots 4) H_c$ , где  $H_c$  — коэрцитивная сила носителя. При расчете  $R_M$  принимают  $\mu_n = \mu_{эф}$ , где  $\mu_{эф} = 500 \sqrt{\mu_n \rho / f_{ст} d}$  — эффективная относительная проницаемость материала сердечника на частоте стирания;  $d$  — толщина сердечника (ферритового) или пермаллоевой пластины, м.

Для повышения уровня стирания (больше 55 дБ) применяют конструкцию магнитной стирающей головки с двумя зазорами ( $2 \times 100$  мкм). При этом сопротивление  $R_M$  рассчитывают по закону Кирхгофа для разветвленной цепи. Мощность потерь для стирающих головок рассчитывают по формуле

$$P = i_{ст}^2 r_{п},$$

где  $r_{п}$  — последовательное сопротивление потерь. Практически  $r_{п} = \omega_{ст} L_{ст} / Q_{ст}$ , где  $\omega_{ст} = 2\pi f_{ст}$  — круговая частота;  $L_{ст}$  и  $Q_{ст}$  — индуктивность и добротность головки. Ориентировочно для пермалловых головок  $Q_{ст} = 2$  и 4, для ферри-



товых 10 и 20 (соответственно в металлическом и пластмассовом корпусе). Мощность потерь измеряют по схеме, показанной на рис. 2.6.

Для расчета ГЗ задают: индуктивность, частоту тока стирания, тип носителя и его скорость, требования по экономичности и уровню стирания. Выбирают: материал сердечника (исходя из частоты и требований экономичности), конструкцию (из заданного уровня стирания), параметры рабочего зазора (в зависимости от типа носителя и его скорости). Рассчитывают: сопротивление магнитопровода на частоте стирания, количество витков, ток стирания, последовательное сопротивление потерь и мощность потерь.

**Записывающие магнитные головки.** Расчет ГЗ аналогичен расчету ГС. Отличие состоит в определении необходимой напряженности поля в рабочем зазоре. Ширина рабочего зазора ГЗ обычно соизмерима с толщиной носителя записи. Для уменьшения остаточной намагниченности магнитопровода и эффекта стирания ГЗ имеют дополнительный зазор, чаще равный по условиям технологичности рабочему зазору. Напряженность магнитного поля в носителе всегда меньше, чем в зазоре головки:  $H_{p,з} = H_s/k$ , где  $k$  — коэффициент, учитывающий уменьшение напряженности магнитного поля с удалением от рабочей поверхности головки вдоль оси  $y$  при  $x = 0$  (рис. 2.7). При заданных нелинейных искажениях не более 3—5% расчетная величина магнитного поля высокочастотного подмагничивания должна удовлетворять условию  $H_{в\text{ВЧП}} \approx H_c$ . В правильно спроектированной записывающей головке ток записи сигнала

$$i_{в.с} = (0,2 \dots 0,4) i_{в\text{ВЧП}}$$

При импульсной записи без подмагничивания для удаленного слоя носителя  $H_s = (2 \dots 3)H_c$ . Частотная характеристика записывающей головки зависит от крутизны спада магнитного поля рабочего зазора, которая определяется радиусом скругления кромок рабочего зазора, боковым эффектом, степенью насыщения носика, магнитными свойствами сердечника и носителя, величиной неконтакта. Факторы, влияющие на частотную характеристику ГЗ, в настоящее время невозможно рассчитать количественно. При записи очень высоких частот необходимо учитывать влияние вихревых токов и появление поверхностного эффекта. Толщина  $d$  ферритового сердечника, пермалловых пластин или пермалловых и сендастовых слоев определяется глубиной проникания  $a$  магнитного потока:  $d \leq 2a$ , где  $a = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \mu_{эф} \omega_{ст(з)}}}$ .

Для расчета ГЗ задают: ширину дорожки записи, индуктивность, частоту тока подмагничивания, диапазон частот записываемых сигналов. Выбирают: длину рабочего зазора и толщину сердечника, материал сердечника. Рассчитывают: толщину пластин (исходя из самой высокой частоты), ширину и глубину рабочего зазора из условия эффективности и износостойчивости (а значит, и дополнительного), количество витков, магнитное поле и ток подмагничивания (записи). Добротность записывающей головки определяется экспериментально.

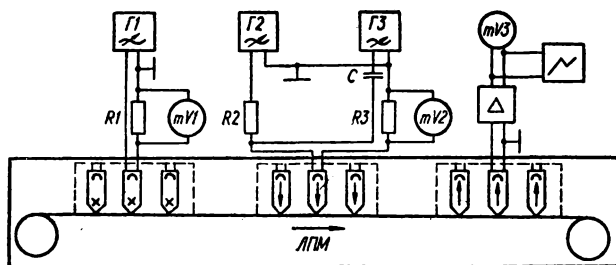
**Воспроизводящие магнитные головки.** Основная задача расчета — определение ЭДС воспроизведения при стандартной намагниченности ленты  $\Phi_{уд} = 160(250, 320)$  нВб/м, частоте сигнала воспроизведения  $f_{в} = 400$  Гц и частотной характеристики воспроизведения. ЭДС воспроизведения, В, определяют по закону электромагнитной индукции

$$E_{в} = 2\pi f_{в} W \Phi_{уд} t A_{м} B,$$

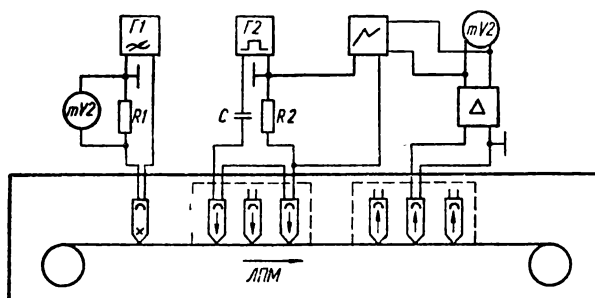
где  $f_{в} = f_{с} v_{с} / v_{в}$  ( $f_{с}$  — частота сигнала записи,  $v_{с}$ ,  $v_{в}$  — скорость носителя при записи и воспроизведении, в большинстве случаев  $v_{в} = v_{с}$ ,  $f_{в} = f_{с}$ );  $B$  — коэффициент использования потока, учитывающий частотную характеристику воспроизведения. При  $f_{в} = 400$  Гц обычно  $B = 1$ . На частоте 400 Гц при стандартной намагниченности ленты 160 нВб/м  $E_{в0} = 284 \cdot 10^{-6} \omega t A_{м}$ . Коэффициент  $B$

в диапазоне частот рассчитывают с учетом потерь (щелевых, слойных, контактных и т. д.).

Для расчета ГВ задают: ширину, индуктивность, диапазон рабочих частот, тип носителя и скорость его движения, ЭДС воспроизведения при стандартной удельной намагниченности, неравномерность частотной характеристики и ее разброс, входное сопротивление усилителя. Выбирают: длину рабочего зазора и толщину сердечника. Рассчитывают: толщину пластин, ширину и глубину рабочего зазора, количество витков, ЭДС воспроизведения при стан-



а



б

Рис. 2.8. Схемы стенов для измерения параметров блоков магнитных головок при записи, воспроизведении и стирании сигналов в аналоговой (а) и цифровой (б) форме

дартной намагниченности. Далее рассчитывают составляющие потерь: щелевых, на перекоз, контактных, слойных, на саморазмагничивание носителя, на конечное входное сопротивление усилителя воспроизведения. Определяют ЭДС с учетом значения коэффициента  $B$  (и  $A_m$ ) для каждой частоты.

**Испытание магнитных головок.** При проверке МГ проводят внешний осмотр и измерения при помощи инструментов, обеспечивающих требуемую разрешающую способность и точность. При этом особое внимание уделяют размерам и качеству рабочих зазоров, контролируемых при помощи микроскопов. Профиль рабочей поверхности определяют при помощи профилографа-профилометра и плоскопараллельных стекол. Обмотку, ее омическое сопротивление, пробой на корпус, индуктивность и добротность проверяют при помощи стандартных приборов. Измерительные стенов для испытания МГ показаны на рис. 2.6, 2.8. Стенов (рис. 2.8, а, б) должны удовлетворять следующим требованиям:

отклонение средней относительной скорости от номинальной не более 1%;  
коэффициент колебаний скорости не более 0,25%;

угол охвата от 160 до 170°;

усилие прижима 10—20 кПа, натяжение 0,15—0,25 Н.

ЭДС, амплитудно-частотные характеристики ГВ и ГУ для бытовых магнитофонов измеряют при воспроизведении записи сигналограммы частоты 400 Гц с уровнем 160 (250, 320) нВб/м и частотного теста на измерительных лентах типа ЛИЛ, ЛИТ и др. Эффективную ширину рабочего зазора определяют при воспроизведении сигналограммы с записью длин волн в диапазоне возможных значений с шагом не более 0,1 от номинальной величины. При испытании многодорожечных БМГ для записи и воспроизведения аналоговых и импульсных сигналов выбирают типовую магнитную ленту (по отношению к образцовой) и типовые блоки головок (из одной и той же партии). Оптимальный ток подмагничивания определяют на верхней частоте рабочего диапазона при уменьшении ЭДС воспроизведения. Ток записи определяют, сравнивая ЭДС воспроизведения на частоте 400 Гц с измерительной и типовой лент при допустимом коэффициенте нелинейных искажений. Плотностью характеристики уровня выражают зависимость ЭДС воспроизведения от частоты (в процентах относительно опорной). Относительный уровень проникания при записи проверяют, сравнивая ЭДС воспроизведения при оптимальном токе подмагничивания в двух головках и токе записи в одной из них; при воспроизведении — сравнивая ЭДС одной головки с дорожки записи и ЭДС другой головки с размагниченного носителя. Относительный уровень стирания определяют из отношения ЭДС головок воспроизведения до и после стирания. Относительный уровень стирания и проникания определяют в децибеллах.

## 2. НОСИТЕЛИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Носители магнитной записи делятся на две основные группы: гибкие — магнитные ленты (МЛ) и магнитные проволоки (МП), и жесткие — магнитные барабаны (МБ) и магнитные диски (МД).

### Магнитные ленты

Различают три основных вида МЛ: рабочие — для записи и воспроизведения информации в процессе эксплуатации АМЗ; типовые, образцовые, эталонные — для метрологического обеспечения производства МЛ; технологические (измерительные) — для настройки и проверки параметров АМЗ в процессе ее производства и эксплуатации.

Обозначение отечественных магнитных лент, согласно ГОСТ 17204—71, состоит из следующих индексов:

0 0000—000

1	—	буквенный индекс назначения ленты (А — звукозапись, Т — видеозапись, И — точная запись, В — вычислительная техника);
—	—	цифровой индекс материала основы (2 — диацетилцеллюлоза, 3 — триацетилцеллюлоза, 4 — лавсан);
—	—	цифровой индекс (от 0 до 9) толщины ленты в мкм (0 — толщиной до 10 мкм; 1—10...15; 2—15...20; 3—20...30; 4—30...40; 5—40...50; 6—50...60; 7—60...75; 8—75...100; 9 — свыше 100 мкм);
—	—	номер технологической разработки ленты;
—	—	номинальная ширина ленты, мм (6—6,25; 25—25,4; 50—50,8 и т. д.);
—	—	дополнительный буквенный индекс, уточняющий отдельные характеристики ленты (П — перфорированная, Р — для радиовещания — студийная, Б — бытовая).

Например, тип Т4305-12Б означает: лента для видеозаписи (Т), на лавсановой основе (4), общей толщиной 27 мкм (3), номер технологической разработки 05, номинальная ширина ленты 12,7 мм, бытовая (Б).

Основные размеры МЛ указаны в ГОСТ 8303—76. Ряды размеров неперфорированных МЛ приведены в табл. 2.6. Указанные в таблице значения

## 2.6. Основные размеры перфорированных лент по ГОСТ 8303—76

Ширина, мм	Толщина (ряд максимальных значений), мкм	Ширина, мм	Толщина (ряд максимальных значений), мкм
3,81 <sub>-0,05</sub>	10, 14, 18, 24, 27	25,4 <sub>-0,1</sub>	18, 24, 27, 36, 38, 50, 56
6,25 ± 0,05	10, 14, 18, 24, 27, 36, 38, 50, 56	35 <sup>*</sup> <sub>-0,1</sub>	38, 56, 90
12,7 <sub>-0,1</sub>	18, 24, 27, 36, 38, 50, 56	38,1 <sub>-0,1</sub>	38, 56
19,05 <sup>*</sup> <sub>-0,1</sub>	27, 38, 56	50,8 <sub>-0,1</sub>	
		70 <sup>*</sup> <sub>-0,1</sub>	

\* В новых разработках применять не допускается.

Примечание. Допустимая разнотолщинность в рулоне, мкм: ±1 для лент толщиной до 14 мкм; ±2 — до 38 мкм; ±3 — свыше 38 мкм.

допустимой разнотолщинности не распространяются на ленты, у которых допуск на толщину по технической документации меньше значения разнотолщинности. Ленту шириной 35 мм по требованию заказчика допускается изготавливать толщиной до 150 мкм. Ширина перфорированных лент дана в табл. 2.7. Толщина указанных лент должна быть не более 90 мкм при изготовлении их на полиэтилентерефталатной основе и не более 150 мкм при использовании в качестве основы триацетилцеллюлозы и других материалов. Длина ленты, м,

$$L = (D_n^2 - D_b^2) / (1,27 \cdot 10^{-2} d),$$

где  $D_n$  и  $D_b$  — наружный и внутренний диаметры рулона МЛ, см;  $d$  — толщина МЛ, мкм.

Классификация МЛ в зависимости от их эксплуатационного назначения и вида записываемой информации приведена в табл. 2.8.

**Магнитные ленты для звукозаписи.** В бытовой звукозаписи применяются МЛ для кассетных и катушечных магнитофонов, а также соответствующие им измерительные ленты. Нормы на основные показатели МЛ для кассетных магнитофонов, определяемые ГОСТ 21402.1—75, а для катушечных — ГОСТ 21402.2—75, приведены в табл. 2.9. Теми же стандартами установлены основные размеры лент кассетных [ширина 3,81<sub>-0,05</sub> мм, толщина (16 ± 2) мкм, длина МЛ в рулоне от 360 до 1980 м, кратно 90] и катушечных [ширина (6,25 ± 0,05) мм, толщина (34 ± 4) мкм, длина МЛ в рулоне от 150 до 520 м]. К концам катушечной ленты подклеивают ракорды белого цвета (наружный) и красного (внутренний) длиной не менее 0,6 м каждый. Дополнительно к нормам табл. 2.9 к лентам, предназначенным для настройки кассетных и катушечных магнитофонов, стандартами предусмотрены более жесткие допустимые отклонения следующих показателей: тока ВЧП, относительной средней чувствительности, относительной частотной характеристики и неравномерности чувствительности на частоте 400 Гц — не более ±0,5; ±1; ±1 и ±0,5 дБ соответственно; нелинейные искажения не более 2% для лент кассетных и 1,5% для катушечных.

Основные данные об условиях эксплуатации, хранения, намотки этих лент приведены в табл. 2.8. Характеристики отечественных лент для бытовой звукозаписи приведены в табл. 2.10, а зарубежных — в табл. 2.11.

## 2.7. Ширина перфолент по ГОСТ 8303—76

Ширина, мм	Номинальное значение, мм	Предельное отклонение, мм
16	15,95	± 0,015
17,5*	17,45	± 0,05
32	31,9	± 0,05
35	34,975	± 0,025
70	69,95	± 0,05

\* В новых разработках применять не допускается.

## 2.8. Классификация и общие сведения о применении магнитных лент

Назначение	НТД на параметры ленты	Основные условия эксплуатации
<i>Бытовая</i>		
Для звукозаписи	Кассетная	ГОСТ 21402.1—75
	Катушечная	ГОСТ 21402.2—75
		Натяжение согласно табл. 2.10 Работоспособность после воздействия: температур $-20^{\circ}\text{C}$ (4 ч) и $+50^{\circ}\text{C}$ (4 ч); относительной влажности 93% при $+25^{\circ}\text{C}$ (48 ч); 20 ударов при $g = 98 \text{ м/с}^2$ ; вибрации 10 ... 70 Гц при $g = 29,4 \text{ м/с}^2$ (2 ч)
Для измерения	Лабораторная	ГОСТ 19786—74
	Технологическая	ОСТ 4 Г0.070.010
		Температура $(25 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ Относительная влажность $(65 \pm 15)\%$ Атмосферное давление 86 ... 106 кПа
Для видеозаписи	ТУ	Те же, что и для лент
<i>Студийная</i>		
Для первичных фонограмм при скоростях 38,1 и 19,05 см/с	ГОСТ 21887—76	Температура $(25 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ Относительная влажность $(65 \pm 15)\%$ Атмосферное давление 86 ... 106 кПа
Для копий кассетных фонограмм при скорости 9,53 см/с		
Для измерения	ГОСТ 8304—77	
Для видеозаписи	ТУ	
<i>АМЗ для кин</i>		
Для синхронной звукозаписи (перфорированная)	ТУ	Те же, что и для студийных лент звукозаписи

Условия хранения	Устройство для намотки ленты	Гарантия (число прогонов)
<b>АМЗ</b>		
Температура $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ Относительная влажность $(65 \pm 15)\%$ Не ближе 1 м от нагревательных приборов, с защитой от солнечных лучей	Кассеты (ГОСТ 20492—75)	1 год (не менее 300)
	Катушки (ГОСТ 13275—77)	
Температура 10 ... 25°С Относительная влажность 55 ... 65% Не ближе 1 м от нагревательных приборов, с защитой от солнечных лучей и магнитных полей напряженностью свыше 1 кА/м	Ширинной 6 мм на катушки (ГОСТ 13275—77), минимальный диаметр втулки 100 мм	1 год (не менее 250)
	Специальные катушки, минимальный диаметр втулки 50 мм	
звукозаписи бытовой АМЗ	По ТУ	—

### АМЗ

Те же, что и для лент звукозаписи бытовой АМЗ	Ширинной 6 мм — на катушки типа 2 (ГОСТ 16824—76) или сердечники (ГОСТ 12796—77); ширинной 12; 25; 50 мм — на катушки (ГОСТ 16824—76) или сердечники (ГОСТ 21717—76)	1 год (не менее 300)
Те же, что и для лент измерительных бытовой АМЗ	Сердечники (ГОСТ 12796—77)	6 мес (не менее 100)
Температура $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ , относительная влажность $(65 \pm 15)\%$	Катушки типа 2 (ГОСТ 16824—76)	1 год

### магнитографии

Температура 10 ... 25°С, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$	Сердечники (ГОСТ 3917—64)	1 год
--	---------------------------	-------

Назначение	НТД на параметры ленты	Основные условия эксплуатации
------------	------------------------	-------------------------------

*Аппаратура точной*

Для гармонических, импульсных и широкополосных сигналов	ГОСТ 22507—77	Натяжение и запыленность воздуха согласно табл. 2.23 и 2.24 Температура $\pm 60^{\circ}\text{C}$ Относительная влажность 98% при $+40^{\circ}\text{C}$ Атмосферное давление до 0,7 кПа Циклическое изменение температур от $+80$ до $-60^{\circ}\text{C}$ Удары до 80 в минуту при $g = 117,6 \text{ м/с}^2$ Вибрации в диапазоне частот до 300 Гц
---	---------------	--

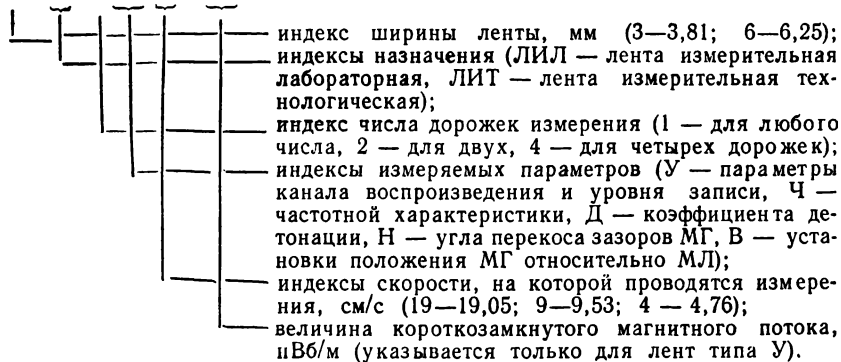
*Накопители*

Для цифровой и аналоговой информации	ТУ	Температура 5 ... 40°С Относительная влажность (65±15) % при +30°С Атмосферное давление 86 ... 106 кПа Запыленность воздуха до 1 мг/м³, при размере частиц не более 3 мкм Отдельные ленты работоспособны при температуре от -40 до +50°С и относительной влажности 98% при +40°С
--------------------------------------	----	--

К измерительным МЛ для бытовой звукозаписи относятся ленты по ГОСТ 19786—74 для измерения и контроля параметров бытовых магнитофонов в лабораторных условиях и ленты по ОСТ4 ГО.070.010 для настройки и контроля параметров бытовых магнитофонов в условиях установившегося серийного и массового производства.

Обозначение типов измерительных лент бытовой звукозаписи состоит из следующих индексов:

0 000 0.000,00—000



Продолжение табл. 2.8

Условия хранения	Устройство для намотки ленты	Гарантия (число прогонов)
<i>магнитной записи</i>		
Температура ( $25 \pm 10$ )° С Относительная влажность ( $65 \pm 15$ ) % Рулоны на катушках хранятся вертикально, на сердечниках горизонтально, с защитой от солнечных лучей; ленты с записанной информацией защищать от магнитных полей напряженностью свыше 400 А/м	Катушки (ГОСТ 16824—76) или сердечники (ГОСТ 21717—76)	5 лет (не менее 50 000)

*ЭВМ*

Температура ( $25 \pm 10$ )° С Относительная влажность ( $65 \pm 15$ ) %	Сердечники (ГОСТ 3917—64 и ГОСТ 21717—76); катушки типа 2 (ГОСТ 16824—76); катушки (ГОСТ 13275—77)	1 год (не менее 70 000)
---	--	-------------------------

Типы и назначение указанных лент приведены в табл. 2.12, а условия эксплуатации и хранения — в табл. 2.8.

*Ленты для студийной звукозаписи* (звукозаписи в радиовещании) согласно ГОСТ 21887—76 подразделяются на четыре вида (табл. 2.13). Там же приведены стандартизованные значения размеров по видам МЛ, а физико-механических и рабочих показателей — в табл. 2.9.

Основные данные об условиях эксплуатации, хранения, намотки МЛ приведены в табл. 2.8. Стандартом установлены также требования к качеству намотки студийных лент: расстояние от торца рулона до посадочной поверхности устройства для намотки должно быть ( $1,2 \pm 0,2$ ) мм при намотке на сердечники и ( $3 \pm 0,2$ ) мм при намотке на катушки. Витки ленты шириной 6,25 мм, наматанной на сердечники, не должны выступать за торцевую поверхность рулона более чем на 0,1 мм. Маркировка видов студийных МЛ по ГОСТ 21887—76 осуществляется наружными ракордами (1 — зеленым, 2 — желтым, 3 — синим, 4 — белым, внутренний ракорд всех видов — красный), длина которых должна быть не менее трех наружных витков ленты. Характеристики некоторых типов отечественных МЛ для студийной звукозаписи приведены в табл. 2.14, а зарубежных — в табл. 2.11.

Ленты измерительные магнитные (ЛИМ) для проверки параметров студийных магнитофонов выпускаются по ГОСТ 8304—77. Типы измерительных лент и их назначение даны в табл. 2.15.

Для профессиональной звукозаписи в кинематографии используются перфорированные МЛ шириной 16, 32, 35 и 70 мм (см. табл. 2.7) и толщиной до 90 мкм на лавсановой основе и до 150 мкм на основах других типов. Распо-



2.9. Нормы на показатели бытовых и студийных лент звукозаписи

Показатель	Бытовые		Студийные			
	кассетные	катушечные	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Вид 4
Относительная величина тока оптимального ВЧ подмагничивания, дБ	0	2	$2 \pm 0,5$	$1 \pm 0,5$	$5 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,5$
Относительная средняя чувствительность, дБ	-1	-1,5	$3,5 \pm 1$	$4 \pm 1$	$1 \pm 1$	$-3 \pm 1$
Неравномерность чувствительности в пределах рулона, дБ, не более, на частоте:						
400 Гц	$\pm 1$		$\pm 0,5$			
10 000 Гц	$\pm 4$	$\pm 3$	—		—	
12 500 Гц	—				$\pm 1,5$	
16 000 Гц			$\pm 1,5$		—	
Относительная частотная характеристика, дБ	0	-4	$0,5 \pm 1$	$5,5 \pm 1$	$13 \pm 1$	$6 \pm 1$
Нелинейные искажения, %, не более	2,5	2	1,5	2,8	2,5	
Относительный уровень, дБ, не более:						
шума намагниченной ленты	-38	-42	-43	-40		
шума паузы	-46	-54	-60		-56	-52
копирэффекта	-50	-48	-56	-54	-52	
стирания	-65	-70	-77		-75	
Уровень записи, дБ, не менее,	4	5	7	5		1
при нелинейных искажениях, %	5		3			

Нелинейность амплитудной характеристики на верхней граничной частоте, дБ, не более	-11	-9	-4	-6	-2	-1
Сабельность, мм/м, не более, для лент шириной:						
3,81 мм	3			-		3
6,25 мм	-	4		2	3	-
12,7; 25,4; 50,8 мм		-			-	
Коробление, мм, не более, для лент шириной:						
3,81 мм	0,1			-		0,06
6,25 мм	-	0,2	0,05	0,1	0,1	-
12,7 мм				0,2		
25,4 мм		-		0,25		-
50,8 мм				0,6		
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	5	17	28	18	12	6
Относительное удлинение, %, не более (под нагрузкой, Н), остаточное после снятия нагрузки	1,3 (2)	1,4 (10)	1 (10)	1,5 (10)	0,6 (4)	1 (2)
Абразивность, мкм/м, не более		0,15	0,08	0,01	0,06	0,1
		0,1		0,06		0,1

Примечание. Адгезионная прочность рабочего слоя должна быть не менее фактического значения нагрузки, соответствующей пределу текучести.

## 2.10. Характеристики отечественных лент бытовой звукозаписи

Показатель	Для кассетных магнитофонов			Для катушечных магнитофонов					
	А 4205-3	А 4206-3 (настройка)	А 4212-3Б (1 кл.)	А 4305-6Б (1, 2 кл.)	А 4309-6Б	А 4403-6 (типовая)	А 4407-6Б	А 4408-6Б (настройка)	А 4409-6Б
Ширина, мм	3,81			6,25					
Толщина, мкм	16			27	25	37	34		
Максимально допустимое натяжение, Н, не более, в режимах: рабочего хода	0,4			0,7	0,6	—	0,7		
перемотки	2			10	4	—	5		
<i>Рабочие показатели</i>									
Относительная величина тока оптимального ВЧП, дБ, не более	0±1	4±1	0±1	-0,5±1	-0,5±0,5	1,5	0±0,5	0±1	
Относительная средняя чувствительность, дБ, не менее	0±1	-3	3	-0,5	-1,4±0,3	-1,5	-0,5±1	+3	
Неравномерность чувствительности, дБ, не более, на частоте: 400 Гц 10 000 Гц	±0,5	±0,4	±0,5		±0,3	±1	±0,5		±0,5
	±1,5	±1,3	±1,5		±1	±3		±1,5	
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	0	1±1	+4	6	-1,5	-8±1	-4	-3±1	0

3	Нелинейные искажения, %, не более	1,2	2,1	2,3	3	2	1,5	2
	Относительный уровень, дБ, не более:							
	шума намагнитченной ленты	-40	-42	-40			-42	
	шума паузы	-48	-52	-57	-65		-54	-56
	копирэфекта	-52	-48	-55	-51		-48	-54
	стирания		-70	-77			-70	-77
	Уровень записи при нелинейных искажениях 5%, дБ, не менее	6,5	+4	6	2,3		5	6
	Нелинейность амплитудной характеристики на высоких частотах, дБ, не хуже	-8	+4	-5	-		-8	-7

*Физико-механические показатели*

	Сабельность, мм/м, не более	-	1	3	4	3	2	
	Коробление, мм, не более	-	0,05	0,1	0,2	0,1	0,15	
	Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	6		13	17			
	Относительное удлинение, %, не более, (под нагрузкой, Н)	0,7 (2)	0,6 (2)	18 (10)	0,6 (4)	1,5 (10)	1,4 (10)	
	Относительное остаточное удлинение после снятия нагрузки, %, не более	0,05		0,1	0,06	-	0,15	0,1
	Абразивность, мкм/м, не более	-		0,05	-		0,1	0,05

Примечание. Адгезионная прочность рабочего слоя лент — не менее фактического значения нагрузки, соответствующей пределу текучести.

82 2.11. Характеристики зарубежных лент для звукозаписи

Показатель	TDK C-120 (Япония)	TDK C-90 (Япония)	BASE C-120 (ФРГ)	Scotch-223 (США)	PE-46 (ФРГ)	TDK SD-150 (Япония)	Pyral TD (Франция)	SPR50LH (ФРГ)	P35LH (ФРГ)
Ширина, мм	3,81			6,25				35	
Толщина, мкм	9	12	9	35,5	24	34	20	46	87
<i>Магнитные показатели</i>									
Коэрцитивная сила по намагниченности, Э	290		385	300	310		300	330	300
Остаточная намагниченность, Гс	1000	980	1050	1000	1100	1090	1020	1100	
Намагниченность насыщения, Гс	1250	1240	1220	1250	1390	1360	1320	—	
Коэффициент прямоугольности	0,8	0,79	0,86	0,8	0,79	0,8	0,76	0,78	0,75
<i>Рабочие показатели</i>									
Относительная величина тока оптимального ВЧ подмагничивания, дБ, не более	-1,5	0	1	-0,25	-0,75	1	-2	—	0
Относительная средняя чувствительность, дБ, не менее	-2	0	-3,5	3,5		4,25	0,75	-0,5	-1
Неравномерность чувствительности, дБ, не более	±0,1	±0,07	±0,03	±0,05	±0,2	±0,05	±0,2	—	±0,2
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	12	4,9	17	10	14	10,5	9,5	+1,5	+2

Нелинейные искажения, %, не более	3,9	2	2,1	0,85	0,97	0,6	3,7	—	0,5
Относительный уровень, дБ, не более:									
шума намагниченной ленты	—	—	—	—54	—50	—57	—47	—49	—46
шума паузы	—	—	—	—69	—66	—66,5	—64,5	—	—67
копирэфекта	—	—	—	—55	—	—58	—52	—55	—56,5
стирания	—	—	—	—	—77	—	—	—	—78
Уровень записи при нелинейных искажениях 5%, дБ, не менее	1	3,5	3	5,75	5,4	7,5	1	8	—
<i>Физико-механические показатели</i>									
Коробление, мм, не более	—	—	—	0,06	—	0,05	0,07	—	—
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	—	—	—	17	14	17	15	20,7	178,5
Относительное удлинение, %, не более	—	—	—	90	70	115	58	—	—
Адгезионная прочность рабочего слоя, Н, не менее	—	—	—	27	20	28	30	—	—
Прочность при плавном нагружении, Н	—	—	—	27	24	31	30	—	—
Коэффициент трения	—	—	—	0,172	0,178	0,14	0,214	—	—
Микротвердость, Н/мм <sup>2</sup>	—	—	—	97	140	97	157	—	—
Микрошероховатость, мкм	—	—	—	0,17	0,16	0,08	0,33	—	—

## 2.12. Ленты измерительные бытовой звукозаписи

Лабораторные (ГОСТ 19786—74)	Технологические (ОСТ4 Г0.070.010)	Назначение
6 ЛИЛ 2.У.19-320 6 ЛИЛ 2.У.19-250 6 ЛИЛ 2.У. 9-250 6 ЛИЛ 2.У. 4-250	6 ЛИТ 2.У. 19-320 6 ЛИТ 2.У. 19-250 6 ЛИТ 2.У. 9-250 6 ЛИТ 2.У. 4-250	Измерение параметров канала воспроизведения и уровня записи двухдорожечных аппаратов ( $V = 19,05; 9,53; 4,76$ см/с)
3 ЛИЛ 2. У. 4-250 3 ЛИЛ 2. У. 4-160	3 ЛИТ 2.У. 4-250 3 ЛИТ 2.У. 4-160	То же для двух- и четырехдорожечных аппаратов ( $V = 4,76$ см/с)
6 ЛИЛ 4.У.19-320 6 ЛИЛ 4.У.19-250 6 ЛИЛ 4.У. 9-250 6 ЛИЛ 4.У. 4-250	6 ЛИТ 4.У.19-320 6 ЛИТ 4.У.19-250 6 ЛИТ 4.У. 9-250 6 ЛИТ 4.У. 4-250	То же для четырехдорожечных моно- и стереофонических аппаратов ( $V = 19,05; 9,53; 4,76$ см/с)
6 ЛИЛ 2.Ч.19 6 ЛИЛ 2.Ч.9 6 ЛИЛ 2.Ч.4	—	Измерение ЧХ канала воспроизведения двухдорожечных аппаратов ( $V = 19,05; 9,53; 4,76$ см/с)
3 ЛИЛ 2.Ч.4	—	То же для двух- и четырехдорожечных ( $V = 4,76$ см/с)
6 ЛИЛ 4.Ч.19 6 ЛИЛ 4.Ч. 9 6 ЛИЛ 4.Ч. 4	—	То же для четырехдорожечных моно- и стереофонических аппаратов
6 ЛИЛ 1.Д.19 6 ЛИЛ 1.Д. 9 6 ЛИЛ 1.Д. 4	6 ЛИТ 1.Д.19 6 ЛИТ 1.Д. 9 6 ЛИТ 1.Д. 4	Измерение коэффициента детонации ( $V = 19,05; 9,53; 4,76$ см/с)
3 ЛИЛ 1.Д.4	3 ЛИТ 1.Д.4	То же для двух- и четырехдорожечных ( $V = 4,76$ см/с)
6 ЛИЛ 2.Н 3 ЛИЛ 2.Н	—	Контроль угла перекоса зазоров МГ двухдорожечных аппаратов
6 ЛИЛ 4.Н	—	То же для четырехдорожечных
—	6 ЛИТ 2.ЧВН	Контроль ЧХ каналов воспроизведения, установка положения МГ относительно МЛ и угла перекоса зазоров МГ двухдорожечных аппаратов ( $V = 19,05; 9,53; 4,76$ см/с)
—	6 ЛИТ 4.ЧВН	То же для четырехдорожечных моно- и стереофонических аппаратов

Лабораторные (ГОСТ 19786-74)	Технологические (ОСТ4 ГО.070.010)	Назначение
—	3 ЛИТ 2.ЧН	Измерение ЧХ канала воспроизведения двух- и четырехдорожечных моно- и стереофонических аппаратов и угла перекоса МГ двухдорожечных аппаратов ( $V = 4,76$ см/с)

2.13. Размеры студийных лент по ГОСТ 21887-76

Вид ленты	Назначение	Ширина, мм	Толщина, мкм	Длина, м
1	Запись первичных стереофонических и многодорожечных фонограмм при $V = 38,1$ см/с	$6,25 \pm 0,05$ $12,7_{-0,1}$ $25,4_{-0,1}$	$55_{-5}$	$500^{+20}$ $750^{+30}$ $1000^{+50}$
2	То же при $V = 19,05$ см/с	$50,8_{-0,1}$	$37_{-3}$	$525^{+20}$ $750^{+30}$ $1100^{+50}$
3	Запись копий стереофонических фонограмм в кассетных магнитофонах при $V = 9,53$ см/с	$6,25 \pm 0,05$	$27_{-2}$	$45^{+2*}$ $360^{+20}$ $540^{+20}$ $720^{+30}$
4		$3,81_{-0,05}$	$18_{-2}$	$90^{+3*}$ $360^{+20}$

\* Длина лент при намотке в кассеты.

2.14. Характеристики отечественных лент для звукозаписи студийной и в кинематографии

Показатель	Ленты для студийных магнитофонов			Ленты для кинематографии		
	А 4205-3	А 3601-6Р	Р 6-425	ЛМП-35	А 3903	А 3904
Ширина, мм	3,81	6,25	25,4	35	16; 32; 35; 70	35
Толщина, мкм	16	55		145	150	



Продолжение табл. 2.14

Показатель	Ленты для студийных магнитофонов			Ленты для кинематографии		
	A 4205-3	A 3601-6P	P 6-425	ЛМП-35	A 3903	A 3904

Рабочие показатели

Относительная величина тока оптимального ВЧ подмагничивания, дБ, не более	0±1	0,5±1	—			0 <sup>+1</sup> <sub>-2</sub>
Относительная средняя чувствительность, дБ, не менее			5±1	4±1	+1—2	5±1
Неравномерность чувствительности, дБ, не более, на частоте: 400 Гц	±0,5	±1 в пределах рулона		±0,7	±0,75 (на 1 кГц)	±0,3
10 000 Гц	±1,5			±1,5		±1 (на 16 кГц)
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	0	-2±0,5	5±1,5	+2—1		3
Нелинейные искажения, %, не более	1,2	2				
Относительный уровень, дБ, не более: шума намагниченной ленты	-40	—		-40		
шума паузы	-48	—		-64	-62	-70
копирэффекта	-52			—		
стирания	-70			—	-70	-75

Физико-механические показатели

Сабельность, мм/м, не более	3	6	—	—	1,5
-----------------------------	---	---	---	---	-----

Продолжение табл. 2.14

Показатель	Ленты для студийных магнитофонов			Ленты для кинематографии		
	А 4205-3	А 3001-6Р	Р 6-425	ЛИМП-35	А 3903	А 3904
Коробление, мм, не более	0,1	0,15		0,35	—	1,5
Относительное удлинение, %, не более (при нагрузке, Н)	0,7 (2)	1,5 (10)		—		
Предел прочности при разрыве, Н/мм, не менее	—			80		

- Примечания: 1. Уровень записи при нелинейных искажениях 5% не менее 6,5 дБ для МЛ А 4205-3.  
 2. Максимальный уровень удельного остаточного магнитного потока не менее 640, 320 и 1000 нВб/м для МЛ ЛИМП, А 3903 и А 3904 соответственно.  
 3. Коэрцитивная сила не менее 16 кА/м и относительное удлинение при разрыве 20...30% для МЛ А 3903.  
 4. Нагрузка, соответствующая пределу текучести, не менее 6Н для ленты А 4205-3.

жение и размеры фонограмм на МЛ шириной 35 мм, записываемых со скоростью 45,6 см/с, определяются ГОСТ 19869—74 и даны на рис. 2.9 и в табл.2.16.

### 2.15. Ленты измерительные студийной звукозаписи по ГОСТ 8304—77

Тип	Назначение
ЛИМ.1.У	Проверка усиления канала воспроизведения монофонических магнитофонов
ЛИМ.1.Ч	Проверка АЧХ канала воспроизведения монофонических магнитофонов
ЛИМ.1.Н	Проверка и установка угла наклона рабочих зазоров МГ монофонических магнитофонов
ЛИМ.Д	Измерение КД и ККС ленты моно- и стереофонических магнитофонов
ЛИМ.2.У	Проверка усиления и положения каналов воспроизведения стереофонических магнитофонов
ЛИМ.2.Ч	Проверка АЧХ каналов воспроизведения и установка угла наклона рабочих зазоров МГ стереофонических магнитофонов
ЛИМ.2.В	Проверка правильности установки МГ стереофонических магнитофонов по высоте

Примечание. Лента каждого типа выпускается 38, 19 и 9-й групп для скоростей 38,1; 19,05; 9,53 см/с соответственно, а лента ЛИМ.2.В.— только 38-й группы.

Там же приведены длина и расположение зазоров МГ записи, воспроизведения и стирания по ГОСТ 19869—74. При этом длина зазоров определяет ширину дорожек записи на ленте. Угол наклона рабочих зазоров ГЗ и ГВ должен быть в пределах  $90^\circ \pm 5'$ , а рассеяние МГ для трех-, четырех- и шестидорожечных фонограмм не должно превышать ширины рабочего зазора соот-

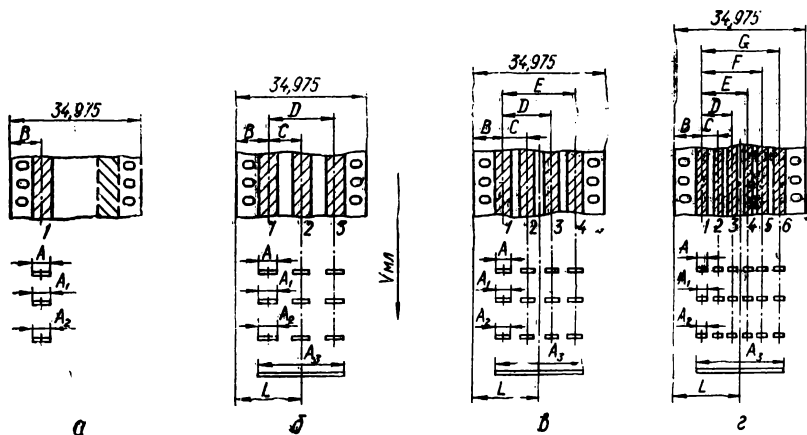


Рис. 2.9. Расположение фонограмм (а — г) и зазоров МГ на 35-мм перфоленте:

1 — 6 — номера дорожек;  $A, A_1, A_2$  — длины рабочих зазоров ГЗ, ГВ и ГС соответственно для одной дорожки;  $A_3$  — длина рабочего зазора ГС для всех дорожек;  $L$  — расстояние от края до осевой линии ленты,  $V_{МД}$  — направление движения ленты (нормы на параметры  $A - G$  см. в табл. 2.16).

ветствующих головок. При реверсировании рабочего хода ленты с односторонней фонограммой допускается запись второй дорожки (рис. 2.9, а).

Основные данные об условиях эксплуатации, хранения, наматки рассматриваемых лент даны в табл. 2.8. Отдельные типы отечественных лент звукозаписи в кинематографии приведены в табл. 2.14, а зарубежных в табл. 2.11.

Магнитные ленты для видеозаписи. Их показатели, а также геометрические характеристики сигналограмм продольно- и наклонно-строчной видеоза-

## 2.16. Размеры фонограмм на 35-мм перфоленте по ГОСТ 19869—74

Параметр	Нормы на параметры фонограмм, мм			
	односторонняя	трехдорожечная	четырёхдорожечная	шестидорожечная
$A$	$5 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$3,85 \pm 0,05$	$2,5 \pm 0,05$
$A_1$	$4,75 \pm 0,05$	$4,75 \pm 0,05$	$3,55 \pm 0,05$	$2,2 \pm 0,05$
$A_2$	$5,5 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,1$	$4,3 \pm 0,1$	$2,65 \pm 0,05$
$A_3$	—	$24 \pm 0,2$	$24 \pm 0,2$	$24 \pm 0,2$
$B$	$8,6 \pm 0,05$	$8,6 \pm 0,05$	$7,96 \pm 0,05$	$7,34 \pm 0,05$
$C$	—	$8,89 \pm 0,05$	$6,35 \pm 0,05$	$4,06 \pm 0,05$
$D$	—	$17,8 \pm 0,05$	$12,7 \pm 0,05$	$8,12 \pm 0,05$
$E$	—	—	$19,05 \pm 0,05$	$12,18 \pm 0,05$
$F$	—	—	—	$16,24 \pm 0,05$
$G$	—	—	—	$20,3 \pm 0,05$
$L$	—	$17,5 \pm 0,1$	$17,5 \pm 0,1$	$17,5 \pm 0,1$

писи не стандартизованы и определяются техническими условиями на конкретные ленты и на АМЗ соответственно. Размеры сигналограмм ПСЗ четверть ВГ на МЛ шириной 50,8 мм для телевизионного вещания даны в ГОСТ 19464—74. Стандартизованные значения размеров дорожек и строчек записи на МЛ должны соответствовать рис. 2.10 и табл. 2.17. Запись одной программы длительностью до 90 мин должна осуществляться на ленте, намотанной на одну

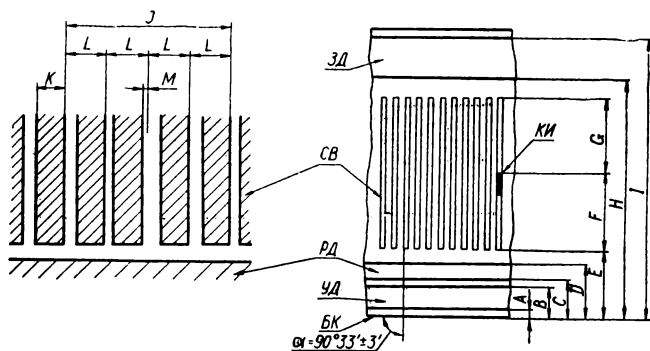


Рис. 2.10. Расположение дорожек и строчек видеофонограмм на 50,8-мм ленте:

ЗД, РД, УД — дорожки звукового, режиссерского и управления каналов соответственно; СВ — строчки видеозаписи; БК — базовый край ленты; КИ — начало кадрового импульса; J — шаг записи; К — ширина строчки; L — шаг строчек; M — отклонение строчки от номинального положения;  $\alpha$  — угол наклона строчек (нормы на параметры A ... M см. в табл. 2.17)

катушку. Стандартом установлены также требования к выполнению монтажа видеофонограмм. Основные сведения об условиях эксплуатации, хранения, намотки указанных лент даны в табл. 2.8. Технические характеристики отечественных лент Т 4208 и Т 4305 для бытовой и Т 4403 для студийной видеозаписи приведены в табл. 2.18. Там же даны показатели лент видеозаписи ряда зарубежных фирм.

### 2.17. Размеры видеофонограммы на ленте 50,8 мм

Параметр	Нормы, мм		Параметр	Нормы, мм		Параметр	Нормы, мм	
	max	min		max	min		max	min
A	0,1	0	E	2,39	2,21	I	50,7	50,5
B	1,24	1,02	F	29,3	29,1	J	1,589	1,586
C	1,57	1,47	G	48,62	48,31	K	0,265	0,24
D	2,16	1,98	H	49,02	48,79	L	0,397	0,396
						M	± 0,005	

**Магнитные ленты для АТМЗ** в зависимости от вида записываемых сигналов (импульсные, гармонические или широкополосные) и разрешающей способности, согласно ГОСТ 22507—77, делятся на группы, подгруппы и виды (табл. 2.19). Размеры лент для АТМЗ по ГОСТ 22507—77 приведены в табл. 2.20, стандартизованные значения физико-механических показателей — в табл. 2.21, рабочих показателей — в табл. 2.22. Основные сведения об условиях эксплуатации, хранения, намотки указанных МЛ приведены в табл. 2.8. Технические характеристики ряда отечественных лент АТМЗ импульсных

## 2.18. Характеристики лент для видеозаписи

Показатель	T 4208-12 (СССР)	T 4365-12B (СССР)	T 4493-50 (СССР)	T 4497-50 (СССР)	Scotch-401 (США)	Scotch-8250 (США)	Chroma-90 (США)	PEV 500 (ФРГ)	Sony V-32 (Япония)	Fuji-Film 701 (Япония)
Ширина, мм	12,7		50,8		—	50,8			25,4	50,8
Толщина, мкм	20	27	27	29	26	36	37	36	27,5	33—39
<i>Показатели по видеоканалу</i>										
Относительная отдача, дБ, не менее	-1	-2	0	-4	2,4	—	3	—	—	—
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	0±2		—	-1	0,2	—	2	—	0	0
Относительный уровень шума, дБ, не более	0±1,5		0,8	+1,6	-1,8	—	-0,7	—	—	—
Число выпадений сигнала воспроизведения за 1 мин, не более	200	—	3	—	—	23	0,1	15	—	0,6
Отношение видеосигнал/шум, дБ, не менее	—	—	—	—	—	—	—	48	—	—
<i>Показатели по звуковому каналу</i>										
Стносительное значение тока оптимального ВЧ подмагничивания, дБ, не более	3,5±1	0±2	± 1	—	1,75	—	—	—	0	-2
Относительная средняя чувствительность, дБ, не менее	-2		8	-3	-1	3	3,5	—	—	3

Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	14	-2	10	-2	0,5	11,5			10
Нелинейные искажения, %, не более	5	4	2,1	4		3,8	2	5,3	3,1
Относительный уровень шума намагниченной ленты	-40		-42	-42		-	-	-45	-
шума паузы	-55	-	-58,5	-56,5	-	-62		-67	-68
копирэффекта	-54	-50		-53		-	-52	-53	
стирания	-60		-65	-77		-	-	-77	-

*Физико-механические показатели*

Сабельность, мм/м, не более	1,5	2	1	1	-	-	1	-	-
Коробление, мм, не более	0,4	0,3	0,25	0,1	0,25		1,04	1,1	0,025
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	23	30	177	150	32	125	164	160	35
Относительное удлинение, %, не более (под нагрузкой, Н)	1 (10)		0,15 (10)	0,15 (10)	-		0,14 (10)		-
Адгезионная прочность рабочего слоя, Н, не менее	-	-	205	-	42		164		44
Усилие разрыва, Н, не менее			294	250	-	195	272	275	-

Показатель	T 4208-12 (СССР)	T 4305-12Б (СССР)	T 4403-50 (СССР)	T 4407-50 (СССР)	Scotch-461 (США)	Scotch-8250 (США)	Chroma-90 (США)	PEV 500 (ФРГ)	Sony V-32 (Япония)	Fuji-Film-701 (Япония)
Коэффициент трения	—	—	—	—	0,14	—	—	—	0,13	—
Удельное поверхностное сопротивление рабочего слоя, Ом/см, не более	$5 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^8$	—	$0,9 \cdot 10^{10}$	—	$7 \cdot 10^8$	—	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^9$
Работоспособность (число прогонов)	—	—	200	1000	—	2000	—	2000	—	—

- Примечания: 1. Неравномерность чувствительности  $\pm 0,5$  дБ на частоте 400 Гц и  $\pm 1,5$  дБ на частоте 10 000 Гц, а также абразивность не более 0,1 мкм/м и микрошероховатость не более 0,15 мкм для ленты Т 4208.  
 2. Число выпадений глубиной до  $-16$  дБ на участке МЛ длиной 24 м не более 150; 6; 0 при длительности выпадений не более 5; 20; 64 мкс соответственно, — для ленты Т 4407.  
 3. Удлинение до 68% при разрыве, работа ударного разрыва 12 Дж и модуль упругости 5297 МН/м<sup>2</sup> для ленты Т 4403.  
 4. Коэффициент трения 0,13 и 0,14 для МЛ Sony V-32 и Scotch-461 соответственно.

### 2.19. Классификация лент АТМЗ по ГОСТ 22507—77

Группа	Подгруппа	Вид	Разрешающая способность
1	1 (имп.)	1	16 пер/мм
		2	32 пер/мм
	2 (гарм.)	1	15 мкм*
		2	10 мкм*
2	1 (имп.)	1	64 пер/мм
		2	128 пер/мм
	2 (гарм.)	1	7 мкм*
		2	5 мкм*
3	1 (продольно-строчной)		2 мкм*
	2 (поперечно-строчной)		

\* Минимальная длина волны записываемого сигнала  $\lambda$ .

### 2.20. Размеры лент АТМЗ по ГОСТ 22507—77

Ширина, мм	Толщина лент, мкм, по группам		Длина, м, не менее
	1	2	
3,81 <sub>-0,05</sub>	27 <sub>-2</sub>	24 <sub>-2</sub> ; 18 <sub>-2</sub>	500
6,25 $\pm 0,05$		50 <sub>-5</sub> ; 34 $\pm 2$ 24 <sub>-2</sub> ; 18 <sub>-2</sub>	
12,7 <sub>-0,1</sub>	37 <sub>-3</sub> 55 <sub>-5</sub>	50 <sub>-5</sub> ; 34 $\pm 2$	750
19,05 <sub>-0,1</sub>			
25,4 <sub>-0,1</sub>		24 <sub>-2</sub>	1000

\* В новых разработках применять не допускается.

**2.21. Нормы на физико-механические показатели лент АТМЗ по ГОСТ 22507—77**

Показатель	Нормы для лент толщиной, мкм			
	50; 55	34; 37	24; 27	18
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее, при ширине образца: 6,25 мм	20	17	13	8
3,81 мм			5	3,5
Относительное удлинение, %, не более, при ширине образца: 6,25 мм	1	1,5	0,6	0,9
под нагрузкой, Н	10		4	
3,81 мм			1	1,3
под нагрузкой, Н			2	
Остаточное удлинение после снятия соответствующей нагрузки, %, не более, при ширине образца: 6,25 мм	0,05	0,1	0,06	0,1
3,81 мм			0,05	0,1
Сабельность, мм/м, не более, для лент шириной: 25,4 и 19,05 мм	1			
3,81, 6,25 и 12,7 мм				
Коробление, мм, не более, для лент шириной 3,81 и 6,25 мм	5, 3, 2 соответственно			
	0,15 и 0,2 соответственно			

- Примечания: 1. Адгезионная прочность должна быть не менее фактического значения нагрузки, соответствующего пределу текучести.  
2. Нормы на изменение усилия транспортирования в процессе эксплуатации и на тангенциальное усилие сдвига определяются технической документацией.

сигналов даны в табл. 2.23, а гармонических — в табл. 2.24. Широкополосные сигналы, в зависимости от их параметров, записывают на МЛ для гармонических сигналов или для видеозаписи.

Магнитные ленты для накопителей ЭВМ условно делятся на две группы: для записи цифровой и аналоговой информации. Размеры и расположение дорожек записи на МЛ шириной 12,7 мм по ГОСТ 12065—74 для вычислительных машин общего назначения показаны на рис. 2.11.

Основные сведения об условиях эксплуатации, хранения, намотки указанных лент приведены в табл. 2.8. Технические характеристики ряда МЛ для цифровой информации даны в табл. 2.25, а для аналоговой — в табл. 2.26.



## 2.22. Нормы на рабочие показатели лент АТМЗ по ГОСТ 22507—77

Показатель	Нормы по группам и видам лент				
	1		2		3
	1	2	1	2	1

### Ленты для импульсных сигналов

Разрешающая способность, пер/мм, не менее, для записи способом БВН	16	32	64	128	—
Коэффициент выпадений сигнала, не более	$10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	—
Коэффициент шума намагниченной ленты, %, не более	1				—

### Ленты для гармонических и широкополосных сигналов

Разрешающая способность (минимальная длина волны записываемого сигнала), мкм, не более	15	10	7	5	2
Динамический диапазон, дБ, не менее	50		40	30	
Максимальный неискаженный уровень выходного сигнала, дБ, не менее	-1,5		-2	-3	
Неравномерность чувствительности в пределах рулона на верхней граничной частоте, дБ, не более	$\pm 1$	$\pm 1,5$	$\pm 2$	$\pm 2,5$	

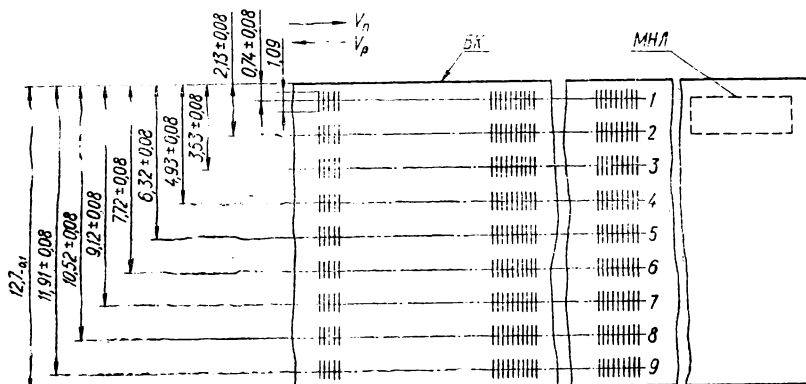


Рис. 2.11. Размеры и расположение дорожек на 12,7-мм ленте для ЭВМ: БК — базовый край ленты; 1 — 9 — номера дорожек; МНЛ — маркер начала ленты;  $V_p$  — прямое направление движения ленты;  $V_r$  — результирующее направление записи

2.23. Характеристики отечественных лент АТМЗ для импульсных сигналов

Показатель	И 4213	И 4315	И 4406 И 4417	И 4414 И 4424	И 4416	И 4606 И 4617
Ширина, мм	6,25	6,25; 12,7;		25,4		
Толщина, мкм	18	27	37	34	37	55
Максимально допустимое натяжение, Н, для лент шириной:						
6,25 мм	0,7		1,8	1,1		1,9
12,7 мм	—	1,5	2,5		3	
25,4 мм	—	3	4		4,5	

Рабочие показатели

Относительная отдача ленты, дБ, не менее	$0,75 \pm 0,1$	$0,9^{+0,2}_{-0,1}$	$1,1 \pm 0,1$	1	0,9	$1,1^{+0,2}_{-0,1}$
Относительная разрешающая способность, дБ, не менее	1	1,2	1	1,3	1,4	1
Коэффициент выпадений сигнала, не более, для лент шириной:						
6,25 мм	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$		$2 \cdot 10^{-7}$ при 20 пер/мм и $1 \cdot 10^{-4}$ при 64 пер/мм	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$
12,7 мм	—					
25,4 мм	—	$1 \cdot 10^{-6}$			$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Относительный уровень шума намагниченной ленты, %, не более	1	—		1	—	

Показатель	И 4213	И 4315	И 4406 И 4417	И 4414 И 4424	И 4416	И 4606 И 4617
<i>Физико-механические показатели</i>						
Сабельность, мм/м, не более, для лент шириной: 6,25 мм	2	—	3	2		3
12,7 мм		—	2	1		2
25,4 мм	—			1		
Коробление (при ширине образца 6,25 мм), мкм, не более	0,2		0,15	0,2		0,15
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	9	15	19	18		20
Относительное удлинение (при ширине образца 6,25 мм) под нагрузкой 10Н, %, не более	—	1,5				1
Относительное остаточное удлинение после снятия нагрузки, %, не более	0,1	—	0,1			—
Абразивность (при ширине образца 6,25 мм), мкм/м, не более	—		0,15			0,15
Адгезионная прочность, Н, не менее	9	—	19	—		20
Усилие разрыва (при ширине образца 6,25 мм), Н, не менее	20	—	30			35

Износоустойчивость, тыс. прогонов, не менее	50		—	100	50
Гарантии при ресурсе 50 000 прогонов, лет	1	3	1		
Допустимая запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup> , не более	10	—		10	1
Микрошероховатость, мкм, не более	0,4	—	—	0,25	—

- Примечания: 1. Средний ресурс 100 000 прогонов для МЛ И 4414, И 4417 и 150 000 прогонов для МЛ И 4416.  
2. Коэффициент трения рабочего слоя МЛ по латуни ЛС-59 не более 0,3 для МЛ И 4414, И 4416, И 4417, И 4424.  
3. Тангенциальное усилие сдвига не более 120 г для МЛ И 4414, И 4417. И 4424, И 4617.  
4. Усилие протягивания МЛ после 1500 единичных проходов при натяжении 0,6 Н не должно изменяться более, чем в 1,5 раза для МЛ И 4417, И 4424.

#### 2.24. Характеристики отечественных лент АТМЗ для гармонических сигналов

Показатель	И 4226	И 4212	И 4311 И 4321	И 4404 И 4422	И 4419	И 4605 И 4622
Ширина, мм	3,81	6,25	6,25;		12,7;	25,4
Толщина, мкм	18		27	37		55
Максимально допустимое натяжение, Н, не более, для лент шириной: 3,81 мм	0,3	—	—	—	—	—
6,25 мм	—	0,7		1,8	1,1	1,9

Показатель	И 4226	И 4212	И 4311 И 4321	И 4404 И 4422	И 4419	И 4605 И 4622
12,7 мм	—		1,5	2,5		3
25,4 мм	—		3	4		4,5
<i>Рабочие показатели</i>						
Относительная величина тока оптимального ВЧ подмагничивания, дБ, не более	$-0,5 \pm 0,5$	$-0,5 \mp 1$		$0 \pm 1$		
Относительная чувствительность, дБ, не менее	$-1 \pm 1$	$-2 \pm 1$	$0,5 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$1,5 \begin{smallmatrix} +1 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	$2,5 \pm 0,5$	$1,5 \begin{smallmatrix} +1 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$
Неравномерность чувствительности в пределах рулона, дБ, не более	—	$\pm 0,5$	—	$\mp 0,4$	—	$\pm 1$
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	$-1 \pm 1$	$0 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$9,5 \pm 1,5$	$3 \pm 2$	$2 \pm 2$	$3 \pm 2$
Нелинейные искажения, дБ, не более	—	-23	-29	-35	—	-32
Относительный уровень, дБ, не более: шума намагниченной ленты	-34	-40		-42		-40
копирэффекта	-60	-50	-49	-50		
стирания	-70		-75	-65		
<i>Физико-механические показатели</i>						
Сабельность, мм/м, не более, для лент шириной: 3,81 и 6,25 мм	3	2		3		

12,7 мм 25,4 мм	—		2		
			1		
Коробление (при ширине образца 6,25 мм), мкм, не более	0,15	0,2	0,1	0,15	
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	5	9	15	19	20
Относительное удлинение (при ширине образца 6,25 мм), %, не более под нагрузкой, Н	1,3	—	0,7	—	
	2	—	4		
Относительное остаточное удлинение после снятия нагрузки, %, не более	0,15	0,1	0,06		
Абразивность, мкм/м, не более	—		0,15		
Адгезионная прочность, Н, не менее	—	9	—	19	20
Усилие разрыва (при ширине образца 6,25 мм), Н, не менее	—	20	—	30	35
	0,35	0,4	0,35	—	
Износостойкость, тыс. циклов, не менее	50		50; 100	50	30; 100
Гарантия при ресурсе 50 000 прогонов, лет	3	1		3	1
Допустимая запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup> , не более	10		1	10	

- Примечания:
1. Коэффициент трения рабочего слоя МЛ по латуни ЛС-59 не более 0,3 для МЛ И 4321.
  2. Тангенциальное усилие сдвига не более 120 г для МЛ И 4321, И 4419, И, 4422, И 4622.
  3. Усилие протягивания МЛ после 1500 единичных проходов при натяжении 0,6 Н не должно изменяться более, чем в 1,5 раза для МЛ И 4321, И 4422, И 4622.

## 2.25. Характеристики МЛ накопителей ЭВМ для цифровой информации

Показатель	В 4407 В 4507 (СССР)	В 4501 В 4502 (СССР)	В 4811 (СССР)	Scotch- 777GP (США)	Memorex Quantum (США)
Ширина, мм	35	12,7	35	12,7	
Толщина, мкм	37; 45	48	85	48	44
Относительная разрешающая способность по продольной записи, не менее	1	—		1	1,25
Плотность записи, дв. зн./мм, не менее	—	32	15	—	
Относительная отдача, дБ, не менее	1	—	1	0,84	
Неравномерность отдачи в пределах рулона, %, не более	± 12	± 10	± 12	± 0,1	± 0,15
Сабельность, мм/м, не более	—	3		—	
Коробление (при ширине образца 6,25 мм), мм, не более	—			0,03	0,05
Нагрузка, соответствующая пределу текучести (при ширине образца 6,25 мм), Н, не менее	—			31	28
Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	90	80		—	

Примечание. Количество неустранимых дефектных мест, вызывающих выпадение сигналов, не более 40 или 20 при длине рулонов 750 или 365 м соответственно для МЛ В 4501 и не более 10 или 5 при той же длине рулонов для МЛ В 4502; стираемость не более 3% для МЛ В 4501 и В 4502; предел прочности при разрыве не менее 120 Н/мм<sup>2</sup> для МЛ В 4811.

## 2.26. Характеристики накопителей ЭВМ для аналоговой информации

Показатель	В 4409	В 4509
Ширина, мм	6,25; 12,7; 19,05; 25,4; 35; 50,8	
Толщина, мкм	37	48
Относительная средняя чувствительность, дБ, не менее	—1	
Неравномерность чувствительности в пределах рулона, дБ, не более	± 1	

Показатель	В 4409	В 4509
Относительная частотная характеристика, дБ, не менее	—5	
Нелинейные искажения, %, не более	3	
Относительный уровень шума намагниченной ленты, дБ, не более	—44	
Сабельность, мм/м, не более, для лент шириной: 6,25 мм 12,7; 19,05 мм 25,4; 35; 50,8 мм	6 3 2	
Коробление (при ширине образца 6,25 мм), мм, не более	0,2	
Нагрузка, соответствующая пределу текучести (при ширине образца 6,25 мм), Н, не менее	17	25
Относительное удлинение при нагрузке 10 Н (при ширине образца 6,25 мм), %, не более	1,5	1

Устройства для намотки магнитных лент по конструктивному исполнению подразделяются на три основные группы: кассеты, катушки, сердечники.

Кассеты обеспечивают максимальные удобства эксплуатации АМЗ и сохранность ленты. Отечественные кассеты БАЗ стандартизованы. В соответствии с ГОСТ 20492—75 установлены три типа кассет для МЛ шириной 3,81 мм: МК-60 (для 90 м ленты толщиной не более 20 мкм), МК-90 (для 135 м ленты толщиной не более 14 мкм) и МК-120 (для 180 м ленты толщиной не более 10 мкм). Условное обозначение кассеты состоит из букв МК (магнитофонная кассета), числа 60, 90 или 120, обозначающего время звучания кассеты в минутах на двух сторонах при скорости МЛ 4,76 см/с, порядкового номера разработки и номера стандарта: кассета МК-60-2 ГОСТ 20492—75. Габаритно-присоединительные размеры кассет типа МК показаны на рис. 2.12.

Лента в кассете наматывается рабочим слоем наружу. На задней стенке имеются упоры 9, которые должны выдерживать усилие не менее 3 Н. При удалении упоров предотвращается случайное стирание записи с помощью механической блокировки в магнитофоне. Прижимной узел кассеты должен обеспечивать прижим МЛ к универсальной головке с удельным давлением на ленту 0,005—0,015 Н/мм<sup>2</sup>. Максимальный момент трения в кассете не должен превышать  $9,7 \cdot 10^{-3}$  Н·м для обоих рулонов (измеренный на почти полном рулоне). Увеличение этого момента более чем на 30% считается отказом в работе. Крепление МЛ или ракорда на сердечнике должно выдерживать усилие не менее 10 Н.

На рис. 2.13 показана кассета, работающая с МЛ шириной 6,25 мм (типа E-caset), которая, в отличие от кассет типа МК, обеспечивает более высокое качество звучания. Достигается это как увеличением скорости движения МЛ до 9,53 см/с и ее ширины, так и тем, что при записи или воспроизведении верхние углы 1 кассеты открыты и подвижные направляющие 2 с прижимными роликками 3, перемещаясь к ведущим валам 4, заводят ленту в тракт ЛПМ. Таким образом, лента находится вне корпуса кассеты и проходит через блок головок практически как в катушечном магнитофоне. Этим обеспечивается более качественный контакт МЛ с МГ, а точность изготовления корпуса



кассеты меньше влияет на качество работы ЛПМ. Данные кассеты применяются в основном в профессиональных аппаратах и в отдельных престижных моделях БМЗ.

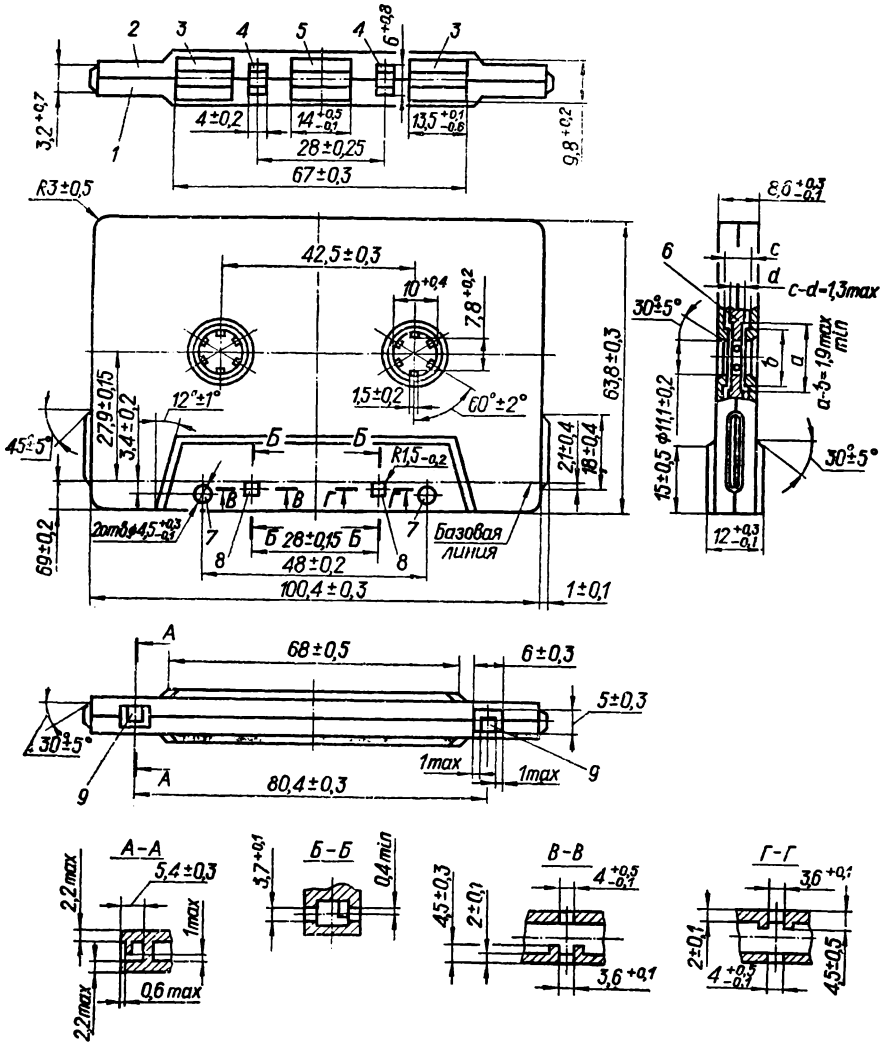


Рис. 2.12. Кассета для ленты шириной 3,81 мм (типа МК):

1 и 2 -- нижняя и верхняя половины корпуса; 3 -- окна для прижимных роликов; 4 -- окна для стирающих МГ; 5 -- окно для универсальной МГ; 6 -- бобышка; 7 -- отверстия для ведущих валов; 8 -- отверстия для фиксаторов; 9 -- предохранительные упоры

Катушки для бытовой и репортерской звукозаписи применяются по ГОСТ 13275--77, для АТМЗ, а также для аппаратуры звуко- и видеозаписи студийного, специального и общего назначения -- по ГОСТ 16824--76. Отдельные типы катушек по указанным стандартам используются также для накопителей ЭВМ.

Катушки по ГОСТ 13275—77 изготавливаются из бесцветного или цветного полистирола или прозрачно-дымчатого ударпрочного сополимера МСП. Условное обозначение катушки состоит из слова «Катушка», ее номера, цвета и номера ГОСТ например: Катушка 15 синяя ГОСТ 13275—77.

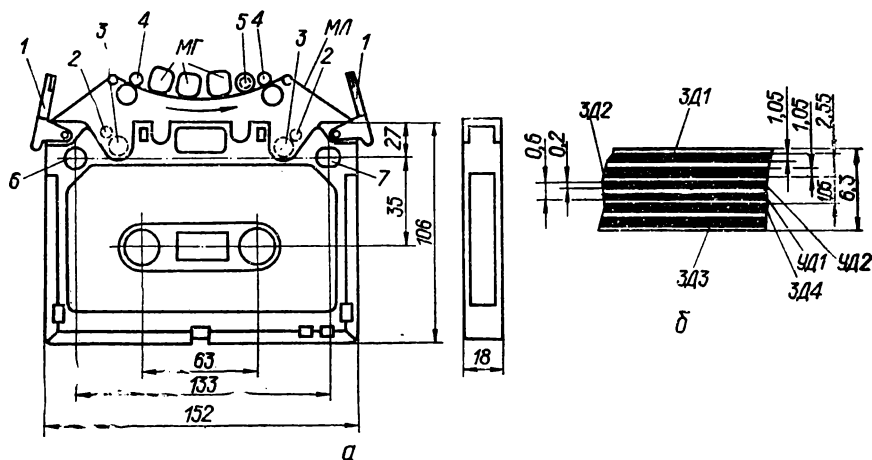


Рис. 2.13. Кассета для ленты шириной 6,25 мм (типа Elcaset):

*a* — габаритно-установочные размеры (1 — открывающиеся углы корпуса, 2 и 3 — подвижные направляющие и прижимные ролики, перемещающие МЛ к МГ, 4 — ведущие валы, 5 — неподвижная направляющая блока МГ, 6 и 7 — круглое и овальное фиксирующие отверстия в корпусе кассеты); б — размеры сигналограмм

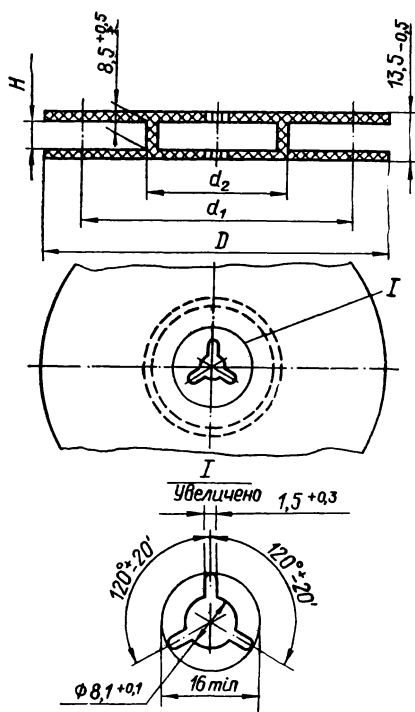
На рис. 2.14 показана катушка по рассматриваемому стандарту, а в табл. 2.27 даны размеры. Стандартом допускаются следующие величины отклонения формы и расположения поверхностей катушек (в мм):

Радиальное биение диаметров  $D$  и  $d_2$  относительно диаметра  $8,1^{+0,1}$ :

$D$ . . . . .	0,5
$d_2$ . . . . .	0,2
Торцевое биение щек катушек относительно отверстия . . . . .	0,5
Непараллельность опорных поверхностей в пределах диаметра $d_1$ . . . . .	0,2
Конусообразность диаметра $d_2$ . . . . .	0,08
Увеличение размера $H$ на диаметре $D$ относительно фактического размера $8,5^{+0,5}$ , не более . . . . .	1
Разнотолщинность щек в пределах диаметра $d_1$ . . . . .	0,15

Ориентировочная емкость катушек в зависимости от толщины ленты соответствует данным табл. 2.29 для катушек типа 1.

Катушки по ГОСТ 16824—76 могут быть двух типов: тип 1 — с диаметром посадочного отверстия 8,1 мм, изготавливаемые из пластмассы или металла (рис. 2.15, *a*), и тип 2 — с диаметром посадочного отверстия 76,2 мм, изготавливаемые из металла (рис. 2.15, *б*). Размеры катушек каждого типа определяются номерами, зависящими от их наружного диаметра, и типоразмерами, зависящими от ширины ленты (табл. 2.28). Условное обозначение катушки типа 1: Катушка 1-18-6П ГОСТ 16824—76 (номер 18, типоразмер 6, из пластмассы); условное обозначение катушки типа 2: Катушка 2-27-25М ГОСТ 16824—76 (номер 27, типоразмер 25, из металла).



## 2.27. Размеры катушек по ГОСТ 13275—77

Номер катушки	$D$ , мм (предельное отклонение +2)	$d_1$ , мм, не менее	$d_2$ , мм (предельное отклонение +1)	Масса, г, не более
7,5	76	65	35	35
10	102			40
13	127	90	45	65
15	146			80
18	178			120

Пластмассовые катушки по ГОСТ 16824—76 изготавливаются из ударопрочного полистирола УПМ-508, УПМ-612, сополимера МСП и им аналогичных. Металлические катушки изготавливаются из естественно или искусственно состаренных немагнитных материалов (АМг, Ал-9, В-95 и др.).

Рис. 2.14. Катушка по ГОСТ 13275—77 (размер  $13,5_{-0,5}$  мм в пределах диаметра  $d_1$  должен обеспечиваться по всей поверхности). Остальные размеры см. в табл. 2.27

Допустимые отклонения формы и расположения поверхностей катушек (в мм) по ГОСТ 16824—76:

### Для катушек типа 1

Радиальное биение диаметров  $D_2$  и  $D$  относительно диаметра  $8,1^{+0,1}$ :

$D_2$ . . . . .	0,2
$D$ . . . . .	0,5

Непараллельность поверхностей катушки, определенная размерами

$H$ и $D_1$ . . . . .	0,2
$h$ и $D$ . . . . .	0,5

Торцевое биение поверхностей щек катушки, определенных размерами  $h$  и  $D$  относительно торцов  $H$  . . . . .

Максимальная конусность диаметра  $D_2$  . . . . . 0,03

### Для катушек типа 2

Радиальное биение диаметров  $114^{+0,5}$  и  $D$  относительно диаметра  $76,2^{+0,1}$ :

$\varnothing 114^{+0,5}$ . . . . .	0,05
$D$ . . . . .	0,4

Непараллельность торцов втулки, определенных размерами

$H$ и $\varnothing 92 \frac{A_3}{X_3}$ . . . . .	0,01
--	------

$2,4^{+0,1}$  и  $114^{+0,5}$  ..... 0,01  
 Непараллельность поверхностей щек катушки, определенных размерами  $2,4^{+0,1}$  и  $D$  к торцам  $H$  . . . 0,001 на 1 мм размера  $D$   
 Неперпендикулярность образующей диаметра  $114^{+0,5}$  к торцу  $H$  и торцу, определенному размером  $2,4^{+0,1}$  0,001 на 1 мм размера  $H$

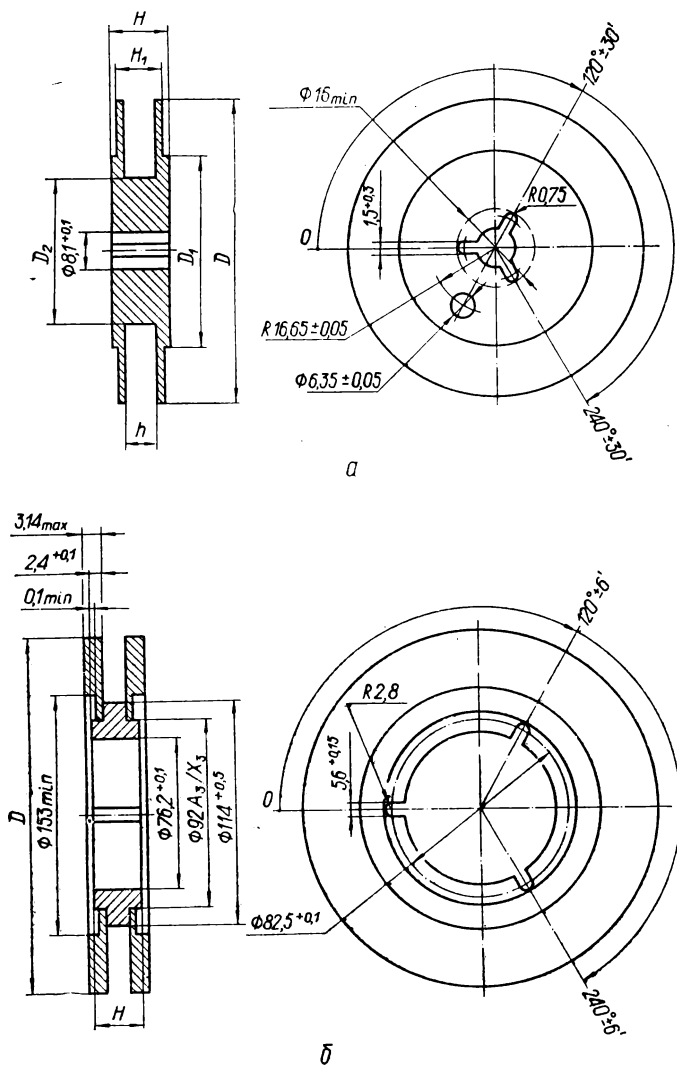


Рис. 2.15. Катушки по ГОСТ 16824—76:

а — тип 1 (размер  $H_1$  за зоной посадочного диаметра  $D_1$  может быть равным или меньше размера  $H$ ); б — тип 2 (размеры  $D \dots H$  см. в табл. 2.28)

## 2.28. Размеры катушек по ГОСТ 16824—76

Номер катушки	$D$ , мм	$D_1$ мм, не менее	$D_2$ мм	Типоразмер	Ширина ленты, мм	$H$ , мм	$h$ , мм
<i>Tun 1</i>				<i>Tun 1</i>			
7	75+1	60	35	6	6,25	13,5 <sub>-0,75</sub>	8,5 <sup>+0,5</sup>
10	102+1	75	45				
13	127+1	90	50				
15	146+1		57				
18	178+1			12	12,7	20 <sub>-0,5</sub>	14 <sup>+0,5</sup>
<i>Tun 2</i>				<i>Tun 2</i>			
18	180 <sup>+0,5</sup>			6	6,25	11,7 <sub>-0,05</sub>	—
20	203 <sup>+0,5</sup>			12	12,7	18,15 <sub>-0,05</sub>	
23	230 <sup>+0,5</sup>			19*	19,05	24,5 <sub>-0,05</sub>	
27	267 <sup>+0,5</sup>	—	—	25	25,4	30,85 <sub>-0,05</sub>	
32	318 <sup>+0,5</sup>			50	50,8	56,25 <sub>-0,05</sub>	
35	356 <sup>+0,5</sup>						

\* При новом конструировании применять не допускается.

## 2.29. Емкость катушек по ГОСТ 16824—76

Катушка		Емкость, м, при толщине МЛ, мкм				Катушка		Емкость, м, при толщине МЛ, мкм			
Номер	Тип	55	37	27	18	Номер	Тип	55	37	27	18
7	1	50	70	90	130	18	2	220	330	460	690
10		100	150	180	270	20		340	500	700	1060
13		180	270	360	540	23		500	700	1030	1540
15		250	370	500	750	27		750	1100	1540	2310
18		350	520	700	1050	32		1150	1750	2400	3600
						35	1500	2200	3080	4630	

Емкость катушек в зависимости от толщины МЛ дана в табл. 2.29.

Сердечники для отечественной АМЗ с диаметром посадочного отверстия 20,1 мм по ГОСТ 12796—77 предназначены для лент студийной звукозаписи шириной 6,25 мм, а в диаметре посадочного отверстия 76,2 мм по ГОСТ 21717—76 — для лент шириной 6,25...70 мм, работающих в жестких условиях эксплуатации (АТМЗ и др.).

Сердечники по ГОСТ 12796—77 выпускаются двух типов: тип I — несимметричные (рис. 2.16, а) из листовой стали, тип II — симметричные (рис. 2.16, б) из алюминиевых сплавов. Сердечники по ГОСТ 21717—76 (рис. 2.17) изготавливаются из алюминиевых сплавов, их размеры даны в табл. 2.30.

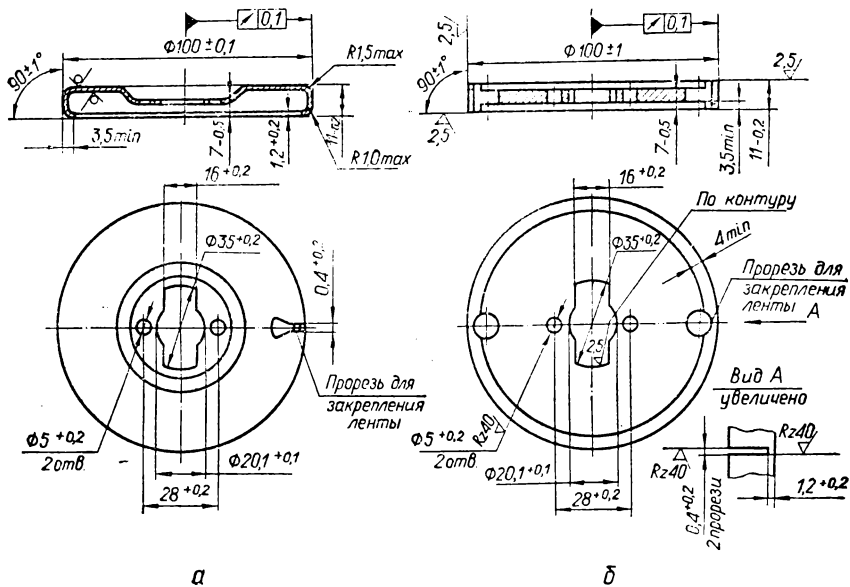


Рис. 2.16. Сердечники типа I (а) и II (б) по ГОСТ 12796—77

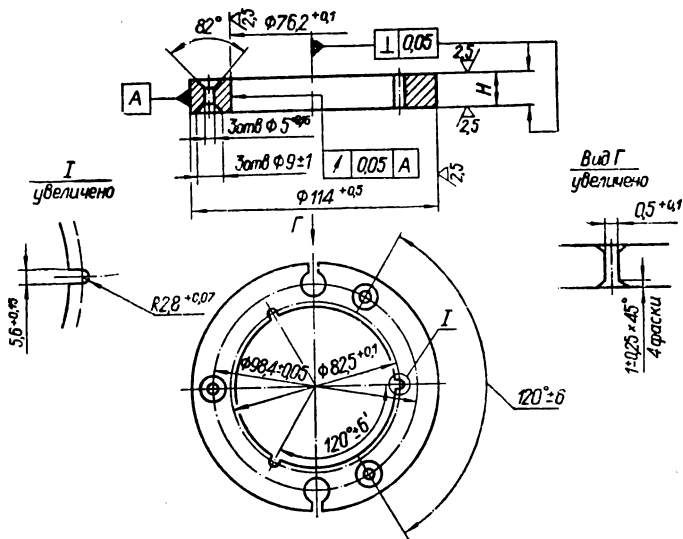


Рис. 2.17. Сердечники по ГОСТ 21717—76 (размер  $H$  см. в табл. 2.30). Овальность и конусность поверхности А не более 0,05 мм

## Магнитная проволока (МП)

Проволочные носители записи применяются для жестких условий эксплуатации и представляют собой холоднотянутую проволоку из прецизионного сплава. Типы и размеры МП в соответствии с ГОСТ 18834—73 приведены в табл. 2.31 (проволока типов 3.1 и 5.1 — типовая, а проволока остальных типов — рабочая). Первая цифра в обозначении типа определяет диаметр

2.30. Размеры сердечников по ГОСТ 21717—76

Обозначение	Ширина ленты, мм	Высота сердечника $H$ , мм (предельное отклонение $\pm 0,15$ )
6	6,25	8,9
12	12,7	15,2
19	19,05	21,6
25	25,4	27,9
35	35	37,5
50	50,8	53,3
70	70	72,5

2.31. Размеры проволочных носителей по ГОСТ 18834—73

Тип	Диаметр, мм	Масса проволоки на катушке, г
3.1	0,03 <sub>-0,002</sub>	1
3.2	0,03 $\pm$ 0,002	15
3.3		30
5.1	0,05 <sub>-0,002</sub>	3,2
5.2	0,05 <sub>-0,002</sub>	165; 135; 40
5.3		120; 80; 40
5.4	0,05 <sub>-0,002</sub>	40; 70 $\pm$ 5

проволоки, умноженный на  $10^3$ , а вторая — условное обозначение рабочих свойств. Основные условия эксплуатации: температура от  $-50$  до  $+60^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $95 \pm 3\%$  при  $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$ , давление от  $133,3 \cdot 10^{-6}$  до 2 Па, линейные ускорения до 80  $g$  в любом направлении в течение 15 мин, вибрации до 15  $g$  в диапазоне частот от 20 до 2500 Гц в течение 15 мин. Коррозионная стойкость проволоки обеспечивает возможность ее применения при 98% влажности и температуре  $40^\circ\text{C}$  в течение 92 суток. Основные характеристики проволочных носителей даны в табл. 2.32.

2.32. Характеристики проволочных носителей по ГОСТ 18834—73

Показатель	Нормы для проволоки типов						
	3.1	3.2	3.3	5.1	5.2	5.3	5.4
<i>Магнитные показатели</i>							
Коэрцитивная сила, Э	От 600 до 1000						
Остаточная индукция, Гс	От 2000 до 5000						
<i>Рабочие показатели</i>							
Относительная средняя чувствительность при 400 Гц, дБ	0	-1	0	-2	0		
	+0,5	+3	+0,5	+2	-6		
Неравномерность чувствительности, дБ, не более, на частоте:							
	400 Гц	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 1$	
	4000 Гц	$\pm 0,5$	$\pm 3$	$\pm 0,5$	$\pm 3$	—	

Продолжение табл. 2.32

Показатель	Нормы для проволоки типов						
	3.1	3.2	3.3	5.1	5.2	5.3	5.4
Относительная частотная характеристика, дБ	0	-0,5		0		-	
Неравномерность относительной частотной характеристики катушек в партии, дБ, не более	±1,5	±3,5		±1,5	±5	-	
Нелинейные искажения, %, не более	5		7	5		-	
Шум намагниченной проволоки, дБ, не более	-39			-37		-	
Шум размагниченной проволоки, дБ, не более	-43		-50	-48	-45		
Относительный уровень копир-эффекта, дБ, не более	-40				-		
Относительный уровень стирания, дБ, не более	-55	-50	-55		-	-50	
<i>Физико-механические показатели</i>							
Разрывное усилие, г, не менее	140			380			
Усилие разрыва проволоки с узлом, г, не менее	80			230			
Диаметр завитка, мм, не менее, свободного отрезка проволоки	15			20			
Абразивность, мм/м, не более	3 · 10 <sup>-3</sup>			8 · 10 <sup>-3</sup>			

- Примечания: 1. Частотная характеристика -6 и -9 дБ на частотах 200 и 300 Гц соответственно для МП типа 5.4.  
 2. Овальность МП всех типов - в пределах допуска на диаметр.  
 3. Относительное удлинение в момент разрыва не более 1%, предел прочности 200 ... 350 кг/мм<sup>2</sup>; прочность МП, связанной морским узлом, не менее 60% от прочности целой проволоки; плотность в отожженном состоянии 7,93 Г/см<sup>3</sup>.



## Магнитные барабаны (МБ)

Рассматриваемые устройства применяются в качестве носителей записи для запоминающих устройств ЭВМ и отличаются наименьшим временем доступа к информации (временем выборки) по сравнению с другими носителями магнитной записи (всего 2,5—50 мс), информационная емкость их составляет от  $5 \cdot 10^5$  до  $8 \cdot 10^9$  бит. Для отечественных накопителей на МБ согласно ГОСТ 14128—69 установлены следующие условия эксплуатации: температура окружающего воздуха от 5 до 40° С, относительная влажность воздуха от 30 до 80%, атмосферное давление ( $101,3 \pm 4$ ) кПа, запыленность воздуха — не более  $1 \text{ мг/м}^3$  при размере частиц не более 3 мкм, блок МБ должен быть защищен от проникновения и оседания пыли на рабочие поверхности МБ и МГ. По ГОСТ 14128—69 установлены следующие типы накопителей на МБ в зависимости от информационной емкости: 1 — малой емкости (менее 1 млн. бит), 2 — средней емкости (от 1 до 25 млн. бит), 3 — большой емкости (более 25 млн. бит). Диаметр МБ выбирается из ряда: 60, 100, 200, (260), (320), 350, 450, 630 мм, при этом значения в скобках применять не рекомендуется. Другие технические характеристики МБ не регламентированы и выбираются в зависимости от конкретных требований на АМЗ. В качестве опор вращения МБ обычно используют прецизионные радиально-упорные шарикоподшипники, в отдельных случаях — опоры на газовой смазке. Для уменьшения радиального биения МБ окончательную обработку его рабочей поверхности выполняют в опорах вращения.

### Глава 3

## МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НОСИТЕЛЯ

### 1. МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛЕНТЫ

Механизмы транспортирования ленты (МТЛ) выполняют относительное перемещение с заданной стабильностью ленточного носителя или магнитных головок с механическим контактом или без него между ними. Ленточный носитель в МТЛ выполняет функции элемента для электромагнитной записи-воспроизведения различной информации и замыкающего звена кинематической схемы. По кинематическим схемам и принципу действия различают кольцевые МТЛ, работающие с замкнутым отрезком (кольцом) магнитной ленты (МЛ), и рулонные, работающие с разомкнутым отрезком МЛ, намотанным в плотный рулон.

Кольцевые МТЛ предназначены для АМЗ оперативной и реже долговременной памяти. Для них характерны: небольшие длина (от 1 до 75 м) и время прогона (от 0,5 с до 5 мин) кольца, длительная круглосуточная работа, однонаправленное движение МЛ, отсутствие ускоренных перемоток, широкий диапазон линейных скоростей движения с максимальным значением 4—5 м/с. Для АМЗ долговременной памяти в кольцевых МТЛ увеличиваются длина кольца МЛ (до 50 м), время работы, движение МЛ может быть дискретным. Кольцевые МТЛ работают с кассетными или некассетными накопителями МЛ типа роликовый лабиринт, ненапряженный карман, одно-, двух- и многوشпульный кольцевой («срыхлый») рулон. Кольцевой МТЛ с кассетным накопителем 8 (показан пунктиром) типа роликовый лабиринт (рис. 3.1, а) содержит ряд гладких роликов 1, на которых поворотным роликом 3 натянута лента 2. С направляющих крайних роликов 4 лента попадает в рабочую зону МТЛ с магнитными головками (МГ) 5, где фрикционно транспортируется ведущим валом 7 и прижимным роликом 6. Подобные кольцевые МТЛ хорошо работают в условиях повышенных вибраций (до 10 g), влажности (до 98%), при любой ориентации в пространстве. К недостаткам относятся значительные размеры в плане при небольших длинах колец, большие потери на трение в опорах вращения роликов.

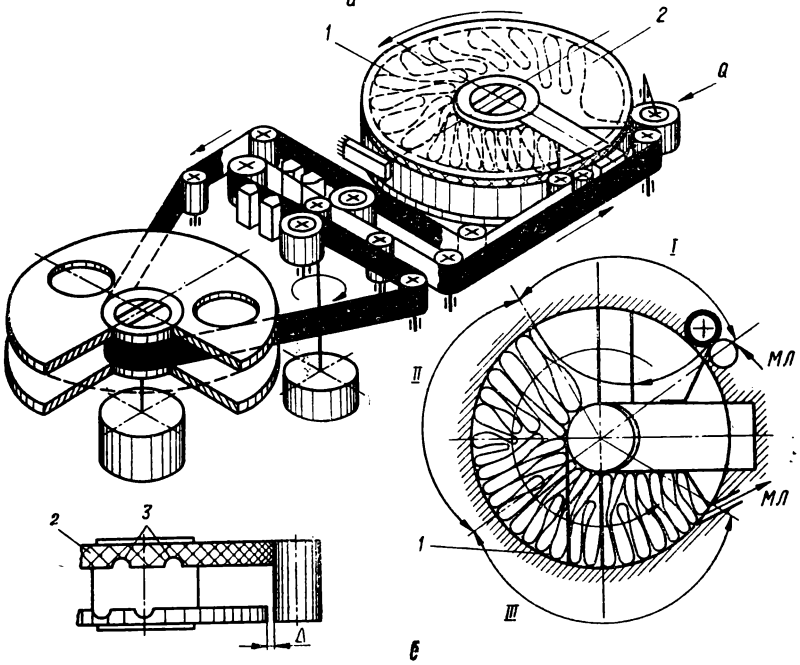
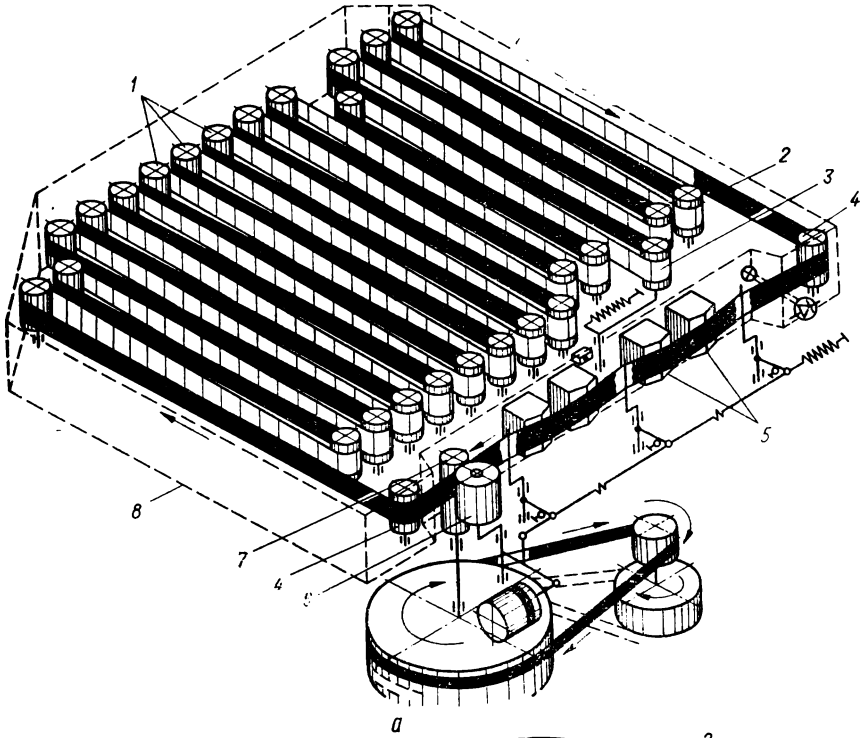
Этих недостатков лишены МТЛ с накопителем типа ненапряженный карман, где при расчетной площади 1000 см<sup>2</sup> средняя длина кольца составляет 75 м, а потери на трение не превышают 0,1—0,2 Н. Однако в распространённых кольцевых МТЛ (рис. 3.1, б) площадь накопителя практически лишь на 50% занята петлями МЛ вследствие скапливания их в зоне 1 после входного устья и продвижения внутри только за счет естественного слабого давления эластичных входных петель на весь объем ленты в кармане. Если входным и всем остальным петлям 1 сообщить продвижение в накопителе за счет сил торцевого трения краев МЛ о щеки принудительно вращающейся специальной катушки 2, то емкость возрастет вдвое и увеличится равномерность их продвижения внутри кармана. С внутренней стороны щек накопителя выполняют радиально-параллельные пазы 3, которые еще больше увеличат силы трения МЛ в описанном торцевом транспорте Травникова. Теоретическая длина петля  $L$ , м, ненапряженной МЛ в кармане, еще не получающей остаточной деформации, рассчитывается по формуле  $L = S_k d_k$ , где  $S_k$  — площадь рабочей полости накопителя, см<sup>2</sup>;  $d_k = 10, 15$  или  $20$  см<sup>2</sup>/м ленты — удельная плотность

заполнения рабочей полости для МЛ толщиной 27, 37 и 55 мкм соответственно. В кольцевых МТЛ с накопителем типа кольцевой рулон 3 (рис. 3.1, в) магнитная лента 4 вытягивается вверх с внутреннего слоя рулона по гиперболической или конусной части сердечника 2, преломляется в плоскости и подается в рабочую зону 6. После рабочей зоны МЛ наматывается на наружный слой рулона, который опирается по торцу на ролики или стержни 1, вращающиеся вместе со щекой 5 сердечника. Рулон должен иметь оптимально рыхлую намотку, достаточную для передачи движения со скольжением за счет фрикционных свойств с внутреннего витка ленты рулона на последующий и так далее до наружного. При сильной фрикционной связи происходит затягивание МЛ во всем рулоне и обрыв ее, а при слабой связи не обеспечивается передача движения на наружную часть рулона, последний сильно рыхлится снаружи и затягивается внутри, что также ведет к обрыву ленты; применяется только специальная графитизированная МЛ, уменьшающая трение при большой емкости кольцевого рулона (до 250 м). Применяя жесткие перфорированные МЛ и двухшпунтовые кольцевые рулоны, можно увеличить емкость накопителя до 500 м. Рулонные кольцевые накопители хорошо работают при сухом воздухе в условиях вибраций и тряски, при повышенной влажности выходят из строя вследствие слипания витков рулона.

Рулонные МТЛ предназначены для АМЗ долговременной и реже оперативной памяти. Для них характерны большие емкость отрезка МЛ (до 4000 м) и время работы, реверсивное непрерывное или дискретное движение МЛ, наличие старт-стопных режимов и ускоренных перемоток в обе стороны, широкий диапазон линейных скоростей, вплоть до 50 м/с. Для АМЗ оперативной памяти в рулонных МТЛ уменьшаются длина МЛ до 3—15 м и время работы, вводится только реверсивное движение МЛ, исключаются режимы ускоренных перемоток, верхнее значение скорости не превышает 38,1 см/с. Рулонные МТЛ различают по тракту МЛ (плоские и пространственные); по связи рулонов с ведущим валом и последнего с МГ (механизмы со свободными участками ленты, с нулевой петлей в рабочей зоне, полной нулевой петлей); по исполнению накопителей (кассетные и катушечные).

Около 20% всех рулонных МТЛ имеют плоский тракт МЛ с замкнутой одновальной рабочей зоной типа АМРЕХ (рис. 3.2, а). Стабильное натяжение МЛ внутри рабочей зоны на магнитных головках 2 обеспечивается за счет различных окружных скоростей тянущей и толкающей зон контакта ведущего вала 3 и прижимных роликов 4 и 5 вследствие различных усилий фрикционной связи МЛ с этими зонами (с тянущей больше, с толкающей меньше). Обеспечить стабильное натяжение можно неодинаковыми прижимными усилиями роликов к ведущему валу, эластичностями обрезиненного слоя прижимных роликов, высотами прижимных секционных роликов, углами обхвата лентой прижимных роликов, усилиями подтормаживания прижимных роликов.

Часто между рулонными накопителями 1 и рабочей зоной устанавливают промежуточные накопители — буферные развязки в виде уравновешенных



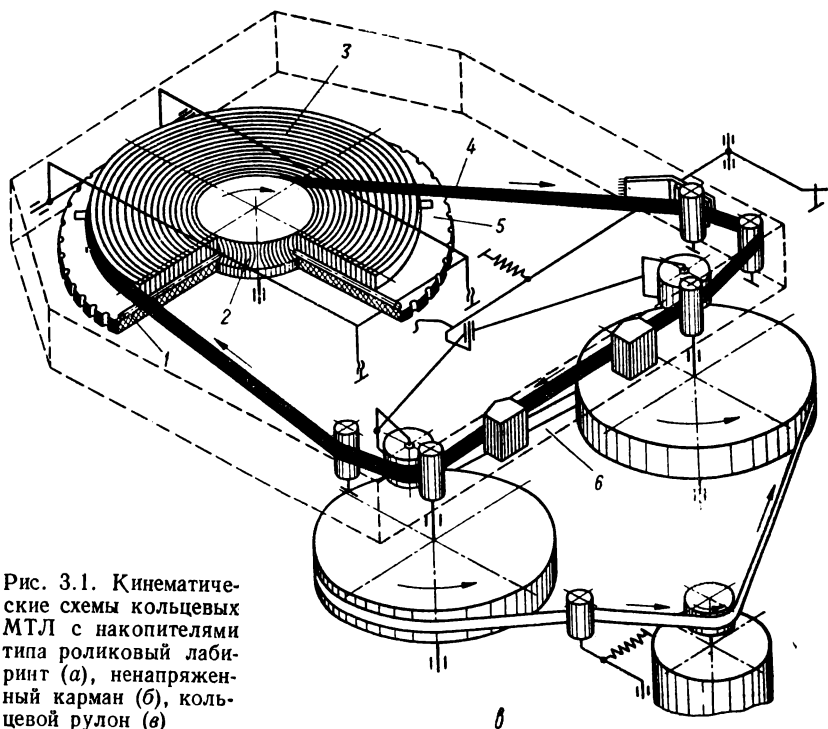


Рис. 3.1. Кинематические схемы кольцевых МТЛ с накопителями типа роликовый лабиринт (а), ненапряженный карман (б), кольцевой рулон (в)

(сбалансированных) относительно оси поворота двух роликов 6 и 7 (рис. 3.2, б) или вакуумных карманов 8 и 9 (рис. 3.2, в). Для удешевления производства новых видеоманитофонов наклонно-строчной записи (НСЗ) целесообразно на базе известных одноуровневых МТЛ с минимальными реконструкциями установить наклонный блок вращающихся головок (БВГ) 10 с двумя симметричными разнонаправленными винтовыми участками ленты 1 и 11, образующими тракт ленты ЕНИТ-5 (рис. 3.2, г). Замкнутые одновальные рабочие зоны для аналоговой записи выполняют с минимальными свободными участками ленты между МГ и ведущим валом, что обеспечивает высокую равномерность мгновенной скорости транспортирования МЛ ( $ККС \leq 0,06\%$  на скорости 152,4 см/с). Для ЦМЗ эти тракты без усовершенствований не применяются вследствие **значительных** неравномерностей натяжения ленты по ширине в зоне линейных контактов прижимных роликов с МЛ, ведущим валом и возле близко стоящих от них магнитных головок. Целесообразно применить разомкнутые рабочие зоны (рис. 3.2, д), где МГ 2 удаляют от ведущего вала 3 на значительное расстояние (150—200 мм), или прямолинейные рабочие зоны с использованием комбинированного контакта прижимного ролика 4 с МЛ и ведущим валом 3 (рис. 3.2, е).

В стационарной и некоторой бортовой АМЗ применяются пневмосистемы (ПС) с избыточным или пониженным по отношению к атмосферному давлению воздуха. Вакуумные карманы с разрежением — Р 8 и 9 между рабочей зоной и рулонными накопителями 1 и 7 (рис. 3.3) позволяют резко уменьшить влияние неравномерностей вращения подающего 1 и приемного 7 рулонов на стабильность мгновенной скорости движения МЛ в зоне МГ 2 и 5, повысить достоверность воспроизводимой информации за счет вакуумной ее очистки, уменьшить время пуска и остановки, динамические нагрузки на МЛ в эти моменты. Вакуумный прижим МЛ к поверхности ведущего вала 6 позволяет

уменьшить неравномерность натяжения ее по ширине контакта, динамические перескоки, повысить надежность работы узла транспортирования МЛ. Направляющие 3 и 4 для МЛ с газовой смазкой + Р позволяют уменьшить потери на трение по направляющим элементам и их износ, значительно снизить высокочастотные составляющие колебания мгновенной скорости движения ленты.

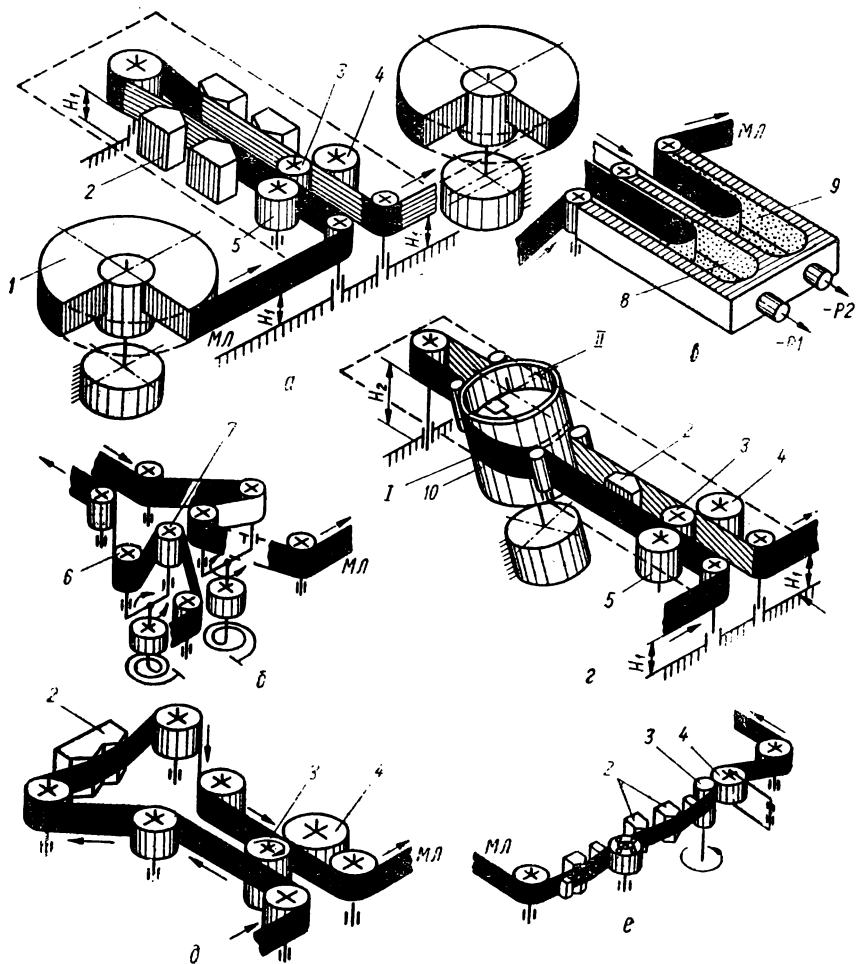


Рис. 3.2. Кинематические схемы распространенных ролловых МТЛ

**Основные принципы расчета МТЛ.** При расчете МТЛ последовательно определяют распределение сил сопротивления и движения МЛ; силы сопротивления движению МЛ в рабочей зоне; вращающиеся моменты электродвигателей с учетом механических передач; геометрию ременных, фрикционных и зубчатых передач; емкость; время работы, пуска, остановки; частоты вращения; инерционные силы основных и промежуточных накопителей; геометрию пространственных трактов МЛ с соосным и другим расположением ролловых накопителей.

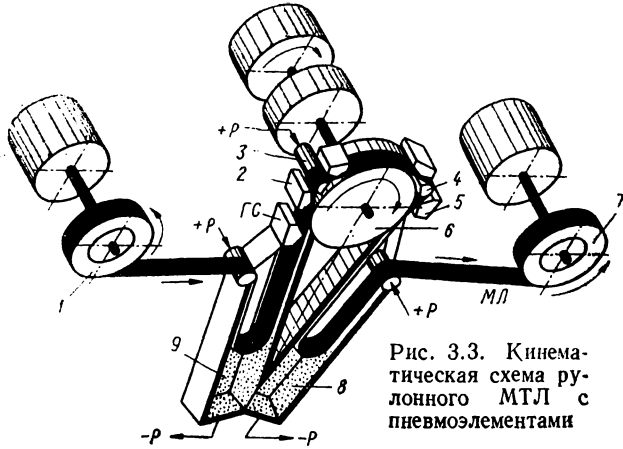


Рис. 3.3. Кинематическая схема роллонного МТЛ с пневмоэлементами

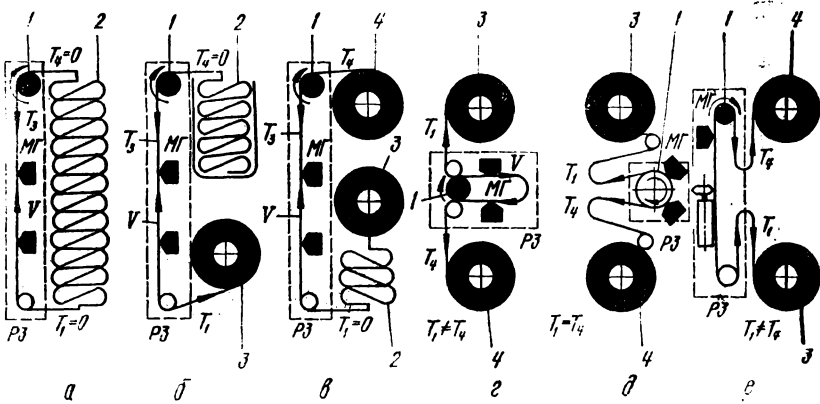


Рис. 3.4. Схемы распределения натяжений ленты в тракте МТЛ

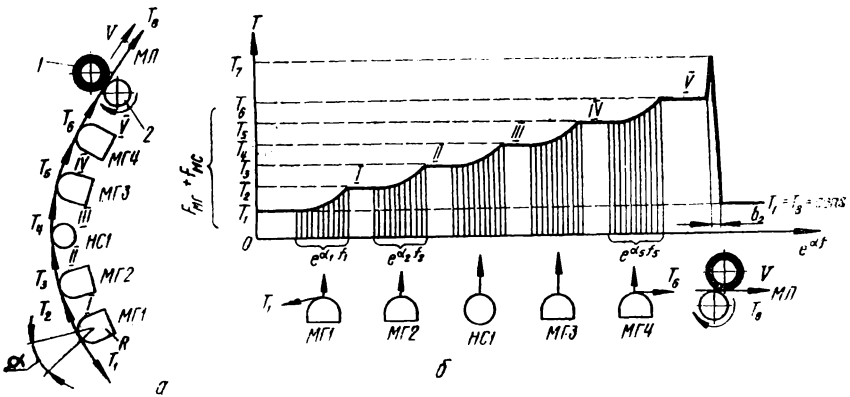


Рис. 3.5. К распределению сил сопротивления:  
 а — в криволинейном тракте ленты; б — эпюра натяжений ленты этого тракта

Распределение сил, движущих МЛ, и сил сопротивления (противодействия) ее движению, приведенных к ведущему валу, выполняется по упрощенным схемам трактов МЛ. В первой схеме (рис. 3.4, а) ведущему валу 1 приходится преодолевать в МТЛ только силы сопротивления рабочей зоны РЗ, так как натяжения ленты 2 до и после нее равны нулю, т. е.  $F_{с. в. в} = F_{с. рз}$ . Во второй схеме (рис. 3.4, б) ведущий вал 1 кроме сил сопротивления рабочей зоны РЗ преодолевает еще силу натяжения  $T_1$  ленты со стороны подающего накопителя 3, поэтому  $F_{с. в. в} = F_{с. рз} + T_{1max}$ . В третьей схеме (рис. 3.4, в) ведущему валу 1 помогает сила натяжения  $T_4$  со стороны приемного накопителя 4, поэтому  $F_{с. в. в} = F_{с. рз} - T_{4min}$ . В четвертой схеме (рис. 3.4, г) ведущему валу 1, с одной стороны, помогает натяжение  $T_4$  со стороны приемного накопителя 4, а с другой, — тормозит натяжение  $T_1$  со стороны подающего накопителя 3, поэтому  $F_{с. в. в} = F_{с. рз} + (T_{1max} - T_{4min})$ . В пятой схеме (рис. 3.2, д) натяжение ленты до и после рабочей зоны РЗ равны друг другу ( $T_1 = T_4$ ), поэтому ведущему валу 1 приходится преодолевать сопротивления РЗ, т. е.  $F_{с. в. в} = F_{с. рз}$ . В шестой схеме (рис. 3.2, е), предложенной фирмой АМРЕХ, натяжение ленты  $T_4$  больше натяжения  $T_1$  на величину сил сопротивления в рабочей зоне, т. е.  $T_4 = T_1 + F_{с. рз}$ , поэтому ведущий вал при поверхностном контакте с лентой находится в уравновешенном состоянии: до и после него натяжения равны, т. е. ему приходится преодолевать только силы трения в своих опорах вращения, а если установить прижимной ролик, то и в его опорах и его упругий гистерезис.

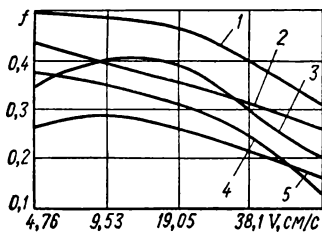


Рис. 3.6. Экспериментальные зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения различных типов лент:

1 — И4404-25; 2 — РЕ-65; 3 — РЕ-41; 4 — АМРЕХ; 5 — И4212-6

сил натяжения МЛ перед первой по ходу движения магнитной головкой МГ1  $T_1 = qbRe^{\alpha f}$ , где  $q$  — удельное давление МЛ на МГ, Н/см<sup>2</sup>, выбирается из табл. 3.1;  $b$  — ширина МЛ или ширина зоны контакта МЛ с МГ, см;  $R$  — радиус площадки контакта этой пары, см;  $e$  — основание натурального логарифма, равное 2,72;  $\alpha$  — угол обхвата МГ лентой, рад. (от 10 до 20°);  $f$  — коэффициент трения МЛ по МГ, выбирается из табл. 3.2 и зависит от скорости движения ленты согласно графику (рис. 3.6). Значения  $e^{\alpha f}$  для различных  $f$  и  $\alpha$  приведены в табл. 3.3.

### 3.1. Удельное давление ленты на магнитные головки

Толщина ленты, мкм	150	100	55	37	27	18	12(9)
$q$ , Н/см <sup>2</sup>	0,9...1	0,7...0,8	0,55...0,6	0,35...0,4	0,2...0,25	0,15...0,18	0,08...0,1

Натяжение МЛ после последней МГ (неподвижной стойки)  $T_n = T_1 e^{(\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \dots + \alpha_{n-1} f_{n-1})}$ . Потери на трение в рабочей зоне по МГ, неподвижным стойкам НС и контактными штырям (рис. 3.5, б)  $F_{с(МГ+НС)} = T_n - T_1$ .

### 3.2. Коэффициенты трения ленты по различным материалам

Тип ленты	Материал неподвижных элементов (стоек, магнитных головок)	f		Тип ленты	Материал неподвижных элементов (стоек, магнитных головок)	f	
		Рабочий слой	Основная лента			Рабочий слой	Основная лента
6Л	Хромирование шлифованное	0,29	0,23	PE-41	Сплав БрБ	0,34	0,33
6Л	Никелевое покрытие (твердсе)	0,28	0,21	PE-65	Сплав БрБ	0,41	0,42
6Т	Сталь ХВГ	0,49	0,32	Эмитейп	Сталь 12Х18Н9Т	0,32	0,28
6Т	Сплав Д16Т с глубоким анодированием	0,43	0,28		Сталь ХВГ	0,35	0,27
6ТЛ	Сталь 12Х18Н9Т	0,37	0,28	AMPEX 748	Сплав БрБ	0,4	0,3
T-1	Сплав БрБ	0,28	0,31	Scotch 777	Сплав БрБ	0,34	0,29
T-6	Сплав БрБ	0,27	0,36	Video	Сплав БрБ	0,38	0,24
Сигма	Латунь Л62	0,42	0,31	Philips			
PE-40	Сплав БрБ	0,35	0,36				

Силы гистерезисных потерь относят к потерям энергии на внутреннее трение между частицами эластичного слоя прижимных роликов (ремней) в результате изгиба, растяжения или сжатия его в прижатом состоянии к вращающему валу с усилием  $Q$ . Момент сопротивления, вызванный гистерезисными силами, определяется по формуле

$$M_{\text{гис}} = \frac{T_n K}{f} \sqrt{\frac{T_n K}{\pi f l} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{1 - \mu_1}{E_1} + \frac{1 - \mu_2}{E_2} \right)},$$

где  $K = 1,5 \dots 3$  — коэффициент запаса фрикционной передачи вал — прижимной ролик в зависимости от условий эксплуатации;  $l$  — высота контакта прижимного ролика и вала;  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы ведущего вала и прижимного ролика (см. рис. 3.8, з);  $\mu_1 = 0,25 \dots 0,3$  и  $\mu_2 = 0,47$  — коэффициенты Пуассона материалов ведущего вала и прижимного ролика;  $E_1 = (2,1 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,1$  МПа и  $E_2 = (30 \dots 160 \text{ кг/см}^2) \cdot 0,1$  МПа — модули упругости материалов ведущего вала и прижимного ролика.

Элементом вращения различных узлов МТЛ (ведущим валам, прижимным и направляющим роликам и др.) присущи потери на трение в опорах качения или скольжения. Потери на трение в опорах качения незначительны и по экспериментальным данным составляют для одного шарикоподшипника размером  $7 \times 17 \times 5$  мм при радиальной нагрузке до 50 Н около  $M_{\text{тр}} = (4 \dots 6) \times 10^{-3}$  Н · см. Потери на трение в опорах скольжения значительны и определяются по формуле  $M_{\text{тр}} = Q r f$ , где  $Q$  — радиальная нагрузка, Н;  $r$  — радиус отверстия подшипника (оси), см;  $f$  — коэффициент трения скольжения материалов подшипника и цапфы (оси).

Общие потери на силы сопротивления в рабочей зоне МТЛ определяются по формуле

$$F_{\text{с рз}} = F_{\text{с(МГ+НС)}} + M_{\text{гис}}/R_{\text{в. в}} + F_{\text{с. опор. в. в}} + F_{\text{с. опор. пр. рол}}$$

где  $F_{\text{с. опор. в. в}}$  и  $F_{\text{с. опор. пр. рол}}$  — силы трения в опорах ведущего вала и прижимного ролика.

Суммарные потери на силы сопротивления рабочей зоны, приведенные к вращающему валу, с учетом сил натяжения МЛ на рулонных накопителях

$$\sum F_{\text{с. в. в}} = F_{\text{с рз}} \pm T_{1(4)} \quad \text{или} \quad \sum M_{\text{с. в. в}} = F_{\text{с рз}} R_{\text{в. в}}$$



3.3. Значения  $e^{\alpha f}$  для различных коэффициентов трения

f	$e^{\alpha f}$ при $\alpha$ , град																			
	5	10	15	20	25	30	45	60	90	120	150	180	190	210	240	270	300	330	360	390
	при $\alpha$ , рад																			
	0,08	0,17	0,26	0,35	0,44	0,52	0,78	1,04	1,57	2,09	2,61	3,14	3,31	3,66	4,18	4,71	5,23	5,75	6,28	6,8
0,05	1,004	1,008	1,013	1,017	1,022	1,026	1,04	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,18	1,2	1,23	1,26	1,29	1,33	1,368	1,4
0,08	1,007	1,014	1,021	1,028	1,035	1,042	1,06	1,087	1,13	1,18	1,23	1,28	1,3	1,34	1,39	1,45	1,52	1,58	1,65	1,72
0,1	0,01	0,02	1,03	1,035	1,04	1,05	1,08	1,11	1,17	1,23	1,3	1,37	1,39	1,45	1,52	1,6	1,68	1,79	1,18	1,97
0,15	1,01	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,13	1,17	1,27	1,36	1,47	1,6	1,65	1,73	1,88	2,03	2,2	2,36	2,56	2,77
0,18	1,01	1,03	1,05	1,06	1,08	1,09	1,15	1,21	1,32	1,46	1,6	1,77	1,82	1,93	2,12	2,34	2,56	2,83	3,1	3,39
0,2	1,02	1,03	1,06	1,07	1,09	1,11	1,17	1,23	1,36	1,52	1,68	1,88	1,93	2,08	2,32	2,56	2,86	3,16	3,53	3,9
0,23	1,02	1,04	1,06	1,08	1,105	1,13	1,197	1,27	1,43	1,62	1,82	2,05	2,14	2,32	2,61	2,95	3,32	3,74	4,22	4,76
0,25	1,02	1,04	1,07	1,09	1,12	1,14	1,22	1,3	1,47	1,68	1,92	2,2	2,29	2,51	2,86	3,25	3,71	4,22	4,81	5,47
0,28	1,02	1,05	1,07	1,11	1,13	1,16	1,25	1,34	1,55	1,8	2,08	2,41	2,54	2,77	3,22	3,74	4,31	5	5,81	6,69
0,3	1,03	1,05	1,08	1,12	1,14	1,17	1,27	1,36	1,6	1,88	2,2	2,56	2,69	3	3,53	4,1	4,81	5,64	6,55	7,96
0,32	1,03	1,05	1,08	1,12	1,15	1,19	1,28	1,39	1,65	1,95	2,32	2,72	2,89	3,22	3,82	4,53	5,31	6,3	7,46	8,85
0,35	1,03	1,06	1,09	1,13	1,16	1,2	1,32	1,45	1,73	2,08	2,51	3	3,19	3,6	4,35	5,21	6,23	7,54	9,03	10,81
0,38	1,03	1,06	1,11	1,14	1,19	1,22	1,35	1,49	1,82	2,2	2,69	3,29	3,53	4,02	4,9	5,99	7,32	8,94	10,91	13,2
0,4	1,03	1,07	1,11	1,15	1,2	1,23	1,36	1,52	1,89	2,32	2,86	3,53	3,74	4,35	5,37	6,55	8,08	9,97	12,31	15,18
0,42	1,03	1,07	1,12	1,16	1,2	1,25	1,39	1,55	1,93	2,41	3	3,74	4,02	4,67	5,81	7,24	9,03	11,25	14,01	17,29
0,45	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,27	1,42	1,6	2,03	2,56	3,25	4,1	4,44	5,21	6,55	8,33	10,59	13,33	16,94	21,33
0,48	1,04	1,08	1,13	1,19	1,23	1,28	1,45	1,65	2,12	2,72	3,49	4,53	4,9	5,81	7,46	9,58	12,31	15,8	20,29	26,05
0,5	1,04	1,09	1,14	1,2	1,25	1,3	1,49	1,68	2,19	2,86	3,71	4,81	5,26	6,23	8,08	10,59	13,74	17,81	23,1	29,36
0,55	1,05	1,1	1,15	1,21	1,27	1,34	1,54	1,7	2,36	3,16	4,22	5,64	6,17	7,54	9,97	13,33	17,81	23,81	31,82	42,1
0,6	1,05	1,11	1,17	1,23	1,3	1,37	1,6	1,88	2,56	3,53	4,81	6,55	7,32	9,03	12,31	16,95	23,1	31,82	43,38	60,34

Вращающие моменты ЭД при прямом приводе ведущих валов выбирают в 1,5...15 раз выше моментов от сил сопротивления рабочей зоны. Вращающий момент ЭД при косвенном приводе определяется по формуле

$$M_{\text{дв. в. в}} = (\sum M_{\text{с. в. в}K}) / (i_{\text{ред}} \eta_{\text{ред}}),$$

где  $i_{\text{ред}}$  и  $\eta_{\text{ред}}$  — передаточное отношение и КПД редуктора ведущий вал — двигатель. Если применяют прямой привод ведущего вала, то выражение упрощается:  $M_{\text{дв. в. в}} = \sum M_{\text{с. в. в}K}$ .

Для МТЛ с поперечно-строчной (ПСЗ) и наклонно-строчной (НСЗ) записью добавляются еще силы сопротивления движению МЛ при взаимодействии ее с вращающимися головками (ВГ), неподвижными направляющими камерой (НК) или направляющим барабаном (НБ) БВГ. Первые дополнительные силы сопротивления для МТЛ ПСЗ (рис. 3.7, а)

$$F_{\text{с ВГ}} = 2Nf_{\text{ВГ}} = 2T_{\text{вых}}(h/l)f_{\text{ВГ}},$$

где  $N$  — сила давления ( $\text{Н/см}^2$ ) головки (ВГ) на МЛ;  $f_{\text{ВГ}}$  — коэффициент трения ВГ по рабочему слою МЛ;  $T_{\text{вых}}$  — натяжение МЛ после направляющей камеры,  $\text{Н}$ ;  $h$  — глубина вдавливания ВГ в МЛ, равная 0,007...0,01 см;  $l = 0,125$  см — половина ширины проточки направляющей камеры. Число 2 показывает, что наибольшее сопротивление оказывается в тот момент, когда в контакте с МЛ оказываются две ВГ.

Для МТЛ НСЗ (рис. 3.7, б) эти же силы сопротивления

$$F_{\text{с ВГ}} = T_{\text{вых}}(h/2R)^{1/2}f_{\text{ВГ}} = 0,016T_{\text{вых}}f_{\text{ВГ}},$$

где  $h = 0,05...0,075$  мм;  $R$  — радиус направляющего барабана, мм.

Силы трения основы движущейся МЛ о направляющую камеру для БВГ ПСЗ

$$F_{\text{с НК}} = -(P_{\text{вак}} \cdot 2S_{\text{НК}}) f_{\text{НК}},$$

где  $P_{\text{вак}} = (-1 \pm 0,25) \text{ Н/см}^2$  — стандартное давление в закрытых проточках направляющей камеры [21];  $S_{\text{НК}} = bl = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ см}^2$  — стандартная ширина одной закрытой МЛ проточки вакуумной направляющей камеры;  $f_{\text{НК}}$  — коэффициент трения основы МЛ о направляющую камеру. Потери на трение движущейся МЛ по траектории винтовой линии направляющего барабана БВГ НСЗ

$$F_{\text{с НБ}} = T_2 - T_1 = T_1 (e^{\alpha f_{\text{НБ}} \cos \beta} - 1),$$

где  $\alpha$  — угол обхвата направляющего барабана МЛ, рад;  $f_{\text{НБ}}$  — коэффициент трения МЛ по направляющему барабану;  $\beta$  — угол подъема винтовой линии, рад.

Распределение сил натяжения ленты в тракте МТЛ выражается эпюрами (рис. 3.5, б и 3.8), где по горизонтали откладываются значения  $e^{\alpha f}$ , а по вертикали — значения натяжений  $T_1, T_2, \dots, T_n$ .

Расчет геометрии пространственных трактов МЛ видеоманитофонов НСЗ заключается в определении углов подъема МЛ по направляющим наклонным стойкам и роликам в зависимости от угла их обхвата, наклона и диаметра; угла подъема МЛ по направляющему барабану БВГ; высоты подъема МЛ в рабочей зоне, взаимного расположения стоек и барабана и др. Магнитная лента МЛ, лежащая в плоскости  $V$ , которая перпендикулярна горизонтальной плоскости  $P$ , обхватывает на угол  $\alpha_c$  наклонную под углом  $\beta_{\text{МЛс}}$  направляющую стойку НС. Угол  $\alpha_c$  изменяется от 0 до  $360^\circ$ . Угол  $\beta_{\text{МЛс}}$  наклона, образованный базовым краем ленты  $БК$  (рис. 3.9, а—д) и линией  $N$  пересече-

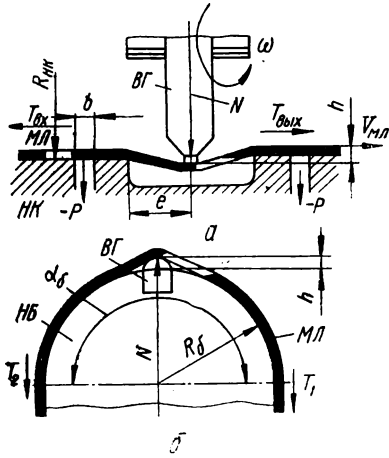


Рис. 3.7. Схемы фрикционного контакта ленты с вращающимися головками:  
 для БГ поперечно-строчной (а) и наклонно-строчной (б) записи

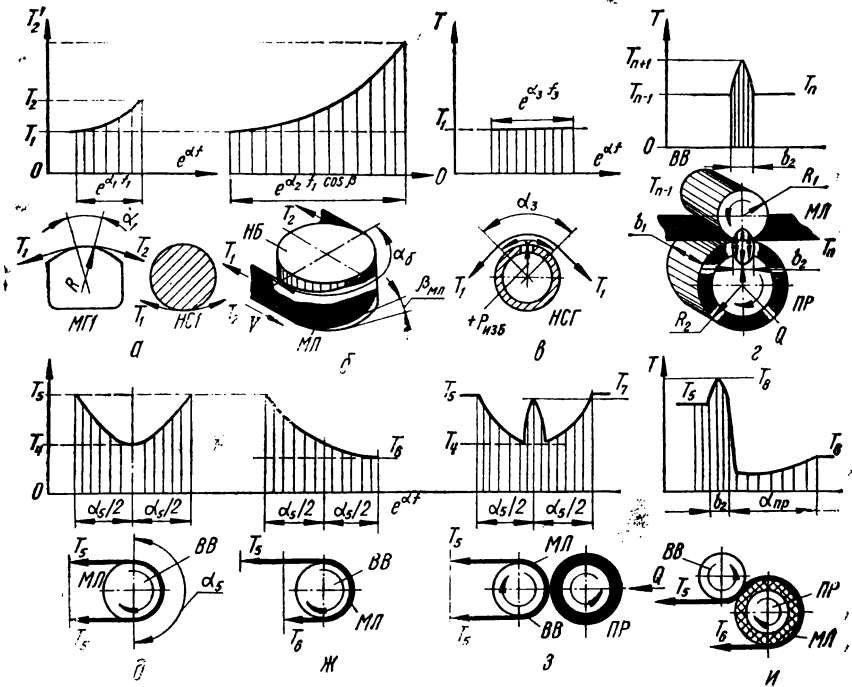


Рис. 3.8. Эпюры натяжения ленты на различных элементах тракта МТЛ

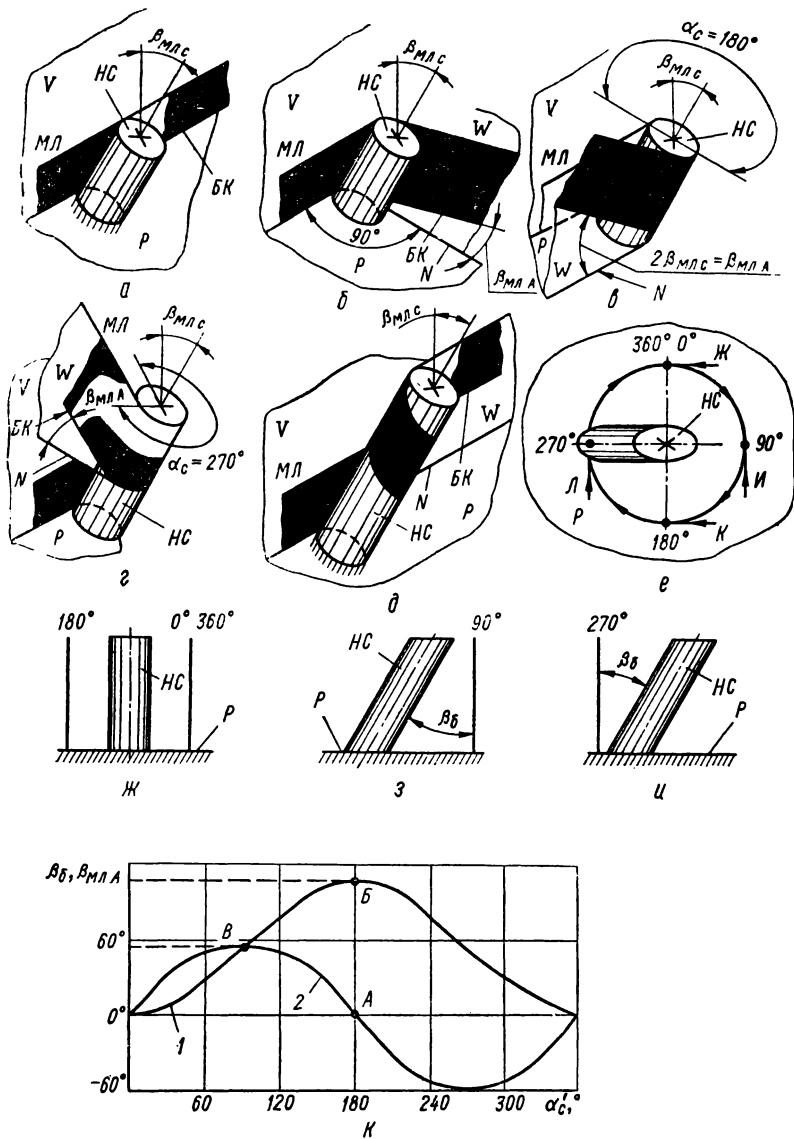


Рис. 3.9. Геометрия взаимодействия ленты с наклонной направляющей стойкой пространственных трактов МТЛ: А, Б, В — точки минимумов и максимумов кривых 1 и 2

ния плоскости  $P$  с плоскостью  $W$ , где расположен наклонный участок  $MЛ$ , определяется по формуле Травникова

$$\beta_{MЛ \sigma} = \beta_{MЛ c} - \arcsin [\sin \beta_{MЛ c} \cos \alpha'_c] = \beta_{MЛ a}$$

График изменения угла  $\beta_{MЛ \sigma}$  при изменении угла  $\alpha'_c$  от 0 до  $360^\circ$  представляет собой полуволну (рис. 3.9,  $\kappa$ , кривая 1). Угол  $\beta_\sigma$  между образующей направляющего барабана БВГ и образующей наклонной цилиндрической стойки НС в зависимости от изменения угла  $\alpha'_c$  от 0 до  $360^\circ$  ( $\alpha'_c$  — проекция  $\alpha_c$  на  $P$ ) определяется выражением  $\beta_\sigma = \arctg (\sin \alpha_c \operatorname{tg} \beta_{MЛ c})$ . График изменения угла  $\beta_\sigma$  представляет собой синусоиду (рис. 3.9,  $\kappa$ , кривая 2). Высота подъема  $MЛ$  на наклонной направляющей цилиндрической стойки НС по вертикали

$$H_c = (\pi \alpha_c / 180 - \sin \alpha_c) d_c \sin \beta_{MЛ c}$$

где  $d_c$  — диаметр направляющей стойки. Если угол  $\alpha_c = 90^\circ$ , то выражение упрощается:

$$H_c = (\pi/2 - 1) d_c \sin \beta_{MЛ c}$$

В бытовых и полупрофессиональных видеомагнитофонах НСЗ применяется разноуровневый пространственный тракт ленты (рис. 3.10), высота подъема  $MЛ$  в котором определяется в общем виде

$$H_{PЗ} = \left[ \left( \frac{\pi \alpha_6}{360} - \sin \frac{\alpha_6}{2} \right) D_6 + \left( \frac{\pi \alpha_c}{180} - \sin \alpha_c \right) d_c \right] \sin \beta_{MЛ \sigma} + \frac{2L \sin \beta_{MЛ \sigma}}{\sin (90 - \beta_{MЛ c} + \beta_{MЛ \sigma})}$$

Если угол  $\alpha_c = 90^\circ$ , а  $\alpha_6 = 180^\circ$ , то выражение упрощается:

$$H_{PЗ} = [(\pi/2 - 1) D_6 + (\pi/2 - 1) d_c + 2L] \sin \beta_{MЛ \sigma}$$

Разноуровневый тракт  $MЛ$  профессиональных и специальных видеомагнитофонов (рис. 3.11,  $a, б$ ) с направляющими роликами 1 и 3 вместо стоек обладает вдвое меньшими потерями на трение при движении ленты и имеет два участка I и II скручивания  $MЛ$  вдоль нейтральной линии. Скрещивающиеся направляющие ролики размещаются перпендикулярно нейтральной линии двух участков  $MЛ$ , сходящих с направляющего барабана 2. Высота подъема  $MЛ$  в этих рабочих зонах

$$H_{PЗ} = [(\pi \alpha_6 D_6) / 360 + 2L] \operatorname{tg} \beta_{MЛ \sigma} + d_p \sin \beta_{MЛ \sigma}$$

где  $d_p$  — диаметр направляющих роликов.

Сверхкомпактный разноуровневый тракт  $MЛ$  (рис. 3.11,  $в, г$ ) содержит ведущий вал 4, один наклонный к несущей плите НП под углом  $2\beta_\sigma$  направляющий ролик 1 возле наклонного под углом  $\beta_\sigma$  барабана 2 и один скручиваемый участок  $MЛ$  вместо двух предыдущего тракта  $MЛ$ . Высота подъема  $MЛ$  в этом тракте и на катушках 2 и 3

$$H_{PЗ} = [(\pi D_6 \alpha_6) / 360 + L/2] \sin \beta_\sigma + (d_p/2) \sin 2\beta_\sigma$$

Разноуровневая реверсивная рабочая зона  $MТЛ$  продольной записи (рис. 3.12,  $a$ ) содержит два наклонных полубарабана 1 и 2 разных диаметров, в которых по винтовой линии размещаются встроенные  $MГ$  4, а в свободном участке стирающая  $MГ$  3. Угол обхвата каждого полубарабана лентой состав-

ляет  $180^\circ$ , а разность их диаметров  $D_1$  и  $D_2$  равна диаметру ведущего вала 5. Угол наклона обоих полубарабанов равен углу подъема ленты  $\beta_{МЛ}$ . Высота подъема МЛ в этой рабочей зоне

$$H_{PЗ} = [\pi (D_1/2 + D_2/2) + L] \sin \beta_{МЛ} \sigma.$$

Другая реверсивная рабочая зона МТЛ продольной записи (рис. 3.12, б) содержит два разноуровневых БМГ 4 и 6, размещенных в параллельных плос-

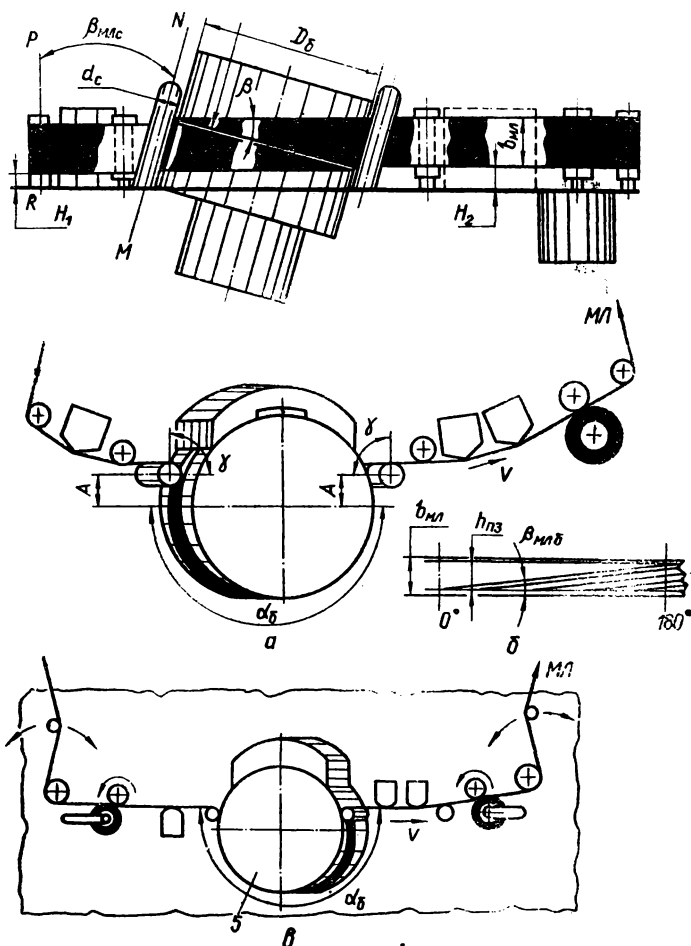


Рис. 3.10. Тракты ленты МТЛ НСЗ:

а, в — разомкнутая и замкнутая рабочие зоны; б — сигналограмма первой рабочей зоны

костях, касательных противоположных сторон ведущего вала 5. Стирающие МГЗ размещаются в наклонном участке тракта МЛ. Рабочая зона имеет два скручивающихся I и II участка МЛ. Высота подъема ленты в этой рабочей зоне  $H_{PЗ} = (L + d_p) \sin \beta_{МЛ}$ , где  $L$  — межцентровое расстояние роликов 7

и 8. Одноуровневая рабочая зона (рис. 3,13) содержит, цилиндрические направляющие стойки  $HC1$  и  $HC2$ . Стойки установлены в параллельных, наклонных под углом  $\beta_6$  плоскостях  $W$ , где расположены участки ленты, сходящие с направляющего барабана  $HB$  под одинаковыми, но противоположными углами  $\pm \beta_{ML6}$ . Направляющие стойки также наклонены в плоскости  $V$ , пер-

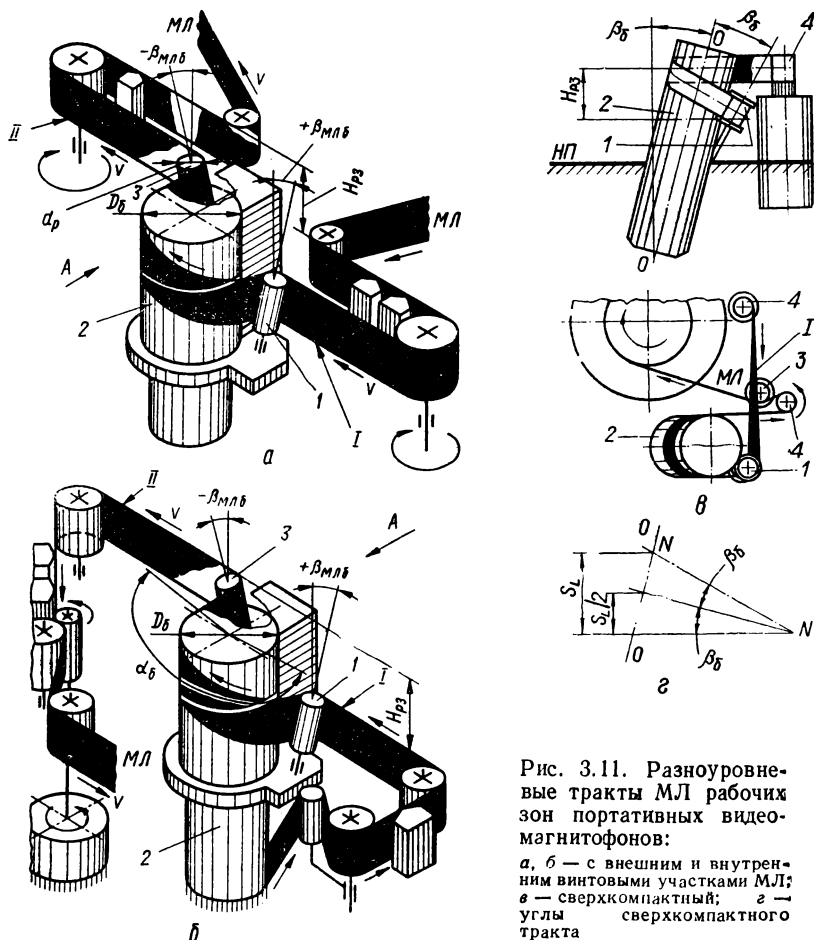


Рис. 3.11. Разноуровневые тракты МЛ рабочих зон портативных видеомагнитофонов:  
 а, б — с внешним и внутренним винтовыми участками МЛ;  
 в — сверхкомпактный; з — углы сверхкомпактного тракта

пендикулярной горизонтальной плоскости  $P$ , на угол  $\beta_{MLc}$ , а угол обхвата их МЛ составляет  $\alpha_c$ . Расчет этой рабочей зоны, предложенный Е. Н. Травниковым, выполняется при заданных ширине поля строчек видеозаписи ( $h_{п.з}$ ), диаметрах направляющих барабана и стоек ( $D_6$  и  $d_c$ ) при угле  $\alpha_6 = 180^\circ (\pi)$ :

$$\beta_{ML6} = \arcsin h_{п.з} / (\pi D_6 / 2);$$

$$\beta_{MLc} = \arctg [\sin \beta_{ML6} / (\cos \beta_{ML6} - \cos \alpha'_c)];$$

$$\beta_6 = \arctg (\sin \alpha'_c \operatorname{tg} \beta_{MLc});$$

$$\beta_c = \beta_{MLc} - \beta_{ML6}; \quad \alpha_c = \arctg (\operatorname{tg} \alpha'_c / \cos \beta_{MLc}).$$

Длина наклонных участков ленты

$$A_{\text{МЛ}} = \{ [D_6 + d_c (1 - \cos \alpha_c)] / \text{tg } \beta_{\text{МЛ}} \sigma - [(\pi D_6 / 2) \text{tg } \beta_{\text{МЛ}} \sigma + (\pi \alpha_c / 180) d_c \text{tg } \beta_{\text{МЛ}} \sigma] / (2 \text{tg } \beta_{\text{МЛ}} \sigma) \}$$

Для проверки практического выполнения этого тракта МЛ необходимо определить

$$K = A_{\text{МЛ}} - [(b_{\text{МЛ}} / 2) \sin \beta_c] / \cos \beta_{\text{МЛ}} \sigma$$

Если значение  $K > 0$ , то рабочая зона реализуема, если  $K < 0$  — рабочая зона нереализуема.

Одноуровневые тракты МЛ для видеоманитонов НСЗ с роликовыми переходами ленты с одного уровня на другой строят с перпендикулярным и наклонным под углом  $\beta_{\text{МЛ}} \sigma$  к несущей плите направляющим барабаном 2 БВГ. В первых двух трактах МЛ (рис. 3.14, а, б) направляющие ролики 6 и 3 наклонены на угол  $\pm \beta_{\text{МЛ}} \sigma$ , а в третьем (рис. 3.14, в) — на угол  $2\beta_{\text{МЛ}} \sigma$ . Обязательно то, что несколько МЛ подымется по вертикали от ролика 6 до ведущего вала

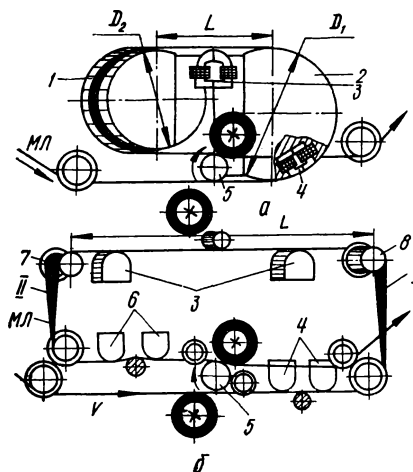


Рис. 3.12. Тракты МЛ рабочих зон МТЛ продольной записи с винтовым (а) и роликовым (б) переходами ленты

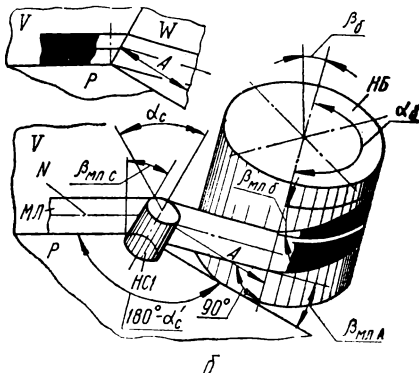
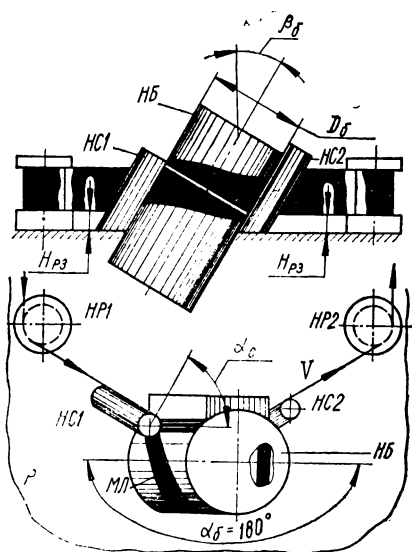


Рис. 3.13. Одноуровневый тракт МЛ с цилиндрическими направляющими стойками:

а — общий вид; б — фрагмент на направляющем барабане

5 для всех трактов, настолько она спустится для первого тракта на участке от вала 5 до ролика 3 (уровня  $H_1$  с роликами 1 и 4), для второго тракта — настолько подымется от ролика 6 до ролика 7 и спустится от вала 5 до ролика 3, для третьего тракта — подымется от ролика 6 до ролика 7. В первом и втором



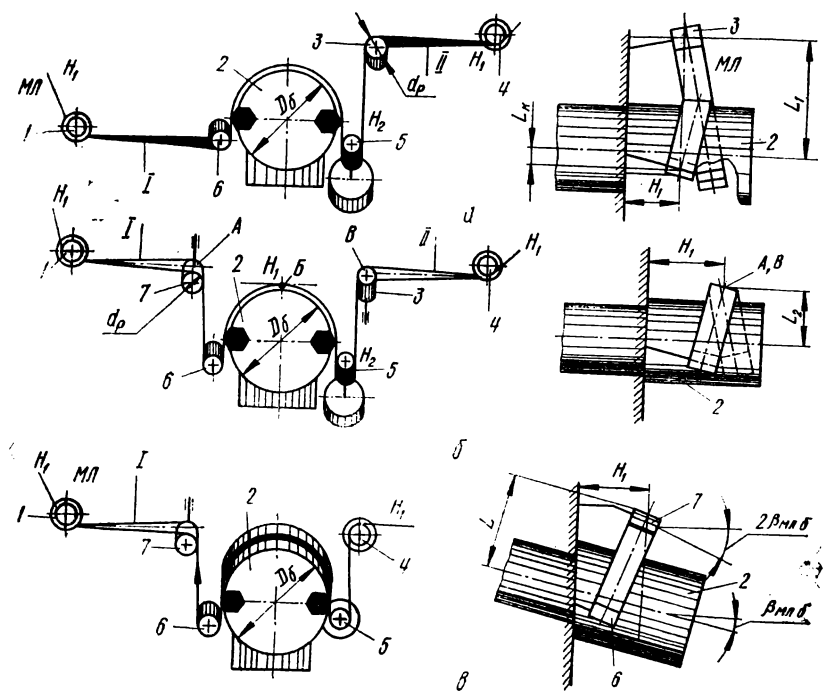


Рис. 3.14. Тракт МЛ одноуровневых рабочих зон с направляющими роликами

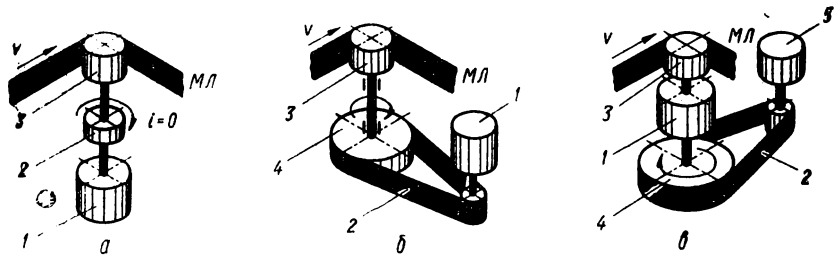


Рис. 3.15. Кинематические схемы ведущих узлов

трактах МЛ скручивается в зонах минимального I и максимального II натяжения ее, в третьем — только в зоне I, что наиболее благоприятно для полного исключения остаточных деформаций наклонных дорожек записи. Расстояние

$$L_1 = (\pi D_0 \alpha_0 / 360) + L_k; \quad L_2 = L_3 = (\pi D_0 \alpha_0 / 360) / 2,$$

где  $L_k$  — конструктивно выбираемая длина (5—15 мм).

Ведущий узел обеспечивает заданные номинальные скорости транспортирования МЛ, ее равномерность по среднему и мгновенному значению, срок службы МЛ по числу прогонов через тракт рабочей зоны. Ведущие узлы различают по способу передачи вращающего момента ведущему элементу (валу, зубчатому барабану), взаимному расположению ведущего элемента и опор его вращения, взаимному расположению ведущего вала и его ЭД.

По способу передачи вращающего момента ведущему элементу (валу, зубчатому барабану) различают узлы с прямым, косвенным или комбинированным приводом. Если вал двигателя I или устройство его продолжения 3 (насадка, барабан), установленное соосно с ним через соединительное звено 2 без редуцирования ( $i = 1$ ), транспортирует МЛ, то устройство относится к ведущим узлам прямого (непосредственного) привода (рис. 3.15, а). Если вал двигателя I соединен с маховиком 4 устройства транспортирования 3 через редуктор ( $i > 0$ ) или мультипликатор ( $i < 1$ ) 2, то устройство относят к ведущим узлам косвенного привода (рис. 3.15, б). Комбинированный привод — сочетание прямого активного привода I для обеспечения высоких скоростей транспортирования МЛ и косвенного 5 при пассивном прямом для обеспечения низких скоростей транспортирования МЛ (рис. 3.15, в). При работе двигателя I второй двигатель 5 через разъединительное звено 2 в виде обгонной, центробежной или электромагнитной муфты не вращается. Вал 3 двигателя I транспортирует МЛ. При отсутствии разъединительных звеньев вал двигателя 5 вращается вхолостую с повышенной частотой вращения. В некоторых рабочих зонах МТЛ вал двигателя 5 имеет еще свой косвенный привод, т. е. сочетается прямой с двухступенчатым косвенным приводом.

Номинальная (расчетная) линейная скорость МЛ, см/с, ведущего узла прямого привода при фрикционном способе транспортирования

$$V_{МЛ} = \{\pi (D_v + \delta) (1 - S_k) n\} / 60,$$

где  $D_v$  — диаметр ведущего вала, см;  $S_k = 0,005 \dots 0,03$  — коэффициент упругого скольжения в зоне контакта ведущего вала с МЛ;  $n$  — частота вращения ведущего двигателя, мин<sup>-1</sup> (об/мин).

Номинальная скорость прямого привода МЛ при зубчато-перфорационном способе транспортирования

$$V_{МЛ} = \pi n (D_0 + \delta) / 60,$$

где  $D_0$  — диаметр опорного пояса зубчатого барабана, см

Номинальная скорость МЛ при фрикционном способе транспортирования ведущим узлом косвенного привода

$$V_{МЛ} = \{\pi (D_v + \delta) [1 - (S_k + S_1 + S_2)] n\} / (60 i_1 i_2),$$

где  $S_1, S_2$  — коэффициенты упругого скольжения соответственно первой и второй ступеней фрикционного редуктора;  $i_1, i_2$  — передаточное число соответственно первого и второго редукторов; при зубчато-перфорационном способе транспортирования МЛ и косвенном приводе номинальная скорость

$$V_{МЛ} = \pi n (D_0 + \delta) / (60 i_1 i_2).$$

Расчетные значения частоты вращения ведущих валов без учета упругого скольжения в зоне контакта МЛ с ведущим валом для стандартного ряда линейных скоростей ее движения приведены в табл. 3.4.

### 3.4. Частота вращения ведущих валов для стандартного ряда скоростей МЛ

Диаметр ведущего вала, $D_{в. в. мм}$	Частота вращения ведущего вала, $мин^{-1}$ (об/мин), при скорости МЛ, $см/с$								
	1,19	2,38	4,76	9,52	19,05	38,1	76,2	152,4	304,8
5	45,455	90,91	181,82	364,019	727,657	1455,314	—	—	—
6*	37,879	75,758	151,516	303,35	606,381	1212,762	—	—	—
7	32,468	64,936	129,872	260,014	519,755	1039,51	—	—	—
8	28,409	56,818	113,636	227,512	454,786	909,572	1819,144	—	—
9,8*	23,42	46,83	93,65	187,5	375	750	1500	3000	6000
10*	22,727	45,454	90,908	182,01	363,828	727,656	1455,312	2910,624	5821,248
12	18,939	37,878	75,756	151,675	303,19	606,38	1212,76	2425,52	4851,04
14	16,234	32,468	64,936	130,007	259,877	519,754	1039,508	2079,016	4158,032
15*	16,152	30,304	60,608	121,34	242,552	485,104	970,208	1940,416	3880,832
20*	11,364	22,728	45,456	91,005	181,914	363,828	727,656	1455,312	2910,624
30	7,576	15,152	30,304	60,67	121,276	242,552	485,104	970,208	1940,416
50	—	9,09	18,18	36,402	72,766	145,532	291,064	582,128	1164,256
80*	—	—	11,364	22,751	45,479	90,958	181,916	363,832	727,664
100*	—	—	—	18,201	36,383	72,766	145,532	291,064	582,128

\* Наиболее употребляемые.

Ведущие узлы прямого привода кинематически строят на ЭД переменного тока с внутренним 2 (рис. 3.16, а) и наружным 2 (рис. 3.16, б) роторами, а также на ЭД постоянного тока с печатным или плосконамотанным и залитым (рис. 3.16, в) и цилиндрическим (рис. 3.16, г) якорем 2. При этом вал 5 ЭД устанавливают в сверхпрецизионных опорах вращения 4, а статор 3 или индуктор с постоянными магнитами или электромагнитами взаимодействует с ротором или якорем. Для стабилизации мгновенной и средней скоростей вращения вала устанавливают инерционные маховики 1 или малонерционные шкивы с электромагнитными или оптическими датчиками, работающими в сочетании с электронными системами авторегулирования (САР—СЛ). При использовании ЭД переменного тока в ведущих узлах прямого привода перепад между самой низкой и самой высокой скоростями движения МЛ может достичь 1 : 32, например, в АМЗ FR-1300 фирмы AMPREX (4,76...152,4 см/с), а при ЭД постоянного тока — перепад составляет 1 : 100 и даже выше в сочетании с САР—СЛ.

В зависимости от вида несущего элемента и расположения опор вращения, размещения зоны контакта ведущего вала с МЛ различают для узлов ведущего вала косвенного привода исполнения, обозначаемые I, II, III, IV, V и VI. Узлы ведущего вала исполнения I (рис. 3.17, а, б) состоят из несущего элемента 1, выполненного в виде стержня (оси с фланцем), на котором вращается на опорах 2 ведущий вал 3. С валом жестко соединен ведомый элемент 4, который конструктивно может быть выполнен с валом как одно целое. Ведущий вал может быть конструктивно выполнен из того же материала, что и опоры вращения (рис. 3.17, б), или иметь отдельные опоры (рис. 3.17, а). По отношению к несущей плите НП ведомый элемент размещен сверху, что компактно и удобно для сборки и регулировки, ведущий вал открыт со всех сторон для контакта с МЛ. Узел применяется в сочетании с плитой, размещаемой между МЛ и ведомым элементом.

Узлы ведущего вала исполнения II (рис. 3.17, в) наиболее распространены в АМЗ и состоят из неподвижной несущей втулки 1, внутри которой на опорах 2 вращается ведущий вал 3. Верхний вылет вала транспортирует МЛ, а на нижнем размещается ведомый элемент 4. Более компактна конструкция узла ведущего вала исполнения III (рис. 3.17, г), когда ведомый элемент 4 (маховик) имеет верхнее по отношению к несущей плите НП расположение. Макси-

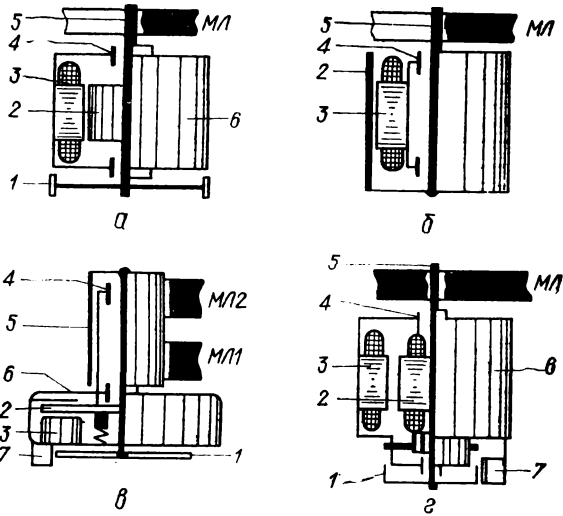


Рис. 3.16. Кинематические схемы ведущих узлов прямого привода

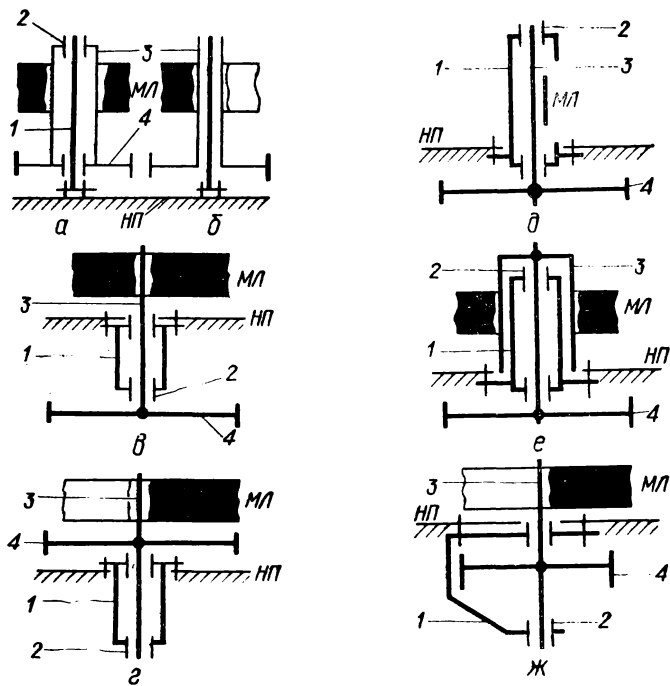


Рис. 3.17. Кинематические схемы узлов ведущего вала различных исполнений

мальную компактность и минимальные деформации ведущего вала 3 имеют узлы ведущего вала исполнения IV (рис. 3.17, д), где выполнено балочное нагружение опор вращения 2. Последние размещены в несущей втулке 1, имеющей вырез для контакта МЛ с ведущим валом 3. Ведомый элемент 4 в этом узле имеет нижнее расположение. Недостаток узла — неудобство подвода МЛ к ведущему валу, особенно, если его диаметр значительно меньше диаметра несущей втулки. Этот недостаток устранен в узле ведущего вала исполнения V (рис. 3.17, е), построенного на базе предыдущей схемы, где ведущий чашеобразный вал 3 обхватывает несущую втулку 1, обеспечивая с любой стороны контакт МЛ с валом. Реже применяют узлы ведущего вала исполнения VI (рис. 3.17, ж), где ведомый элемент балочно нагружает опоры вращения 2, размещенные в несущем кронштейне 1.

Ведущие узлы косвенного привода могут иметь параллельное разнесенное (рис. 3.18, а) или концентрическое (рис. 3.18, б) расположение узлов ведущего вала 1 и ЭД 2. Эти узлы имеют кинематическую связь 3. Рекомендуется верхнее расположение ЭД, так как оно позволяет получить минимальную высоту  $H_1$  всего ведущего узла, но требует определенной площади под двигатель с верхней стороны несущей плиты НП (со стороны тракта МЛ). Нижнее расположение ЭД приводит к увеличению высоты ведущего узла на величину  $H_2$ , поэтому такую компоновку следует применять, когда невозможно найти на МТЛ свободно места со стороны тракта МЛ. Максимально компактно концентрическое расположение ЭД 2 и узла ведущего вала 1, но оно требует специальной разработки обоих узлов обычно на базе уже выпускающихся ЭД.

**Приемные и подающие узлы.** В качественной и высококачественной АМЗ применяют активные приемные и подающие узлы, которые имеют свой автономный источник вращающего момента, обычно ЭД переменного или постоянного тока с мягкой механической характеристикой. Передается вращающий момент непосредственно или косвенно через редуктор. Вращающий момент ЭД при прямом приводе

$$M_{\text{дв. прям}} = T_{\text{max}} R_{\text{max}} K_3,$$

где  $T_{\text{max}}$  — максимальное натяжение МЛ, Н;  $R_{\text{max}}$  — максимальный радиус рулона МЛ, см;  $K_3 = 1, 2, \dots, 4$  — коэффициент запаса, зависящий от условий эксплуатации, времени пуска и остановки рулона МЛ.

Вращающий момент ЭД при косвенном приводе уменьшается:

$$M_{\text{дв. косв}} = M_{\text{дв. прям}} / (i_{\text{ред}} \eta_{\text{ред}}),$$

где  $i_{\text{ред}}$  и  $\eta_{\text{ред}}$  — передаточное число и КПД редуктора.

Основным показателем приемных и подающих узлов является характеристический коэффициент  $N = T_{\text{max}} / T_{\text{min}}$ , где  $T_{\text{min}}$  — минимальное натяжение МЛ. Чем ближе этот коэффициент к единице, тем лучше. Идеальным является случай, когда  $N = 1$ .

Характеристикой узлов является также частота вращения катушек,  $\text{мин}^{-1}$  (об/мин), в зависимости от изменения диаметра  $D$  рулона МЛ при постоянных стандартных линейных скоростях ее движения (табл. 3.5). Приемные и подающие узлы для МТЛ с плоским размещением рулонов МЛ содержат статор 1, внутри которого (рис. 3.19, а) или снаружи (рис. 3.19, б) установлен ротор 5. На верхнем вылете вала ротора размещают подкатушник 4, на торцевую часть которого устанавливают катушку 3 с МЛ. С цилиндрической частью подкатушника взаимодействует тормоз 2 (колодочный или ленточный). При косвенном приводе рулона 3 подкатушник 4 имеет свой подшипниковый узел 8, а на его цилиндрическую часть через связывающее звено передается вращающий момент от шкива 6 двигателя 7 (рис. 3.19, в). Повысить равномерность передаваемого момента и компактность приемного (подающего) узла при косвенном приводе можно, если рулон 3 с лентой приводить непосредственно за алюминиевые щеки 9 и 10 стандартной катушки посредством магнитной муфты 11 (рис. 3.19, г). В диаметральные зазоры А и Б муфты

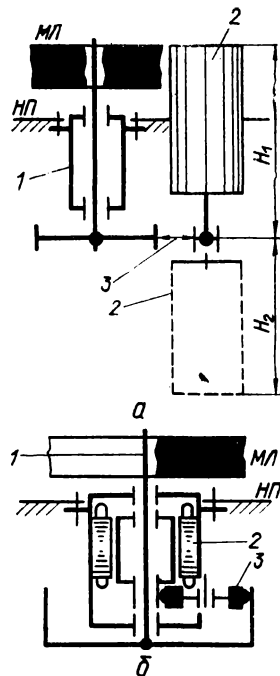


Рис. 3.18. Схемы компоновки ведущих узлов:  
 а — с разнесенными двигателем и узлом ведущего вала; б — с концентрическим расположением этих узлов

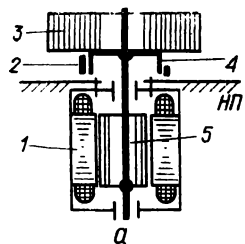


Рис. 3.19. Кинематические схемы активных приемных и подающих узлов для одноуровневых МТЛ

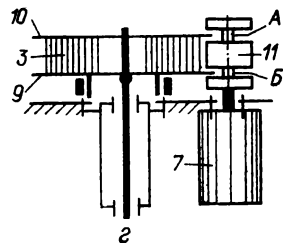
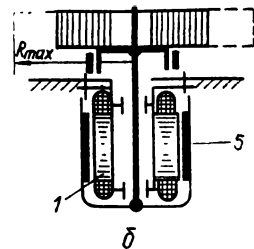
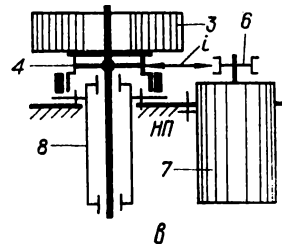
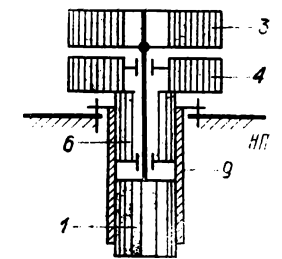
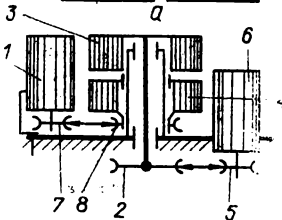
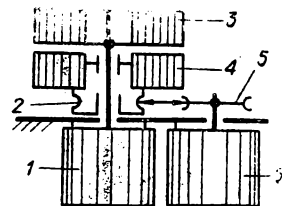


Рис. 3.20. Кинематические схемы активных приемно-подающих узлов для МТЛ с соосным расположением роликов ленты



### 3.5. Частота вращения катушек для стандартного ряда скоростей МЛ

№ катушки	Диаметр намотки D, мм	Частота вращения катушки, мин <sup>-1</sup> (об/мин), при скорости МЛ, см/с										
		2,38	4,76	9,52	19,05	38,1	76,2	152,4	304,8	609,6	914,4	
Все	114	4	8	16	31,9	63,8	127,7	255,3	510,6	1021,3	1531,9	
	120	3,8	7,6	15,2	30,3	60,6	121,3	242,6	485,1	970,2	1455,3	
	125	3,6	7,3	14,6	29,1	58,2	116,4	232,8	465,7	931,4	1397,1	
	130	3,5	7	14	28	56	111,9	223,9	447,8	895,6	1343,4	
	135	3,4	6,7	13,5	27	53,9	107,8	215,6	431,2	862,4	1293,6	
	140	3,2	6,5	13	26	52	104	207,9	415,8	831,6	1247,4	
	145	3,1	6,3	12,5	25,1	50,2	100,4	200,7	401,5	802,9	1204,4	
15*	150	3	6	12,1	24,3	48,5	97	194	388,1	776,2	1164,2	
	155	2,9	5,9	11,7	23,5	47	94	187,8	375,6	751,2	1126,7	
	160	2,8	5,7	11,4	22,7	45,5	91	181,9	363,9	727,7	1091,5	
	165	2,7	5,5	11	22,1	44,1	88,2	176,4	353,8	705,6	1058,4	
	170	2,6	5,3	10,7	21,4	42,8	85,6	171,2	342,4	684,9	1027,3	
	175	2,6	5,2	10,4	20,8	41,6	83,2	166,3	332,6	665,3	997,9	
	18	180	2,5	5	10,1	20,2	40,4	80,9	161,7	323,4	646,8	970,2
185		2,4	4,9	9,9	19,7	39,3	78,7	157,3	314,7	629,3	944,2	
190		2,4	4,8	9,6	19,1	38,3	76,6	153,2	306,4	612,8	919,1	
195		2,3	4,7	9,4	18,7	37,3	74,6	149,3	298,5	597,1	895,6	
20	200	2,3	4,5	9,1	18,2	36,4	72,8	145,5	291,1	582,1	873,2	
	205	2,2	4,4	8,9	17,7	35,5	71	142	284	567,9	851,9	
	210	2,16	4,3	8,7	17,3	34,7	69,3	138,6	277,2	554,4	831,6	
	215	2,12	4,2	8,5	16,9	33,8	67,7	135,4	270,8	541,5	812,3	
	220	2,06	4,12	8,3	16,5	33,1	66,2	132,3	264,6	529,2	793,8	
	225	2,02	4,04	8,1	16,2	32,3	64,7	129,4	258,7	517,4	776,2	
	23	230	1,98	3,96	7,9	15,8	31,6	63,3	126,5	253,1	506,2	759,3
235		1,94	3,88	7,8	15,5	31	61,9	123,9	247,7	495,4	743,1	
240		1,9	3,8	7,6	15,2	30,3	60,6	121,3	243,6	485,1	727,7	
245		1,86	3,72	7,4	14,9	29,7	59,4	118,8	237,6	475,2	712,8	
250		1,82	3,64	7,3	14,6	29,1	58,2	116,4	232,9	465,7	698,5	
255		1,8	3,6	7,1	14,3	28,5	57,1	114,1	228,3	456,6	684,9	
260		1,75	3,57	7	14	28	56	111,9	223,9	447,8	671,7	
265		1,72	3,43	6,9	13,7	27,5	54,9	109,8	219,7	439,3	659	
27		270	1,68	3,36	6,7	13,5	27	53,9	107,8	215,6	431,2	646,8
	275	1,66	3,32	6,6	13,2	26,5	52,9	105,8	211,7	423,4	635	
	280	1,62	3,25	6,5	13	26	52	104	208	415,8	623,7	
	285	1,6	3,2	6,4	12,8	25,5	51,1	102,1	204,3	408,5	612,8	
	290	1,56	3,12	6,3	12,5	25,1	50,2	100,4	200,7	401,5	602,2	
	295	1,54	3,08	6,2	12,3	24,7	49,3	98,7	197,3	394,7	592	
	300	1,52	3,04	6,1	12,1	24,3	48,5	97	194	388,1	582,1	
	305	1,5	3	6	12	23,9	47,7	95,4	190,9	381,7	572,6	
	310	1,46	2,92	5,9	11,7	23,5	46,9	93,9	187,8	375,6	563,3	
	315	1,44	2,88	5,8	11,5	23,1	46,2	92,4	184,8	369,6	554,4	
	32	320	1,42	2,84	5,7	11,4	22,7	45,5	91	181,9	363,8	545,7
		325	1,4	2,8	5,6	11,2	22,4	44,8	89,6	179,1	358,2	537,3
330		1,38	2,76	5,5	11	22	44,1	88,2	176,4	352,8	529,2	
335		1,36	2,72	5,4	10,9	21,7	43,4	86,9	173,8	347,5	521,3	
340		1,34	2,68	5,3	10,7	21,4	42,8	85,6	171,2	342,4	513,6	
345		1,32	2,64	5,3	10,6	21,1	42,2	84,4	168,7	337,5	506,2	

Продолжение табл. 3.5

№ катушки	Диаметр намотки D, мм	Частота вращения катушки, мин <sup>-1</sup> (об/мин), при скорости МЛ, см/с									
		2,38	4,76	9,52	19,05	38,1	76,2	152,4	304,8	609,6	914,4
35	350	1,3	2,6	5,2	10,4	20,8	41,6	83,2	166,3	332,6	499
	355	1,28	2,56	5,1	10,2	20,5	41	82	164	328	492
	360	1,26	2,52	5,05	10,1	20,2	40,4	80	161,7	323,4	485,1
	365	1,24	2,48	4,98	10	19,9	39,9	79,7	159,5	319	478,5
	370	1,23	2,46	4,9	9,8	19,7	39,3	78,7	157,3	314,7	472
	375	1,21	2,42	4,8	9,7	19,4	38,8	77,6	155,2	310,5	465,7
38*	380	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	38,3	76,6	153,2	306,4	459,6
	385	1,18	2,36	4,7	9,4	18,9	37,8	75,6	151,2	302,4	453,6
	390	1,16	2,33	4,6	9,3	18,6	37,3	74,6	149,3	298,5	447,8
	395	1,15	2,3	4,56	9,2	18,4	36,8	73,7	147,4	294,7	442,1
40*	400	1,14	2,27	4,55	9,1	18,2	36,4	72,8	145,5	291,1	436,6

\* Нестандартные значения.

входят с небольшим перекрытием (5...10 мм) щеки катушки, на которые передается вращающий момент от муфты за счет вихревых токов (привод ЕНИТ — ШТ).

Активные приемно-подающие узлы для МТЛ с соосным размещением рулонов 3 и 4 содержат независимые приводные ЭД 1 и 6, которые прямо (рис. 3.20, в) или через редукторы 2—5 и 7—8 (рис. 3.20, б) передают вращающий момент своим рулонам с МЛ. Применяют также сочетание прямого привода верхнего рулона 3 (рис. 3.20, а) и косвенного на нижний рулон 4. Минимальную высоту и простоту конструкции имеют приемно-подающие узлы с косвенным приводом обоих рулонов ленты и верхним расположением двигателей 1 и 6 (рис. 3.20, б), что определяет их широкое применение в портативной АМЗ.

Блок вращающихся головок (БВГ) является одним из сложнейших устройств МТЛ видеомагнитофонов, где непосредственно происходит взаимодействие видео головок с видеолентой, заключающееся в магнитной ЗВ поперечных или наклонных строчек (дорожек) с определенным шагом на движущуюся с постоянной скоростью продольно или по винтовой линии ленту. В БВГ НСЗ может осуществляться также многократное воспроизведение с неподвижной МЛ. Относительная скорость головки — лента превышает продольную скорость движения МЛ для бытовых видеомагнитофонов в 15—25 раз и для профессиональных — в 100 и более раз. В некоторых БВГ осуществляются еще дополнительно транспортирование МЛ и взаимодействие ее с неподвижными головками звука, канала управления и стирания.

По видам записи БВГ подразделяют на две принципиально различные группы: ПСЗ и НСЗ. Конструкции БВГ ПСЗ классифицируют по виду движения направляющей камеры (прямолинейные и поворотные); по способу прижима МЛ к поверхности направляющей камеры (вакуумные и безвакуумные сухого трения); по соединению с механизмом перемещения направляющей камеры (разъемные двухмодульные и неразъемные одномодульные); по способу подвеса направляющей камеры (рычажные, шарико-призматические и упругопружинные).

Конструкции БВГ ПСЗ содержат скоростной ЭД, на одном вылете вала которого установлен диск с четырьмя видео головками и токосьемник, а на другом — диск таходатчика. Против диска таходатчика расположена магнитная головка — воспринимающий элемент таходатчика. Против диска



с видеоголовками размещена направляющая камера, например, вакуумная, которая формирует и точно направляет МЛ в зоне взаимодействия с вращающимися головками, создает требуемый механический контакт путем вдавливания МЛ в головки, отводит и вводит ленту в контакт с головками и выполняет коррекцию геометрических искажений видеозаписи. Для уменьшения

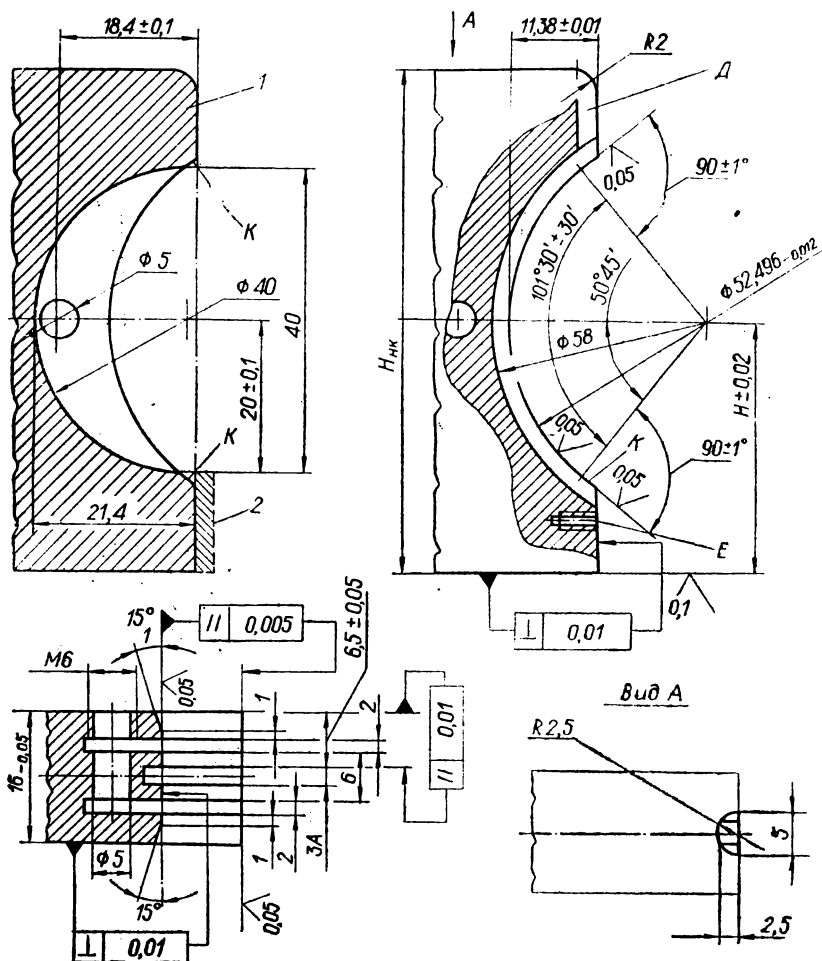


Рис. 3.21. Фрагмент рабочих частей вакуумной направляющей камеры БВГ

ударного усилия вращающихся ВГ при входе и выходе в контакт с МЛ с обоих концов камеры выполнены прямоугольные участки *К* (рис. 3.21). Для удобства визуального наблюдения при юстировке направляющей камеры относительно ВГ сверху в последней выполнено окно *Д*, открывающее среднюю проточку шириной  $3A$ . Высота направляющей камеры  $H_{нк}$  выбирается обычно 64—65 мм, минимальная ее высота должна быть на 6—8 мм больше, чем диаметр 52,486 мм, чтобы технологически обеспечить изготовление двух камер из одной заготовки. В торце нижней части направляющей камеры выполнены два резьбовых от-

верстия  $E$  для крепления упорной пластины 2, на которую опирается при движении базовый край МЛ.

Направляющая камера имеет цилиндрическую секторную поверхность, радиус которой для взаимозаменяемости должен быть абсолютно одинаковым с аналогичными камерами других видеомагнитофонов, что при серийном про-

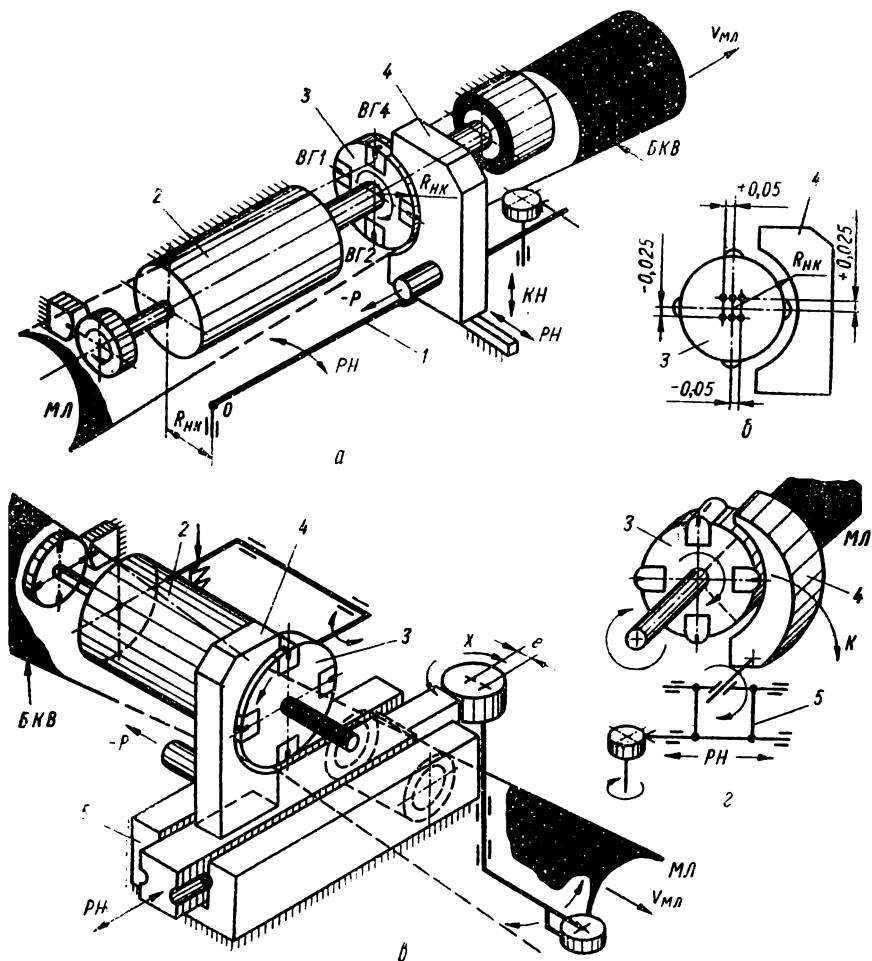


Рис. 3.22. Кинематические схемы БВГ ПСЗ зарубежных видеомагнитофонов

изготовлении невозможно обеспечить. В связи с этим направляющие камеры изготовляют с точностью  $R_{НК} = 26,248_{-0,013}$  мм, а радиус диска, измеренный на рабочей поверхности ВГ, может изменяться при износе от  $R_{ВГ \max} = 26,304$  мм до  $R_{ВГ \min} = 26,236$  мм при угле между каждой из головок  $90^\circ \pm 15''$ . Кроме того, направляющая камера должна иметь возможность одноразовой подстройки во время воспроизведения всего рулона ленты в касательном к окружности диска головок направлении  $KH = \pm 0,025$  мм.

Для компенсации временных искажений, возникающих от изменения температуры, влажности, натяжения МЛ, и вследствие этого изменения длины строки видеозаписи, во время воспроизведения производится необходимая корректировка взаимного положения диска головок и направляющей камеры. Последняя перемещается в пределах радиального диска головок направления  $RH = \pm 0,05$  мм исполнительным механизмом. В режиме «Стоп» направляю-

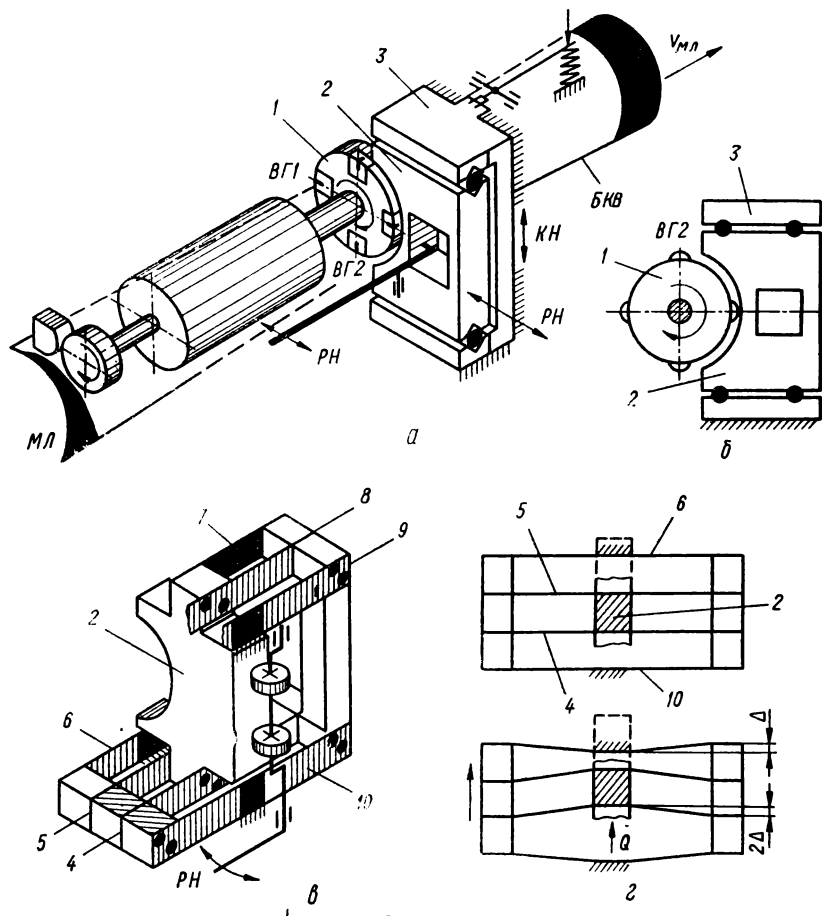


Рис. 3.23. Кинематические схемы БВГ ПСЗ с прямолинейным движением направляющей камеры

щая камера размещена от диска головок на расстоянии 1—2,5 мм и только в режимах ЗВ подводится к нему электромагнитом или специальным двигателем.

В кинематической схеме (рис. 3.22) направляющая камера 4 установлена против диска головок 3 консольно на поворотном рычаге 1, ось 0 вращения которого находится на расстоянии радиуса направляющей камеры  $R_{НК}$  от оси двигателя 2. Вследствие поворотного перемещения направляющая камера вносит определенные погрешности в воспроизведение, поэтому в последних разработках применяют прямолинейное перемещение направляющей камеры

в призматических направляющих 5 (рис. 3.22, в, з). При работе БВГ в условиях повышенных вибраций и тряски (до 10 g) из-за консольно установленной камеры 2 возникают искажения видеозаписи, поэтому последнюю лучше устанавливать на призматической направляющей 3, ориентированной в плоскости вращения диска 1 видеоголовки, т. е. применяют балочное нагружение направляющей камеры (рис. 3.23, а, б). Для видеомагнитофонов, работающих в условиях небольших вибраций (до 3 g), можно направляющую камеру 2 устанавливать на упругом безлюфтовом подвесе в виде системы плоских пружин (рис. 3.23, в, г). Крайние пружины 6, 10 и 9 посередине закреплены на несущей плите БВГ, средние 4, 5, 7 и 8 посередине на направляющей камере 2. Последняя имеет в два раза большее перемещение ( $2\Delta$ ), чем деформация  $\Delta$  крайних пружин.

Исполнительный механизм предназначен для микронного перемещения ( $\pm 0,05$  мм) направляющей камеры в радиальном диску головок направлении  $RH$  в пределах стандартного положения в режиме воспроизведения для компенсации геометрических искажений. В некоторых БВГ исполнительный механизм выполняет также миллиметровые перемещения (1—3 мм) направляющей камеры из режима «Стоп» в режим записи-воспроизведения. Исполнительный механизм (рис. 3.24, а, б, в) состоит из ЭД 1, одной или двух ступеней редуктора (косозубый редуктор 2 и 3, червячный — 10 и 11), на выходном валу которого установлен профильный кулачок 5, чаще всего Архимедов. Последний через рычаг 7 с большим передаточным числом ( $L/l$ ) и опорные элементы 6 и 8 перемещает элемент 6 направляющую камеру БВГ. Распределение передаточных чисел звеньев исполнительного механизма приведены в табл. 3.6. На

3.6. Передаточные отношения различных исполнительных механизмов

Видеомагнитофон	Передаточное число					Тип двигателя
	первой ступени	кулачок — рычаг	плеч рычага	червячной пары	всего редуктора	
«Кадр-3» (ВНИИТР)	39,06	16	37	—	30 000	Редукторный РД-09
«Электрон-2» (ЛОМО)	76,56	28	60	—	128 400	То же
VR-2000 (АМРЕХ)	2	—	37/7	45	180	Шаговый
По рис. 3.25	3	65	32	50	310 200	ДПР-41-Н1/02

валу кулачка устанавливают электрический датчик угла его поворота 9, обычно потенциометрический. Оригинальна кинематическая схема исполнительного механизма (рис. 3.25, а), где вследствие применения дифференциального трехплечевого ( $l_1, l_2$  и  $l_3$ ) рычага 2 и двух опорных винтов 6 и 7, установленных против двух опорных роликов 5 и 3, направляющая камера 4 получает от двигателя 1 два поочередно выполняемых перемещения: миллиметровое (рис. 3.25, б) и микронное (рис. 3.25, в).

Блоки вращающихся головок НСЗ классифицируют по тракту МЛ, количеству видеоголовки, кинематическому состоянию нижней и верхней частей направляющего барабана, приводу диска видеоголовки. Тракт на направляющем барабане БВГ может быть образован одной третью винтового витка ( $120^\circ$ , тракт третьевитковый), половиной витка ( $180^\circ$ , тракт полувитковый), одним витком ( $360^\circ$ , тракт одновитковый). По количеству видеоголовки БВГ подразделяют на одно-, полутора-, двух-, трех-, четырех- и шестиголовочные. По кинематическому состоянию частей направляющего барабана различают исполнения I и II. Для исполнения I в БВГ (рис. 3.26, а—в) нижняя 1 и верхняя 3 части направляющего барабана неподвижны и жестко соединены крон-

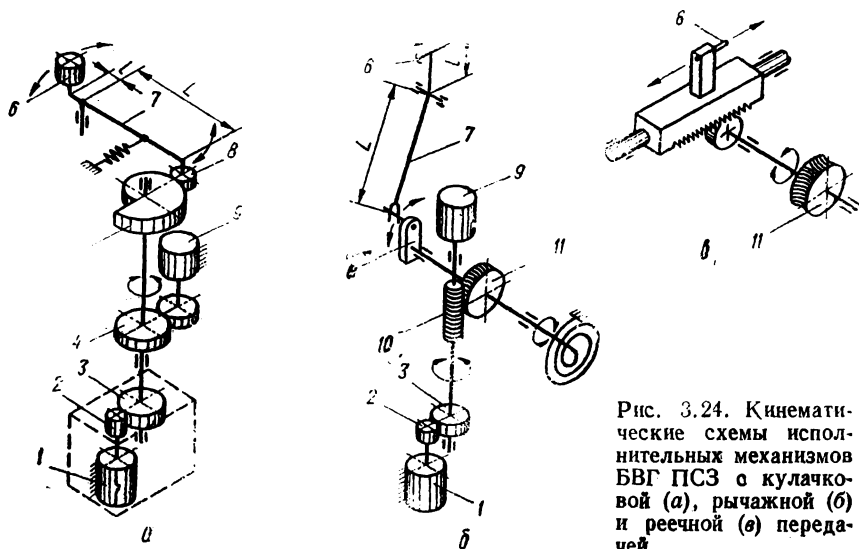


Рис. 3.24. Кинематические схемы исполнительных механизмов БВГ ПСЗ с кулачковой (а), рычажной (б) и реечной (в) передачей

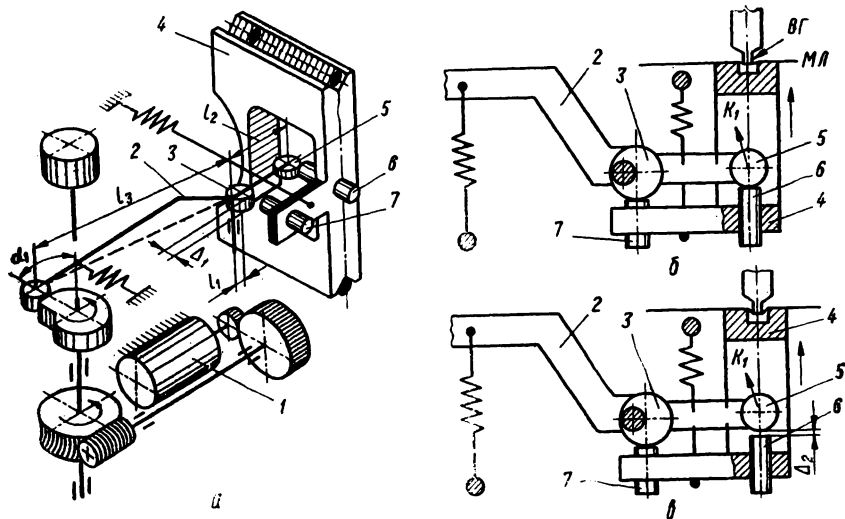


Рис. 3.25. Кинематическая схема исполнительного механизма БВГ ПСЗ с дифференциальной рычажно-кулачковой передачей

штейном 4. В диаметральной щели барабана вращается диск 2 с видеоголовками, имеющими прямой привод от ротора 6 ЭД 5. Прямой привод обозначен через А, косвенный — через Б. Для исполнения А управление частотой вращения диска с видеоголовками выполняется изменением частоты, напряжения

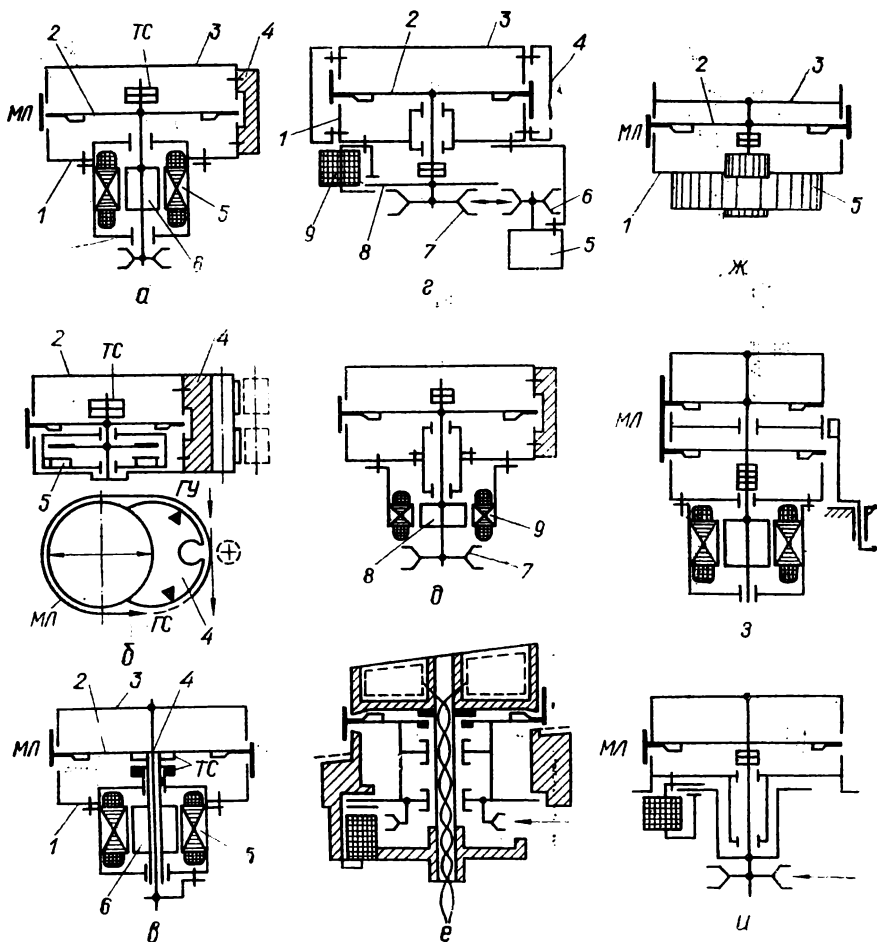


Рис. 3.26. Кинематические схемы БВГ НСЗ исполнения:  
I-A (а - е), I-B (з - и), II-A (ж - и)

или тока. Поперечные перемещения МЛ, движущейся по винтовой линии направляющего барабана, в этом исполнении минимальны (не более 0,01 мм), а потери на трение максимальны (перепад по натяжению составляет 1,2—2,5). Для исполнения I-B в БВГ (рис. 3.26, з-и) диск 2 с головками имеет косвенный привод от ЭД 1, а управление частотой вращения диска выполняется изменением момента дискового или роторного электромагнитного тормоза (алюминиевый диск 8, размещенный в зазоре разомкнутого электромагнита 9). Для исполнения II-A (Б) в БВГ (рис. 3.26, ж-и) верхняя половина направляющего барабана 3 жестко соединена с вращающимся диском с головками 2.

Вследствие высокой окружной скорости (6—25 м/с) между МЛ и вращающейся половиной барабана образуется воздушная тонкая пленка (5—15 мкм), которая вдвое снижает потери на трение движущейся по барабану ленты, но увеличивает поперечные ее перемещения до 0,04 мм. Кроме того, резко увеличиваются мощность на валу ЭД и его момент инерции.

Конструкция БВГ исполнения I-A видеомagnитoфона BCN-20 (40, 50) фирмы Bosch Fernseh (рис. 3.27) содержит две жестко скрепленные кронштейном 11 половины направляющего барабана 1 и 3, в диаметральной щели которого установлен диск 4 с двумя головками ВГ1 и ВГ2. Диск имеет прямой привод от бесколлекторного ЭД постоянного тока 6. С двух сторон БВГ на

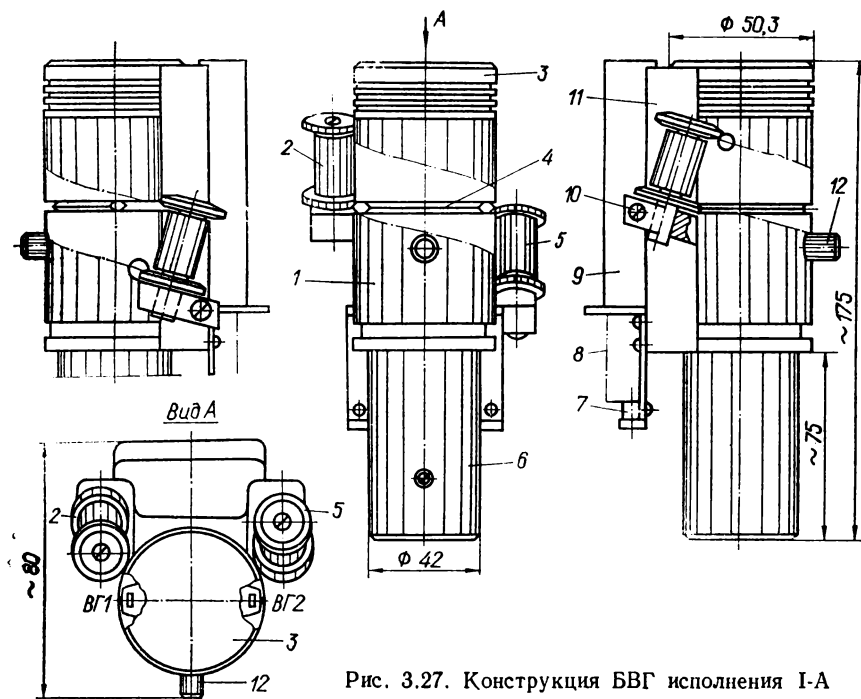


Рис. 3.27. Конструкция БВГ исполнения I-A

участках входа и выхода винтовой полувитка МЛ размещены сверхпрецизионные направляющие ролики 2 и 5, оси вращения которых перпендикулярны базовому краю МЛ. Точное положение роликов по высоте фиксируется винтами 10. Сзади кронштейна 11 установлен закрываемый экраном 9 предварительный усилитель воспроизведения 8, имеющий электрический разъем 7. Для удобства заправки МЛ на нижнем барабане установлена ограничительная стойка 12.

**Конструктивное исполнение МТЛ.** По конструктивному исполнению МТЛ можно разделить на три группы: корпусные, блочные и модульные. Корпусная конструкция МТЛ (рис. 3.28,а) состоит из общего несущего корпуса 6 (листовая панель), на котором установлены подающий 4 и приемный 10 узлы с косвенным приводом от ЭД 5 и 9, колодочных тормозных устройств 8, ведущего ЭД со шкивом 12 и таходатчиком 11. На отогнутой приподнятой части 2 несущей субпанели размещены следящие рычаги 3 и 13 (САР—Н) МЛ, блок МГ 1, направляющий элемент тракта 15, ведущий вал 18 с маховиком 16, узел прижимного ролика 17. На корпус магнитофона МТЛ устанавливается на вин-

тах через резиновые амортизирующие втулки 7 и 14. Все приводные ЭД бесколлекторные постоянного тока.

Блочная конструкция МТЛ (3.28,б) состоит из несущего литого алюминиевого корпуса 4 с несколькими прямоугольными и круглыми отверстиями, в которых размещены на точно спланированных или регулируемых стальных втулках БВГ 8, подающий 2 и приемный 5 узлы, ведущий узел 6, блоки МГ 1 и 7, усилитель 3. Несущий корпус со стороны тракта МЛ закрывается крышкой с резиновым уплотнением.

Модульная конструкция МТЛ (рис. 3.28,в) содержит полностью законченные блоки—модули центрального 4, приемного 1 и подающего 6 рулонных накопителей МЛ, соединенные между собой промежуточными брусками 3 и 7. При небольшом диаметре катушек с лентой модули 1, 4 и 6 соединяются между собой непосредственно. Каждый модуль имеет свой прямоугольный облегченный жесткий корпус 9 с точно спланированными площадками (приливами) с отверстиями 10 по всем углам для стыковки друг с другом. Модули соединяются специальными винтами. Для старт-стопных МТЛ к описанным модулям присоединяют дополнительный модуль вакуумных карманов 8. На модули может устанавливаться декоративная панель 2. Если модули 1 и 6 установить сверху на модуль 11 с прямолинейной рабочей зоной, получим МТЛ консольного настольного типа, характерный для бытовых катушечных магнитофонов.

Одноуровневый МТЛ блочного исполнения (рис. 3.29) используется в бортовой АМЗ с герметичной крышкой тракта МЛ с катушками 1 и 8 типа 2 № 27, а в стационарных условиях может работать с большими катушками 3 и 9, например № 35, без закрытия тракта МЛ крышкой. Для этого необходимо снять легкосъемные шпиндели 4 и 7 с зажимами с подкатушников 16 и установить на подкатушники 14 приемного и подающего узлов. Подкатушники 16 и 14 каждого узла приводятся во вращение общим ремнем 13 от шкива 12 двигателя 11. Подкатушники имеют свои опоры вращения 15, геометрические оси  $O_1$  и  $O_2$  расположены на определенном расстоянии, например 75 мм, так, что большая катушка выходит за площадь несущей плиты 2. При этом используются те же центральный блок транспортирования МЛ 10 и направляющие ролики 5 и 6. Описанный МТЛ применен в АМЗ МТ-5530 фирмы Schlumberger.

При использовании МТЛ (рис. 3.30,а), работающих с катушками 1 и 6, блоком транспортирования МЛ 4, направляющими роликами 3 и 5, установленными на плите 2, для устройств оперативной памяти повышается идентичность параметров многоцелевой АМЗ. Для этого на шпиндели снятых катушек (рис. 3.30,б) устанавливают обрезиненные сердечники 7 и 10 с прижимными роликами 8 и 12. Вокруг приемного шпинделя размещают карман 9, в котором располагаются петли 11 ненапряженной МЛ. Подмотка ленты в карман после блока 4 и ее подтормаживание до блока 4 выполняются так же, как и для МТЛ с катушками 1 и 6 двигателями этих катушек.

Начиная с катушек диаметром 230 мм и более, максимальной компактностью обладают МТЛ с соосным расположением катушек с лентой (рис. 3.31). На несущем корпусе 5 (рис. 3.31,а) размещены соосные катушки 8, БВГ 2, ведущий узел 12 с прижимным роликом 11, узлы натяжных роликов 7 и 10, блоки стирающих головок 6 и универсальных 13, электронный блок 9. Блок вращающихся головок размещается перпендикулярно несущему корпусу, образуя по тракту возле наклонных роликов 14 два участка 4 и 1 скручивания МЛ в своей плоскости. Этот тракт МЛ характерен для двухголовочного видеоманитофона ВСН-20 фирмы Bosch Fernseh, где конструктивные элементы распределены свободно на значительной поверхности плиты МТЛ и занимают площадь около 520 см<sup>2</sup> против 415 см<sup>2</sup> площади катушек типа 2 № 23, т. е. в 1,25 раз больше. Кроме того, размещение ведущего вала на значительном расстоянии (около 230 мм) от БВГ приводит к запаздыванию отработки изменения скорости движения МЛ и, следовательно, к снижению качества записи-воспроизведения видеoinформации. Наличие двух скручиваемых участков МЛ приводит к увеличению временных искажений и к ее дополнительной деформации. Этих недостатков лишен МТЛ (рис. 3.31, б), где применен сверх-



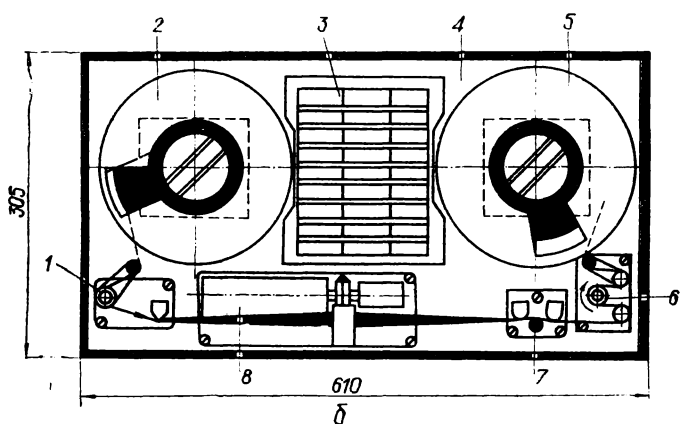
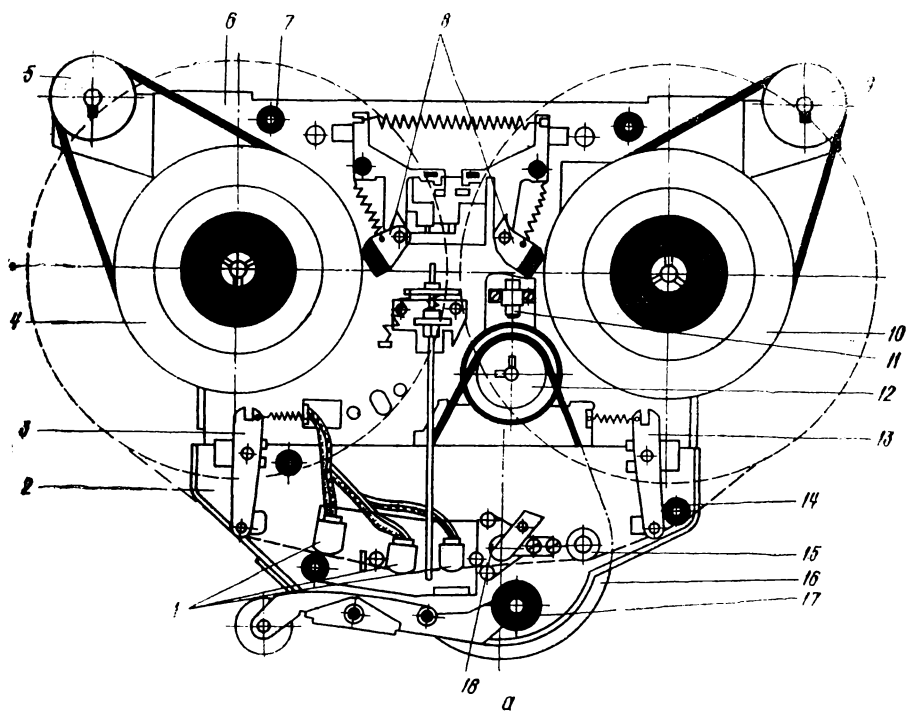
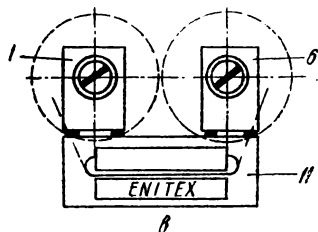
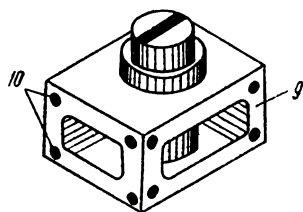
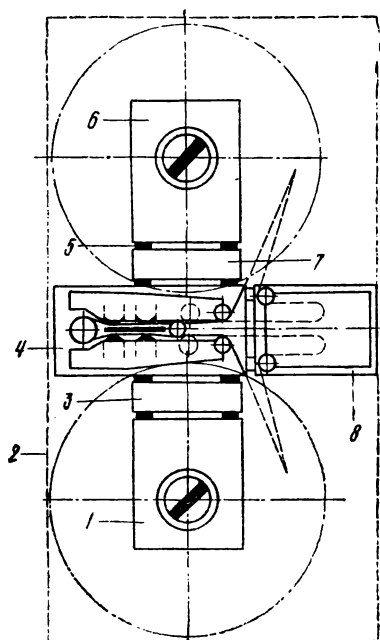


Рис. 3.28. Исполнение конструкции МТЛ:  
 а — корпусное; б — блочное; в — модульное



другой наклонены к несущему корпусу на некоторый угол. Для уменьшения свободных участков ленты с целью снижения мгновенных колебаний скорости ленты в зоне магнитных головок 13 и 15 обводные ролики 14 выполнены минимального диаметра  $d_p$  и с небольшим зазором (0,2—0,3 мм) размещены возле ведущего вала. Кронштейн с опорами 16 этого ролика расположен под ведущим

компактный тракт ЕНИТ-77 с одним скручиваемым участком 4 ленты и размещен ведущий вал 12 в непосредственной близости от БВГ 2 в касательной его плоскости, уменьшено количество направляющих роликов (три вместо шести). Блок вращающихся головок размещен наклонно под углом  $\beta$ , а направляющий ролик 14 — под углом  $2\beta$ . Площадь, занимаемая элементами тракта МТЛ, составляет около 140 см<sup>2</sup> против 415 см<sup>2</sup> площади катушек. Освобождается площадь S (заштрихована), что позволяет уменьшить габаритные размеры видеомагнитофона или увеличить объем МЛ на катушках, например, применить катушки № 27 вместо № 23.

Более компактным трактом ленты, чем МТЛ видеомагнитофона ВСН-20, обладает видеомагнитофон WR-211 (рис. 3.31,б) фирмы Echo Science, где применены также два скручиваемых участка 1 и 4 ленты, перпендикулярных несущему корпусу 5 БВГ 2, узел соосных катушек 8, ведущий вал 12. Для создания надежного натяжения ленты внутри рабочей зоны ведущий вал имеет различные углы обхвата: верхняя тянущая часть вала около 210°, нижняя толкающая часть — около 170°. Видеомагнитофон применяется только для записи в жестких условиях эксплуатации. Для устранения влияния перепада температур на МЛ видеомагнитофон помещают в термостатированный кожух, в котором поддерживается постоянная температура и влажность.

Для соосных МТЛ продольной записи распространены два варианта компоновки блока рабочей зоны и соосных катушек: оси вращения их элементов (ведущего вала, направляющих, обводных и натяжных роликов, катушек с лентой) параллельны друг другу, и оси наклонены между собой на небольшой угол (5—20°). В первом варианте МТЛ (рис. 3.32,а) содержит узел соосных катушек 2, ведущий вал 12, направляющие ролики 10, 11, натяжные ролики 8 на уравновешенной относительно оси круглой платформе 6 и 9, оси вращения которых параллельны друг другу и перпендикулярны несущему корпусу 1. Ролики 3 и 5 перехода ленты 7 с одного уровня на

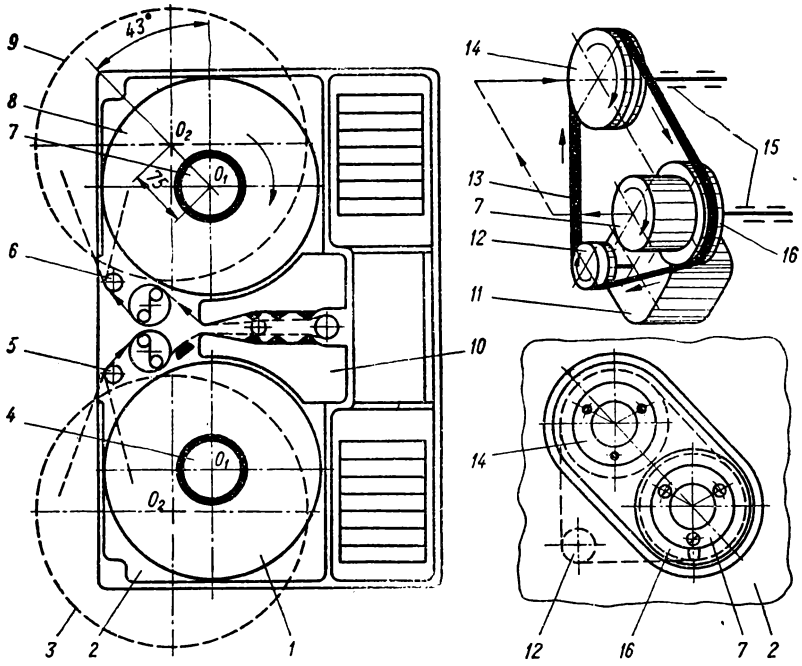
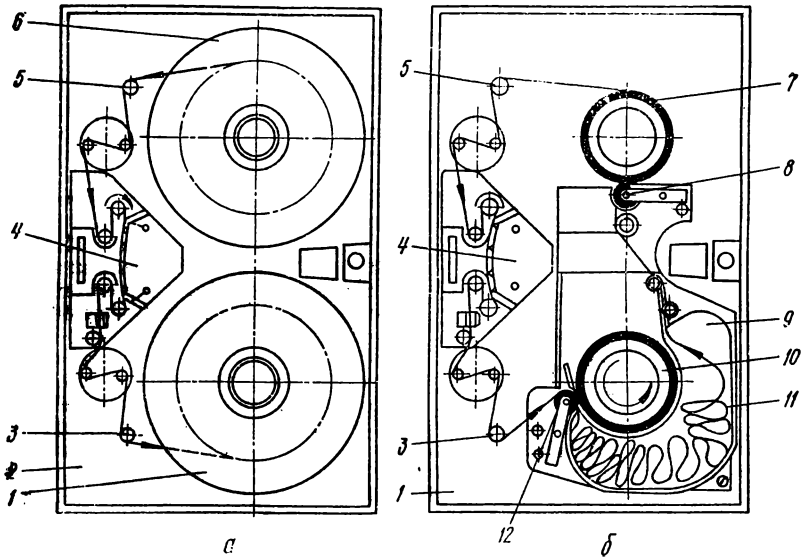


Рис. 3.29. Блочная конструкция МТЛ для двух типоразмеров стандартных катушек

Рис. 3.30. Блочная конструкция многоцелевого МТЛ



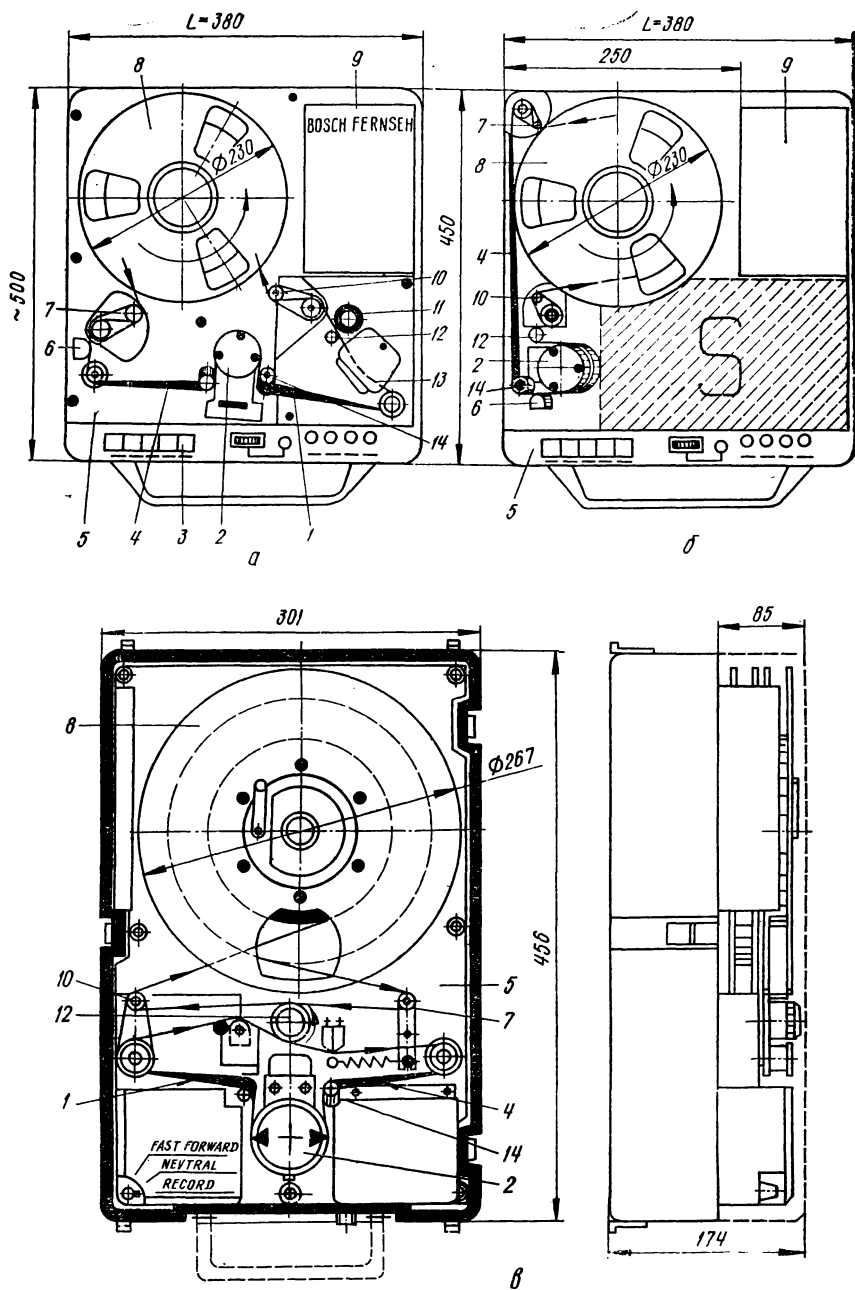


Рис. 3.31. Конструкции МТЛ репортерских (а, б) и портативного (в) видеоманитрофонов НСЗ

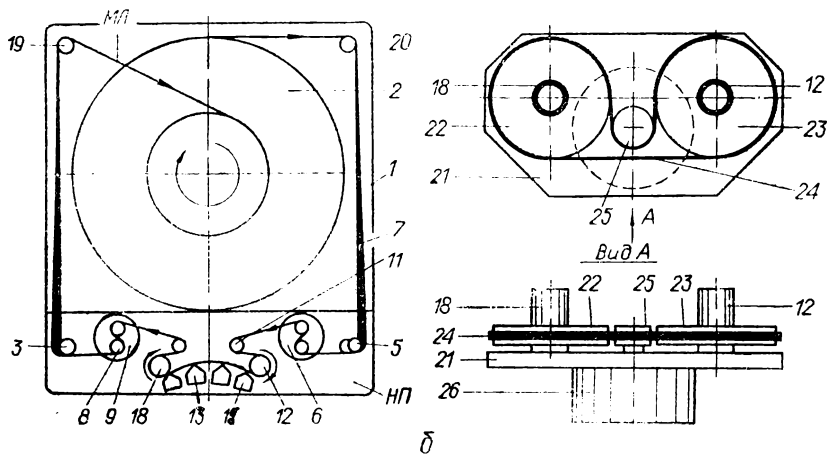
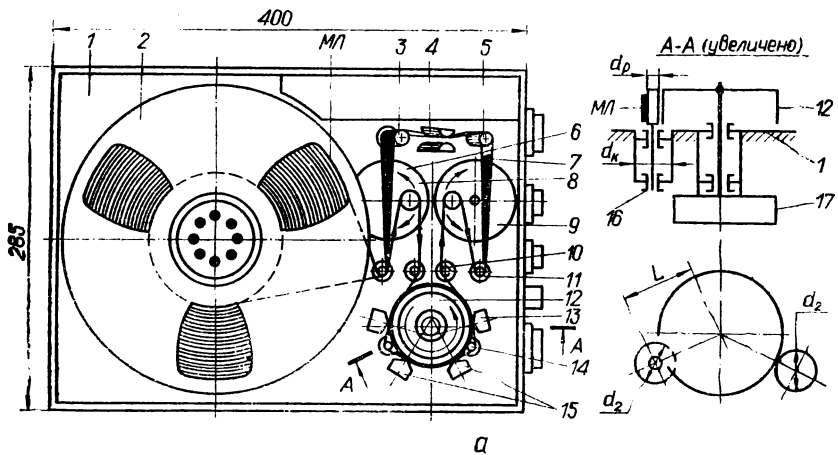


Рис. 3.32. Варианты конструкции МТЛ продольной записи с соосными катушками:  
 а — I; б — II

чашеобразным валом и имеет значительно больший диаметр  $d_k$ . Ведущий вал имеет прямой привод от двигателя 17. В наклонном участке тракта МЛ размещена стирающая головка 4.

Во втором варианте МТЛ (рис. 3.32, б) ведущие валы 12 и 18, головки 13 и 15, направляющие ролики 3, 5, 8 и 11, натяжные ролики 8 размещены на субплите, наклонной к несущей плите 1 блока соосных катушек 2, направляющих роликов 19 и 20. Для перехода ленты с одного уровня на другой имеются два скручиваемых участка 7. С целью устранения влияния угловых ускорений на стабильность скорости ленты в зоне замкнутой петли рабочей зоны вал 25 ведущего двигателя 26 размещен между двумя маховиками 22 и 23 ведущих валов 12 и 18. Маховики и вал глубоко обхвачены плоским приводным ремнем 24, но вращаются в противоположные стороны и имеют приведенную к ленте массу, равную массе вала и ротора двигателя 26. При этом любые внешние возмущения вызывают на маховиках и вале двигателя равные, но противоположные ускорения, которые взаимно уничтожают друг друга. Узел ведущих валов собирается на своей несущей плите 21, устанавливаемой снизу к несущей плите МТЛ.

## 2. МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛЕНТЫ ВИДЕОМАГНИТОФОНОВ

Специфической особенностью МТЛ видеомагнитофонов (ВМ) является одновременная запись-воспроизведение полного телевизионного сигнала в полосе частот 50 Гц — 6 МГц (профессиональные ВМ) или 50 Гц — 3 МГц (бытовые ВМ), звуковых сигналов в полосе частот 20 Гц — 18 кГц и импульсных сигналов до 250 Гц. Телевизионный сигнал записывается с большой относительной скоростью вращающимися ВГ (24—40 м/с для профессиональных и 3—9 м/с для бытовых ВМ) поперек движения МЛ или под некоторым углом, а звуковые сигналы — неподвижными МГ продольным способом с невысокой скоростью движения МЛ (24,4—39,7 см/с — профессиональные и 2,44—9,53 см/с — бытовые ВМ). Для профессиональных ВМ применяют МТЛ с поперечно-строчной записью (ПСЗ) и наклонно-строчной (НСЗ), а для бытовых ВМ — только МТЛ НСЗ и с продольной записью (ограничено). Для профессиональных ВМ ПСЗ применяют четырехголовочные БВГ, ВМ НСЗ двух- и полутраоголовочные, для бытовых ВМ НСЗ — только двухголовочные БВГ.

Кинематические схемы МТЛ профессиональных ВМ. Наиболее сложную кинематическую схему имеют МТЛ ПСЗ (рис. 3.33, а), где МЛ с форматом 50,8 мм транспортируется со скоростью  $V_{МЛ}$  ведущим валом 9. Вдоль краев МЛ головка 8 записывает дорожки звука и режиссерских указаний, а головка канала управления, размещенная на БВГ 7, — синхроимпульсы. Между продольными дорожками под углом 33° вследствие движения МЛ записываются строчки видеосигналов. Запись происходит в зоне вакуумной направляющей камеры, к внутренней радиусной поверхности которой МЛ прижимается отрицательным давлением. Магнитная лента, согнутая по сектору с углом 110° 54' дуги окружности радиусом 26,248<sub>-0,013</sub> мм, постепенно распрямляется по обе стороны от камеры и полностью выпрямляется (форма каное) на МГ 8 и стойке 5. Расстояние от плоскости вращения ВГ до полного распрямления МЛ на головке 8 и стойке 5 стандартизовано (190 мм ± 6,3 мм) (см. фрагмент рис. 3.33, б) так же, как и расстояние от геометрической оси двигателя БВГ до спрямленной плоскости ленты (23 мм ± 0,5 мм). Это способствует взаимозаменяемости записей и отсутствию остаточной деформации МЛ. Диск с ВГ вращается отдельным прецизионным ЭД (радиальной биения ВГ не более 0,003 мм) с частотой вращения 250 Гц. Видеосигналы поступают на вращающиеся ВГ через токосъемник (обычно бесконтактный типа вращающийся трансформатор). Для уменьшения трения, износа и динамических перекосов ленты применяются направляющие стойки 1, 2, 4, 5 с аэростатической смазкой при давлении +P<sub>1</sub>. Сглаживание неравномерностей движения МЛ (рывков при пусках и остановках) и слежение за натяжением обеспечивают вакуумные карманы 6 и 11. Подающий 3 и приемный 10 рулонные накопители установлены на валах ЭД, на нижних вылетах которых размещены тормозные

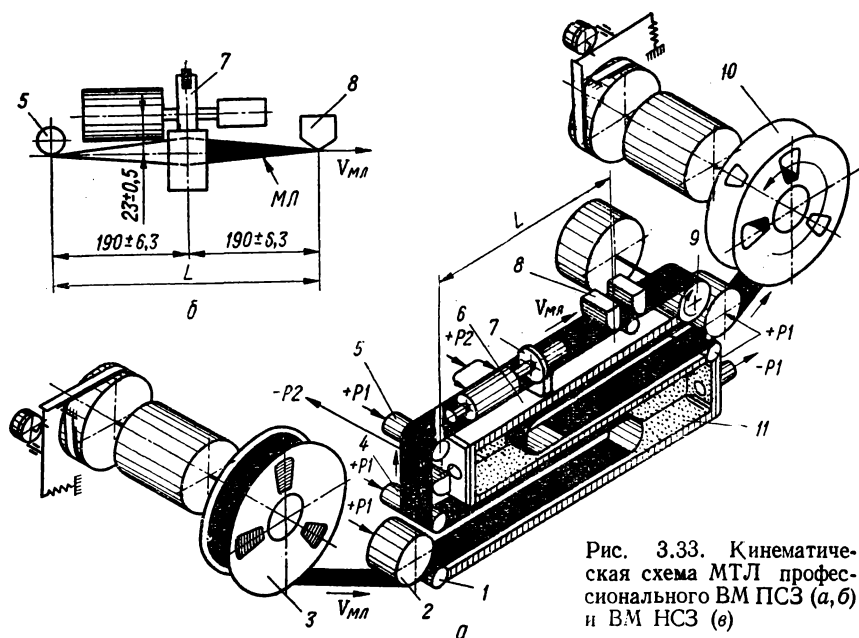
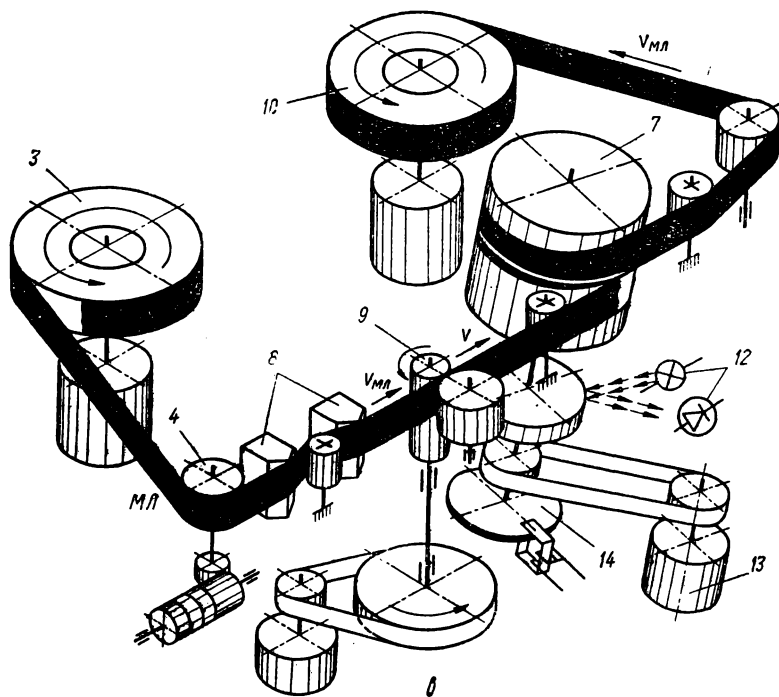


Рис. 3.33. Кинематическая схема МТЛ профессионального ВМ ПСЗ (а, б) и ВМ НСЗ (в)



### 3.7. Технические характеристики профессиональных ВМ ПСЗ

Параметр	«Кадр-3»	«Электрон-2»	«Кадр-3П»	«Кадр-5»*	AVR-1 AVR-2 AVR-3 (AMPEX) (США)	ВСМ-40Е (Bosch Fernseh) (ФРГ)
<i>Канал изображения</i>						
Отношение сигнал/шум, дБ	41	40	41	45	43	45
Комбинационные искажения, дБ	30	30	35	36	36(40) **	32
Дифференциальное усиление, %	10	—	5	4	4	5
Дифференциальная фаза, град	—	—	5	4	4	5
Кфактор $\sin^2 2T$ , %	—	—	15	1	1	2
Диапазон коррекции КВИ, мкс	$\pm 0,47$	$\pm 0,47$	$\pm 0,6$	$\pm 8$	—	—
Остаточная временная ошибка, нс	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 10$ СЕКАМ $\pm 2$ ПАЛ	$\pm 1,5(2,5)$ ***	$\pm 2,5$
<i>Канал звука</i>						
Полоса частот, Гц	50—15 000	30—16 000	50—15 000	50—15 000	50—15 000	40—14 000
Отношение сигнал/шум, дБ	50	54 (с фильтром)	50	50	55(50) **	52
Скорость движения ленты, см/с	39,7	39,7	39,7; 19,85	39,7 и 19,85	39,7; 19,85	39,7
Коэффициент колебания скорости движения ленты, %	0,3 (пик)	0,15 (эф)	0,3 (пик)	0,15 (пик)	0,1; 0,15 (пик)	0,1 (пик)
<i>Общий</i>						
Потребляемая мощность, кВА (кВт)	1,8	3,5	1,8	1,5	5,3; 1,3; 0,5	3
Габаритные размеры, мм	1480×1690×715	1850×1305×600	1480×1690×715	1616×1658×706	1980×1470×840 1657×940×813 1000×1473×840	2000×1420×680
Масса, кг	550	550	600	850	1000; 290; 500	730

- \* Снабжен встроенным устройством электронного монтажа.
- \*\* Для AVR-3.
- \*\*\* Для AVR-1.

Примечания: 1. Полоса частот канала изображения для отечественных ВМ 6 МГц, для зарубежных AVR (AMPEX)  $(5,5 \pm 0,5)$  дБ, для ВСМ-40Е  $(5,5 \pm 1)$  дБ.  
 2. Скорость записи канала изображения для всех ВМ 40 м/с.  
 3. Для отечественных ВМ тип КВИ аналоговый; в канале звука неравномерность характеристики 3 дБ, нелинейные искажения 3%.



системы с растормаживающими электромагнитами [30]. Технические характеристики отечественных и зарубежных ВМ ПСЗ приведены в табл. 3.7.

Более простую кинематическую схему имеют МТЛ профессиональных ВМ НСЗ (рис. 3.33,б). Лента форматом 25,4 мм (реже 50,8) с рулона 3 транспортируется ведущим валом 9 косвенного привода. До ведущего вала МЛ по ходу движения взаимодействует с направляющим роликом 4 и неподвижными головками 8, после — движется на наклонный направляющий барабан 7 БВГ. Верхняя половина барабана выполнена вращающейся для уменьшения потерь на трение вследствие аэродинамической подушки между барабаном и винтовым

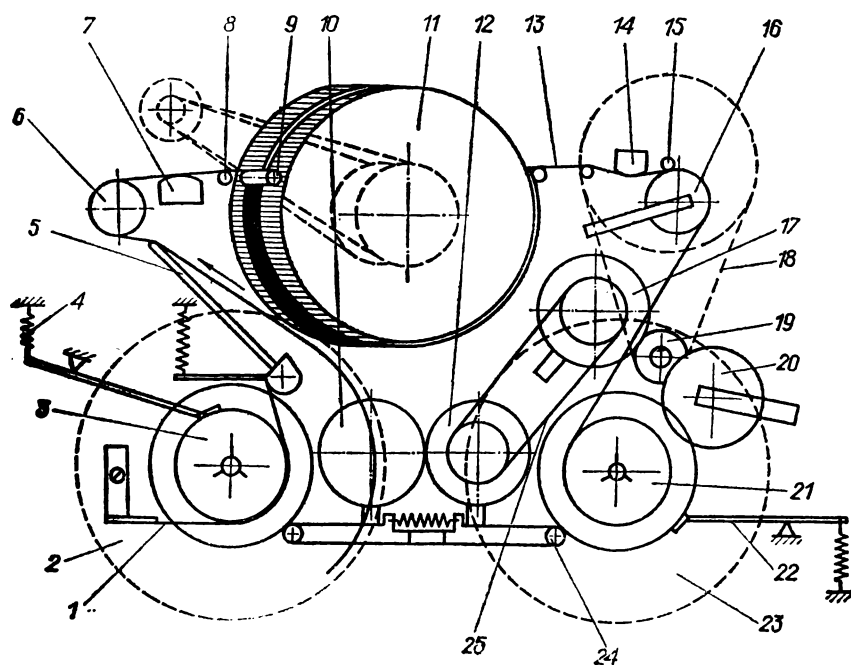


Рис. 3.34. Кинематическая схема МТЛ отечественного бытового ВМ НСЗ

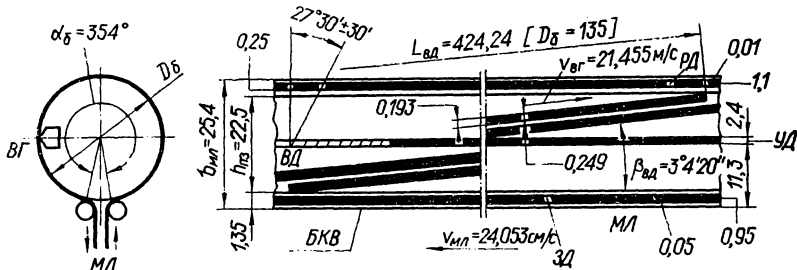
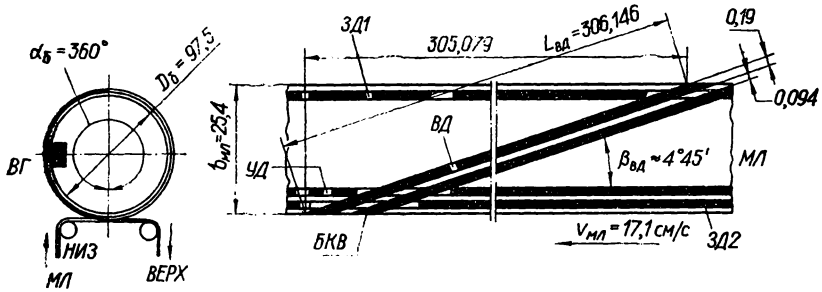
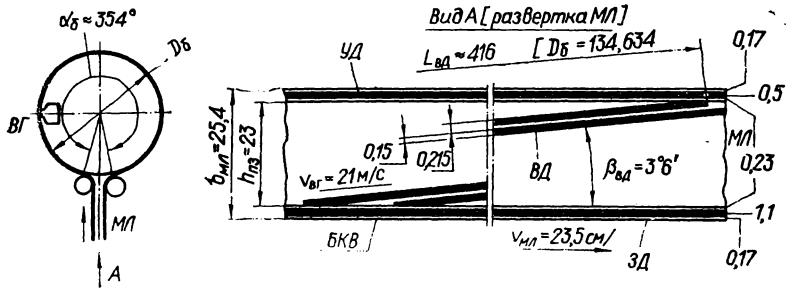
винтом МЛ на нем. После БВГ МЛ наматывается на приемный рулон 10. Заданную частоту вращения ВГ поддерживают: таходатчик 12, индукционный тормоз 14 и приводной двигатель 13. Технические характеристики профессиональных ВМ НСЗ приведены в табл. 3.8.

Кинематическая схема МТЛ бытового ВМ «Электроника-Л1-08» (рис. 3.34) характеризуется независимостью приводов БВГ и остальных узлов, что повышает стабильность работы ВМ [3]. Применен механический стабилизатор натяжения МЛ 5 с подпружиненным рычагом, который в сочетании с маховиком ведущего узла 15 выполняет роль двухзвенного механического фильтра. От асинхронного ЭД 19 через ремень 18 вращение передается на ведущий узел 15 и фрикцион 20 на приемный узел 21. В режимах перемотки вращение на подающий 9 и приемный 21 узлы передается с помощью фрикционных роликов 10, 12 и 17 и ремня 25. Благодаря определенному наклону БВГ 11, привод которого осуществляется автономным ЭД постоянного тока, подающая 2 и приемная 23 катушки лежат на одном уровне. Угол обхвата, пространственный переход МЛ на БВГ 11, а также требуемое поперечное положение ее относительно диска с ВГ обеспечивают ролики 8 и 16, штыри 8, 9 и плоская винто-

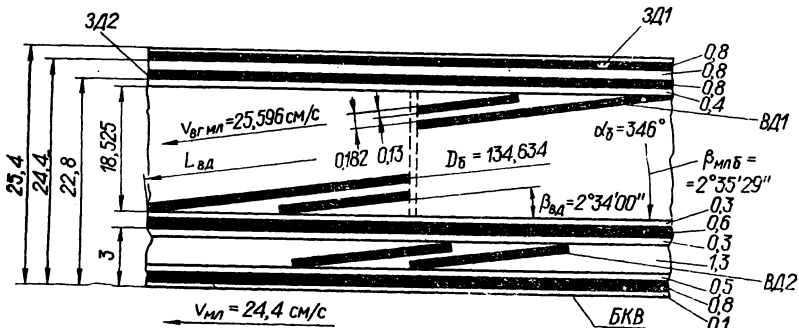
### 3.8. Технические характеристики профессиональных ВМ НСЗ

Параметр	«Кадр-103АС»	VPR-7953	VPR-1	TTV-3500	BCN-50, BCN-20
<i>Канал изображения</i>					
Полоса частот, МГц	6	5	5	6	5,5
Количество головок, шт.	1	1	1	2	2
Ширина магнитной ленты, мм	25,4	25,4	25,4	50,8	25,4
Отношение сигнал/шум, дБ	45	41	43	45	43
Дифференциальное усиление, %	5	6	4	4	4
Дифференциальная фаза, град	5	6	4	4	4
Комбинационные искажения, дБ	35	30	35	40	35
Искажение импульса 2Т, %	1	2	2	1	2
<i>Канал звука</i>					
Полоса частот, кГц	0,06—12	0,05—12	0,05—12	0,05—15	0,05—15
Скорость движения ленты, см/с	24	24	24	20,3	24,3
Коэффициент колебания скорости движения ленты (эффективное значение), %	0,15	0,15	0,1	0,15	0,1
Неравномерность характеристики, дБ	±2,5	±3	±2	±2	±2
Отношение сигнал/шум, дБ	46	50	55	55	65 (с шумоподавлением)
<i>Общий</i>					
Потребляемая мощность, кВт	0,4	1,75	0,6	3	0,6; 0,065
Габаритные размеры, мм	770× ×490× ×490	1230× ×1080× ×680	1334× ×838× ×692	1575× ×1245× ×711	665× ×625× ×525 200× ×380× ×410
Масса, кг	80+30 (с регенератором)	220	181,44	550	107; 20

Примечание. Нелинейные искажения в канале звука для всех ВМ 3%.



а



б

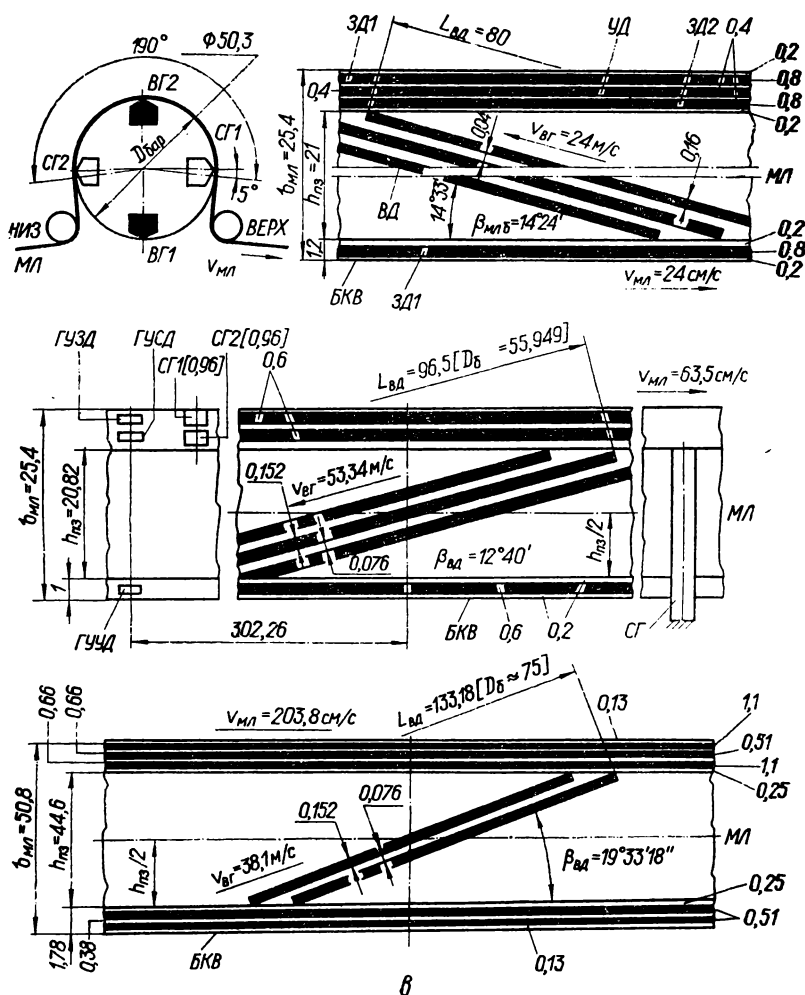


Рис. 3.35. Сигналограммы:

а — одноголовочных (AMPEX VR-7800, IVC-961P, «Кадр-103»); б, в — полутороголовочных (формат «С» — AMPEX VPR-1, Sony BVH-1000); в — двухголовочных (формат «В» — BSN-20, формат Echo Science WR-202, формат Thomson TTV-3500) профессиональных ВМ НСЗ

вая направляющая, закрепленная на БВГ 11. В режиме ЗВ вращение от ЭД 19 передается приемному узлу 21 через блок роликов 20, между которыми установлен фрикцион сухого трения. В режиме «Стоп» ролики 10, 12, 17 и 20 выведены из зацепления, а подкатушники подающего и приемного узлов 3 и 21 заторможены дифференциальными колодочными тормозами 24. В режимах прямой и обратной перемоток ролик 17 вводится в зацепление с насадкой на ЭД 19, а ролики 12 и 10 прижимаются к подкатушникам приемного и подающего узлов. Ремень 25 выполнен из полиуретана и за счет пробуксовки обеспечивает плавный пуск МЛ. Тракт обеспечивает минимальный износ рабочего слоя МЛ, так как он контактирует только с неподвижными направляющими

## 3.9. Технические характеристики бытовых отечественных ВМ НСЗ с шириной ленты 12,7 мм

Параметр	Модели ВМ							
	ВК1/2 ЛОМО, ч/б катушеч- ный комби- нированный	«Электроника-Л1-08» ч/б катушеч- ный перенос- ной	«Электроника-501» Видео ч/б катушеч- ный носи- мый	«Электроника-502» Видео ч/б катушеч- ный перенос- ной	«Электроника-505» Видео цветной кас- сетный переносной	«Электроника-508» Видео цветной катушечный переносной	«Спектр-203» Видео цветной кассетный переносной	«Электроника-552» Видео цветной катушечный переносной
Скорость ленты, см/с	9,33 (полу- кадровый)	7,9 (полу- кадровый)	16,32	16,32	14,29	16,32	14,29	6,56
Расход ленты, м <sup>2</sup> /ч	4,2	3,61	7,46	7,46	6,53	7,46	6,53	3,00
Время записи и вос- произведения, мин, при толщине ленты, мкм	90 при ка- тушке № 15 27	150 при катушке № 15 17	35 при ка- тушке № 13 27	45 при ка- тушке № 15 27	60 при кассете С-60	45 при ка- тушке № 15 27	60 при кассете С-60	200 при катушке № 15 17
Разрешающая спо- собность по гори- зонтали, линий, не менее	200	250	250	250	ч/б 250 цветной 200	ч/б 270 цветной 220	ч/б 270 цветной 220	ч/б 270 цветной 220
Диаметр барабанов БВГ, мм	140	105	115,82 (японский стандарт)	115,82 (японский стандарт)	105 (стан- дарт МЭК)	115,82 (японский стандарт)	105 (стан- дарт МЭК)	105 (VCR-LP)
Скорость записи ви- деосигнала, м/с	11	8,1	9,2	9,2	8,1	9,2	8,1	8,1
Отношение сиг- нал/шум в видео- канале, дБ, не ме- нее	37	40	40	40	ч/б 40 цветной 30	ч/б 40 цветной 36	36	40
Диапазон частот звукового канала, Гц	125—10 000	100—10 000	100—10 000	100—10 000	80—10 000	100—10 000	120—12 500	100—10 000

Питание	220В±10%; узел записи 12В	220 В±10%	12В; 127/220В± ±10%	127/220В± ±10%	12В; 127/220В± ±10%; через блок питания	220В±10%	220/127В± ±10%	220В±10%
Потребляемая мощность, Вт, не более	100; узел записи 18	50	20	100	30	100	140	75
Габаритные размеры, мм	360× ×370× ×210; узел записи 280×330× ×100	410× ×282× ×150	280× ×309× ×162	410× ×381× ×195	320× ×260× ×120	410× ×381× ×195	555× ×355× ×167	560× ×330× ×160
Масса, кг, не более	20; узел записи 7,5	12	9	15	9,1	15	17	20

- Примечания:**
1. Телевизионный стандарт 625 строк, 50 полей/с; для цветных — СЕКАМ.
  2. ВК1/2 ЛОМО — имеется носимый узел записи, при воспроизведении устанавливаемый на переносной БМ.
  3. Отношение сигнал/шум в звуковом канале не менее 38 дБ, для БМ «Спектр-203» не менее 37 дБ.
  4. Частота напряжения питания 50 Гц.

барабанами БВГ и блоком универсальных звуковых головок 14 и 7. Технические характеристики бытовых катушечных и кассетных ВМ НСЗ приведены в табл. 3.9 и 3.10.

Взаимозаменяемость для всех МТЛ ВМ ПСЗ или НСЗ обеспечивается конструктивно идентичностью сигналограмм, являющихся базисом для разработки любого нового ВМ и его МТЛ. Сигналограмма визуально представляет собой отображения процесса магнитной записи всех сигналов на видеоленте со стороны рабочего слоя. Графически чертеж неполной сигналограммы должен отражать:

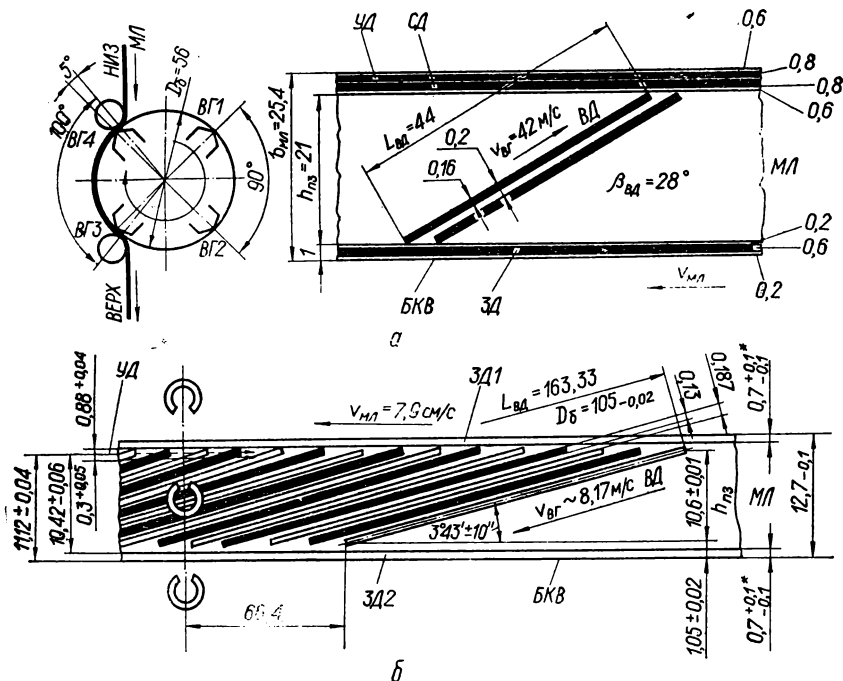


Рис. 3.36. Сигналограммы ВМ НСЗ:

а — четырехголовочного ЕНИТ-5; б — двухголовочного «Электроника-Л1-08»

а) ширину видеодорожек ВД, шаг или зазор между ними; ширину звуковых дорожек ЗД1 (первая), ЗД2 (вторая), ширину управляющей дорожки УД (синхроимпульсы канала управления) и зазоры между ними;

б) направление движения МЛ и ВГ, значения их номинальных скоростей, ширину МЛ и поля строчек видеозаписи;

в) длину видеодорожек и диаметр направляющего барабана БВГ, угол между ВД и базовым краем видеоленты БКВ (динамический  $\beta_{ВД}$  при перемещении ленты и статический при неподвижной МЛ; для НСЗ статический угол равен углу подъема МЛ по барабану БВГ  $\beta_{ст} = \beta_{МЛб}$ ), угол обхвата МЛ направляющего барабана.

На полной сигналограмме указывают линейные расстояния между элементами тракта, образующими эту сигналограмму (ГЗ, ГС, ГВ, канала управления и др.). Наиболее распространенные сигналограммы ВМ НСЗ показаны на рис. 3.35, 3.36.

**Конструктивное исполнение МТЛ.** Профессиональные студийные ВМ ПСЗ отличаются крупногабаритными МТЛ (рис. 3.37), где БВГ 6, блок не-

### 3.10. Технические характеристики бытовых зарубежных ВМ

Параметр	Система цветной бытовой кассетной видеозаписи					
	V-2000 (Philips, Grundig, ФРГ)	SVR (Grundig, ФРГ)	VCR-LP (Philips, Голландия)	Betamax (Sony, Япония)	VHS (Matsushita, Япония)	LVR (BASF, ФРГ)
Толщина ленты, мкм	14	16	15	17	20	8,5
Скорость ленты, см/с	2,44	3,95	6,56	1,87	2,339	400
Отношение сигнал/шум видео, дБ	42	42	45	42	40	42
Скорость записи, м/с	5,08	8,18	8,18	5,83	4,84	4
Диаметр барабана видеоблока, мм	65	105	105	74,487	62	Неподвижная видеоголовка
Количество видеоголовок, шт.	2 (с автотрекингом)	2	2	2	2	1
Длительность записи—воспроизведения, мин	2 × 240 (с переворотом кассеты)	240	180	180	180	180
Ширина видеодорожки, мкм	22,5	51	85	32,8	49	68
Ширина рабочего зазора видеоголовки, мкм	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,6
Наклон рабочего зазора видеоголовки от направления ее движения, град.	± 15	± 15	± 15	± 7	± 6	0
Полоса частот звука, Гц	50 — 10 000	80 — 10 000	80 — 12 500	50 — 8000	70 — 8000	40 — 12 500
Отношение сигнал/шум звука, дБ	52 (взвешенное)	48 (взвешенное)	> 40	> 40	> 40	56
Ширина звуковой дорожки, мм	2 × 0,65	0,7	0,7	1,05	1	Пишется совместно с видеосигналом
Ширина управляющей дорожки, мм	2 × 0,3	0,7	0,7	0,6	0,75	Отсутствует
Расход ленты, м <sup>2</sup> /ч	0,56	1,8	1,4	0,85	0,97	1,27



Параметр	Система цветной бытовой кассетной видеозаписи					
	V-2000 (Philips, Grundig, ФРГ)	SVR (Grundig, ФРГ)	VCR-LP (Philips, Голландия)	Betamax, (Sony, Япония)	VHS (Matsushita, Япония)	LVR (BASF, ФРГ)
Габаритные размеры кассеты, мм	183 × × 110 × × 26	126 × × 145 × × 41	126 × × 145 × × 41	156 × × 96 × × 25	188 × × 104 × × 25	114 × × 106 × × 17
Расположение рулонов МЛ в кассете	Копланарное	Соосное	Соосное	Копланарное	Копланарное	Одна катушка
Потребляемая мощность, Вт	60	75	50	80	35	10
Габаритные размеры ВМ, мм	590 × × 170 × × 320	590 × × 150 × × 320	560 × × 160 × × 370	520 × × 190 × × 390	450 × × 150 × × 310	114 × × 106 × × 117
Масса, кг	14,5	14,5	16	19,2	13,9	4,5
Полное наименование	Video 2000	Super Video Recording	Video Cassete Recording Long Play	Beta	Video Home System	Hongitudinal Video Recording

Примечания: 1. Ширина ленты для LVR, 8 мм, для остальных — 12,7 мм.  
2. Полоса частот видеокавала 3 МГц.

подвижных МГ 5, ведущий узел 4, направляющие ролики 3, следящие рычаги 8 и 2 размещаются на жесткой литой из алюминиевого сплава ребристой или сотовой несущей плите 7. На плите также устанавливаются приводы приемной 1 и подающей 9 катушек обычно типа 2 № 35 (40), рассчитанных на 1,5—2 ч непрерывной работы.

Бытовые ВМ НСЗ (рис. 3.38) отличаются от бытовых магнитофонов в основном наличием БВГ и содержат несущую плоскую панель 6 с отогнутыми краями из алюминиевого листа толщиной 2 мм. Сверху на панели размещаются подающий 5 и приемный 8 узлы с приводным вращающимся ротором 7 индукционной муфты, субпанель 2 с ведущим валом 15, прижимным роликом 13, направляющим роликом 9 и магнитной ГУ звука и синхроимпульсов. Слева от субпанели установлен наклонно в двух плоскостях БВГ 1, справа — счетчик 10 длины ленты, индикаторы уровней видео- и звукового сигналов 11, клавишная станция управления 12. Слева от БВГ размещены ГС 3 и направляющий ролик 4. Впереди на панели установлены регуляторы 14 уровней звука, тембра и изображения. Снизу под несущей панелью размещены электродвигатели 16 и 17 для БВГ и ведущего вала. Тракт МЛ спроектирован так, что лента до и после пространственного участка БВГ движется в одной плоскости. Это при эксплуатации упрощает заправку МЛ и настройку после сборки, так как приемная и подающая катушки размещаются на одном уровне по отношению к несущей плите.

Взаимозаменяемость записей между катушечным и кассетным видеомангнитофонами обеспечивается на МТЛ VCR-100 фирмы IVC, где стандартные катушки типа 2 № 20 могут свободно устанавливаться на обоих аппаратах. Тракт МЛ катушечного ВМ (рис. 3.39, а) образуется подающей катушкой 2,

направляющими роликами 16, 14 и 4, полным винтовым витком 6 вокруг одноголовочного БВГ 5, направляющими роликами 7, 11 и 9, натяжным роликом 10 и приемной катушкой 8. Магнитные головки 15 и 13 установлены до ведущего вала 3 и прижимного ролика 12. Все узлы МТЛ собираются на несущей плите 1. Приемная 8 и подающая 2 катушки размещены бипланарно

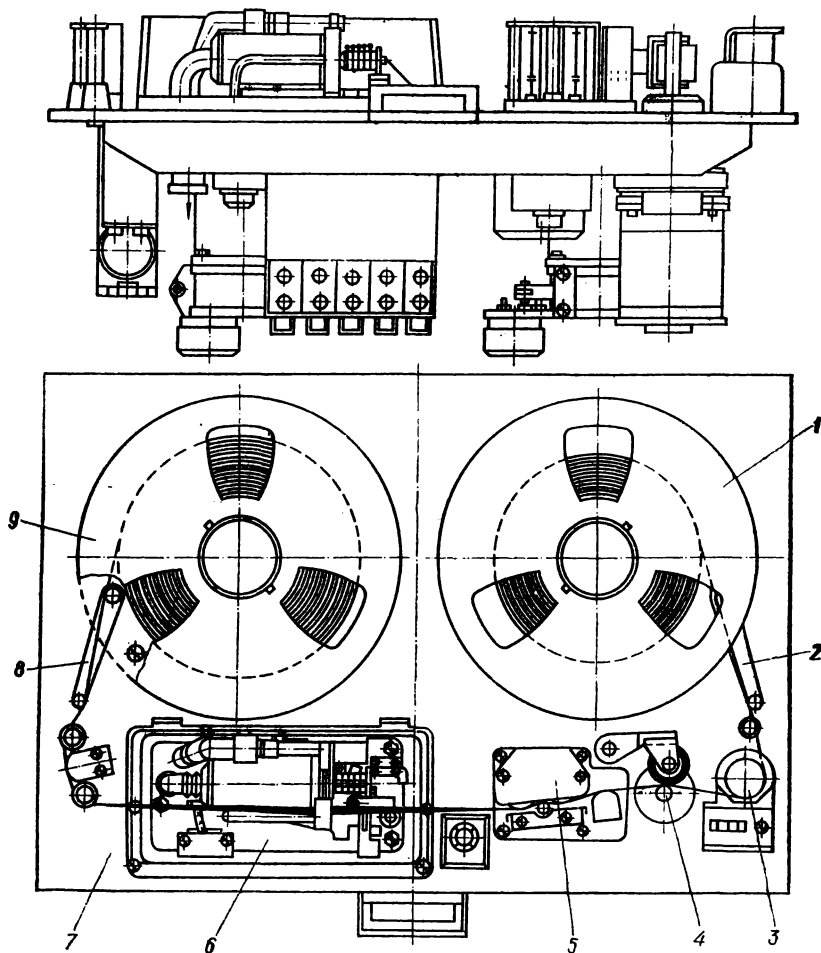


Рис. 3.37. Конструкция МТЛ профессионального ВМ РСЗ

(в параллельных плоскостях) без перекрытия рулонов с шагом, равным ширине МЛ. Приемная катушка расположена выше подающей. Катушка 2, снятая с катушечного ВМ, может быть установлена (рис. 3.39, б) в прямоугольный корпус 17 одношпульной кассеты с двумя скосами и устьем для выхода МЛ. Эта кассета вставляется по стрелке К в отсек 18 кассетного ВМ. Заправочный утолщенный оптически прозрачный ракорд ленты подается катушкой 2 в устье 16 мимо МГ 15 и 13, направляющих роликов 14 и 4 и спускается по винтовому направляющему пазу 19. Паз размещен вокруг одноголовочного БВГ 5, имеющего такие же размеры, как и БВГ катушечного ВМ. В ненатянутом состоянии

ракорд мимо роликов 7, 10, 9 по заправочному устью 20 подается на приемную катушку 8, которая постоянно установлена в ВМ. Сердечник катушки имеет один зуб, захватывающий ракорд ленты, который наматывается виток на виток. Когда в устье 20 появляется оптически непрозрачная тонкая МЛ, фотодатчик посылает команду на воспроизведение (запись) программы с катушки 2.

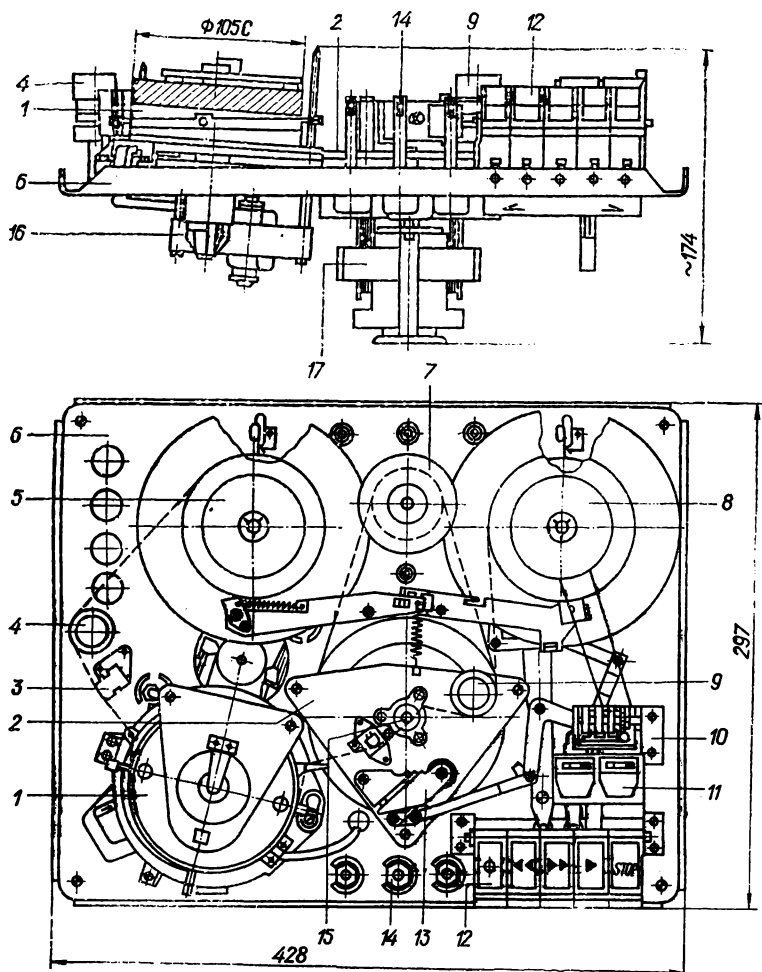


Рис. 3.38. Конструкция МТЛ бытового ВМ НСЗ

Видеолента при этом отходит от стенок заправочных устьев и натягивается. Катушка 2 кассеты размещена выше катушки 8 на ширину МЛ.

Максимальную компактность МТЛ двухголовочного ВМ можно получить, если катушки с рулонами 1 и 18 МЛ разместить соосно в полостях верхней 17 и нижней 19 частей направляющего барабана БВГ (рис. 3.40). Вращение катушек осуществляется за наружную поверхность рулонов посредством приводных плоских ремней 2 и 16. Все узлы МТЛ, два ведущие вала 5 и 13, прижимные ролики 4 и 14, ЭД 8, направляющие стойки 6, 7, 10 и 12, МГ 3 и 15

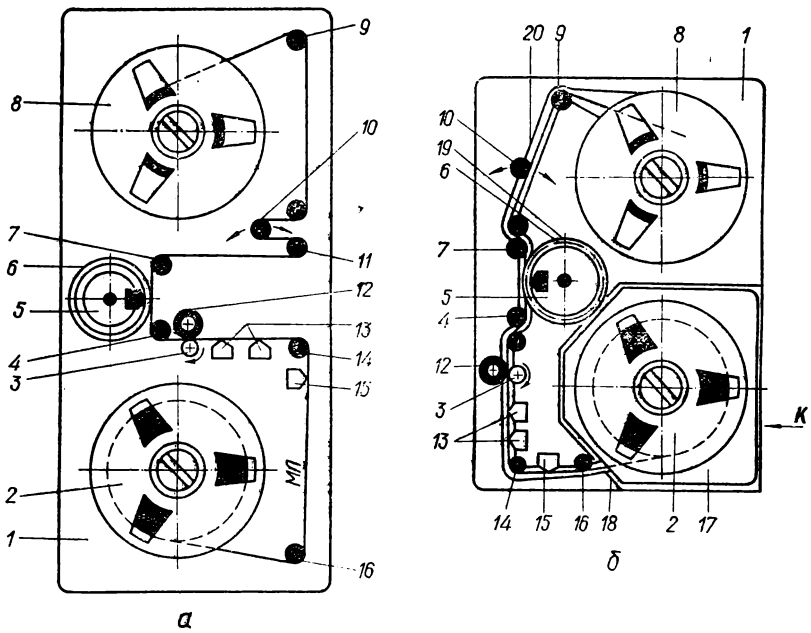


Рис. 3.39. Конструкция МТЛ профессионального катушечного (а) и кассетного (б) ВМ НСЗ

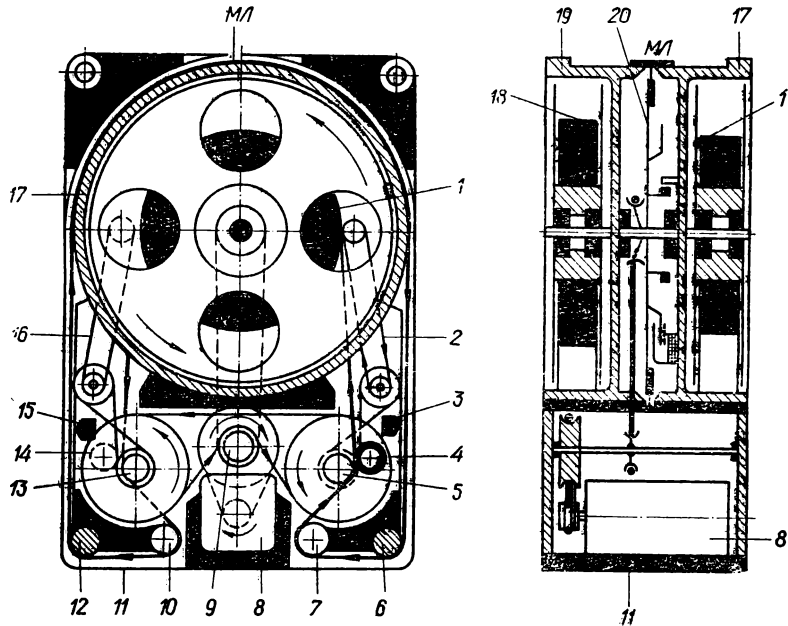


Рис. 3.40. Конструкция сверхкомпактного МТЛ двухголовочного ВМ НСЗ

размещены в несущем корпусе 11 БВГ, что обеспечивает высокую жесткость всей конструкции. Диск 20 с двумя ВГ установлен между верхней и нижней частями направляющего барабана БВГ. Вращающий момент от ЭД 8 передается на распределительный вал 9, а с него — на ведущие валы и вал диска с ВГ посредством приводных ремней.

### 3. МОДЕРНИЗАЦИЯ МТЛ

Модернизацию МТЛ, находящихся в составе АМЗ в эксплуатации или вновь разрабатываемых перспективных МТЛ, с целью резкого уменьшения трудоемкости изготовления, обеспечения полной идентичности записи и воспроизведения (анализа), снижения энергопотребления, габаритных размеров и массы, стоимости, целесообразно вести следующими путями.

1. Для распространенных или унифицированных рулонных МТЛ можно разработать одну или несколько кольцевых кассет с ручной дозарядкой МЛ, что позволит использовать существующую АМЗ также в качестве устройств оперативной памяти или анализаторов.

2. Для рулонных малогабаритных МТЛ с небольшими типоразмером катушек и длиной МЛ, например, работающих в высококачественной репортерской АМЗ, с целью увеличения времени ЗВ в стационарных условиях студии или телецентра, необходимы приставки, на которые устанавливаются катушки большой емкости, получающие вращающий момент от подкатушников малогабаритного МТЛ или от своих автономных ЭД. Кроме того, при новой разработке можно предусмотреть установку приводов катушек на поворотных рычагах или на других дополнительных валах, размещенных на некотором расстоянии от основных при условии оперативной перестановки на них подкатушников.

3. Для рулонных МТЛ НСЗ определенного формата МЛ (12,7 или 25,4 мм) разработать дополнительный тракт МЛ этого или другого формата (6,35 мм) для выполнения поочередной или одновременной звукозаписи.

При таком подходе к модернизации МТЛ значительно сокращается количество электронной аппаратуры и блоков, повышается надежность работы всего комплекса АМЗ, которая при этом переходит в ряд многоцелевой (универсальной).

На рулонные МТЛ можно устанавливать кольцевые кассеты с накопителем типа роликовый лабиринт или ненапряженный карман, занимающие пространство за пределами рулонов или на площади, занимаемой рулонами. Значительную емкость МЛ и компактность конструкции обеспечивает модернизация рулонных МТЛ, показанных на рис. 3.41, а, где на площади снятых катушек 2 и 4 устанавливаются кольцевые роликовые накопители 8 и 11 (рис. 3.41, б). Роликовые лабиринты выполнены в виде двух симметричных кассет (левой и правой), состоящих из несущего основания со свободно вращающимися роликами 7 и центральной втулки 10, отверстие которой повторяет размеры и форму сердечника стандартных катушек 2 и 4. Торцевая поверхность шпинделей подкатушечников 5 и 1 служит опорной площадкой для роликовых кассет. Роликовые кассеты на рулонном МТЛ долговременной памяти крепят и фиксируют теми же зажимами шпинделей приемного и подающего узлов, что и катушки 2 и 4. При этом кассеты фиксируются от поворота специальными пальцами, установленными на несущей плите 6. При установке роликовых кассет их основания нажимают на микропереключатели, установленные на плите рулонного МТЛ, при этом обесточиваются ЭД приемного и подающего узлов. Для компенсации допусков на изготовление колец МЛ один из роликов кассеты, расположенной ближе к блоку центрального узла 3, выполняют подвижным, например ролик 9. Некоторое неудобство при эксплуатации таких МТЛ создает ручная заправка МЛ.

Недостатками модернизации рулонных МТЛ с накопителями оперативной памяти в виде роликовых лабиринтов являются значительные потери на трение в роликах и сравнительно большие габаритные размеры в плане (вид сверху).

Перечисленных недостатков лишена модернизация рулонных МТЛ (рис. 3.42, а), которые работают с накопителем оперативной памяти типа не-

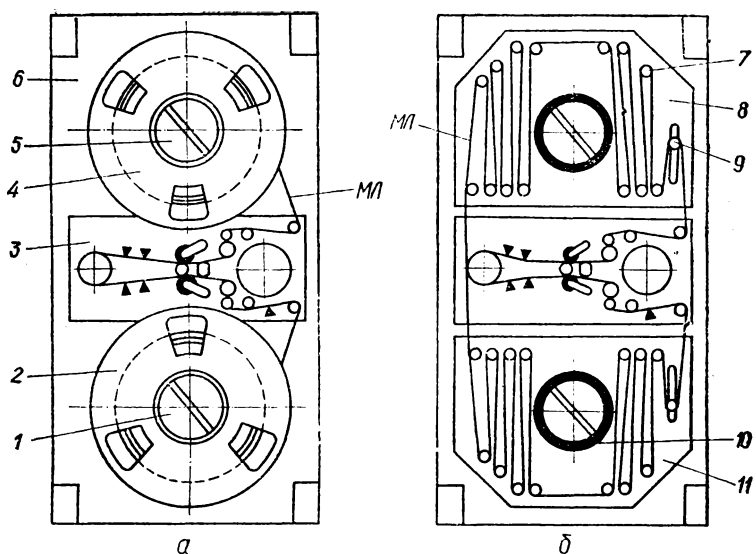


Рис. 3.41. Установка кольцевых кассет типа роликовый лабиринт:  
*а* — рулонный МТЛ с катушками; *б* — рулонный МТЛ с кольцевыми кассетами

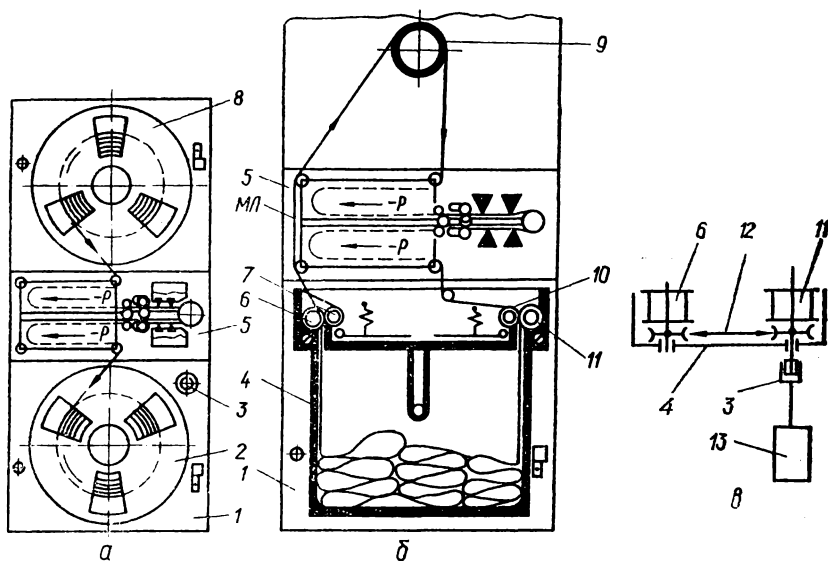


Рис. 3.42. Конструкция модернизированного МТЛ:  
*а* — с рулонными накопителями; *б* — с накопителем типа ненапряженный карман с кольцом ленты

напряженный карман (рис. 3.42, б). Конструкция распространенной модернизации рулонного МТЛ содержит несущий корпус 1 с центральным узлом 5 для транспортирования МЛ. При снятых катушках 2 и 8 на шпиндель верхнего подающего узла устанавливают обрезиненный сердечник 9, а с нижнего приемного узла снимают шпиндель с зажимом. На площадь нижней снятой катушки устанавливают кассету 4, выходной ролик 6, который соединен с входным роликом 11 ремнем 12. Диаметры шкивов этих роликов выбирают так, чтобы окружная скорость ролика 6 была на 5—8% меньше скорости ролика 11, что обеспечивает надежное натяжение МЛ после кольцевой кассеты 4. С роликами 6 и 11 контактируют прижимные ролики 7 и 10. Ролик вталкивания ленты 11 приводится во вращение отдельным ЭД 13 (рис. 3.42, в), кото-

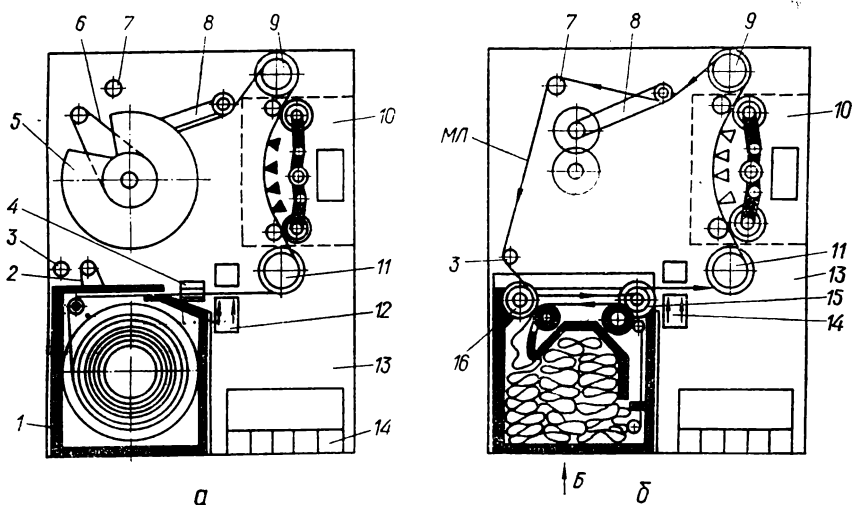


Рис. 3.43. Конструкция модернизированного МТЛ с кассетными накопителями: а — с одношпульной кассетой; б — с ненапряженным кольцевым карманом

рый располагается внутри рулонного МТЛ и сочленяется с ним через шлицевую муфту 3. Обрезиненный сердечник 9, вращаемый ЭД подающего узла, обеспечивает необходимое стабильное натяжение МЛ до верхнего вакуумного кармана (—р). Максимальная емкость этой кассеты достигает 75 м. К недостаткам такой конструкции относится необходимость разборки верхней части нижнего приемного узла и применение отдельного дополнительного ЭД для подачи МЛ в рабочую полость кассеты.

Конструкция кассетного модернизированного МТЛ АМЗ аналоговой записи (рис. 3.43) состоит из несущего корпуса 13 с рабочей зоной 10 и направляющими роликами 9 и 11, датчика натяжения ленты 8, приемной катушки 5 обводного ролика 7, направляющего ролика 3, гнезда для установки сменной кассеты 1 и пульта управления 14. Подкатушники приемного и подающего узлов имеют свои автономные ЭД с ременными устройствами 2 и 6 привода. Возле направляющего ролика 11 установлены фотодатчики 12 и механизм захвата 4 перфорированного ракорда МЛ.

В режиме долговременной памяти (рис. 3.43, а) в гнездо вставляется одношпульная рулонная кассета с перфорированным ракордом, который соединяется в механизме захвата 4 с одним концом «проводной» отрезка (перфорированной без магнитного покрытия основы). Другой конец «проводной» отрезка несколькими витками постоянно намотан на приемной катушке 5. При включении рабочего хода «проводной» отрезок, наматываясь на приемную катушку 5, вытягивает перфорированный ракорд из рулонной кассеты 1

до тех пор, пока не появится неперфорированная МЛ, опознаваемая фотодатчиком 12. МТЛ при этом уже готов для записи-воспроизведения.

При переходе в режим оперативной памяти МЛ полностью перематывается обратно на катушку подающего рулона в кассету 1. Механизм захвата отсоединяет «проводной» отрезок от ракорда кассеты 1. Отрезок наматывается на катушку 5 и вместе с ней снимается с аппарата. Вместо одношпульной кассеты в гнездо вставляется по стрелке Б кассета с петлями ненапряженной МЛ (рис. 3.43, б) длиной до 25 м. Прямолинейный участок МЛ между ведущими роликками 16 и 15 вручную вытягивается из кассеты 1 и заправляется в рабочую зону МТЛ, как обозначено стрелками. Ролики 16 и 15 соединены ремнем, но только здесь вращаемый вытягиваемой лентой ролик 15 передает вращение ролику 16, который, имея несколько большую окружную скорость, обеспечивает надежное вталкивание МЛ в рабочую полость кассеты через входное устье. Отдельного ЭД для подачи МЛ в рабочую полость кассеты в этом МТЛ нет, что упрощает конструкцию и установку кассеты. К недостатку конструкции этого совмещенного МТЛ относится ручная заправка МЛ кассеты в рабочую зону.

Для увеличения времени ЗВ в любительских и профессиональных магнитофонах при модернизации используют приставки, представляющие собой панель с катушками диаметра в полтора-два раза большего, чем диаметры катушки основного МТЛ. Катушки могут вращаться от своих автономных или от ЭД основного МТЛ через различные ременные передачи. Приставки обычно легко сочлениаются механически и электрически с основным магнитофоном. Магнитная лента может транспортироваться через основную рабочую зону или дополнительную, постоянно размещенную на МТЛ основного магнитофона. В последнем варианте приставка превращает магнитофон в двухпрограммный аппарат с МТЛ, который выполняет функции записи и перезаписи с одной МЛ на другую.

Одна из приставок к современному репортерскому профессиональному малогабаритному магнитофону (рис. 3.44, а) содержит жесткую раму 5, охватывающую с трех сторон несущую плиту 4 основного магнитофона. На кронштейнах по углам рамы размещены подшипниковые узлы с катушками большего диаметра  $D_2 = 2D_1$ , где  $D_1$  — диаметр катушек основного магнитофона. Сверху больших катушек установлены шкивы 6 и 12, соединенные круглыми резиновыми ремнями 8 и 10 со шкивами шпинделей  $d_1$  основного МТЛ ( $d_2 = 2d_1$ ). Ниже на оси каждого шкива  $d_1$ , на уровне тракта МЛ, размещен на шарикоподшипниках свободно вращающийся ролик Р с буртиками, выполняющий функции направления МЛ на катушки 7 и 11. Лента транспортируется ведущими валами 2 и 14, прижимается к ним обрезиненными роликками 1 и 16. Направляющие ролики 15 и 3 основного МТЛ обеспечивают точное положение МЛ в тракте МГ 9. Одинаковые соотношения диаметров приводных шкивов и диаметров большой и основной катушек с МЛ, например в данном МТЛ, равные 2, обеспечивают те же натяжения ее, что и на основном магнитофоне с катушками меньшего диаметра. При ускоренных перемотках в тракте возможно при остановке движения МЛ образование петель вследствие значительных моментов инерции больших катушек, что является недостатком этой модернизации и конструкции приставки. Приставка описанной конструкции применена в профессиональном магнитофоне SP-7 фирмы Stellavox [35].

Для любого МТЛ видео- или звукового магнитофона можно использовать приставку (рис. 3.44, б), содержащую несущую панель 4, отличающуюся от предыдущей тем, что в ней выполнена дополнительная плоская поверхность П, которая ложится сверху на панель 2 основного МТЛ. На этой дополнительной поверхности размещены соединенные со шпинделями подающего и приемных узлов шкивы 5 и 13. Возле шкивов установлены поворотные рычаги 8 и 10, на концах которых установлены обводные ролики и натянуты плоские ремни 7 и 11 с внутренним фиксирующим трапецевидным буртиком. Свободные концы рычагов стянуты пружиной 1, которая создает необходимое прижимное усилие ремней к наружной поверхности рулонов 6 и 12 с МЛ. Ширина ремней несколько меньше ширины МЛ, поэтому они свободно проходят между щеками катушек и контактируют с рулоном. Выше уровня



катушек на шкивах 5 и 13 выполнена проточка, а на осях поворотных рычагов установлены жестко с ними соединенные шкивы 9 с аналогичной проточкой. Шкивы шпинделей и рычагов соединены перекрестной передачей в виде ремней 3 и передают вращение плоскими ремнями 7 и 11. Приставка обеспечивает

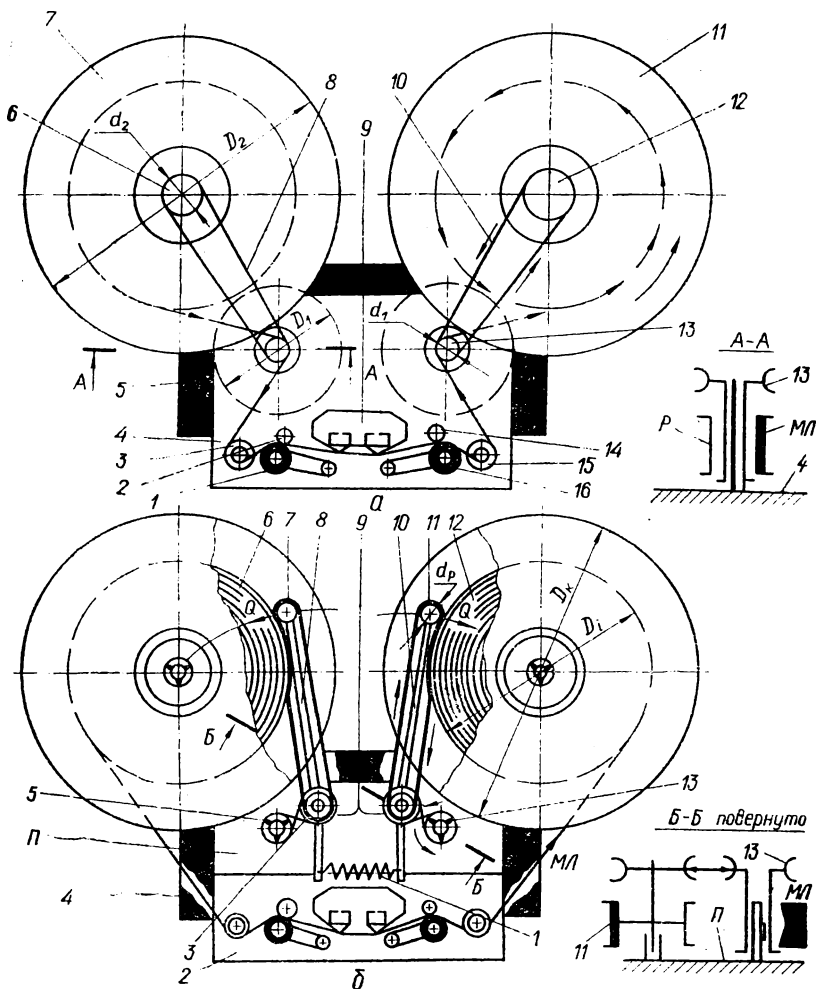


Рис. 3.44. Конструкция приставки:

а — к магнитофону SP-7; б — с приводом больших катушек за наружную поверхность рулонов ленты

высокое качество намотки МЛ в рулоны, постоянство натяжения ее в обеих ветвях без применения следящих систем и обеспечивает выигрыш во вращающем моменте, определяемый отношением текущего диаметра намотки большой катушки к диаметру приводного ролика  $D_1/d_p$ .

В радиолюбительской практике часто возникает необходимость перезаписи интересных музыкальных программ при отсутствии второго магнитофона,

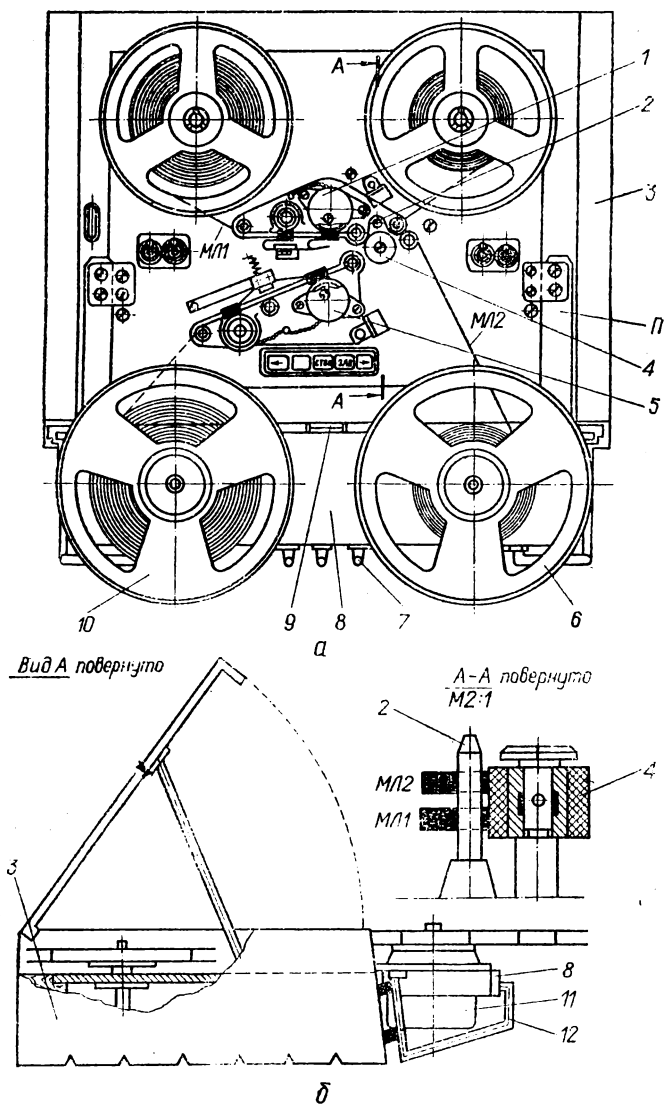


Рис. 3.45. Конструкция приставки для перезаписи на базе магнитофона «Днепр-10»

В этом случае можно изготовить простейшую приставку к любому промышленному магнитофону (рис. 3.45, *a* — вид сверху и 3.45, *б* — вид сбоку с открытой крышкой). Приставка состоит из несущей панели 8, на которой установлены подающая 10 и приемная 6 катушки с МЛ 2. Катушки имеют свои ЭД 11 и тормозные системы. Приставка через кронштейны 12 опирается на корпус основного магнитофона 3, например «Днепр-10», и с помощью плос-

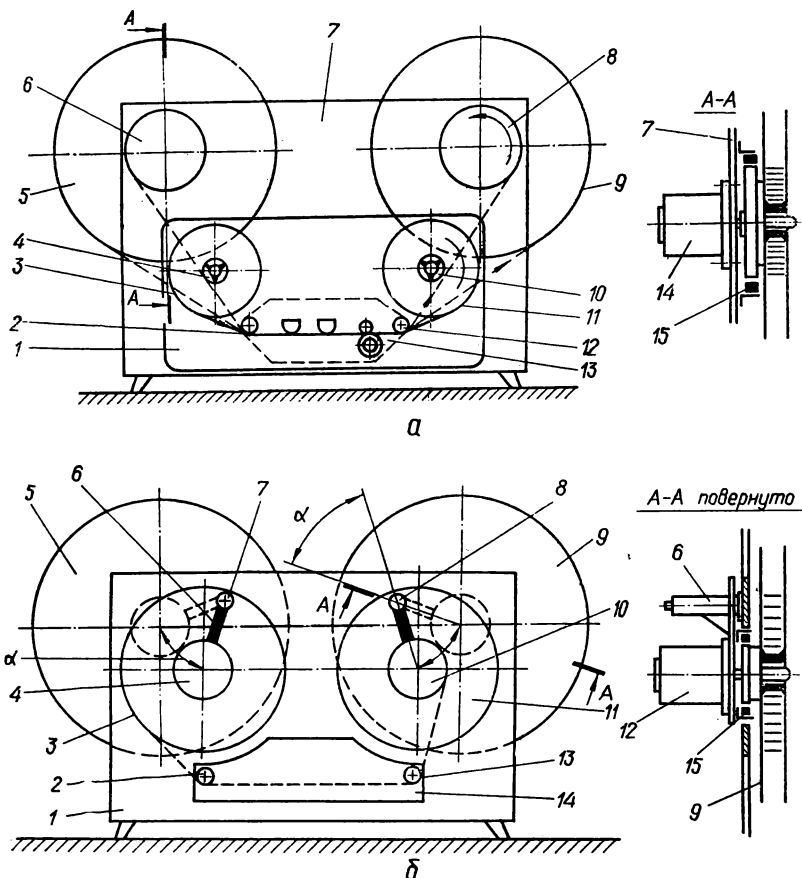


Рис. 3.46. Конструкция приставки с автономным приводом больших катушек (*a*) и МТЛ с широким диапазоном диаметров катушек (*б*)

ких пластин *П* механически сочленяется с основным магнитофоном. Электрическое соединение ЭД и электромагнитов приставки с основным магнитофоном производится через разъем 9. Режимы приставки включаются тумблерами 7. На панели магнитофона постоянно установлен дополнительный блок МГ 5 с направляющими стойками. Лента приставки МЛ 2 расположена выше МЛ 1 магнитофона и транспортируется теми же ведущим валом 2 и прижимным роликом 4. Каждая магнитная лента взаимодействует со своим блоком МГ 1 и 5. Универсальный УНЧ основного магнитофона коммутируется переключателем своей записывающей частью схемы на выполнение режима записи, другой воспроизводящей частью схемы — на режим воспроизведения.

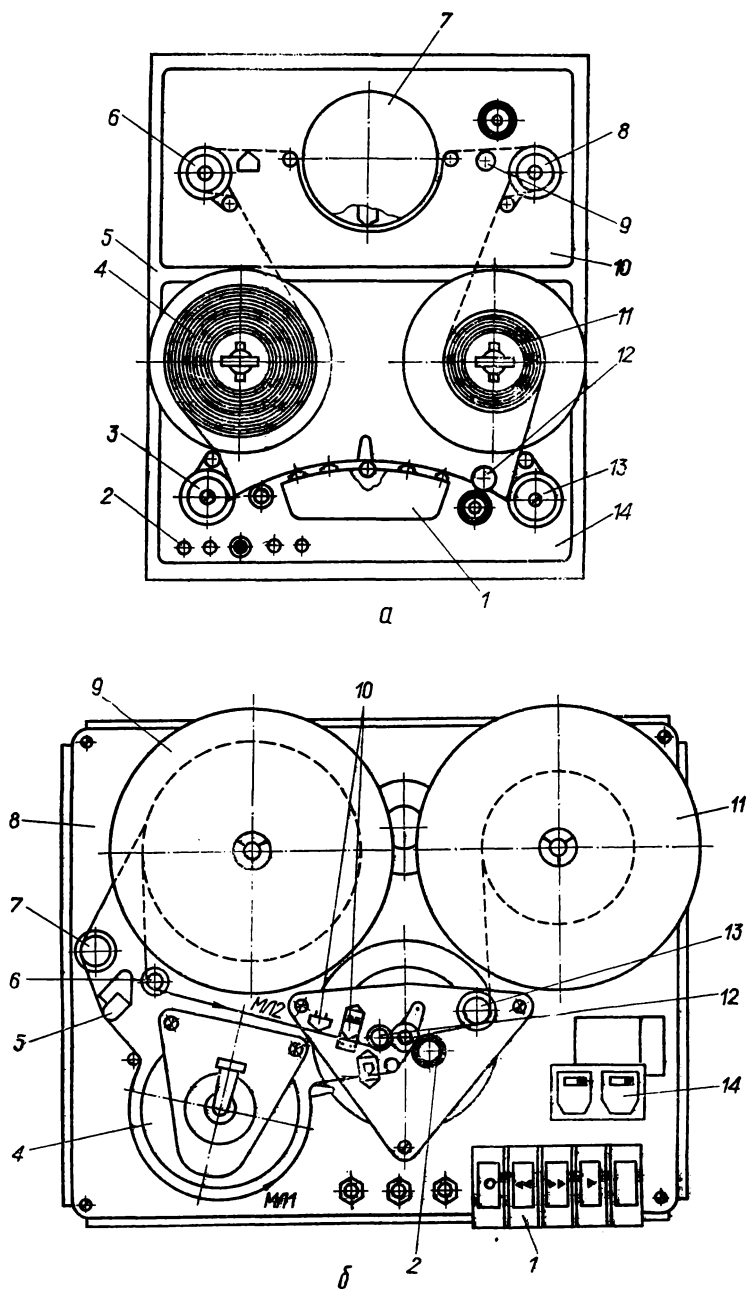


Рис. 3.47. Конструкция совмещенного МТЛ:  
 а — с двумя рабочими зонами; б — модернизированного видео и звукового магнитофонов на базе ВМФ модели LDL - 1000

При записи программ на длительное время звучания целесообразно применять приставки для магнитофонов с использованием накопителей с большим объемом МЛ. Приставки можно устанавливать на различные типы магнитофонов, например «Маяк-203», «Юпитер-201», «Комета-101» и т. д. Приставка (рис. 3.46, а) состоит из панели 7, на которой установлены большие подающие 5 и приемная 9 катушки с МЛ вместо катушек 3 и 11, снятых с подкатушников 4 и 10 промышленного магнитофона. Каждая катушка закрепляется на своем подающем 6 и приемном 8 узлах, содержащих приводной ЭД 14 и тормозную систему 15. Приставка устанавливается на корпус 1 магнитофона так, что тракт МЛ проходит мимо подкатушников 4 и 10, через направляющие ролики 2 и 12 и блок магнитных головок 13. В этой конструкции приставки не используется привод подкатушников 4 и 10 основного магнитофона, так как в приставке есть автономный привод накопителей.

Оригинальная и простая модернизация промышленного магнитофона, на которой обеспечивается установка катушек с различным объемом МЛ. В корпусе магнитофона 1 на поворотных кронштейнах 6 установлены приемный 10 и подающий 4 узлы со своими ЭД 12 и тормозной системой 15. На них закрепляются катушки любого диаметра от минимального 3 и 11 до максимального диаметра 5 и 9. В зависимости от диаметра катушек поворотные кронштейны 6 могут перемещаться вокруг своих осей 7 и 8 на угол  $\alpha$ . Магнитная лента транспортируется ведущим валом с катушки 5 подающего узла 4 по направляющему ролику 2, блоку МГ 14, направляющему ролику 13 и наматывается на приемную катушку 9 узла 10 (рис. 3.46, б).

Конструкция модернизированного совмещенного МТЛ с двумя рабочими зонами содержит две несущие плиты 10 и 14, которые установлены на сварной общей раме 5 (рис. 3.47, а) с пультом управления 2. Магнитная лента с рулонов может попеременно заправляться в рабочие зоны с блоком неподвижных МГ 1 или вращающимся барабаном 7 анализатора (или БВГ) и транспортироваться поочередно ведущими валами 12 или 9 соответственно. В верхнем тракте МЛ направляется роликами 6 и 8, а в нижнем 3 и 13. Общими для обеих рабочих зон являются приемный 11 и подающий 4 узлы накопителей МЛ.

Оригинальная модернизация МТЛ (рис. 3.47, б) выполнена на базе видеомагнитофона LDL-1000 фирмы Philips. На этот МТЛ, содержащий несущую панель 8, пульт управления 1, стирающую головку 5, индикаторы уровня записи-воспроизведения 14, БВГ 4, подающий 9 и приемный 11 узлы, направляющие ролики 7 и 13, ведущий вал 3 и прижимной ролик 2, установлены дополнительные направляющие элементы 6 и 12 и блок магнитных звукозаписывающих головок 10. Ведущий узел может поочередно транспортировать видеоленту МЛ1 шириной 12,7 мм и по дополнительным элементам звуковую ленту МЛ2 шириной 6,35 мм. Подобную конструкцию имеет МТЛ видеомагнитофонов X-500VT фирмы AKAI, «Юпитер-видео».

#### 4. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МТЛ СОВРЕМЕННОЙ АМЗ

Студийные магнитофоны, предназначенные для звукозаписи в радиовещательных и телевизионных студиях, различаются по кинематическим и конструктивным решениям всего тракта ленты и отдельных его узлов. Общий тракт МЛ — плоский с криволинейным трактом ленты рабочей зоны, когда контакт с магнитными головками в режимах записи-воспроизведения создается путем естественного обхвата головок натянутой лентой по центральному углу порядка 12—15°. При перемотках вперед или назад лента отводится от МГ контактными штырями, расположенными на поворотных рычагах. Некоторые МТЛ имеют при перемотке прямолинейный тракт МЛ, а в режимах записи-воспроизведения контакт с МГ создается поворотными направляющей стойкой и «антишумовым» роликом, размещенными до и после стирающей головки по ходу движения ленты (тракт Nagra). Тракт МЛ рабочей зоны обычно нереверсивный одновальный разомкнутый или значительно реже двухвальный замкнутый.

Большинство МТЛ имеют комбинированный неявно (ведущий вал и прижимной ролик обхвачены МЛ по 10—15° каждый) или резко выраженный (ве-

душий вал обхвачен на  $45^\circ$ , а прижимной ролик на  $90-100^\circ$ ) контакт ленты с ведущим валом и прижимным роликом.

Значительно реже применяется поверхностный контакт МЛ с ведущим валом (анодированным или обрешиненным) большого диаметра (60—80 мм). Угол обхвата составляет  $100-135^\circ$ . Распределение сил натяжения МЛ по ходу ее движения в режимах записи-воспроизведения до и после ведущего вала выбрано равным друг другу (уравновешенная схема нагрузки). Вследствие этого скольжение средней и колебания мгновенной скоростей ее движения незначительны по сравнению со схемами, где эти натяжения не равны друг другу. Благодаря небольшому трению между МЛ и поверхностью ведущего вала, абсолютно исключена возможность обрыва или остаточной деформации МЛ при неожиданном останове МТЛ.

При комбинированном контакте для увеличения фрикционного сцепления с лентой ведущий вал покрывается плазменным способом карбонатом вольфрама, например, в магнитофоне F-422 и F-432 фирмы Schlumberger. Коэффициент детонации в студийных магнитофонах не превышает  $\pm 0,04\%$  на скорости 38,1 см/с,  $\pm 0,05\%$  на скорости 19,05 см/с и  $\pm 0,07\%$  на скорости 9,53 см/с.

Магнитная лента в режимах записи-воспроизведения транспортируется с двумя, тремя или четырьмя линейными скоростями (9,52; 19,05; 38,1 или 76,2 см/с) ведущим валом прямого или косвенного привода. Ведущие ЭД с наружным ротором питаются от кварцевого генератора в сочетании с САР—СЛ, имеют на своем валу таходатчики индукционного или оптического типа. В некоторых МТЛ используют малоинерционный привод ведущего вала с ЭД постоянного тока с печатным якорем, оптическим высокоточным таходатчиком (число рисок до 10 тыс.) в сочетании с САР—СЛ, например, магнитофон АTR-100 фирмы AMPEX.

Все студийные магнитофоны имеют литые из алюминиевого сплава несущие плиты, по контуру которых и нескольким направлениям выполнены высокие ребра жесткости, что способствует стабильности точного взаиморасположения всех элементов тракта ленты. Привод рулонов с лентой — активный и прямой от ЭД переменного (ШТМ-600) или постоянного тока с печатным якорем (АTR-100). Большинство магнитофонов использует МЛ шириной 6,35 мм, хотя в последних моделях все чаще используется лента шириной 12,7; 25,4 и 50,8 мм с числом дорожек: 1 (2); 4, 8 и 16 (24 или 32) соответственно. Для рулонов ленты шириной 6,35 мм обычно применяются сердечники и под ними опорные алюминиевые щеки, а для более широких лент стандартные катушки типа 1 и 2 вплоть до № 35 (до 2200 м ленты). При использовании сердечников и опорных щек длина МЛ не превышает 1000 м.

Узкоспециализированные студийные магнитофоны выпускаются только на одну ширину МЛ (6,35 мм), а базовые унифицированные — на ширину от 6,35 до 50,8 мм с применением сменных направляющих элементов тракта ленты, блоков МГ и др.

Натяжение МЛ поддерживается постоянным во всех режимах работы (для ширины 6,35 мм  $= 1 \pm 0,05$  Н) высокочувствительной САР—Н, динамическая нагрузка на ленту не превышает 3 Н. Слежение за натяжением МЛ в большинстве студийных магнитофонов выполняется чувствительным штырем, установленным на поворотном рычаге, ось которого соединена с датчиком угла поворота (потенциометр, селсин и др.). В последних моделях, например А80 фирмы Studer (Швейцария), применены уравновешенные на одинаковом расстоянии относительно центральной оси на одной линии обводные ролики, установленные на круглой поворотной платформе. Лента, обхватывая ролики, образует S-петлю, где на ролики действует пара сил и вызывает поворотный момент. Это увеличивает чувствительность САР—Н, приведенную к ленте, не меньше, чем в два раза, и повышает точность стабилизации натяжения МЛ. Кроме того, такая система не боится вибрационных и крутильных нагрузок, так как на ролики от этих нагрузок действуют равные по величине, но противоположные по знаку силы, уничтожающие друг друга. В кинематографии эту систему называют «рычажные весы». Конструктивное исполнение МТЛ студийных магнитофонов относят к функционально-блочному.

В последнее время намечается тенденция к использованию в радиовещании магнитофонов с кассетным исполнением ленточных накопителей. Фирма Studer разработала студийный кассетный магнитофон с кассетой Unisette, предназначенный для работы в автоматизированном комплексе. МТЛ имеет трехмоторную кинематическую схему, ведущий двигатель синхронный, стабилизирован по питанию от кварцевого генератора. Двигатели рулонных накопителей переменного тока и имеют электронную САР—Н. Все элементы, направляющие движение и формирующие рабочую зону ленты, находятся в МТЛ. Точность установки кассеты на рабочее место определяется с помощью оптоэлектронных устройств.

Некоторые японские фирмы считают, что компакт-кассета не обеспечивает необходимого качества звучания из-за недостаточно хорошего контакта ленты — головка и др. В связи с этим фирмы Sony, Matsushita и TEAC совместно разработали новую кассету на ленту шириной 6,35 мм — Elcaset (удлиненная кассета), прототипом которой была кассета Unisette фирмы BASF. Скорость движения МЛ для новой кассеты 9,52 см/с. Для заправки в тракт рабочей зоны МТЛ лента вытягивается из кассеты. Размер кассеты 152 × 106 × 18 мм. При использовании этой кассеты фирмы гарантируют качество на МЛ из двуокиси хрома, соответствующее катушечным студийным магнитофонам на скорости 38,1 см/с. Для этих кассет фирма Sony разработала два полупрофессиональных магнитофона EL-5 и EL-7 с трехмоторной кинематической схемой, гарантирующей КД не более 0,06% (EL-5) и 0,04% (EL-7). Ожидается, что к 1980 г. будет выпущено 100 000 магнитофонов, работающих на Elcaset.

**Репортерские магнитофоны** применяются для записи звука, музыки на патуре (природе), в подвижных объектах (автомобилях, самолетах, кораблях, вертолетах и др.) и там, где приходится брать интервью звукорепортеру или журналисту, должны обеспечивать высокое качество записи, которую потом можно в радиовещательной студии высококачественно воспроизводить на этом же или студийном магнитофоне и передавать в эфир. Основные требования, предъявляемые к репортерским магнитофонам:

высокое качество записи, что обеспечивается высокопрецизионным МТЛ (кинематической схемой и изготовлением деталей), где КД должен быть не более  $\pm 0,06\%$  на скорости ленты 38,1 см/с,  $\pm 0,1\%$  на скорости 19,05 см/с и  $\pm 0,2\%$  на скорости 9,53 см/с;

широкий частотный диапазон (25—25 000 Гц  $\pm 2$  дБ, 30 — 18 000 Гц  $\pm 2$  дБ, 60—1600 Гц  $\pm 2$  дБ на указанных скоростях движения МЛ);

значительный перепад рабочих температур (от  $-30$  до  $+70^\circ$  С), ускорений, вибраций и тряски (до 6 g);

минимальные габаритные размеры и масса;

значительное время записи (от 1 до 48 ч);

минимальное энергопотребление (ток при записи 90—110 мА и напряжении питания 15—25 В от алюминий-кадмиевых аккумуляторов, которые обеспечивают работу до 12 ч);

запись синхросигнала для временного кода.

Отечественная промышленность (НПО «Экран») выпускает репортерские магнитофоны «Репортер-5», «Ритм-2», «Ритм-320», в которых используется МЛ шириной 6,35 мм. Ведущие зарубежные фирмы: Kudelski (магнитофоны серии Nagra), Stellovox (магнитофоны серии SM-7, SP7 (8), SQ), Perfectone (все находятся в Швейцарии) аналогично используют МЛ шириной 6,35 мм (Nagra E, Nagra 4.2, SP7, SP8, SQ7), а также МЛ шириной 3,81 мм (Nagra IS-N, Nagra RS) толщиной 18; 12 и 9 мкм. В репортерских магнитофонах имеются все режимы работы МТЛ, время перемоток МЛ составляет не более 2 мин; ведущие узлы прямого (SP8) или косвенного (Nagra) приводов.

Для МТЛ репортерских магнитофонов характерно применение общего плоского (Nagra E, SQ7) или пространственного с соосными катушками (Nagra RS) тракта МЛ, криволинейного тракта ленты в рабочей зоне с применением «антишумового» ролика, одного (Nagra E) или двух (Nagra RS и SQ7) ведущих валов с комбинированным или поверхностным (Nagra RS) контактом МЛ — ведущий вал — прижимной ролик, применение трехмоторных кинематиче-

ских схем (ведущий ЭД имеет тахометрическую стабилизацию САР—СЛ и стабилизацию натяжения МЛ САР—Н).

**Магнитофоны кинематографии** применяются для записи-перезаписи звука, музыки и различных звуковых эффектов в киностудиях в процессе производства кинофильмов. Отличительной особенностью является применение перфорированных МЛ шириной 16 и 35 мм, для которых чаще всего применяется зубчато-перфорационный способ транспортирования с помощью зубчатого барабана, взаимодействующего с перфорациями ленты. Применяется этот способ только в сочетании с механическими инерционными фильтрами (трехзвенными, блок-стабилизатором Девиса, проф. А. М. Мелик-Степаняна). Большинство выпускаемых магнитофонов имеет криволинейный сложный тракт МЛ.

В последних разработках этих магнитофонов наметилась тенденция к применению прямолинейного тракта МЛ с отключением инерционных масс вращающихся маховиков (механических фильтров) при перемотках МЛ, что резко увеличивает срок службы перфораций и всей ленты. Фирма Sondor для магнитофонов кинематографии выполнила привод зубчатого барабана в сочетании с гладким ведущим валом, что упростило тракт движения ленты. Для этого в обычном криволинейном тракте по ходу движения ленты после гладкого ведущего вала и прижимного ролика, обеспечивающих высокую равномерность мгновенной скорости носителя, установлены подпружиненный с демпфером ролик и зубчатый барабан, обеспечивающие высокую точность средней скорости перфорированной ленты. Зубчатый барабан установлен на валу шагового двигателя. Магнитофон M03 Iibra фирмы Sondor (Швейцария) — полностью скомпонованный студийный аппарат записи, выполняющий самые современные технологические операции: запись с пилот-тоном и кодом, запись с наложением, запись в программированном режиме.

В последнее время появились студийные магнитофоны, где магнитная перфолента транспортируется обычным для неперфорированной МЛ фрикционным способом с помощью гладкого ведущего вала и прижимного обрезиненного ролика. Точная скорость движения МЛ поддерживается оптическим датчиком и сервоприводом САР—СЛ. Датчик считывает непосредственно число проходимых перфорационных отверстий, исключая различные скольжения в узле транспортирования МЛ. На входе в рабочую зону установлен инерционный ролик с подпружиненным осязателем САР—Н. Это техническое решение предложила фирма Schlumberger в магнитофоне DS-16.

**Профессиональные видеомагнитофоны** предназначены для записи-воспроизведения в студийных условиях или только для видеозаписи (в репортажном исполнении) телевизионных, зрелищных программ, кинофильмов, учебных процессов и др. Ранее в основном применялись ВМ ПСЗ с четырьмя вращающимися головками и относительной скоростью 40 м/с на видеоленту шириной 50,8 мм, обеспечивая высокое качество записи-воспроизведения, абсолютную взаимозаменяемость записей. Имеют значительные габаритные размеры, массу, пониженную плотность записи и высокую стоимость. В студийных ВМ ПСЗ третьего поколения широко применяются пневмосистемы с избыточным и разряженным давлением воздуха: вакуумные ведущие валы, вакуумные карманы, газовые опоры двигателя БВГ, направляющих стоек, например «Кадр-5» (ВНИИТР), AVR-1 (AMPEX) и VCM-40E (Bosch Fernseh).

Намечается тенденция перевода всего парка профессиональных ВМ (студийных и репортажных) на НСЗ на ленте шириной 25,4 мм. При этом конкурируют два формата (сигналограммы) записи: В и С. Первый основан на шести-сегментной двухголовочной видеозаписи с относительной скоростью 24 м/с при длине строки 80 мм, что обеспечивает абсолютную взаимозаменяемость записей, даже при работе ВМ в неблагоприятных климатических условиях и на объектах с повышенными механическими перегрузками. К некоторым недостаткам относится невозможность осуществления «стоп-кадра», который может быть выполнен на дисковых устройствах или твердотельной памяти. Небольшой момент инерции БВГ (диаметр барабана 50,3 мм) и простота конструкции делают формат В перспективным для профессиональных ВМ. Формат С основан на полутораголовочной видеозаписи одного полукадра



со скоростью 25,7 м/с при длине строчки 45 см, что позволяет на этом же ВМ высококачественно выполнять «стоп-кадр». Вследствие большой длины строки видеозаписи необходимо применять сложную электромеханическую систему «автотрекинг», которая корректирует траекторию ВГ при воспроизведении относительно строчки видеозаписи, вносит большой момент инерции, имеет повышенные габаритные размеры, массу, сложный тракт движения МЛ.

Многоканальные регистраторы аналоговой информации используются для записи-воспроизведения широкополосной информации (50 Гц—2 МГц) в нормальных условиях и на подвижных объектах. Для них характерно применение МЛ шириной 12,7 и 25,4 мм и длиной до 2200 м, плоские и пространственные тракты МЛ с соосным размещением катушек с лентой. Для стационарной крупногабаритной АМЗ применяют вакуумные карманы, устанавливаемые между рабочей зоной и рулонными накопителями, ведущие валы большого (80 мм) и небольшого (10—15 мм) диаметров. Часто применяют для стационарных и малогабаритных бортовых регистраторов комбинированный и поверхностный контакт ленты с ведущими валами, замкнутую рабочую зону с двумя ведущими валами, уравновешенную систему натяжных роликов САР—Н («рычажные весы»), например фирмы Bell Howell, Schlumberger.

Перспективно решение МТЛ регистратора МТ-5530, где для нормальной работы с закрытой крышкой применяются катушки типа 2 № 27. При снятии крышки, переносе легкосъемных зажимов катушек на дополнительные вращающиеся валы от этих же ЭД межцентровое расстояние увеличивается, что позволяет устанавливать и работать с большими катушками № 35. Крышка при этом уже не устанавливается.

Почти все современные МТЛ многоканальных регистраторов с рулонными накопителями имеют дополнительные кольцевые кассеты, которые можно устанавливать на места снятых катушек и работать с кольцом ленты длиной от 4 до 75 м. Отдельных кольцевых МТЛ обычно не выпускают, что резко снижает материальные затраты на АМЗ, увеличивает идентичность параметров работы рулонных и кольцевых накопителей. Намечается тенденция применения малоинерционных приводов ведущих валов и рулонных накопителей в сочетании с САР—СЛ и САР—Н во всех режимах работы МТЛ. В бортовых регистраторах часто применяют двухвальный косвенный привод ленты при замкнутой рабочей зоне с компенсацией кинетического момента, что делает скорость движения МЛ невосприимчивой к тряскам, ускорениям и крутильным колебаниям. Это достигается применением разнонаправленного вращения маховиков ведущих валов или однонаправленного вращения последних в сочетании с противоположно направленным вращением вала ведущего ЭД.

В бортовых МТЛ многоканальных регистраторов иногда используются плоские кассеты с усовершенствованным приводом рулонных накопителей посредством плоского изоэластичного ремня (привод «Изоэластик»), натянутого на наружную поверхность обоих рулонов и приводной или свободной ролик. Только специальный состав материала приводного ремня и технология его изготовления позволили фирмам 3М (США) и Schlumberger реализовать подобное упругое замыкание рулонных накопителей.

Бытовые магнитофоны и видеоманитофоны. В катушечных бытовых магнитофонах начали преимущественно применять МТЛ, выполненные по трехмоторной кинематической схеме. При этом привод ведущего вала и катушек с МЛ выполняется как прямым, если применяются ЭД переменного тока (AKAI, Studer), так и косвенным, если применяются ЭД постоянного тока (Philips), чаще всего бесколлекторные. Наряду с преимущественным использованием в МТЛ катушек № 18, некоторые японские фирмы (AKAI, TEAC) применяют супер-катушки № 25, а также реверсивное движение МЛ. В магнитофонах первого и высшего классов применяют САР—СЛ и САР—Н, три ферритовых МГ с прямолинейным и криволинейным трактом МЛ в рабочей зоне. Применяют комбинированный контакт МЛ с ведущим валом и прижимным роликом. Диаметр ведущего вала составляет от 6 до 8 мм при механическом переключении скоростей движения ленты (косвенный привод вала).

Для кассетных бытовых магнитофонов, использующих компакт-кассеты (МК), все шире изготавливают несущую плиту из пластмассы, а все остальные детали, плату блока МГ — путем точного литья вместо штамповки, т. е. по японской технологии. Это обеспечивает увеличение жесткости и технологичности МТЛ, улучшает параметры магнитофона. Делают первые шаги к широкому использованию МТЛ с удлиненной кассетой типа Elcaset. Стереомангнитофоны EL-7 фирмы Sony с этой кассетой выполнены по трехмоторной кинематической схеме с двумя ведущими валами. На ленте шириной 6,35 мм записывается 4 дорожки на скорости 9,52 см/с с частотным диапазоном 20—25 000 Гц, КД = 0,12%. Качество записи-воспроизведения превышает достижимое для компакт-кассет.

Наметилась тенденция применять в бытовых ВМ копланарные кассеты Betamax фирмы Sony и VHS фирмы Hitachi на видеоленте шириной 12,7 мм с использованием НСЗ без промежутков между наклонными видеодорожками, причем проникание с соседних видеодорожек подавляется за счет взаимного наклона рабочих зазоров (от  $\pm 6$  до  $\pm 15^\circ$ ) обеих видео головок и переключения от строчки к строчке фазы цветовой поднесущей при записи. Время записи 3 ч: при скорости МЛ 2,33 см/с и видеозаписи 4,84 м/с (кассета VHS) и скорости ленты 1,87 см/с и видеозаписи 5,83 м/с (кассета Betamax). Применяемая ранее копланарная кассета U-matic с шириной МЛ 19,05 мм используется сейчас больше для полупрофессиональных и профессиональных целей, сimotoльных ВМ (фирма TEAC), спортивных состязаний.

В 1980 г. появилась новая оригинальная система бытовых ВМ — Video-2000, разработанная совместно фирмами Philips и Grundig. Применена плоская кассета с видеолентой шириной 12,7 мм. Запись выполняется наклонно-строчным способом на поле видеозаписи шириной 4,85 мм. По окончании записи кассета переворачивается, и запись производится на второй половине МЛ. По краям МЛ расположены дорожки звукозаписи, а посередине — две дорожки канала управления. Общее время проигрывания на обеих половинах видеоленты около 8 ч.

Готовятся к выпуску ВМ с системой LVR, где используется продольно-строчный способ записи на МЛ шириной 8 мм и толщиной 8,5 мкм. Записывается последовательно на 72 строчках шириной 68 мкм при промежутке между ними 28 мкм, причем в конце каждой строчки происходит реверсирование движения МЛ и одновременное скачкообразное перемещение магнитной видео головки на начало следующей строчки. Скорость движения МЛ составляет 4 м/с и при длине ленты в рулоне 600 м время записи одной строчки равно 150 с. Автоматическое реверсирование выполняется за 100 мс, момент реверсирования строго синхронизируется гасящим импульсом и поэтому почти незаметен на изображении. Рулоны МЛ прижимаются непосредственно к ведущему валу большого диаметра, а свободный участок между ними контактирует с неподвижной видео головкой.

Вычислительная техника. Развитие МТЛ АЦМЗ идет двумя путями: совершенствуется классический для ЦМЗ продольный способ записи (МЛ 12,7 и 25,4 мм) и осваиваются классические для ВМ способы ПСЗ и НСЗ (МЛ 50,8 и 25,4 мм). При продольной записи применяются МТЛ с одновальной разомкнутой рабочей зоной, где изменение направления движения МЛ выполняется реверсированием вращения ведущего вала при поверхностном контакте его с МЛ (TD 1000 фирмы TANDBERG и др.). Применяются также МТЛ с двухвальной разомкнутой рабочей зоной, где изменение направления движения МЛ со скоростью 2,54 м/с выполняется линейным прижимом МЛ к одному или другому постоянно вращающимся в разные стороны ведущим валам (ZMB 51, ZMB 101 фирмы Karl Zeis Iena и др.). Между рабочей зоной и рулонными накопителями МЛ для стационарной АЦМЗ размещают преимущественно вакуумные промежуточные карманы, а для бортовой — рычажно-роликовые лабиринты.

Применяя способ ПСЗ на МЛ шириной 50,8 мм, записывают поперек движения МЛ восьмью вращающимися МГ одновременно по две дорожки (строчки) одной информации при скорости 40 м/с (FR-850-950 фирмы AMPEX). В последней разработке этой фирмы — системе ТВМ, восьмью вращающимися МГ,

сдвинутыми каждая на  $45^\circ$ , записываются одновременно от верхнего края до середины МЛ одной и от середины до базового края МЛ другой МГ две строчки одной информацией со скоростью 25,4 м/с. Скорость поступления данных в 10 раз быстрее, чем в самых совершенных АЦМЗ продольной записи, скорость считывания — 4,5 Мбайт/с. Один МТЛ имеет емкость  $11 \cdot 10^9$  байт.

Построен опытный образец АЦМЗ, использующий способ НСЗ при относительной скорости МЛ — вращающиеся МГ до 60 м/с, что еще больше увеличивает оперативность записи-воспроизведения вычислительной информации.

## 5. НАКОПИТЕЛИ НА МАГНИТНЫХ ДИСКАХ

Накопители на магнитных дисках (НМД) применяют для магнитных запоминающих устройств с произвольной выборкой. Основаны на взаимодействии плоской вращающейся поверхности (диска), покрытой магнитным слоем, с магнитными головками. Различают НМД по виду взаимодействия МД и МГ (контактный и бесконтактный); по способу записи (концентрические окружности и спираль); по количеству МД (монодисковые и многодисковые); по способу их крепления (стационарные и сменные МД); по типу МД (жесткие и гибкие); по кинематической схеме (перемещаемые и фиксированные МГ); по конструктивному исполнению устройства позиционирования МГ (гидравлические, пневматические и электромеханические); по условиям эксплуатации (неподвижные и подвижные объекты) [23].

При контактной записи МГ имеют практически постоянный контакт с МД, отличаются повышенными требованиями к механическим характеристикам МД и особенно их износостойчивости. При бесконтактной записи постоянная величина неконтакта между МД и МГ образуется за счет газовой смазки профилированной рабочей поверхности головки, создаваемой воздушным потоком, увлекаемым при вращении поверхностью диска. Такие МГ называют плавающими. Применяют НМД бесконтактной записи с фиксированными МГ, что вызывает повышенные требования к осевым биениям МД, и с МГ, перемещаемыми радиально к оси вращения МД. При неподвижных МГ сигнаграмма имеет вид концентрических окружностей, а при подвижных — вид архимедовой спирали. Количество МД (моно- и многодисковые) определяется объемом записываемой информации, а способ их крепления (стационарные или сменные) — эксплуатационными характеристиками.

Кинематические схемы накопителя на магнитных дисках. Основными составными частями НМД являются МД, узел шпинделя для закрепления и приведения в вращение МД, устройство позиционирования МГ и устройство подвеса МГ. Вариант НМД для записи непрерывной информации по спирали (рис. 3.48) содержит МД 15, установленные на валу 16, соединенном через эластичную муфту 2 с валом ЭД 1. Магнитные головки, установленные на подвесах 14, размещены на поворотных верхних рычагах 13 с валом 12. Нижние рычаги 10 поджаты пружинами 11 и жестко зафиксированы на валу 12. Рычаги 10 снабжены роликами 9, сопряженными с диаметрально противоположными сторонами дисковых кулачков 17. Каждый дисковый кулачок 17 сопряжен с роликами 9 двух рычагов 10 и выполнен с профильной поверхностью, у которой участок рабочего хода длиннее участка холостого хода. Зубчатый редуктор, через который дисковые кулачки 17 кинематически связаны с валом ЭД 1, состоит из зубчатого колеса 19, укрепленного на валу 16, и зубчатых колес 3, 4, 5, 6, 7, 18. Датчики 8 обеспечивают коммутацию МГ. При вращении МД один из рычагов 10, сопряженный с кулачком 17, осуществляет рабочий ход МГ, а другой — возвращает МГ в исходное состояние. Датчики 8 коммутируют МГ таким образом, что запись информации производится последовательно на всех МД. При этом на участках перекрытия МГ, связанные с разными рычагами 10, включены одновременно. Приведенная кинематическая схема НМД обеспечивает сравнительно продолжительное время непрерывной записи.

Аэродинамические характеристики накопителей на магнитных дисках. Вращение МД создает поток воздуха в тангенциальном и радиальном направлениях, который обуславливает значительное аэродинамическое сопротивление.

ние вращению МД, определяющее выбор мощности ЭД механизма, и неравномерную передачу тепла вдоль радиуса МД. Любой вид неустойчивости потока является источником колебаний МД и МГ.

При ламинарном течении момент сопротивления обеих сторон МД, находящегося в пространстве, определяется по формуле

$$2M_a = 0,616\pi r^4 (\nu\omega^3)^{0,5},$$

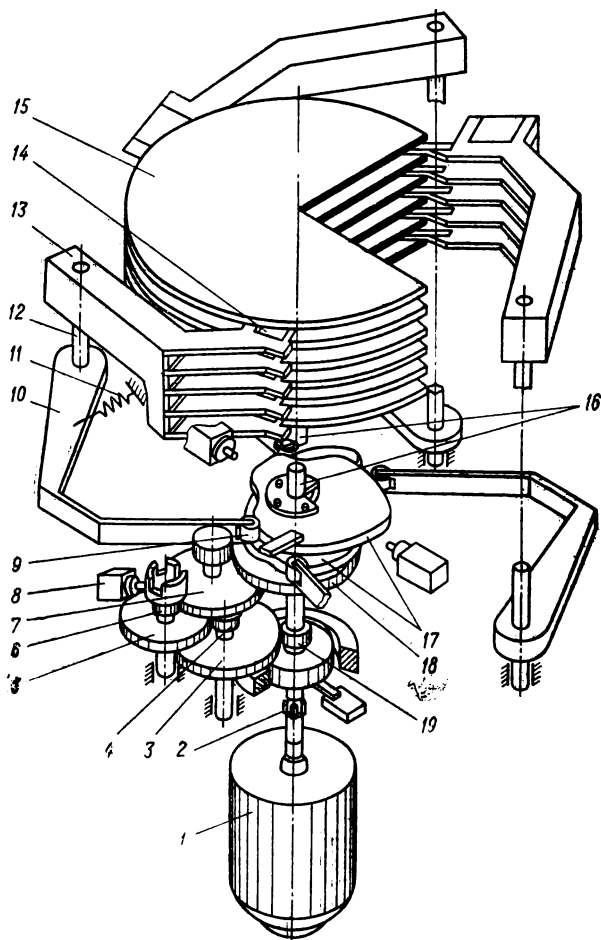


Рис. 3.48. Кинематическая схема НМД с записью по спирали

где  $\rho$  — плотность воздуха;  $r$  — радиус МД;  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости;  $\omega$  — частота вращения МД. При турбулентном течении момент сопротивления МД

$$2M_a = 0,728\rho r^5 \omega^2 [\nu/(r^2\omega)]^{0,2}.$$

Режимы ламинарного и турбулентного потоков характеризуются безразмерным числом Рейнольдса. Для единичного диска переход от ламинарного

течения к турбулентному происходит при  $Re = \omega r^2/\nu = 2,8 \cdot 10^6$ . Для потока воздуха в зазоре между дисками переход от ламинарного течения к турбулентному происходит при  $Re = \omega r s/\nu = 8 \cdot 10^6$ , где  $s$  — расстояние между дисками.

Для МД, находящегося в кожухе, оптимальная величина осевого зазора  $\delta_0$  между МД и кожухом находится в пределах 0,5—1,5 мм, при уменьшении зазора резко увеличивается аэродинамическое сопротивление. Для ламинарного потока момент сопротивления

$$2M_a = \pi \omega r^4 / \delta_0,$$

где  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости воздуха. При малых относительных толщинах МД и кожуха, когда  $Re$  достаточно велико, образуются два пограничных слоя (на МД и на кожухе), момент трения практически не

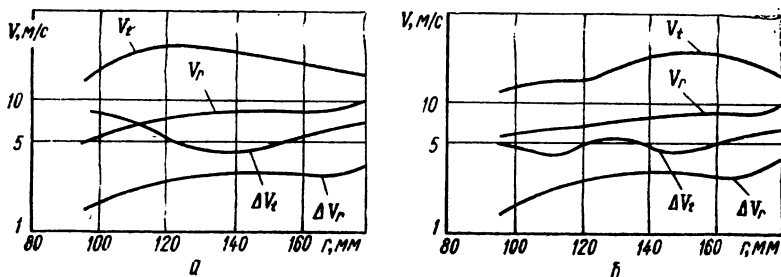


Рис. 3.49. Зависимость тангенциальной ( $V_t$ ) и радиальной ( $V_r$ ) составляющих скоростей и величин их пульсаций ( $\Delta V_t$ ,  $\Delta V_r$ ) от радиуса диска при  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$  для механизмов без осевого (а) и с осевым (б) доступом воздуха

зависит от осевого зазора между МД и кожухом. При дальнейшем увеличении осевого зазора момент трения возрастает за счет увеличения цилиндрической поверхности кожуха, приближаясь к моменту трения МД в пространстве. Аэродинамический момент сопротивления МД в кожухе с оптимальным зазором в 1,8—2,2 раза меньше, чем МД в неограниченном пространстве. При турбулентном течении аэродинамический момент сопротивления

$$2M_a = 0,0137 Re^{-0,2} [(\delta_0/r)^{-0,2} + 2,4 (H/r) (\delta_p/r)^{-0,2}] \rho \omega^2 r^5,$$

где  $H$  — толщина МД;  $\delta_p$  — радиальный зазор от края МД до кожуха.

Различают НМД с осевым и без осевого доступа воздуха в зазор между МД, которые отличаются характером потока воздуха (рис. 3.49). Для НМД с отсутствием осевого доступа воздуха с увеличением скорости вращения МД турбулентность потока в зазоре между дисками распространяется от периферии к центру. Центральная часть потока имеет характер ламинарного течения и представляет собой многогранник, вращающийся с 0,8 угловой скорости вращения диска. С увеличением  $\delta_p$  и  $s$  размер ламинарной центральной части потока уменьшается. Микрочастицы из окружающей среды увлекаются в зазор между дисками и скапливаются у центрального сердечника. Аэродинамический момент сопротивления

$$M = 2M_a (1 + 2,5l/r),$$

где  $l$  — длина образующей пакета МД.

В механизме с осевым доступом воздуха в зазор между дисками центробежные силы отбрасывают воздух на периферию МД, обуславливая течение воздуха в радиальном направлении. Расход воздуха для одной стороны МД

$$Q = 219 \pi^3 \omega Re^{-0,2}.$$

При используемых обычно скоростях осевое биение МД в механизмах с осевым доступом воздуха меньше, чем в механизмах с отсутствием доступа воздуха в осевом направлении. Для ослабления биения МД можно использовать круглый кожух. Применяя фиксированные кольцевые пластины толщиной вращающихся дисков, установленные концентрично, уменьшают биение МД примерно на  $1/3$ .

Узел шпинделя, предназначенный для установки и закрепления МД и для приведения МД во вращение, осуществляет кинематическую связь с приводом и, при необходимости, с устройством позиционирования МГ. Узел шпинделя для шестидискового пакета магнитных дисков (ПМД), соответствующего стандарту ИСО 2864—74, и совместной работы с устройством позиционирования МГ, осуществляющим равномерное перемещение головок в направлении радиуса МД (рис. 3.50), включает полый вал 8 с конусом 2, вращающийся в подшипниковом пакете, состоящем из двух прецизионных радиально-упорных шарикоподшипников 4, люфтовывирающих прокладок между их наружными обоймами, распорной втулки 7, радиального подшипника 9, колец 10 и пружинных тарельчатых шайб 11 между наружной и внутренней его обоймами. Пакет установлен в несущий корпус 23 и закреплен с обеих сторон крышками 3 и 12. Посадки в сопряжении вал 8 и радиально-упорные подшипники 4 обеспечивают зазор 0,001—0,004 мм по наименьшему диаметру внутреннего кольца, а в сопряжении вал 8 и радиальный подшипник 9 — зазор 0,001—0,005 мм. Посадки в сопряжении корпус 23 — радиально-упорные подшипники 4 и радиальный подшипник 9 обеспечивают зазор 0,002—0,008 мм по наибольшему диаметру наружного кольца шарикоподшипников.

Тщательный селективный подбор подшипников и изготовление вала 8 и корпуса 23 в соответствии с действительными размерами подшипников обеспечивают радиальное биение конуса 2 не более 0,002 мм. Верхняя опора из двоясных радиально-упорных подшипников 4, жестко защемленных между корпусом 23 и крышкой 3, образует безлюфтовое устройство для широкого диапазона температур. Изменение линейных размеров подшипникового пакета компенсируется перемещением радиального подшипника 9 и пружинных шайб 11 под ним. Хомут 13 обеспечивает оптимальный предварительный осевой натяг ( $50 \pm 10$ )Н в радиально-упорных подшипниках 4.

В радиальном подшипнике 9 тарельчатые пружинные шайбы 11 создают предварительный осевой натяг ( $40 \pm 10$ )Н, регулируемый прокладками под наружное кольцо шарикоподшипника. Внутри полого вала 8 расположен вал 22, предназначенный для закрепления ПМД на конусе 2. С одной стороны вал 22 имеет хвостовик 25 и жестко соединен со втулкой 1, а с другой — на валу нарезана резьба для установки шайбы 14. Вдоль образующей вала 22 выполнен шпоночный паз 6, ограничивающий совместно со шпонкой 5 поворот вала 22 и допускающий свободное его перемещение в осевом направлении. Осевое перемещение вала 22 ограничено двумя пружинами 16 и 24. Пружина 24 предназначена для уменьшения износа резьбового соединения втулки 1 и замка ПМД при установке его на конус 2. Пружина 16, имеющая жесткость 300 Н/мм, служит для создания натяга в осевом направлении между ПМД и валом 8, который создается при вкручивании замка ПМД во втулку 1 и перемещении вала 22 вверх. При перемещении вала 22 хвостовик 25 входит в отверстие замка ПМД и разжимает фиксирующие шарики, удерживающие верхнюю крышку контейнера ПМД. На нижнем конце вала 8 хомутом закреплена полумуфта 15 для соединения вала с приводом. На валу закреплена также обойма 17 с постоянными магнитами, служащими датчиками положения вала. Кулачки 20 устройства позиционирования МГ установлены на шарикоподшипниках 21. Бесконтактный токосъемник 18 предназначен для передачи сигнала с вращающейся МГ 19.

Конструкция взаимозаменяемых пакетов магнитных дисков. *Однодисковый ПМД* с установкой сверху должен соответствовать стандарту ИСО 3562—76. Для предохранения от механических повреждений и от загрязнения при транспортировании и хранении однодисковый ПМД (рис. 3.51,а) снабжен съемной крышкой 8, которая в нерабочем положении находится внизу. При

закреплении ПМД на шпинделе механизма крышка 8 устанавливается на ободе верхней крышки 1. Диск 3 толщиной 1,27 мм фиксируется на ступице 5 при помощи зажима 4. Ступица 5 (рис. 3.51,б) имеет конус для закрепления ПМД на шпинделе. Пакет включает также крепежное кольцо 6, прокладку 2

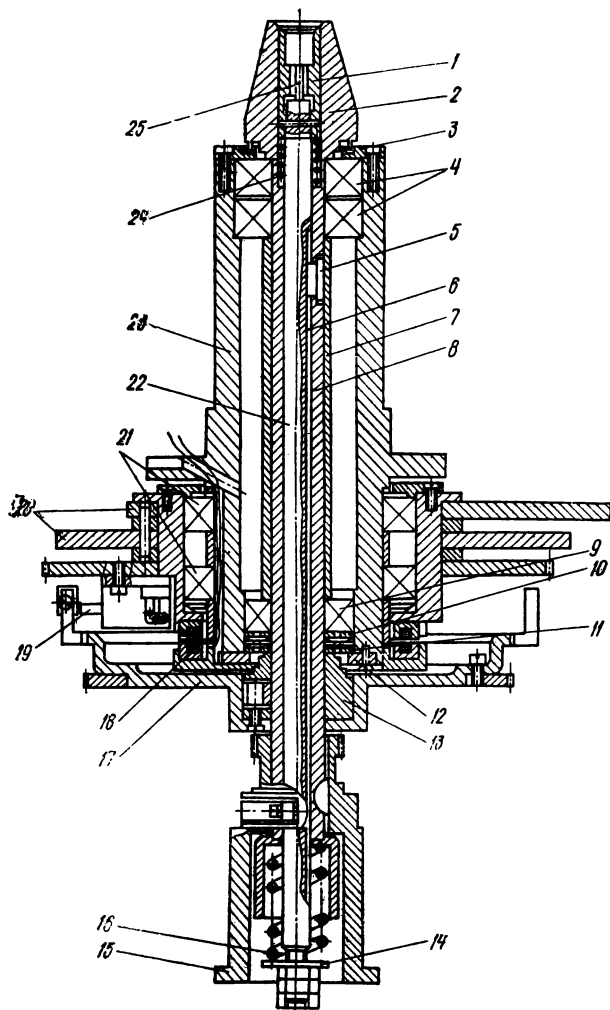


Рис. 3.50. Узел шпинделя, совместимый с 6-дисковым пакетом по ИСО 2864—74

и защитную крышку 7. На ободе верхней крышки 1 имеется по одному окну для МГ и для щеток. Прижим ступицы диска 5 к шпинделю осуществляется магнитным способом при помощи крепежного кольца 6. Основные геометрические размеры ПМД показаны на сечении ступицы диска (рис. 3.51,б), а технические характеристики приведены в табл. 3.11.

Шестидисковый ПМД должен соответствовать стандарту ИСО 2864-74 (ГОСТ 19770—74). Для предохранения от механических повреждений и от

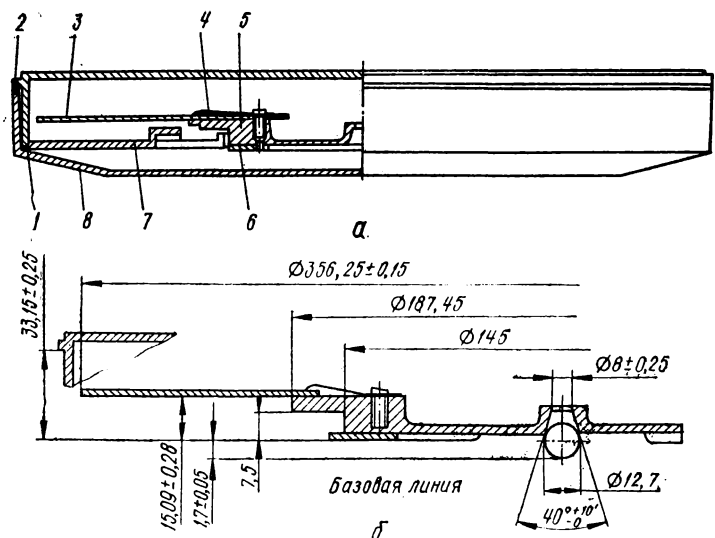
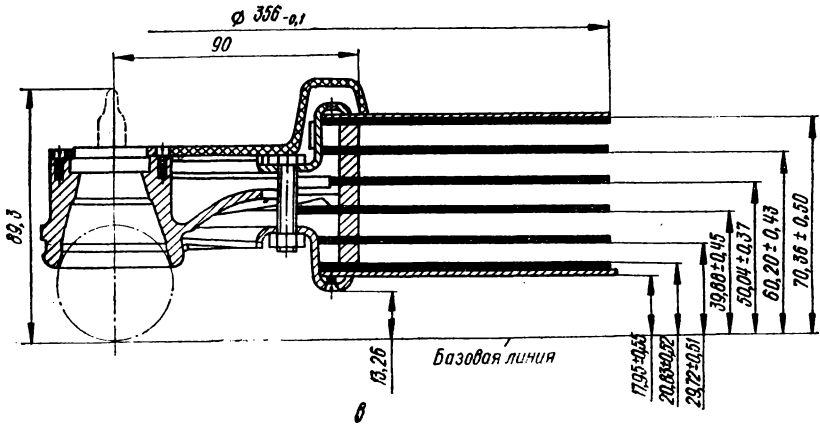
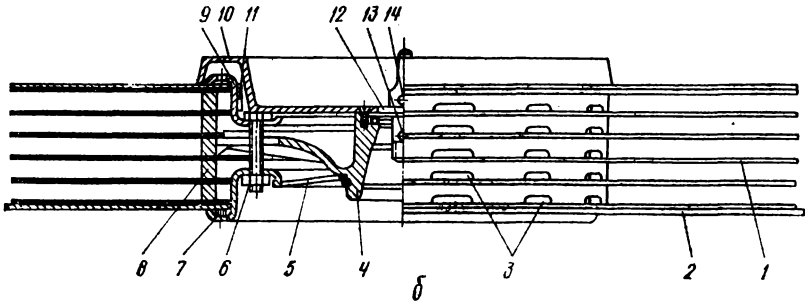
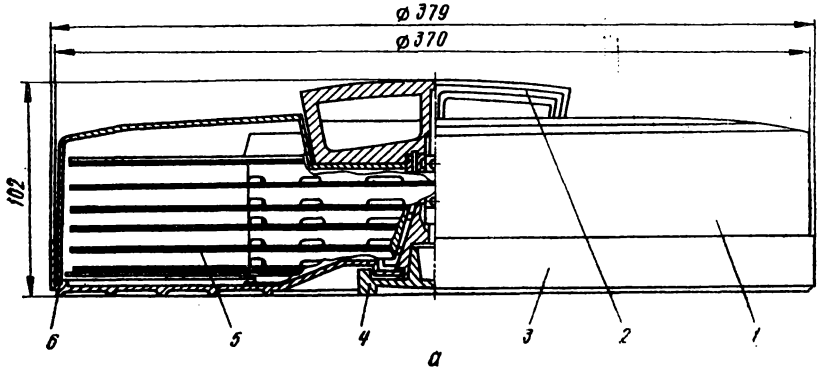


Рис. 3.51. Однодисковый пакет в сборе (а) и сечение ступицы с диском (б).

### 3.11. Технические характеристики ПМД

Параметр	Одно- дисковый ПМД	Шести- дисковый ПМД	Одиннад- цатидис- ковый ПМД	Двенад- цатидис- ковый ПМД
Допустимое осевое биение записываемого МД, измеренное во всем рабочем диапазоне скоростей, мм	0,28	0,3	0,3	0,15
Допустимое осевое биение секторного диска, измеренное во всем рабочем диапазоне скоростей, мм	—	0,5	0,51	—
Допустимое осевое биение защитного диска, измеренное во всем рабочем диапазоне скоростей, мм	—	—	—	0,51
Ускорение поверхности МД на максимальной частоте вращения, $m/s^2$	140	280	140	75
Горизонтальное биение МД, мкм	0,5	0,25	0,25	0,25
Диаметры внутренней и наружной окружностей расположения поверхности магнитного покрытия, мм	208,3	208,3	209,8	190,5
Момент инерции, $г \cdot м^2$	353,6	353	354,8	352,8
Допустимый дебаланс ПМД, $г \cdot мм$	10	57	85	107
Максимально допустимая частота вращения ПМД, $мин^{-1}$ (об/мин)	100	200	100	100
Прижимное усилие к шпинделю механизма, Н	2500	2500	2500	3700
Значение допустимых микронеровностей поверхности МД, мкм:	155	925	925	1550
среднее арифметическое	$\pm 22$	$\pm 145$	$\pm 145$	$\pm 450$
максимальное	0,09	0,09	0,09	0,05
	0,76	0,76	0,76	0,38





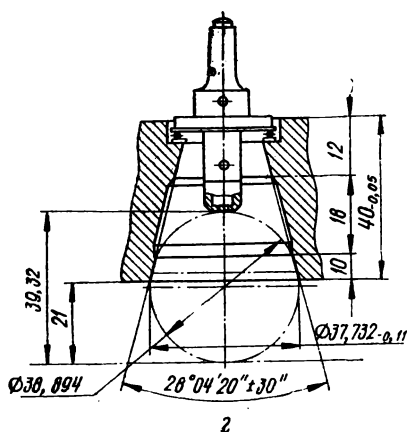


Рис. 3.52. Шестидисковый пакет:  
*a* — в контейнере; *б* — без контейнера  
 (в разрезе); *1θ* — расположение дисков  
 относительно базовой линии; *z* — базовой  
 линии относительно втулки

него 9 и нижнего 7 зажимных колец стянуты в ПМД болтами 6. В верхней части ПМД установлены предохранительный кожух 10 и балансировочные грузы 11.

Промежуточные кольца 8 содержат воздушные окна 3 общей площадью 710 мм<sup>2</sup>, расположенные равномерно для прохода воздуха, поступающего в осевом направлении через сетчатый фильтр 5. Замок 12 представляет собой полый вал с фланцем, крепящийся с возможностью проворота на ступице 4. На замке нарезана на длине 8,5 мм двухзаходная резьба 3/8 дюйма для закрепления ПМД на шпинделе и имеются шарики 13, фиксирующие ПМД, и шарики 14, крепящие верхнюю крышку контейнера. Внутри замка помещено устройство, выдвигающее и утапливающее фиксирующие шарики 13 и 14. Разрез ПМД (рис. 3.52, *б*) без контейнера иллюстрирует размеры, определяющие положение МД относительно базовой линии. Сечение втулки (рис. 3.52, *z*) определяет положение базовой линии. Основные технические характеристики шестидискового ПМД приведены в табл. 3.11.

Одиннадцатидисковый ПМД должен соответствовать стандарту ИСО 3564—76, конструктивно аналогичен шестидисковому ПМД (рис. 3.53, *а, б, в*). Основные технические характеристики одиннадцатидискового ПМД приведены в табл. 3.11.

Двенадцатидисковый ПМД должен соответствовать стандарту ИСО 4337—77. Контейнер ПМД (рис. 3.54, *а*) состоит из верхней 1 и нижней 10 крышек. Верхняя крышка 1 закреплена на шпиндельном замке 14 и может быть снята при введении валика в отверстие замка и освобождении фиксирующих шариков. Несущим элементом конструкции является втулка 8 с тремя опорными головками 12. На втулке 8 закреплены десять записывающих МД 6 толщиной 1,9 мм, образующих двадцать рабочих поверхностей, верхний защитный диск 5 и нижний защитный диск 9. Для этой цели использованы промежуточные кольца 7, верхнее зажимное кольцо 3 с предохранительной крышкой 2, нижнее кольцо 11 и винты 16 с сегментами 15. На шпинделе механизма ПМД закрепляется при помощи замка шпиндельного механизма 17, замка 14 и осевого подшипника 13. Разрез двенадцатидискового ПМД без контейнера (рис. 3.54, *б*) определяет положение МД относительно базовой линии. Разрез замка (рис. 3.54, *в*) иллюстрирует его основные размеры. Технические характеристики двенадцатидискового ПМД приведены в табл. 3.11.

загрязнения при транспортировании и хранении ПМД снабжен контейнером (рис. 3.52, *а*), состоящим из верхней крышки 1 с ручкой 2 и нижней крышки 3 с несъемной фигурной гайкой 4 и герметизирующей прокладкой 6. Верхняя крышка 1 при помощи фиксирующих шариков замка ПМД закреплена на пакете 5 и снимается при установке и закреплении ПМД на шпинделе механизма. Для отсоединения верхней крышки 1 от пакета 5 необходимо ввести при снятии нижней крышки 3 в отверстие замка валик и расфиксировать шарики замка. Крышка 3 прикреплена к ПМД при помощи гайки 4, закручиваемой на резьбовую часть замка.

Несущим элементом конструкции (рис. 3.52, *б*) является втулка 4 с конусом для установки ПМД на шпинделе механизма. Шесть записываемых МД 1 толщиной 1,27 мм с десятью рабочими поверхностями, защитный диск 2 и секторный диск 3 при помощи промежуточных колец 8, верх-

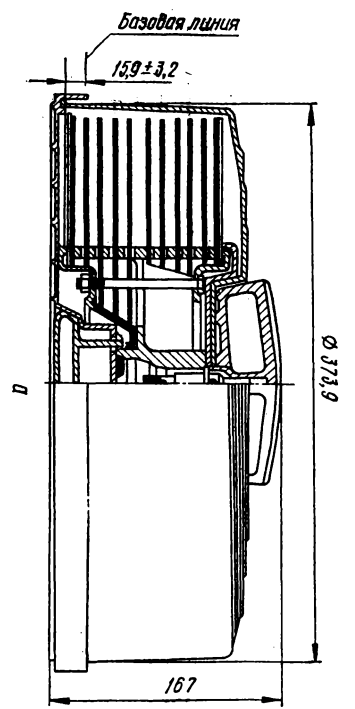
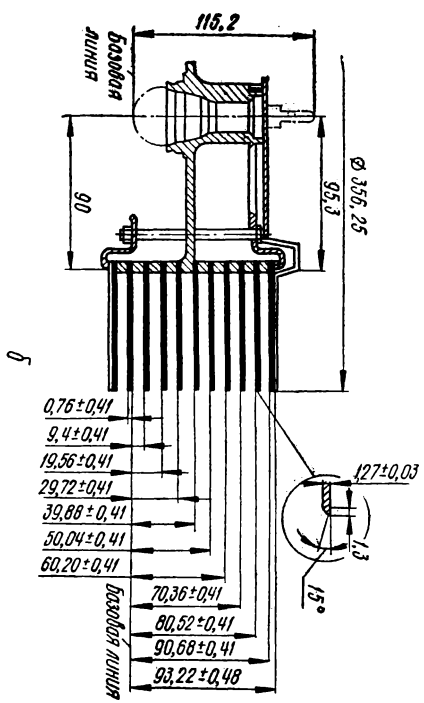
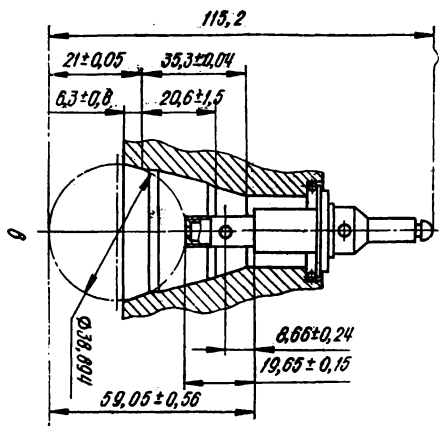


Рис. 3.53. Один-  
надзатидисковий  
пакет:  
а — в контейнері; б,  
в — розподілені  
дисків отно сительно  
базової лінії и базової  
лінії отно сительно  
втулки

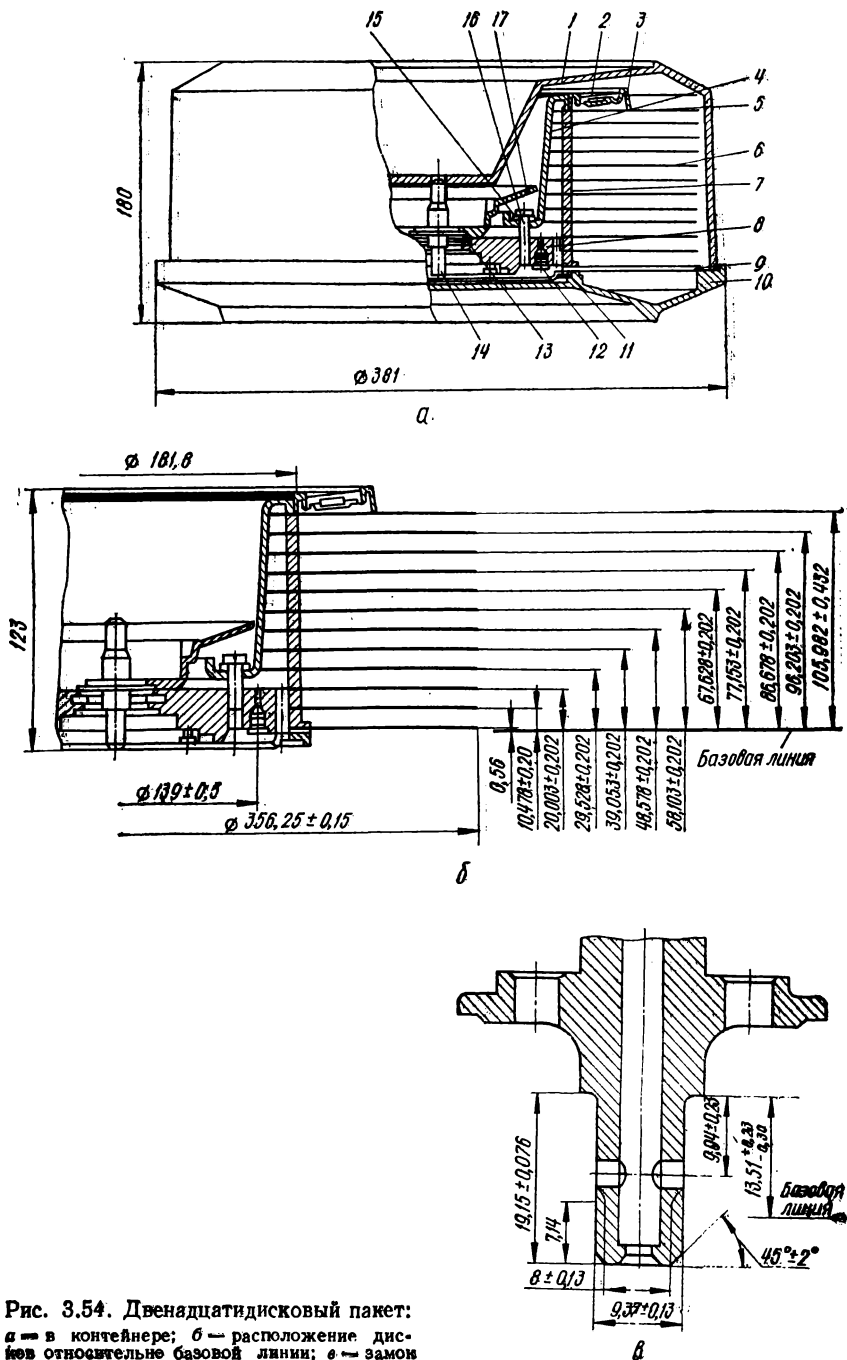


Рис. 3.54. Двенадцатидисковый пакет:  
 а — в контейнере; б — расположение дисков относительно базовой линии; в — замок

Условия эксплуатации ПМД предусматривают:

1. Закрепление ПМД на шпинделе механизма в зависимости от направления вращения. Если смотреть сверху, ПМД должен вращаться против часовой стрелки.

2. Обеспечение стечения зарядов с МД на шпиндель через механизм туллки.

3. Устойчивость магнитной поверхности записываемых МД к изопропиловому спирту (91% спирта, 9% дистиллированной или депонизированной воды), используемому для очистки.

4. Фильтрацию воздуха внутри ПМД в зависимости от величины неконтакта между МД и МГ, предусмотренной для данного типа ПМД.

Промышленность серийно выпускает односторонний пакет ЕС 5269А, шестидисковый пакет ЕС 5053, одиннадцатидисковый пакет ЕС 5261 и двенадцатидисковый пакет ЕС 5266.

В АЦМЗ применяются НМД, выполненные по винчестерской технологии, заключающейся в герметизации носителя. Эта технология была первоначально разработана для НМД большой емкости, а затем стала популярной для малых НМД, использующих нестандартные жесткие МД диаметром порядка 203 мм. Основное преимущество — малые габаритные размеры, сравнительно низкая стоимость и простота обслуживания. Широко применяются также НМД с гибким МД для контактной записи, представляющим собой диск наружным диаметром 198,12 мм, внутренним диаметром 38,1 мм из полиэфирного материала толщиной 0,13 мм с магнитным покрытием с обеих сторон. Гибкий МД помещается в жесткий квадратный конверт толщиной 1,59 мм, со сторонами 203,2 мм, с центральным отверстием диаметром 58,42 мм для зажима диска, радиальным окном для МГ и индексными отверстиями. Под действием центробежной силы МД вращается в конверте с зазором.

Устройство позиционирования магнитных головок выполняет точную установку МГ и удержание их на дорожке. Основными элементами устройства являются каретка с закрепленными на ней головками, механизм перемещения и система управления. Каретка содержит при необходимости механизм подвода и отвода МГ. Современные НМД используют электромеханические механизмы перемещения с линейными ЭД, обеспечивающими быстрое действие, точность и надежность работы.

Системы управления разделяются на системы с обратной связью, разомкнутого типа и механические. Системы с обратной связью обеспечивают необходимую точность при поперечной плотности более 8 дор./мм, разработаны НМД с поперечной плотностью 40 дор./мм. Разомкнутые системы работоспособны при плотностях до 4 дор./мм. Механические системы обеспечивают поперечную плотность до 2 дор./мм и применяются в основном при записи информации по спирали. Системы с обратной связью используют служебные метки, нанесенные непосредственно на МД, и поэтому могут обеспечивать полную взаимозаменяемость ПМД. Разомкнутая система используется в качестве служебных меток точную шкалу, контролирующую положение каретки. Механическая система основана на кулачковом или винтовом механизме.

Устройство подвеса магнитных головок. В современных конструкциях накопителей опора скольжения плавающей магнитной головки (ПМГ) и МД образуют аэродинамический подшипник, так что давление, возникающее в смазочном слое подшипника, обусловленное тангенциальным потоком воздуха, уравновешивает приложенную к опоре внешнюю нагрузку. Чтобы выдержать заданную величину неконтакта между МД и МГ, необходимо точно рассчитать зависимость нагрузки на опору от величины неконтакта, а также точку расположения равнодействующей реакции смазочного слоя. Если опора подвешена на шарнире, то, кроме равновесия приложенных к опоре сил, должна быть равна нулю их сумма моментов.

Принцип работы ПМГ состоит в том, что при определенном угле атаки опоры точка приложения реакции смазочного слоя совпадает с положением шарнира, передающего нагрузку на опору. При увеличении угла атаки опоры точка приложения равнодействующей смещается к задней кромке МГ, и возникающий момент уменьшает угол атаки. Наоборот, при уменьшении

угла атаки точка приложения равнодействующей смещается к передней кромке, и угол атаки увеличивается.

Сжимаемость смазки проявляется в том, что точка приложения равнодействующей реакции смазочного слоя зависит не только от угла атаки, но и от величины неконтакта. С увеличением нагрузки угол атаки МГ уменьшается и, наоборот, с уменьшением нагрузки — увеличивается. Нагрузочная кривая МГ (зависимость нагрузки от величины неконтакта) имеет ярко выраженный максимум и при определенных минимальных величинах неконтакта существует область неустойчивости, в которой несущая способность ПМГ падает до нуля. С увеличением скорости вращения МД влияние сжимаемости смазки возрастает и явления, связанные с устойчивостью, становятся более критичными. Минимизация величины неконтакта между МД и МГ не может быть решена простым увеличением нагрузки, она должна сопровождаться оптимизацией геометрических параметров МГ для конкретной величины неконтакта и скорости вращения МД.

Особенностью газовой смазки ПМГ является тенденция к уменьшению несущей способности смазочного слоя при сохранении достаточно большой его жесткости. В процессе совершенствования конструкции на протяжении 15 лет ПМГ претерпели значительные изменения (табл. 3.12). На магнитных голов-

### 3.12. Технические характеристики плавающих магнитных головок

Параметр	Модель аппарата (год разработки)					Экспериментальные головки (год разработки)		
	IBM 2311 (1964)	IBM 2314 (1965)	IBM 3330 (1970)	IBM 2305 (1970)	IBM 3340 (1973)	48Т (1975)	40Т (1975)	30Т (1975)
Величина неконтакта, мкм	2,5	2,29	1,27	1,27	0,51	0,2	0,2	0,2
Усилие прижима, Н	3,5	3,5	3,5	12	0,1	0,06	0,033	0,013
Скорость потока воздуха, м/с	27	27	40	66	33	40	40	40
Приведенная масса головки, г	9	3,25	5	2,5	0,25	0,22	0,18	0,14
Материал опоры	Сталь	Алюминий	Керамика	Керамика	Феррит	Феррит	Феррит	Феррит
Конфигурация рабочей поверхности опоры	Цилиндр	Цилиндр	Цилиндр	Плоскость	Плоскость	Плоскость	Плоскость	Плоскость
Площадь рабочей поверхности опоры, мм <sup>2</sup>	223,91	173,97	60	91,13	6,27	1,15	0,8	0,45

ках 1—6 (рис. 3.55), являющихся соответственно головками аппаратов IBM 2311, IBM 2314, IBM 2305, IBM 3330, STC 8800, IBM 3340, показано совершенствование конструкции МГ с 1964 г. Раньше опоры скольжения МГ изготовлялись из нержавеющей стали, потом стали применять керамические материалы, обладающие отличными антифрикционными свойствами. Сердечники МГ крепились к опорам скольжения при помощи органических клеев. С уменьшением величины неконтакта стали критичными термическая деформация клеев и сдвиг элементов конструкции МГ вследствие ползучести клеевого слоя.

В аппарате IBM 3330 сердечник МГ крепится к опоре скольжения при помощи заливки стеклом. Крепление стеклом вносит определенные технологические трудности, вследствие разности теплового расширения образуются трещины в сердечнике. Повышение стабильности геометрических размеров МГ достигнуто в аппарате IBM 3340 при использовании в качестве материала опоры скольжения МГ феррита.

Пространственное положение МГ определяется пластинчатой пружиной, имеющей незначительную жесткость при изгибе, а давление нагрузки либо передается через шарнирный упор, либо непосредственно через пластинчатую пружину (рис. 3.56). Головка должна иметь относительную свободу наклона во всех плоскостях и допускать перемещения в вертикальном направлении, перпендикулярном плоскости МД. В аппаратах IBM 2311 и IBM 2314 стабилизация поперечного положения МГ решена применением цилиндрической рабочей поверхности опоры и двух стабилизирующих отверстий в ней. Реакция смазочного слоя здесь содержит две равнодействующие, разнесенные по ширине МГ. В аппарате IBM 3330 с этой же целью применена стабилизирующая канавка.

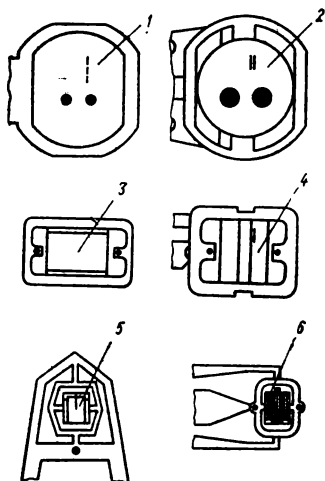


Рис. 3.55. Конструкции опоры скольжения плавающей магнитной головки

При величинах неконтакта менее 1 мкм обеспечение гарантированного неконтакта между МД и МГ на современном уровне техники практически неосуществимо, так как всегда возможны случайные касания, обусловленные динамикой подвода и отвода МГ и попаданием микрочастиц в смазочный слой. Механизм отвода и подвода МГ, служащий для уменьшения ее износа, сам становится причиной износа МГ. В аппарате IBM 3340

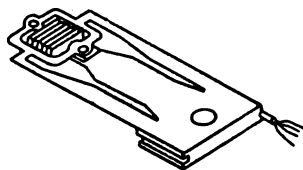


Рис. 3.56. Устройство подвеса магнитной головки аппарата IBM 3340

применена плоская МГ со скосом, допускающая возможность касания МД в момент пуска и остановки механизма, при этом кратность пуска и остановки может превышать несколько тысяч раз.

При минимизации величины неконтакта между МД и МГ большое значение имеет уменьшение величины прижима МГ к МД, способствующего при случайных касаниях повышенному износу рабочих поверхностей. Уменьшение реакции смазочного слоя достигается уменьшением площади рабочей поверхности опоры скольжения и увеличением отношения длины опоры к ее ширине (рис. 3.57). При этом для сохранения динамических характеристик минимизируется приведенная масса МГ. График зависимости величины неконтакта от скорости движения потока воздуха и величины нагрузки для МГ аппарата IBM 3340 показан на рис. 3.58, а. Уменьшение величины неконтакта до 0,2 мкм, достигаемое в экспериментальных образцах МГ разработки лаборатории ННК (Япония), сопровождается дальнейшим уменьшением геометрических размеров опоры скольжения МГ (табл. 3.13). График нагрузочных кривых иллюстрирует зависимость прижимного усилия от геометрических размеров опоры (рис. 3.58, б).

Определенное преимущество при решении проблемы минимизации величины неконтакта между МД и МГ имеет устройство двойного подвеса МГ (рис. 3.59). Усложнение конструкции подвеса, вызванное наличием двух плавающих элементов, оправдывается снижением требований к биению поверхности МД и к точности установки МГ относительно поверхности МД. Кроме того,

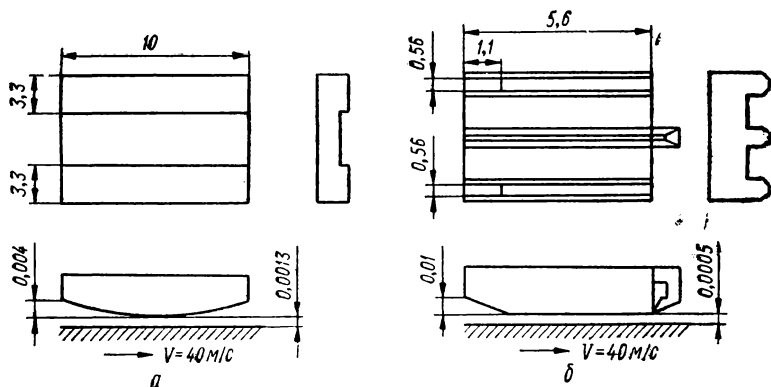


Рис. 3.57. Основные параметры опор скольжения магнитных головок аппаратов IBM 3330 (а) и IBM 3340 (б)

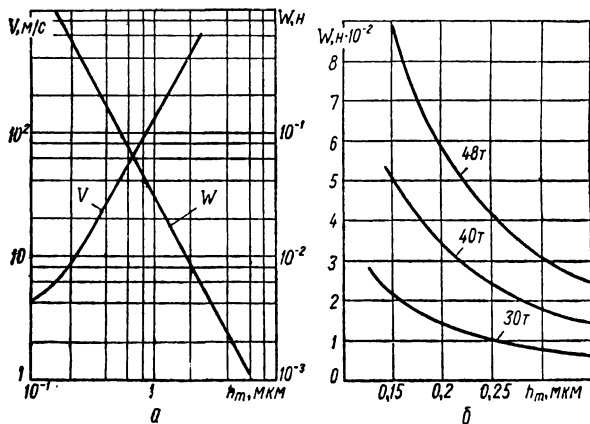


Рис. 3.58. Зависимость величины неконтакта:  
 а — от скорости ( $W = 0,095$  Н) и нагрузки ( $V = 40$  м/с) для магнитной головки аппарата IBM 3340 ( $X_c = 0,545$ ); б — от нагрузки ( $V = 40$  м/с) для магнитных головок 30Т, 40Т и 48Т

### 3.13. Геометрические размеры опор скольжения МГ с величиной неконтакта 0,2 мкм

Параметр	48Т	40Т	30Т
Длина головки, мм	4,8	4	3
Половина ширины опорной поверхности головки, мм	0,24	0,2	0,15
Длина скоса, мм	1	0,7	0,55
Высота скоса, мкм	4	4	4
Координата точки приложения нагрузки, безразмерная	0,548	0,525	0,55



уменьшается удельный вес элементов подвеса, участвующих в колебательном движении МГ, т. е. снижается приведенная масса МГ. Стабилизирующая опора с величиной неконтакта до 10 мкм перемещается относительно поверхности МД и снижает колебание величины неконтакта между МД и МГ до единиц микрометра. Оставшаяся часть выбирается за счет взаимодействия МГ с МД. Нагрузка на МГ развивается деформацией пружины при утапливании МГ в отверстие стабилизирующей опоры. Требования по точности установки МГ относительно стабилизирующей опоры зависят от податливости пружины, продольной и поперечной устойчивости МГ. Конструкция двойного подвеса МГ позволила на НМД Р-421 получить величину неконтакта между МД и МГ, равную 0,8 мкм при работе в паре с МД, имеющем 60 мкм осевого биения, при среднем арифметическом значении шероховатости поверхности 0,04 мкм.

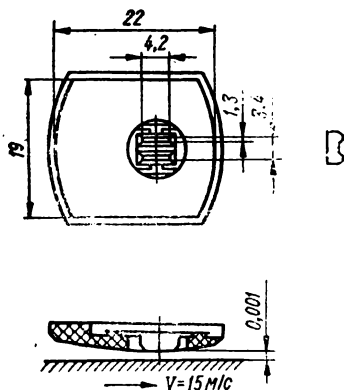


Рис. 3.59. Стабилизирующая опора и магнитная головка устройства двойного подвеса

Двойной подвес (рис. 3.59) имеет величину неконтакта между МД и МГ, равную 1 мкм, при взаимодействии с пакетом дисков ЕС 5053. Стабилизирующая опора и МГ выполнены с цилиндрическими рабочими поверхностями со стрелками соответственно 15 мкм и 0,5 мкм. Нагрузка на стабилизирующую опору равна  $(2,5 \pm 0,1)$  Н, безразмерная координата точки ее приложения 0,4. Для МГ нагрузка  $(0,18 \pm 0,02)$  Н и координата ее приложения 0,5. Материал опор скольжения — керамика ЦМ-332. Окружная скорость диска 15 м/с.

Минимизация величины неконтакта между МД и МГ и шероховатость сопрягаемых поверхностей МД и МГ почти неотделимы друг от друга (табл. 3.14). При уменьшении величины неконтакта наблюдается прилипание МГ к поверхности МД вследствие влажности окружающей среды. При отсутствии механизма отвода МГ в момент остановки и пуска диска происходит сцепление МГ с МД. Возникает явление резкого понижения давления в смазочном слое и при адиабатическом расширении — образование росы. На поверхности опор скольжения МГ не допускается наличие сколов и трещин, в которые могут внедряться микрочастицы, приводящие к образованию задиоров на поверхностях МД и МГ. Попадание микрочастиц в смазочный слой

### 3.14. Рекомендуемое максимальное значение допустимых микронеровностей поверхности МД

Чистота обработки поверхности МД	Величина неконтакта МД→ПМГ, мкм		
	1	0,5	0,2
Среднее арифметическое значение, мкм	0,04	0,02	0,01
Максимальное значение, мкм	0,3	0,1	0,03

в принципе недопустимо, поэтому очистке воздуха в рабочей камере НМД необходимо уделять особое внимание. Устройства фильтрации должны гарантировать отсутствие микрочастиц, размеры которых превышают 2/3 толщины смазочного слоя.

Подвес для контактной МЗ (рис. 3.60) содержит три разнесенные опоры скольжения 1, одной из которых является МГ, установленные на одной пла-

те 2. Нагрузка порядка 0,05 Н передается шарниром 3 на плату. Расположение опор треугольником решает вопрос продольной и поперечной устойчивости МГ, стоящий особенно остро при контактной записи ввиду присутствия сил трения между МГ и МД. Наличие контакта и неконтакта между МГ и МД носит периодический характер и при постоянной нагрузке в значительной мере определяется скоростью (рис. 3.61). Магнитная головка при остановке и пуске механизма от МД не отводится. При шероховатости МД 0,175 мкм контакт перестает наблюдаться при скорости 20 м/с и величине неконтакта 0,25 мкм. Продолжительность единичного контакта составляет  $1 \cdot 10^{-4}$  с.

Расчет подвеса магнитной головки. При установившемся состоянии и предположении изотермичности течения воздуха уравнение Рейнольдса,

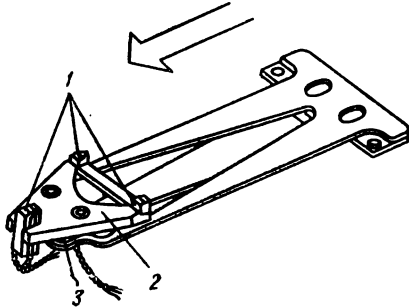


Рис. 3.60. Устройство подвеса магнитной головки контактной записи аппарата IBM 3735

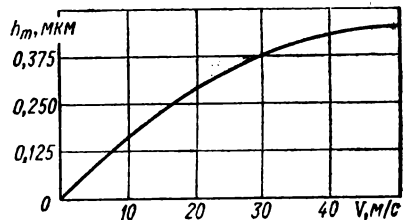


Рис. 3.61. Зависимость величины неконтакта от скорости потока для магнитной головки контактной записи

описывающее течение газа в тонких слоях, модифицированное Бургдорфером для учета влияния молекулярных эффектов, имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial X} \left\{ PH^3 \frac{\partial P}{\partial X} [1 + 6K_{\infty}/(PH)] \right\} + \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} [1 + 6K_{\infty}/(PH)] \right\} = G \frac{\partial}{\partial X} (PH)$$

при граничных условиях  $P(0, Y) = P(1, Y) = 1$ ,  $P(X, -1/2) = P(X, 1/2) = 1$ , где  $X = x/l$ ,  $Y = y/l$  — безразмерные пространственные координаты;  $P = p/p_{\infty}$  — безразмерное давление;  $H = h/h_m$  — безразмерная толщина смазочного слоя;  $K = \lambda/h_m$  — число Кнудсена, вычисленное по минимальной толщине смазочного слоя;  $G = 6\mu V l / (p_{\infty} h_m^2)$  — число сжимаемости;  $l$  — длина опоры скольжения;  $\lambda$  — средняя длина свободного пробега молекул;  $p$  — давление в рассматриваемой точке;  $V$  — линейная скорость МД;  $\infty$  — индекс при окружающем давлении;  $m$  — индекс в точке минимальной величины неконтакта  $h_m$ .

Для численного уравнения Рейнольдса используется итерационный процесс [11]. Для этого уравнение приводится к конечно-разностному уравнению вида

$$P_{i,j}^2 - 2b_{i,j} P_{i,j} + c_{i,j} = 0,$$

где  $b_{i,j} = \frac{1}{2A} [3H_{x_i,j} (P_{i+1,j} - P_{i-1,j}) / (2\Delta X H_{i,j}) + 3H_{y_i,j} (P_{i,j+1} - P_{i,j-1}) / (2\Delta Y H_{i,j}) + (P_{i+1,j} + P_{i-1,j}) / \Delta X^2 + (P_{i,j+1} + P_{i,j-1}) / \Delta Y^2 - 6K_{\infty} A / H_{i,j} - G H_{x_i,j} H_{i,j}^3]$

$$c_{i,j} = \frac{1}{A} \{ G(P_{i+1,j} - P_{i-1,j}) / (2\Delta X H_{i,j}^2) - \frac{6K_\infty}{H_{i,j}} [H_{x_{i,j}}(P_{i+1,j} - P_{i-1,j}) / (\Delta X H_{i,j}) + H_{y_{i,j}}(P_{i,j+1} - P_{i,j-1}) / (\Delta Y H_{i,j}) + (P_{i+1,j} + P_{i-1,j}) / \Delta X^2 + (P_{i,j+1} + P_{i,j-1}) / \Delta Y^2] - (P_{i+1,j} - P_{i-1,j})^2 / (4\Delta X^2) - (P_{i+1,j} - P_{i-1,j})^2 / (4\Delta Y^2) \};$$

$$A = 2/\Delta X^2 + 2/\Delta Y^2; \quad H_x = \partial H / \partial X; \quad H_y = \partial H / \partial Y;$$

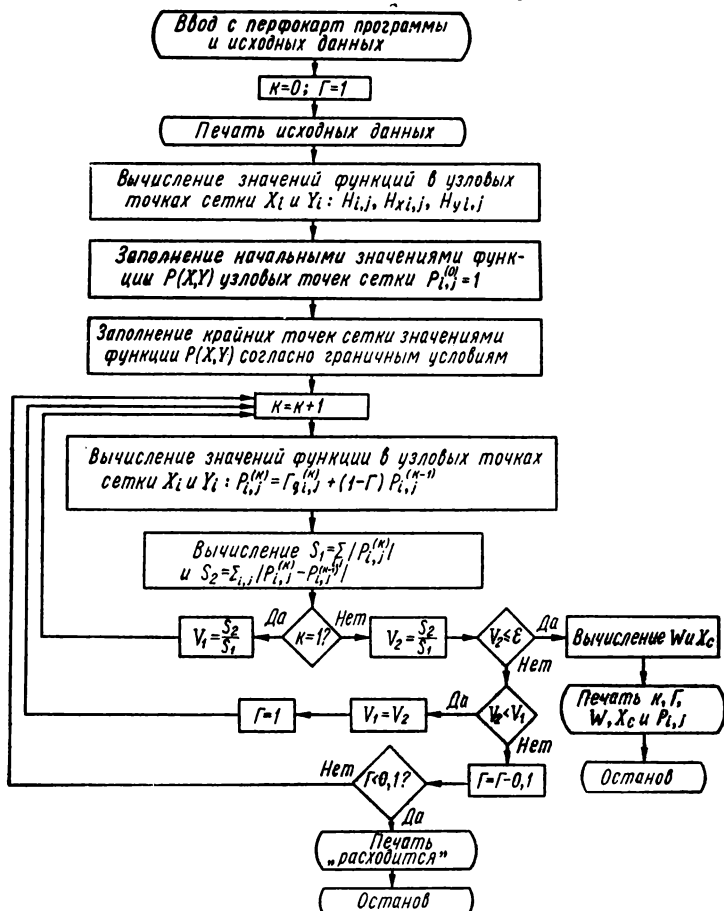


Рис. 3.62. Схема программы расчета плавающей магнитной головки

$P_{i,j}$  — безразмерное давление в точке  $(i, j)$ ;  $i, j$  — индексы точек прямоугольной сетки, покрывающей площадь проекции опоры на плоскость МД ( $1 \leq i \leq M-1$ ,  $-N+1 \leq j \leq N-1$ );  $\Delta X = 1/M$ ;  $\Delta Y = B/(2N)$  — шаг сетки по соответствующим координатам;  $M, N$  — целые положительные числа;  $B = b/l$  — безразмерная ширина опоры;  $b$  — ширина опоры.

Конечно-разностное уравнение решается численно методом Либмана (рис. 3.62), предусматривающим обход сетки в определенном порядке и немедленную замену старых значений  $P_{i,j}$  вновь вычисленными. Значения функции  $P_{i,j}^{(k)}$  ( $k$ -я итерация) получаются из значений  $P_{i,j}^{(k-1)}$  ( $(k-1)$ -я итерация) по формуле

$$P_{i,j}^{(k)} = \Gamma g_{i,j}^{(k)} + (1 - \Gamma) P_{i,j}^{(k-1)},$$

где  $\Gamma$  — коэффициент экстраполяции;  $g_{i,j}^{(k)} = b_{i,j}^{(k)} + \sqrt{b_{i,j}^{(k)2} - c_{i,j}^{(k)}}$ .

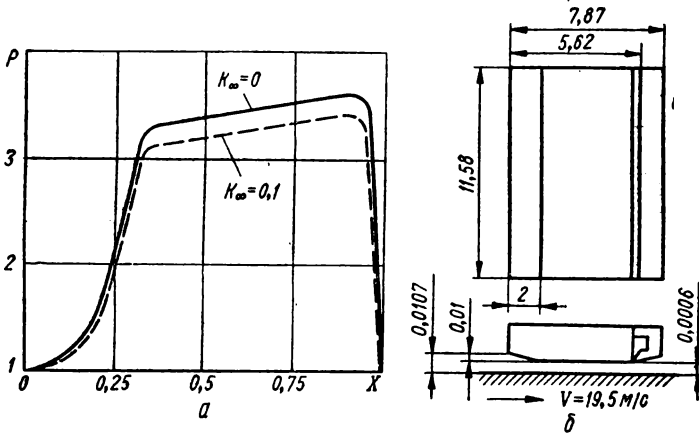


Рис. 3. 63. Опора магнитной головки аппарата IBM 2305:

$a$  — распределение давления в среднем сечении при  $V = 19,5$  м/с,  $X_c = 0,69$ ;  $b$  — основные параметры

При решении задачи за начальные значения давления  $P_{i,j}$  во всех узловых точках сетки принимаются единицы. После каждой итерации, начиная со второй, проверяется удовлетворение показателя совпадения, т. е.

$$\sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k)} - P_{i,j}^{(k-1)}| / \sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k)}| \ll \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  — произвольно выбранная величина, от значения которой зависит точность расчета. Обычно  $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-5}$ . При невыполнении условия по  $\varepsilon$  проверяется условие стабильности

$$\sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k)} - P_{i,j}^{(k-1)}| / \sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k)}| < \sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k-1)} - P_{i,j}^{(k-2)}| / \sum_{i,j} |P_{i,j}^{(k-1)}|.$$

При невыполнении условия стабильности уменьшается  $\Gamma$  или увеличивается отношение  $\Delta X / \Delta Y$  или выполняются обе эти операции.

Равнодействующая реакции смазочного слоя  $\bar{W}$  и координата точки ее приложения  $X_c$  определяются из выражений

$$\bar{W} = \int_{-B/2}^{B/2} \int_0^1 [P(X, Y) - 1] dX dY;$$

$$X_c = \frac{1}{\bar{W}} \int_{-B/2}^{B/2} \int_0^1 X [P(X, Y) - 1] dX dY.$$

Интегралы вычисляются по правилу Симпсона.

Уравнение Рейнольдса хорошо описывает физику процесса, протекающего в смазочном слое, если характерные размеры опоры  $l$  и  $b$  много меньше радиуса МД. В расчетах оперируют тангенциальной скоростью на средней линии опоры, а небольшой радиальной составляющей скорости пренебрегают, что не вносит существенной ошибки при расчете давления (ошибка не более 3%).

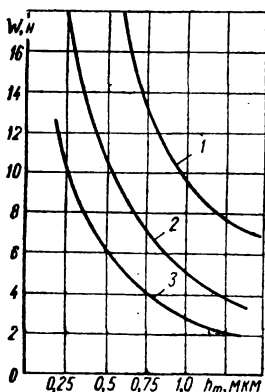


Рис. 3.64. Зависимость нагрузки на магнитную головку аппарата IBM 2305 от величины неконтакта при  $V = 42$  м/с:

1 —  $P_{\infty} = 1,01 \cdot 10^5$  Па (760 мм рт. ст.); 2 —  $P_{\infty} = 2,02 \cdot 10^4$  Па (152 мм рт. ст.); 3 —  $P_{\infty} = 1,01 \cdot 10^4$  Па (76 мм рт. ст.)

больших скоростях, когда давление в смазочном слое достаточно велико, снижение несущей способности МГ незначительно (рис. 3.64).

Типичное распределение давления в смазочном слое при  $G = 310$  и размеры МГ аппарата IBM 2305 показаны на рис. 3.63, а, б. При минимальной величине неконтакта 0,6 мкм развивается максимальное давление в смазочном слое, превышающее атмосферное давление в 3,5 раза. Анализ уравнения Рейнольдса свидетельствует о том, что значение членов, стоящих в левой части уравнения, в создании избыточного давления в смазочном слое уменьшается при увеличении  $G$ . Распределение давления в опоре при  $G \rightarrow \infty$  стремится к пределу  $P_H = \text{const}$ . Это значит, что при очень больших числах сжимаемости должен сказываться мало эффект разряжения воздуха. При

## Глава 4

### ПРИВОДЫ МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НОСИТЕЛЯ

#### 1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Электродвигатели предназначены для привода устройств перемещения носителя информации относительно МГ с требуемой скоростью и устройств его накопления. Электромагниты (ЭМ) предназначены для дистанционного перемещения и управления работой различных МТЛ. Применяемые ЭД различают как по устройству и конструктивному исполнению, так и по параметрам: мощности на валу, напряжению и частоте питания, диапазону частот вращения, уровню акустического шума и т. п. По выполняемым функциям ЭД относят к следующим группам приводов: ведущего вала, рулонных накопителей (приемоподающих узлов), магнитных головок. Используют ЭД также для вспомогательных целей, например, в системе автоматической заправки МЛ в бытовых ВМ и др. По роду питания разделяют ЭД постоянного и переменного тока. Электродвигатели АМЗ должны обеспечивать: высокую равномерность вращения, возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне, высокую надежность в течение длительного срока службы, малую величину внешних магнитных полей, низкий уровень акустиче-

ского шума, высокий КПД, небольшие массу и габаритные размеры. Мощность на валу ЭД, Вт, определяют по формуле

$$P_2 = 1,047 M n \cdot 10^{-3},$$

где  $M$  — момент нагрузки, приведенный к валу ЭД, Н · см;  $n$  — частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$  (об/мин).

Электродвигатели постоянного тока делят на коллекторные, бесколлекторные и бесконтактные. К *бесколлекторным* относятся ЭД с коммутаторами на магнитоуправляемых контактах.

Для *коллекторных* ЭД характерны следующие свойства: экономичность, большой пусковой момент, малая электрохимическая постоянная времени, возможность получения нескольких стабилизированных частот вращения сравнительно простыми средствами, а также небольшие масса и габаритные размеры, что дает возможность использовать ЭД этого типа как в речевой, так и в высококачественной бытовой и профессиональной АМЗ. Основным недостатком коллекторных ЭД — наличие скользящего контакта в щеточно-коллекторном узле, который является источником акустического шума и радиопомех. Образующаяся вследствие износа щеток угольная пыль проникает в подшипники и нарушает их нормальную работу, что приводит к снижению надежности и срока службы.

Коллекторные ЭД с возбуждением от постоянных магнитов применяются в одно- и двухмоторных МТЛ кассетных магнитофонов различного класса, в трехмоторных МТЛ для привода ведущего вала, в качестве подматывающих в кассетных магнитофонах с *EL*-кассетой, а также в репортерских ВМ для привода БВГ. Электродвигатели с последовательным возбуждением используются для привода рудонных накопителей преимущественно в профессиональной аппаратуре.

Маломощные коллекторные ЭД вследствие относительно большого сопротивления обмотки якоря допускают прямое подключение к источнику питания (обычно 6—27 В). Рассеиваемая в якоре мощность при пуске невелика, так как время разгона не превышает 0,1—1 с, при этом кратность пускового тока достигает 3—10. Механическая характеристика  $n = f(M)$  для ЭД с возбуждением от постоянных магнитов при отсутствии насыщения имеет вид прямой линии 1 (рис. 4.1). Ток якоря этих ЭД в установившемся режиме зависит только от момента на валу, что часто используется при измерении моментов сопротивления различных узлов МТЛ с помощью предварительно оттарированного ЭД. Частота вращения ЭД с постоянными магнитами регулируется изменением напряжения питания (прямая 2 на рис. 4.1) или дополнительного сопротивления в цепи якоря (прямая 3 на рис. 4.1).

Конструкция коллекторных ЭД может быть обычного исполнения, с гладким или немагнитным якоре. Электродвигатели обычного исполнения состоят из якоря и индуктора в виде наружного кольцевого постоянного магнита, намагниченного по диаметру, который крепится в корпусе из алюминиевого сплава. Магнитотвердые ферриты часто, особенно в зарубежных ЭД для кассетных магнитофонов, крепят в стальном корпусе. Выполнение корпуса в виде стакана способствует лучшему центрированию якоря при сборке. Сердечник якоря при вращении в магнитном поле непрерывно перемагничивается, поэтому для снижения потерь от вихревых токов его набирают из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,35—0,5 мм. Обмотка простая петлевая.

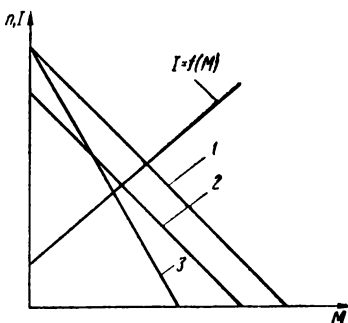


Рис. 4.1. Механическая характеристика  $n = f(M)$  ЭД постоянного тока

## 4.1. Технические данные коллекторных ЭД для батарейных магнитофонов

Параметр	4ДКС-8 (4ДКС-8М)	ДКС-8 (ДКС-8М)	ДКС-16	ДКМ-1 (ДКМ-1М)	ДМ-03-3А	1ДПРС (3ДПРС)	МД-0, 35-9А (МД-0,35-9Б)	ДПБ-102 (ДПБ-902)
Напряжение питания, В	13—16 (10—14)	10—15 (10—12)	8—13	9—12	12	11—15 (10—14)	6—10	6—10
Номинальный момент, $10^3 \text{Н} \cdot \text{см}$	38	28	38	18 (17)	10	48	5	5
Номинальный ток, А	0,15	0,13	0,2	0,09	—	0,18	0,06	0,06 (0,07)
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин)	$2000 \pm 30$	$2050 \pm 60$ ( $2000 \pm 30$ )	$2000 \pm 40$	$1600 \pm 20$ ( $2000 \pm 30$ )	3500	$1600 \pm 30$ ( $1540 \pm 30$ )	$2000 \pm 40$ ( $2000 \pm 30$ ) ( $1000 \pm 35$ )	$2000 \pm 30$ ( $2000 \pm 40$ )
Мощность на валу, Вт	0,8	0,6	0,8	0,3(0,35)	0,36	0,8	0,102	0,102
КПД, %	40 (45)	45	40	40	—	35 (40)	21	21 (18)
Габаритные размеры, мм:								
диаметр	38,8 (40)	39 (40)	39	38 (37)	25	36	34	33 (39)
длина	64,8 (65,3)	63 (62)	65	53	40,4	80 (73,5)	38	37,5 (33,5)
Масса, кг	0,25 (0,3)	0,25	0,3	0,2	0,075	0,3	0,15	0,15 (0,1)

Примечание. Во всех таблицах длина ЭД дана без вылета вала.

В ЭД с тремя зубцами каждая секция намотана на зубец. Коллекторы в таких ЭД выполняются из меди с присадкой кадмия, из нейзильбера, а в зарубежных ЭД — из золота и его сплавов. Щетки этих ЭД выполняются из благородных металлов и их сплавов и состоят из 3—4 проволочек  $\varnothing$  0,2 мм. Щеточный контакт типа металл—металл из благородных сплавов позволяет получить относительную стабильность переходного сопротивления щетка — коллектор, что является решающим фактором при стабилизации скорости ЭД с помощью параметрических схем, которые применяются в кассетных батарейных магнитофонах. С целью снижения акустического шума в ЭД этого класса применяются подшипники скольжения из пористых материалов, пропитанных смазкой. Подшипники изготавливаются методами порошковой металлургии, причем точное отверстие под вал формируется при изготовлении подшипника и в дальнейшем, после установки, обработке не подвергается, чтобы не завальцевать микропоры.

Технические данные коллекторных ЭД для батарейных катушечных и кассетных магнитофонов приведены в табл. 4.1.

Коллекторные ЭД с гладким якорем серии МИГ с возбуждением от постоянных магнитов применяются, когда требуются высокие динамические и энергетические параметры, например, для высокоскоростных МТН периферийных устройств ЭВМ. Двигатели этого типа имеют малые электромеханическую и электромагнитную постоянные времени, высокое номинальное ускорение, большую перегрузочную способность по моменту, устойчиво работают при низких частотах вращения, а также обладают способностью остановки якоря в любом заданном угловом положении. Основные технические данные этих ЭД приведены в табл. 4.2.

#### 4.2. Технические данные коллекторных ЭД типа МИГ

Параметр	МИГ-10Б	МИГ-25Б	МИГ-60Б	МИГ-90Б	МИГ-90А	МИГ-180А	МИГ-ПР*	МИГ-ПК
Напряжение питания, В	12	12	27	27	27	27	24	36
Номинальный момент, $10^3$ Н·см	160	400	950	1430	2 860	5730	8000	40000
Номинальный ток, А	1,4	3,2	3	4,1	4,5	8,9	12	10
Пусковой момент, $10^3$ Н·см	550	1670	5700	13500	18200	43500	30000	160000
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин)	6000	6000	6000	6000	3000	3000	2000	450
Электромеханическая постоянная времени, мс	4,5	4	4,4	3,6	3,8	3	1,3	8,5
Электромагнитная постоянная времени, мс	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	0,16	1,8
Номинальное ускорение, $10^4$ рад/с <sup>2</sup>	6,4	5,9	2,65	1,81	1,43	1,47	5,7	0,22
Габаритные размеры, мм:								
диаметр	40	50	60	72	110	130	185	160
длина	93,5	112	142	164	214	241	250	285
Масса, кг	0,35	0,65	1,5	2	5,9	9	13	18

\* Двигатель с принудительным охлаждением.

Малоинерционные ЭД с немагнитным якорем изготавливаются с цилиндрическим или дисковым якорем, причем оба типа якорей могут быть с печатной обмоткой или с обмоткой из обычных проводников. На рис. 4.2,а показан ЭД



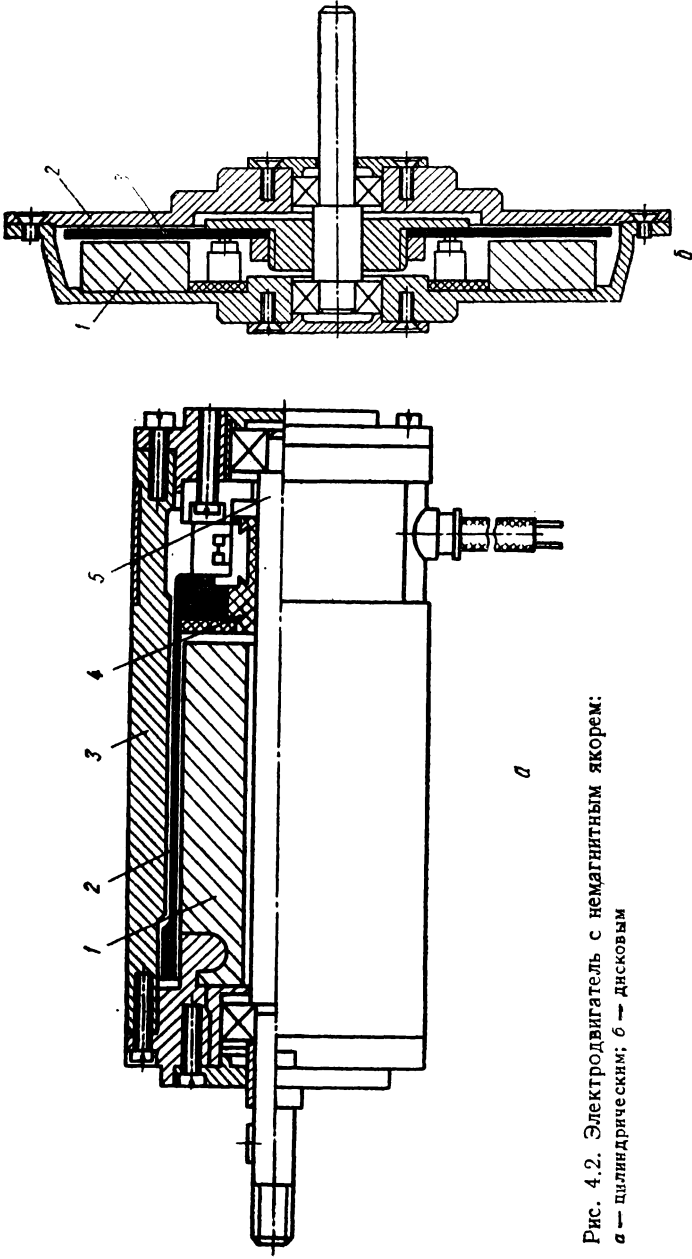


Рис. 4.2. Электродвигатель с немагнитным якорем:  
*a* — цилиндрическим; *б* — дисковым

с цилиндрическим якорем серии ДПР [16]. Корпус 3 выполнен из магнитомягкой стали и является магнитопроводом. Двухполюсный индуктор 1 из литого постоянного магнита крепится к корпусу винтами. В зазоре между корпусом и индуктором расположен полый бескаркасный якорь 2. Простая петлевая обмотка якоря выполнена из мягких секций и залита терморезистивным эпоксидным компаундом. Коллектор 4, представляющий с обмоткодержателем один узел, выполнен из меди и опрессован пластмассой. Якорь на валу 5 вращается в шарикоподшипниках, установленных в подшипниковом щите и индукторе. Такая конструкция позволила не только уменьшить электро-механическую постоянную времени, но и получить дополнительные преимущества: благодаря отсутствию железа якорь стал значительно легче, исчезли потери в стали и силы радиального притяжения, уменьшилась индуктивность якоря. В результате снизились механические потери и напряжение трогания, улучшились условия коммутации и увеличился срок службы, понизился акустический шум.

На рис. 4.2,б показан ЭД с дисковым немагнитным якорем. Магнитная система ЭД образована кольцевым постоянным магнитом 1 из магнитотвердого феррита, намагниченного в осевом направлении так, что на торцевой поверхности образовано восемь полюсов. Постоянный магнит и магнитопровод 2 образуют неподвижную магнитную систему с осевым рабочим зазором, в котором расположен дисковый многослойный печатный якорь 3. Якорь состоит из нескольких перемежающихся слоев тонкого изоляционного материала и проводников, выполненных либо методами технологии печатных плат, либо вырубкой из медной фольги. По периферии внутри и снаружи диска проводники сварены точечной сваркой и создают замкнутую, обычно волновую, обмотку постоянного тока. Коллектором служат проводники одной из сторон диска, которые покрываются в месте токосъема родием или другим износостойчивым покрытием. Одним из недостатков ЭД этого типа является малый срок службы диска вследствие износа проводников обмотки в месте токосъема. В табл. 4.3 приведены основные технические данные некоторых ЭД серии ДПР, а в табл. 4.4 — ряда опытных ЭД с дисковыми якорями.

Коллекторные ЭД с последовательным возбуждением обладают мягкой механической характеристикой и используются в приводе приемоподающих узлов. Ниже приведены технические данные ЭД типа Д-16-06:

Напряжение питания, В . . . . .	27
Номинальный момент, $10^3$ Н·см . . . . .	2920
Номинальный ток, А . . . . .	2
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин) . . . . .	$550 \pm 75$
Срок службы, ч . . . . .	1000
Габаритные размеры, мм:	
диаметр . . . . .	108
длина . . . . .	98
Масса, кг . . . . .	2,5

В последнее время для НМД широко применяются линейные ЭД постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов в качестве исполнительных в системах позиционирования плавающих магнитных головок (ПМГ). Устройство такого ЭД подобно устройству электродинамического громкоговорителя (рис. 4.3). Литой постоянный магнит 3 с полюсами 2 и магнитопроводом 4 образуют магнитную систему с рабочим зазором, в котором перемещается обмотка якоря 6 соленоидного типа, выполненная из алюминиевого провода прямоугольного сечения. Обмотка крепится через переходный фланец 1 непосредственно к каретке с ПМГ. К каретке крепится также магнито жесткий стержень. Внутри магнитопровода 4 установлена катушка 5 датчика скорости. Стержень при движении перемещается во внутренней отверстии катушки датчика и образует вторую магнитную систему. С обмотки датчика скорости снимается сигнал, пропорциональный скорости перемещения якоря. Токоподвод

## 4.3. Технические данные коллекторных ЭД типа ДПР

Тип электродвигателя	Напряже-ние пита-ния, В	Номиналь-ный мо-мент, $10^2 \text{ Н}\cdot\text{см}$	Номи-наль-ный ток, А	Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин)	Пуско-вой момент, $10^2 \text{ Н}\cdot\text{см}$	Пус-ковой ток, А	Электро-магнитная постоян-ная вре-мени, мс	Момент инерция якоря, $10^3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
										диа-метр	длина	
ДПР-2-Н1/Н2-02	12	12	0,13	6000	40	0,59			1000			
ДПР-2-Н1/Н2-07			0,175	4500	26	0,75			2000	15С <sub>3</sub>	36,5	0,036
ДПР-2-Н1/Н2-08	6	10	0,13	2500	20	0,46	0,1—0,25	0,0063	3000			
ДПР-2-Н1/Н2-13		2	0,066	6000	16	0,75			2000			
ДПР-32-Н1/Н2-01		20	0,14	9000	130	1,13			500			
ДПР-32-Н1/Н2-02	27	25	0,12	6000	100	0,66	0,2—0,35	0,02	1000	20С <sub>3</sub>	46	0,08
ДПР-32-Н1/Н2-03			0,095	4500	75	0,41			2000			
ДПР-32-Н1/Н2-06	12	20	0,2	6000	110	1,46			1000			
ДПР-42-Н1/Н2-01			0,29	9000	360	3			500			
ДПР-42-Н1/Н2-02	27	50	0,2	6000	220	1,35	0,25—0,5	0,057	1000	25С <sub>3</sub>	55	0,15
ДПР-42-Н1/Н2-03			0,16	4500	170	0,9			2000			
ДПР-42-Н1/Н2-07	12		0,35	4500	190	2,1			1500			

ДПР-52-Н1/Н2-01			0,53	9000	1200	10			500			
ДПР-52-Н1/Н2-02	27	100	0,36	6000	870	5,25	0,3—0,6	0,17	1000			
ДПР-52-Н1/Н2-03			0,26	4500	750	3,25			2000	30C <sub>3</sub>	64	0,25
ДПР-52-Н1/Н2-08	12		0,35	2500	510	2,9			2500			
ДПР-62-Н1/Н2-01			1	9000	2000	13		0,36	300			
ДПР-62-Н1/Н2-02	27	200	0,72	6000	1700	9,6	0,4—0,7		600	35C <sub>3</sub>	74	0,41
ДПР-62-Н1/Н2-03			0,55	4500	1470	6,2			1500			
ДПР-62-Н1/Н2-08	12		0,73	2500	810	4,7			2000			
ДПР-72-Н1/Н2-02	27		1,35	6000	3500	16,5			500			
ДПР-72-Н1/Н2-03		400	1	4500	3000	13,3	0,5—0,8	0,78	1000	40C <sub>3</sub>	84	0,6
ДПР-72-Н1/Н2-08	12		1,3	2500	1850	10,2			2000			

Примечание. Электромеханическая постоянная времени 15—20 мс.

#### 4.4. Технические данные ЭД постоянного тока с дисковыми якорями

Параметр	МРМ-4	МРМ-61	ПДР-6	ПЯ-5	ПЯ-20	ПЯ-50	ПЯ-125	ПЯ-250
Напряжение питания, В	6	12	14	6	6	12	12	12
Номинальный момент, $10^3$ Н·см	150	—	2000	—	—	—	—	—
Номинальный ток, А	2	7,5	7	1,67	5,67	7,5	16	31,7
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин)	3500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Мощность на валу, Вт	—	50	60	5	20	50	125	250
Электромеханическая постоянная времени, с	0,017	—	0,009	0,016	0,015	0,019	0,021	0,013
Габаритные размеры, мм:								
диаметр	82	—	—	60	85	110	135	180
длина	96	—	—	46,5	47,5	56	61	86,5
Масса, кг	—	—	—	0,355	0,78	1,1	1,96	6

к обмотке ЭД выполняют гибкими проводниками. Ниже приведены параметры линейного ЭД типа ASM-4 (ЧССР):

Общая длина хода якоря, мм	70
Рабочий ход якоря, мм	51
Постоянная усилия, Н/А	10,8
Электрическая постоянная времени, мс	1—2,6
Максимальная амплитуда импульса тока, А, не более	25
Габаритные размеры, мм	100×138×143

Бесконтактные ЭД постоянного тока (БДПТ), обладая практически всеми положительными свойствами обычных ЭД постоянного тока, лишены их основного недостатка — не имеют щеточно-коллекторного узла. К характерным особенностям БДПТ относятся: расположение обмотки якоря на неподвижном сердечнике; наличие датчика положения ротора, определяющего момент коммутации тока в секциях обмотки; наличие транзисторного коммутатора, выполняющего силовую функцию коллектора. В БДПТ частота переключения секций обмотки определяется частотой вращения ротора, т. е. по сути регулируется самим ЭД. Характеристики БДПТ тем ближе к характеристикам классического ЭД с независимым возбуждением, чем больше число секций силовой обмотки. Однако увеличение пропорционально числу секций числа чувствительных элементов датчика положения ротора и числа транзисторов коммутатора усложняет конструкцию сигнальных элементов датчика и коммутатора. Поэтому число секций обычно не более трех—пяти. Массо-габаритные показатели БДПТ несколько хуже, чем у обычных ЭД постоянного тока в основном из-за массы и объема коммутатора [20]. В табл. 4.5 приведены основные технические данные БДПТ.

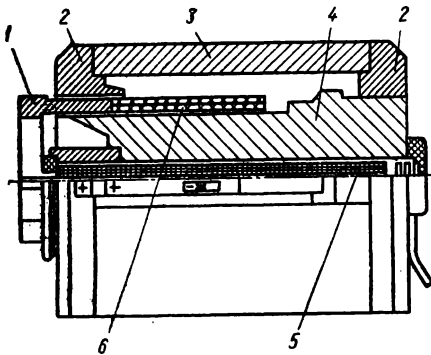


Рис. 4.3. Линейный электродвигатель постоянного тока

понадобно числу секций числа чувствительных элементов датчика положения ротора и числа транзисторов коммутатора усложняет конструкцию сигнальных элементов датчика и коммутатора. Поэтому число секций обычно не более трех—пяти. Массо-габаритные показатели БДПТ несколько хуже, чем у обычных ЭД постоянного тока в основном из-за массы и объема коммутатора [20]. В табл. 4.5 приведены основные технические данные БДПТ.

#### 4.5. Технические данные бесконтактных двигателей постоянного тока

Параметр	БДС-0,14	БДС-0,2 БДС-0,2М	БДС-1 (БДС-2,5)	28МЗ	29М1	ДС-24
Напряжение питания, В	6—10	5,1—9,3	11—15	12	12	12
Номинальный момент, $10^2 \text{ Н} \cdot \text{см}$	6	6	30	100	70	64
Номинальный ток, А	0,08	0,14	0,35 (0,8)	0,27	0,13	—
Пусковой момент, $10^2 \text{ Н} \cdot \text{см}$	20	25	100 (180)	—	—	—
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ (об/мин)	$2000 \pm 30$	$3000 \pm 40$ $1500 \pm 30$	$3000 \pm 30$ $1500 \pm 30$ $750 \pm 15$	$500 \pm 5$	$500 \pm 5$	$6000 \pm 120$
Коэффициент детонации, %	0,08	0,08	—	0,015	0,03	—
Уровень акустического шума на расстоянии 0,25 м, дБА	32	35	38	—	—	—
Наработка на отказ, ч	10000	3000	1000 (1500)	—	—	—
Габаритные размеры, мм: двигателя	34×33	34×41	50×50×49	—	—	—
коммутатора	95×55×16	95×55×20	108×75×20	—	—	—
Масса, кг: без коммутатора	—	—	0,27 (0,3)	0,61	0,54	0,5
с коммутатором	0,15	0,17	—	—	—	—

Электродвигатели переменного тока. В АМЗ широко используются ЭД переменного тока — синхронные (СД) и асинхронные (АД). Синхронные двигатели подразделяются на реактивные (СРД), гистерезисные (СГД), с постоянными магнитами (СДПМ) и шаговые (ШД); асинхронные — на двигатели с короткозамкнутым ротором, с полым немагнитным ротором, с полым ферромагнитным и массивным ферромагнитным ротором. Частота вращения СД,  $\text{мин}^{-1}$ , определяется частотой питания  $f$  и числом пар полюсов  $p$ :  $n = f60/p$ , и не зависит, в определенных пределах, от колебаний напряжения и момента нагрузки.

Из синхронных ЭД наиболее широко применяются СГД. Ограниченное применение СДПМ в АМЗ объясняется сложностью обеспечения их запуска при использовании в приводе нагрузки со значительным моментом инерции, характерным для большинства АМЗ, а также трудностью обеспечения перепада частоты вращения ЭД.

Гистерезисные СД используются в АМЗ для привода ведущего вала и БВГ. Принцип действия СГД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем ротора, возникающим в результате его намагничивания полем статора. Возникновение вращающего момента объясняется наличием у материала широкой петли гистерезиса. В результате взаимодействия поля ротора с опережающим его полем статора возникает вращающий гистерезисный момент, величина которого зависит от величины поля статора и свойств материала ротора и не зависит от частоты вращения.

Статор СГД не отличается от статора обычной машины переменного тока. Ротор представляет собой полый цилиндр, сплошной или шихтованный из колец, выполненный из магнитомягкого материала и насаженный на немагнитную втулку. Преимущественное применение в АМЗ СГД объясняется следующими положительными качествами этих ЭД: они могут за определенное время втянуть в синхронизм маховик с любым моментом инерции, причем втягивание происходит плавно, без рывка; позволяют сравнительно простыми средствами получить ряд фиксированных частот вращения; имеют сравнительно высокий КПД (до 60%); отличаются простотой и технологичностью конструкции; надежны в эксплуатации. Для улучшения энергетических показателей СГД иногда используют режим перевозбуждения, получаемый

#### 4.6. Технические данные синхронных гистерезисных электродвигателей

Тип	Напряжение питания, В	Частота питания, Гц	Номинальный момент, $10^3 \text{ Н} \cdot \text{см}$	Номинальный ток, А	Частота вращения, мин <sup>-1</sup> (об/мин)	Мощность на валу, Вт	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
							диаметр	длина	
Г-205	220	50	32	0,09	3000	1	50	60	0,4
Г-314			255	0,18		8	72	90	0,9
Г-316					1500	4			
Г-413			510	0,4	3000	16	88	115	1,8
Г-415			765		1500	12			
Г-509			1275	0,7	3000	40	103	145	3,5
Г-511			1910		1500	90			
ДСП-10А (Б)			6; 7,5; 12; 20; 36	25; 50; 100; 200; 400	159	3	375; 750; 1500; 3000; 6000	10	60
ДСП-25А (Б)	400	5,5			25	70		105	2
ДСП-60Б	955	4,5			60	95		130	3,5
ДСП-120А (Б)	1910	8			120	130			7
ДСГ-1	127	50	255	0,7	3000	8	87	112	2,3
ДСГ-2			796	1,5	1500	25	112	153	4
ДСГ-06-1500	24		38	0,45	1500	0,6	41	48	0,22

Примечание. Емкость конденсатора для ЭД типа ДСГ-1 и ДСГ-2 6мкФ, а для ЭД типа ДСГ-06-1500 — 25 мкФ.

#### 4.7. Технические данные шаговых электродвигателей

Параметр	ШД-1С	ШД-1А	ШД-3С	ШДА-3-1	ШДА-3-2	ШДА-3-4	ШДА-3-5	ШДР-231	ШДР-50/1800
Угловой шаг, град.	15							9	3
Число фаз	4	2	4	3			4		
Максимальный синхронизирующий момент, $10^2$ Н·см	100	750	1700	200	400	2500	5000	125	800
Номинальный момент нагрузки, $10^2$ Н·см	40	120	250	10	40	400	600	40	75
Момент инерции ротора, $10^5$ кг·м <sup>2</sup>	0,14	0,45	1	0,025	0,065	0,47	1,3	0,0083	1
Номинальный момент инерции нагрузки, $10^5$ кг·м <sup>2</sup>	0,005	0,15	0,2	0,01	0,03	0,25	0,6	0,004	0,2
Номинальная частота приемистости, Гц	100	150	100	500	450	150	150	700	1000
Напряжение питания, В	27	25	24	27			28		27
Ток фазы в статике, А	0,085	0,11	0,19	0,32	0,5	1	1,45	0,35	1,5
Максимальная потребляемая мощность, Вт	4,2	5,5	9	8,5	13,5	27	34	20	80
Габаритные размеры, мм:									
диаметр	33	57	60	32	40	60	80	32	42
длина	60	90	56	38	48	75	90	82,3	54
Масса, кг	0,14	0,46	0,6	0,14	0,25	1	2,3	0,18	0,3

кратковременным повышением напряжения питания, подаваемого на ЭД, или что равнозначно, кратковременным снижением частоты питающей сети. К недостаткам СГД относятся низкий коэффициент мощности и слабые демфирующие свойства, которые могут привести к качаниям ротора, особенно в случае неравномерной нагрузки или колебаний амплитуды напряжения и частоты питающей сети. Технические данные применяемых СГД приведены в табл. 4.6. Электродвигатели типа ДСП изготавливают четырех типоразмеров двух вариантов: исполнение А с двумя вылетами вала и исполнение Б — с одним. Питаются ЭД от статических преобразователей трехфазным напряжением прямоугольной формы, не содержащим четных и кратных трех гармоник.



К шаговым относятся СД, преобразующие команду, заданную в виде импульсов, в фиксированный угол поворота вала. Шаговые двигатели применяются в НМД для записи цифровой информации в качестве ведущих, в НМД для перемещения МГ, в ВМ для перемещения вакуумной направляющей БВГ и др. Подразделяются ШД на двигатели с активным и реактивным ротором. Ротор ШД с активным ротором выполнен из постоянных магнитов, а с реактивным — из магнитомягкой стали с явно выраженными полюсами. Обмотка якоря ШД расположена на статоре. Фазы обмотки переключаются электронным коммутатором в определенной последовательности. При каждом переключении ось результирующего поля поворачивается на определенный угол и ротор под действием синхронизирующего момента отрабатывает единичный шаг. В разомкнутых системах шагового привода управляющие импульсы поступают на коммутатор от внешнего источника. Движение ротора в этом случае состоит из последовательности элементарных угловых перемещений, суммарный угол поворота пропорционален числу поданных импульсов, а средняя частота вращения пропорциональна их частоте. При автокоммутации управляющие импульсы поступают на вход коммутатора с датчика, установленного на валу ШД. В этом случае ШД работает в режиме БДПТ и его частота вращения определяется величиной приложенного напряжения. В табл. 4.7 приведены основные технические данные некоторых ШД.

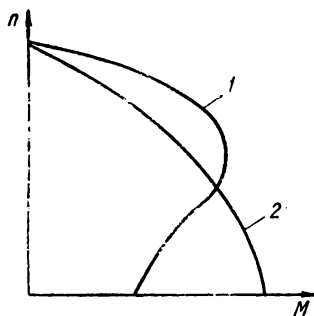


Рис. 4.4. Механические характеристики  $n = f(M)$  АКД

Асинхронные ЭД широко применяются в бытовой АМЗ, так как имеют самую низкую стоимость, обладая, в то же время, достаточно хорошими параметрами. Применяются АД с постоянно включенным конденсатором — конденсаторные АД (АКД). Они имеют на статоре две сдвинутые на 90 эл. град. обмотки; одна из которых (рабочая) подключена к сети непосредственно, а другая (дополнительная) — через конденсатор. Пусковые и рабочие свойства АКД в значительной степени зависят от выбора рабочей точки на механической характеристике, для которой соблюдается условие кругового вращающегося поля. Если это условие соблюдается при пуске, то АКД имеет хорошие пусковые свойства, но, в то же время, неудовлетворительные рабочие, так как при рабочих частотах вращения поле АКД эллиптическое. Обратное поле уменьшает вращающий момент и приводит к увеличению токов и потерь. Рабочую точку выбирают так, чтобы круговое вращающееся поле было при номинальной частоте вращения или при частоте вращения, несколько меньшей номинальной.

Работа АКД основана на взаимодействии вращающегося магнитного поля, созданного обмотками статора, с магнитным полем токов ротора, наведенных вращающимся полем статора в короткозамкнутой обмотке ротора. Ротор АКД вращается в направлении вращения поля статора. Его частота вращения меньше частоты вращения поля статора, так как только в этом случае возможно наведение токов в обмотке ротора и возникновение электромагнитных сил и вращающего момента.

В АМЗ применяются АКД, имеющие два вида механических характеристик: жесткую 1 и мягкую 2 (рис. 4.4). АКД с жесткой механической характеристикой применяются в одномоторных МТЛ, а также в двух- и трехмоторных для привода ведущего вала; АКД с мягкой механической характеристикой применяются для привода приемоподающих узлов. В табл. 4.8 приведены основные технические данные АКД, предназначенных для привода БАМЗ в качестве ведущих. Рабочее положение ЭД в пространстве — любое от горизонтального до вертикального выступающим концом вала вверх. Ниже приведены технические данные АКД, предназначенных для привода приемоподающих узлов высококачественной звукозаписывающей аппаратуры и ВМ:

	КДП-64МВ	ДАП-6-4/45МВ
Напряжение питания, В . . . . .	127/90	
Частота сети, Гц . . . . .	50	
Вращающий момент, $10^2$ Н·см, при частоте вращения:		
1000 мин <sup>-1</sup> (об/мин) . . . . .	600/300	550/250
500 мин <sup>-1</sup> (об/мин) . . . . .	—/630	
Пусковой момент, $10^2$ Н·см . . . . .	1450/700	
Потребляемая мощность, Вт:		
в режиме х. х. . . . .	35/—	
в режиме КЗ . . . . .	—/23	
Уровень акустического шума на расстоянии 0,25 м, дБ·А . . . . .	32	
Уровень электромагнитных помех, А/м, не более . . . . .	4,5	
Масса, кг . . . . .	1,95	1,8

#### 4.8. Технические данные асинхронных электродвигателей, применяемых в качестве ведущих

Тип	Номинальный момент, $10^2$ Н·см	Номинальный ток, А	Частота вращения, мин <sup>-1</sup> (об/мин)	Мощность на валу, Вт	Кратность пускового момента	Кратность максимального момента	Коэффициент мощности	КПД, %	Масса, кг
КД-0, 6-2/32П	23,2	0,042	2480	0,6	1	1,8	0,91	7,5	—
КД-1, 0-2/32П	35,7	0,063	2670	1	1,3	2,2	0,895	8,3	—
КД-1, 6-2/32П	58,4	0,09	2620	1,6	0,7	1,8	0,85	11	—
КД-2, 5-2/40П	94	0,1	2550	2,5	1	1,83	0,87	13,5	—
КД-2, 5-2	89	0,08	2700		—	—	—	—	0,6
КД-2, 5-4/1	171	0,14	1400		1	—	—	—	0,76
КД-4-2/40П	143	0,127	2680	4		2,35	0,8	18	—
КД-6-2/40П	214	0,2	1400	6	0,65	2	0,8	22	—
КД-6-4	410	0,11			0,7	1,7	—	—	1,1
КД-6-4М		0,12			1,1	2,3	0,96	23	1,15
КД-6-4МВ		0,11			0,76	1,95	0,91	27	1,15
ДА-6-4/45МВ							0,93	23	1,1
КД-10-2/40П	352	0,24	2710	10	0,68	2,1	0,81	25	—

Примечания: Напряжение питания 220 В частотой 50 Гц (ЭД типа КД-2, 5-2 и КД-2, 5-4/1 — 127 В, 50 Гц).

2. Для двигателей КД-6-4М, КД-6-4МВ, ДА-6-4/45МВ частота вращения при моменте  $2 \text{ Н} \cdot \text{см}$   $1475 \pm 15 \text{ мин}^{-1}$  (об/мин), уровень акустического шума на расстоянии 0,25 м 32 дБ·А, уровень электромагнитных помех не более 4,5 А/м.

3. Для всех двигателей, кроме КД-2, 5-2, КД-2, 5-4/1, КД-6-4, условия эксплуатации: температура окружающей среды от 1 до 55° С, относительная влажность воздуха 98% при +25° С, высота над уровнем моря не более 1000 м; точечное значение средней выработки до первого отказа не менее 2000 ч.

В табл.4.9 приведены параметры АКД для приемоподающих узлов с произвольным рабочим положением в пространстве.

#### 4.9. Технические данные асинхронных ЭД для приемоподающих узлов

Параметр	ДАМ-16	ДАМ-26	ДАМ-36	ДАМ-46	АДП-262	АДП-362
Напряжение возб. /упр., В: номинальный режим пусковой режим	127/35 127/50				110/60 110/110	
Номинальный момент, 10 <sup>2</sup> Н · см	340	487	780	1265	500	950
Пусковой момент, 10 <sup>2</sup> Н · см	487	780	1265	1940	900	1700
Номинальный ток возб./упр., А	0,17/0,35	0,18/0,45	0,26/0,8	0,4/1,5	0,23/0,58	0,6/0,65
Пусковой ток возб./упр., А	0,15/0,25	0,16/0,4	0,3/0,7	0,4/1,1	—	—
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> (об/мин)	750				1850	1950
Емкость конденсатора, мкФ	3	4	5		2,5	6,5
КПД, %	15	20	22	25	20	29
Габаритные размеры, мм: диаметр	75		95		70	85
длина	65	82	90	115	122	135
Масса, кг	0,9	1,25	2,2	3	1,6	2,6

Равномерность вращения ЭД. К ЭД, работающим в АМЗ, предъявляются жесткие требования по равномерности вращения, так как колебания частоты вращения ЭД приводят к изменению скорости носителя и искажению временного масштаба записанной информации. Колебания роторов вызывают переменные электромагнитные и механические силы в ЭД, а также колебания момента трения в узлах МТЛ. Переменные электромагнитные силы в ЭД возникают из-за пульсаций электромагнитного момента, обусловленных дискретностью переключения фаз в ЭД, питаемых от автономных инверторов, эллиптичностью вращающегося магнитного поля, несинусоидальностью распределения магнитной индукции в воздушном зазоре и неравномерной магнитной проводимостью по различным осям ЭД.

Эллиптичность вращающегося поля является следствием асимметрии напряжения питания или фазных МДС обмотки статора, вызванной неравенством сопротивлений или числа витков в фазах. Эллиптичность статора или ротора, эксцентриситет, насыщение вызывают несинусоидальное распределение магнитной индукции в воздушном зазоре. При наличии на поверхности статора и ротора зубцов появляются зубцовые реактивные моменты, которые

ухудшают равномерность вращения ротора. Конструктивными и технологическими факторами обусловлено наличие переменных механических сил в ЭД. Неправильная посадка подшипников на вал приводит в условиях изменения температуры к неравномерной деформации узлов ЭД и возникновению переменных тормозных моментов, неточная балансировка обуславливает появление переменных динамических сил. Повышение равномерности вращения ЭД достигается совершенствованием конструкции и технологии изготовления ЭД с целью устранения причин, вызывающих колебания ротора, например, применением беспазовых ЭД.

Стабилизация мгновенной частоты вращения путем применения электронных схем не дает ощутимых результатов. На практике равномерность вращения ЭД принято оценивать как нестабильность  $N$  мгновенной частоты вращения, которая равна отношению максимального перепада скорости к ее среднему значению:

$$N = (\omega_{2 \max} - \omega_{2 \min}) / \omega_{2 \text{ ср.}}$$

В общем случае изменение угла  $\theta$  между осью поля статора и ротора, а также частоты вращения ротора происходит не по гармоническому закону. Для основной (первой) гармоники качаний ротора взаимосвязь между  $N$  и амплитудой угловых колебаний описывается выражением  $N = 2\pi\theta_{1m} / 21600 K$ , где  $\theta_{1m}$  — амплитуда угловых колебаний в угловых минутах;  $K = T_k / T_0$  — отношение периода первой гармоники колебаний к периоду одного оборота ротора [16].

В табл. 4.10 приведены экспериментальные величины мгновенной нестабильности частоты вращения для различных типов ЭД.

#### 4.10. Значение мгновенной нестабильности частоты вращения для различных типов электродвигателей

Тип	Частота вращения, мин <sup>-1</sup> (об/мин)	Нестабильность частоты вращения	Угол качаний, угл. мин
Синхронные гистерезисные	6000 3000	(1—2) · 10 <sup>-4</sup> 5 · 10 <sup>-4</sup>	10—20
	1500 750	1 · 10 <sup>-3</sup> 2 · 10 <sup>-3</sup>	20—30 20—40
Постоянного тока	6000 2000	(1—5) · 10 <sup>-4</sup> 3 · 10 <sup>-3</sup>	10—15
Асинхронные	2800 1400	3 · 10 <sup>-3</sup> (5—7) · 10 <sup>-3</sup>	—

Электромагниты применяются для перемещения прижимных роликов и создания необходимого контакта с ведущим валом, отвода МЛ от МГ, в тормозных устройствах приемоподающих узлов, в приводах перемещения МГ, в механизмах переключения скоростей, а также в качестве переключателей воздухопроводов в АМЗ с пневматическим прижимом МЛ к ведущему валу. Основные требования, предъявляемые к ЭМ: высокая надежность работы в условиях выключений на протяжении длительного срока службы, небольшие масса, габаритные размеры и потребление энергии.

В АМЗ применяются нейтральные ЭМ постоянного тока. Рабочий магнитный поток этих ЭМ создается обмоткой, по которой протекает постоянный

ток, при этом действие ЭМ не зависит от направления тока в обмотке, так как развиваемое усилие является функцией магнитного потока и не зависит от его направления. В АМЗ применяются ЭМ с втягивающимся якорем, которые по количеству обмоток подразделяются на однообмоточные и двухобмоточные, с пусковой и удерживающей обмотками. К этому типу относятся самофиксирующиеся ЭМ, в которых якорь удерживается механическим фиксатором. По времени срабатывания ЭМ делятся на нормальные и быстродействующие, по режиму работы — на работающие в кратковременном и длительном режимах.

**Быстродействующие ЭМ** характеризуются ускоренным срабатыванием, т. е. уменьшенным временем действия с момента подачи импульса тока в обмотку ЭМ до момента окончания перемещения якоря от начального положения до конечного. При работе тяговых ЭМ различают рабочий цикл и возврат

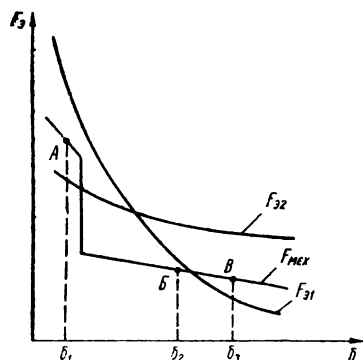


Рис. 4.5. Тяговые характеристики ЭМ

и возврат в исходное положение. В процессе рабочего цикла ЭМ выполняет свою основную функциональную задачу: перемещает прижимной ролик, МЛ и т. п. При этом проявляется действие различных сил: электромеханических, массы, трения, инерционных, а также сил возвратных пружин. К действующим в рабочем цикле относят электромагнитные силы, которые обеспечивают необходимое перемещение и удержание якоря ЭМ или подвижных элементов узла. Зависимость изменения электромагнитной силы  $F_z$  от положения якоря ЭМ или рабочего зазора  $\delta$  при неизменном токе в обмотке называют статической тяговой характеристикой ЭМ:  $F_z = f(\delta)$  при  $I = \text{const}$ . Характеристикой противодействующих сил (статической) называют зависимость противодействующих сил  $F_{мех}$ , приведенных к точке при-

ложения электромагнитной силы, от величины рабочего зазора  $F_{мех} = f(\delta)$ .

Электромагниты втяжного типа имеют различные тяговые характеристики в зависимости от формы конструктивного выполнения конца (стопа) якоря. На рис. 4.5 показаны тяговые характеристики двух ЭМ: с плоским  $F_{z1}$  и коническим  $F_{z2}$  стопом. Кривая  $F_{z2}$  имеет более пологий характер, чем кривая  $F_{z1}$ , при этом большое влияние на вид характеристики оказывает угол при вершине конических поверхностей, образующих рабочий зазор ЭМ. Чем меньше этот угол, тем более пологий характер имеют тяговые характеристики. На этом же рисунке показана механическая характеристика противодействующих сил  $F_{мех}$ . Для нормальной работы ЭМ механическая характеристика противодействующих сил должна всегда лежать ниже тяговой характеристики.

Например, ЭМ с плоским стопом будет работать с зазором  $\delta_2$  и меньше, так как при зазоре  $\delta_2$  в точке B сила противодействующей пружины больше электромагнитной силы тяги, а ЭМ с коническим стопом не сработает, так как при зазоре  $\delta_1$  в точке A сила противодействующей пружины превышает силу тяги ЭМ. Ввиду того, что усилие удержания ЭМ в большинстве случаев значительно превышает начальное усилие срабатывания, для снижения потребляемой мощности обмотку электромагнита включают через добавочное сопротивление, которое шунтируется на время срабатывания ЭМ.

Для конкретного применения ЭМ выбирают после определения основных требований, которым должен удовлетворять ЭМ при работе в данном узле АМЗ. К ним относятся: вид тяговой характеристики, рабочий ход якоря, напряжение питания, потребляемая мощность, желаемые габаритные размеры и масса, а также вид механической характеристики противодействующих

сил. При расчете этой характеристики следует учитывать, что, кроме противодействующей пружины, ЭМ должен преодолевать, особенно при воздействии повышенных ускорений, массу якоря и подвижных элементов узла, сочлененных с якорем, силу трения в опорах элементов и их инерционность. Характеристика противодействующих сил должна проходить всегда ниже тяговой характеристики ЭМ. Обычно в технических условиях на ЭМ вместо тяговой характеристики приводятся начальное усилие срабатывания для определенного значения хода якоря, а также усилие удержания. В большинстве практических случаев в АМЗ этого достаточно. Необходимо только номинальное значение начального усилия взять с коэффициентом запаса  $K = 1,2...1,6$ .

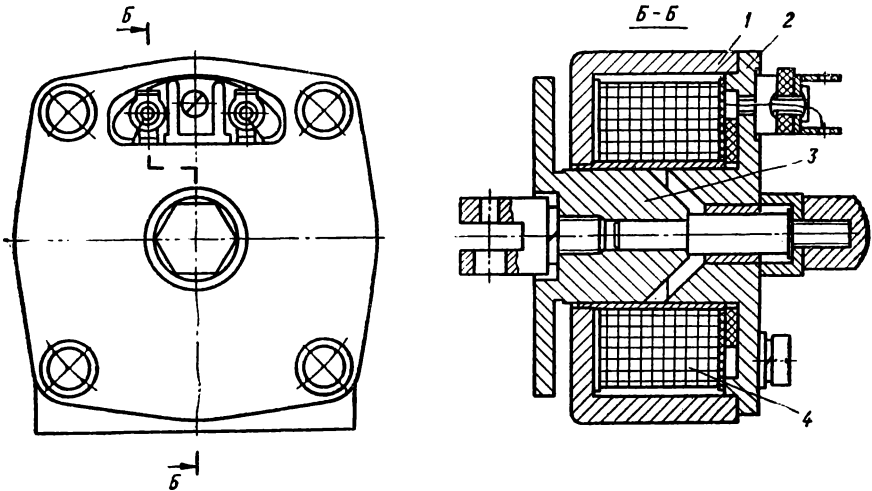


Рис. 4.6. Однообмоточный ЭМ с втягивающимся якорем

Ниже приведены основные технические данные однообмоточных ЭМ (рис. 4.6) для АМЗ:

	3254031 (3254031-01)	3254031-02 (3254031-03)
Напряжение питания, В . . . . .		27
Рабочий ход, мм . . . . .	1,5 (2)	2 (3)
Усилие, Н:		
срабатывания . . . . .	5,6 (3,6)	7,9 (3,9)
удержания . . . . .	79	98
Потребляемая мощность, Вт . . . . .	8	8,5
Габаритные размеры, мм . . . . .	40 × 44 × 46	40 × 44 × 66
Масса, кг . . . . .	0,22	0,32

Каждый ЭМ конструктивно представляет собой корпус 1 с крышкой 2 из магнитомягкой стали, выполненные методом литья по выплавляемым моделям, внутри которого находится якорь 3 и катушка 4. Каркас катушки, имеющий латунную гильзу, является одновременно и направляющей для якоря.

Технические данные быстродействующих самофиксирующихся ЭМ типа ЭВФ приведены в табл. 4.11. Разработанные М. А. Онаевичем ЭМ этого типа отличаются наличием механического фиксатора особой конструкции на шариках, который при срабатывании ЭМ жестко фиксирует якорь, в результате чего он остается в притянутом состоянии после отключения рабочей обмотки. Для приведения якоря в исходное положение необходимо в обмотку сброса

#### 4.11. Технические данные самофиксирующихся ЭМ типа ЭВФ

Параметр	ЭВФ 15	ЭВФ 21А (Б)	ЭВФ 28А (Б)	ЭВФ 34А (Б)	ЭВФ 40А (Б)
Напряжение питания, В	27	27—48			
Рабочий ход, мм	3,5	6	7	9	11,5
Усилие, Н:					
срабатывания	5,9	10	22	39	62
удержания	15	(40)	(90)	(150)	(180)
Потребляемый ток в импульсе, А:					
втягивание	1,5	1,5	3	4,2	4,6
сброс	1	1,5	1,4	1,8	1,5
Быстродействие, мс:					
втягивание	—	25		35	80
сброс	—	10			15
Габаритные размеры, мм:					
диаметр	15	21	28	34	40
длина	48	61	71	80	95
Масса, кг	0,05	0,14	0,27	0,45	0,75

подать импульс тока — фиксатор разблокируется и при наличии возвратной пружины якорь займет исходное положение. Достаточно, чтобы длительность импульса тока в режиме втягивания и сброса была 0,5—1 с.

## 2. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МТЛ

Пневматическая система (ПС) предназначена для:

длительного обеспечения узлов МТЛ (вакуумный ведущий вал, вакуумные буферные карманы, направляющие МЛ стойки, газовые опоры скоростного ЭД БВГ, устройства избыточного давления воздуха под крышкой МТЛ и др.) разреженным или сжатым воздухом по отношению к нормальному атмосферному в рабочих режимах АМЗ;

кратковременного обеспечения отдельных узлов МТЛ, обычно только сжатым воздухом, в течение некоторого времени (30—60 с) при аварийной ситуации, например, для питания газовых опор скоростного ЭД БВГ до полной его остановки в случае аварийного отключения электропитания АМЗ;

визуальной индикации давлений в ответственных точках пневмопитания МТЛ;

автоматической стабилизации, распределения и переключения давлений в зависимости от режимов работы АМЗ;

выдачи электрических сигналов от пневматических датчиков на электроавтоматику МТЛ при нарушении давлений в ответственных точках пневмопитания.

Пневматические системы широко применяются в студийных профессиональных ВМ РСЗ и НСЗ-AVR-1 (AMPEX), ВСМ-40Е (Bosch Fernseh), «Кадр-5» (ВНИИТР), ТТV-3500 (Thomson) и др.; в МТЛ вычислительной техники — ТD1000 (TANDBERG), ZBM-101 (Karl Zeis Iena), ЕС-5061 (Изот, Болгария); в высококачественной АТМЗ широкополосных сигналов — VR-3010 (AMPEX), ML-1601 (Schlumberger) и др.

Пневмосистема в АМЗ создает избыточное давление воздуха:

$P_1 = (3...4) \cdot 10^5$  Па ( $3...4$  кгс/см<sup>2</sup>) при расходе по входу 50—60 л/мин для питания газовых опор скоростного ЭД БВГ;

$P_2 = (0,4...0,5) \cdot 10^6$  Па ( $0,4...0,5$  кгс/см<sup>2</sup>) для питания направляющих МЛ стоек и вакуумметрические давления;

$P_3 = (8,5...9) \cdot 10^4$  Па [ $(-0,15...-0,1)$  кгс/см<sup>3</sup>] для питания вакуумного ведущего вала;

$P_4 = (9 \pm 25\%) \cdot 10^4$  Па [ $(-0,1 \pm 0,25)$  кгс/см<sup>2</sup>] для питания вакуумной направляющей камеры БВГ;

$P_5 = (9,6...9,8) \cdot 10^4$  Па [ $(-0,04...0,02)$  кгс/см<sup>2</sup>] для питания буферных вакуумных карманов. Суммарный расход воздуха вакуумметрического давления составляет 600—800 л/мин.

Воздух избыточного давления получают от одного мощного компрессора или двух менее мощных, работающих параллельно через обратный клапан, вакуумметрического — от одного вакуумного насоса, а различные давления и производительность для пневмопотребителей обеспечиваются путем дросселирования, эжектирования и редуцирования.

Конструктивно РС состоит из следующих функциональных устройств: пневмопитания сжатым воздухом наиболее высокого значения с накопителем-стабилизатором давления — ресивером и фильтрами предварительной очистки; пневмопитания разреженным воздухом низкого давления одного самого максимального значения; распределения, автоматического контроля и стабилизации, переключения давлений и окончательной очистки воздуха в зависимости от режимов работы АМЗ; индикации давлений в жизненно важных узлах пневмопотребителей. Функциональные устройства между собой соединяются арматурой — резинотканевыми шлангами и поливинилхлоридными трубками различного проходного сечения через входные и выходные присоединительные штуцеры и обратные клапаны.

Пневматические системы АМЗ различают принципиально по схемному решению (простые и сложные).

Простая РС обеспечивает пневмопитание одного или двух-трех различных узлов МТЛ, например вакуумных карманов или газовых опор двигателя БВГ и вакуумной направляющей ленты. Простая РС (рис. 4.7) видеомагнитофонов модели VR = 1200В фирмы АМРЕХ содержит три цепи: питания газовых опор двигателя 9 БВГ воздухом избыточного давления  $P_1 = 2,5 \cdot 10^6$  Па ( $2,5$  кгс/см<sup>2</sup>), прижима МЛ к вакуумной направляющей камере 11 давлением  $P_2 = 9 \cdot 10^4$  Па ( $-0,1$  кгс/см<sup>2</sup>) и отсоса ферропыли из зоны вращающихся головок 10 давлением  $P_3 = 9,5 \cdot 10^4$  Па ( $-0,05$  кгс/см<sup>3</sup>).

Для первой цепи засасываемый из атмосферы АТМ воздух через фильтр 23 поступает в поршневой компрессор 22, затем через штуцер с обратным клапаном 21 нагнетается в ресивер 20. Из ресивера сжатый воздух проходит через фильтр-влагоотделитель 14 с автоматическим спуском конденсата и фильтр тонкой очистки 15 на газовые опоры ЭД 9, мембранное реле давления 16 и манометр 17. Реле настроено так, что при давлении воздуха в опорах ниже  $2 \cdot 10^5$  Па ( $2$  кгс/см<sup>2</sup>) мембрана замыкает контакты, подавая сигнал на автоматику ВМ, которая выключает последний и включает резервный ВМ.

Для второй цепи вакуумный насос 3 через фильтр 6 создает разрежение в рабочей полости направляющей камеры 11, прижимая МЛ к радиусной поверхности последней. Нагреваемый от сжатия и малого расхода воздух из выхлопного патрубка насоса 3 попадает в фильтр-влагоотделитель 2 с автоматическим спуском конденсата и фильтр воздуха 1, охлаждается и выхлопы-



вается в атмосферу. При случайном увеличении степени разрежения открывается обратный клапан 4 и через фильтр-влажгодетельитель 5 засасывается воздух из атмосферы, снижая автоматически до номинального значения разрежение воздуха, после чего клапан вновь закрывается. О степени разрежения воздуха сигнализируют вакуумметр 8 и реле давления 7.

В третьей цепи отсасывается ферропыль от вращающихся головок 10 вакуум-насосом 13 через фильтры 12 и 19. При большой загрязненности фильтра 12 степень разрежения увеличивается и срабатывает реле 18, сигнализируя о необходимости чистки фильтра 12.

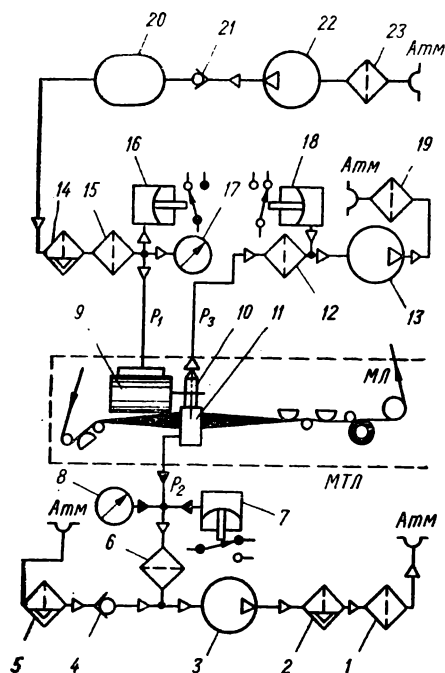


Рис. 4.7. Пневматическая схема простой пневмосистемы

При сжатии воздуха его температура и относительная влажность повышаются (последняя может достигнуть насыщения по мере охлаждения и конденсации влаги в сжатом воздухе), что может вывести ПС из строя. Поэтому после сжатия воздух пропускают через мощный двоянный охладитель 6, трубопровод 7 и фильтр-влажгодетельитель 8, который автоматически спускает конденсат через испаритель 34 в атмосферу *Атм.* Отфильтрованный сжатый воздух давлением  $3,16 \cdot 10^6$  Па ( $3,16$  кгс/см<sup>2</sup>) проходит через фильтр 9 в ресивер 10. Ресивер, как резервуар большой емкости (30—40 л сжатого воздуха), выполняет функции стабилизации давления воздуха, подаваемого через фильтры-влажгодетельители 11 и 13, трубопроводы 12, 14 и 15 на газовые опоры двигателя 16 БВГ, и кратковременного питания этих опор в течение 30—60 с в случае аварийного отключения сетевого напряжения питания ВМ, пока ротор ЭД с ВГ не остановится. Фильтры 9, 11 и 13 соединяются выпускными отверстиями через трубопровод 33 с испарителем 34. Из ресивера 10, если необходимо, регулятор 35 отводит избыток сжатого воздуха в атмосферу, поддерживая давление на заданном уровне. В цепи пневмопитания ЭД 16 установлены манометр

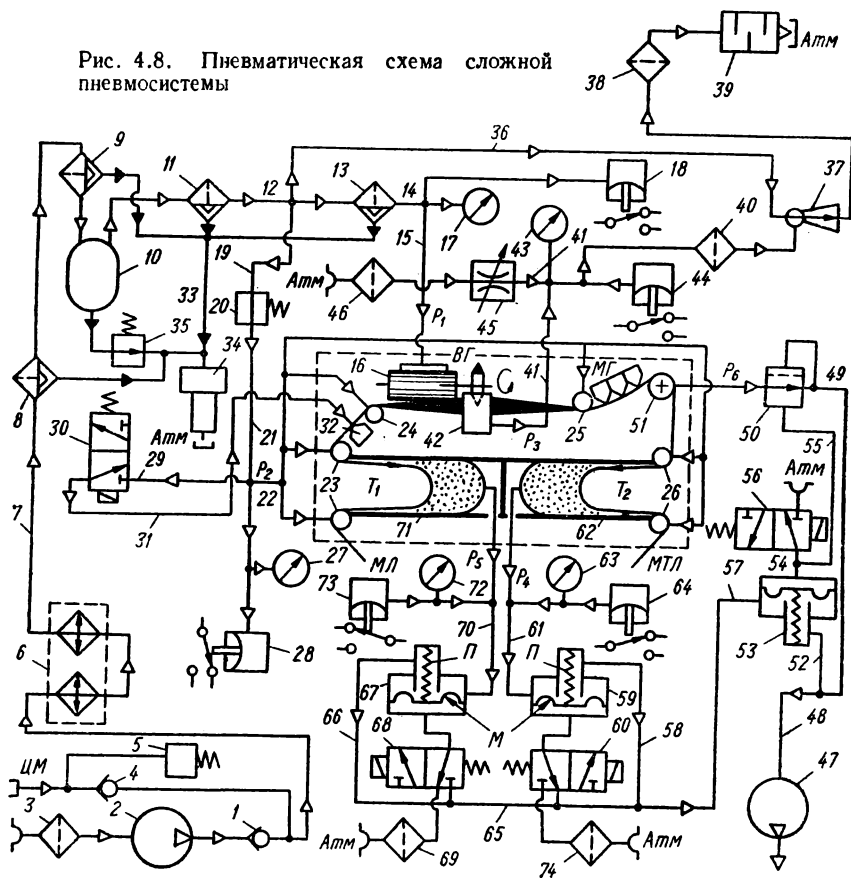
Сложная ПС (рис. 4.8) первого

ВМ третьего поколения AVR-1 фирмы AMPEX содержит пять цепей: питания сжатым воздухом высокого давления  $P_1 = 2,81 \cdot 10^6$  Па ( $2,81$  кгс/см<sup>2</sup>) газовых опор двигателя 16 БВГ и низкого давления  $P_2 = 0,25 \cdot 10^6$  Па ( $0,25$  кгс/см<sup>2</sup>) направляющих МЛ стоек 23, 24, 25 и 26, питания разреженным воздухом давлением  $P_3 = 8,984 \cdot 10^4$  Па ( $-0,1016$  кгс/см<sup>2</sup>) вакуумной направляющей камеры 42, давлением  $P_4 = 9,6 \cdot 10^4$  Па ( $-0,04$  кгс/см<sup>2</sup>) и  $P_5 = 9,8 \cdot 10^4$  Па ( $-0,02$  кгс/см<sup>2</sup>) вакуумных карманов 62 и 71 соответственно, давлением  $P_6 = P_3$  вакуумного ведущего вала 51. Сжатый воздух высокого давления подается от встроенного поршневого компрессора 2 через заборный фильтр 3 или от центральной магистрали ЦМ, создающей давление  $3,87 \times 10^6$  Па ( $3,87$  кгс/см<sup>2</sup>). При отсутствии магистрали или при падении давления в ней ниже  $3,52 \times 10^6$  Па ( $3,52$  кгс/см<sup>2</sup>) реле давления 5 включает встроенный компрессор. При этом один обратный клапан, например 1, пропускает сжатый воздух дальше в ПС, а другой, 4, перекрывает бездействующее входное отверстие магистрали, или наоборот.

17 и реле давления 18, которые через автоматику МТЛ выключают электропитание ЭД БВГ.

Сжатый воздух низкого давления  $P_3$  подается от того же компрессора высокого давления 2. После фильтра 11 через редуктор 20 сжатый воздух через трубопровод 21 попадает в узел 22 разводки с давлением  $P_2$ , а затем в направляющие стойки 23, 24, 25 и 26. В режимах воспроизведения, ускоренных переметок включается переключатель 30, который открывает путь сжатому воз-

Рис. 4.8. Пневматическая схема сложной пневмосистемы



духу низкого давления через трубопровод 31 на ГС 32. При этом МЛ благодаря газовой смазке не имеет контакта с ГС, уменьшаются потери на трение и износ ленты и головки. Реле давления 28 и манометр 27 включены в цепь пневматического стока.

Разреженный воздух давлением  $P_3$  для вакуумной направляющей камеры 42 получают от системы высокого давления сжатого воздуха при подаче его на эжектор 37, фильтр 38 и глушитель 39 в атмосферу. Направляющая камера соединена с эжектором через фильтр 40, трубопровод 41, который в свою очередь соединен с дроссельным регулятором 45 и через фильтр 46 с атмосферой. Регулятор обеспечивает необходимый подсос атмосферного воздуха для создания заданного разрежения вакуума, которое измеряется вакуумметром 43 и о котором сигнализирует вакуумное реле 44. Разрежение воздуха в вакуумных

карманах 71 и 62 на ведущем валу 51 создается одним осевым вакуумным насосом 47. При этом через трубопроводы 48 и 49 большого проходного сечения ( $6-7 \text{ см}^2$ ) и через мембранный клапан 50 создается разрежение давлением  $P_8$  на ведущем валу. Электромагнитный клапан 56 в режиме ЗВ и ускоренных перемоток переключает путь 54 в мембранный переключатель 53 атмосферному воздуху. Вакуум от насоса 47 через трубопроводы большого проходного сечения распространяется на мембранный переключатель 53, после которого через трубопроводы 57, 58, 65 и 66 на мембранные регуляторы 59 и 67. Последние соединены трубопроводами 61 и 70 большого сечения с левым 71 и правым 62 вакуумными карманами МТЛ. К этим трубопроводам подсоединены шланги малого проходного сечения (около  $0,8-1 \text{ см}^2$ ) с вакуумными реле 64 и 73, вакуумметрами 63 и 72, показывающими давления  $P_4$  и  $P_5$ .

Натяжение МЛ в карманах  $T_1$  и  $T_2$  выбирается таким, что  $T_2$  больше  $T_1$  на величину потерь на трение в тракте рабочей зоны (уравновешенная схема натяжений относительно ведущего вала). Это обеспечивается тем, что разрежение в кармане 62 в режимах ЗВ и перемотки вперед должно быть выше, чем в кармане 71 практически в два раза, т. е.  $P_4 = 2P_5$ . Последнее обеспечивается тем, что проходные сечения в системе сопло — заслонка мембранных регуляторов 59 и 67 должны быть разными: больше в регуляторе 59 и меньше в регуляторе 67. Для этого в регулятор 59 с нижней стороны мембраны  $M$  через трубопровод небольшого сечения ( $0,05 \text{ см}^2$ ) подводится разреженный воздух посредством переключателя 60. Мембрана находится в уравновешенном состоянии под противодействием только тарированной пружины  $P$ . Под мембрану  $M$  регулятора 67 через фильтр 69 и электромагнитный переключатель 68 подается атмосферный воздух, его давление уменьшает проходное сечение между соплом и мембраной (заслонкой) до отрегулированной величины. В режиме перемотки назад включаются оба электромагнитных переключателя 60 и 68, изменяя проходные сечения в мембранных регуляторах 59 и 67 на обратные, т. е.  $P_5 = 2P_4$ .

При режиме заправки МЛ в тракт МТЛ включается переключатель 56, подводя атмосферный воздух в клапан 50 и переключатель 53, что резко уменьшает их проходные сечения и давления воздуха в ведущем валу и вакуумных карманах. При этом МЛ заправляется без деформации, рывков, морщин, присутствующих при заправке с вакуумным давлением в этих элементах. Вакуумный насос представляет собой воздушную ЭД, соединенные между собой клиноремной передачей, включающей трехступенчатые шкивы на валах и натянутый ремень. Первая ступень предназначена для самой низкой скорости воздушной ЭД, что соответствует работе ВМ в местности, расположенной на уровне 914,4 м над уровнем моря, вторая ступень — для средней скорости при работе на уровне от 914,4 м до 1828,8 м и третья ступень — для самой высокой скорости воздушной ЭД при работе на высоте свыше 1828,8 м. Таким образом, частота вращения ротора воздушной ЭД увеличивается в соответствии с увеличением высоты местности для того, чтобы обеспечить постоянный уровень вакуума в ПС [21].

По конструктивному исполнению ПС разделяются на автономные и комбинированные. Автономные ПС имеют свои источники пневмопитания сжатым и разреженным воздухом, комбинированные сжатым и предварительно очищенный воздух получают от централизованной воздушной магистрали объекта установки АМЗ (телецентра; студии), в случае аварийного отключения этой магистрали — от автоматически включаемой автономной ПС.

Пневмоэлементы и соединительные устройства между ними входят в любую ПС. Пневмоэлементы делятся на показывающие (манометры и вакуумметры), регулирующие (редукторы, дроссели, пневморегуляторы), переключающие (пневмоклапаны, вентили), электросигнализирующие (датчики конечных или диапазона давлений), очищающие (фильтры воздуха, влаги, блок-стабилизаторы).

*Манометры типа МТ* с одновитковой трубчатой пружиной предназначены для измерения и отсчета показаний избыточного давления жидких и газообразных сред в условиях умеренного климата по категории 4 (ГОСТ 51150—69) при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $+60^\circ \text{C}$ , относительной влажности до 95% при температуре до  $35^\circ \text{C}$ .

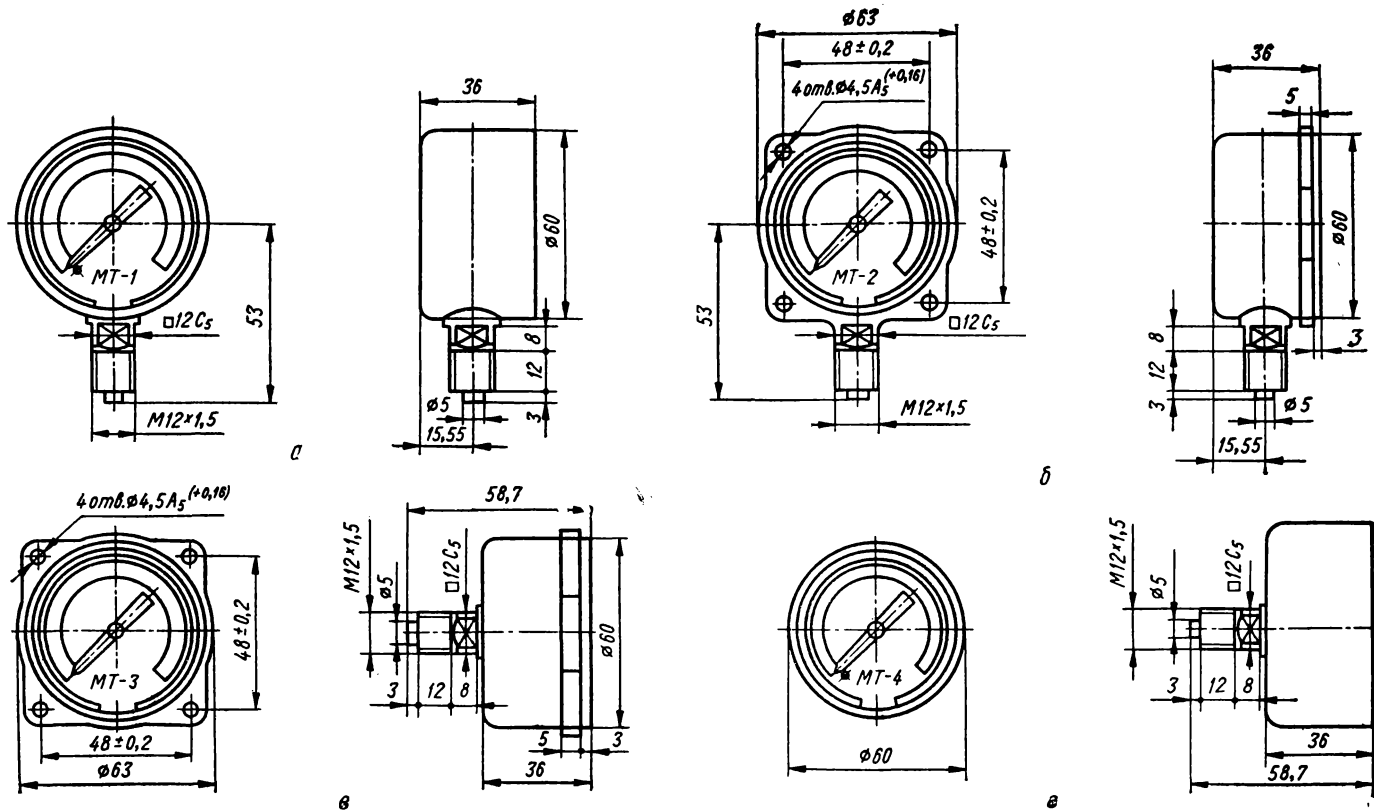


Рис. 4.9. Габаритные чертежи манометров серии МТ

#### 4.12. Пределы измерения давления манометрами типа МТ

Верхние, МПа	Рабочие, МПа		Цена деления шкалы, МПа
	постоянного давления	переменного давления	
0,16 (1,6)	0,12 (1,2)	0,11 (1,1)	$5 \cdot 10^{-3}$ (0,05)
0,25 (2,5)	0,19 (1,9)	0,17 (1,7)	$1 \cdot 10^{-2}$ (0,1)
0,4 (4)	0,3 (3)	0,28 (2,8)	$2 \cdot 10^{-2}$ (0,2)
0,6 (6)	0,46 (4,6)	0,4 (4)	$2 \cdot 10^{-2}$ (0,2)
1 (10)	0,75 (7,5)	0,65 (6,5)	$5 \cdot 10^{-2}$ (0,5)

Примечание. В скобках указаны значения давления в кгс/см<sup>2</sup>.

#### 4.13. Пределы измерения давления мембранными приборами (МП)

Обозначение	Прибор мембранный	Верхние пределы измерений, кгс/м <sup>2</sup>
ТмМП-100*	Тягомер	40, 60, 100, 160, 250, 600, 1000, 1600, 2500, 4000
ДТмМП-100	Дифманометр-тягомер	40, 60, 100, 160, 250, 400, 600, 1000, 1600, 2500, 4000
НМП-100	Напоромер	40, 60, 100, 160, 250, 400, 600, 1000, 1600, 2500, 4000
ДНМП-100	Дифманометр-напоромер	40, 60, 100, 160, 250, 400, 600, 1000, 1600, 2500, 4000
ТНМП-100	Тягонапоромер	20, 30, 50, 80, 125, 300, 500, 800, 1250, 2000
ДТНМП-100	Дифманометр-тягонапоромер	20, 30, 50, 80, 125, 300, 500, 800, 1250, 2000

\* Цифра указывает диаметр корпуса.

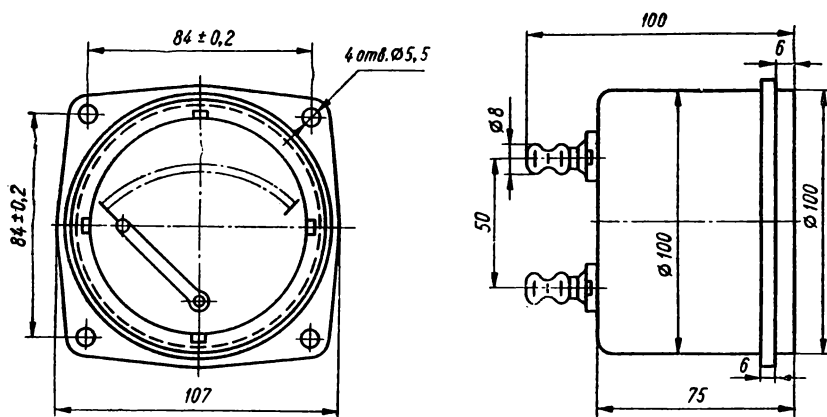


Рис. 4.10. Габаритный чертеж мембранных приборов

**Манометры типа МТ-Т** (тропическое исполнение) предназначены для работы в условиях сухого и влажного тропического климата по категории 4 (ГОСТ 51150—69) и категории 3 (ГОСТ 17532—72) при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $+60$  °С и относительной влажности воздуха до 98% при температуре до 35° С.

Манометры МТ-1 и МТ-4 (рис. 4.9, а, з) крепятся на панели винчиванием штуцеров (только ключом к штуцеру, прикладывать усилие к корпусу запрещается) в гнездо с резьбой М12 × 1,5, а МТ-2 и МТ-3 (рис. 4.9, б, в) — четырьмя винтами М4 за фланец. При монтаже манометров следует применять амортизаторы, уменьшающие воздействие вибраций, тряски и ударов. Класс точности манометров — 4, они могут работать при наклонах корпуса от рабочего (вертикального) положения, при этом погрешности показаний до 2% от верхнего предела измерений при наклоне до 45° и 4% — при наклоне от 45 до 90°. Пределы измерений давления манометрами типа МТ приведены в табл. 4.12. Изготовитель — московский завод «Калибр».

В качестве измерителя давления разреженного воздуха применяют **вакуумметры** (мембранные приборы, табл. 4.13). Эти приборы могут также измерять избыточное давление воздуха, разность избыточных и вакуумметрических давлений. Приборы в нормальном исполнении предназначены для работы при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+50$  °С и относительной влажности до 95%, в тропическом исполнении — от  $-20$  до  $+55$  °С и относительной влажности до 98%. Класс точности приборов — 2,5, масса — не более 1 кг. Измеряемое давление (разрежение) подводится поливинилхлоридными трубками с внутренним диаметром 6 мм в строгом соответствии со знаками, указанными на корпусе: «+» — штуцер для измерения большого и «-» — для измерения меньшего вакуумметрического или избыточного давления. Если знаки отсутствуют, то присоединяют к любому штуцеру. Габаритно-монтажные размеры приборов указаны на рис. 4.10. Срок гарантии — 2г. со дня отгрузки с завода-изготовителя, но не менее 2000 ч. Изготовитель — Саранский приборостроительный завод.

В **фильтрах-влагоотделителях** ФВ-6 (рис. 4.11) и ФВ-25 (ГОСТ 5.800—71) воздух предварительно очищается при прохождении его через слой стеклянных волокон 3, заключенных в фильтрующем стакане 2. Снаружи стакан обвивается тремя слоями фильтрующей ткани 1 Петрянова, проходя через которые воздух окончательно очищается от частиц размером 0,1—0,5 мкм.

Фильтры ФВ-6 и ФВ-25 серийно выпускает Каменец-Подольский приборостроительный завод.

Блок фильтра со стабилизатором давления типа ФСВ6-337 (рис. 4.12) предназначен для окончательной очистки воздуха от механических примесей,

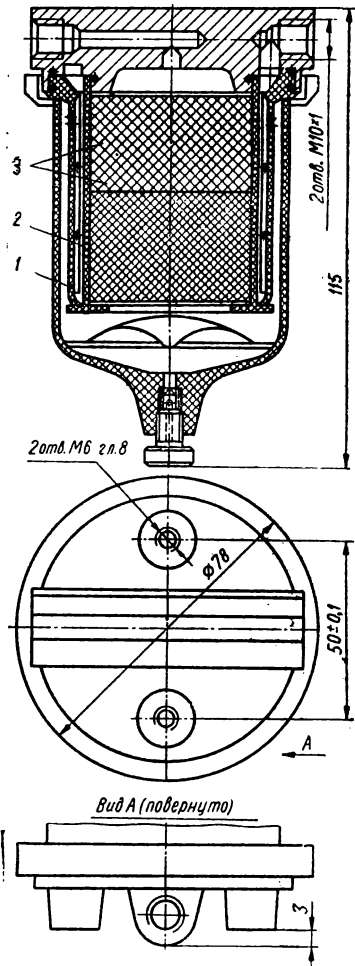


Рис. 4.11. Фильтр-влагоотделитель ФВ-6

Технические характеристики фильтров типа ФВ

	ФВ-6	ФВ-25
Присоединительная резьба . . . . .		M10 × 1
Номинальное рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> · 0,1) . . . . .		8 · 0,1 99,95
Степень очистки воздуха, %, не менее		99,95
Номинальная тонкость фильтрации, мкм . . . . .		0,2
Номинальная пропускная способ- ность, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	6	25
Номинальный перепад давлений (по- тери), МПа, не более . . . . .		0,02
Габаритные размеры, мм . . . . .	78 × 115	85 × 135
Масса, кг . . . . .	0,4	0,6

влаги, масла и поддержания заданного пониженного (средицированного) выходного давления постоянным, независимым от колебаний давления и рас-

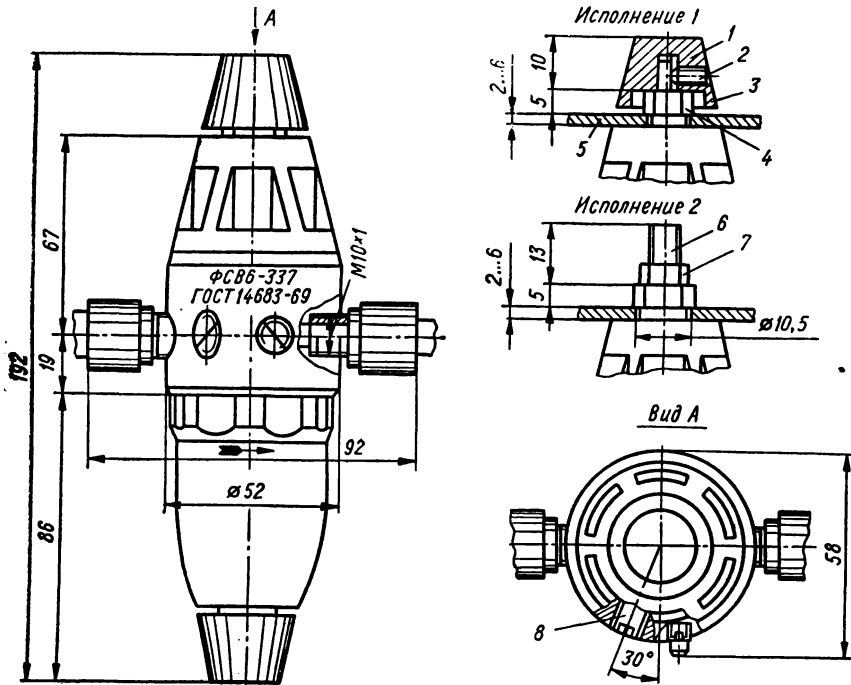


Рис. 4.12. Блок фильтра со стабилизатором давления воздуха ФСВ6-337

хода воздуха на входе в широких пределах. Для крепления прибора ФСВ6-337 (исполнение 1) необходимо ослабить стопорный винт 2, снять головку регулировочного винта 1, вывернуть втулку 4 (размер под ключ 14 мм), установить прибор на кронштейне или панели 5 и закрепить втулкой 4, укрепить головку 1 стопорным винтом 2. При исполнении 2 резьбовой конец 6 регулировочного винта контрится гайкой 7. Давление на выходе прибора можно измерить манометром, установленным вместо заглушки 8 с резьбой M10 × 1.

Фильтр серийно выпускает московский завод «Калибр».

Технические характеристики фильтра ФСВ6-337

Допускаемое давление на входе МПа (кгс/см <sup>2</sup> · 0,1):		
наибольшее . . . . .		6 · 0,1
наименьшее . . . . .		3,2 · 0,1
Диапазон регулирования давления на выходе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> · 0,1) . . . . .		(0,5 — 2) · 0,1
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч:		
наибольший . . . . .		6
наименьший . . . . .		0
Погрешность стабилизации давления, МПа (кгс/см <sup>2</sup> · 0,1):		
от колебания сетевого давления . . . . .		0,015 · 0,1
от изменения расхода воздуха . . . . .		0,05 · 0,1
от повторного включения . . . . .		0,007 · 0,1
Степень очистки воздуха, % . . . . .		99,95
Масса, кг . . . . .		0,37
Номинальная тонкость фильтрации, мкм . . . . .		0,2
Замена фильтрующего патрона, ч, не ранее . . . . .		3000

Электропневмопереключатель ПППР5 (рис. 4.13, а, б) содержит подпружиненную мембрану 2, которая при обесточенном ЭМ 5 способствует пневмосоединению общего отверстия 1 с отверстием 12. При подаче питания 27 В на обмотку ЭМ мембрана, притягиваясь к столу 4, перекрывает пневмоканалы 1—12 и открывает путь воздуху через отверстия 11—1. Прибор серийно изготавливает Каменец-Подольский приборостроительный завод по ТУ25—02.380. 511—74.

Соединительные или арматурные устройства включают концевые и переборочные штуцера, тройники, угольники, крестовины и пневмошланги (поливинилхлоридные или резинотканевые). Концевые элементы арматуры (рис. 4.14, а, в, г) вкручиваются в измерительные приборы, фильтры, а переборочные (рис. 4.14, б, д) — предназначены для перехода пневмошлангов из одного блока в другой через стенки (переборки). Для профессиональной АМЗ элементы арматуры изготавлиют из стали 35 с последующим кадмированием, для АМЗ, работающей в условиях повышенной влажности (до 98%), арматуру изготавлиют из нержавеющей сталей: 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 41Х8Н2М.

Соединение арматуры 1 с трубкой 6 (рис. 4.15, а) с помощью специальных гаек 5 отличается простотой, высокой технологичностью сборки и ремонта. В тело приборов 3 арматура устанавливается на герметике УТ-32 через паранитовую шайбу 2 толщиной 1,5—2 мм и затягивается контргайкой 4. Заглушка 7 (рис. 4.15, б) также устанавливается на герметике УТ-32 через паранитовую шайбу 2. Конструктивные размеры арматуры и гаек приведены в табл. 4.14.

4.14. Основные размеры арматурных устройств, мм

Внутренний диаметр и толщина трубок	Диаметр резьбы d	Штуцеры (рис. 4.14)											Гайки (рис. 4.15)						
		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	l	l <sub>1</sub>	H	h	h <sub>1</sub>	S	S <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	D	L	l		
3 × 1	M8 × 1																		
4 × 1,5	M10 × 1	4	5,5	24	42	31	26	24	36	12		6	12	5,3	7	10	12	14	8
6 × 1,5 (6 × 2)	M14 × 1	5,6	8	28	52	35	31	27	51	17	8	12	17	10	16	18	12		



Поливинилхлоридные медицинские трубки являются отличным элементом арматуры ПС АМЗ и применяются преимущественно для внутренних соединений между фильтрами, пневмореле, клапанами, измерительными приборами и некоторыми внешними междублочными. Температура внутри блока не должна превышать  $50^{\circ}\text{C}$ , так как при большой температуре трубки сильно размягчаются, провисая и изменяя проходное сечение, что может сильно изменить давление и производительность узлов пневмопотребления, обычно сжа-

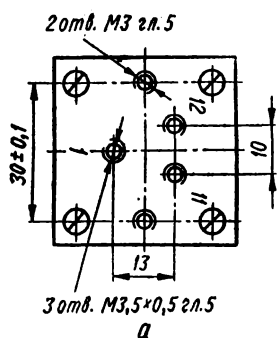
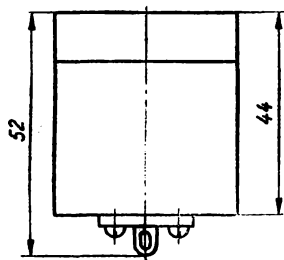
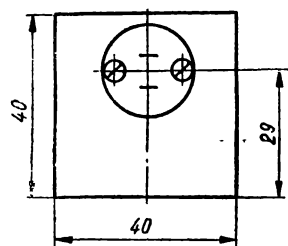
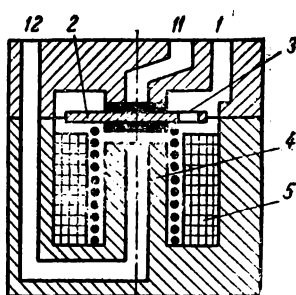


Рис. 4.13. Электропневмопреобразователь ППР5:

*a* — габаритный чертеж (крепится двумя винтами МЗ, три штуцера подсоединяются через резьбу МЗ,5×0,5); *б* — схема переключения (отверстия 1, 11 и 12 соответствуют заводской маркировке)



того воздуха. По этим же соображениям длина свободно расположенных трубок не должна превышать 200—300 мм, а при большем значении необходимо применять промежуточные крепления ее на стойках, хомутиках и других элементах. Технические данные поливинилхлоридных трубок приведены в табл. 4.15.

*Пневмореле* как вакуумметрического, так и избыточного давлений (рис. 4.16, *a*, *б*) основаны на замыкании (размыкании) электрических контактов, встроенных или автономных как в микропереключателе 3, штоком 2, который соединяется с плоской мембраной 4. Последняя при уменьшении давления ниже заданного возвращается назад в первоначальное состояние под действием пружины 5. Неглубокая полость в корпусе *б* соединяется через штуцер 1

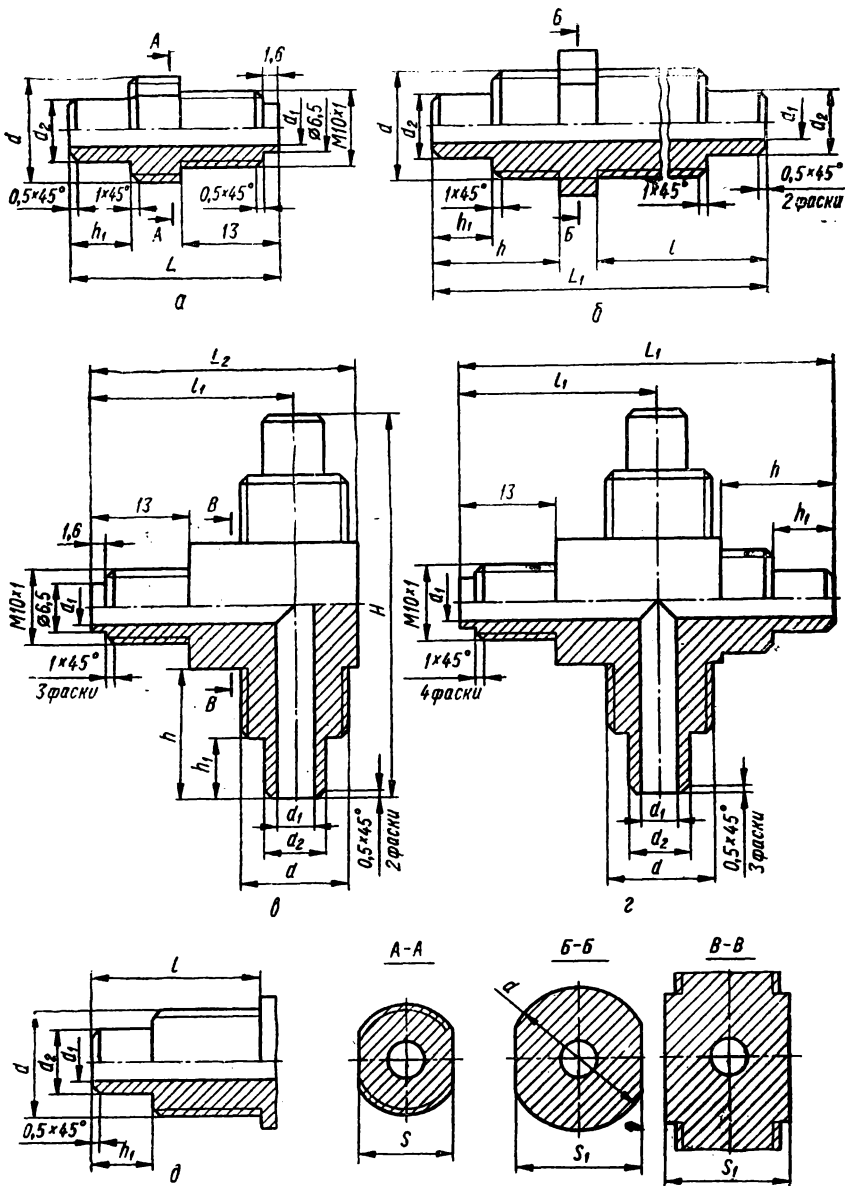


Рис. 4.14. Концевые и переборочные элементы арматуры пневмосистемы

с контролируемым узлом пневмосистемы АМЗ. Чем больше диаметр мембраны, тем более чувствительно пневмореле, которое можно применять для контроля узлов пневмосистемы с небольшим давлением. Усилие, кг, развиваемое по оси

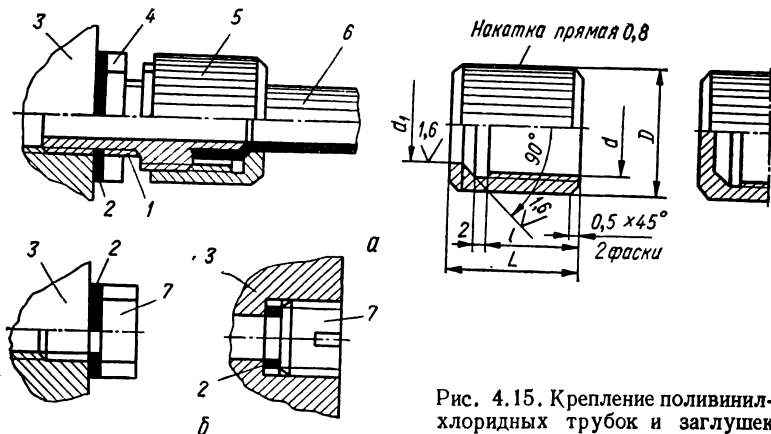


Рис. 4.15. Крепление поливинилхлоридных трубок и заглушек

мембраны на контактную группу, рассчитывается по формуле  $F = PS$ , где  $P$  — давление воздуха, МПа · 10;  $S$  — площадь мембраны, см<sup>2</sup>.

Пневмореле с мембраной диаметром 20 мм и толщиной полотна 0,3 мм хорошо работает в цепи пневмопитания вакуумного ведущего вала и направляю-

#### 4.15. Размеры и характеристики поливинилхлоридных трубок

Внутренний диаметр, мм		Толщина стенки, мм		Внутренний диаметр, мм		Толщина стенки, мм	
Номинал	Допуск	Номинал	Допуск	Номинал	Допуск	Номинал	Допуск
3,5	±0,2	1		7 8 10	±0,5	0,7; 1,5	±(0,1; 0,15)
4 4,5 5	±0,25	0,5; 1	±0,1	12 18		1; 2 1,5; 3	
6	±0,3	0,5; 1; 2	±0,25				

Примечания: 1. Цвет трубок: фиолетовые (Т-35), желтые (ПМ-1/42, ПМ-2/42).

2. Разрушающее напряжение при растяжении, кгс/см<sup>2</sup>, не менее: для Т-35 и ПМ-2/42 — 130; ПМ-1/42 — 140.

3. Относительное удлинение при разрыве для этих же трубок, %, не менее 280 и 200 соответственно.

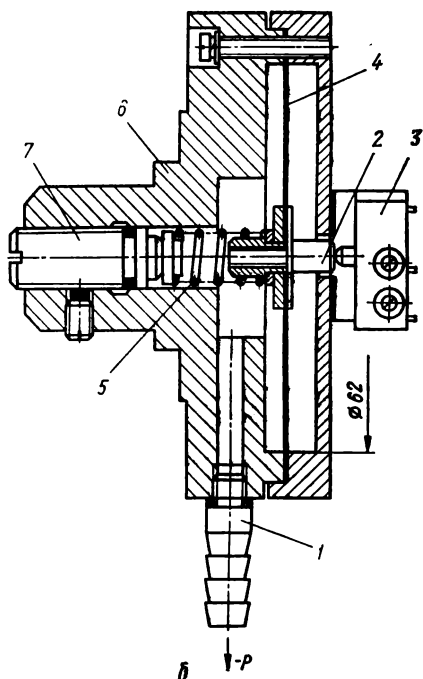
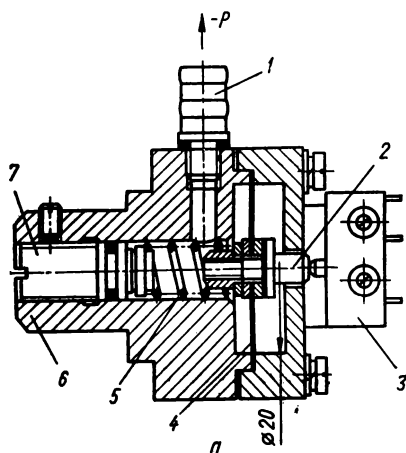
4. Морозостойкость для всех поливинилхлоридных трубок не хуже 40° С. Трубки должны сохранять свои размеры и характеристики при температуре от 10 до 50° С при относительной влажности до 80%.

5. При заказе трубок записывают: Трубка ПМ-1/42 6,0 × 2,0 ТУ64—1—2813—75.

6. Серийный изготовитель медицинских поливинилхлоридных трубок — Белгород-Днестровский завод медоборудования.

Рис. 4.16. Конструкция вакуумных реле:

*a* — для ведущего вала и направляющей камеры; *б* — для вакуумных карманов



#### 4.16. Характеристики мембранного полотна

Тип ткани	ГОСТ, ТУ ткани	Толщина рабочей части вулканизированной однослойной заготовки, мм	Температура, °С	Масса 1 м <sup>2</sup> , кг
Капрон* арт. 1516	ТУ МАП 335—49	0,2	От -50 до +100	0,225
Хлопчатобумажная перкаль Б <sub>2</sub> Капрон* арт. 1516	ГОСТ 694—41 ТУ МАП 335—49	0,3	От -45 до +100 От -50 до +100	0,330
Хлопчатобумажная ТД Капрон арт. 1516	ТУ 1162—51 ТУ МАП 335—49	0,4	От -50 до +100	0,516
Хлопчатобумажная ТД Капрон арт. 1516	ТУ 1162—51 ТУ МАП 335—49	0,5	От -50 до +100 От -55 до +100	0,742

Примечания: 1. Условия работы мембран, среда — воздух, автотопливо, масло, керосин, бензин.

2. Мембранное полотно изготавливает московский завод «Каучук»; полотно, отмеченное знаком\*, — Ленинградский завод РТИ.

шей камеры БВГ, а вакуумное реле\* с мембраной диаметром 62 мм — в узлах пневмопитания вакуумных карманов МТЛ. Мембранное полотно, применяемое для пневмореле, переключателей, клапанов, представляет собой хлопчатобумажную ткань ТД (ТУ1162—51), пропитанную путем вулканизации тонким слоем резины. Обладает высокой герметичностью и прочностью. При заказе указывается толщина полотна ТД, технические условия на полотно и ткань, например, полотно мембранное 0,4 МРТУ38—5—6109—68, ткань ТУ1162—51. Технические данные мембранного полотна приведены в табл. 4.16.

### 3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МТЛ

Системы автоматического регулирования (САР) предназначены для автоматического управления относительными скоростями взаимодействия МЛ с МГ, поддержания оптимального контакта между ними в заданных режимах работы МТЛ. Применяются следующие системы: САР—СЛ — скорости лен-

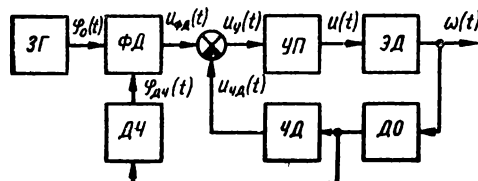


Рис. 4.17. Функциональная схема САР—СЛ

ты, САР—Н — натяжения МЛ, САР—СД — скорости диска ВГ (в МТЛ ПСЗ и НСЗ), САР—ВН — положения вакуумной направляющей (только в МТЛ ПСЗ).

Системы автоматического регулирования скорости ленты (САР—СЛ) должны обеспечивать заданную скорость МЛ при записи и соответствие этой скорости в режиме воспроизведения с требуемой точностью. Для уменьшения колебаний скорости МЛ применяют механические и электромеханические системы регулирования.

Механические стабилизаторы уменьшают колебания скорости МЛ в зоне контакта ее с МГ, защищают этот участок от источника колебаний и конструктивно выполнены в виде различных вращающихся инерционных масс с системой рычагов и демпферов (механических фильтров) [30]. Уменьшение колебаний в электромеханической системе стабилизации скорости МЛ достигается за счет управления скоростью МЛ. Функциональная схема САР—СЛ с обратной связью (замкнутого типа) показана на рис. 4.17.

Элементом сравнения САР является фазовый дискриминатор ФД, на один из входов которого поступают импульсы от задающего кварцевого генератора ЗГ с частотой  $\omega_0 = 2\pi f_0$  и фазой  $\varphi_0(t)$ , на другой — от датчика оборотов ДО через делитель частоты ДЧ с частотой  $\omega_{дч} = 2\pi f_{дч}$ . Напряжение на выходе ФД, пропорциональное углу сдвига фаз  $\varphi_0$  и  $\varphi_{дч}$ , сглаженное фильтром нижних частот и усиленное в усилителе-преобразователе УП, прикладывается к ЭД. Для увеличения запаса устойчивости системы введена корректирующая обратная связь, состоящая из датчика оборотов ДО и частотного дискриминатора ЧД. Скорость ЭД регулируется изменением коэффициента делителя ДЧ [8, 32]. Фазовый дискриминатор построен на триггере с отдельными входами. На выходе ФД формируются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна временному сдвигу между импульсами с частотой  $f_0$  и  $f_{дч}$ . Фильтр нижних частот служит для выделения среднего значения напряжения  $U_{ФД}$ .

Частотный дискриминатор (рис. 4.18,а) состоит из дифференцирующей цепи ДЦ, генератора пилообразного напряжения ГПН, компаратора Ком

\* Разработано инженерами Е. Н. Травниковым и В. Г. Слипановым.

и фильтра нижних частот ФНЧ. На вход ЧД поступает периодический сигнал  $u_f(t)$  прямоугольной формы с датчика оборотов ДО. Это напряжение с помощью цепи, состоящей из конденсатора  $C1$ , резистора  $R1$  и диода  $D$ , подается на базу транзистора  $T$ , на котором собран ГПН (рис. 4.18, б). В момент поступления отрицательного импульса  $T$  открывается и конденсатор  $C2$  разряжается через коллектор — эмиттер с малой постоянной времени. После окончания отрицательного импульса  $T$  закрывается и  $C2$  заряжается через резистор  $R2$ , обеспечивая формирование прямого хода пилообразного напряжения  $u_n(t)$ . Это напряжение поступает на неинвертирующий вход операционного усилителя  $У$ , на инвертирующий вход подается отрицательное по знаку опорное напряжение, снимаемое со средней точки делителя на резисторах  $R3, R4$ . На выходе  $У$  формируется импульсное напряжение  $u_k(t)$ , среднее значение которого зависит от скважности, определяемой частотой поступающих на вход импульсов  $u_f(t)$  (рис. 4.18, в, г, д).

Частота настройки ЧД регулируется изменением  $U_{оп}$ , т. е. делителем  $R3, R4$ . Фильтр нижних частот собран на  $R5$  и  $C3$ . Усилитель-преобразователь УП состоит из операционного усилителя (для суммирования напряжений с ФД и ЧД), модулятора ширины импульсов и усилителя мощности (рис. 4.19). Коэффициенты усиления по каждому каналу регулируются при настройке.

Модулятор ширины импульсов состоит из ГПН, синхронизированного частотой задающего генератора ЗГ, и компаратора Ком на операционном усилителе.

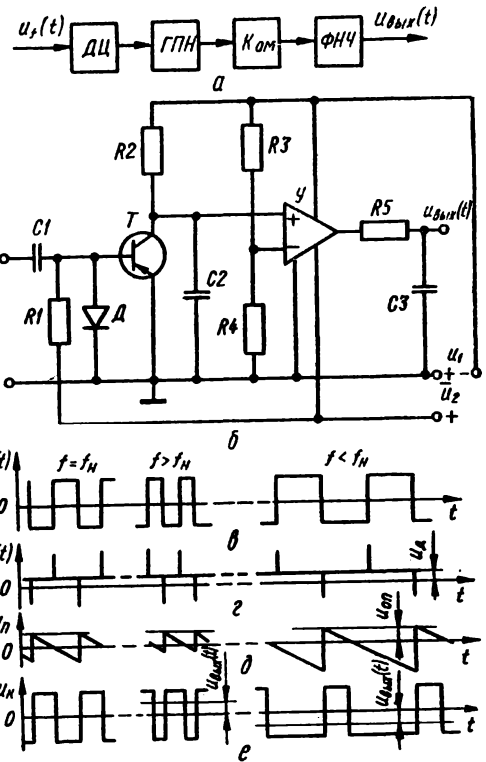


Рис. 4.18. Функциональная (а), принципиальная (б) схемы и диаграммы напряжений (в—е) ЧД

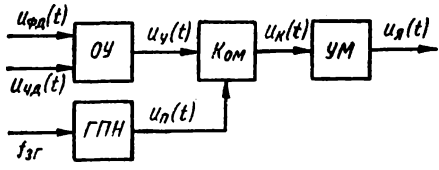


Рис. 4.19. Функциональная схема усилителя-преобразователя

теле. На один из входов компаратора подается напряжение с выхода суммирующего усилителя ОУ. На выходе формируются прямоугольные импульсы, среднее значение напряжения которых пропорционально выходному сигналу

постоянного тока суммирующего усилителя *ОУ*. Транзисторный усилитель мощности *УМ* работает в ключевом режиме и управляет током якоря двигателя постоянного тока.

К основным возмущающим воздействиям, вызывающим существенные ошибки САР—СЛ, относятся: изменение момента нагрузки ЭД ведущего вала и напряжения питания. Для повышения точности САР—СЛ необходимо уменьшать значение этих возмущающих воздействий, вводя компенсационные связи, стабилизируя натяжение МЛ и параметры питающего напряжения. На рис. 4.20 изображена функциональная схема комбинированной САР—СЛ, имеющая компенсационную связь по моменту нагрузки  $M(t)$ . Изменение момента нагрузки вызывает отклонение скорости ЭД  $\omega(t)$ . С помощью компенсационной связи по возмущению, состоящей из измерительного элемента *ИЭ*, корректирующего усилителя *УК*, измеряется момент нагрузки ЭД и преобразуется в управляющее воздействие, которое, будучи приложено к ЭД, вызывает компенсирующее отклонение  $\omega(t)$  противоположного знака. В качестве

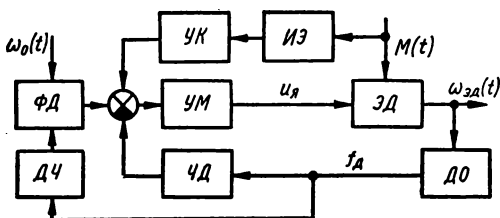


Рис. 4.20. Функциональная схема комбинированной САР—СЛ

измерительного элемента по моменту в случае использования ДПТ может служить низкоомный резистор, включенный в якорную цепь.

Значение напряжения на резисторе будет пропорционально моменту на валу ЭД.

Системы автоматического регулирования натяжения ленты (САР—Н). В АМЗ нестабильность натяжения МЛ приемного и подающего рулонов ленты является одним из основных возмущающих воздействий, влияющих на точность САР—СЛ. Для компенсации этих возмущений применяется стабилизация натяжения МЛ как со стороны подающего, так и приемного рулонов. Кроме того, САР—Н позволяет уменьшить износ МГ и МЛ, повысить качество намотки рулона МЛ и исключить ее остаточное растяжение. Для регулирования натяжения применяют механические и электромеханические САР—Н.

Механические САР—Н используют следящие тормозные устройства или фрикционную муфту. В последней возможно автоматическое регулирование фрикционной связи и тормозного вращающего момента, компенсирующее влияние изменения текущего диаметра рулона на натяжение МЛ в процессе работы. В электромеханических САР—Н натяжение МЛ регулируется изменением момента, передаваемого на катушку посредством: электрического регулирования электромагнитного вращающего момента ЭД; регулирования подтормаживания при постоянном электромагнитном моменте  $M_{вр}$ ; изменения величины  $M_{вр}$  при использовании электромагнитных муфт.

Механические системы, имеющие сравнительно невысокую точность регулирования натяжения (10—15%) от начала к концу рулона МЛ, подверженные влиянию изменения влажности и износу трущихся пар, в АТМЗ применяются ограниченно. Электромеханические системы обеспечивают более высокую стабильность натяжения ( $\pm 3\%$ ), особенно при изменении в широких пределах механических и климатических воздействий. Применяя ЭД постоянного тока для привода приемоподающих узлов, момент можно регулировать как изменением тока якоря, так и изменением тока возбуждения. Управление током якоря имеет ряд преимуществ, например, линейность механической и регулировочной характеристик, меньшая постоянная цепи управления. При полюсном управлении, т. е. изменении тока возбуждения, требуется меньшая мощность управ-

ления. Электромеханические САР—Н можно построить с использованием принципа управления по возмущению, по отклонению и комбинированного. Основным возмущающим воздействием на САР—Н является изменение радиуса рудона МЛ. Натяжение МЛ со стороны подающего узла (рис. 4.21,а) определяется соотношением  $T_1 = M_1/R_1$ , где  $M_1$  и  $R_1$ — момент на оси и радиус рудона подающей катушки. Аналогично определяется натяжение со стороны приемного узла:  $T_2 = M_2/R_2$ .

В процессе работы АМЗ радиусы намотки катушек изменяются в соответствии с выражениями [8]

$$R_1 = 0,5 [d + \sqrt{(D-d)^2 + 4d(L-Vt)/\pi}];$$

$$R_2 = 0,5 [d + \sqrt{(D-d)^2 + 4dVt/\pi}],$$

где  $d$  — толщина МЛ, см;  $D$  — минимальный диаметр намотки катушки, см;  $L$  — длина МЛ, см;  $V$  — линейная скорость МЛ, см/с;  $t$  — время, с.

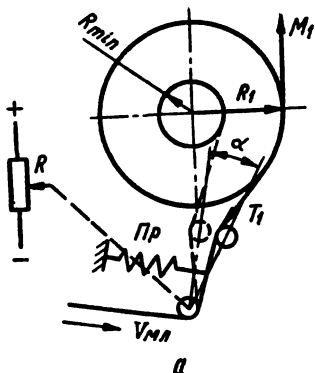
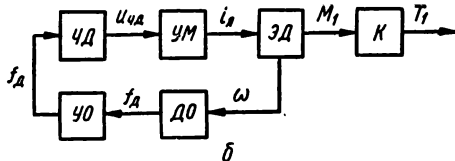


Рис. 4.21. Датчик радиуса намотки (а) и функциональная схема САР—Н с управлением по возмущению (б)



Поэтому при постоянном  $M_1(M_2)$  в процессе работы изменяется величина  $T_1(T_2)$ . Чтобы компенсировать влияние изменения радиуса намотки  $R_1$  и  $R_2$  на натяжение МЛ, необходимо измерять радиусы намотки катушек, вырабатывать пропорционально им сигнал и управлять этим сигналом моментом на валу двигателей подающего и приемного узлов так, чтобы соблюдались отношения:

$$T_1 = M_1/R_1 = \text{const}; \quad T_2 = M_2/R_2 = \text{const}.$$

САР—Н с регулированием по изменению радиуса намотки относительно просты (рис. 4.21,б). Импульсы с частотой  $f_d$ , пропорциональной частоте вращения ЭД привода приемного или подающего узлов  $\omega$ , поступают с ДО на усилитель-ограничитель УО и затем на ЧД. Напряжение  $U$  на выходе ЧД обратно пропорционально частоте  $f_d$ . Усилитель мощности УМ управляет током якоря ЭД, который приводит во вращение катушку К. Момент на валу ЭД управляется током якоря таким образом, чтобы соблюдалось постоянное натяжение МЛ. В связи с тем, что при регулировании натяжения по возмущению обратная связь отсутствует, такие САР—Н обладают невысокой точностью вследствие отклонения натяжения МЛ под влиянием других возмущающих воздействий.

Принципиальная схема САР—Н с управлением по отклонению (рис. 4.22) состоит из датчика натяжения ДН, представляющего собой потенциометр  $R_9$ , движок которого подпружинен, механически демпфирован и связан с МЛ; усилителя УС (на У3), усилителя-преобразователя УП (на У4), задающего генератора ЗГ (на У1), ждущего мультивибратора ЖМ (на У2), ГПН (на Т1), усилителя мощности УМ (на Т2, Т3) и исполнительного двигателя ЭД постоянного тока, на валу которого установлена катушка К с МЛ.



В установившемся режиме натяжение  $T_n(t)$  МЛ равно усилию пружины *Пр* (рис. 4.23, а, б). При этом напряжение ошибки, снимаемое с движка потенциометра *R*, близко к нулю. На выходе *УС* (рис. 4.22) формируется напряжение постоянного тока, пропорциональное сигналу ошибки и интегралу от него, которое поступает на один из входов *УП*. На второй вход *УП* поступает с *ГПН* пилообразное напряжение, постоянное по амплитуде и частоте, равной частоте *ЗГ*. Ждущий мультивибратор формирует прямоугольные импульсы «обратного хода пилы». На выходе *УП* формируются биполярные прямоугольные импульсы напряжения, скважность которых пропорциональна выходному напряжению *УС*. Усиленные по мощности импульсы напряжения прикладываются к обмотке якоря *ЭД*. Дроссель *L* и диод *Д1* служат для создания режима непрерывных токов через якорь. При отклонении натяжения МЛ от номинального изменяется скважность импульсов напряжения, прикладываемых к якорю *ЭД* таким образом, чтобы скомпенсировать полностью или существенно ослабить влияние возмущений на натяжение.

В комбинированных САР—Н принцип управления по отклонению реализуется с помощью главной обратной связи, а принцип управления по возмущению с помощью компенсационных связей (рис. 4.23, в). Возмущение САР—Н от изменения радиуса намотки компенсируется по цепи *Д0*, *У0*, *ЧД*, *СС* (схема сравнения), *УМ*, изменение натяжения МЛ от других возмущений компенсируется по цепи *ДН*, *СС*, *УМ*, *ЭД*.

В крупногабаритной АТМЗ применяют систему стабилизации МЛ с использованием одного или двух вакуумных карманов. Последние увеличивают быстродействие и надежность МТЛ, уменьшают колебания скорости МЛ в рабочей зоне МТЛ в результате ее развязки от приемоподающих узлов, а также уменьшают ударные нагрузки на МЛ (особенно в старт-стопных режимах). Собственно натяжение МЛ в рабочей зоне задается величиной вакуума в карманах, а системы регулирования приемоподающих узлов регулируют величину петли в этих карманах (рис. 4.24, а).

Система имеет два симметричных канала управления, один из которых показан на рис. 4.24, б. Для привода приемоподающих катушек применены *ЭД* постоянного тока с двумя отдельными обмотками возбуждения правого и левого вращения, питающиеся от отдельных управляемых тиристорных выпрямителей *ТВП* и *ТВЛ*. Величина и знак момента на валу *ЭД* зависят от соотношения магнитных потоков в обмотках возбуждения. Сигнал, свидетельствующий о величине петли ленты в *ВК*, с датчика *ДВК* поступает в схему формирования управляющих сигналов для запуска тиристорных выпрямителей обмоток управления *ЭД*. В зависимости от величины петли МЛ фаза импульсов, запускающих тиристор, изменяется таким образом, чтобы момент на валу *ЭД* изменялся с расчетом вывода петли ленты в рабочую зону. Питают тиристорные выпрямители от сети напряжением 220 В 50 Гц.

В момент перехода сетевого напряжения через нуль формирователь импульсов синхронизации *ФИС* (*У8*, *У9*) вырабатывает короткие импульсы частотой 100 Гц для запуска *ГПН* (*Т1*, *С4*, *Р21*, *Р22*), напряжение с выхода которого поступает на один из входов широтно-импульсных модуляторов *ШИМ1* (*У4*) и *ШИМ2* (*У13*). На вторые входы модуляторов поступает напряжение, равное сумме напряжения вставки, определяемого делителями напряжения на *Р9*, *Р10* (*Р23*, *Р24*), и напряжения, пропорционального величине сигнала с *ДВК*. Последнее снимается с формирователя управляющего напряжения *ФУН*, собранного на *У2* и *У3*. Длительность импульсов на выходе *ШИМ1* и *ШИМ2* изменяется в зависимости от величины сигнала с датчика, причем, если на выходе *ШИМ1* увеличивается, то на выходе *ШИМ2* уменьшается. Регулируемый фронт импульсов используется в дальнейшем для формирования импульсов запуска тиристорных выпрямителей.

Для увеличения коэффициента использования тиристорных и уменьшения пульсаций напряжения, подаваемого на *ЭД*, применяется схема коммутации управляющих импульсов *СКом* (*У10*, *У11*), которая совместно со схемами совпадения *И1* (*У6*), *И2* (*У7*), *И3* (*У15*), *И4* (*У16*) обеспечивает одновременный запуск по одному тиристорному плечу выпрямителя питания обмоток правого и левого вращения *ЭД*.

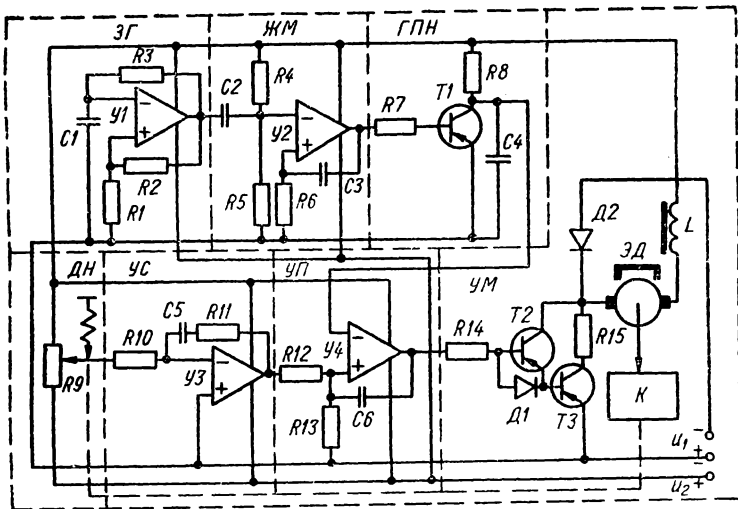


Рис. 4.22. Принципиальная схема САР — Н с управлением по отклонению

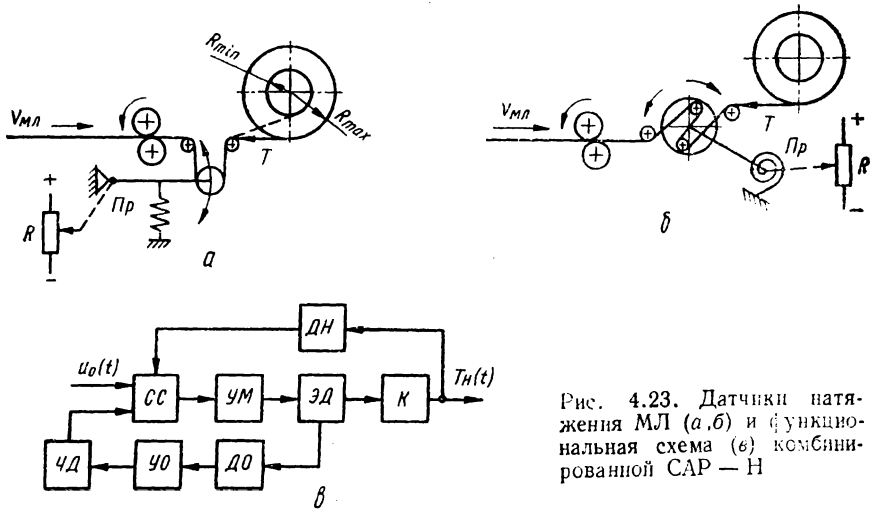


Рис. 4.23. Датчики натяжения МЛ (а, б) и функциональная схема (в) комбинированной САР — Н

Импульсы запуска тиристоров формируются усилителями *УЗИ1, УЗИ2, УЗИ3, УЗИ4*.

Системы автоматического регулирования видеомагнитофонов. В профессиональных ВМ в общем случае имеются четыре системы регулирования [28]: САР—СЛ — управляет скоростью МЛ таким образом, чтобы обеспечить попадание ВГ на «свою» дорожку записи; САР—СД — частотой вращения

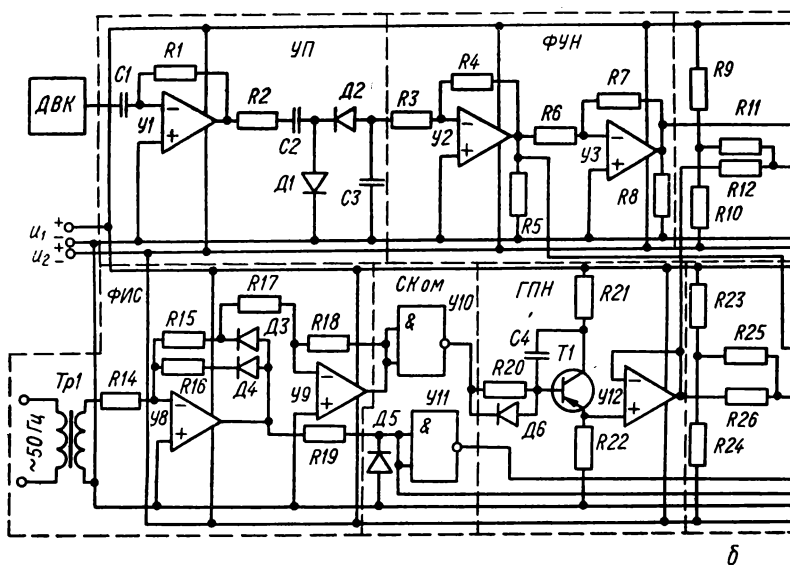
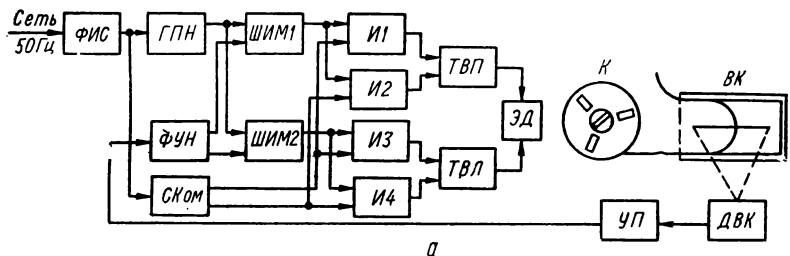


Рис. 4.24. Функциональная (а) и принципиальная (б) схемы САР—Н с ва-

диска ВГ; САР—Н — управляет частотой вращения привода катушек приемного и подающего узлов с тем, чтобы обеспечить оптимальное натяжение МЛ в рабочей зоне тракта МТЛ; САР—ВН — используется только в четырехголовочных ВМ для регулирования взаимного положения диска ВГ и вакуумной направляющей БВГ. Для качественного воспроизведения информации необходимо, чтобы траектория вращения ВГ точно совпадала с записанной на МЛ дорожкой. Это приводит к необходимости обеспечения точной синхронизации фазового положения МЛ и вращающихся ВГ, так как продольные смещения фазы диска ВГ вызывают искажения временного масштаба воспроизводимой информации, а поперечные приводят к уменьшению уровня воспроизводимого сигнала и могут вызвать паразитную амплитудную модуляцию. Для работы САР ВМ используют входной синхронизирующий сигнал. Процесс

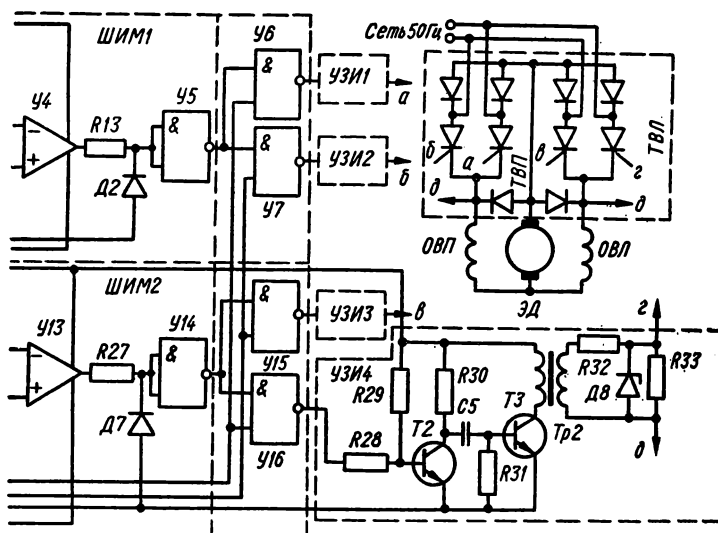
регулирования в таких системах направлен на сохранение временного масштаба воспроизведенной информации.

Требования к точности работы САР—СД и САР—СЛ определяются заданными значениями временных отклонений в воспроизведенном сигнале и допустимым изменением уровня воспроизводимого сигнала вследствие неточного попадания ВГ на дорожку записи. При записи вращающимися ВГ скорость записи  $V_3$  будет равна геометрической сумме окружной линейной скорости головки  $V_{ВГ}$  и скорости ленты  $V_{МЛ}$  (рис. 4.25). Искажение временного масштаба  $\Delta t$  в воспроизведенном сигнале связано с временными искажениями при вращении диска ВГ  $\Delta t_{ВГ}$  и перемещении ленты  $\Delta t_{МЛ}$ :

$$\Delta t = (V_{ВГ}/V_3) [\Delta t_{ВГ} \cos(\theta - \theta_1) + (V_{МЛ}/V_{ВГ}) \cos \theta \Delta t_{МЛ}],$$

$$\text{где } V_3 = V_{ВГ} \cos(\theta - \theta_1) + V_{МЛ} \cos \theta.$$

Чтобы получить количественные соотношения между  $\Delta t$ ,  $\Delta t_{ВГ}$ ,  $\Delta t_{МЛ}$ , необходимо иметь численные значения САР. Например,  $V_{ВГ} = 37,6$  м/с;  $V_{МЛ} = 0,507$  м/с;  $\theta = 45^\circ$ ;  $\theta_1 = 44^\circ 36'$ , тогда  $\Delta t = \Delta t_{ВГ} + 0,096 \Delta t_{МЛ}$ . При ПСЗ,



куумными карманами

когда  $\theta \approx \theta_1 \approx 90^\circ$  и  $\Delta t = \Delta t_{ВГ}$  — суммарные искажения временного масштаба зависят, в основном, от нестабильности скорости диска с ВГ. Допустимыми временными отклонениями в воспроизведенном контрольном сигнале относительно опорного для ВМ считаются такие, когда величина уменьшения отдачи ВГ, вызванная смещением ее траектории относительно строчки записи, не превышает 2 дБ. В этом случае абсолютная временная ошибка

$$\Delta t_{МЛ} = 0,2 d / (V_{ВГ} \sin \theta),$$

где  $d$  — ширина дорожки записи, мм. Используя ранее заданные значения  $V_{ВГ}$  и  $\theta$ , а также приняв  $d = 0,145$  мм, найдем  $\Delta t_{МЛ} = 0,2 \cdot 0,145 / 507 \sin 45^\circ = 89$  мкс. Таким образом, при заданной временной ошибке в воспроизводимом

сигнале, зная  $\Delta t_{МЛ}$ , можно найти допустимую временную ошибку от нестабильности вращения диска с МГ.

Автоматическое регулирование частоты вращения диска ВГ, а также фазирование (кадровое и строчное) с внешним синхросигналом опорного генератора осуществляет САР—СД. В одно- и двухголовочных ВМ, где нет необходимости внешней синхронизации, такой режим отсутствует. Функциональная схема САР—СД ВМ «Кадр-103» показана на рис. 4.26. Опорными сигналами системы служат кадровые импульсы частотой 50 Гц и импульсы двойной частоты строк 31250 Гц, которые выделяются опорным селектором СО из записываемого телевизионного сигнала или опорных синхросигналов, когда ВМ работает в режиме воспроизведения.

Система содержит три цепи регулирования: начальной установки фазы вращения двигателя, демпфирования и точного фазирования двигателя. При включении ЭД БВГ работают первые две цепи: фазовый дискриминатор ФД2

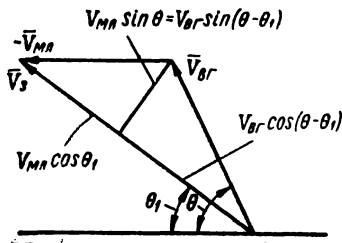


Рис. 4.25. Векторная диаграмма скоростей

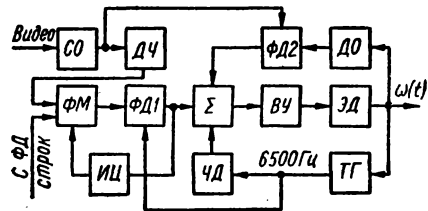


Рис. 4.26. Функциональная схема САР—СД видеоманитофона «Кадр-103»

сравнивает фазы опорного кадрового импульса 50 Гц с фазой сигнала датчика оборотов ДО и затем через сумматор  $\Sigma$  на управляемый выпрямитель ВУ регулирует фазу вращения ЭД. На второй вход  $\Sigma$  поступает управляющее напряжение цепи демпфирования с выхода ЧД, работающего от высокочастотного тахогенератора ТГ с частотой выходных импульсов 6250 Гц при номинальных оборотах ЭД. В результате действия управляющих напряжений цепи начальной установки и демпфирования скорость ЭД БВГ регулируется так, что импульс ДО совмещается с точностью  $\pm 80$  мкс с опорным сигналом. После этого включается цепь точного фазирования ЭД — выходной сигнал с ФД1 поступает на третий вход  $\Sigma$ . Цепь точного фазирования работает от опорных сигналов частотой 6250 Гц, полученных путем деления на 5 импульсов двойной строчной частоты с СО и импульсов ТГ. Фазовый модулятор ФМ и интегрирующая цепь ИЦ позволяют значительно уменьшить статическую ошибку. В режиме строчного слежения на ФМ поступает сигнал с фазового дискриминатора строк.

В режиме воспроизведения скорость МЛ и частота вращения диска ВГ должны быть строго согласованы для того, чтобы ВГ воспроизведения точно следовали по строчкам записи. Эту задачу решает САР—СЛ. Опорным управляющим сигналом служит сигнал датчика оборотов ЭД БВГ, который записывается на дорожке управления во время записи. В режиме воспроизведения сигнал с МЛ служит контрольным управляющим сигналом, так как его частота и фаза несут полную информацию о скорости МЛ и взаимном положении МЛ и ВГ. САР—СЛ регулирует среднюю скорость МЛ в режиме воспроизведения подстройкой частоты и фазы контрольного сигнала по сигналу датчика оборотов ЭД БВГ. Ошибки САР—СЛ приводят к смещению строчек, т. е. ВГ при воспроизведении следует не точно по строчкам записи. Для четырехголовочных ВМ, работающих на МЛ шириной 50,8 мм, толщиной 0,037 мм при скорости ленты 39,7 см/с, допустимая абсолютная временная ошибка САР—СЛ равна  $\pm 130$  мкс, что соответствует относительному смещению строчек записи на 0,052 мм. В одно- и двухголовочных ВМ допустимая абсолютная временная ошибка будет на порядок больше.

Функциональная схема САР—СЛ ВМ «Кадр-3» показана на рис. 4.27. Ведущий синхронный двигатель (СД) питается через усилитель-преобразователь УМ. На вход УМ во время записи и воспроизведения через переключатель ПЗ поступают сигналы частотой 250 Гц. При записи сигналы с датчика частоты вращения ЭД БВГ через УЗ и переключатель П1 поступают на запись в МГ канала управления. Таким образом, в режиме записи СД питается частотой опорного генератора. При воспроизведении на вход УМ через переключатель ПЗ поступает выходной сигнал управляемого генератора УпрГ. Одновременно с этим переключатель П1 коммутирует МГ и на вход УВ поступают импульсы, воспроизведенные с дорожки управления. Усиленные импульсы через переключатель П2 поступают на фазовый дискриминатор ФД, на второй вход которого подаются импульсы с датчика оборотов, прошедшие через фазовый модулятор ФМ, являющийся управляемой задержкой в цепи опорного сигнала. Вследствие действия компенсационной цепи регулирования, состоящей из интегрирующей цепи ИЦ с большой постоянной времени, происходит компенсация статической ошибки системы.

Регулировать смещение ВГ с дорожки записи можно также, используя огибающую воспроизведенного сигнала. Выделенная огибающая преобразуется в постоянное напряжение ошибки (пропорциональное смещению ВГ), которое поступает на вход управляемого генератора УпрГ и смещает фазу питания СД. Для выделения сигнала ошибки и его формирования в системе МТЛ искусственно озадаются паразитные колебания мгновенной скорости МЛ с известной фазой, амплитудой и частотой. Для этого на вход УпрГ подается низкочастотный сигнал, создающий КСЛ. Одновременно этот сигнал поступает на вход фазового компаратора для получения сигнала ошибки, который и управляет частотой генератора УпрГ. Искусственные смещения строчек должны быть небольшими, чтобы не вызвать дополнительных погрешностей в воспроизводимом сигнале. Обычно частота КСЛ выбирается равной 10 Гц, а вызванные ею КСЛ составляют величину 0,02—0,3%.

Функциональная схема САР—СЛ АТМЗ показана на рис. 4.28,а. В режиме записи работа системы направлена на поддержание постоянной скорости синхронного гистерезисного двигателя СД. При этом переключатель П1 находится в положении «З» и импульсы кварцевого опорного генератора ОпГ частотой 300 Гц поступают непосредственно на преобразователь Пр частоты этих импульсов в трехфазное напряжение частотой 50 Гц для питания СД ведущего узла. Стабильность скорости вращения СД зависит от стабильности частоты ОпГ. Импульсы с датчика положения головок ДПГ БВГ через усилитель записи УЗ канала управления посредством универсальной магнитной головки МГ записываются на управляющую дорожку. В режиме воспроизведения переключатели П1 и П2 находятся в положении «В». При этом импульсы с контрольной дорожки, воспроизведенные МГ, через усилитель воспроизведения УВ поступают на один из входов ФД и ЧД. На второй вход ФД поступают импульсы с ДПГ частотой 250 Гц.

Если между импульсами с дорожки управления и импульсами с ДПГ имеется разность фаз, то на выходе ФД выделяется постоянное напряжение, пропорциональное этой разности. Сигнал фазового рассогласования воздействует на управляемый генератор УпрГ (с номинальной частотой 300 Гц) и изменяет его частоту. Для уменьшения быстрых колебаний скорости вращения СД в схеме САР—СЛ введен контур демпфирования, состоящий из ЧД и модулятора М. Модулятор представляет собой ждущий мультивибратор, запускаемый им-

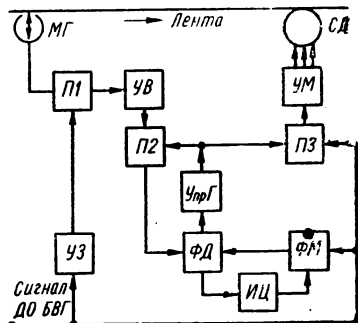


Рис. 4.27. Функциональная схема САР—СЛ видеоманганитофона «Кадр-3»

пульсами с  $U_{npГ}$ , а длительность импульсов его модулируется сигналом  $ЧД$ . Импульсы, сформированные с модулируемых фронтов импульсов модулятора, синхронизируют работу преобразователя  $Пр$ . Скорость  $СД$  пропорциональна частоте, а фаза — длительности этих импульсов.

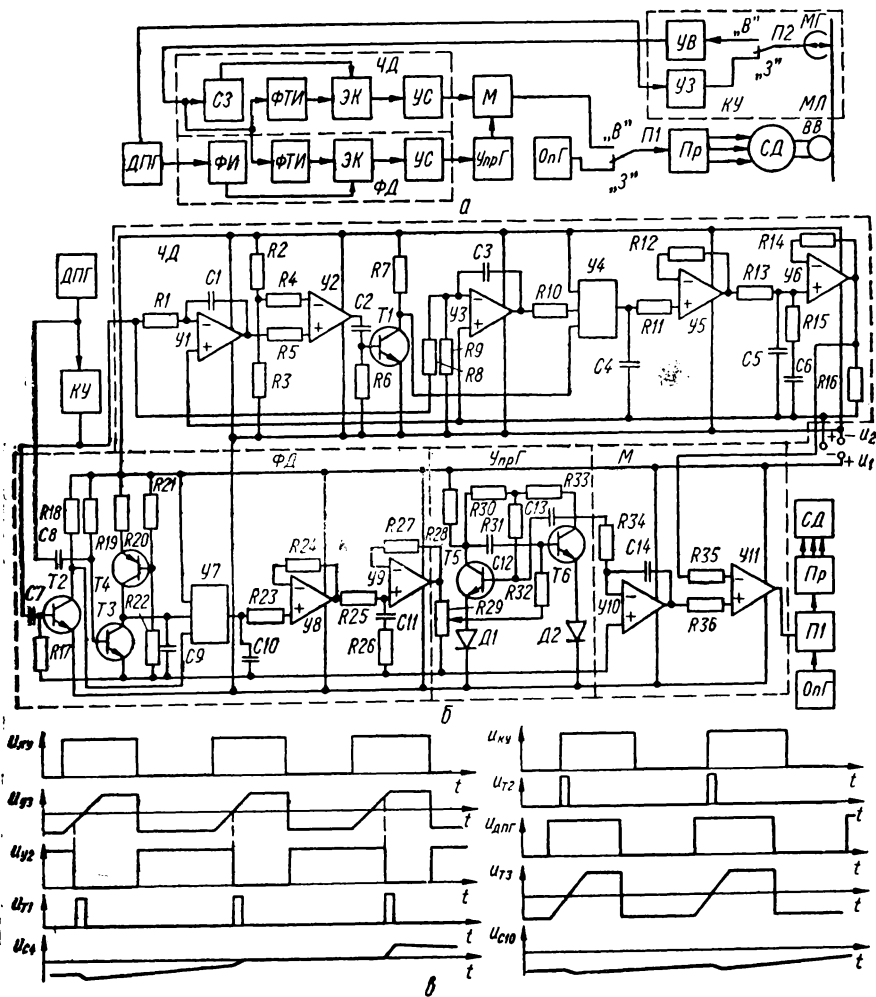


Рис. 4.28. Функциональная (а), принципиальная (б) схемы САР — СЛ и диаграммы напряжений (в) ЧД и ФД АТМЗ

Фазовый дискриминатор состоит из формирователя импульсов ДПГ (ФИ), формирователя трапецидальных импульсов ФТИ, электронного ключа с накопительной емкостью ЭК и корректирующего усилителя УС. Импульсы с ДПГ частотой 250 Гц, длительностью 100—150 мкс поступают на вход ФТИ, собранного на транзисторах  $T3$  и  $T4$ , и конденсатора  $C9$  (рис. 4.28,б). Импульсы с контрольной дорожки канала управления  $КУ$  поступают на формирователь коротких импульсов длительностью 20—25 мкс ( $C7$ ,  $R17$ ,  $R18$ ,  $T2$ ).

Оба сигнала затем поступают на электронный ключ *У6*, выполненный на интегральной микросхеме типа 1КТ901.

От фазового сдвига на входе *У6* зависит напряжение на выходе электронного ключа (рис. 4.28, в). Конденсатор *С9* выполняет функцию запоминающего устройства. В результате на выходе *У7* будет напряжение постоянного тока, пропорциональное фазовому рассогласованию сигналов с ДПГ и КУ. Этот сигнал через корректирующий усилитель *У8* усилитель частотой *УпрГ*, собранного по схеме управляемого мультивибратора. Управление частотой генератора осуществляется изменением тока смещения транзистора *Т6* по цепи *R29*, *R32*. Цепь из резисторов *R30*, *R31*, *R33* улучшает условия возбуждения генератора.

Частотный детектор состоит из схемы задержки *С3*, формирователя трапецеидальных импульсов ФТИ, электронного ключа ЭК с запоминающим конденсатором и корректирующего усилителя. Импульсы с КУ запускают генератор трапецеидальных импульсов на *У3*, а также поступают в схему задержки на *У1* и *У2*.

Транзистор *Т1* формирует ключевой импульс длительностью 20—25 мкс, задержанный на 3000 мкс. Оба импульса, трапецеидальный и ключевой, поступают на вход электронного ключа *У4*, работающего аналогично ЭК ФД. На накопительном запоминающем конденсаторе *С4* будет напряжение, пропорциональное рассогласованию входных сигналов, т. е. мгновенному уходу частоты. Этим напряжением через корректирующий усилитель *У6* модулируется длительность импульсов в модуляторе (*У10*, *У11*).

**Система регулирования вакуумной направляющей (САР—ВН).** В ВМ ПСЗ с четырьмя вращающимися ВГ для обеспечения оптимального контакта МЛ с ВГ применяется ВН магнитной ленты, которая является чувствительным элементом БВГ и требует точных регулировок. Изменение положения ВН вызывает временные искажения воспроизведенного сигнала. Для обмена видеопрограммами разработан стандарт на положение ВН относительно диска с головками. Точность установки ВН в радиальном и касательном направлениях к окружности диска ВГ принимается равной  $\pm 4$  мкм.

В связи с тем, что ВН не может быть жестко закреплена относительно диска ВГ, к механизму перемещения камеры предъявляются высокие требования на восстанавливаемость положения ВН, т. е. обеспечение такого положения ВН в режиме воспроизведения, чтобы временные ошибки от неидентичности положения ВН в воспроизведенном сигнале были в пределах 20—50 нс, что в пересчете на линейную величину перемещения ВН составляет 0,5—1,5 мкм. Стандартный прижим МЛ для записи устанавливается во время воспроизведения специальной испытательной МЛ. Функциональная схема САР—ВН ВМ «Кадр-3» показана на рис. 4.29.

Искажения в воспроизведенном сигнале, вызванные неоднозначностью вдавливания ВГ во время записи и воспроизведения, устраняют изменением постоянного напряжения, которое поступает с резистора *R1* (в режиме «Ручное») на вход измерительного элемента *ИЭ*. На выходе элемента образуется сигнал ошибки постоянного тока, который поступает на вибропреобразователь *ВП*, питаемый от сети переменного тока частотой 50 Гц. Амплитудное значение выходного сигнала вибропреобразователя является функцией управляющего напряжения, а фаза выходного сигнала определяется полярностью этого напряжения. Поэтому при изменении знака управляющего напряжения фаза переменного напряжения, поступающего на усилитель мощности *УМ*, меняется на 180°. Усилитель мощности питает фазовую обмотку реверсивного ЭД

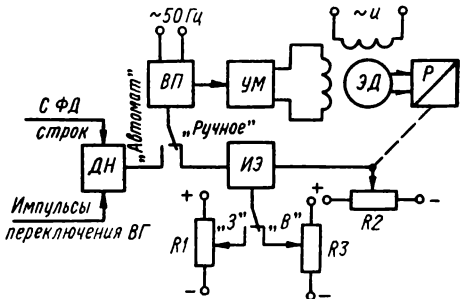


Рис. 4.29. Функциональная схема САР—ВН видеоманитофона «Кадр-3»



переменного тока. Вторая обмотка подключена к сети переменного тока частотой 50 Гц. Двигатель соединен с ВН через редуктор и кулачковый механизм  $P$  с передаточным отношением  $i = 40 \pm 50$ . Выходной вал редуктора жестко соединен с осью потенциометра  $R2$ . Напряжение постоянного тока с  $R2$  поступает на измерительный элемент (балансовый мост) и устраняет разбаланс мостовой схемы. Управляющее напряжение уменьшается и, когда становится близким нулю, ЭД останавливается, фиксируя положение ВН. Таким образом, регулируя положение ВН, устраняют искажения воспроизводимого изображения с испытательной МЛ.

После установки стандартного прижима положение  $R1$  фиксируется, а ручная установка ВН в дальнейшем производится подстройкой  $R3$ . В режиме автоматической регулировки («Автомат») на вход вибропреобразователя подключается датчик положения ВН (ДН). На один вход датчика поступает сигнал ошибки с  $\PhiД$  строк системы обработки видеосигнала, а на другой — импульсы переключения ВГ. Датчик выполняет роль ключевого  $\PhiД$ , и на его выходе образуется управляющее напряжение постоянного тока, значение и полярность которого зависят от положения ВН. Наличие механических люфтов в передаточных элементах и сухого трения в подшипниках делает характеристику исполнительного элемента (ЭД с редуктором и кулачковым механизмом  $P$ ) нелинейной, имеющей зону нечувствительности. Величина зоны зависит от передаточного числа редуктора и коэффициента усиления в цепи обратной связи. Увеличение редукции уменьшает зону нечувствительности, но снижает быстродействие системы. Необходимая точность регулирования обеспечивается при среднем времени обработки ошибки 1—2 с.

## Глава 5

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ АМЗ

#### 1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Несущие элементы АМЗ — плиты, корпуса, кронштейны, стойки по технологическим признакам классифицируют на коробчатые, плоские, тавровые. Большинство корпусных деталей изготавливают из литейных сплавов Ал-2, Ал-9, Ал-9В, Ал-24, А-30, деформируемых сплавов ДТ-16, В-95 и из сталей 45Л, 40ХЛ, 20Х13Л, 4Х18Н2М, 25ХВН21, 20. Для изготовления малоответственных корпусных деталей применяют пластмассы.

При массовом производстве заготовки корпусных деталей обычно получают методом литья. В единичном и мелкосерийном производстве — механической обработкой из поковки, листового проката и прутков.

Для изготовления заготовок корпусных деталей применяют различные виды литья. Для изготовления габаритных корпусов небольшими сериями применяют литье в земляные формы. Отливки соответствуют 6—8-му классу точности, шероховатость поверхности соответствует высоте неровностей профиля 80—320 мкм (по  $R_2$ ).

Для изготовления корпусов АМЗ шероховатостью  $R_2$  40...80 мкм применяют литье с использованием жидких самоотвердевающих смесей (ЖСС). Форму для литья изготавливают не формовкой, а заливкой модели специально приготовленной жидкой быстроотвердевающей смесью. Для получения деталей сложной конфигурации из сталей и цветных сплавов применяют литье по выплавляемым моделям. При этом достигается точность размеров по 3—5-му классам, шероховатость поверхности  $R_2$  20...40 мкм. Литье под давлением применяют для получения деталей сложной конфигурации с малой толщиной стенок. Способ обеспечивает получение точности размеров 1—3-го классов, шероховатость поверхности по  $R_2$  1,6...6,3 мкм. Для повышения плотности отливок и получения стенок толщиной менее 1 мм применяют формы с откачкой воздуха. Для удаления газов при заливке форм и улучшения механиче-

ских свойств рекомендуется ультразвуковая обработка расплава. При этом применяют ультразвуковые генераторы УЗГ1-4 и УЗГ2-10.

Учитывая высокие требования к точности корпусных деталей, механическую обработку поверхностей и основных отверстий вводят поэтапно. Плоские поверхности обрабатывают на черновых операциях — с применением фрезерных и поперечно-строгальных станков; на чистовых — с использованием горизонтально-расточных, координатно-расточных станков. Если по условиям эксплуатации и требованиям чертежа необходима высокая плоскостность, применяют ручную или механическую притирку, шабрение или доводку, при которых достигается плоскостность до 0,001 мм на длине 300 мм. Плоскостность при шабрении нормируется числом пятен на заданной площади при контроле «на краску»: 18...20 пятен на квадрате 25 × 25 мм, а в отдельных случаях до 25...30 пятен. Последовательность этапов изготовления корпусных деталей АМЗ приведена в табл. 5.1.

При выборе базовых поверхностей желательно совмещать технологические и измерительные базы с основными базами детали, т. е. осуществлять принцип единства баз. В качестве черновой технологической базы выбирается поверхность или совокупность поверхностей, относительно которых на первой операции обрабатываются поверхности, используемые в дальнейшем в качестве базовых. При обработке поверхностей, ограниченных точными размерами, как правило, следует использовать основные базы.

Для изготовления высокоточных взаимосвязанных отверстий в корпусных деталях АМЗ широко применяют координатно-расточные станки. Типовая последовательность обработки цилиндрических отверстий приведена в табл. 5.2. Подготовка к обработке на станке включает: перевод прямоугольных координат в полярные и наоборот; расчет перемещений крестового стола при делении окружности на равные части; составление координатных таблиц; подготовку исходных данных и кодирование при обработке деталей на станках с программным управлением.

Координаты отверстий рассчитывают с точностью до 10 мкм при точности межосевых расстояний более 0,03 мм и до 1 мкм — при точности менее 0,03 мм. При составлении координатных таблиц руководствуются следующими рекомендациями: устанавливают последовательность обработки отверстий и обозначают номера отверстий с учетом наименьших возможных перемещений стола станка и смен инструмента; выбирают начало координат так, чтобы суммировать заданные размеры, а не вычитать (это достигается установкой измерительных баз детали относительно измерительной системы или переносом начала координат в отверстия, наиболее удаленные от измерительных баз). Припуски выбирают по таблицам или рассчитывают с учетом следующих условий. Припуски в целях сокращения времени обработки и удешевления стоимости детали должны быть минимальными, но достаточными для того, чтобы обеспечить заданную чертежом точность и шероховатость поверхности, особенно для окончательных операций; припуски должны назначаться с учетом термической обработки детали и связанных с этой операцией деформаций, намеченных методов и видов обработки и выбранного оборудования; размеров обрабатываемой детали, так как возможность деформаций от усилий резания и внутренних напряжений увеличивается с увеличением размера детали.

Расчет припусков, мкм, производится по формуле

$$Z_{b \min} = R_z + T + \sqrt{\rho^2 + e_y^2},$$

где  $R_z$  — высота неровностей;  $T$  — глубина дефектного слоя;  $\rho$  — суммарное значение пространственных отклонений;  $e_y$  — погрешность базирования.

Для обработки несущих элементов лентопротяжного механизма (ЛПМ) из алюминиевых сплавов рекомендуется применять инструмент из быстрорежущих сталей Р9 и Р18, твердых сплавов марок ВК6М, ВК8М, а также с режущей частью из нитрида бора и алмазов.

В корпусных деталях контролируют точность диаметральных и линейных размеров, точность формы и расположения поверхности. Методы и средства

**5.1. Типовые технологические процессы для высокоточных корпусных деталей АМЗ из литейных сплавов**

Номер операции	Последовательность операций для категорий деталей		
	1	2	3
1	Получение отливки		
2	Термическая обработка по ГОСТ 17535—72		
3	Механическая обработка в оставленном припуске 0,5—1 мм на сторону для наиболее точных размеров в зависимости от габаритных размеров детали	Предварительная механическая обработка с оставлением припуска 2—3 мм	
4	Отделочная операция (гальваническое или лакокрасочное покрытие)	Термическая обработка по ГОСТ 17535—72	
5	Окончательная механическая обработка	Механическая обработка с оставлением припуска до 0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров	
6	—	Отделочная операция (гальваническое или лакокрасочное покрытие)	Термическая обработка по ГОСТ 17535—72
7	—	Окончательная механическая обработка	Механическая обработка с оставлением припуска до 0,2—0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров
8	—	—	Отделочная операция (гальваническое или лакокрасочное покрытие)
9	—	—	Окончательная механическая обработка
10	—	—	Термическая обработка по ГОСТ 17535—72

## 5.2. Типовая последовательность обработки цилиндрических отверстий

Диаметр обрабатываемых отверстий, мм	Заданная точность межосевых расстояний, мм	Класс точности отверстий	Шероховатость обрабатываемых поверхностей, мкм	Последовательность обработки отверстий
До 3	$\pm 0,1$	4—5	3,2	Разметка, сверление, рассверливание
	$\pm 0,1$	2—3	0,8—0,4	Разметка, сверление, развертывание
	$\pm 0,05$	2—3	0,8—0,4	Разметка, сверление, рассверливание, развертывание
	$\pm (0,01—0,005)$	1—2	0,4—0,2	Разметка, сверление, растачивание, развертывание
До 10	$\pm 0,1$	4—5	3,2	Разметка, сверление, зенкерование
	$\pm 0,1$	2—3	0,8—0,4	Разметка, сверление, зенкерование, развертывание
	$\pm 0,05$	2—3	0,8—0,4	Разметка, сверление, растачивание, развертывание
	$\pm (0,01—0,005)$	1—2	0,4—0,2	То же
Свыше 10	$\pm 0,1$	4—5	3,2	Разметка, сверление, зенкерование
	$\pm 0,1$	2—3	0,8—0,4	Разметка, сверление, растачивание
	$\pm 0,05$	2—3	0,8—0,4	То же
	$\pm (0,01—0,005)$	1—2	0,4—0,2	»

контроля выбирают с учетом требуемой точности изготовления детали, ее размеров и конфигурации, а также количества контролируемых деталей. Диаметральные и линейные размеры 1—3-го классов точности контролируют калибрами или микрометрическими инструментами, прямолинейность и плоскостность — линейками и плитами. В тех случаях, когда нет возможности проверить плоскостность линейкой или плитой, используют специальные индикаторные приспособления (рис. 5.1, а) или координатно-расточные станки (рис. 5.1, б). В этом случае деталь устанавливают на стол станка и выставляют по трем базовым точкам. Остальные точки проверяют индикаторами 1, 2 по разности показаний. При этом индикатор 2 должен показывать фиксированное положение «0» с натягом 0,5 мм. Отклонение стрелки от начального положения индикатора 1 показывает неплоскостность поверхности.

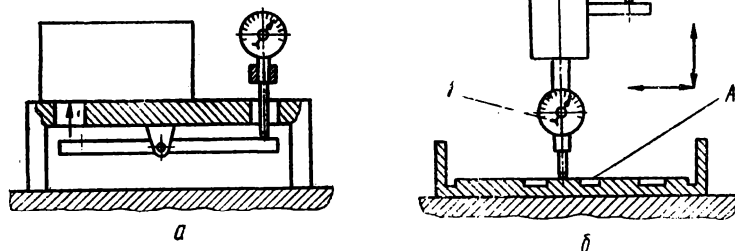
Контроль точных линейных размеров между двумя отверстиями выполняют следующим образом. В шпиндель координатного станка устанавливают специальное приспособление с индикатором (рис. 5.2). Деталь устанавливают на стол станка и выставляют в прямоугольных координатах. Выбирают базовое отверстие, по которому фиксируют начальное положение шпинделя и стола станка в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Сменный валик 1 заводят в первое отверстие, рычаг 2 нажимает на ножку индикатора 4 и стрелка показывает определенное деление. Фиксируют деление «0». После этого шпиндель станка 3 поднимают вверх и перемещением стола в одном из направлений подводят другое отверстие. Отклонение стрелки индикатора указывает на неточность линейного размера.

**Изготовление ведущих, приемных и подающих узлов АМЗ.** При выборе материала для изготовления деталей ведущих приемных и подающих узлов

АМЗ следует учитывать факторы, характеризующие геометрическую стабильность, технологичность и коррозионную стойкость.

Для обеспечения точности деталей узла ведущего вала АМЗ выше 1-го класса (нецилиндричность и некруглость не более 0,0015 мм) и шероховатости поверхности в пределах 10—12-го классов ( $R_a$  0,1...0,025 мкм) целесооб-

Рис. 5.1. Схема контроля плоскости индикаторным приспособлением (а) и на координатно-расточном станке (б)



разно применять нержавеющие стали типа 4Х18Н2М, Х16НЗМАД и легированные типа ХВГ. Эти стали, применяемые также для изготовления корпусных деталей ведущих узлов АМЗ, отвечают повышенным требованиям по пластичности, вязкости и коррозионной стойкости. С целью улучшения обрабатываемости и обеспечения точности после механической обработки сталь 4Х18Н2М подвергается термическому улучшению до HRC28 — 32 и стабилизирующей термообработке. Термообработанная нержавеющая сталь с шероховатостью обработанных поверхностей не более  $R_a$  1,6 мкм и последующей химической обработкой (химическая пассивация) обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Для изготовления прецизионных валов узла ведущего вала АМЗ применяют сталь ХВГ, обеспечивающую малые внутренние напряжения и поводку, благодаря большому количеству аустенита (до 40%) после закалки. Кроме того, сталь ХВГ характеризуется хорошей прокаливаемостью. Повышенные коррозионной стойкости деталей из ХВГ достигается хромированием.

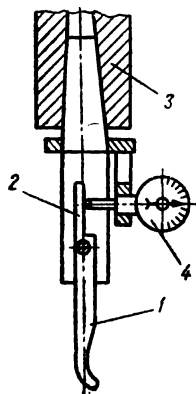


Рис. 5.2. Устройство для контроля точных линейных размеров между двумя отверстиями

В узлах ведущего вала некоторых систем АМЗ применяют детали, изготовление которых сопряжено с трудностями. Например, особые технологические приемы следует применять для обеспечения несоосности посадочных мест под подшипники в пределах 0,002—0,003 мм на длине 200—250 мм, а также несоосности отверстий 2-го, 3-го классов точности с предельным отклонением 0,0015—0,002 мм в полом валу узла ведущего вала. С учетом достижимой технологической точности можно рекомендовать следующую последовательность технологических операций изготовления прецизионных деталей. Для валов: заготовительная, термическая (отжиг), токарная черновая, токарная чистовая, обезжиривание, термическая (закалка, обработка холодом, отпуск), зачистка центровых отверстий, фасок и канавок от окалины, шлифовальная с припуском 0,3 мм, шлифовальная центровых отверстий, шлифовальная с припуском 0,15 мм, стабилизирующий отпуск, шлифовальная с припуском 0,025 мм, стабилизирующий отпуск, шлифовальная с занижением под хромирование, стабилизирующий отпуск, хромирование, шлифовальная окончательная.

Для прецизионных корпусов: заготовительная, токарная черновая, термическая (закалка и высокий отпуск), токарная предварительная, термическая (стабилизирующий отжиг), сверлильная, слесарная, разметочная, фрезерная, слесарная, термическая (стабилизирующий отжиг), токарная окончательная, гальваническая (химическое пассивирование).

Для обеспечения посадок подшипников АМЗ без дополнительной притирки и доводки посадочные места валов и корпусов обрабатывают тонким точением и шлифованием на высокоточном оборудовании. Например, для обеспечения посадки подшипников по наружному диаметру с зазором 0,002—0,008 мм посадочные гнезда корпусных деталей растачиваются на токарно-винторезном станке М-40А Shimamoto (Япония). Радиальное и осевое биение шпинделя станка составляет 0,008 мм.

Посадку подшипников по внутреннему диаметру с зазором 0,001—0,004 мм обеспечивают обработкой посадочных мест вала тонким шлифованием (с выхаживанием) на особоточном отечественном круглошлифовальном станке ЗВ110, а также на круглошлифовальном станке МИС 27-50 (Япония), радиальное и осевое биение шпинделя которого составляет 0,002 мм.

Для выполнения требуемых технических условий на валы АМЗ (нецилиндричность не более 0,001 мм, биение не более 0,001—0,002 мм, шероховатость  $R_a$  0,2...0,04 мкм) необходим центрошлифовальный станок, обеспечивающий правильность геометрической формы и шероховатость конических поверхностей нейтральных отверстий ( $R_a$  0,4 мкм, не более). Можно рекомендовать центрошлифовальные станки QC 12-130 (Япония) и ZCM-1 фирмы Technical AU (Швейцария).

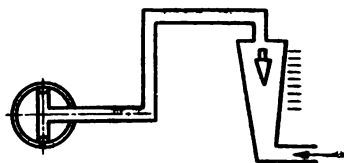


Рис. 5.3. Схема измерения отверстий пневмодлиномером

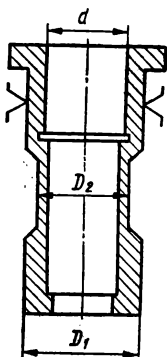
Условия посадки прецизионных подшипников в узле ведущего вала АМЗ требуют применения режущих и абразивных инструментов, обеспечивающих высокую точность сопрягаемых деталей (валов и корпусов) и минимальную шероховатость обрабатываемых поверхностей. Применение методов тонкого точения резами, оснащенные новыми сверхтвердыми материалами (исмит, гексанит-р, элбор), тонкого шлифования алмазными кругами АСМ зернистостью 40/28 и 14/10 мкм решает вопрос получения точных соединений без дополнительных трудоемких процессов, требующих высокой квалификации (доводка, притирка). Положительные результаты дает также растачивание посадочных мест в корпусах резами, оснащенными сверхтвердым материалом — исмитом, синтезированным на основе кубического нитрида бора. Геометрические параметры таких расточных резцов следующие:  $\varphi = (55 \pm 1)^\circ$ ,  $\varphi_1 = (15 \pm 1)^\circ$ ,  $\alpha = (15 \pm 1)^\circ$ ,  $\gamma = (5 \pm 1)^\circ$ ,  $r = (0,4 \pm 0,1)$  мм. Шероховатость рабочих поверхностей резца должна быть 10—12-го классов. Растачивание такими резами обеспечивает шероховатость обработанных поверхностей  $R_a$  0,4...0,2 мкм.

Опыт шлифования точных валов алмазными кругами АСМ 40/28 Бр100 (ГОСТ 16167—70) доказал возможность получения шероховатости, соответствующей 11—12-му классам на стали ХВГ с твердостью HRC 54...55. Предварительно валы шлифуются абразивным кругом 24А10НСМ18К6 (ОСТ 2—115—71) до 9—10-го класса шероховатости.

Для измерения отверстий выше 1-го класса точности в корпусных деталях АМЗ применяют длинномер пневматический высокого давления (ротаметр), обеспечивающий точность измерения 0,0016 мм. Этот измерительный прибор нетрудно модернизировать в условиях предприятия, после чего он представляет собой сваренный однопределный пневматический длинномер с пределом измерения 0,04 мм. Схема измерения отверстий показана на рис. 5.3. Применяя такой прибор при измерении точных отверстий в корпусах узла ведущего вала АМЗ, можно измерять оба посадочных места под подшипники непосредственно на станке.

При настройке станка некруглость первых двух деталей (0,0015 мм) проверяют индуктивным прибором — кругломером ВЕ20А. Точность измерения прибора составляет 0,00015 мм. Действительные размеры посадочных мест вала измеряют рычажным микрометром с ценой деления 0,002 мм (ГОСТ 16969—71). Требуемое биение валов не более 0,001 мм проверяется на биенметре типа Б2М с помощью измерительной головки 02 ИПМ (ГОСТ 14712—69). Нецилиндричность валов 0,001 мм измеряют кругломером ВЕ-20А.

В связи с повышенными требованиями к точности размеров деталей узла ведущего вала АМЗ и точных их измерений необходимо создание нормальных условий согласно ГОСТ 8050—73 (постоянная температура помещений  $\pm 20^\circ \text{C}$  и др.).

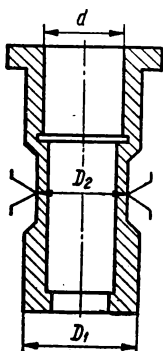


Причиной погрешностей, возникающих при обработке, могут быть режимы резания. Многочисленные опыты показали, что с увеличением скорости подачи и глубины резания растут погрешности обработки. Поэтому посадочные места под подшипники в корпусных деталях растачивают на пониженных режимах резания:  $v_{\text{дет}} = 0,3 \dots 0,6 \text{ м/с}$ ;  $S_{\text{пр}} = 0,045 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0,005 \text{ мм}$ , так как данная операция равноценна окончательной доводочной операции, которая должна обеспечить посадку подшипника с зазором 2—8 мкм. Окончательно посадочные места валов шлифуют с применением следующих режимов:

$$V_{\text{ср}} = 25 \dots 30 \text{ м/с}; v_{\text{дет}} = 2 \dots 5 \text{ м/с};$$

$$S_{\text{пр}} = 0,05 \text{ м/с}; t = 0,005 \text{ мм}$$

с последующим выхаживанием. Как при растачивании, так и при шлифовании применяется смазочно-охлаждающая жидкость.



Контроль деталей производится после охлаждения их до комнатной температуры. Так как деталь в процессе обработки подвергается сложным упругим деформациям, то для получения необходимой точности нужен правильный способ крепления детали. Крепление корпуса узла ведущего вала АМЗ в кулачках по наружному диаметру  $D_1$  (рис. 5.4) вызывает огранку отверстия  $d$  до 1,8 мкм. Поэтому целесообразно крепить деталь по  $\varnothing D_1$  в разрезной втулке (при длине детали не более 50 мм) или по занижению ( $\varnothing D_2$ ) в спецкулачках при длине детали более 50 мм.

Базой при обработке валов являются центровые отверстия, от качества которых существенно зависит точность геометрической формы (степень некруглости и нецилиндричности) и взаимного расположения поверхностей (биения) вала. Поэтому центровые отверстия следует обрабатывать на прецизионных центрошлифовальных станках.

Рис. 5.4. Схемы крепления корпуса узла ведущего вала АМЗ

Сборку высокоточных узлов АМЗ выполняют в два этапа: предварительная сборка элементов и узлов с последующей регулировкой и технологическим креплением в соответствии со сборочным чертежом на сопрягаемую деталь;

окончательная сборка элементов в узлы с последующим креплением их согласно сборочному чертежу.

Последовательность сборки узла ведущего вала: расконсервация подшипников, измерение действительных размеров и компоновка по группам, чистовая обработка вала и корпуса по действительным размерам подшипников, комплектовка, сборка, регулировка, контроль биения вала и крутящего момента на валу согласно техническим условиям, окончательная сборка и смазка, контроль ОТК. Действительные размеры подшипников измеряют по внутреннему диаметру с помощью пневмокалибров и специального конусного калибра, по наружному диаметру — скобами рычажными. Торцевые и радиальные биения проверяются на специальных оправках микротормами.

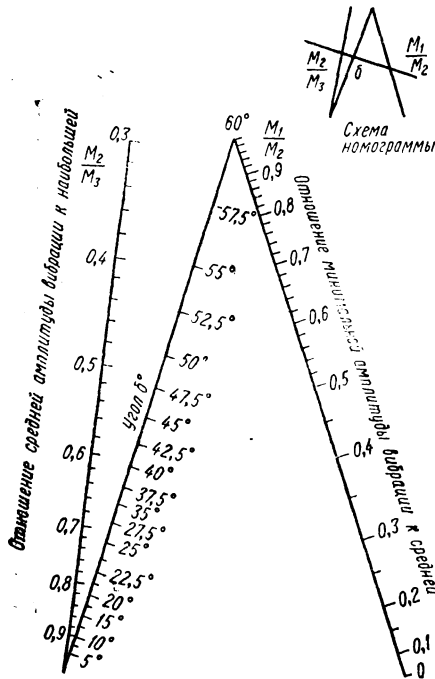


Рис. 5.5. Номограмма для определения угла  $\delta$  при балансировке БВГ

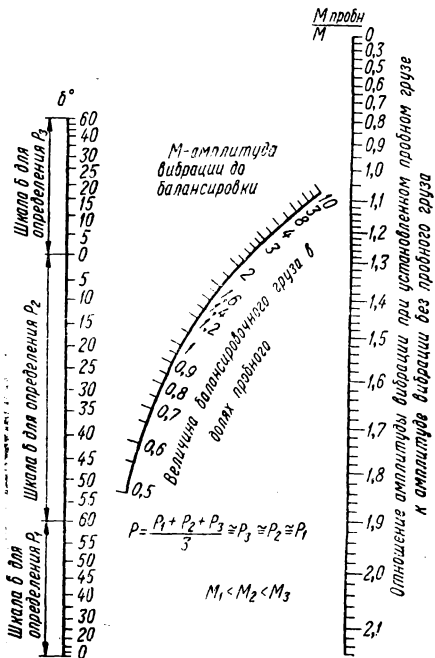
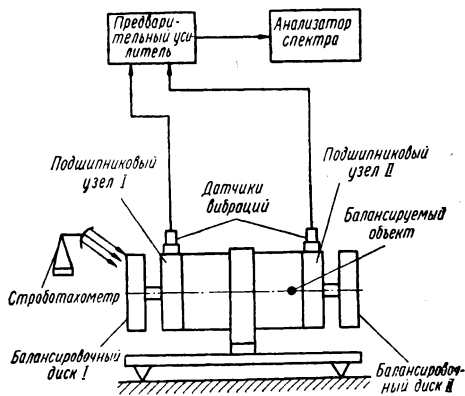


Рис. 5.6. Номограмма для определения веса результирующего груза при балансировке БВГ

Рис. 5.7. Схема соединения аппаратуры и устройства при балансировке методом трех пусков





Последовательность сборки узла блока вращающихся головок (БВГ): комплектовка, сборка входящих узлов (параллельная сборка), регулировка и предварительная балансировка узлов, окончательная сборка и монтаж БВГ, юстировка магнитных головок и датчиков, окончательная балансировка, испытания и контроль ОТК. Магнитные головки в БВГ юстируют при помощи микроскопов и делительных головок с точностью в пределах 3 угловых секунд.

Обычно в качестве установочной базы используют поверхность корпуса электродвигателя, на валу которого закреплен блок вращающихся головок. В регулировочном приспособлении устанавливают два микроскопа под углом  $90^\circ \pm 3''$  так, что с их помощью можно осуществлять визуальное наблюдение рабочей поверхности головок БВГ. Поворачивая диск с головками по часовой стрелке от первого микроскопа ко второму и замеряя фактические данные головок в двух позициях (перекос рабочего зазора, линейность размеров), по фактическим погрешностям положения головок, измеренных поочередно первым и вторым микроскопом, определяют величину требуемой регулировки, которую выполняют регулировочными элементами БВГ с последующей их жесткой фиксацией (контровкой). Юстировка БВГ — сложная и трудоемкая операция — в условиях серийного производства занимает не менее 30—40 мин.

Видеоблок балансируют на рабочих оборотах двигателя методом трех пусков. Изделие поступает на балансировку укомплектованным в соответствии с требованиями сборочного чертежа, при этом каждый подшипниковый узел должен иметь радиально расположенное отверстие для закрепления вибро датчиков. Каждый подшипниковый узел оснащают собственным вибродатчиком, плотно привинченным резьбовой шпилькой к корпусу балансируемого изделия. Чувствительность вибродатчиков должна быть одинаковой во все подшипниковых узлах, недопустимо пользоваться одним вибродатчиком, поочередно закрепляя его на разных подшипниковых узлах.

После установки видеоблока в балансирующем устройстве запускают электродвигатель без установленных грузов и вводят его в синхронный режим (контроль осуществляют стробоскопом). Полученную величину вибрации обозначают  $M_0$ . Далее устанавливают первый пробный груз в произвольной точке балансирующего диска, а полученную величину вибрации обозначают  $M_1$ . Устанавливают второй пробный груз в точке, отстоящей от точки установки первого пробного груза на  $120^\circ$ . Выполнив измерения, обозначают величину вибрации  $M_2$ . По номограмме (рис. 5.5) определяют угол  $\delta$ , на который необходимо сдвинуть балансирующий груз от точки с меньшей величиной вибрации  $M_1$  к точке со средней величиной вибрации  $M_2$  (если  $M_3 > M_2 > M_1$ ). Пользуясь номограммой (рис. 5.6), определяют коэффициент  $P_{ср}$  и массу результирующего балансирующего груза  $P_{б.р.}$  На балансирующем диске в точке, определенной по номограмме (рис. 5.5), устанавливают результирующий балансирующий груз  $P_{б.р.}$  Указанные операции выполняют последовательно на балансирующем диске подшипникового узла I, а затем подшипникового узла II, после чего снова проверяют фактические величины вибраций и, при необходимости, повторяют балансировку, добиваясь получения заданного уровня вибраций на обоих подшипниковых узлах. После этого выполняют контровку балансирующих грузов. Схема соединения аппаратуры и устройств при балансировке методом трех пусков показана на рис. 5.7.

## 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ БЛОКОВ МАГНИТНЫХ ГОЛОВЕК

Магнитные головки с металлическими сердечниками. По конструктивно-технологическим признакам магнитные головки классифицируют на следующие типы: рамочные, полублочные, наборные, с пластмассовым наполнителем.

Технологический процесс изготовления магнитных головок *рамочного типа* включает следующие операции: штамповку пластин сердечников и их термообработку, склейку сердечников, изготовление конструктивных деталей, намотку катушек, обработку и сборку сердечников, сборку головок

и окончательную доводку ее поверхности. Этот процесс не требует применения специального оборудования и сложной технологической оснастки и поэтому удобен для организации поточного производства.

Основные недостатки данного процесса: низкая точность склейки сердечников (допуск по толщине  $0,07-0,08$  мм), что создает ряд трудностей при изготовлении многорожечных магнитных головок (невозможность получения точного шага между каналами, ухудшение параметров вследствие значительных сдвигов дорожек записи и воспроизведения, доходящих до  $0,1-0,15$  мм); ненадежность соединения сердечников усилием, возникающим при натяге накладок, обойм, планок и т. п. В процессе эксплуатации головок, особенно в условиях с резкими колебаниями температуры, возможно ослабление усилия стягивания и, как следствие, недопустимое расширение рабочего зазора.

Особенностью головок *полублочного типа* является сборка сердечников в корпусах-полублоках с последующим соединением их в единый моноблок — многорожечную головку. Технологический процесс изготовления одно- и многорожечных головок полублочного типа включает следующие операции: штамповку и отжиг пластин сердечников; склейку пакетов и намотку на них катушек; изготовление корпусов (обойм); сборку полублоков; обработку плоскостей разъемов; сборку головок в моноблок; окончательную обработку рабочей поверхности.

Преимущества данного процесса: высокая точность совпадения рабочих зазоров с условной плоскостью. Взаимное отклонение рабочих зазоров таких головок не превышает  $\pm(0,5-1)$  мкм; отсутствие взаимных угловых перекосов рабочих зазоров по каналам головок с металлическими корпусами, что объясняется хорошим сохранением плоскостности после обработки; высокая точность выполнения шага каналов с отклонениями не более  $0,02$  мм; надежное взаимное крепление полублоков, обеспечивающее сохранение параметров в условиях резких климатических и механических испытаний.

Недостатки: большая трудоемкость изготовления фрезерованных полублоков; в случае применения пластмассовых полублоков из-за упругих свойств пластмасс наблюдаются значительные отклонения рабочих зазоров от условной оси. Такие отклонения совершенно недопустимы для головок цифровой магнитной записи.

Конструктивно-технологической особенностью магнитных головок *наборного типа* является возможность набора различных блоков МГ из отдельных унифицированных секций. Технологический процесс изготовления наборных магнитных головок имеет следующие преимущества: универсальность процесса. Независимо от числа дорожек в блоке процесс идентичен и выполняется в одной последовательности. Головки для БМГ с любым числом каналов изготавливаются в универсальной технологической оснастке, что резко сокращает время технологической подготовки производства; простота процесса (за исключением сборки сердечников и регулировки положения рабочих зазоров) и необходимого технологического оборудования.

Недостатки: сложность сборки сердечников; сложность настройки положения зазоров. Операция настройки положения зазоров трудоемка и требует применения специальных оптических средств регулировки; невозможность получения точности совпадения рабочих зазоров с условной плоскостью менее  $\pm(15-18)$  мкм.

Принципиально новыми решениями в технологическом процессе изготовления головок с *пластмассовым наполнителем* являются: шдифование сердечников в точно установленный размер с двух сторон по плоскости разъема и с тыльной стороны; сборка в отдельности каждого канала головки (ячейки) с базой на обработанные тыльные поверхности сердечника. При сборке обеспечивают габаритные размеры (ячейки) с заданной точностью; сборка ячеек в металлических сменных технологических корпусах с постановкой экранов и заливкой эпоксидными компаундами; съем технологических корпусов и обрамление головки конструкционными деталями — арматурой (основание, боковые стенки, крышка-накладка, задняя стенка-плата с лепестками для распылки выводов, внешний экран), которые крепятся к головке с помощью клеев и паст. Преимуществом данного технологического процесса является

возможность получить перемычки между каналами и экранами менее 0,25 мм, что не удается получить методами прессования пластмасс и фрезерования корпусов. Данный технологический процесс можно применять для изготовления магнитных головок с любым числом каналов.

Основные недостатки: на всех операциях необходимы прецизионная оснастка и рабочие высокой квалификации, имеющие навыки изготовления магнитных головок в сменных технологических корпусах; возможны взаимные угловые перекосы рабочих зазоров вследствие недостаточно точной сборки ячеек, что ухудшает идентичность электроакустических параметров по каналам многодорожечной головки.

Независимо от вида магнитной головки есть операции, для которых созданы типовые технологические процессы:

**1. Штамповка пластин сердечников** из полос магнитомягкого материала на твердосплавных штампах совмещенного действия. Штампы должны быть тщательно заточены и точно выставлены на прессах при штамповке, так как в противном случае пластины сердечников будут получаться с большими заусеницами, изгибами, значительными скруглениями в местах острых кромок, входящими в отдельных случаях до 0,08 мм, и другими дефектами, усложняющими дальнейшую сборку сердечников. Заточку твердосплавных штампов целесообразно производить через 0,5—1 млн. наштампованных пластин.

**2. Отжиг пластин сердечников.** Для наиболее распространенных магнитомягких материалов отжиг рекомендуется производить по следующим режимам.

Сплавы 50НХС, 80НХС, среда отжига — вакуум 0,13 Па; скорость нагрева 400—500° С/ч; максимальная температура нагрева 1100—1150° С; время выдержки при максимальной температуре 3—6 ч (в зависимости от размера и массы садки); режим охлаждения — до 400° С со скоростью 100° С/ч, далее охлаждение на воздухе.

Сплав 79НМ, среда отжига — вакуум 0,13 Па; скорость нагрева 400—500° С/ч; максимальная температура нагрева 1100—1150° С; время выдержки при максимальной температуре 3—6 ч (в зависимости от размера и массы садки); режим охлаждения — до 600° С со скоростью 100—200° С/ч; далее — охлаждение ускоренное.

Сплав 16ЮИХ, среда отжига — окружающая атмосфера; максимальная температура нагрева 1000° С; детали загружают в печь, нагретую до 900° С, а затем поднимают температуру до 1000° С в течение 1 ч; время выдержки при максимальной температуре 0,5—1 ч (в зависимости от размера и массы садки); режим охлаждения до 750° С со скоростью 100° С/ч, от 750 до 600° С со скоростью 50° С/ч; выдержка при температуре 600° С в течение 10—20 мин, затем резкое охлаждение в масле или 25%-ном водном растворе едкого натра.

Сплав 81НМА, среда отжига — вакуум 0,013 Па; скорость нагрева 400° С/ч; максимальная температура нагрева 1100° С; время выдержки при максимальной температуре 3—5 ч (в зависимости от размера и массы садки); режим охлаждения до 600° С со скоростью 200° С/ч, далее охлаждение ускоренное.

**3. Склейка пластин сердечников в пакеты с помощью приспособлений различных конструкций.** В массовом производстве склейку выполняют в приспособлениях с винтовым зажимом, в которые закладывают одновременно пластины на 5—10 сердечников. Излишки клея выдавливаются винтовым зажимом приспособления. После сушки склеенный моноблок раскалывают на 5—10 сердечников. Данный способ склейки пакетов достаточно производителен, однако обеспечивает точность размеров по толщине лишь в пределах 0,06—0,08 мм. В процессе склейки пакета необходимо следить за тем, чтобы пластины сердечников были установлены по плоскости разреза и рабочей поверхности заподлицо. Образующаяся по указанным поверхностям ступенчатость не должна превышать 0,06 мм, так как большие отклонения приводят к необходимости удаления большего припуска на последующих операциях шлифования и доводки сердечников, что нежелательно, так как возможно образование сколов по клеевым швам (распушивание).

С целью уменьшения потерь магнитных свойств сердечников и улучшения рабочих параметров магнитных головок широко применяют способ склейки

в приспособлениях с упором. Особенность способа заключается в том, что пакеты 5 после пропитки клеем помещают в гнезда *d*, образуемые планками 3, 4 и мерным упором 2, воспринимающим на себя усилие зажима от барашка 1 и предотвращающим передачу давления на пакет пластин. Гнезда калибруют геометрическую форму и размеры сердечников. Полимеризацию клея производят без давления на пакеты (рис. 5.8). Отсутствие давления при полимеризации позволяет свести к минимуму потери магнитных свойств сердечника, которые не превышают 20—25% от исходных значений. Применяя приспособления с мерным упором, можно уменьшить разброс толщины пакетов сердечников до 0,03—0,04 мм, т. е. сократить примерно в два раза поле допуска на толщину сердечников по сравнению со склейкой в приспособлениях с винтовым зажимом. Это позволяет повысить идентичность рабочих параметров многодорожечной магнитной головки.

В большинстве случаев для склейки применяют клеи высокой прочности на основе эпоксидных смол ЭКС-1, ЭКС-2, ЭКС-4, ЭКС-Ф, УП-5-162-1. При склейке необходимо тщательно обезжировать поверхности пластин сердечников, так как качество очистки от загрязнений склеиваемых поверхностей непосредственно определяет прочностные характеристики клеевого соединения. Наилучшие результаты очистки получают в ультразвуковых многокамерных ваннах с такой последовательностью операций: обезжиривание в парах фреона; ультразвуковая очистка в водных эмульсиях фреона; кратковременная выдержка в парах фреона; ультразвуковая очистка и холодная промывка во фреоне; сушка в парах фреона, выпаривание, обезвоживание.

В качестве моющих сред в заводской практике рекомендуется применять фреон-113 и азеотропную композицию в следующем объеме соотношении: фреон-113 — 98%, вода дистиллированная — 6%, эмульгатор — 2%. Эмульгатор представляет собой смесь поверхностно-активных веществ — синтанола ДС-10 и масло-растворимого ингибитора АКОР-2 в соотношении 1 : 2. Рекомендуемый режим ультразвукового озвучивания: частота колебаний 18—22 кГц (1-й диапазон) или 44—48 кГц (2-й диапазон), амплитуда колебаний 0,5—0,6 Вт/см<sup>2</sup>, время очистки 1,5—2 мин, температура моющей среды 18—20° С.

4. Намотка катушек на индивидуальный каркас или непосредственно на сердечник. В обоих случаях намотка производится на станках с рядовой раскладкой провода, выводные концы изготавливаются из более толстого провода. К выводам катушек припаиваются начало и конец обмотки. Для повышения надежности пайки рекомендуется спаиваемые концы зачищать в среде нейтрального газа.

5. Финишная абразивная обработка плоскостей разреза и рабочих поверхностей магнитных головок — наиболее ответственная операция технологического процесса их изготовления. Для производства рекомендуются ручные методы доводки (табл. 5.3) и (при серийности головок не менее 500—1000 шт. в год) — машинные методы обработки (табл. 5.4). Механическая обработка с использованием рекомендуемых инструментов и режимов резания

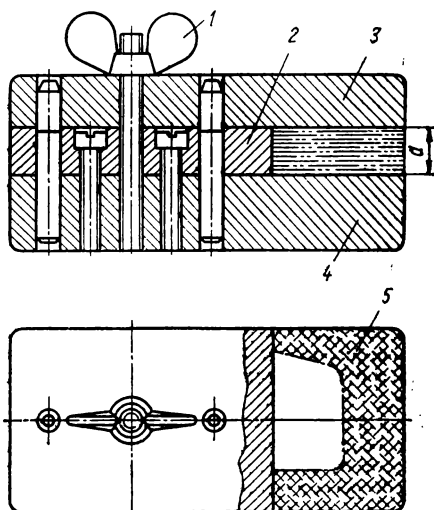


Рис. 5.8. Приспособление с мерным упором для склейки пакетов сердечников магнитных головок

### 5.3. Технологические параметры при ручной доводке магнитных головок с сердечниками из сплава 80НХС

Абразивный инструмент	Зернистость, мкм	Класс шероховатости	Плоскостность, мкм	Глубина наклепа, мкм	Степень наклепа	Качество вскрытия рабочего зазора
«Индий» + «Арказас»	40	12б	1,2	15	1,8	Хорошее
КЗМ7ВТЛ	7	12б	1	4	1,01	
Чугунная плита + микропорошок КЗМ3-М1	3—1	12в	0,6—0,7	4	1,01	Отличное
Брусок МЗП Кедровского месторождения	10	12в	1—1,2	6	1,3	
Брусок Эдиганского месторождения	10	12б	0,3	6	1,32	
Брусок Третьяковского месторождения	10	12б	0,6	6—8	1,2	
Брусок месторождения Шекпктас	60—100	12в—13а	0,6—0,9	8—10	1,2	
Брусок месторождения Кушоко	5—20	13б	0,6	6	1,1	
Брусок месторождения Дарат	5—10	13б	0,6	5	1,1	
Брусок месторождения Атасу	2—6	14а	0,3	4	1,05	

обеспечивает получение шероховатости поверхности в пределах 12—14 классов, неплоскостности поверхностей полублоков менее 3 мкм на длине 30 мм, отклонение от цилиндричности рабочей поверхности  $\sim 0,1$  мкм и глубины наклепа  $< 5$  мкм.

При шлифовании магнитных головок мелкозернистыми кругами в режимах тонкого шлифования можно обеспечить достаточно высокую производительность процесса при сьеме малых объемов металла  $\sim 40$ —50 мкм по высоте обрабатываемого изделия. При увеличении припуска производительность падает, в связи с чем процесс шлифования необходимо выполнять в две операции и на двух станках: черновое шлифование крупнозернистыми кругами со сьемом  $\sim 80\%$  припуска и чистовое шлифование мелкозернистым кругом для достижения требуемого качества со сьемом  $\sim 15$ —20% от общей величины припуска. Как показали расчеты, технологическая себестоимость алмазного шлифования в 1,5—3 раза меньше, чем при шлифовании абразивными кругами.

Для высокопроизводительной обработки магнитных головок бытовых магнитофонов в массовом производстве целесообразно использовать на операциях шлифования высокопористые абразивные круги электрокорунда белого типа 39А10СМ2К16. Режимы шлифования: скорость круга  $V_{кр} = 21 \dots 35$  м/с, скорость изделия  $V_n = 3 \dots 10$  м/мин, глубина шлифования  $t = 10 \dots 50$  мкм, поперечная подача  $S_n = 0,3 \dots 0,5$  мм/двойной ход.

**6. Сборка магнитных головок.** В промышленности широко распространен способ изготовления многодорожечных БМГ, при котором сердечники устанавливаются в обоймы с пазами, скрепляют обоймы в блок и заливают внутренние полости компаундами. Недостаток данного способа: обоймы скрепляют в моноблок винтами, а лишь затем заливают внутренние полости компаундами. При больших габаритных размерах головки (например, для лент 25,4 мм), а также при высокой поперечной плотности записи скрепление винтами не гарантирует плотного прилегания по всей плоскости разъема, в связи с чем возможны нарушения прямолинейности рабочего зазора по средним дорожкам головки. При полимеризации компаунда возникают напряжения, которые (при отсутствии надежного соприкосновения полублоков по всей

#### 5.4. Абразивные инструменты и оптимальные режимы механической обработки многорожечных магнитных головок

Операции	Абразивные инструменты	Режим обработки	Смазочно-охлаждающая жидкость
Тонкое плоское шлифование поверхностей разъемов полублоков	Круг АСМ14Бр100%, БоМ114Бр100%, КЗМ14СМ2Гл	Скорость круга 22 м/с; продольная подача (скорость изделия 2 м/мин); поперечная подача 0,1—0,2 мм/двойной ход; глубина шлифования 0,002 мм	—
Механическая доводка поверхностей разъема полублоков	Чугунный (предварительная доводка) и оловянный (окончательная доводка) притиры; микропорошки монокорунда (электрокорунда белого) зернистостью 5,3 и 1 мкм (последовательно) или пасты зернистостью 1—5 мкм	Скорость резания 7 м/мин; удельное давление $5 \cdot 10^8$ Па	Смесь с составом: керосин — 50%, олеиновая кислота — 50%
Тонкое круглое шлифование рабочей поверхности	Круг АСМ14Бр100%, БоМ14Бр100%, КЗМ14СМ2Гл	Скорость круга 35 м/с; скорость изделия 30 м/мин; продольная подача 0,02 мм/об (5 мм/мин); глубина шлифования 0,0025 мм	Эмульсия (обильное охлаждение)
Суперфиниширование рабочей поверхности	Бруски КЗМ7СТ2 или ЭХМ7СТ1 (предварительная обработка); бруски ЭБМ1СТ2 или ЭХМ3СТ2 (окончательная обработка)	Число колебаний брусков 800—2000 двойной ход/мин; амплитуда колебаний брусков 3 мм; удельное давление $(5—10) 10^4$ Па; продольная скорость 0,32 м/мин; скорость детали 30 м/мин	Смесь с составом: керосин 82—87%, машинное масло 10—15%, олеиновая кислота 3%

головки (угловая точность)  $25-30''$ ; в лабораторных условиях  $-10-15''$ ; по отклонению расстояния от нижнего канала многодорожечного блока до установочного основания  $\sim 0,01$  мм. Полученные точности дают возможность свести к минимуму и практически исключить потери за счет перекосов рабочих зазоров и нестыковки дорожек в многодорожечных блоках при замене головок на аппаратах магнитной записи.

**Ферритовые магнитные головки.** Операции шлифования, резки и доводки ферритовых сердечников являются наиболее важными в технологическом про-

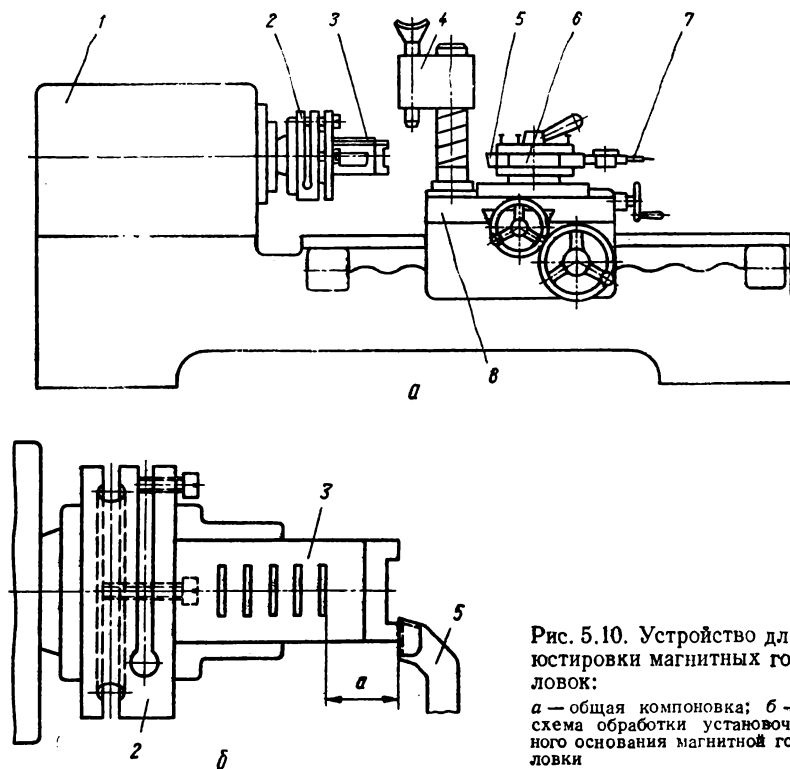


Рис. 5.10. Устройство для юстировки магнитных головок:  
 а — общая компоновка; б — схема обработки установочного основания магнитной головки

цессе изготовления магнитных головок. При обработке плоскостей разрезов ферритовых сердечников необходимо обеспечить шероховатость поверхностей под последующую доводку не хуже 10-го класса, неплоскостность поверхностей порядка  $0,1-0,3$  мкм, отсутствие сколов и трещин, минимальный дефектный (трещиноватый) слой.

При шлифовании рабочей поверхности ферритовых головок необходимо обеспечить шероховатость поверхности порядка 12-го класса, хорошее вскрытие рабочего зазора, отсутствие обработочных раковин и трещин. Доводка поверхностей разреза и рабочих поверхностей головок должна обеспечить шероховатость поверхности не ниже 13-го класса и полное отсутствие раковин. Разрезка сваренным стеклом ферритовых заготовок на брикеты должна обеспечить шероховатость поверхности в пределах 7—9-го классов, не должна создавать трещин в ферритовом сердечнике и в стекле, образующем рабочий зазор. Выбранные режимы резания должны обеспечить такую динамику обработки (силы, температуры), которая предотвращала бы оплавление стекла и нарушение геометрических параметров рабочего зазора, что достигается при

плоскости рабочих зазоров) сдвигают полублоки относительно друг друга что также ухудшает прямолинейность рабочего зазора, а следовательно, рабочие параметры магнитных головок. Особенно значительно это ухудшение в условиях действия механических перегрузок, когда внешние силы дополняют искажения рабочего зазора, полученные на ранних стадиях изготовления головки.

С целью повышения прямолинейности рабочего зазора и обеспечения заданных параметров в условиях действия механических перегрузок разработаны, испытаны и внедрены в производство новые способ и устройства для

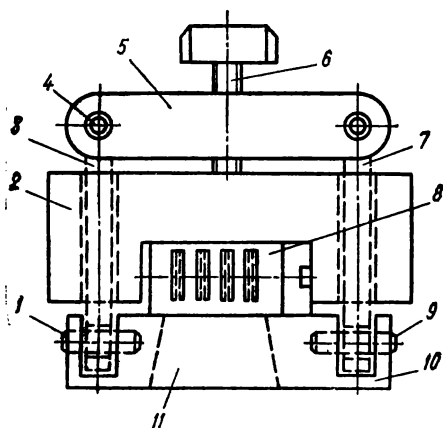


Рис. 5.9. Устройство шарнирного типа для сборки магнитных головок

прецизионной сборки магнитных головок. Согласно новому способу, заливку внутренних полостей компаундом совмещают с плотным скреплением обойм с сердечниками в блок. Для сборки головок по указанному способу разработано устройство, содержащее две соединенные через два стержня 3, 7 планки 5, 10, одна из которых выполнена с отверстием 11 для заливки компаунда в блок магнитных головок 8, а другая — с винтом 6, который сопряжен с размещенным на стержнях бруском 2, выполненным с пазом для блока магнитных головок, причем каждый из упомянутых стержней соединен с каждой из пластин шарнирами 1, 9 (рис. 5.9). Стрела прогиба плоскости рабочих зазоров при сборке в жестких приспособлениях достигает в отдельных случаях 70 мкм, при сборке в устройствах шарнирного типа составляет 0,5—2 мкм, т. е. в 40—50 раз меньше.

7. Юстировка магнитных головок. При изготовлении магнитных головок невозможна полная их взаимозаменяемость. Поэтому при установке (юстировке) головок на аппаратах магнитной записи выполняются сложные регулировочные операции, для чего необходимы сложные дополнительные установочные элементы.

В настоящее время в промышленности внедрен новый способ юстировки головок. После сборки и обработки рабочей поверхности подрезают установочное основание головки с обеспечением заданных требований чертежа. Головку 3 закрепляют в устройстве для обработки основания (например, в шпинделе токарного станка 1) с помощью оправки 2, имеющей регулировочные элементы, таким образом, чтобы основание головки можно было обработать режущим инструментом 5 (рис. 5.10, а). На суппорте 8 устройства (например, токарного станка 1) устанавливается стойку с оптической головкой 4 (например, оптической головкой микротвердомера ПТМ-3). В держателе устройства закрепляют индикатор 7, а также режущий инструмент 5 (резец или, при необходимости, устройство типа фрезерной или шлифовальной головки). С помощью регулировочных элементов оправки методом последовательных приближений добиваются такого положения МГ, при котором перекрестие оптической головки при перемещении суппорта вдоль оси шпинделя не смещается с линии рабочих зазоров, а образуя рабочей поверхности с требуемой точностью параллельна оси шпинделя (контроль выполняется индикатором). Добившись указанного положения магнитной головки, производят подрезку ее установочного основания с обеспечением требуемого расстояния от одной из головок многодорожечного блока до основания (рис. 5.10, б).

При рассмотренном способе юстировки головок обеспечивается точность по перпендикулярности плоскости рабочих зазоров к основанию магнитной



правильном выборе метода обработки, назначении оптимального абразивного инструмента и режиме резания.

Тонкое алмазное шлифование ферритовых сердечников МГ по поверхностям разреза рекомендуется выполнять на плоскошлифовальном станке модели МШ-259 («Микрон-1П»). Режимы шлифования: алмазные круги АСМ40 /28Мо12 100% (черновое шлифование), АСМ28/20Мо12 100% (получистовое шлифование), АСМ14/10Мо12 100% (чистовое шлифование); частота вращения шпинделя 16000 мин<sup>-1</sup>, стола 8 мин<sup>-1</sup>; вертикальная подача 5—10 мкм; шлифование — попутное; охлаждение — содовым раствором.

Тонкое круглое шлифование рабочей поверхности МГ рекомендуется выполнять на прецизионных круглошлифовальных станках, например, модели СУ-125. Режимы шлифования: алмазные круги АСМ14Бр 100% (черновое шлифование), АСМ7Бр 100% (получистовое шлифование), АСМ3Бр 100% (чистовое шлифование); скорость круга 30—35 м/с; продольная подача 0,02—0,04 м/мин; скорость изделия 0,02 м/мин; глубина шлифования 2,5—3 мкм; охлаждение — обильное содовым раствором. При выполнении перечисленных рекомендаций обеспечивается шероховатость поверхности 12а и 12б классов и глубина трещиноватого слоя в пределах 2 мкм.

Режимы алмазной резки ферритовых сердечников МГ и характеристика отрезного алмазного круга существенно влияют на качество обработанной поверхности. Для точной алмазной резки ферритовых заготовок можно рекомендовать прецизионные станки моделей 12500 и «Алмаз-4Т».

На основании результатов исследований и обобщения передового опыта промышленности алмазную резку ферритов следует выполнять со следующими режимами резания: круг АСОМ40(М28)Э1 100%; скорость круга 100—125 м/с; продольная подача 0,3—0,5 м/мин; вертикальная подача 10 мкм; охлаждение — обильное в масляном тумане. При такой обработке можно обеспечить шероховатость поверхности 8-го класса, глубину трещиноватого слоя 25—30 мкм, сколы кромок не более 10 мкм. Припуск под последующее тонкое плоское шлифование должен, с учетом приведенных данных, составлять не менее 0,05—0,07 мм. Качество стеклянного рабочего зазора при резке с указанными режимами не нарушается.

Прецизионная доводка ферритов МГ — одна из наиболее сложных технических задач при алмазно-абразивной обработке ферритовых сердечников. Трудности при доводке обусловлены необходимостью обеспечения поверхности без вырывов, сколов и обработочных раковин. Качество поверхности и некоторые рекомендации по доводке сердечников МГ приведены в табл. 5.5. Наилучшие результаты, соответствующие техническим требованиям на магнитные головки, обеспечивает доводка на стеклянном притире «Пирекс» мягкими доводочными пастами «Ленкарз» зернистостью 1—3 мкм. Наиболее близко к предъявляемым требованиям подходит также ручная доводка на стеклянном притире микропорошками электрокорунда белого зернистостью 1—2 мкм. Указанная тонкая доводка после предварительного шлифования практически устраняет трещиноватый слой, образованный на предшествующих операциях тонкого алмазного шлифования, который не превышает значений 0,5—1 мкм.

Окончательную доводку рабочей поверхности МГ целесообразно выполнять специальным гибким алмазным инструментом — лентой из полиэтилен-терефталатной пленки толщиной 20—50 мкм, с шероховатостью поверхности 12-го, 13-го класса, имеющей рабочий слой из порошка алмаза, закрепленного в пленкообразующем веществе на основе клея БФ-4, БФ-6 или БФ-2. Вначале нужно использовать пленку толщиной 40—50 мкм при зернистости алмазного порошка 3—7 мкм, а для чистовой отделки — пленку толщиной 20—30 мкм с зернистостью алмазного порошка 0,1—3 мкм. В процессе доводки рабочую поверхность ферритовой МГ перемещают по поверхности ленты и вращают вокруг собственной оси. Специальные приспособления для такой обработки нетрудно разработать на основе типовых МТЛ АМЗ.

Для качественного (без деформации и опасных напряжений) сплавания полусердечников ферритовых МГ с помощью легкоплавного стекла (т. е. стеклообразования рабочих зазоров) требуется выполнять ряд условий.

### 5.5. Качество поверхности горячепрессованных ферритов при различных методах доводки

Доводка	Качество поверхности		
	Класс шероховатости	Неплоскостность, мкм	Дефекты на обработанной поверхности
Ручная на чугунном притире 0 класса алмазными пастами на жировой основе зернистостью 1—3 мкм	12	0,2—0,3	Царапины отсутствуют. Значительное число раковин $\varnothing$ 1,5—3 мкм
Ручная на чугунном притире 0 класса микропорошками электрокорунда белого М2-М3	12	0,2—0,3	Царапины отсутствуют. Небольшое число раковин $\varnothing$ 1,5—3 мкм
Машинная на станке ИП-018 на стальном диске микропорошками электрокорунда белого М1-М3	12	0,2—0,3	Царапины отсутствуют, раковины $\varnothing$ 3—5 мкм
Машинная на станке 2ШП-200 на стеклянном притире алмазными пастами на жировой основе зернистостью 1—3 мкм	12	0,3—0,5	Царапины, раковины $\varnothing$ 5—7 мкм
Машинная на станке 2ШП-200 на стеклянном притире микропорошками электрокорунда белого М1-М3	12	0,5—0,6	Небольшие царапины, раковины $\varnothing$ 3—5 мкм
Ручная на стеклянном притире микропорошками электрокорунда М1-М2	13	0,1—0,3	Царапины отсутствуют, отдельные раковины $\varnothing$ 0,5—1,5 мкм
Ручная на чугунном притире отмученной окисью хрома М3	12	0,5—0,6	Царапины, раковины $\varnothing$ 0,5—5 мкм
Полировка на замше алмазной пастой М1-М3	14	3—3,5	Отдельные царапины, отсутствие раковин
Ручная на стеклянном притире белыми пастами «Ленкарз» зернистостью 1—2 мкм	13	0,1—0,3	Полное отсутствие царапин, практическое отсутствие раковин (1—2 шт. $\varnothing$ 0,1 мкм)

1. Необходимо, чтобы при температуре, рабочей для припаячного стекла, спаиваемый с его помощью материал оставался еще достаточно твердым, т. е. обладал бы вязкостью не менее  $10^{12}$  Пз.

2. Коэффициент термического расширения припаячного стекла во всем интервале температур (от температуры спаивания и до комнатной) должен быть несколько меньше по сравнению с коэффициентом термического расширения спаиваемого с его помощью материала.

3. Припаячное стекло должно хорошо смачивать поверхность твердого тела, с которым контактирует, и иметь краевой угол смачивания  $\theta$  по ферриту при температурах 600—900° С менее 90°.

4. Припаячное стекло не должно кристаллизоваться при рабочей температуре. Кроме того, стекло должно иметь микротвердость, отличающуюся от микротвердости феррита не более, чем на 30%, а износостойкость стекла по отношению к магнитной ленте должна быть не менее износостойкости феррита.

Химический состав и некоторые свойства стекол, применяемых для формирования зазоров ферритовых магнитных головок, приведены в табл. 5.б. Стекла 1—4 применяют для формирования зазоров 1—3 мкм посредством капиллярного всасывания расплава стекла в зазор, стекло 5 — выдавливанием излишка стекла, помещенного в зазор до термообразования рабочих зазоров

### 5.6. Химический состав и некоторые свойства стекол, применяемых для фор

№ п/п	Химический									
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	BaO	
1	22,5	21	—	—	—	—	—	—	—	
2	56,2	7,6	4,5	30	1,2	0,3	0,2	—	—	
3	70,9	16,4	1	—	0,5	0,3	—	5	2	
4	2,6	—	—	81	—	—	—	—	—	
5	65,8	18	1	—	3,5	1	—	7	—	
6	28	7	—	48	—	—	—	—	—	
7	5	—	—	76,5	—	—	—	—	—	
8	37,2	13	11,6	28,5	—	—	—	—	—	
9	37,5	—	—	—	6,8	—	—	4,6	41,6	
10	20,6	—	—	61,3	7	—	—	—	—	

шириной менее 1 мкм, методом капиллярного всасывания. Стекло 8 применяют для формирования зазоров шириной 2—5 мкм методом растворной керамики, стекла 9 и 10 — для нанесения на плоскости разреза полублоков методом вакуумного напыления.

Наиболее прост и удобен для массового производства магнитных головок метод формирования рабочих зазоров капиллярным всасыванием. Этот метод обеспечивает наибольшую точность получения рабочих зазоров. Сущность его заключается в следующем. На краях тщательно доведенных плоскостей разрезов ферритовых полублоков методом вакуумного напыления наносят тонкий слой огнеупорной пленки (моноокись кремния, титан, хром), который обеспечивает в процессе заполнения стеклом зазора расстояние между полублоками, определяющее величину зазора. Затем плотно состыковывают полублоки плоскостями разрезов. Над плоскостью разреза помещают стекло в виде нитей или порошка и расплавляют его. Расплав стекла по воздушному зазору (как по капилляру) протекает на всю глубину зазора.

Для формирования зазоров по этому методу необходимы специальные приспособления, обеспечивающие высокую плотность прилегания ферритовых полублоков друг к другу в процессе термообработки. Учитывая, что нагреваемые детали изменяют размеры в достаточно широких пределах, приспособления снабжают подвижными регулируемыми элементами, которые автоматически отслеживают температурные изменения размеров деталей. Недостатком метода является необходимость нагрева стекла при заполнении зазоров до температуры, значительно превышающей температуру размягчения стекла, так как вязкость стекломассы при затекании в капиллярную щель зазора должна быть небольшой. Поэтому для изготовления стеклянных зазоров применяют преимущественно легкоплавкие стекла, обладающие значительным коэффициентом термического расширения и малой твердостью, что создает определенные трудности при согласовании с соответствующими параметрами феррита. Кроме того, заполнение зазора жидкотекучим стеклом ведет к усилению диффузии компонентов стекла в феррит и может привести к увеличению эффективного зазора. Применение тугоплавких стекол в данном случае недопустимо, так как при температурах свыше 900—1000° С в ферритах происходят необратимые изменения, приводящие к ухудшению механических и электромагнитных свойств. Скорости затекания стекла для стекол 1, 2, 3 (табл. 5.6) приведены в табл. 5.7.

*Схема технологического процесса изготовления односторонних ферритовых магнитных головок (рис. 5.11). 1. Из ферритового цилиндра вырезают заготовки (а). 2. Выполняют алмазную шлифовку заготовок. 3. На заготовках алмазным шлифованием получают профильные канавки (б). 4. Выполня-*

мирования зазоров ферритовых магнитных головок

состав, мол. %				Свойства				Система феррита
MgO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO	LiO	Температура размягчения, °С	Кoeffициент линейного расширения α, 1/°С	Твердость по Виккерсу, кг/мм <sup>2</sup>	Температура формирования зазора, °С	
—	56,5	—	—	500	77 · 10 <sup>-7</sup>	510	850	Mn—Zn
—	—	—	—	620	95 · 10 <sup>-7</sup>	540	900	Ni—Zn
3,9	—	—	—	675	105 · 10 <sup>-7</sup>	550	880	Ni—Zn
—	7,6	8,8	—	580	87 · 10 <sup>-7</sup>	530	600	Mn—Zn
3,7	—	—	—	600	98 · 10 <sup>-7</sup>	410	900	Mn—Zn
—	16	—	1	380	79 · 10 <sup>-7</sup>	480	600	Ni—Zn
—	18,5	—	—	500	80 · 10 <sup>-7</sup>	560	690	Ni—Zn
—	6,4	—	3,3	640	85 · 10 <sup>-7</sup>	520	890	Ni—Zn
—	9,5	—	—	790	91 · 10 <sup>-7</sup>	540	950	Mn—Zn
—	11,1	—	—	650	93 · 10 <sup>-7</sup>	550	900	Mn—Zn

5.7. Скорости затекания стекла при температуре 850° С

Зазор, мкм	Глубина затекания, мкм	Время затекания, мин	Скорость затекания, мкм/мин	Зазор, мкм	Глубина затекания, мкм	Время затекания, мин	Скорость затекания, мкм/мин
1	1030	105	9,9	3	1565	45	34,8
1,5	1900	105	18,1	3,5	3080	45	68,5
2	2500	105	23,8	4	1265	15	84,5
2,5	3300	105	31,4				

ют прецизионную доводку плоскостей разъемов сердечников. 5. Очищают сердечники в ультразвуковых ваннах. 6. На концах одного из полублоков

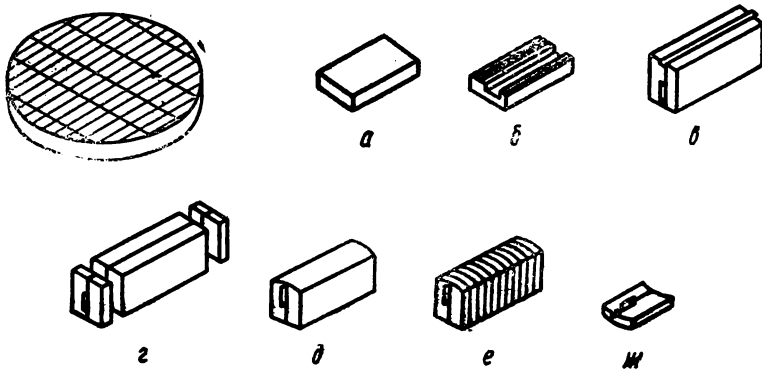


Рис. 5.11. Схема технологического процесса изготовления односторонних ферритовых головок

вакуумным напылением наносят ограничительную пленку. 7. Полублоки сваривают стеклом в моноблок с формированием стеклянного зазора (д). 8. Изменяют величину зазора и глубину протекания стекла, для чего со стороны тор-

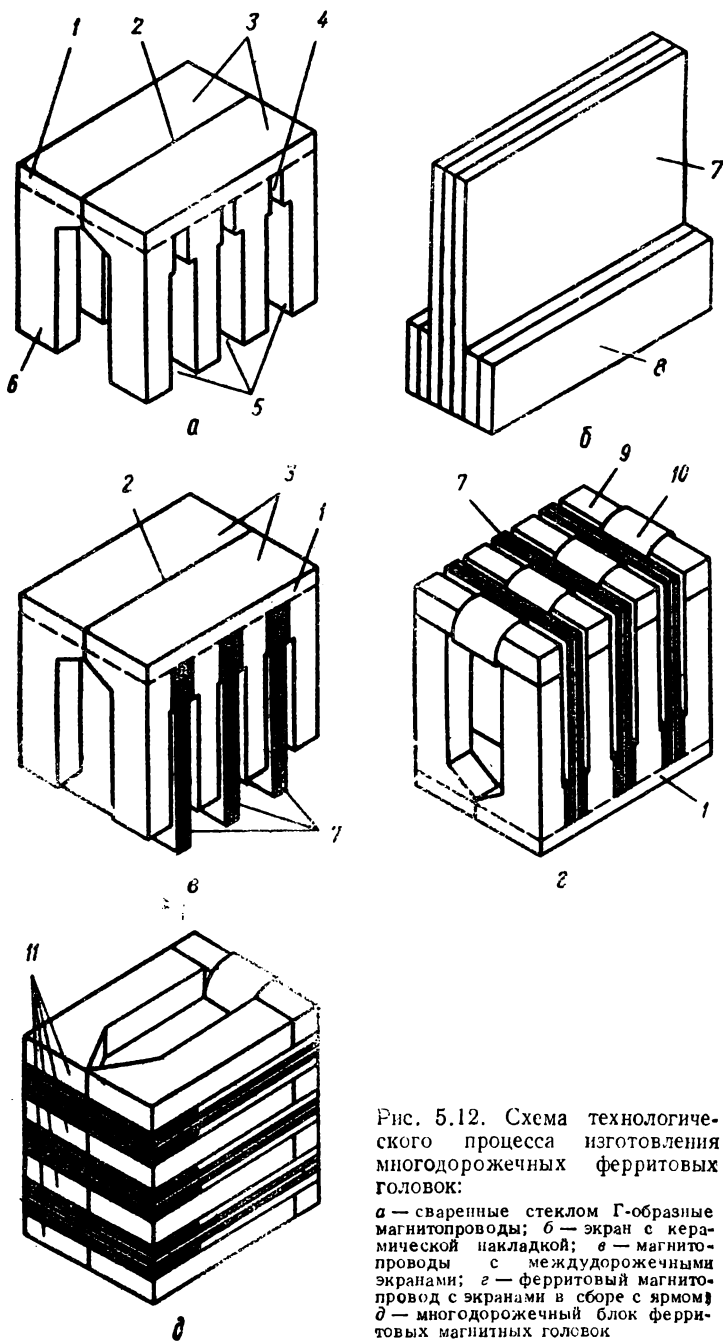


Рис. 5.12. Схема технологического процесса изготовления многорожечных ферритовых головок:

*а* — сваренные стеклом Г-образные магнитопроводы; *б* — экран с керамической накладкой; *в* — магнитопроводы с междорожечными экранами; *г* — ферритовый магнитопровод с экранами в сборе с ярмом; *д* — многорожечный блок ферритовых магнитных головок

цов моноблока отрезают дольки с упорными площадками и тщательно полируют торцы моноблока (з). 9. Выполняют алмазное шлифование поверхности моноблока (д). 10. Разрезают моноблок на отдельные сердечники (е). 11. На плоскошлифовальном станке МШ-259 шлифуют сердечники до требуемой толщины (ж). 12. В области зазора обрабатывают канавку, определяющую ширину дорожки. 13. Приклеивают головку в приспособлениях к держателю — латунной плате. 14. Наматывают катушки на сердечник и расплаивают выводы на печатную плату держателя. 15. Окончательно полируют рабочую поверхность алмазной лавсановой лентой. 16. Контролируют качество рабочего зазора и испытывают головки.

*Схема технологического процесса изготовления мнөөдороджечных ферритовых магнитных головок (рис. 5. 12).*

1. Из ферритовой массы прессуют (или из горячепрессованного ферритового цилиндра алмазной механической обработкой вырезают) Г-образный магнитопровод головок (рис. 5.12,а), предусматривая такое расположение пазов 4, 5, чтобы со стороны рабочей поверхности сердечника остался припуск 1. С целью получения высокой точности взаимного расположения дорожек внутренние поверхности пазов 4, 5 подшлифовывают.

2. Два Г-образных магнитопровода 3 сваривают друг с другом, формируя при этом рабочий зазор 2 (рис. 5.12,а). При сварке обеспечивают точное совпадение пазов 4 и 5 у обоих магнитопроводов. Возможен вариант, когда эти пазы нарезают у сваренных магнитопроводов одновременно. В этом случае глубину пазов 4 выдерживают таксой, чтобы по рабочей поверхности магнитопроводов остался припуск 1.

3. Закончив формирование стеклянного рабочего зазора, в пазы 4, 5 вставляют экраны. Экран 7 может быть выполнен наборным. Однако в любом случае к нему приклеивают керамические накладки 8 (рис. 5.12, б).

4. Вставленные в пазы 4, 5 экраны 7 закрепляют клеем (рис. 5.12, в).

5. Намотав на замыкающие ярма 9 катушки 10, с тыльной стороны магнитопровода закрепляют ярма, при этом обеспечивают плотный контакт между ярмом и магнитопроводом (рис. 5.12, в).

6. После закрепления замыкающих ярм заливают внутреннюю полость магнитопровода компаундом и сошлифовывают припуск 1. В результате этого вскрываются ферритовые дорожки 11 (рис. 5.12, д).

7. Придав рабочей поверхности алмазным шлифованием требуемую форму и тщательно отполировав ее, прикрепляют к нижней и верхней частям головки конструкционные обрамляющие детали (установочное основание, накладки, монтажные платы с лепестками, наружные П-образные экраны).

8. После сборки блока головок производят линейно-угловые измерения и испытания электроакустических параметров.

## Глава 6

### РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В АМЗ

#### 1. УСИЛИТЕЛИ И ГЕНЕРАТОРЫ В ТРАКТЕ ПРЯМОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ-ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Тракт прямой магнитной записи-воспроизведения (ПМЗВ) состоит из тракта записи ТЗ и тракта воспроизведения ТВ (рис. 6.1). Тракт записи содержит входной аттенуатор  $VxAm$ , усилитель записи УЗ, генератор подмагничивания  $ГенП$ , записывающую головку ГЗ и цепи ее сопряжения ЦС с УЗ и  $ГенП$ , контрольный генератор  $ГенК$  и коммутируемый индикатор уровня ИУ. К тракту записи можно также отнести генератор стирания  $ГенС$  со стирающей головкой ГС. Иногда используют дополнительную головку внешнего подмагничивания ГВП, которую питают от генератора  $ГенВП$ . Тракт воспроизведения содержит воспроизводящую головку ГВ, предварительный усилитель воспроизведения ПУВ, усилители с низкочастотной УНК и высокочастотной УВК коррекциями, выходной усилитель  $ВыхУ$

и индикатор уровня *ИУ* (общий для *ТЗ* и *ТВ*). В составе тракта ПМЗВ могут использоваться микрофон с микрофонным усилителем и телефон с дополнительным усилителем воспроизведения (на рис. 6.1 они не показаны).

В многодорожечной АМЗ в каждом канале используются однотипные блоки, содержащие основные цепи прохождения сигналов (*Вх Ат*, *УЗ*, *ЦС*, *ГЗ*, *ГВ*, *ПУВ*, *УНК*, *УВК*, *Вых У*), а также генератор *Ген П*. Индикатор уровня может быть отдельным в каждом канале или одним общим, подключаемым оператором подобно контрольному генератору *Ген К* к контролируемому каналу. Одновременно можно использовать индикаторы двух видов: светосигнальные, индицирующие номинальный уровень и перегрузку, — в каждом канале и один коммутируемый стрелочный со шкалой, проградуированной в рабочем диапазоне амплитуд. Стирание и внешнее подмагничивание обычно осуществляют по всей ширине ленты, в связи с чем генераторы *Ген С* и *Ген ВП* являются

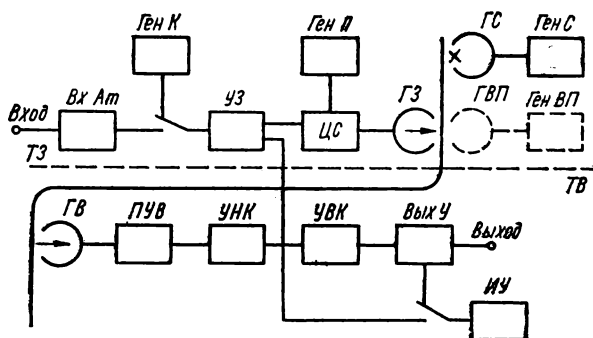


Рис. 6.1. Функциональная схема тракта ПМЗВ

общими для всех каналов, причем они могут быть объединены в одном генераторе стирания и подмагничивания. В тракте ПМЗВ применяют внешние органы плавной регулировки уровней записи и воспроизведения, используемые оператором совместно с индикатором, и внутренние — для подстройки трактов записи и воспроизведения под конкретные *ГЗ* и *ГВ*, обычно имеющие некоторый разброс параметров.

**Усилительные элементы (УЭ).** В качестве УЭ в трактах ПМЗВ используют транзисторы и микросхемы типа операционного усилителя (ОУ) с дифференциальным входом. Коэффициенты передачи (усиления) транзисторов при включении их по схемам с общей базой и общим эмиттером

$$h_{21б} = I_k / I_э; \quad h_{21э} = -I_k / I_б = h_{21б} / (1 - h_{21б}),$$

где  $I_k$ ,  $I_э$ ,  $I_б$  — токи коллектора, эмиттера и базы соответственно.

Коэффициенты передачи частотно-зависимы, модули их описываются выражениями

$$h_{21б} = h_{21б0} / \sqrt{1 + (f/f_{h21б})^2}; \quad h_{21э} = h_{21э0} / \sqrt{1 + (f/f_{h21э})^2},$$

где  $h_{21б0}$  и  $h_{21э0}$  — коэффициенты передачи на низкой частоте;  $f_{h21б}$  и  $f_{h21э}$  — предельные частоты, на которых значения коэффициентов передачи уменьшаются на 3дБ (в  $\sqrt{2}$  раза) [26].

Частотные характеристики  $h_{21б}(f)$  и  $h_{21э}(f)$  показаны на рис. 6.2, а. Вместо предельной частоты  $f_{h21б}$  в ТУ на транзисторы может быть указана

граничная частота  $f_{гр}$ , при которой  $h_{21э} = 1$ . Между  $f_{h21б}$ ,  $f_{h21э}$  и  $f_{гр}$  существуют зависимости:

$$f_{h21э} = f_{h21б} / [1 + (1 + m) h_{21э0}];$$

$$f_{гр} = f_{h21б} / (1 + m),$$

где  $m = 0,21$  для бездрейфовых и около  $0,7$  для дрейфовых транзисторов. Например, для эпитаксиально-планарного (дрейфового) транзистора КТ203Б с  $h_{21э0} = 30 \dots 100$  и  $f_{h21б} > 5$  МГц [27]:  $f_{h21э} > 30$  кГц и  $f_{гр} > 3$  МГц (расчет по приведенным формулам).

При пользовании частотными характеристиками  $h_{21б}(f)$  и  $h_{21э}(f)$  (рис. 6.2, а) необходимо учитывать следующее. Характеристика  $h_{21б}(f)$  снимается при неиз-

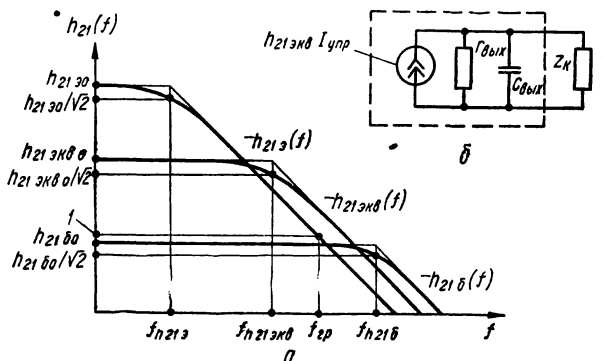


Рис. 6.2. Частотные характеристики коэффициентов передачи (а) и эквивалентная схема выходной цепи (б) транзистора

менном значении тока эмиттера  $I_э$ , что эквивалентно сопротивлению в цепи эмиттера  $R_э \rightarrow \infty$ . При этом ток базы зависит от  $I_э$  и коэффициента передачи следующим образом:  $I_б = I_э (1 - h_{21б}) = I_э / (1 + h_{21э})$ . Аналогично и характеристика  $h_{21э}(f)$  снимается при неизменном значении тока  $I_б (R_б \rightarrow \infty)$ , а  $I_э = I_б / (1 - h_{21б}) = I_б (1 + h_{21э})$ . Соответствующие частотные характеристики показаны на рис. 6.2, а. В реальном усилительном каскаде токи  $I_б$  и  $I_э$  зависят от входного сигнала, параметров транзистора и сопротивлений в цепях базы и эмиттера, а реальная частотная характеристика эквивалентного коэффициента передачи будет соответствовать кривой  $h_{21экв}(f)$  на рис. 6.2, а.

При использовании эквивалентного коэффициента передачи справедливы следующие соотношения:

$$I_к = h_{21экв} I_{упр}; \quad (6.1)$$

$$I_{упр} = U_{вх} (r_э + R_э + r_б + R_б), \quad (6.2)$$

где  $I_{упр}$  — независимый от  $h_{21б} (h_{21э})$  эквивалентный ток управления транзистором;  $r_э$  и  $r_б$  — сопротивления эмиттерного перехода и базы транзистора;  $R_к = 0$ .

Коэффициент передачи

$$h_{21экв} = h_{21б} / (1 + n h_{21б}) = h_{21э} / [1 + (1 - n) h_{21э}], \quad (6.3)$$

где  $n = 1 / [1 + (r_э + R_э) / (r_б + R_б)]$ .



Пределная частота усиления (частота среза частотной характеристики  $h_{21ЭКВ}(f)$ )

$$f_{h_{21ЭКВ}} = f_{h_{21б}} [1 + (1 - n) h_{21э0}] / [1 + (1 + mn) h_{21э0}]. \quad (6.4)$$

При  $n = 0$ :  $h_{21ЭКВ} = h_{21б}$ ,  $I_{упр} = I_э$ ,  $f_{h_{21ЭКВ}} = f_{h_{21б}}$ , а при  $n = 1$ :  $h_{21ЭКВ} = h_{21э}$ ,  $I_{упр} = I_б$ ,  $f_{h_{21б}} = f_{h_{21э}}$ . При этом, например для КТ203Б,  $R_б = 1$  кОм и  $R_э = 0$ ;  $n = 0,98$ ;  $h_{21ЭКВ0}$  — от 19 до 33;  $f_{h_{21ЭКВ}} \geq 35$  кГц. Кривая  $h_{21ЭКВ}(f)$  (рис. 6.2, а) для любого транзистора может быть построена по значениям  $h_{21ЭКВ0}$ , определяемым по формуле (6.3) при подстановке  $h_{21б}$  или  $h_{21э}$  вместо  $h_{21б}$  и  $h_{21э}$ , и по  $f_{h_{21ЭКВ}}$ , определяемому по формуле (6.4). Параметр  $h_{21ЭКВ}$  и его частотная характеристика зависят не от схемы включения транзистора (с общей базой или общим эмиттером), а от соотношения сопротивлений цепей эмиттера и базы, определяемого коэффициентом  $n$ .

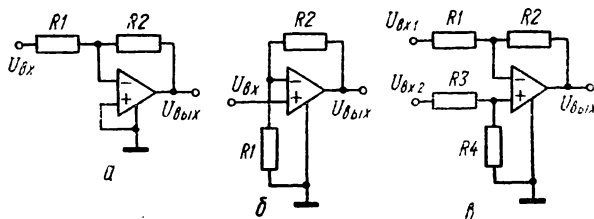


Рис. 6.3. Схемы усилительных каскадов на ОУ с параллельной (а), последовательной (б) и комбинированной (в) отрицательной обратной связью

Формула (6.1) определяет ток при нагрузочном сопротивлении в цепи коллектора  $R_к = 0$ . При наличии нагрузки дополнительно проявляется шунтирующее действие выходной цепи транзистора (рис. 6.2, б), для которой

$$r_{вых} = (1 - nh_{21б})/h_{22б0}; \quad (6.5)$$

$$C_{вых} = C_к / (1 - nh_{21б}), \quad (6.6)$$

где  $h_{22б0}$  и  $C_к$  — проводимость и емкость коллекторного перехода, влияющие соответственно на коэффициент передачи и его частотную характеристику.

Если ранее усилительные каскады строились на нескольких гальванически связанных транзисторах, охватываемых общей отрицательной обратной связью, то в последнее время для этой цели широко используются ОУ. На рис. 6.3 показаны три основные схемы включения ОУ:

с параллельной отрицательной обратной связью (рис. 6.3, а), при которой коэффициент передачи  $K \approx -R_2/R_1$ , а входное сопротивление  $R_{вх} \approx R_1$ ;

с последовательной отрицательной обратной связью (рис. 6.3, б), при которой  $K \approx 1 + R_2/R_1$ , а  $R_{вх} = r_{вх} [1 + K_y U / (1 + R_2/R_1)]$ , где  $r_{вх}$  и  $K_y U$  — входное сопротивление и коэффициент передачи ОУ,  $R_{вх}$  и  $K$  — то же для усилительного каскада на ОУ с обратной связью;

с комбинированной отрицательной обратной связью (рис. 6.3, в), при которой  $K_1 \approx -R_2/R_1$  и  $K_2 \approx (1 + R_2/R_1)/(1 + R_3/R_4)$ , где  $K_1 = U_{вых}/U_{вх1}$  при  $U_{вх2} = 0$  и  $K_2 = U_{вых}/U_{вх2}$  при  $U_{вх1} = 0$ . При  $R_2/R_1 = R_4/R_3$  коэффициент  $K_1 = -K_2$  и каскад работает как дифференциальный усилитель.

Выходное сопротивление для всех трех схем

$$R_{вых} = r_{вых} / [(1 + K_y U) / (1 + R_2/R_1)],$$

где  $r_{вых}$  — выходное сопротивление ОУ.

Вместо резисторов в цепях обратной связи усилительных каскадов можно использовать частотно-зависимые элементы, обеспечивающие получение требуемых частотных характеристик, или нелинейные элементы, обеспечивающие, например, ограничение амплитуды сигнала. На рис. 6.3 показаны только сигнальные цепи усилительных каскадов на ОУ. Для обеспечения нормальной работы ОУ дополнительно используются цепи питания, стабилизации режима, коррекции.

**Входные цепи усилителей записи (УЗ).** Схема входной цепи УЗ, содержащей аттенуатор и первый каскад усиления, используемой в АМЗ с низким входным сопротивлением, показана на рис. 6.4, а. При входном сопротивлении  $R_{вх} = 600 \text{ Ом}$ :  $R_1 = R_5 = 2R_3 = 735 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_4 = 29,7 \text{ кОм}$ , а при  $R_{вх} =$

$= 10 \text{ кОм}$ :  $R_1 = R_5 = 2R_3 = 12,2 \text{ кОм}$  и  $R_2 = R_4 = 495 \text{ кОм}$ , что, из-за больших сопротивлений резисторов и наличия емкостей монтажа, может привести к ухудшению равномерности АЧХ в области верхних частот. Входная цепь, схема которой показана на рис. 6.4, б, лишена указанного недостатка. При  $R_{вх} = R_1 = 10 \text{ кОм}$  значения остальных сопротивлений могут быть:  $R_2 \approx 10 \text{ кОм}$ ,  $R_3 \approx 1 \text{ кОм}$ ,  $R_4 \approx 100 \text{ Ом}$ . Для увеличения коэффициента передачи сопротивления этих резисторов можно увеличить, например, до 100, 10 и 1 кОм соответственно. Плавную регулировку уровня входного сигнала можно осуществлять по схеме на рис. 6.4, в. При этом коэффициент передачи будет регулироваться в пределах от  $K_{\min} = -R_{2,3,4}/R_1$  до  $K_{\max} = -(R_{2,3,4} + R_7 || R_8) / (1 + R_7/R_8) / R_1$ .

Пример параметров входной цепи по схемам на рис. 6.4, б, в: У1 — К140УД1А,  $R_1 = R_2 = 100 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_7 = 1 \text{ кОм}$  и  $R_8 = 100 \text{ Ом}$  при  $U_{вх}$  — от 10 мВ до 1В,  $R_{вх} = 100 \text{ кОм}$  и  $U_{вых} \approx 0,1 \text{ В}$ .

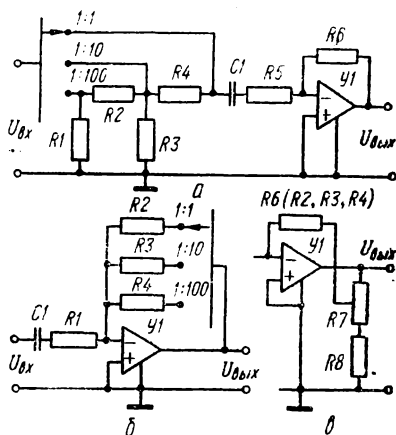


Рис. 6.4. Схема входной цепи усилителя записи:

а — с аттенуатором на входе ОУ; б — с переключаемой цепью обратной связи; в — с плавной регулировкой усиления

**Выходные цепи УЗ** содержат выходной каскад усиления и цепи сопряжения ЦС с записывающей головкой и генератором тока подмагничивания ГенП. На рис. 6.5, а показана схема выходного каскада УЗ с низким выходным сопротивлением, соответствующая включению ОУ по схеме на рис. 6.3, б. Для увеличения мощности она дополнена повторителем на транзисторах Т1 и Т2. На рис. 6.5, б показана схема каскада с высоким выходным сопротивлением, определяемым сопротивлениями параллельно соединенных коллекторных цепей Т1 и Т2 согласно формуле (6.5) и входным сопротивлениям повторителя на У1. Повторитель У1 обеспечивает стабилизацию режима транзисторов Т1 и Т2 по постоянному току. Его входное сопротивление  $r_{вхУ1} \approx r_{вх} K_{y, \nu}$ . Проводимость передачи каскада

$$G_{\text{пер}} = I_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = 1/(R_6 + h_{1161}) + 1/(R_7 + h_{1162}) = 2/(R_{6,7} + h_{1161,2}),$$

где  $h_{1161,2} \approx h_{1161} \approx h_{1162}$  — параметры транзисторов Т1 и Т2;  $R_{6,7} = R_6 = R_7$ .

Вместо повторителя на У1 можно использовать повторители на транзисторах

**Схемы цепей сопряжения** для каскадов с низким выходным сопротивлением (источник — генератор напряжения  $U_c$ , рис. 6.6, а) и каскадов с высоким выход-

ным сопротивлением (источник — генератор тока  $I_c$ , рис. 6.6, б) можно эквивалентно представить схемой с  $U_{с. экв}$  и  $R_{экв}$  (рис. 6.6, в). Для схемы на рис. 6.6, а  $U_{с. экв} = U_c / (1 + R_1/R_2)$  и  $R_{экв} = R_1 / (1 + R_1/R_2)$ , а для схемы на рис. 6.6, б  $U_{с. экв} = I_c R_2$  и  $R_{экв} = R_2$ . При этом ток записи (рис. 6.6, г)  $I_{зап0} = U_{с. экв} / (R_{экв} + r_{L1} + r_{ГЗ} + R_3) \approx U_{с. экв} / R_1$  и  $I_{зап0} = I_c$  для схем на

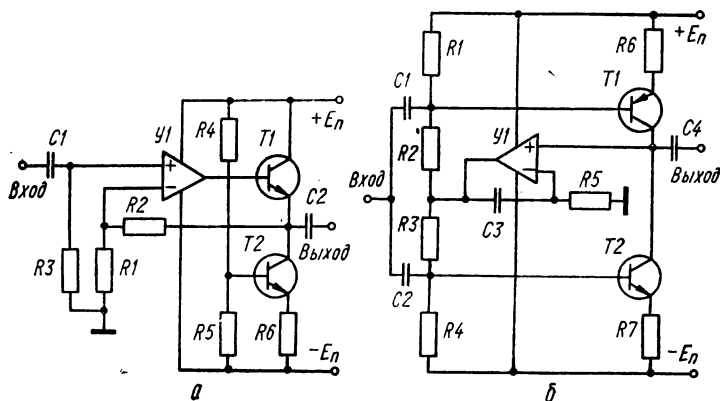


Рис. 6.5. Схемы выходных каскадов УЗ с низким (а) и высоким (б) выходным сопротивлением

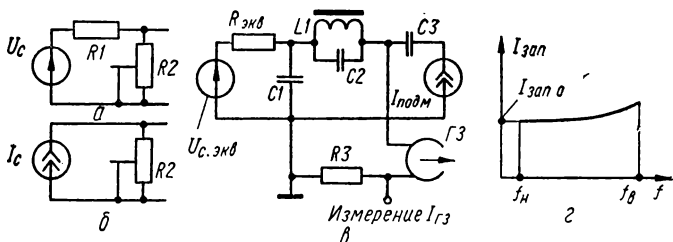


Рис. 6.6. Схемы выходных цепей УЗ с низким (а) и высоким (б) выходным сопротивлением, с ГЗ (в) и частотная характеристика цепей (г)

рис. 6.6, а и б соответственно (при  $r_{L1} + r_{ГЗ} + R_3 \ll R_{экв}$ , где  $r_{L1}$  и  $r_{ГЗ}$  — активные сопротивления катушки  $L1$  и головки ГЗ).

Небольшой подъем АЧХ обеспечивается резонансом в цепи ГЗ —  $L1$  —  $C1$  —  $C2$ , добротность которой зависит от  $R_{экв}$  (рис. 6.6, в). Величину подъема можно регулировать с помощью  $R2$ . Этот подъем используется для компенсации частотных потерь в ГЗ ( $f$ -потери). В отличие от  $\lambda$ -потерь, они не зависят от скорости ленты; поэтому в многоскоростной АМЗ ЦС не переключают. В тех случаях, когда при переключении скорости ленты требуется изменение АЧХ (например, в аппаратуре звукозаписи), соответствующие переключения рекомендуется производить в каскадах усиления, предшествующих ЦС, аналогично тому, как это выполняется в цепях коррекции усилителя воспроизведения. Емкость конденсатора  $C3$  (рис. 6.6, в) выбирается такой, чтобы цепь из  $C3$  и ГЗ была настроена в резонанс для тока подмагничивания. Для уменьшения расстройки цепи вследствие изменения индуктивности ГЗ в цепи гене-

ратора подмагничивания последовательно с  $C3$  можно включить катушку индуктивности, а емкость  $C3$  соответственно уменьшить.

В качестве примера приводятся данные цепей по схемам на рис. 6.5, а и 6.6, а, в. В усилителе (рис. 6.5, а):  $У1$  — К140УД1А;  $T1$  и  $T2$  — КТ312В;  $C_1 = 2,2$  мкФ;  $C_2 = 33,0$  мкФ;  $R_1 = 680$  Ом (постоянный резистор) + 470 Ом (переменный резистор для подстройки УЗ под ГЗ);  $R_2 = 18$  кОм;  $R_3 = 10$  кОм;  $R_4 = 10$  кОм;  $R_5 = 3,3$  кОм;  $R_6 = 390$  Ом; последовательно с  $R1$  — конденсатор емкостью 33 мкФ (для обеспечения 100%-ной отрицательной обратной связи по постоянному току, стабилизирующей режим). В ЦС по схеме рис. 6.6, а, в:  $R_1 = 680$  Ом;  $R_2 = 10$  кОм;  $R_3 = 10$  Ом;  $C_1 = 68$  нФ;  $C_2 = 1,2$  нФ;  $C_3 = 220$  пФ; рабочий диапазон частот — от 100 Гц до 100 кГц; частота тока подмагничивания 470 кГц;  $I_{\text{зап}} = 1,5$  мА;  $I_{\text{подм}} = 15...20$  мА.

Предварительный усилитель воспроизведения (ПУВ) предназначен для усиления слабых сигналов воспроизводящей головки (ГВ) и поэтому должен обладать низким уровнем собственных шумов. По шумовым свойствам транзистор характеризуется двумя эквивалентными источниками шума:  $e_{\text{ш.э}}$  — в эмиттерно-базовой цепи;  $i_{\text{ш.к}}$  — в цепи коллектора. Кроме того, в эмиттерно-базовой цепи:  $e_{\text{ш.Р}} = 2\sqrt{kT\Delta fR}$  — ЭДС шумов  $R_6$  и  $R_9$ ;  $e_c$  — ЭДС сигнала. В результате, отношение сигнал/шум в цепи коллектора

$$D = e_c^2 / (e_{\text{ш.Р}}^2 + e_{\text{ш.Т}}^2), \quad (6.7)$$

где  $e_{\text{ш.Т}}^2 = e_{\text{ш.э}}^2 + i_{\text{ш.к}}^2 z_{69}^2$  — шум транзистора, зависящий от суммарного сопротивления цепей базы и эмиттера  $z_{69} = z_6 + z_9$ ;  $z_6 = z_{\text{ГВ}} + r_6$  — сопротивление цепи базы с воспроизводящей головкой ( $z_{\text{ГВ}}$ );  $z_9 = R_9 + r_9$  — сопротивление цепи эмиттера с резистором отрицательной обратной связи ( $R_9$ );  $z_{69}$  — модуль сопротивления  $z_{69}$ , В ТУ на транзисторы приводится параметр  $F = 1 + e_{\text{ш.Т}}^2 / e_{\text{ш.Р}}^2$  — коэффициент шума, в связи с чем  $D = e_c^2 / e_{\text{ш.Р}}^2 F$ , однако при этом необходимо иметь в виду, что значение  $F$  дается для ограниченных условий. Например, для транзистора КТ3102Е  $F < 4$  дБ при  $f = 1$  кГц и  $R_6 = 2$  кОм ( $R_9 = 0$ ).

Из анализа выражения (6.7), в котором  $e_c$ ,  $e_{\text{ш.Р}}$  и  $e_{\text{ш.Т}}$  — функции количества витков ГВ, следует, что существует оптимум, при котором  $D$  — максимальное. Это обусловлено различной зависимостью  $e_c$ ,  $e_{\text{ш.Р}}$  и  $e_{\text{ш.Т}}$  от количества витков ГВ: с увеличением количества витков увеличиваются  $e_c$ ,  $e_{\text{ш.Р}}$  (при уменьшении сечения провода), и составляющая шумов транзистора, обусловленная источником  $i_{\text{ш.к}}$ , причем  $e_{\text{ш.Р}}$  и указанная составляющая растут в большей степени чем  $e_c$ , в то время как составляющая шумов, обусловленная  $e_{\text{ш.э}}$ , от количества витков не зависит.

В целях стабилизации коэффициента передачи частотной характеристики и повышения входного сопротивления ПУВ строят по схемам с отрицательной обратной связью (рис. 6, 7, а). В качестве  $У1$  можно применять транзисторную цепь (рис. 6.7, б) или ОУ. Коэффициент передачи ПУВ  $K \approx 1 + R_{\text{обр}}/R_9$ . Сопротивление  $R_9$  увеличивает уровень шума, но при  $R_9 \ll z_{69}$  это увеличение не существенно. На рис. 6.7, б показана схема ПУВ на кремниевых транзисторах КТ316Д для диапазона частот от 300 Гц до 300 кГц с данными элементами схемы  $R_1 = R_2 = 56$  кОм;  $R_3 = 10$  кОм;  $R_4 = R_5 = 3,3$  кОм;  $R_6 = 10$  Ом;  $R_7 = 2,4$  кОм;  $C_1 = 10$  мкФ;  $C_2 = 0,68$  мкФ; источник питания +12В с RC-фильтром ( $R = 1,5$  кОм;  $C = 10$  мкФ). Приведенный к входу уровень шумов ПУВ (для ГВ с  $L = 15$  мкГ) — не более 8 мкВ; коэффициент усиления  $K \approx 240$ .

Усилительные каскады с частотной коррекцией. На рис. 6.8 изображены типовые АЧХ УВ (кривые 1 и 2) для двух скоростей ленты (кривая 2 соот-

Рис. 6.7. Упрощенная (а) и практическая (б) схемы ПУВ с отрицательной обратной связью

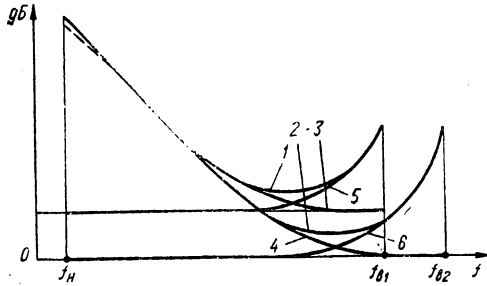
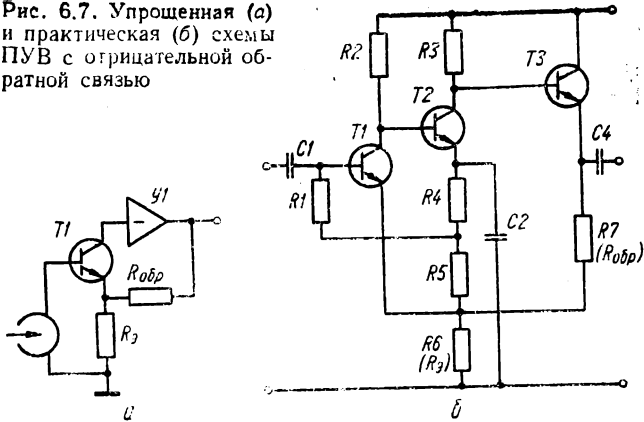


Рис. 6.8. Частотные характеристики усилителей воспроизведения (1 и 2), цепей НЧ-коррекции (3 и 4) и ВЧ-коррекции (5 и 6)

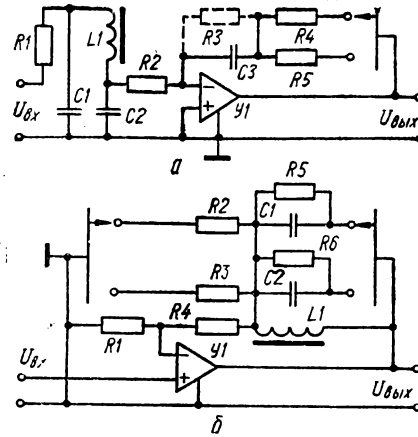


Рис. 6.9. Схемы усилительных каскадов на ОУ с цепями НЧ-коррекции (а) и ВЧ-коррекции (б)

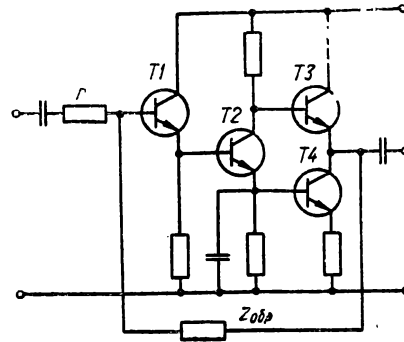


Рис. 6.10. Схема усилительного каскада на транзисторах с цепью обратной связи

ветствует большей скорости) и их составляющие: кривые 3 и 4 — АЧХ усилительных каскадов с НЧ-коррекцией (УНК, рис. 6.1) и кривые 5 и 6 — АЧХ каскадов с ВЧ-коррекцией (УВК, рис. 6.1). Упрощенные схемы построения каскадов с цепями коррекции показаны на рис. 6.9, а, б. На входе УНК (рис. 6.9, а) включен фильтр, ограничивающий полосу частот. Коэффициент передачи УНК в рабочей полосе частот

$$K = K_0 f(\omega), \quad (6.8)$$

где  $K_0 = -R_{4,5}/(R_1 + R_2)$  — коэффициент передачи при  $\omega \rightarrow \infty$ ;

$$f(\omega) = \sqrt{1 + 1/\omega^2 \tau^2}$$

множитель, определяющий АЧХ;  $\tau = C_3 R_{4,5}$  — постоянная времени цепи коррекции, характеризующая АЧХ.

Коэффициент передачи УВК выражается формулой (6.8), в которой  $K_0 = -1 + R_4/R_1$  — коэффициент передачи при  $\omega \rightarrow 0$ ;

$$f(\omega) = \sqrt{[1 + n/(n^2 + m^2 x^2)]^2 + [mx/(n^2 + m^2 x^2)]^2};$$

$$x = \omega/\omega_0 - \omega_0/\omega; \quad \omega_0 = 1/\sqrt{L_1 C_{1,2}};$$

$$n = [(R_1 + R_4) \parallel R_{2,3}] / R_{5,6}^*;$$

$$m = [(R_1 + R_4) \parallel R_{2,3}] / \rho, \quad \rho = \sqrt{L_1 / C_{1,2}};$$

$\tau$ ,  $\omega_0$ ,  $n$  и  $m$  — параметры цепей коррекции, которые однозначно характеризуют АЧХ УВ.

Цепь коррекции в усилительном каскаде (рис. 6.9, б) включена по схеме с последовательной отрицательной обратной связью. При включении коррекции по схеме с параллельной отрицательной обратной связью (см. рис. 6.3, а), когда входной сигнал подается через  $R_1$ , а неинвертирующий вход ОУ заземлен,

$$K_0 = -R_4/R_1; \quad n = (R_4 \parallel R_{2,3})/R_{5,6}; \quad m = (R_4 \parallel R_{2,3})/\rho.$$

Используя в цепи ВЧ-коррекции резистор  $R_2(R_3)^{**}$ , можно регулировать наклон АЧХ УВК без изменения высоты ее подъема, а также использовать одну катушку индуктивности в переключаемой (в зависимости от скорости ленты) цепи коррекции. Если  $R_2(R_3)$  и  $R_5(R_6)$  — переменные резисторы, то достигается настройка тракта ПМЗВ с погрешностью в пределах 1 дБ. При этом резистором  $R_5(R_6)$  регулируется высота подъема кривых 5 и 6, а резисторами  $R_2(R_3)$  и  $R_5(R_6)$  — наклон кривых.

Для трактов ПМЗВ с верхней частотой, измеряемой сотнями килогерц, где применение ОУ обычно затруднено, можно использовать транзисторный каскад, выполненный, например, по схеме, показанной на рис. 6.10 ( $z_{обр}$  — цепи НЧ- или ВЧ-коррекции, показанные на рис. 6.9). Включение транзистора  $T_1$  приводит к существенному расширению полосы частот усилительного звена на  $T_2$  (согласно рис. 6.2).

В качестве примера приведем данные УНК и УВК, используемых в диапазонах частот 0,3—10 кГц и 0,3—20 кГц (в зависимости от положения переключателя);  $U_{вых} = 1$  В на нагрузке 600 Ом. Для УНК (рис. 6.9, а):  $У1$  — К140УД1А;  $R_1 = R_2 = 3,3$  кОм;  $R_3 = 150$  кОм;  $R_4 = 4,3$  кОм;  $R_5 = 8,2$  кОм;  $C_1 = C_2 = 1$  нФ;  $C_3 = 4,7$  нФ. Кроме того, между инвертирующим входом и выходом  $У1$  включена Т-образная RC-цепь для стабилизации режима с  $R$  по 12 кОм и  $C = 2,2$  мкФ. Для УВК (рис. 6.9, б):  $У1$  — К140УД1А;  $R_1 = 560$  Ом;  $R_2 = R_3 = 560$  Ом (постоянный резистор) + 10 кОм (переменный резистор);  $R_4 = 1,2$  кОм;  $R_5 = R_6 = 3,3$  кОм (постоянный резистор) + 68 кОм (перемен-

\*  $(R_3 + R_4) \parallel R_{2,3}$  — сопротивление параллельно соединенных  $(R_3 + R_4)$  и  $R_{2,3}$ , аналогично и ниже.

\*\* Предложение инж. В. А. Ивасенко.

ный резистор). Кроме того, на выходе каскада (рис. 6.9, б) включен повторитель, аналогичный рассмотренному выше (см. рис. 6.5, а).

**Генераторы стирания и подмагничивания.** На рис. 6.11 показана схема генератора, питающего две головки: стирающую (ГС) и подмагничивания (ГВП). В качестве примера приведем данные:  $U_{\text{вых}} = 18 \text{ В}$ ,  $f = 700 \text{ кГц}$ ,  $E_{\text{п}} = -12 \text{ В}$ , транзисторы — типа П605А, нагрузка: ГС — 5 мкГ и ГВП — 10 мкГ при  $Q \geq 30$ .

При совмещенном подмагничивании каждый канал записи может содержать свой генератор подмагничивания, который может быть автогенератором и иметь синхронизирующую связь с автогенераторами других каналов или генератором с внешним возбуждением, возбуждаемым от общего задающего генератора. В бытовой АМЗ обычно применяется один автогенератор, обеспечивающий стирание и каналное (один или два канала) подмагничивание.

На рис. 6.12, а показана схема генератора тока подмагничивания с внешним возбуждением. Транзисторы  $T1$  и  $T2$  работают в недонапряженном режиме усиления (при мгновенных значениях напряжения на коллекторе, превышающих напряжения на базе) и угле отсечки  $\pi/2$ . Недонапряженный режим и наличие отрицательной обратной связи ( $R1$ ,  $R2$  и  $L1$  в цепи эмиттеров) обеспечивают высокое выходное сопротивление генератора  $r_{\text{вых}} = r_{\text{вых}1} \parallel r_{\text{вых}2} \parallel R_{\text{экв}}$ , где, согласно формуле (6.5),  $r_{\text{вых}1,2} \rightarrow r_{\text{к}1,2}$ , а  $R_{\text{экв}}$  — эквивалентное сопротивление контура из  $C1$ , а также  $C_{\text{вых}1}$  и  $C_{\text{вых}2}$ , согласно (6.6), и  $Tp2$ . Нагрузочное сопротивление генератора

$$z_{\text{н}} = \sqrt{(\omega \Delta L)^2 + r^2},$$

где  $\omega \Delta L = \omega L - 1/\omega C = \omega(L_0 + \Delta L) - 1/\omega C$  при  $\omega L_0 - 1/\omega C = 0$ ;  $L = L_0 + \Delta L$  — индуктивность ГЗ;  $L_0$  — ее номинальное значение;  $\Delta L$  — суммарное отклонение от номинала с учетом нестабильности;  $C$  — емкость конденсатора  $C3$  (см. рис. 6.6, б);  $r = \omega L/Q$  — сопротивление потерь в головке;  $Q$  — добротность головки.

Ток в нагрузке (ток подмагничивания)  $I_{\text{подм}} = n_1 U_{\text{вх}}/n_2(R_1/4 + R_2)$ , где  $n_1$  и  $n_2$  — коэффициенты трансформации  $Tp1$  и  $Tp2$  (рис. 6.12). Транзистор  $T3$  обеспечивает компенсацию порога входной характеристики  $T1$  и  $T2$  при работе их в режиме усиления с отсечкой тока. Двухсекционная катушка индуктивности  $L1$  в цепи эмиттеров  $T1$  и  $T2$  обеспечивает защиту транзисторов от перенапряжения база — эмиттер.

В качестве примера приведем данные генератора по схеме рис. 6.11:  $T1$ ,  $T2$  и  $T3$  — КТ312Б;  $R_1 = 1 \text{ кОм}$  (переменный резистор);  $R_2 = 33 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 6,8 \text{ кОм}$ ;  $C_1 = 560 \text{ пФ}$ ,  $Tp1$ ,  $Tp2$  и  $L1$  — на сердечниках типа Б14 М1500НМЗ;  $U_{\text{вх}} = 2,5 \text{ В}$ ;  $I_{\text{вх}}$  — от 5 до 20 мА (выставляемый при помощи  $R1$  ток подмагничивания);  $f = 470 \text{ кГц}$ .

На рис. 6.12, б показана схема задающего генератора, содержащего автогенератор на  $T1$  и буферный каскад на  $T2$  и  $T3$ ; буферный каскад аналогичен рассмотренному выше (см. рис. 6.5, а).

При расчете генераторов по мощности удобно использовать параметр  $m = I\sqrt{L}$ , характеризующий головки. Принимая для данного конструктивного исполнения МГ  $m$  постоянным, можно выбрать необходимое количество витков по формуле  $L = (U/2\pi f m)^2$ . Например, для ГС с  $m = 1,8 \cdot 10^{-3}$  и ГВП с  $m = 1,3 \cdot 10^{-3}$  при стыковке их с генератором по схеме на рис. 6.11, с напряжением  $U_{\text{вх}} = 18 \text{ В}$  и  $f = 700 \text{ кГц}$ , получим  $L_{\text{ГС}} \approx 5 \text{ мкГ}$  и  $L_{\text{ГВП}} \approx 10 \text{ мкГ}$ .

**Индикаторы уровня** в АМЗ используются для контроля уровня записи и выходного сигнала УВ. На рис. 6.13, а показана схема индикатора со стрелочным прибором. В отличие от обычной схемы с детектирующим диодом этот индикатор содержит на входе операционный усилитель  $У1$ . Цепь детектирования охвачена отрицательной обратной связью. В результате, порог вольт-амперной характеристики диода не влияет на точность и стабильность показаний. На входе ОУ сравниваются два напряжения — переменное  $U_{\text{вх}}$  и посто-

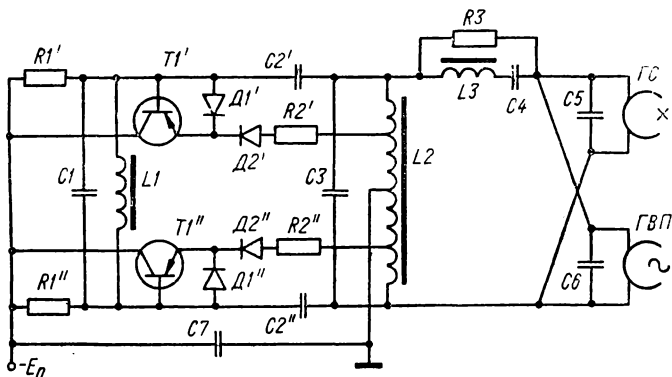


Рис. 6.11. Схема генератора стирания и подмагничивания

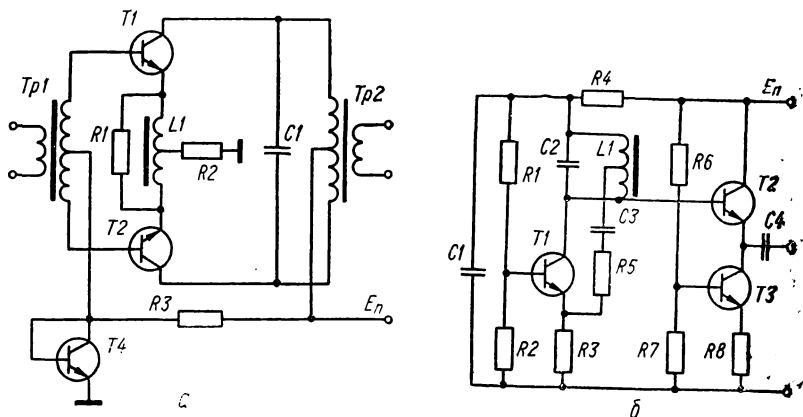


Рис. 6.12. Схема генератора с внешним возбуждением для подмагничивания (а) и схема задающего автогенератора для его возбуждения (б)

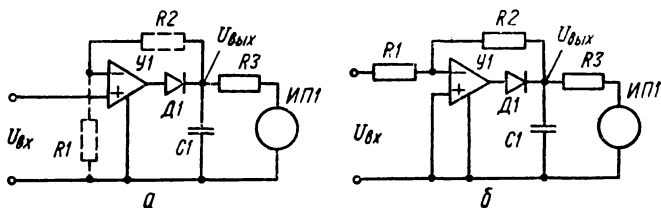


Рис. 6.13. Схемы пиковых индикаторов со стрелочной индикацией без инвертирования (а) и с инвертированием (б)



янное  $U_{\text{вых}}$ . Разность напряжений  $U_{\text{вх}}$  и  $U_{\text{вых}}$  (при  $R_2/R_1 \rightarrow 0$ ) вызывает отпирание  $\mathcal{U}1$  и диода  $D1$ , заряд конденсатора  $C1$  до напряжения  $U_{\text{вых}}$ , равного пиковому значению  $U_{\text{вх}}$ . Операционный усилитель  $\mathcal{U}1$  и диод  $D1$  работают в импульсном режиме. Пиковый режим детектирования определяется тем, что  $r_{\text{зар}} \ll R_{\text{разр}}$ , где  $r_{\text{зар}}$  равно сумме выходного сопротивления  $\mathcal{U}1$  и сопротивления диода, а  $R_{\text{разр}}$  — сопротивление нагрузочной цепи, определяемое сопротивлением резисторов  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  и прибором  $ИП1$ . Для уменьшения  $r_{\text{зар}}$  вместо диода  $D1$  можно включать транзистор ( $n-p-n$ -проводимости) базой к выходу  $\mathcal{U}1$ , эмиттером — к  $C1$ , а коллектором — к источнику питания. Индикатор (рис. 6.13, а) реагирует на положительные полуволны  $U_{\text{вх}}$ .

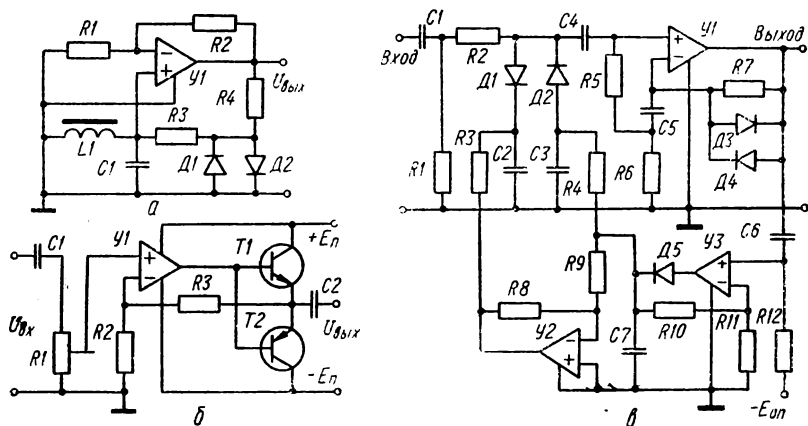


Рис. 6.14. Схемы контрольного генератора (а), телефонного усилителя (б) и микрофонного усилителя с АРУ (в)

На рис. 6.13,б показана схема индикатора с инвертированием  $U_{\text{вх}}$ . Совместное применение обоих индикаторов (без инвертирования и с ним), работающих на общую нагрузку ( $C1$ ,  $R3$  и  $ИП1$ ), дает индикацию максимальной амплитуды  $U_{\text{вх}}$ , независимо от ее полярности. Индикаторы работают на частотах от нуля герц с усилением  $1 + R_2/R_1$  и  $-R_2/R_1$  для схем на рис. 6.13,а и б соответственно. Полярность  $U_{\text{вых}}$  можно изменять на отрицательную, изменив направление включения диода или включив вместо него  $p-n-p$ -транзистор.

В качестве примера приведем данные индикатора по схеме рис. 6.13,а, б:  $\mathcal{U}1$  — ОУ типа К140УД1Б,  $R_1 \rightarrow \infty$ ,  $R_2 = 0$  ( $R1$  и  $R2$  отсутствуют, рис. 6.13,а),  $R_1 = R_2 = 30$  кОм (рис. 6.13, б),  $D1$  — КД503А,  $R_3 = 10$  кОм (подбираемый резистор),  $ИП1$  — М4289,  $f = 0 \dots 100$  кГц, погрешность детектирования (без погрешности, вносимой  $ИП1$ ) не более 1%.

К вспомогательным цепям канала записи и воспроизведения АТМЗ можно отнести: контрольный генератор, микрофонный и телефонный усилители (для записи и воспроизведения вспомогательной информации).

На рис. 6.14,а показана схема контрольного генератора, в котором операционный усилитель  $\mathcal{U}1$  работает в режиме линейного усиления с отрицательной обратной связью через цепь  $R1$  и  $R2$ . Ограничение амплитуды колебаний, необходимое для установления баланса амплитуд в генераторе, осуществляется при помощи цепи нелинейного ограничения ( $R4$ ,  $D1$  и  $D2$ ). Частотно-избирательная цепь генератора, определяющая частоту и фильтрующая первую гармонику колебаний, содержит  $C1$ ,  $L1$  и  $R3$ .

Пример данных для схемы:  $U_1$  — ОУ типа К140УД1А;  $D_1$  и  $D_2$  — типа КД503А;  $R_1 = 330 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = R_3^* = 10 \text{ кОм}$ ;  $R_4 = 3,3 \text{ кОм}$ ;  $C_1 = 33 \text{ нФ}$ ;  $U_{\text{вых}} = 1 \text{ В}$ ;  $f = 1 \text{ кГц}$ .

На рис. 6.14,б показана схема телефонного усилителя на операционном усилителе  $U_1$  с умонением выхода при помощи транзисторов  $T_1$  и  $T_2$ , работающих в режиме усиления класса В. Операционный усилитель и транзисторы охвачены общей отрицательной обратной связью, обеспечивающей усиление с малыми нелинейными искажениями. В качестве примера приведем данные усилителя:  $U_1$  — К140УД1А,  $T_1$  и  $T_2$  — ГТ402 и ГТ404,  $R_2 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 3,3 \text{ кОм}$ ,  $C_2 = 50 \text{ мкФ}$ ,  $f = 63 \text{ Гц} \dots 20 \text{ кГц}$ ,  $U_{\text{вых}} = 1 \text{ В}$  на нагрузке  $100 \text{ Ом}$ ,  $E_{\text{п}} = 6,3 \text{ В}$ .

Микрофонный усилитель можно построить по схеме усилителя (рис. 6.7,б) без регулировки или с ручной регулировкой усиления, а также по схеме с автоматической регулировкой усиления АРУ (рис. 6.14,а). На входе усилителя имеется делитель, содержащий резистор  $R_2$  и диоды  $D_1$ ,  $D_2$ , которые в зависимости от тока смещения, протекающего по цепи  $R_4 - D_2 - D_1 - R_3$ , имеют изменяющееся динамическое сопротивление. В результате, коэффициент передачи делителя может изменяться при изменении тока смещения. Усилитель на  $U_1$  с коэффициентом передачи  $1 + R_7/R_6$  в пределах его рабочего диапазона амплитуд имеет цепь ограничения, содержащую кремниевые диоды  $D_3$  и  $D_4$  с порогом вольт-амперной характеристики. Диоды ограничивают усиленный сигнал при резком возрастании его в течение переходного процесса, обусловленного инерционностью АРУ. Это исключает «захлебывание» усилителя при перегрузке, которое может существенно исказить усиливаемый сигнал. Цепь, состоящая из  $U_3$ ,  $D_5$ ,  $C_6$ ,  $C_7$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  и  $R_{12}$ , выполняет функции компаратора, детектора и усилителя цепи отрицательной обратной связи АРУ. На входе  $U_3$  амплитуда  $U_{\text{вык}}$  сравнивается с  $E_{\text{оп}}$ , разность напряжений  $U_{\text{вык}} - E_{\text{оп}}$  детектируется и усиливается в  $1 + R_{10}/R_{11}$  раз. Напряжение  $U_{C7}$  на конденсаторе  $C_7$  подается на  $R_4$ , а инвертированное  $-U_{C7}$  с выхода  $U_2$  (при  $R_9 = R_8$ ) — на  $R_3$ , обеспечивая тем самым двухтактное управление входным делителем, исключающее нежелательные переходные явления во входной цепи.

В результате, коэффициент передачи усилителя при  $U_{\text{вык}} < E_{\text{оп}}$ :  $K = U_{\text{вык}}/U_{\text{вх}} = (1 + R_7/R_6)/(1 + R_2/r_d)$ , а при  $U_{\text{вык}} > E_{\text{оп}}$  коэффициент передачи будет изменяться в соответствии с вольт-амперной характеристикой диодов  $D_1$  и  $D_2$ , определяющей зависимость  $r_d = f(I)$ , где  $I = [(U_{\text{вык}} - E_{\text{оп}})(1 + R_{10}/R_{11}) - U_d]/R_4 \approx (U_{\text{вык}} - E_{\text{оп}})(1 + R_{10}/R_{11})/R_4$ , а  $U_d$  — падение напряжения на диоде  $D_1$  ( $D_2$ ),  $R_3 = R_4$ .

## 2. ТРАКТЫ МОДУЛЯЦИОННОЙ ТОЧНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

**Классификация и структура.** В зависимости от принятого способа модуляции аппаратуру точной магнитной записи (АТМЗ) подразделяют на АТМЗ с частотной (ЧМ) и широко-импульсной (ШИМ) модуляцией. АТМЗ-ЧМ значительно (в 3—5 раз) эффективнее использует полосу пропускания КМЗВ, чем АТМЗ-ШИМ, однако проигрывает последней в критичности к уровню колебаний скорости ленты (КСЛ). Основное преимущество АТМЗ-ШИМ — возможность простыми техническими средствами (временное уплотнение) обеспечить запись большого количества каналов.

По конструктивному исполнению различают АТМЗ общего назначения и специализированную. Пользуясь АТМЗ общего назначения, можно регистрировать сигналы в широком диапазоне частот, иметь много скоростей, большой набор режимов работы, большие входные и малые выходные сопротивления (для облегчения согласования с использующими их системами). Для обеспечения обмена записями основные параметры такой АТМЗ должны соответствовать рекомендациям ИСО. Наибольшее практическое значение имеют следующие конструктивные параметры тракта ЧМ-записи: максимальная регистрируемая частота сигнала (частота модуляции)  $F_m$ ; несущая частота

$f_0$  ( $F_m$  и  $f_0$  нормируются на определенной скорости ленты); глубина модуляции (относительная девиация частоты)  $m = \Delta f / f_0$ ; отношение  $f_0 / F_m = \mu_m$ . К наиболее важным рабочим (метрологическим) параметрам относятся: чувствительность, неравномерность АЧХ, уровень нелинейных искажений и др. Рекомендации по выбору значений конструктивных, рабочих и эксплуатационных параметров АТМЗ приведены в гл. 1.2.

Тракт АТМЗ состоит из тракта записи ТЗ, канала магнитной записи-воспроизведения КМЗВ и тракта воспроизведения ТВ (рис. 6.15).

Тракт записи предназначен для преобразования регистрируемого сигнала и согласования параметров сигнала-переносчика с параметрами ГЗ. В соот-

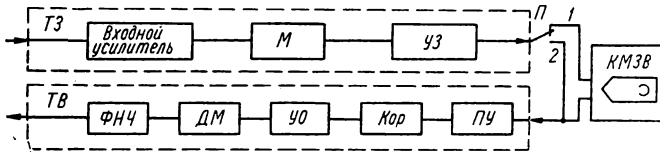


Рис. 6.15. Структурная схема тракта АТМЗ

ветствии с этим ТЗ содержит входной усилитель, модулятор  $M$ , усилитель записи  $УЗ$ ; КМЗВ состоит из ГЗ, МЛ и ГВ. Характеристики КМЗВ (амплитудная и амплитудно-частотная) выбираются так, чтобы обеспечить запись и воспроизведение сигнала-переносчика без необратимых искажений параметра, несущего информацию. В АТМЗ с ЧМ для этого необходимо (рис. 6. 16) выбрать несущую частоту  $f_0$  по отношению к АЧХ КМЗВ таким образом, чтобы воспроизводились частоты с максимальной отрицательной  $f_0 - \Delta f$  и положительной  $f_0 + \Delta f$  девиациями; одновременно стремятся выбрать  $f_0$  возможно большей, так как это позволяет расширить диапазон записываемых частот. Рекомендуется выбирать  $f_0$  немного выше частоты максимума АЧХ так, чтобы отдача на ней была на 3—5 дБ ниже максимальной.

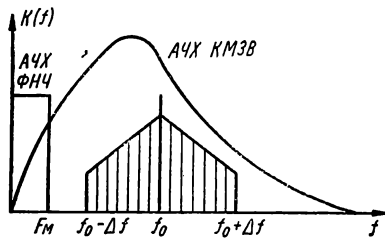


Рис. 6.16. К согласованию характеристик сигнала КМЗВ и ФНЧ

частот, рекомендованных ИСО. Токи записи и ВЧП выбираются по максимуму отдачи на частоте  $f_0 + \Delta f$ , что также способствует уменьшению ПАМС.

Тракт воспроизведения содержит предварительный усилитель ПУ, корректор Кор, усилитель-ограничитель УО, демодулятор ДМ, фильтр нижних частот ФНЧ, иногда выходной усилитель (рис. 6.15). Корректор предназначен для коррекции АЧХ КМЗВ, что позволяет исключить или уменьшить погрешности аппарата. Функции некоторых узлов могут быть совмещены, однако наличие модулятора, демодулятора и фильтра в тракте обязательно. Требования к каждому узлу складываются из требований к характеристикам аппарата и требований обеспечения правильного сопряжения с другими узлами. Переключатель П обеспечивает два режима работы: рабочий — запись-воспроизведение и вспомогательный — передача несущей от модулятора к демоду-

лятору (режим МД), удобный на этапах настройки, проверки и подготовки к работе. В тракт можно также включать различные дополнительные устройства: измерители входного и выходного сигналов, индикаторы перегрузки, генератор ВЧП, генератор несущей частоты для замещения модулированной несущей при ее исчезновении в ТВ в пусковых режимах или при неисправности, выпадениях сигнала и т. п.

Для АМЗ-ЧМ характерны специфические погрешности, обусловленные характеристиками КМЗВ и особенностями метода частотной модуляции [5, 10].

1. Шумы канала ограничивают динамический диапазон  $D = U_{\max}/U_{\text{ш}}$ , где  $U_{\max}$  — эффективное напряжение максимального выходного сигнала;  $U_{\text{ш}}$  — эффективное напряжение шумов в паузе. Шумы обусловлены аддитивными помехами в КМЗВ: шумом ленты и ГВ, прониканием помех в блоках головок, копирэффетом, шумами ПУ и особенно влиянием КСЛ. Большинство составляющих помех характеризуется увеличением спектральной мощности в низкочастотной области. Известно также свойство всякого ЧМ-канала — пропорциональность величины шума на выходе частоте действующей помехи. Совместное влияние этих факторов приводит к возрастанию спектральной мощности шума на частотах, близких к  $F_m$ , и на низких частотах, ниже 50—100 Гц. Для компенсации шума, обусловленного КСЛ, в многоканальной АМЗ-ЧМ иногда выделяют вспомогательный канал (с записью  $f_0$ ). Выходной сигнал этого канала либо вычитают из выходных сигналов информационных каналов, либо инвертируют и перемножают с ними. Неидентичность каналов и неполная корреляция КСЛ между каналами ограничивает практически достижимую степень компенсации шумов КСЛ величинами —(6...10) дБ.

2. Нелинейные искажения (НИ) определяются двумя факторами: нелинейностью характеристик модуляторов и демодуляторов канала (эта часть НИ одинаково проявляется в рабочем и вспомогательном режимах) и влиянием неравномерности АЧХ КМЗВ. Если АЧХ не откорректирована, то возникает НИ сигнала типа второй гармоники (частота  $2F$ ), пропорциональные  $1/\mu^2 = (F/f_0)^2$ . Этот вид НИ не проявляется на сигналах типа постоянного тока. В современной аппаратуре достигается уровень НИ, соответствующий коэффициенту гармоник 1—2%.

3. Комбинационные искажения (КИ) обусловлены тем, что спектр ЧМ-колебания принципиально неограничен, и в полосу пропускания ФНЧ неизбежно попадают боковые гармоники с частотами  $nf_0 - NF$  ( $n, N$  — целые числа). Значение КИ определяется параметрами  $m, \mu, \mu_m$  [5]. Эффективное средство уменьшения уровня КИ — умножение (обычно удвоение) несущей частоты в ТВ. Другой способ — перенос частоты в ТВ вверх путем гетеродинирования вследствие технической сложности и появления дополнительных продуктов взаимодействия несущей частоты и сигнала гетеродина — применяется редко.

4. Частотные и фазовые искажения полезного сигнала в основном определяются параметрами ФНЧ, т. е. условиями подавления несущей и боковых частот вида  $nf_0 - NF$ .

5. Паразитная частотная модуляция полезного сигнала (ПЧМ) так же, как и в трактах прямой ЗВ, обусловлена КСЛ. Поэтому в АМЗ обычно нормируют не глубину ПЧМ, а КСЛ. Основной путь уменьшения ПЧМ — совершенствование МТЛ. Высокочастотные составляющие ПЧМ можно также компенсировать с помощью устройств временной задержки, управляемых каналом компенсации КСЛ. В последнем случае одновременно частично компенсируются и обусловленные КСЛ компоненты шумов.

6. Случайная паразитная амплитудная модуляция (ПАМ) полезного сигнала обусловлена флуктуациями АЧХ КМЗВ, главным образом, за счет несовершенства контакта МЛ—МГ. Средняя глубина ПАМ в рекомендованных для ЧМ-записи режимах обычно составляет 5—15% и возрастает при уменьшении параметра  $\mu$ . Возможны также редкие короткие выбросы и провалы огибающей сигнала (15—95)%. Глубина ПАМ уменьшается по мере совершенствования качества МЛ; например, замена ленты 6Д на И4403 позволяет уменьшить ПАМ в 2—3 раза.

Для работы совместно с телеметрической аппаратурой, содержащей несколько частотных модуляторов поднесущих, часто применяются многоканальную ЧМ-запись. Все поднесущие суммируются и записываются в режиме с ВЧП на одной дорожке. В ТВ они разделяются полосовыми фильтрами и демодулируются. Можно выделить три стандарта, определяющих выбор частот поднесущих:

1. Во всех каналах  $m = 7,5\%$ , а номинальное значение частоты несущей —  $f_{0л}$  выбирается из ряда 0,4; 0,56; 0,73; 0,96; 1,3; 1,7; 2,3; 3,0; 3,9; 5,4; 7,35; 10,5; 14,5; 22; 30; 40; 52,5; 70; 93; 124; 165 кГц.

2.  $m = 15\%$ , а  $f_{0л} — 22; 30; 40; 52,5; 70; 93; 124; 165$  кГц.

3.  $\Delta f$  выбирается из ряда 2, 4, 8 кГц, а  $f_{0л}$  по формулам  $(16 + 8n)$ ,  $(32 + 16n)$ ,  $(32 + 32n)$  кГц соответственно с рядом для  $\Delta f$ .

Применение ШИМ оправдано при необходимости записи большого числа каналов в тяжелых условиях эксплуатации. Построение тракта ШИМ-записи мало отличается от ЧМ, в нем применяются узлы такого же назначения (см. рис. 6.15), но принцип их работы несколько иной. Модулятор  $M$  генерирует импульсы постоянной частоты следования, длительность которых меняется под воздействием входного сигнала. Корректор, если он включен в состав ТВ, предназначен для увеличения крутизны фронтов, продифференцированных в ГВ воспроизведенных импульсов записи. Демодулятор  $DM$  по воспроизведенным «импульсам-всплескам» восстанавливает импульсы, повторяющие по форме выходной сигнал ТЗ; последние содержат в своем спектре модулирующий сигнал, который прямо выделяется ФНЧ. Параметры ТЗ и КМЗВ выбирают так, чтобы взаимное наложение соседних воспроизведенных импульсов в процессе модуляции не смещало точки их максимумов (либо нуль-пересечений), по которым формируется выходной сигнал.

**Тракт ЧМ-записи.** Основные характеристики ТЗ определяются параметрами модулятора  $M$ . Вследствие сравнительно низких несущих частот ( $< 0,2—0,4$  МГц) в магнитной записи преимущественно используют импульсные схемы модуляторов: мультивибраторы различных модификаций, блокинг-генераторы, генераторы Роера, генераторы с импульсной отрицательной обратной связью и т. п. Параметры модуляторов, как правило, нормируются по сигналам постоянного тока, так как зависимость их от частоты модулирующего сигнала невелика и маскируется характеристиками ФНЧ. В модуляторе нормируются: нестабильность несущей частоты, которая должна быть в пределах 0,2—2%; нелинейность и несимметричность модуляционной характеристики — также в пределах 0,2—1%; чувствительность, т. е. значение входного напряжения, необходимое для создания номинальной девиации частоты, обычно 0,5—2 В.

Многим типам частотных модуляторов свойственно частичное прямое прохождение на выход высокочастотных составляющих (при  $f_0 > 20…30$  кГц) спектра модулирующего сигнала. Эффективным средством подавления прямого прохождения является включение дополнительного делителя частоты. Для модуляторов на мультивибраторе известны и другие схемотехнические приемы, основанные на повышении степени симметрии параметров схемы. На входах импульсных модуляторов всегда имеются токи или ЭДС импульсного характера, которые могут оказать нежелательное влияние на источник их сигнала. Включенный перед модулятором входной каскад ослабляет это влияние и одновременно обеспечивает независимость  $f_0$  от внутреннего сопротивления источника сигнала.

На рис. 6.17 в качестве примера показана схема модулятора и входного каскада магнитографа Store-14 фирмы Thermionic (Англия). Входное устройство содержит аттенюатор (резисторы  $R1—R8$ ) и усилитель на микросхеме. Чувствительность устанавливается резистором  $R24$ , а балансировка усилителя — резистором  $R16$ . На диодах  $D1$  и  $D2$  выполнен ограничитель входного сигнала, который предотвращает повреждение усилителя при перегрузках. Модулятор выполнен на источнике тока (транзистор  $T4$ , ток которого пропорционален входному сигналу) и пороговой схеме ( $T2$  и  $T3$ ) с интегрирующим конденсатором  $C4$ . Конденсатор  $C4$  заряжается до некоторого порогового потенциала, при котором  $T2$  и  $T3$  насыщаются, разряжая его, после чего снова

запираются. Время заряда конденсатора  $C4$  обратно пропорционально току  $T4$ , а время его разряда очень мало, и частота следования импульсов на  $R14$  оказывается пропорциональной модулирующему сигналу. Каскад на  $T1$  — буферный. Частота модулятора 218 кГц, девиация  $\pm 40\%$ , нестабильность частоты за 20 ч меньше  $\pm 0,3\%$  при изменении температуры не бо-

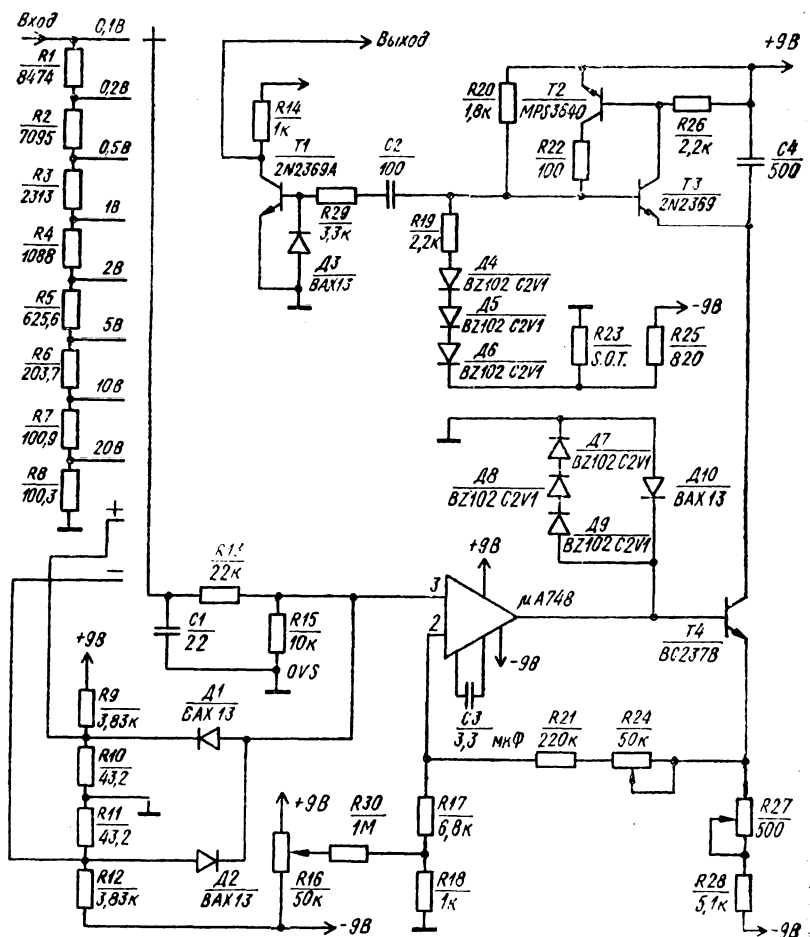


Рис. 6.17. Схема модулятора Store-14

лее  $5^\circ \text{C}$ . Коэффициент температурной нестабильности не более  $0,05\%$  на  $1^\circ \text{C}$  в интервале  $5...40^\circ \text{C}$ . Нелинейность модуляционной характеристики меньше  $0,5\%$ .

На рис. 6.18 показана схема модулятора ATM3 ME 5530 фирмы Schlumberger. Модулятор выполнен на симметричном мультивибраторе ( $T2$  и  $T7$ ) с повторителями для ускорения перезаряда времязадающих конденсаторов  $C1$  и  $C3$  на  $T4$  и  $T6$ . Стабилизаторы тока ( $T1$  и  $T8$ ) линеаризуют ток заряда конденсаторов  $C1$  и  $C3$ , обеспечивая тем самым линейность модуляционной характеристики. Входной сигнал управляет током транзисторов  $T1$  и  $T8$ ,

осуществляя модуляцию частоты. Переключателями  $\Pi 1$  и  $\Pi 2$  меняют напряжение стабилизаторов на  $T3$  и  $T5$ , питающих мультивибратор, для обеспечения двух режимов его работы: с входным сигналом в пределах  $0...2$  В и в пределах от  $-1$  до  $+1$  В. Характеристики модуляторов по рис. 6.17 и 6.18 примерно совпадают. Это свидетельствует о том, что их высокие параметры могут быть достигнуты не только рациональным выбором схемы, но и тщательностью ее обработки.

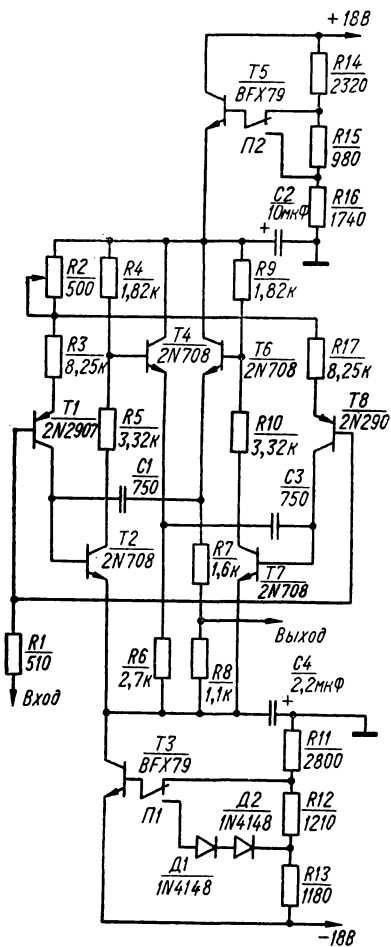


Рис. 6.18. Схема модулятора ME 5530

ного индуктивностью ГВ и подсоединенной к ней входной емкостью должен находиться за пределами девиации несущей), высокое входное сопротивление (в противном случае интегрирующее действие звена, образованного индуктивностью ГВ  $L_B$  и входным сопротивлением, будет способствовать появлению частотных и нелинейных искажений в демодулированном сигнале). При выборе  $r_{вх} > (20...30)f_0 L_B$  влиянием  $R_{вх}$  на ЧМ-сигнал можно пренебречь. Предварительный усилитель следует размещать в непосредственной

Для предотвращения перемодуляции используют вспомогательные устройства: ограничители входного сигнала (например, диоды  $D7-D10$  на рис. 6.17), стрелочные измерители среднего или пикового значения сигнала, светодиодные сигнализаторы перегрузки и даже встроенные индикаторы на электронно-лучевых трубках, по показаниям которых оператор выбирает коэффициент передачи входного каскада. Для работы при различных скоростях магнитной ленты обычно применяют триггерные делители частоты основного генератора, переключенные которых согласовано с переключателем скорости.

Записывающую головку подключают через усилитель тока записи. Поскольку ГЗ — нагрузка индуктивного характера, выходное сопротивление усилителя  $R_{вых}$  должно быть достаточно большим. Иначе в ТЗ появится паразитная амплитудная модуляция тока записи полезным сигналом (ПАМС), которая способствует увеличению нелинейных искажений демодулированного сигнала. Глубину ПАМС в ТЗ достаточно ограничивать величиной около 1%, что при глубине ЧМ  $m = 40\%$  может быть выполнено, если  $R_{вых} > 13 f_0 L$ , где  $L$  — индуктивность ГЗ. Практически ГЗ подключают к усилителю через резистор с необходимым сопротивлением  $R_{вых}$  и с разделительным конденсатором для устранения постоянной составляющей.

**Тракт ЧМ-воспроизведения.** ЭДС ГВ обычно мала (единицы милливольт), поэтому в ТВ приходится вводить ПУ. Требования к ПУ: низкий уровень шумов (должен быть на 30—50 дБ меньше уровня несущей, воспроизведенной на минимальной скорости), малая входная емкость (резонанс контура, образованного индуктивностью ГВ и подсоединенной к ней входной емкостью должен находиться за пределами девиации несущей), высокое входное сопротивление (в противном случае интегрирующее действие звена, образованного индуктивностью ГВ  $L_B$  и входным сопротивлением, будет способствовать появлению частотных и нелинейных искажений в демодулированном сигнале). При выборе  $r_{вх} > (20...30)f_0 L_B$  влиянием  $R_{вх}$  на ЧМ-сигнал можно пренебречь. Предварительный усилитель следует размещать в непосредственной

близости к ГВ. Например, в АТМЗ фирмы Schlumberger он выполняется по интегральной технологии и крепится непосредственно к тыльной стороне головки; ПУ должен быть также хорошо экранирован, включая выходные провода, в цепях питания необходимы эффективные развязки.

Неравномерность АЧХ КМЗВ искажает спектр ЧМ-сигнала, приводя к частотным и нелинейным искажениям. Наиболее эффективное средство — введение такой же частотной коррекции, как и в прямой записи, но с линейной ФЧХ [5]. Практика показывает, что нередко можно ограничиться коррекцией только в низкочастотной области полосы пропускания КМЗВ. Корректирующее звено такого типа (рис. 6.19) применено в магнитографах Н046, Н048. В многоскоростных аппаратах необходимо также обеспечить переключение корректирующих цепей в соответствии с выбранной скоростью.

Усилитель-ограничитель (УО) выполняется на усилителях с большим коэффициентом усиления, охваченных нелинейной (обычно на диодах) отрицательной обратной связью (рис. 6.20). Усилитель не должен возбуждаться

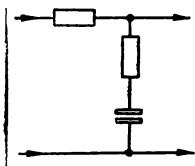


Рис. 6.19. Корректирующее звено ТВ

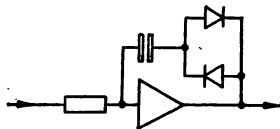


Рис. 6.20. Схема УО

при глубокой обратной связи, которая возникает, когда один из диодов обратной связи насыщен, и должен иметь значительный запас по полосе частот для обеспечения безынерционного ограничения сигнала. Длительность фронта на выходе УО должна составлять сотые доли периода несущей частоты.

Коэффициент передачи ПУ, корректора и УО определяется исходя из степени влияния ПАМ на частотные и нелинейные искажения. Коэффициент передачи, близкий к  $10^4$ — $10^6$  (сравнительно легко достижимый), позволяет получить характеристики, свойственные демодулятору, реагирующему точно на моменты перехода сигнала через нуль. Ограничение должно быть строго симметричным, т. е. в выходном сигнале УО не должно быть более 1% второй гармоники несущей. Только в этом случае можно правильно, без «спаривания» соседних импульсов, выполнить последующее удвоение несущей частоты.

В АТМЗ-ЧМ используются исключительно импульсные схемы демодуляторов (ДМ), формирующие импульсы постоянной амплитуды и длительности. В зависимости от принципа работы различают два типа ДМ: фазовые детекторы и ждущие генераторы импульсов постоянной длительности. Работа фазовых детекторов основана на перемножении ограниченного сигнала с тем же сигналом, задержанным на некоторое время  $\tau$ . В качестве ДМ можно также использовать любой генератор импульсов, работающий в ждущем режиме: блокинг-генератор, одностабильный мультивибратор и т. п. Характеристики обоих типов ДМ практически совпадают. Выходной сигнал любого ДМ представляет собой последовательность импульсов постоянной вольт-секундной площади, которую и называют ЧИМ-сигналом, а метод демодуляции — «ЧМ в ЧИМ». Нормированию подлежат следующие характеристики ДМ: линейность преобразования, дрейф, диапазон рабочих частот, значение сигнала  $U_{\max}$ . Для сохранения постоянным произведения площади прямоугольного импульса на несущую частоту:  $E\tau n f_{оп} = \text{const}$  — на любой скорости  $v_n$  необходимо переключать длительность импульсов ДМ при изменении скорости ленты и несущей частоты. Для этого переключают номиналы времязадающих резисторов или конденсаторов (последнее — чаще, так как сохраняется неизменный режим питания электронных узлов). Коммутация обеспечивается сменными модулями, переключателями, электромеханическим реле и элек-



тронными ключами. Наиболее точны, хотя и наиболее сложны, способы, использующие цифровое управление работой ждущего генератора (как в описанном ниже ДМ Store-14).

Между УО и ДМ находится каскад формирования пусковых импульсов; часто его вторая задача — это удвоение частоты. Смысл ее в следующем: чем больше отношение  $\mu$ , тем меньше комбинационные искажения; в то же время несущая частота ограничена полосой пропускания КМЗВ. Поэтому удобнее повышать  $\mu$  умножением несущей частоты. Удвоение частоты достигается формированием импульсов при каждом переходе ЧМ-сигнала через нуль. Для учетверения необходимо формирование дополнительных импульсов в моменты максимумов сигнала. Вследствие сложности практической реализации учетверение частоты пока еще не применяется. Зато удвоение используется практически всегда. Устройства удвоения частоты достаточно просты: например, это два последовательно включенных каскада, с выхода каждого из которых через дифференцирующие цепи и диоды снимаются импульсы одинаковой полярности, используемые для запуска ДМ.

Фильтр низких частот (ФНЧ) предназначен для выделения полезного сигнала из спектра ЧИМ. Вид спектра ЧИМ-сигнала существенно зависит от формы модулирующего сигнала, что затрудняет формулирование требований к оптимальному затуханию фильтра. Наиболее жесткие требования соответствуют случаю максимальной отрицательной девиации. Поэтому затухание ФНЧ нормируется на частоте  $2(1-m)f_0$ , где коэффициент  $2$  учитывает удвоение частоты в ГВ. Остаточные значения гармоник несущей должны быть на 5—6 дБ ниже допустимого уровня шумов канала  $U_{ш}$ . С учетом того, что уровень ЧМ-сигнала при максимальной отрицательной девиации на 3—5 дБ больше полезного сигнала, общее затухание ФНЧ на частоте  $2(1-m)f_0$  должно быть  $[(8...12) + U_{max}/U_{ш}]$  дБ, что в реальных аппаратах составляет 55...65 дБ. Этим требованиям удовлетворяет фильтр Батерворта 6-го порядка или Чебышевский 5-го порядка с неравномерностью 0,2—0,5 дБ.

В настоящее время в АТМЗ применяются активные фильтры. При этом возникают затруднения с обеспечением допустимого дрейфа и граничных частот ФНЧ, соответствующих всем скоростям многоскоростного аппарата. Последняя задача решается в различных аппаратах по-разному: применяются сменные субблоки; переключения с помощью реле, ключевых схем резисторов и конденсаторов RC-звеньев фильтра, а также целиком коммутируемые фильтры, каждый из которых соответствует какой-либо несущей частоте. Последнее решение получается достаточно компактным лишь при микрорелектронном исполнении фильтра для каждой скорости. ФНЧ должен быть согласован с ДМ. Выходное сопротивление ДМ в импульсе и в паузе обычно неодинаково, что является одним из источников нелинейности амплитудной характеристики. При разнице постоянных времени заряда и разряда конденсатора RC-звена на 2% нелинейность коэффициента передачи может составить 1%. Поэтому между ФНЧ и ДМ следует устанавливать разделительный каскад с постоянным выходным сопротивлением, либо принимать специальные меры по обеспечению постоянства выходного сопротивления ДМ. Обычно выбирают первый способ.

На рис. 6.21 изображен ДМ аппарата Store-14. На его вход поступает сигнал после однокаскадного УО. Входной сигнал через инвертор УЗ и схему ИЛИ (У1—3) поступает на удвоитель частоты несущей, выполненный на схеме ИЛИ. Собственно демодулятор содержит ждущий генератор импульсов на У7, У8—1, У5—2, У1—1, У2—2, У5—1, последние две микросхемы выполняют также роль компенсаторов собственной временной задержки микросхем. Счетчики импульсов У6—1 и У6—2 считают импульсы генератора и посредством набора инверторов У9—1, У9—2, У9—3, У9—4, У10—1, У10—2, У10—3, управляемых переключателем скорости через У8—3, У10—4, подают сигналы запрета на генератор импульсов. Выходной импульс снимается с У8-3 через усилительный каскад на Т1. Демодулятор выполнен с применением современных миниатюрных элементов и размещен на печатной плате площадью около 0,5 дм<sup>2</sup>.

Демодулятор аппарата Tanberg-100 трехскоростной, в нем применен простой переключатель для коммутации цепей при изменении скорости (рис. 6.22). В состав ДМ входит вспомогательный одностабильный мультивибратор (T7, T8), длительность импульса которого определяется резисторами R3, R4, R7, R9, R14. Удвоение частоты обеспечивается запуском разнополярными импуль-

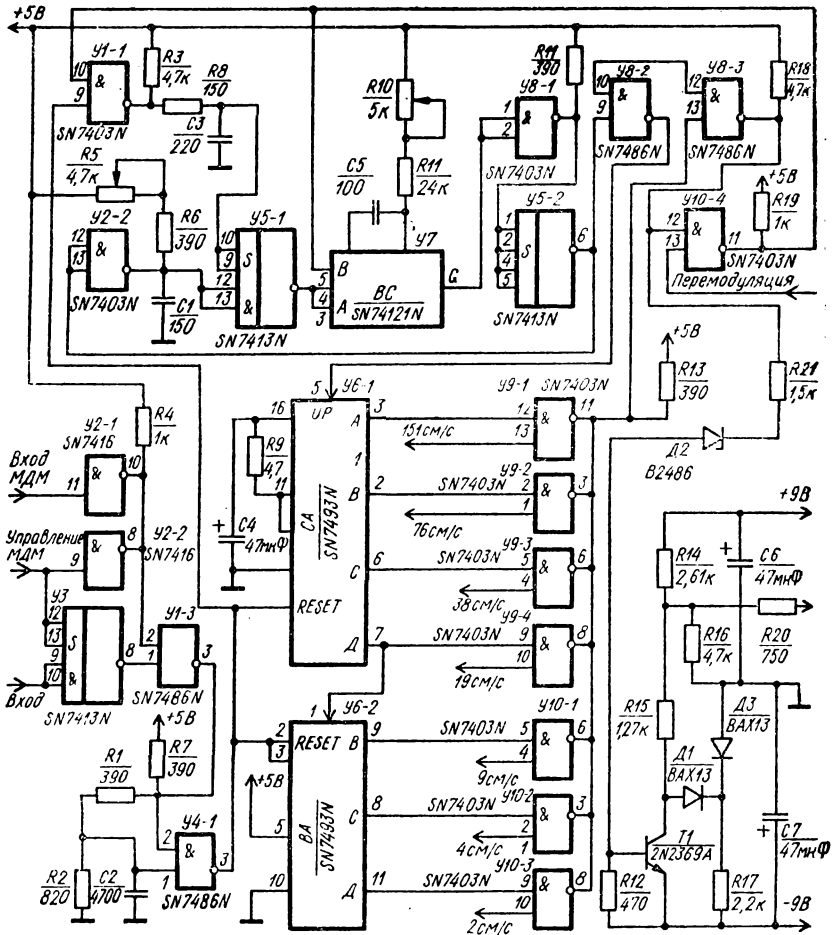


Рис. 6.21. Схема тракта воспроизведения Sto.e-14

сами от усилителей пусковых импульсов на T3 и T4. Выходной сигнал ДМ снимается с интегрирующего усилителя на Y1 и Y2 с переключаемым соответственно выбранной скорости конденсатором обратной связи (C25, C14, C15). Ко входу усилителя ключами T1, T2 по сигналу одностабильного мультивибратора через T9 и T10 периодически подключаются заряженные калиброванным зарядом конденсаторы C4—C11, емкость которых служит источником импульса постоянной площади, что и является основой демодулятора.

АТМЗ с широтно-импульсной модуляцией. В АТМЗ-ШИМ в отличие от АТМЗ-ЧМ имеет значение способ магнитной записи:

запись импульсов униполярным или двухполярным током на размагниченном носителе;  
 запись предварительно дифференцированных импульсов на размагниченном носителе;  
 запись импульсов на предварительно намагниченном носителе; запись с ВЧ; запись вместо импульса посылки высокочастотного колебания. Наиболее

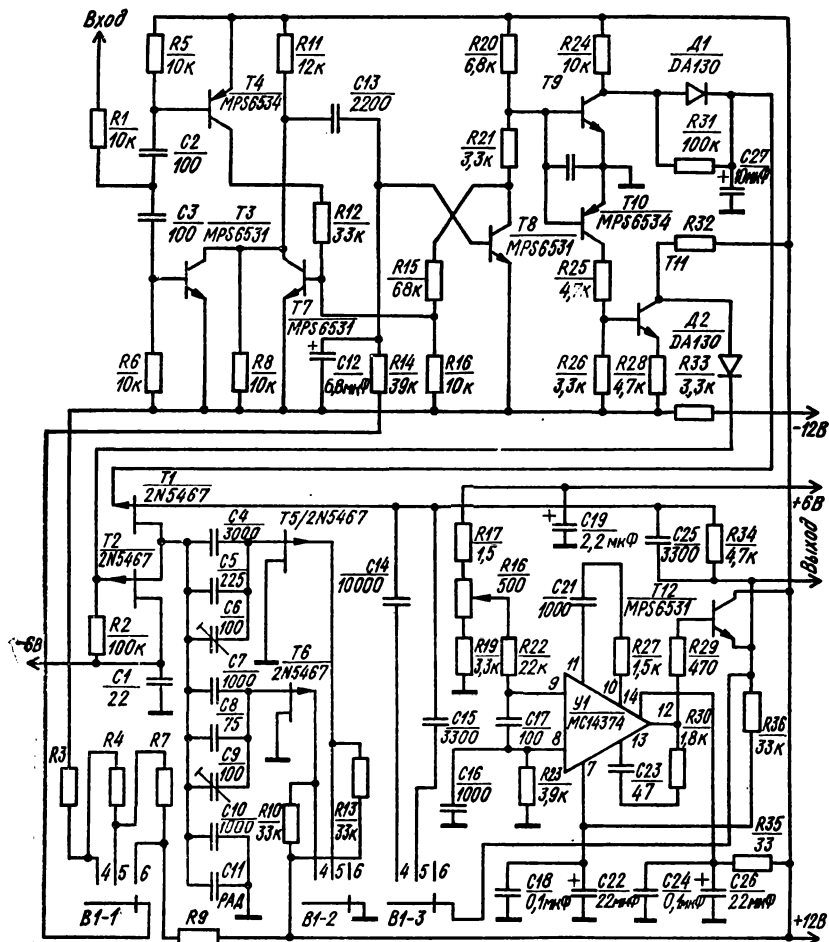


Рис. 6.22. Схема тракта воспроизведения Tanberg-100

удачен способ записи дифференцированных импульсов, рекомендованный стандартом ИРИГ. Этот режим характеризуется пониженной чувствительностью к КСЛ, ПАМ и относительной простотой аппаратной реализации.

Известно много видов ШИМ, в которых различают такие особенности, как симметричная или несимметричная, одно- или двухтактная модуляция, а также род модуляции по временной связи между мгновенным значением модулирующего сигнала и шириной импульса. Для применения в магнитной записи наиболее подходит односторонняя одноконтная ШИМ с формированием среза импульса в момент равенства развертывающего пилообразного напряжения

модулирующему. Такую модуляцию реализует модулятор (рис. 6.23), содержащий генератор развертывающего пилообразного напряжения *ГенРПН*, схему сравнения *СС*, формирователь импульса *ФИ*. Для обеспечения многоканальной записи с временным разделением схему на рис. 6.23 следует дополнить коммутатором модулирующих сигналов, который работает синхронно с *ГенРПН*.

Принцип преобразований ШИМ-сигнала (согласно рекомендациям ИРИГ) показан на временных диаграммах (рис. 6.24). На рис. 6.24, *а* показан сигнал на выходе модулятора, который затем дифференцируется (рис. 6.24, *б*) и записывается на МЛ. Воспроизведенный сигнал усиливается и дважды дифференцируется: первый раз в ГВ (рис. 6.24, *в*), второй — в ТВ (рис. 6.24, *г*). Импульсы большой амплитуды используются для запуска триггера, восстанавливающего исходный сигнал (рис. 6.24, *а*). Самое сложное в этой процедуре — избежать ложных срабатываний триггера от малых побочных импульсов. Устройством, выполняющим эту задачу, является ДМ. К выходу ДМ подключается ФНЧ, аналогичный ФНЧ, используемому в ТВ с ЧМ.

В многоканальном варианте ШИМ-записи очень ответственная

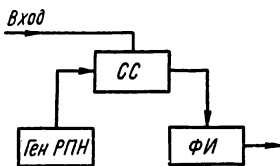


Рис. 6.23. Схема реализации односторонней шим-записи

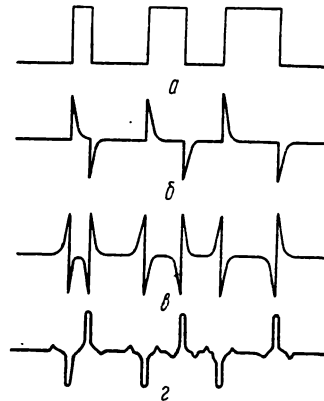


Рис. 6.24. Преобразования ШИМ-сигнала в АТМЗ

часть ТВ—система распределителя импульсов ДМ по каналам, где необходимо обеспечить правильный последовательный обход каналов при каждом новом цикле. Обычно это обеспечивают передачей по условному нулевому каналу импульсов определенной длины и включением в состав ТВ устройства для выделения нулевого импульса с установкой коммутатора в нулевое положение. При выполнении этого условия случайные потери импульсов позволяют избежать накопления ошибки адреса при последующих циклах.

В заключение следует отметить, что ШИМ-запись вследствие низкой информационной плотности используется все реже, уступая место либо цифровой кодово-импульсной записи, либо ЧМ-записи с увеличенным числом дорожек (до 42 на ленте шириной 25,4 мм).

### 3. ОСОБЕННОСТИ ТРАКТОВ МАГНИТНОЙ ВИДЕОЗАПИСИ

Состав и некоторые особенности видеомагнитофонов (ВМ). Состав и принципы построения радиоэлектронных устройств ВМ в значительной степени зависят от типа и назначения, т. е. от общей структуры аппарата. Типичная структурная схема четырехголовочных ВМ, применяемых в телевизионном вещании, показана на рис. 6.25 [28]. Кроме указанных на нем основных и вспомогательных систем и блоков, профессиональные ВМ часто имеют ряд дополнительных блоков: САР натяжения ленты; САР отдачи видеоголовки; автоматического регулирования частотных характеристик УВ; система синхронизации воспроизводимого изображения с другими источниками программы и др. В ВМ упрощенного типа (например, бытовых) эти системы могут упрощаться

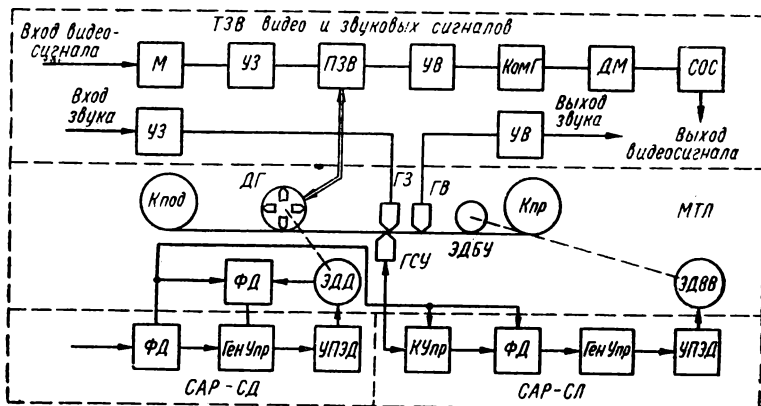


Рис. 6.25. Структурная схема ВМ с четырьмя вращающимися головками:

**ПЗВ** — переключатель запись-воспроизведение; **КомГ** — коммутатор головок; **СОС** — система обработки сигналов (выделение синхронимпульсов, коррекция ошибок); **К<sub>под</sub>**, **К<sub>пр</sub>** — подающая и приемная катушки; **ДГ** — диск головок; **ГСУ** — головка сигнала управления; **ЭДД** — двигатель головок с датчиком оборотов; **ГенУпр** — управляемые генераторы; **УПЭД** — усилители питания двигателя; **КУпр** — канал управления; **ЭДВВ** — двигатель ведущего вала; **ЭДБУ** — двигатель боковых узлов

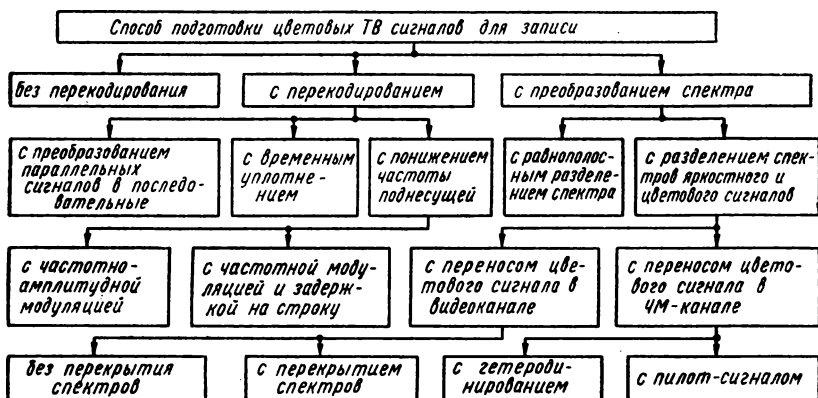


Рис. 6.26. Схема классификации способов подготовки цветных ТВ сигналов для записи

или даже полностью исключаться за счет некоторого (допустимого) снижения качественных показателей. Например, такая дополнительная обработка воспроизведенного сигнала, как коррекция временных ошибок и замещение выпадений, применяется только в высококачественных ВМ.

Другим важным фактором, определяющим структуру ВМ, является способ подготовки цветковых телевизионных сигналов для записи. Схема классификации этих способов (рис. 6.26) [13] построена в предположении, что на вход ВМ подается цветовой видеосигнал, кодированный по одной из трех систем, принятых для телевизионного вещания: СЕКАМ, НТСЦ, ПАЛ. При сравнительной оценке способов нужно принимать во внимание необходимую для записи ширину полосы частот, отношение сигнал/шум по сигналам яркости и цветности, уровень перекрестных помех и комбинационных искажений. При записи без перекодирования полоса частот записываемого сигнала примерно равна полосе частот, занимаемой цветковым сигналом. Это обеспечивает оптимальные условия для высококачественной записи-воспроизведения. Другие способы записи позволяют сузить полосу записываемого

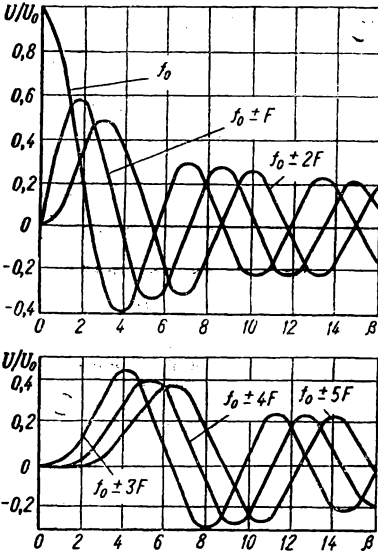


Рис. 6.27. Зависимость амплитуд спектральных составляющих ЧМ-сигнала от индекса модуляции:

$f_0$  — несущая;  $(f_0 \pm F)$ ,  $(f_0 \pm 2F)$  — боковые 1-го и 2-го порядка

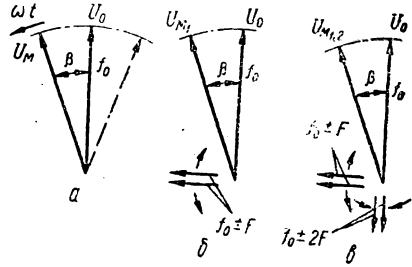


Рис. 6.28. Векторные диаграммы ЧМ-сигнала:

$a$  — идеальная ЧМ;  $b$  — ЧМ + ПАМ сигналом при ограничении полосы пропускания  $f_0 \pm F$ ;  $c$  — то же, расширена до  $f_0 \pm 2F$

ых частот, что, однако, ухудшает параметры воспроизводимого изображения.

**Особенности ЧМ при магнитной видеозаписи.** В АМВЗ, как правило, применяется запись видеосигналов с ЧМ, использование которой облегчает условия неискаженной записи-воспроизведения крайних низкочастотных компонентов видеосигналов и позволяет устранить случайную ПАМ воспроизведенного сигнала. Характерной особенностью ЧМ-преобразований при магнитной видеозаписи является применение низкой несущей частоты  $f_0$ , расположенной в непосредственной близости от верхней (максимальной) модулирующей частоты записываемых видеосигналов  $F_B = F_M$ , а также малых (менее 1) индексов модуляции  $\beta = \Delta f / F$ , где  $\Delta f$  — девиация частоты.

Рассмотрим простейший случай ЧМ гармонической несущей  $u_0 \cos \omega_0 t$ ;  $\omega_0 = -2\pi f_0$ , гармоническим же сигналом  $U_M \sin \Omega t$ ,  $\Omega = 2\pi F$ . При идеальном частотном модуляторе мгновенная частота  $\omega(t) = \omega_0 + \Delta \omega \sin \Omega t$ , а общее описание и спектр ЧМ-сигнала

$$u(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \beta \sin \Omega t = U_0 \{ J_0 \beta \cos \omega_0 t + \sum_{k=1}^{\infty} J_k(\beta) [\cos(\omega_0 + k\Omega)t + (-1)^k \cos(\omega_0 - k\Omega)t] \}, \quad (6.8)$$

где  $J_k(\beta)$  — бesselова функция 1-го рода  $k$ -го порядка от индекса модуляции  $\beta = \Delta f/F$ .

Зависимость амплитуд спектральных составляющих ЧМ-сигналов от индекса модуляции показана на рис. 6.27. Соотношения в ЧМ-сигнале иллюстрируются векторной диаграммой (рис. 6.28, а, б, в). Из первой части выражения (6.8) видно, что максимальное отклонение, т. е. девиация фазы ЧМ-сигнала равна  $\beta$  (рис. 6.28, а), несущая ( $U_0, f_0$ ) и две боковых составляющих 1-го порядка ( $U_0, J_1(\beta), f_0 \pm F$ ) принципиально не могут создавать «чистую» ЧМ, так как, суммируясь в квадратуре, они приводят к изменениям уровня сигнала ПАМ сигналом (рис. 6.28, б). Этот эффект уменьшается, если

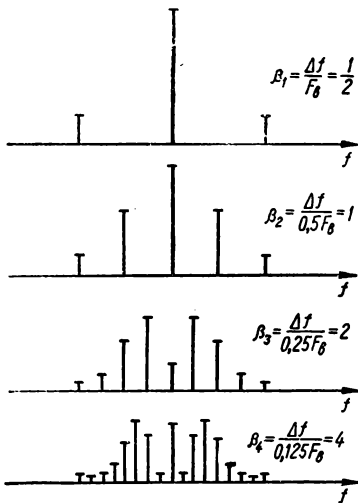


Рис. 6.29. Распределение гармонических составляющих в спектре ЧМ-сигнала в зависимости от величины индекса модуляции

квадратно суммировать несущую и две пары ее боковых составляющих (т. е. расширить полосу пропускания канала, рис. 6.28, в). Глубина ПАМ сигналом тем ниже, чем меньше индекс модуляции. При постоянном уровне сигнала  $U_m = \text{const}$ ,  $\Delta f = \text{const}$  индекс модуляции  $\beta$  возрастает по мере уменьшения частоты сигнала  $F$ , что приводит к относительному увеличению энергии боковых составляющих высших порядков. Однако эффективная ширина спектра сигнала

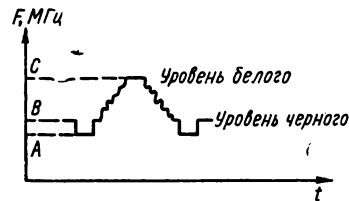


Рис. 6.30. Пределы изменения частоты сигнала (девиация частоты)

при этом изменяется незначительно. Примерный вид спектрограмм сигнала при разных  $\beta$  показан на рис. 6.29. Несущую частоту (уровень серого) в магнитной видеозаписи размещают посередине между уровнями белого и черного (рис. 6.30).

Высокие технические характеристики современных магнитных лент и видеоголовок (ВГ) позволили значительно улучшить основные конструктивные параметры тракта ЧМ-магнитной видеозаписи: повысить несущую частоту  $f_0$ , увеличить девиацию частоты  $\Delta f$ , оптимизировать частотные предсказания. Это создало условия для улучшения рабочих (метрологических) параметров ВМ: увеличения разрешающей способности, отношения сигнал/шум, числа градаций яркости, повышения равномерности ЧХ и др.

В первых ВМ недостаточная ширина полосы пропускания КМЗВ обуславливала запись ЧМ-сигналов с одной нижней боковой полосой, что приводило к нелинейным искажениям, ухудшению ЧХ и отношения сигнал/шум. Рациональный выбор параметров ЧМ позволяет сейчас осуществлять запись-воспроизведение обеих боковых полос (двухполосная запись). При этом верхнюю модулирующую частоту (частоту видеосигнала)  $F_b$  при записи в системах черно-белого и цветного телевидения с японо-американским или европейским стандартами (525 строк/60 полей или 625/50 соответственно) ограничивают величиной 5—6 МГц.

При оптимальном выборе параметров ЧМ-тракта следует совместно учитывать характеристики яркостного сигнала цветности, находящегося на поднесущей частоте вблизи верхней граничной частоты сигнала изображения; комбинационные искажения в ЧМ-тракте (см. гл. 6.2); влияние характеристик КМЗВ и флуктуаций их параметров на отношение сигнал/шум на выходе демодулятора и др. Основные параметры ЧМ ВМ, предназначенных для широкого обмена записями, сейчас стандартизованы. Стандартные значения опорных частот, предскажений и девиации частоты ВМ приведены в табл. 6.1.

**6.1. Стандартные значения опорных частот, предскажений и девиации частоты ВМ**

Параметр	Узкая полоса (ВЧ стандарт)		Широкая полоса (СВЧ стандарт)
	525/60	625/50	
Частота несущей на уровне синхросигналов, МГц	7,06	7,16	9
Частота несущей на уровне черного, МГц	7,9	7,8	10
Частота несущей на уровне белого, МГц	10	9,3	12
Девиация частоты несущей при передаче низкочастотных сигналов, МГц	2,1	1,5	2
Предскажения в области частот сигналов цветности, дБ	8	8	8

В ВМ для замкнутых телевизионных систем, в которых допустимо небольшое снижение некоторых качественных показателей (например, четкости изображения), можно производить запись сигнала и с одной боковой полосой. При этом рекомендуется переносить сигнал цветности в область низких частот и ограничить спектры сигналов яркости и цветности. Такое решение позволяет ощутимо понизить скорость движения и уменьшить расход МЛ.

Тракт записи-воспроизведения ВМ содержит ЧМ, УЗ, КМЗВ, УВ, демодулятор ЧМ-сигналов и устройства для обработки и преобразования воспроизведенного сигнала в телевизионный видеосигнал. В качестве обобщенного примера на рис. 6.31 показана структурная схема тракта записи-воспроизведения студийного ВМ с четырьмя вращающимися головками [28].

Видеосигнал поступает на усилитель-распределитель 1, затем на регулятор уровня 2, который согласовывает входные параметры модулятора с видеосигналом, на САР электропривода видеоголовок, а также на блок АПЧ модулятора 5. От регулятора уровня 2 сигнал поступает на схему предскажений 3, обеспечивающую подъем верхних частот видеосигнала при записи для увеличения индекса модуляции  $\beta$  на ВЧ. Далее сигнал поступает на модулятор 4, который преобразует его в ЧМ-сигнал. Модулятор 4 осуществляет фиксацию уровня гашения видеосигнала и стабилизирует частоту при передаче уровня гашения при помощи блока АПЧ 5, сравнивающего частоту генератора частот уровня белого и черного 7. После блока 4 ЧМ-сигнал подается на ключевой коммутатор записи 6, подключающий ВГ в моменты времени, когда они находятся в контакте с МЛ. С выхода 6 сигнал поступает на усилители записи 8, содержащие регуляторы тока записи 9, каждый из которых соединен с соответствующей ВГ через переключатель 10. Для контроля работы тракта преобразования видеосигнала он со второго выхода коммутатора 6 через переключатель запись-воспроизведение 16 и ограничитель 17 может быть подан на демодулятор 18.

В режиме воспроизведения ЧМ-сигнал от ВГ через предварительные усилители 11 подается на электронный коммутатор 12, с него непрерывный



(«сшитый») сигнал поступает на корректор 13, в котором корректируются линейные искажения ЧМ-сигнала. Блок 12 управляется сигналом датчика оборотов двигателя БВГ и сигналом синхронизации строчной частоты, поступающим от системы обработки воспроизводимого сигнала 26.

Для устранения неравномерности по яркости и насыщенности цветовой тона на экране телевизора, возникающих вследствие различия ЧХ и чувствительности МГ, применяется автоматическая регулировка ЧХ-каналов ВГ. Для управления коррекцией блоков 11 используется уровень цветовой поднесущей, который детектируется в блоке автоматической регулировки ЧХ 21. После блока 13 ЧМ-сигнал поступает на фильтр с линейно-падающей характе-

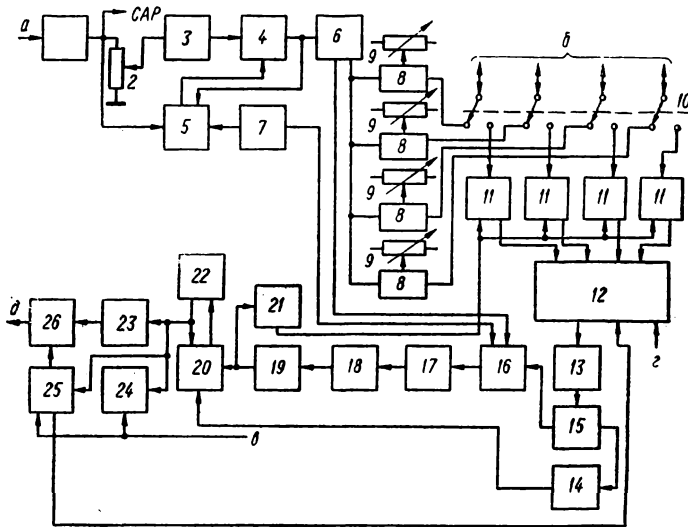


Рис. 6.31. Структурная схема тракта записи-воспроизведения студийного ВМ с четырьмя вращающимися головками:

*a* — вход; *б* — *к* магнитных головок; *в* — вход опорных сигналов; *г* — вход сигнала датчика оборотов; *д* — выход

ристикой 15, улучшающей отношение сигнал/шум, и далее на вход переключателя записи-воспроизведения 16, одновременно подключающего часть схемы на контроль записываемого либо воспроизводимого с ленты ЧМ-сигнала. Затем ЧМ-сигнал подается на ограничитель 17 и демодулятор 18, в котором преобразуется в видеосигнал, и поступает на схему коррекции предыскажений 19, ослабляющую верхние частоты видеосигнала. Характер и величина коррекции должны соответствовать предсказаниям, введенным блоком 3 при записи.

С выхода блока 19 видеосигнал подается на ключевую схему 20, которая управляется датчиком выпадений 14 и компенсирует выпадения воспроизводимого сигнала. На второй вход блока 20 подается видеосигнал предыдущей строки, задержанный линией задержки 22 на 64 или 128 мкс соответственно для черно-белого или цветного сигнала. Для устранения временных ошибок видеосигнал поступает на корректор временных искажений 23 на управляемых устройствах задержки с системой управления 24, затем на блок обработки сигналов 26, где регулируется уровень выходного сигнала и происходит регенерация гасящих и синхронизирующих импульсов, поступающих с формирующего устройства 25.

Структурные схемы трактов записи-воспроизведения бытовых ВМ обычно не содержат блоков компенсации выпадений сигналов, корректора времен-

ных искажений, блока регенерации гасящих и синхронизирующих импульсов и др. Обобщенная структурная схема канала магнитной записи-воспроизведения ВМ [7] с указанием источников помех, влияющих на отношение сигнал/шум выходного сигнала, а также порядка преобразований сигналов показана на рис. 6.32.

Источниками шумов, поступающих на 5 и 7, является АМ, обусловленная неравномерностями диспергирования магнитного порошка ленты, поверхности и контакта между лентой и головкой, и ЧМ, обусловленная вибрацией ленты и неравномерностью вращения головок.

Искажения ЧМ-сигналов при видеозаписи. ЧМ-сигнал практически не чувствителен к амплитудным искажениям. Основные искажения связаны

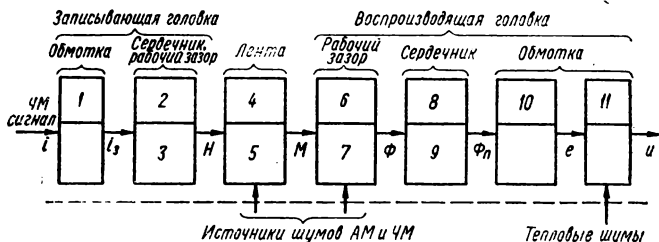


Рис. 6.32. Структурная схема КМЗВ видеоманитофона с указанием источников помех и порядка преобразований сигнала:

1 — резонансная характеристика обмотки головки; 2 — преобразованное ток — магнитное поле; 3 — потери в сердечниках, характеристика рабочего зазора, явление насыщения; 4 — процесс записи; 5 — саморазмагничивание, самостирание записи; 6 — передача магнитного потока от ленты в сердечник; 7 — щелевые, слойные и контактные потери; 8 — преобразование: поток, входящий в сердечник, поток сцепления с обмоткой; 9 — потери на вихревые токи, гистерезисные потери, потери рассеивания потока; 10 — преобразование ЭДС; 11 — резонансная характеристика обмотки головки;  $i$  — выходной ток УЗ;  $i_3$  — ток записи;  $H$  — напряженность поля в рабочем зазоре ГЗ;  $M$  — намагниченность ленты;  $\Phi$  — воспроизведенный магнитный поток в сердечнике ГВ;  $\Phi_p$  — полезная часть  $\Phi$ , сцепленная с обмоткой головки;  $e$  — ЭДС ГВ;  $u$  — напряжение сигнала на выходе УВ

с изменением величины индекса модуляции, вызванным неравномерностью АЧХ, нелинейностью ФЧХ, случайными помехами (шумом), муаром.

При передаче ЧМ-сигнала по каналу с АЧХ, показанной на рис. 6.33,а, преимущественно подавляется верхняя боковая составляющая  $f_0 + F$ . Появляющаяся в результате этого ПАМ сигналом может быть устранена в ограничителе. Более важным следствием подавления верхней боковой составляющей является уменьшение индекса модуляции  $\beta$ , которое приводит к частотно-зависимому уменьшению амплитуды демодулированного сигнала. Низкие модулирующие частоты подвергаются изменению в меньшей степени, так как основная часть энергии в этом случае приходится на боковые составляющие, расположенные поблизости от несущей. Понижение уровня демодулированного сигнала в основном происходит на высоких частотах. В результате при записи цветных сигналов возникает дифференциальное усиление, т. е. появляется зависимость амплитуды сигнала цветности от изменения амплитуды сигнала яркости. Дифференциальное усиление связано с более высокими уровнями яркости, которые создают увеличение сдвига между  $f_0$ ,  $f_0 - F$  и  $f_0 + F$ , что, в свою очередь, приводит к еще большему подавлению верхней боковой полосы.

Увеличение отношения сигнал/шум и уменьшение искажений, вызванных биением частот, достигается при линейном спаде ЧХ. Если характеристика имеет линейный спад, как показано на рис. 6.33,б, то  $f_0 - F$  повышается,

а  $f_0 + F$  понижается относительно  $f_0$ . Преимущество такой характеристики в том, что используется меньшая часть верхних боковых составляющих, а так как это ведет к понижению уровня шумов, обусловленных компенсацией потерь на высоких частотах, и нежелательных биений частот (гармонических искажений), отношение сигнал/шум улучшается и муар уменьшается. Этот процесс иногда называют частотной модуляцией «нижней боковой», что не точно, так как при этом, хотя и в разной степени, используются обе боковые составляющие.

В случае наложения на ЧМ-сигнал случайных помех (шума) с равномерным распределением, их спектр имеет треугольную форму (рис. 6.33,б), т. е. с увеличением частоты уровень помех возрастает. В случае наложения шума

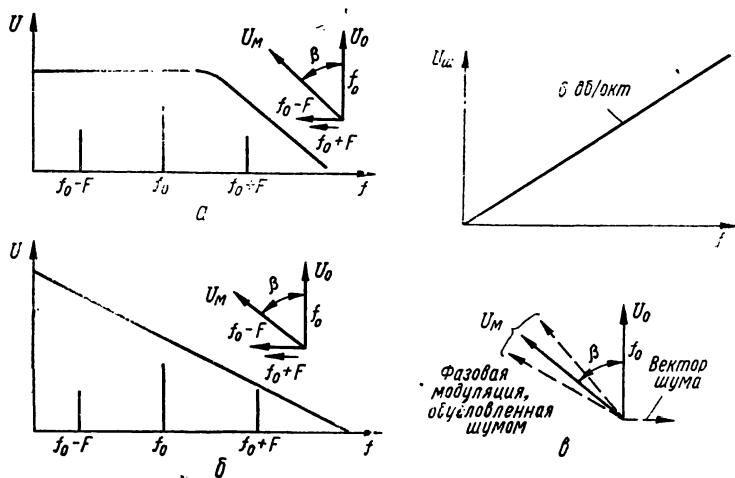


Рис. 6.33. Частотные характеристики ЧМ-тракта:

а — неравномерная АЧХ; б — линейно-падающая АЧХ; в — спектральное распределение шума в полосе демодулированного ЧМ-сигнала

на спектральные составляющие ЧМ-сигнала возникает дополнительная фазовая модуляция, зависящая от величины индекса модуляции сигнала. Так как индекс модуляции при увеличении модулирующей частоты уменьшается, то и уровень помех возрастает на 6 дБ/окт. Случайные помехи уменьшаются при введении частотных предискажений видеосигнала — происходит подъем ЧХ на частотах выше 1 МГц перед модуляцией и восстановление исходного сигнала в процессе демодуляции (коррекция ЧМ-сигнала). Частотные предискажения, как правило, реализуются пассивным четырехполосником, принципиальная схема и характеристики которого показаны на рис. 6.34.

При наличии в видеосигнале дополнительных высокочастотных составляющих, особенно поднесущей цветности, в ЧМ-тракте между несущей и самыми высокими частотами видеосигнала возникают биения, вызывающие нежелательные узоры на изображении. В цветных сигналах они вызывают амплитудную и фазовую модуляцию цветовой поднесущей. При этом искажаются оттенки насыщенности цвета. Такие искажения напоминают взаимное смещение двух решеток. Возникают они вследствие отражения боковых составляющих второго порядка в полосу пропускания тракта и нелинейных искажений (рис. 6.35), хотя энергия боковых составляющих второго порядка цветовой поднесущей низка. Если ЧМ-тракт нелинеен, то при прохождении через него ЧМ-сигнала возникают высшие гармоники несущей. Искажения, создаваемые четными гармониками, исключаются обеспечением симметричности амплитудных характеристик ЧМ-тракта; искажения, вызываемые нечетными гармониками (в основном третьей), возникают в процессе записи ЧМ-сиг-

нала в результате недостаточного ВЧП и ограничения амплитуд в демодуляторе. Например, при несущей 6 МГц частота третьей гармоники составит 18 МГц. Девияция несущей вызывает девияцию гармоники. Поэтому это гармоническое колебание можно рассматривать как отдельный ЧМ-сигнал, содержащий свои боковые составляющие. Хотя третья гармоника и находится вне полосы пропускания тракта, нижние боковые составляющие могут появиться в полосе и проявиться в виде муара. Следует иметь также в виду, что с увеличением порядка гармоники происходит и увеличение индекса ее модуляции.

Таким образом, оптимальные параметры модуляционного способа записи определяются правильным выбором величины девияции, несущей и модулирующей частот и величины предьскажений, что обеспечивает необходимое отношение сигнал/шум и минимальный уровень искажений.

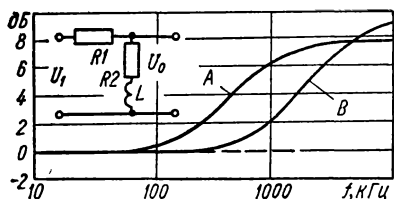


Рис. 6.34. Схема и характеристики цепи предьскажений:

$A$  — стандарт «широкая полоса»;  $B$  — стандарт «узкая полоса»;  $T_1 = L/(R_1 + R_2)$ ;  $T_2 = L/R_2$

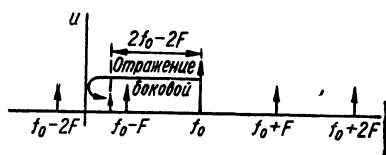


Рис. 6.35. Муар, обусловленный отражением боковой составляющей спектра второго порядка в рабочую полосу частот

#### 4. ТРАКТЫ ЦИФРОВОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

**Структура устройств цифровой магнитной записи (ЦМЗ).** Структурную схему тракта магнитной записи-воспроизведения (ТМЗВ) удобно представить в форме, принятой для анализа каналов связи (рис. 6.36).

Кодер источника *КодИ* выполняет предварительное, например аналого-цифровое, преобразование информации и, при необходимости, предварительную ее обработку с целью уменьшения избыточности в потоке необработанных данных. Перекодер канала магнитной записи-воспроизведения *ПКод КМЗВ*, напротив, обычно вносит некоторую специальную избыточность в записываемые сообщения, с целью повышения надежности их передачи.

Все известные типы сигналов ЦМЗ можно представить как результаты модуляции «несущих» разной формы (в основном гармонической и прямоугольной), выполняемой модулятором *М*. Дополнительной функцией модулятора, а также усилителя записи *УЗ* является введение в записываемый сигнал предварительных искажений для коррекции формы воспроизведенного сигнала.

Специфические особенности *КМЗВ* (система «головка — носитель — головка») рассмотрены в гл. 1. Усилитель воспроизведения *УВ* обычно совмещает функции усиления и коррекции сигнала. В отличие от записи аналоговых сигналов, в ЦМЗ не требуется полное исправление формы сигналов, а необходимо лишь восстановление его информативных параметров — обычно только длительностей временных интервалов. Для этого с помощью дополнительного дифференцирования либо неминимально-фазовых корректоров компенсируют частотно-независимые фазовые сдвиги, вносимые индукционными ГВ (см. гл. 1).

Окончательное формирование исходной (обычно прямоугольной) формы сигнала осуществляется двусторонним амплитудным ограничителем *АО*.

Демодулятор *ДМ*, декодер *КМЗВ ДКодКМЗВ* и декодер источника *ДКодИ* выполняют функции, обратные функциям кодера источника *КодИ*, перекодера источника *ПКодИ*, модулятора *М*. Назначение источника информации *ИИ*, синхроблока *СБ* и получателя информации *ПИ* — очевидно.

**Основные типы сигналов ЦМЗ [5]:**

БВН-1 (БВНМ, NRZI) (рис. 6.37, а) — сигнал относительной амплитудной модуляции несущей нулевой частоты (по двум уровням). Информационным единицам соответствуют переходы уровня сигнала, информационным нулям — отсутствие переходов, что приводит к алгоритму перекодирования вида  $1 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 0$ .

АФМ (ФМ, «Манчестерский способ» и др.) (рис. 6.37, б) — сигнал абсолютной фазовой модуляции прямоугольной несущей. Символу 0 соответствует нулевая начальная фаза несущего колебания, символу 1 — начальная фаза, равная  $180^\circ$ . Алгоритм перекодирования входной информационной последовательности имеет вид  $1 \rightarrow 11$ , если предыдущий информационный символ 1;  $1 \rightarrow 01$ , если 0;  $0 \rightarrow 11$ , если 0;  $0 \rightarrow 01$ , если 1.

Перекодированная двоичная последовательность записывается далее на магнитный носитель по способу БВН-1.

ОФМ (ЧМ, ФРМ, код А. Габора, код «Гарвард» и др.) (рис. 6.37, в) — сигнал относительной фазовой модуляции прямоугольной несущей. Символу 1 соответствует изменение фазы несущего колебания на  $180^\circ$ ,

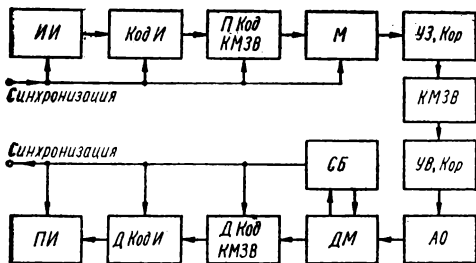


Рис. 6.36. Структура цифрового тракта магнитной записи-воспроизведения

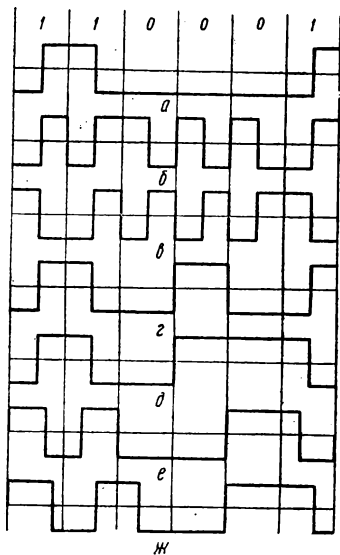


Рис. 6.37. Формы сигналов ЦМЗ:

а — БВН-1; б — АФМ; в — ОФМ; г — УФМ; д — МУФМ; е — УБВН-2/3; ж — УБВН-4/5

символ 0 оставляет фазу без изменения. Алгоритм перекодирования  $1 \rightarrow 01, 0 \rightarrow 11$ .

УФМ (код А. Миллера, модуляция задержкой, МФМ, трехчастотный сигнал и др.) (рис. 6.37,е) — сигнал узкополосной АФМ прямоугольной несущей. Символу 1 соответствует переход уровня в середине тактового интервала, символу 0 — переход уровня на границе тактового интервала либо отсутствие перехода. Алгоритм преобразования входной информационной последовательности  $00 \rightarrow 1010, 01 \rightarrow 0001, 10 \rightarrow 0100, 11 \rightarrow 0101$ .

МУФМ (дважды модифицированный ЧМ — М<sup>2</sup>ЧМ) (рис. 6.37,д) — модифицированный сигнал узкополосной АФМ прямоугольной несущей. Отличается от УФМ сигнала тем, что при передаче последовательности нулей формируются интервалы длительностью в два такта, а при переходе от последовательности нулей к единицам образуются интервалы длительностью в два с половиной такта. Это соответствует алгоритму перекодирования  $00 \rightarrow 1000$  либо  $0010; 01 \rightarrow 0001$  либо  $1001; 10 \rightarrow 0100; 11 \rightarrow 0101$ .

УБВН-2/3 (запись с групповым кодированием) (рис. 6.37,е) — узкополосный сигнал БВН, полученный групповым перекодированием каждого двух символов входной информационной последовательности в три и запреще-

нием в выходной последовательности комбинаций символов, состоящих из более чем двух нулей подряд, т. е. 00 → 100, 01 → 101, 10 → 110, 11 → 111.

УБВН-4/5 (запись с групповым кодированием, МБВН) (рис. 6.37, ж) — то же, что и УБВН-2/3, но с перекодированием четырех символов в пять по алгоритму

0000→11001	0100→11101	1000→11010	1100→11110
0001→11011	0101→10101	1001→01001	1101→01101
0010→10010	0110→10110	1010→01010	1110→01110
0011→10011	0111→10111	1011→01011	1111→01111

Модуляторы сигналов цифровой магнитной записи полностью формируют сигналы ЦМЗ, т. е. совмещают функции перекодера КМЗВ и собственно моду-

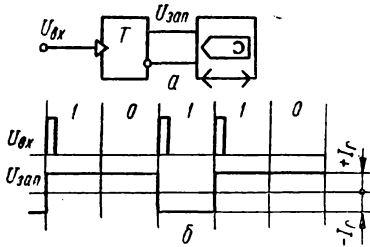
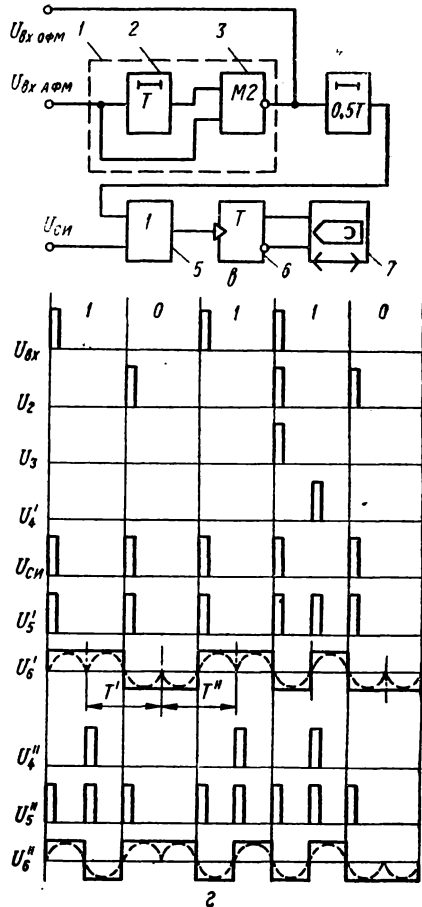


Рис. 6.38. Структурные схемы модуляторов БВН-1-сигнала (а) и ФМ-сигналов (б) и временные диаграммы их работы (б, в)



лятора (см. рис. 6.36). Основные требования, предъявляемые к ним, — простота и надежность схемы, что достигается минимизацией общего числа элементов и, особенно, частотно-зависимых и подстраиваемых элементов.

Наибольшее распространение среди модуляторов БВН-сигналов получили модуляторы БВН-1-сигналов, выполняемые на основе счетного триггера (рис. 6.38, а). На вход счетного триггера подается последовательность информационных импульсов  $U_{вх}$ , а с выхода триггера снимается БВН-1-сигнал  $U_{зап}$  (рис. 6.38, б).

Большую группу «двухчастотных», «фазовых» и других способов ЦМЗ можно свести к двум разновидностям абсолютной ФМ (АФМ) и относительной ФМ (ОФМ) записи [5]. При АФМ информационным параметром является начальная фаза несущего колебания в каждом такте, а при ОФМ — разность начальных фаз в двух соседних тактах. В ЦМЗ преимущественно используются два значения фазы или разности фаз:  $0^\circ$  и  $180^\circ$ . Алгоритмы модуляции ФМ-сигналов линейно связаны друг с другом, поэтому сигналы АФМ и ОФМ можно полу-

чить с помощью одного и того же фазового модулятора и соответствующего перекодера входной двоичной последовательности.

Структурная схема модулятора ФМ-сигналов показана на рис. 6.38, в. Для формирования ОФМ-сигнала входная двоичная последовательность поступает непосредственно на вход элемента задержки 4, где задерживается на время равное  $0,5 T$  (см.  $U_4''$  на рис. 6.38, е). Сигнал  $U_4''$  далее смешивается с входной тактовой синхропоследовательностью  $U_{СИ}$  на элементе ИЛИ 5. Последовательность импульсов  $U_5''$ , снимаемая с выхода элемента ИЛИ, преобразуется счетным триггером 6 в ОФМ-сигнал  $U_6''$ . В качестве элемента задержки здесь и всюду далее можно использовать как частотно-зависимые элементы — линии задержки, одновибраторы и другие, так и счетчики, регистры и другие устройства, работа которых не нарушается при изменении частоты входного сигнала. При этом во многих случаях более удобным оказывается использование синхропоследовательности удвоенной тактовой частоты.

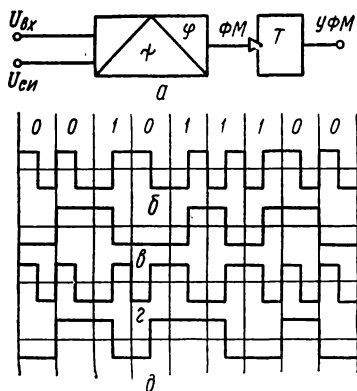


Рис. 6.39. Получение УФМ-сигналов

сигналов, как показано на рис. 6.39, б—д. При этом в зависимости от типа исходного ФМ-сигнала и начальной фазы деления формируется семейство УФМ-сигналов. Среди этих сигналов присутствует и так называемый код А. Миллера (рис. 6.39, в), который можно также получить из БВН-сигнала с помощью модулятора (рис. 6.40, а). Для этого входной БВН-сигнал  $U_{вх}$  (рис. 6.40, б) подается на информационный вход триггера 1, на синхронизирующий вход которого одновременно поступает тактовая синхропоследовательность  $U_{СИ}$ . При этом на нулевом выходе триггера 1 формируется напряжение  $U_1$ , которое поступает на один из входов элемента И—ИЛИ 2. На другие входы элемента 2 подаются синхриимпульсы  $U_{СИ}$ ,  $U_{СИ}'$  и сигнал  $U_{вх}$ . С выхода элемента 2 снимается последовательность импульсов  $U_2$ , которая с помощью счетного триггера 3 преобразуется в УФМ-сигнал  $U_3$ .

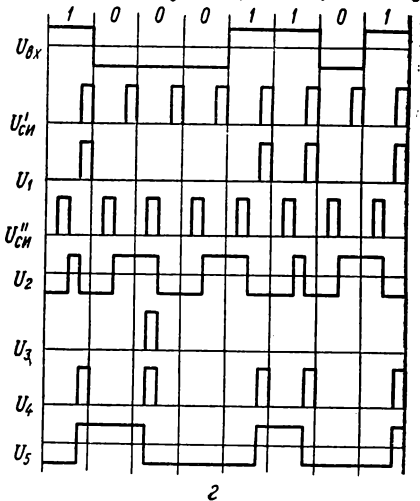
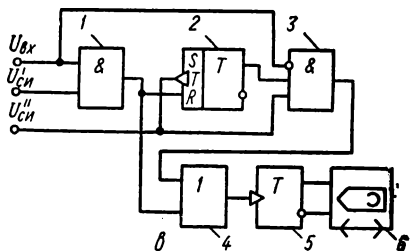
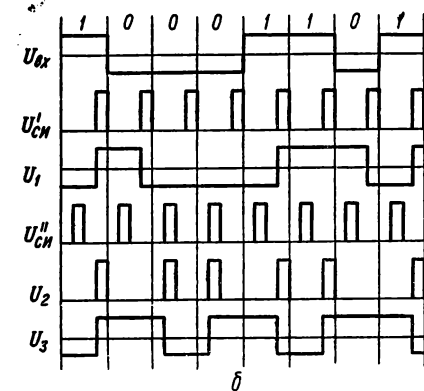
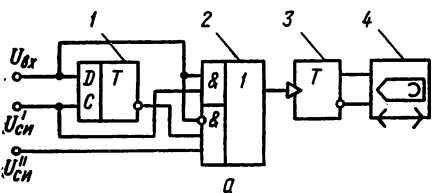
Информационная эффективность ФМ- и УФМ-сигналов одинакова:  $\alpha = \omega_T / \omega_1 = 0,5$ . Однако основной лепесток энергетического спектра УФМ-сигнала деформирован (острый максимум  $P(0,4) \approx 20,7$ ). Это дает возможность существенно улучшить использование полосы частот КМЗВ при умеренных требованиях к достоверности, например, при  $\gamma(\omega) = 0,9 \beta \approx 1,1$ .

Модифицированные УФМ (МУФМ)-сигналы отличаются от обычных тем, что в них временные интервалы, соответствующие информационным нулям, не бывают менее  $1,5 T$  (эти сигналы содержат четыре временных интервала, которые относятся между собой как 1 : 1,5 : 2 : 2,5). Такая структура сигнала позволяет несколько расширить поле допустимых флуктуаций фронтов, соответствующих информационным единицам.

Структурная схема модулятора МУФМ-сигнала и временные диаграммы его

работы показаны на рис. 6.40, а, г. Из входного БВН-сигнала с помощью элемента И 1 и синхрипульсов  $U_{СИ}^1$  выделяются импульсы единиц  $U_1$ , которыми устанавливают в нулевое состояние триггер 2. По счетному входу триггер 2 запускается задними фронтами импульсов  $U_{СИ}''$ . Напряжение  $U_2$ , снимаемое с выхода триггера 2, перемножается на элементе И 3 с напряжениями  $\bar{U}_{вх}$  и  $U_{СИ}''$ . Последовательность импульсов  $U_3$ , вырабатываемая элементом 3, смещается с импульсами  $U_1$ , после чего преобразуется счетным триггером 5 в МУФМ-сигнал  $U_5$ .

Рис. 6.40. Структурные схемы модуляторов УФМ-сигнала (а) и МУФМ-сигнала (г) и временные диаграммы их работы (б, г)



Узкополосные БВН (УБВН)- $m/n$ -сигналы получают перекодированием  $2^m$   $n$ -символьных групп входной двоичной последовательности в группы из  $n$  ( $n > m$ ) символов с последующим отбором из  $2^n$  выходных групп  $2^m$  таких  $n$ -символьных групп, которые обеспечивают минимальные межразрядные влияния символов при БВН-1-записи. Введенная при этом избыточность  $((n - m)/n)$  окупается улучшением характеристик сигнала. Информационная эффективность УБВН-сигналов медленно увеличивается по мере роста  $m$ ,  $n$  (табл. 6.2), но одновременно резко возрастает сложность модема.

Принципы построения и работы модулятора УБВН-2/3-сигнала ясны из рис. 6.41. Перекодирование для других значений  $m$  и  $n$  удобно осуществлять с помощью интегральных элементов памяти, серийно выпускаемых отечественной промышленностью.

Модуляторы сигналов с импульсными предсказаниями (ПИ) выполняют имитацию дополнительного дифференцирования сигнала. Совместо с дифференцированием воспроизводящей головкой это дает возможность точно восстановить инверсную форму записываемого сигнала на выходе КМЗВ.



На рис. 6.42, *a—г* показано формирование ФМ-сигнала с импульсными ПИ, которое может быть выполнено с помощью модулятора, изображенного на рис. 6.38, *в*, если на его синхронизирующий вход подать СИ удвоенной тактовой частоты и соответствующим образом выбрать время задержки элемента 4.

Для уменьшения искажений воспроизведенного ФМ-сигнала, вызванных межрядными влияниями символов, можно применить ПИ сдвигами фронтов [23]. Структурная схема такого модулятора изображена на рис. 6.43, *а*. Модулятор содержит два двухрядных двоичных счетчика 3, 6 с импульсными выходами, на синхронизирующие и нулевые установочные входы которых раздельно поступают импульсы информационных единиц  $U_{вх}^1$  и нулей  $U_{вх}^0$

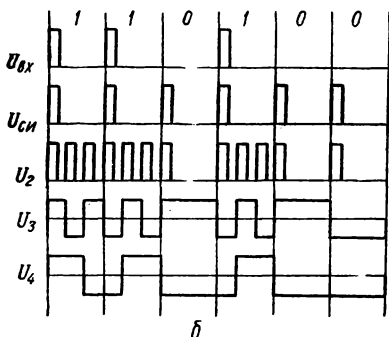
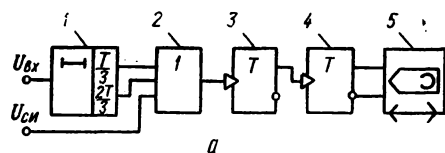


Рис. 6.41. Структурная схема модулятора УБВН-2/3-сигнала (*а*) и временные диаграммы его работы (*б*)

тервалов сигнала, граничащих с меньшими интервалами, дополнительно увеличены на время  $\tau_1$  или  $\tau_2$ .

**Блоки синхронизации.** Процесс синхронизации ЦМЗ означает восстановление на выходе ТМЗВ импульсов синхросерии, различающих такты и группы цифрового сигнала. Синхросигнал может быть записан на отдельной дорожке (внешняя синхронизация), что снижает допустимую плотность и достоверность записи при динамических перекосах лент. В большинстве других случаев синхросерия восстанавливается из информативного сигнала (самосинхронизация). Точность и надежность восстановления СИ имеют исключительно большое значение, так как даже небольшие погрешности синхроблоков резко снижают надежность работы любых демодуляторов.

Внешняя синхронизация осуществляется стробированием информационного сигнала синхрипульсами на элементе И.

В ЦМЗ используются два основных метода самосинхронизации: инерционный, согласно которому импульсы, формируемые из фронтов сигнала, воздействуют на какое-либо инерционное звено (резонансный контур, систему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и т. д.), вырабатывающее синхроколебание;

безынерционный, при котором СИ вырабатываются из фронтов сигнала с помощью логических устройств.

(рис. 6.43, *б*). С помощью этих счетчиков из входной информации выделяются импульсы первых нулей ( $U_3^1$ ) и единиц ( $U_6^1$ ), следующих после последних разноименных символов, а также импульсы последующих нулей ( $U_3^2$ ) и единиц

( $U_6^2$ ). Импульсы  $U_3^2$  и  $U_6^2$  задерживаются на время  $\tau_1$  с помощью триггеров 4, 7 и элементов И 5, 8. При этом используется синхроследовательность  $U_{СИ}^1$ . Импульсы  $U_6^1$  задерживаются на время  $\tau_2$  с помощью элемента задержки 9. Последовательность импульсов  $U_{вх}^1$  задерживается на время  $0,5 T$  относительно  $U_{СИ}^1$  с помощью триггера 1 и элемента И 2. При этом используются синхрипульсы  $U_{СИ}^1$ . Последовательности импульсов  $U_2$ ,  $U_3^1$ ,  $U_6$ ,  $U_8$ ,  $U_9$  смешиваются на элементе ИЛИ 10 и преобразуются триггером 11 в выходной ФМ-сигнал  $U_{11}$ , в котором длительности больших временных интервалов

**6.2. Параметры сигналов ЦМЗ, характеризующие условия работы демодуляторов и синхроблоков**

Параметр	Тип сигнала					
	БВН-1	ФМ	УФМ	МУФМ	УБВН-2/3	УБВН-4/5
Число символов в группах входной информационной последовательности $m$	1	1	2	2	2	4
Число символов в группах перекодированной информационной последовательности $n$	1	2	4	4	3	5
Минимальное число нулей между двумя последовательными единицами в перекодированной информационной последовательности $d$	0	0	1	1	0	0
Максимальное число нулей между двумя последовательными единицами в перекодированной информационной последовательности $k$	$\infty$	1	3	4	2	2
Число временных интервалов между нуль-пересечениями сигнала	$\infty$	2	3	4	3	3
Информационная плотность кода $I = \frac{m}{n} (d + 1)$	1	1/2	1	1	2/3	4/5
Отношение временных интервалов сигнала	—	1:2	1:1,5:2	1:1,5:2:2,5	1:2:3	1:2:3
Максимальное «окно демодуляции» при использовании ИСБ	—	$\pm T/2$	$\pm T/2$	$\pm T/2$	$\pm 2T/3$	$\pm 4T/5$
Максимальное «окно демодуляции» при использовании БСБ	—	$\pm T/4$	$\pm T/4$	$\pm T/4$	$\pm T/3$	$\pm 2T/5$

Примечание. Самосинхронизация возможна у всех типов сигнала, кроме БВН-1.

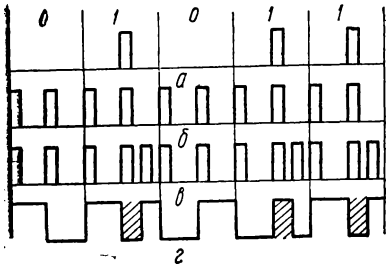


Рис. 6.42. Введение в ФМ-сигнал импульсных предскажений:

*a* — входная двоичная последовательность; *b* — синхропоследовательность удвоенной тактовой частоты; *в* — последовательность импульсов, полученная при задержке входной последовательности на  $0,25 T$  и суммировании ее с синхропоследовательностью; *г* — ФМ-сигнал в ПИ

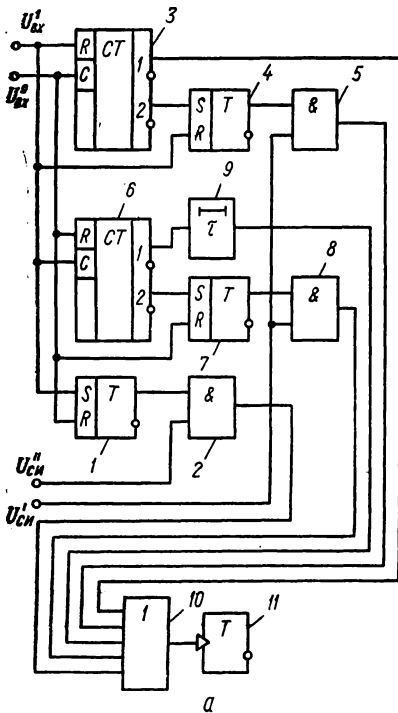
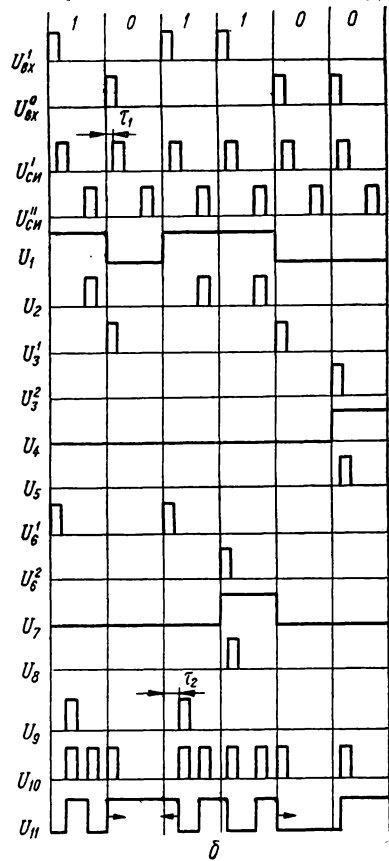


Рис. 6.43. Структурная схема модулятора ФМ-сигнала с предскажениями сдвига фронтов (*a*) и временные диаграммы его работы (*б*)



Типовое устройство инерционной самосинхронизации на основе ФАПЧ и временные диаграммы сигналов показаны на рис. 6.44, а, б.

Фазовый дискриминатор 1 вырабатывает напряжение, величина и знак которого определяются разностью фаз входного сигнала  $U_{\text{НП}}$  опорного синхроколебания  $U_5$  (рис. 6.44, б). Это напряжение пропускается через фильтр нижних частот 2, усиливается усилителем постоянного тока 3 и поступает на вход генератора 4, управляемого напряжением. Выход генератора 4 подключен к счетчику-делителю частоты 5, с помощью которого частота синхроколебания уравнивается с частотой входного сигнала. Напряжение  $U_5$  поступает в качестве сигнала обратной связи на вход фазового дискриминатора 1. Частотный сигнал обратной связи имеет форму пилы (см.  $U_0$ ). Для этого между точками  $i$  и  $j$  схемы (рис. 6.44, а) включают формирователь пилообразного напряжения 6. Устройство поддерживает определенное соотношение фаз между входным и опорным сигналами. Система ФАПЧ подобна узкополосному фильтру, поэтому она не реагирует на отдельные амплитудные и фазовые искажения входного сигнала.

Рассогласование по частоте, при которой система способна войти в синхронизм, если она была выведена из этого состояния, называется полосой захвата. Максимальное рассогласование по частоте, которое система способна отработать в установившемся режиме, называется полосой удержания [33].

В режиме вхождения системы в синхронизм полосу захвата желательно иметь как можно шире, а после достижения установившегося режима — возможно уже. Эти требования можно выполнить, если применить ФНЧ с перестраиваемой полосой пропускания (рис. 6.45), состоящий из двух последовательно включенных  $RC$ -цепей. Параллельно активному сопротивлению второй цепи  $R_2$  встречно включаются два диода  $D_1, D_2$ , которые проводят при наличии входного сигнала переменного тока. В результате резистор  $R_2$  шунтируется и устанавливается постоянная времени фильтра, обеспечивающая широкий диапазон захвата цепи синхронизации. Когда эта цепь синхронизирована по фазе, появляется сигнал постоянного тока и диоды запираются. При этом устанавливается постоянная времени, соответствующая узкой полосе захвата.

Инерционные системы синхронизации применяют в высококачественной аппаратуре магнитной записи.

На рис. 6.46, а показан вариант устройства, реализующего безынерционный метод самосинхронизации. Импульсы нуль-пересечений входного сигнала  $U_{\text{НП}}$  (рис. 6.46, б) многократно задерживаются, суммируются элементом ИЛИ 2, после чего с помощью счетчика-делителя 3 из них формируются синхроимпульсы  $U_3$ . Надежность безынерционных устройств самосинхронизации тем выше, чем меньше количество задержек необходимо выполнить для формирования СИ. Основным недостатком безынерционных систем синхронизации — их невысокая помехоустойчивость по отношению к аддитивным помехам и межрядным влияниям символов. Это объясняется тем, что СИ жестко связаны с фронтами сигнала. Флуктуации определенных фронтов сигнала приводят к смещениям соответствующих групп СИ. В то же время реальные устройства безынерционной синхронизации обладают меньшей критичностью к нестабильности скорости движения носителя. По этой причине безынерционные системы самосинхронизации широко применяются в аппаратуре ЦМЗ с МТЛ среднего качества.

Демодуляторы сигналов ЦМЗ совместно с синхроблоками являются практической реализацией одноименных блоков функциональной схемы (см. рис. 6.36).

В зависимости от типа применяемого синхроблока — инерционного или безынерционного, демодуляторы самосинхронизирующихся сигналов делятся на две большие группы.

Принцип демодуляции при использовании инерционного синхроблока (ИСБ) поясняется рис. 6.47, а. Выделение информационных символов, т. е. распознавание временного интервала сигнала по длительности, производится

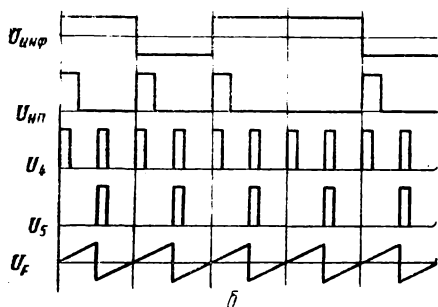
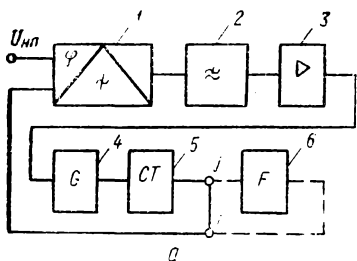


Рис. 6.44. Типовое устройство, реализующее инерционный метод самосинхронизации (а), и временные диаграммы сигналов, поясняющие его работу (б)

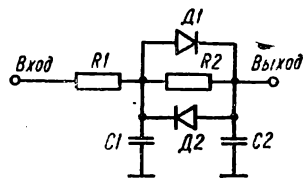


Рис. 6.45. Фильтр с двумя устойчивыми состояниями

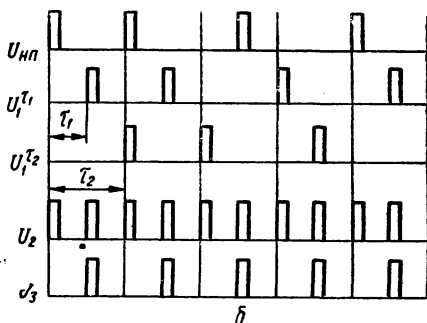
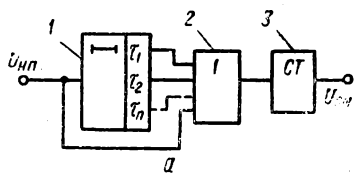


Рис. 6.46. Схема устройства, реализующего безынерционный метод самосинхронизации (а), и временные диаграммы его работы (б)

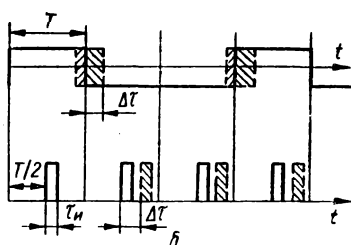
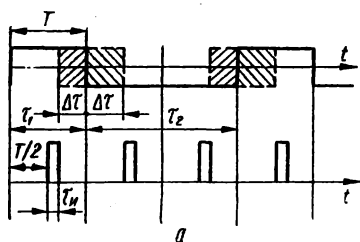


Рис. 6.47. Допустимые пределы флуктуаций длительностей временных интервалов сигнала при использовании ИСБ (а) и БСБ (б)

стробированием синхриимпульсами соответствующего интервала. При этом допустимые пределы флуктуаций длительностей временных интервалов сигнала (так называемые «окна демодуляции»)  $\Delta\tau_{ИСБ}$  определяются неравенством

$$\tau_n < \Delta\tau_{ИСБ} < \left(\frac{m}{n} T - \tau_n\right),$$

где  $\tau_n$  — длительность синхриимпульса.

При демодуляции с использованием безынерционного синхроблока (БСБ) допустимые пределы флуктуаций длительностей интервалов вдвое уже:

$$\tau_n < \Delta\tau_{БСБ} < \left(\frac{m}{2n} T - \tau_n\right).$$

Это объясняется тем, что при построении любого БСБ группы формируемых СИ жестко связаны с фронтами сигнала (рис. 6.47, б).

Некоторые параметры сигналов ЦМЗ, характеризующие условия работы демодуляторов и синхроблоков, сведены в табл. 6.2

Описанный ранее способ формирования УБВН- $m/n$ -сигналов можно распространить на любые двухуровневые сигналы. Параметры перекодирования входной двоичной последовательности  $m, n, d, k$  (см. табл. 6.2) полезны при синтезе демодуляторов.

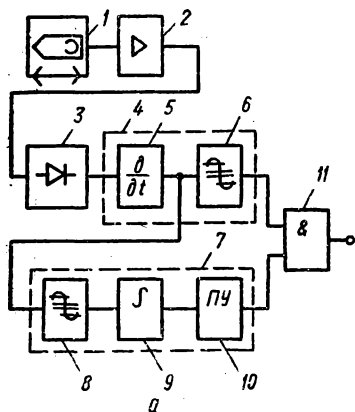
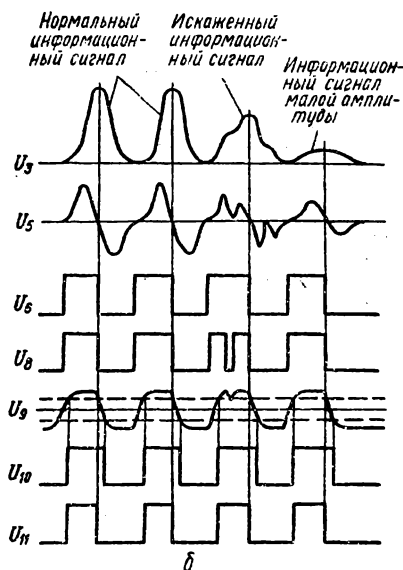


Рис. 6.48. Структурная схема демодулятора БВН-1-сигнала (а) и временные диаграммы ее работы (б)



На рис. 6.48 изображена структурная схема и временные диаграммы работы «пикового» демодулятора БВН-1-сигнала, позволяющая устранять кратковременные импульсные помехи и мало критичная к существенным уменьшениям амплитуд воспроизводимых импульсов. Схема работает следующим образом.

Воспроизведенный в блоке 1 магнитной записи БВН-1-сигнал усиливается усилителем 2 и выпрямляется двухполупериодным выпрямителем 3. Выпрямленный сигнал  $U_3$  поступает на вход «пикового» детектора 4, представляющего собой последовательно включенные дифференциатор 5 и двухсторонний усилитель-ограничитель 6 сигнала по уровню, близкому к нулевому. Одновременно сигнал  $U_5$ , снимаемый с дифференциатора 5, поступает

в параллельную цепь 7, которая содержит односторонний усилитель-ограничитель 8, интегратор 9 и пороговое устройство 10 (например, триггер Шмитта). Сигналы  $U_8$  и  $U_{10}$ , снимаемые с выходов детектора 4 и шумоподавляющей цепи 7, перемножаются на элементе И 11, в результате чего формируется сигнал  $U_{11}$ , в котором отрицательные перепады соответствуют пикам воспроизведенного сигнала  $U_3$ , т. е. информационным единицам.

Принципы работы демодуляторов ФМ-сигналов с ИСБ и БСБ проиллюстрированы рис. 6.49, а, б и в, г соответственно.

Воспроизведенный, откорректированный и ограниченный по амплитуде сигнал  $U_1$  (рис. 6.49, б) поступает на формирователь импульсов 2 (рис. 6.49, а), с помощью которого из всех фронтов сигнала вырабатываются короткие импульсы  $U_2$ . Этими импульсами запускается ИСБ 3 (выполненный, например, на основе системы ФАПЧ), который формирует синхроколебание  $U_3$  удвоенной тактовой частоты. Синхроколебание  $U_3$  поступает на счетный вход триггера 4, на единичный установочный вход которого поступают импульсы фронтов  $U_2$ . Напряжение  $U_4$ , снимаемое с выхода триггера 4, стробируется синхроколебанием  $U_3$  на элементе И 5, в результате чего формируется последовательность информационных единиц  $U_5$ . Триггер 6 и элемент И 7 служат для выработки тактовой синхропоследовательности  $U_7$ . При этом импульсами единиц  $U_5$  осуществляется коррекция временного положения СИ  $U_7$ .

В демодуляторе ФМ-сигнала с БСБ (рис. 6.49, в) импульсы нуль-пересечений  $U_2$  (рис. 6.49, з) поступают через элемент И 3 на вход первого из двух последовательно включенных одновибраторов 4 и 5. Одновибратор 4 вырабатывает импульсы длительностью  $0,25 T$ , а одновибратор 5 — импульсы длительностью  $0,5 T$  ( $U_4, U_5$ ). Инвертированное напряжение  $U_5$  стробируется импульсами нуль-пересечений  $U_2$  на элементе И 3, в результате чего формируется тактовая синхропоследовательность  $U_3$ . Информационная последовательность единиц формируется с помощью элемента И 7, триггера 8 и формирователя импульсов 9 ( $U_7 - U_6$ ).

При построении демодуляторов необходимо учитывать следующие особенности структуры УФМ-сигналов:

наличие трех интервалов длительностью  $T$ ;  $1,5 T$  и  $2T$ ;

наличие переходов уровня сигнала как на границах тактов, так и в серединах тактов;

интервалы длительностью  $2T$  всегда начинаются и оканчиваются в серединах либо на границах тактов, в зависимости от типа УФМ-сигнала.

Рассмотрим схему демодулятора УФМ-сигнала, изображенную на рис. 6.50, а. Короткие импульсы фронтов  $U_2$  (рис. 6.50, б), снимаемые с выхода формирователя 2, расширяются одновибратором 3 до длительности, равной  $T/2$ , после чего подаются на ИСБ, собранный по классической схеме однопетлевой ФАПЧ и состоящий из фазового дискриминатора 4, ФНЧ 6, усилителя 7, генератора 8, управляемого напряжением. Синхроколебание удвоенной тактовой частоты  $U_3$ , вырабатываемое ИСБ, поступает на счетный вход первого из трех последовательно соединенных триггеров 5, 9, 10, которые устанавливаются в единичные состояния каждым импульсом нуль-пересечений сигнала  $U_2$ . В результате, с выхода триггера 10 снимаются импульсы  $U_{10}$  признаков интервалов длительностью  $2T$ , а напряжение, снимаемое с нулевого выхода триггера 5, поступает на один из входов фазового дискриминатора 4, где используется в качестве опорного синхроколебания. Фаза этого синхроколебания меняется на  $180^\circ$  всякий раз при появлении в воспроизведенном сигнале интервалов длительностью  $1,5 T$ , что позволяет использовать генератор, работающий на удвоенной тактовой частоте. Импульсы  $U_{10}$  используются для коррекции фазы выходов синхроколебания, получаемого с помощью счетного триггера 11 и элемента И 13. Информационная последовательность единиц  $U_{13}$  формируется стробированием тактового синхроколебания  $U_{11}$  импульсами нуль-пересечений  $U_2$ .

Аналогичное устройство можно использовать и для демодуляции МУФМ-сигнала.

На рис. 6.50, в изображена структурная схема демодулятора УБВН-2/3-сигнала, а на рис. 6.50, г — временные диаграммы ее работы. Основными эле-

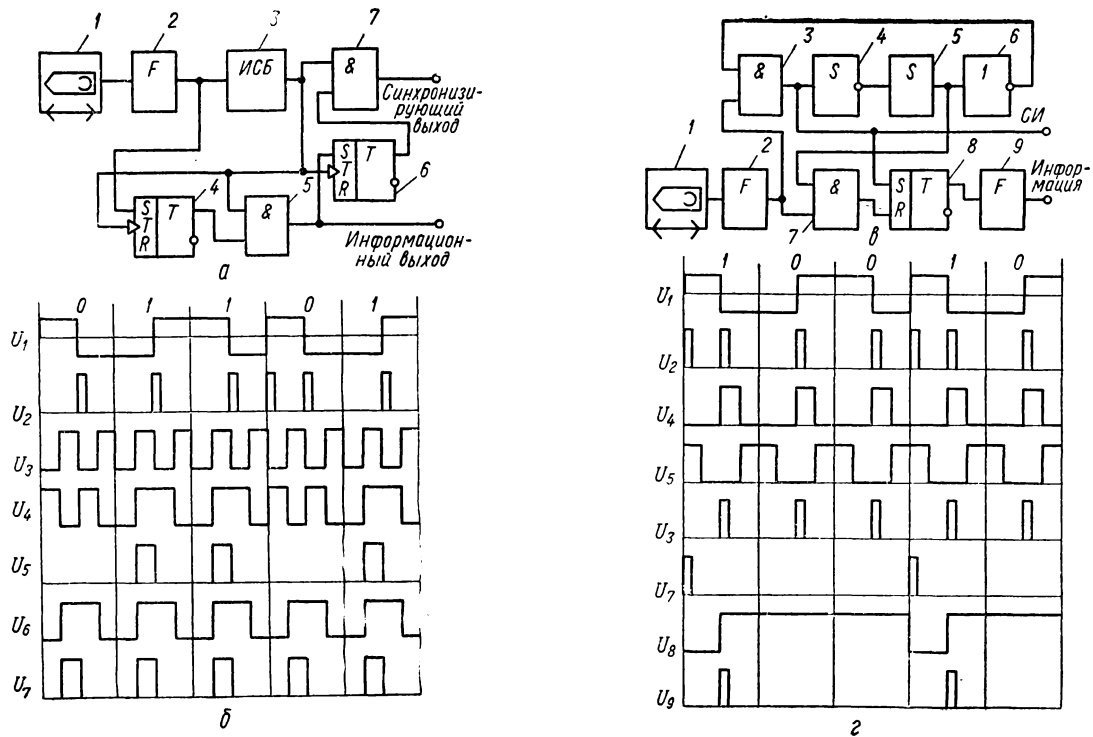


Рис. 6.49. Структурные схемы демодуляторов ФМ-сигнала с ИСБ (а) и ФМ-сигнала с БСБ (б) и временные диаграммы их работы (б, в)



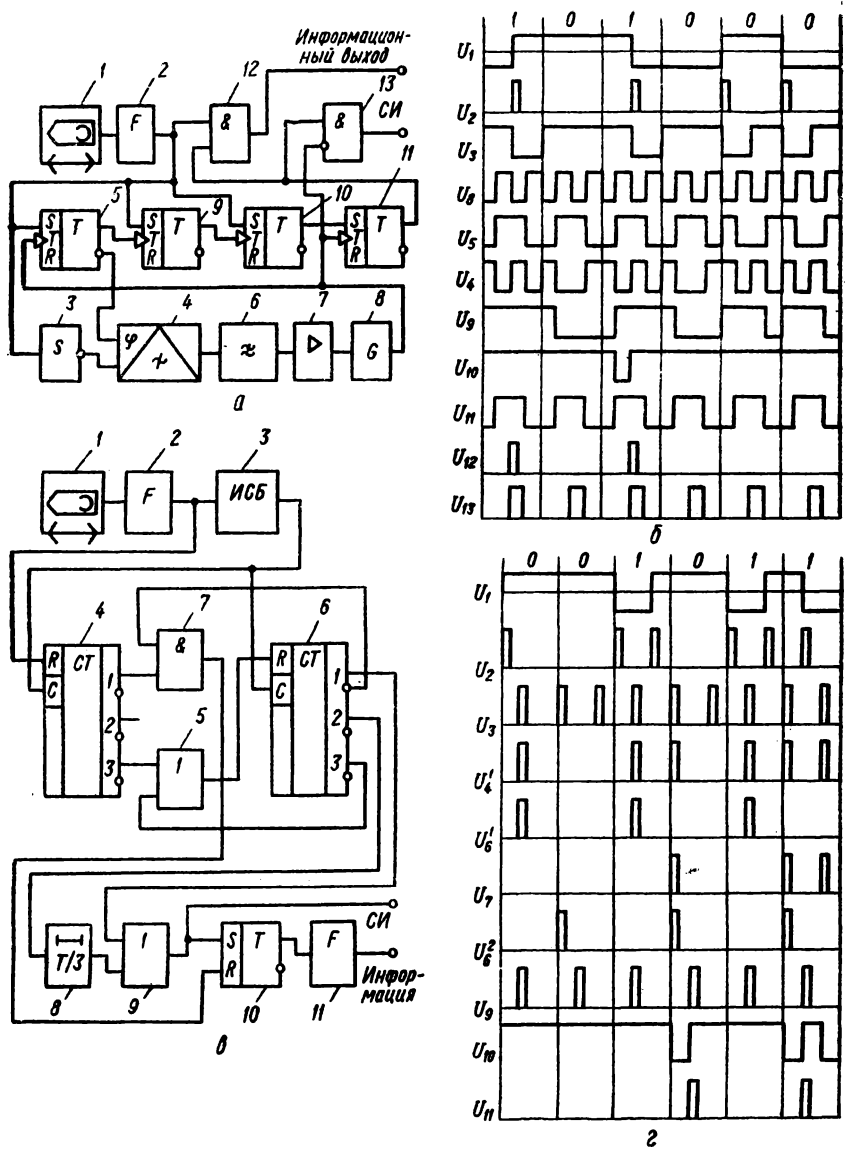


Рис. 6.50. Структурные схемы демодуляторов УФМ-сигнала (а) и УБВН-2/3-сигнала (б) и временные диаграммы их работы (б, з)

ментами этой схемы являются счетчики-делители 4, 6. Импульсы  $U_4^I$ , снимаемые с выхода первого разряда счетчика-делителя 4, представляя собой задержанные на время  $T/3$  импульсы нуль-пересечений  $U_2$ . Последовательность импульсов  $U_6^I$ , снимаемая с выхода первого разряда счетчика-делителя 6, перемножается на элементе И 7 с импульсами  $U_4^I$ . На выход элемента И 7 проходят только те импульсы  $U_4^I$ , которые не совпадают с импульсами  $U_6^I$ .

## 5. УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИКИ

Устройства управления и автоматики обеспечивают включение и индикацию режима работы (« $\nabla$ » — запись, « $\triangle$ » — воспроизведение, « $\triangleright\triangleright$ » и « $\triangleleft\triangleleft$ » — перемотка вперед и назад, « $\nabla$ » — стоп); непосредственный междурежимный переход; быстрый пуск и остановку МЛ; подсчет метража и поиск участков МЛ; автоматическую остановку МТЛ перед концом МЛ и при ее обрыве; резервирование; последовательную поканальную работу двух магнитофонов [29].

Различают три основных варианта устройств управления и автоматики: с механическим, релейным и электронным запоминанием режимов работы. В состав устройства управления и автоматики входят: кнопочная или клавишная станция, а также элементы памяти режимов работы; датчики и исполнительные электромеханизмы МТЛ; логические элементы и узлы дискретной техники.

Схема устройства управления МТЛ с механическим запоминанием режимов работы показана на рис. 6.51,а. Коммутация режимов работы МТЛ осуществляется кнопочной станцией электрического управления с механической фиксацией положения кнопок 1. Переход от одного режима работы к другому происходит непосредственно, минуя кнопку « $\nabla$ ». При ошибочном нажатии одной кнопки « $\nabla$ », любых двух или более других кнопок, при обрыве или окончании ленты МТЛ автоматически переходит в режим « $\nabla$ ». Правильность работы МТЛ управляется и контролируется логическим узлом, выполняющим несложные логические операции над коммутируемыми сигналами. Правильность набора режима работы оценивается логическим элементом И — ИЛИ 2. В случае неправильного набора кнопок управляющие сигналы на одной или нескольких сбросках элемента И совпадают.

Логическая операция, выполняемая этим элементом, описывается выражением

$$f(A) = (\bar{a}_1\bar{a}_4) + (\bar{a}_2a_3) + (\bar{a}_4\bar{a}_5) + (\bar{a}_5\bar{a}_1) + a_6,$$

где  $A$  — запрещающий сигнал на входе элемента ИЕТ 3;  $a_1 - a_5$  — управляющие сигналы от кнопочной станции;  $\bar{a}$  — отрицание  $a$  (читается «не  $a$ »;  $a_6$  — управляющий сигнал обрыва — конца МЛ.

Правильные наборы кнопок режимов работы завершаются выдачей управляющего сигнала  $B$  с выхода логического элемента 3, согласно выражению  $f(B) = a_6\bar{A}$ . Аналогично выполняется логическая операция ЗАПРЕТ на элементе 5 над сигналами  $B$  и  $C$ :  $f(D) = B\bar{C}$ , где  $\bar{C}$  — разрешающий потенциальный сигнал с выхода линии задержки 4. Далее управляющий сигнал  $D$  усиливается на мощном формирователе 6 и включает соответствующие исполнительные электромагнитные устройства 7: электромагнит тормозов, электромагнит прижимного ролика, обмотки управления магнитных усилителей.

При переходе от одного режима работы к другому управляющий сигнал  $a_6$  временно отсутствует, так как включаемая кнопка, прежде чем замкнуть свои контакты, механически выталкивает ранее включенную кнопку режима. Кратковременный возврат кнопочной станции в нулевое положение заставляет переключиться элемент 3. Инверсный сигнал  $B$  с выхода этого элемента запускает линию задержки 4. Выходной сигнал  $C$  на определенное время становится запрещающим для элемента 5. Благодаря этой фиксированной выдержке времени междурежимного торможения обеспечивается переход с одного режима работы на другой без нажатия кнопки « $\nabla$ » с предохранением

МЛ от разрыва. При появлении сигнала  $A$  на втором входе элемента  $3$  или отсутствии сигнала  $a_0$  на первом входе МТЛ останавливается, так как могло произойти неправильное включение режимов, включение режима временной остановки « $\nabla$ » или нажатие кнопки « $\nabla$ », механически снимающей фиксацию с ранее набранных кнопок.

Описанная схема управления МТЛ повышает оперативность в обслуживании магнитофона, так как обеспечивает непосредственный переход от ре-

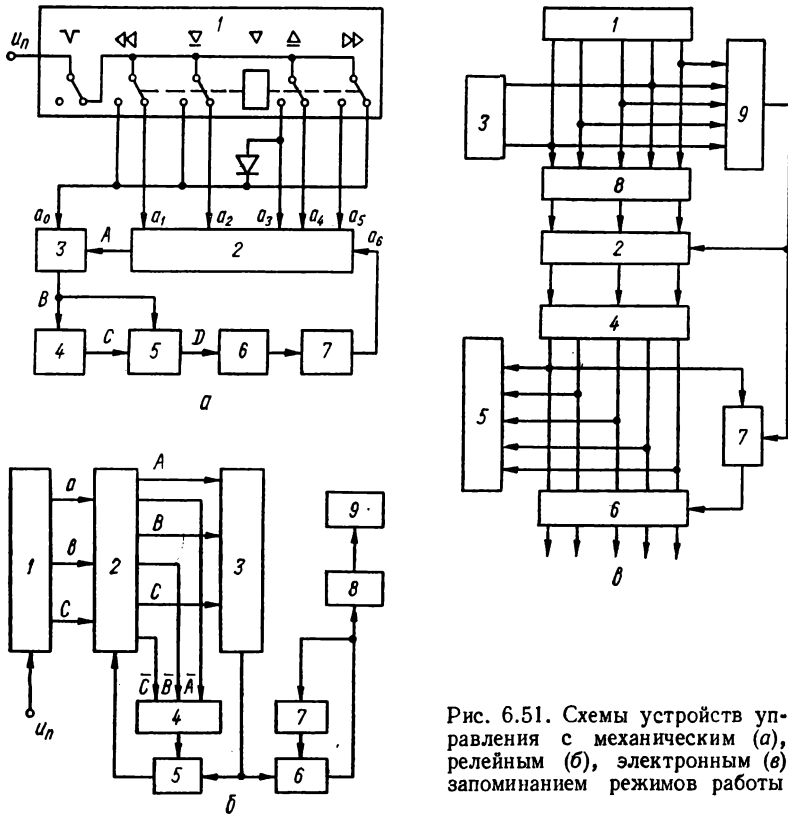


Рис. 6.51. Схемы устройств управления с механическим (а), релейным (б), электронным (в) запоминанием режимов работы

жима к режиму без участия кнопки « $\nabla$ ». Основной ее недостаток заключается в сложности регулировки механических элементов кнопочной станции. Кроме того, устройство управления с механическим запоминанием режимов работы не обеспечивает простого дистанционного включения аппарата и внутреннего автоматического перехода из режима в режим без участия оператора.

Схема устройства управления МТЛ с релейным запоминанием режимов работы (рис. 6.51, б) оперирует с кнопочной станцией 1 электрического управления без фиксации кнопок. Схема управления содержит релейные элементы памяти режимов работы 2, разделительный логический элемент ИЛИ 3 и все рассмотренные выше логические элементы и исполнительные механизмы первого варианта управления МТЛ. Непосредственный переход от одного режима к другому происходит, как и прежде, нажатием любой кнопки требуемого режима. При этом возникает «мгновенное» включение двух режимов работы. Логический элемент И—ИЛИ—НЕТ 4, 5 определяет неправильность включе-

ния аппарата и на своем выходе вырабатывает сигнал, опрокидывающий элементы памяти режимов (реле) в исходное нулевое состояние. Однако, если учесть объективно существующее неравенство  $t_0 \gg (2t_1 + t_2)$ , где  $t_0$  — время нажатия на кнопку режима оператором;  $t_1$  — время срабатывания элемента памяти режима;  $t_2$  — время опрокидывания элемента памяти в исходное нулевое состояние, то становится понятным, что оператор, как более инерционное звено в замкнутой системе переключений, по сравнению с релейными или электронными элементами памяти режимов работы, способствует запоминанию набранного режима работы и выполнению описанных логических операций для междурежимного торможения МТЛ.

Существенное преимущество второго варианта устройства управления — максимальное использование стандартных унифицированных элементов и возможность дистанционного управления аппаратом от автопуска или ЭВМ. Общий недостаток обоих рассмотренных устройств управления МТЛ — обеспечение строго выбранного фиксированного временного интервала для междурежимного торможения. Это вызвано тем, что в МТЛ инерционные характеристики механических узлов различны для каждого из режимов работы. Поэтому фиксированный интервал торможения выбирается экспериментально: замеряется необходимое время полной остановки МТЛ после выключения высокоскоростного режима работы (например, ускоренной перемотки МЛ). Учитывая эксплуатационный износ механических тормозных узлов и изменения напряжения в питающей сети аппарата, временной интервал для междурежимного торможения выбирается с запасом. В результате фиксированный временной интервал становится слишком увеличенным и бесполезным при переходе из низкоскоростных режимов работы в другие. Таким образом, МТЛ с устройствами управления 1-го и 2-го вариантов, наряду с удобством и оперативностью в управлении, имеют существенный недостаток — потерю быстрой действия.

Схема устройства управления МТЛ с электронным запоминанием режимов работы (рис. 6.51, в) обеспечивает местное или дистанционное включение МТЛ с помощью бесконтактных логических элементов.

При дистанционном включении режимов работы от автопуска или ЭВМ 3, а также от местной кнопочной станции 1 сигналы прежде всего поступают на шифратор 8, который преобразует десятичные команды: 0 — « $\nabla$ »; 1 — « $\triangleleft\triangleleft$ »; 2 — « $\triangle$ »; 3 — « $\nabla$ »; 4 — « $\triangleright\triangleright$ »; 5 — « $\triangleleft$ » — в их двоичное представление: 000 — « $\nabla$ »; 001 — « $\triangleleft\triangleleft$ »; 010 — « $\triangle$ »; 011 — « $\nabla$ »; 100 — « $\triangleright\triangleright$ »; 101 — « $\triangleleft$ ». Триггерный регистр 2 запоминает режимные команды, а дешифратор 4 и табло индикации 5 расшифровывают и производят обратное преобразование их двоичного выражения в естественное десятичное представление. Выходные сигналы дешифратора через соответствующие управляющие элементы 6 включают исполнительные устройства МТЛ. При переходе на другой режим работы с автопуска или кнопочной станции очередная сигнал-команда через сборку ИЛИ 9 сбрасывает регистр 2, а через шифратор 8 устанавливает в единичное состояние соответствующие триггеры регистра 2 в требуемый режим. Рассмотрим исполнение основных автоматических режимов.

► **Междурежимное торможение.** Во избежание растяжения МЛ при переходе с режима быстрого пуска на рабочий ход или остановку поступающие команды исполняются с задержкой, которая обеспечивается самонастраивающимся устройством 7 (рис. 6.52) для междурежимного торможения МТЛ. Для повышения быстроты действия междурежимного перехода и уменьшения нагрузки на МЛ в момент торможения МТЛ сигналы с датчика линейной скорости 3 МТЛ через последовательно соединенные логические элементы типа ЗАПРЕТ 9 и преобразователь импульсов в напряжение 13 подключаются к коммутатору режимов 10, осуществляя запрет на включение управляющих и исполнительных элементов МТЛ. Торможение МЛ осуществляется электрическим способом через коммутатор направления 14 противотключением электродвигателя подающего узла 5 или 6. Временной интервал для торможения в данном случае определяется временем, необходимым для остановки датчика скорости МЛ 3 и строго не фиксируется. После остановки МЛ команда на тормо-

жение снимается и выполняется набранный режим при переходе или же, если был включен режим стоп, срабатывают электромеханические тормоза для удержания катушек с МЛ.

**Быстрый пуск МЛ.** Используя сигналы того же датчика 3, можно уменьшить перегрузку МЛ в момент пуска МТЛ и повысить его быстродействие. Для этого при пуске высокоскоростного МТЛ длительного движения первоначально в режиме рабочего хода включается ускоренная перемотка МЛ. В тракте МТЛ начинает вращаться ведомый лентой обводной ролик 1. Сигналами с датчика 3 запускается спусковой генератор импульсов эталонной длительности 8 и управляет логической схемой ЗАПРЕТ 12, которая при достижении МЛ номинальной рабочей скорости вычитает из длительности эталонного импульса длительность выходного сигнала с датчика 3. Импульс положительной разности сравниваемых сигналов с выхода схемы ЗАПРЕТ 12 поступает на коммутатор режимов 10 и изменяет состояние регистра памяти режимов на единицу старшего разряда. В результате двоичное представление режимов « $\Delta$ » и « $\nabla$ » будут — 110 и 111.

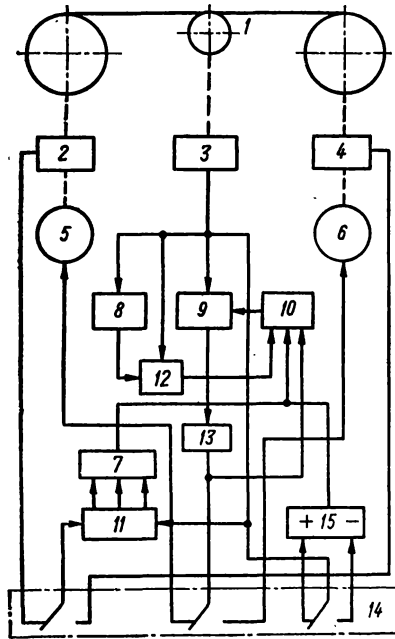


Рис. 6.52. Схема системы управления и автоматике

вызывают также в работе устройства автостопа. В этом случае, при движении МЛ в любом режиме работы, сигналы с датчика угловой скорости 2 или 4, связанного с боковым узлом через коммутатор направления 14, подаются на счетный вход двоичного счетчика 11, а сигналы с датчика линейной скорости 3 поступают на шину гашения этого счетчика. При подходе МЛ к концу рулона счетчик 11 накапливает определенное число импульсов в промежутке между сбросами и через логическую схему И 7 выключает МТЛ. Аналогичное действие выполняет устройство автостопа и при обрыве ленты, когда у обводного ролика 1 нарушается контакт с МЛ, т. е. когда отсутствуют импульсы сброса и счетчик 11, мгновенно переполняясь, вырабатывает команду на останов МТЛ.

**Резервирование аппарата записи.** При последовательной работе двух аппаратов, один из которых — резервный, для обеспечения непрерывной записи информации без искажений, команду на включение резервного аппарата вырабатывает устройство автостопа заблаговременно, до момента окончания МЛ. Причем время перекрытия для работы двух аппаратов может быть выбрано в больших пределах: от долей секунды до нескольких минут. Это достигается

Измерение расхода и поиск участков МЛ. Во время работы ЛПМ датчик 3 калиброванного ролика 1 вырабатывает за каждый оборот один импульс, эквивалентный 10 см длины МЛ. В зависимости от выполняемого режима работы коммутатор направления 14 подключает выход датчика 3 к суммирующему («+») или вычитающему («-») входам программно-реверсивного счетчика 15. При этом индикаторы счетчика сигнализируют о пройденном метраже МЛ, а переключатели преднабора «тах» и «тип» позволяют установить адрес участка МЛ и получить команду Стоп на выходе счетчика в момент прохождения требуемого участка сигналограммы по калиброванному ролику 1.

**Определение конца МЛ.** Сигналы многофункционального датчика 3 участвуют также в работе устройства автостопа. В этом случае, при движении МЛ в любом режиме работы, сигналы с датчика угловой скорости 2 или 4, связанного с боковым узлом через коммутатор направления 14, подаются на счетный вход двоичного счетчика 11, а сигналы с датчика линейной скорости 3 поступают на шину гашения этого счетчика. При подходе МЛ к концу рулона счетчик 11 накапливает определенное число импульсов в промежутке между сбросами и через логическую схему И 7 выключает МТЛ. Аналогичное действие выполняет устройство автостопа и при обрыве ленты, когда у обводного ролика 1 нарушается контакт с МЛ, т. е. когда отсутствуют импульсы сброса и счетчик 11, мгновенно переполняясь, вырабатывает команду на останов МТЛ.

введением дополнительной схемы совпадения И, подобной логическому элементу 7 и дешифрирующей меньшие числа, накопленные счетчиком И.

**Поканальная работа аппаратов записи.** Для обеспечения продолжительной записи информации применяют последовательную поканальную запись информации на двух аппаратах. Поочередная работа двух аппаратов в этом случае обеспечивается устройствами автостоп, а программа переключения каналов записи выполняется по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned} K_1' K_1'' &= \underline{\nabla}_1' \\ K_2' K_1'' &= \underline{\nabla}_1'' \\ K_2' K_2'' &= \underline{\nabla}_2' \\ &\dots \\ K_i' K_i'' &= \underline{\nabla}_i'' \end{aligned}$$

где выражение  $K_1' K_1'' = \underline{\nabla}_1'$  определяет логическую операцию произведения с высказыванием: если на первом аппарате установлен первый канал и на втором аппарате установлен первый канал, то режим записи осуществляется первым аппаратом по первому каналу и т. д. Режим последовательной поканальной записи производится полностью автоматически, а участие оператора необходимо только для смены катушек с МЛ.

**Выбор типа устройства.** Рассмотренная логическая схема с бесконтактным запоминанием режимов работы аппарата магнитной записи обладает оперативностью в управлении, высоким быстродействием и имеет все преимущества, присущие элементам дискретной техники. Наряду с высокой надежностью и быстродействием, она обеспечивает малые габаритные размеры и массу. Однако в системах управления с бесконтактными логическими элементами обычно в 3—5 раз больше элементов, чем в релейно-контактных. Поэтому при проектировании систем управления необходимо предварительно определить не только техническую, но и экономическую целесообразность бесконтактного варианта.

Ориентировочно рекомендовать применение бесконтактных систем управления в АМЗ можно в следующих случаях: в релейно-контактном варианте, когда количество контактов, работающих в схеме управления, получается слишком большим; если количество входных сигналов в системе управления превышает количество выходных сигналов; АМЗ должна работать совместно с другими бесконтактными приборами (например, с устройствами маркирования и поиска информации); АМЗ не должна излучать радиопомех. Кроме того, следует учесть специфические для данного вида приборов требования и условия, причем главное во всех случаях — выполнение требований по надежности аппаратуры магнитной записи.

## 6. ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА АМЗ

Современные АМЗ характеризуются большим разнообразием цепей электропитания (ЦЭП), различающихся на шинах потребителей, по виду тока (постоянный, переменный различной частоты, а иногда и формы), по величине и стабильности напряжения и тока. Типовые параметры основных ЦЭП АМЗ приведены в табл. 6.3.

Структура и схемно-конструктивные решения вторичных источников питания (ВИП) зависят от типа обслуживаемых ЦЭП, назначения и условий эксплуатации ВИП. В состав ВИП могут входить различные по сложности устройства фильтрации, преобразования, регулирования, стабилизации и защиты. Наиболее характерные структурные схемы ВИП постоянного тока, питающиеся от первичных источников переменного тока, показаны на рис. 6.53. В высококачественной и автономной АМЗ двигатели всех типов питаются через специальные ВИП — устройства регулирования и стабилизации скорости.

### 6.3. Параметры основных цепей электропитания АМЗ

Потребители энергии		Род тока	Стабильность напряжения, %	Коэффициент пульсаций напряжения К ПН, %	
Микрофонные и предварительные усилители:	гармонических сигналов	Постоянный	0,5—1	$10^{-3}$ — $10^{-4}$	
	импульсных сигналов		1—5*	3—5	
Генераторы стирания и подмагничивания			5	0,1—0,5	
Усилители:	низкой частоты		1—5	$10^{-1}$ — $5 \cdot 10^{-2}$	
	импульсных сигналов		2—10*	1—3	
Элементы блоков автоматики:	реле, электромагниты		$\pm 10$	3—5	
Приводные электродвигатели:	постоянного тока		Постоянный (импульсный)	1—5	—
	синхронные, асинхронные		Переменный со стабильной или регулируемой частотой	5—10	—
Источники опорных напряжений			Постоянный	$10^{-2}$ — $10^{-4}$	$10^{-4}$ — $10^{-5}$

\* В зависимости от принятой плотности записи.

Для уменьшения объема и массы АМЗ широко используют ВИП с промежуточным звеном повышенной частоты, которое включают либо после входного трансформатора  $Tp$  (рис. 6.53, б), либо непосредственно после высоковольтного выпрямителя  $B1$  (рис. 6.53, в и г). Последние относят к классу высокочастотных преобразователей выпрямленного напряжения (ВПВН). Основное их преимущество — исключение низкочастотного силового трансформатора. Более сложная структура схемы с двойным преобразованием энергии (рис. 6.53, в) позволяет уменьшить габаритные размеры ВИП.

Для питания стабилизируемых двигателей переменного тока ВИП выполняют по структурной схеме, показанной на рис. 6.53, д. Генератор тактовой частоты  $ГТЧ$  может быть с регулируемой частотой либо со стабилизированной высокой частотой (обычно не менее 5 кГц) и последующими делителями частоты  $ДЧ$ . При питании трехфазных двигателей используют фазорасщепители  $ФР$  небольшой мощности, а управляющие сигналы для силовых ключей инвертора  $И$  формируют в промежуточном усилителе  $ПУ$ .

Рациональное построение системы электропитания (СЭП) АМЗ всегда предусматривает обособленную разбивку основных потребителей по ЦЭП. Питание каналов радиоэлектронных устройств, например, следует отделять от других энергоемких ЦЭП особенно с импульсным характером нагрузки и т. п.

**Выпрямители.** В АМЗ применяются в основном схемы двухполупериодного выпрямления — одно- и трехфазная [средней точки] трансформатора. В ВИП с пониженным уровнем напряжения, например для питания интегральных микросхем (ИМС), часто выгоднее использовать выпрямители на основе управляемых транзисторных ключей, потери на которых в несколько раз меньше, чем на диодах (рис. 6.54, а, б).

**Фильтры.** Выбор схемы фильтра зависит от требований к коэффициенту пульсаций напряжения (КПН) для данной ЦЭП (см. табл. 6.3), а также от частоты и формы напряжения на входе выпрямителя. Сглаживающий фильтр должен иметь высокий КПД, малые габаритные размеры и массу, а также не должен влиять на работу потребителей и вызывать перенапряжения и всплески тока. При выпрямлении напряжений промышленной сети обычно применяют однозвенные индуктивно-емкостные Г- или П-образные LC-фильтры. При выпрямлении выходных напряжений преобразователей, работающих на частоте от единиц до десятков килогерц, применяют емкостные фильтры. Для ограничения «всплесков» тока через диоды выпрямителя в момент заряда конденсатора фильтра последовательно с диодами следует включать небольшие высокочастотные дроссели.

В отдельных функциональных узлах АМЗ используют дополнительные емкостные или активно-емкостные фильтры, которые рассчитывают из условий:

$\Delta U_{\phi} = I_0 R_{\phi} = (0,05 \dots 0,1) u_n$  — падение напряжения на резисторе фильтра  $R_{\phi}$ ;

$C_{\phi} = 1/\omega_n R_{\phi}$ ,  $\omega_n = 2\pi f_n$  — крайняя нижняя частота сигнала.

Эффективность фильтра оценивают коэффициентом сглаживания  $K_{сг} = K_{п1}/K_{п2}$ , где  $K_{п1}$  и  $K_{п2}$  — коэффициенты пульсации соответственно на его входе и выходе. Расчет фильтров сводится к определению параметров элементов по заданному коэффициенту сглаживания. Ориентировочные расчетные соотношения для основных типов простейших фильтров сведены в табл. 6.4.

Активно-емкостные RC-фильтры отличаются большими потерями мощности и потому применяются в слаботочных схемах с незначительными колебаниями тока нагрузки, а также для развязки каскадов усилителей. Емкостные фильтры эффективно применять в ЦЭП с небольшими нагрузками, требующими постоянства выпрямленного напряжения, а индуктивные — в ЦЭП с большими нагрузками и постоянным током нагрузки. Индуктивность на входе фильтра ограничивает «всплески» тока через диод в моменты заряда конден-

в основном схемы двухполупериодного выпрямления — одно- и трехфазная [средней точки] трансформатора. В ВИП с пониженным уровнем напряжения, например для питания интегральных микросхем (ИМС), часто выгоднее использовать выпрямители на основе управляемых транзисторных ключей, потери на которых в несколько раз меньше, чем на диодах (рис. 6.54, а, б).

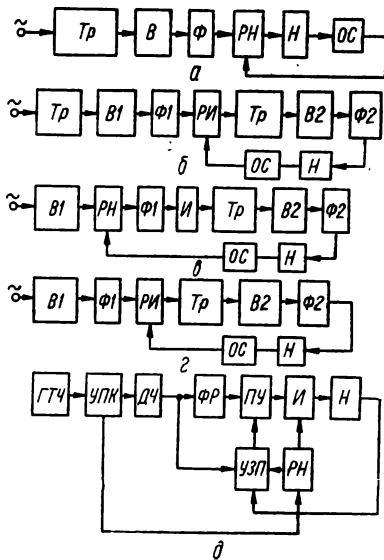


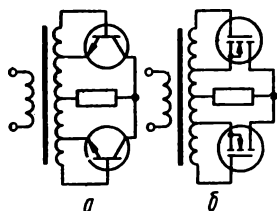
Рис. 6.53. Структурные схемы ВИП:

Тр — трансформатор; В — выпрямитель; Ф — фильтр; РН — регулятор напряжения; Н — нагрузка; ОС — обратная связь; РИ — регулируемый инвертор; И — инвертор; ГТЧ — генератор тактовой частоты; УПК — устройство преобразования команд; ДЧ — делитель частоты; ФР — фазорасщепитель; ПУ — промежуточный усилитель; УЗП — устройство защиты от перегрузок



сатора. В то же время дроссель фильтра всегда является источником дополнительных помех, поэтому его необходимо экранировать и удалять от магнитных головок и входных усилителей. Следует избегать применения  $LC$ -фильтров в малогабаритной АМЗ.

К параметрам элементов Г-образных  $LC$ -фильтров предъявляются два главных требования: во-первых, индуктивность должна быть больше критической величины  $L_{\text{крит}}$ , необходимой для обеспечения непрерывности тока; во-вторых, параметры  $L$  и  $C$  должны иметь такие значения, при которых не возникает резонанс на второй и более высоких гармониках пульсаций напряжения, т. е.  $LC > \omega^2/2$ . Многозвенные фильтры применяют только в тех случаях, когда однозвенные не обеспечивают требуемого сглаживания при приемлемых габаритах элементов  $L$  и  $C$ , например при  $K_{\text{ст}} > 10$ . Для РН регулируемых многоскоростных электроприводов они непригодны по условиям устойчивости. Параметры  $LC$ -фильтра характеризуются следующими общими соотношениями:



$$LI^2 = K_2 P_H / (K_1 \omega_n); \quad C u_0^2 = P_H / (K_2 \omega_n);$$

$$C u_0 = P_H / (K_2 \omega_n u_0),$$

где  $P_H$  — мощность нагрузки;  $K_1 = 1/\omega_n^2 LC$  и  $K_2 = 1/\omega_n CR_H$  — коэффициенты;  $\omega_n$  — частота пульсаций.

Рис. 6.54. Схемы выпрямителей на транзисторах: а — биполярных; б — полевых

Таким образом, габариты дросселей, определяемые величиной  $LI^2$ , и конденсаторов, определяемые величиной  $C u_0$ , можно уменьшить, увеличивая частоту  $\omega_n$ . Объем конденсаторов, кроме того, может быть снижен и при увеличении фильтруемого напряжения.

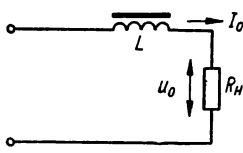
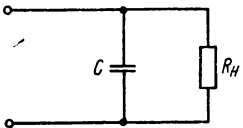
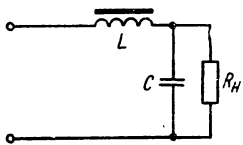
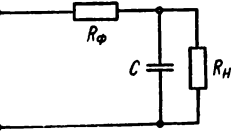
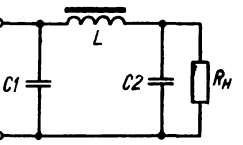
Применение активных фильтров на транзисторах ограничено, так как, несмотря на такие преимущества, как большой коэффициент сглаживания, высокое быстродействие, малые габариты, они уступают обычным фильтрам по показателям надежности и не обеспечивают стабилизацию уровня постоянной составляющей выпрямленного напряжения. Более того, при импульсной нагрузке они дополнительно ухудшают стабильность выходного напряжения ВИП.

Простейшие нестабилизированные преобразователи напряжения (НПН) выполняют по одноконтурной схеме (рис. 6.55, а). Обычно они работают на частотах в несколько десятков килогерц с однополупериодными схемами выпрямления и емкостными фильтрами. Чтобы избежать насыщения, магнитопроводы  $T_r$  одноконтурных НПН выполняются с воздушным зазором. Такие НПН применяются ограниченно в ВИП с выходной мощностью, не превышающей нескольких ватт. В ряде случаев их используют в качестве генераторов стирания и подмагничивания постоянным полем, а также для питания различного рода датчиков систем автоматики. По мере роста мощности ВИП одноконтурные НПН уступают по показателям удельной мощности двухтактным [1], кроме того, наличие воздушного зазора в магнитопроводе  $T_r$  обуславливает увеличение уровня электромагнитных помех. Значительно чаще применяют двухтактные НПН на основе генератора Ройера (рис. 6.55, б). Трансформатор в таких НПН насыщающийся и обычно выполняется на магнитопроводе из сплавов 50НП, 34НКМП с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ). При частотах переключения выше 20 кГц эффективнее использовать ферриты. Напряжение на обмотках трансформатора имеет вид симметричных сигналов прямоугольной формы (рис. 6.55, в, г), а частота переключений

$$f = (u_n - u_{\text{к.н}}) / 4 B_s \omega Q_{\text{ст}} K_{\text{ст}}, \quad (6.9)$$

где  $u_{\text{к.н}}$  — падение напряжения на насыщенном транзисторе;  $B_s$  — индукция насыщения материала магнитопровода;  $\omega$  — число витков первичной обмотки;

### 6.4. Расчетные соотношения основных сглаживающих фильтров

Тип фильтра	Схема	Расчетные формулы	Падение напряжения $u_\phi$
Индуктивный $L$		$L = \frac{R_n}{m\omega_n} \times \sqrt{K_{cr}^2 - 1}$	$(0,05-0,1)u_0$
Емкостный $C$		$C = \frac{10^6}{2R_n K_{n1} m f_n}$	0
Индуктивно-емкостный $LC$ , Г-образный		$C \geq 796 \times 10^3 / (m f_n R_n);$ $LC = \frac{K_{cr} + 1}{m^2 \omega_n^2};$ $L_{min} = 2u_0 / (m^2 - 1) m f_n I_0 \pi$	0,05 $u_0$
Активно-емкостный $RC$ , Г-образный		$K_{cr} \approx m\omega_n R_\phi C;$ $C = \frac{K_{cr} \cdot 10^6}{m\omega_n R_\phi}$	$R I_0$
Индуктивно-емкостный $CLC$ , П-образный		$C_1 = \frac{10^6}{2R_n m f_n K_n};$ $R = R_L + R_n;$ $LC_2 = \frac{K_{cr} + 1}{m^2 \omega_n^2}$	$(0,05-0,1)u_0$

Тип фильтра	Схема	Расчетные формулы	Падение напряжения $u_{\Phi}$
Многозвенный, индуктивно-емкостный $L_1C_1, L_2C_2$ , Г-образный		$K_{cr} = K_{cr1} K_{cr2} = m^2 \omega_n^2 L_1 C_1 m^2 \omega_n^2 \times \times L_2 C_2 \text{ при } L_1 = L_2 = L \text{ и } C_1 = C_2 = C;$ $LC = \frac{\sqrt{K_{cr}}}{m^2 \omega_n^2}$	$(0,02-0,05) \times u_0 n,$ $n$ — число звеньев фильтра

Примечание. Емкость дана в мкФ, индуктивность в Гн.

$Q_{ст}$  — сечение магнитопровода;  $K_{ст}$  — коэффициент заполнения сердечника магнитопровода сталью.

Напряжение  $u_{к}$  на коллекторе закрытого транзистора в таких НПН обычно равно  $2u_{п}$ . Однако вследствие влияния индуктивности  $L_{м}$  монтажа и индуктивности  $L_{с}$  рассеяния трансформатора, в моменты переключения транзисторов возможно возникновение затухающих высокочастотных колебаний, которые,

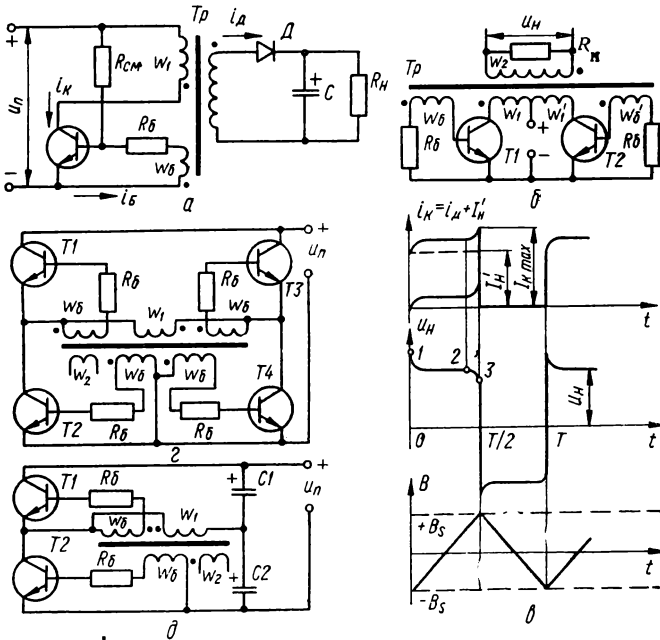


Рис. 6.55. Схемы НПН: а — однотактная; б, в — двухтактная и ее временные диаграммы; г — мостовая; д — полумостовая

суммируясь с напряжением на обмотках трансформатора, могут повышать напряжение  $u_k$  более чем в три раза. Напряжение  $u_k$  снижается при использовании мостовой и полумостовой схем НПН (рис. 6.55, *г, д*), для которых  $u_k = u_n - 2u_{к.н}$  (рис. 6.55, *е*) и  $u_k = u_n - u_{к.н}$  (рис. 6.55, *д*). При расчете частоты генерации по формуле (6.9) для схемы НПН на рис. 6.55, *д* вместо  $u_n$  следует подставлять  $0,5u_n$ . Емкости конденсаторов в делителе (рис. 6.55, *д*) выбираются с учетом допустимого спада напряжения на них:

$$C \geq T / [2R'_n \ln(u_C / u'_C)],$$

где  $T$  — период переключения транзисторов;  $R'_n$  — приведенное к первичной обмотке сопротивление нагрузки;  $u_C$  и  $u'_C$  — напряжение на конденсаторе соответственно в начале и конце полупериода.

Насыщение выходного трансформатора отрицательно действует на процессы коммутации и ухудшает энергетические показатели НПН. Поэтому при больших мощностях выгоднее использовать НПН с ненасыщающимся выходным трансформатором (рис. 6.56, *а*). Период переключения в этих схемах определяется временем перемагничивания по предельной петле гистерезиса задающего трансформатора  $Tr1$  или дросселя  $Dp$ . Особенностью таких НПН является то, что равенство  $I_{к\max} = \beta I_b$  (после достижения которого происходит переключение транзисторов) устанавливается не вследствие увеличения тока коллектора  $I_k$ , как в схеме на рис. 6.55, *б*,

а вследствие уменьшения базового тока  $I_b$  при практически постоянном токе коллектора. Последнее улучшает коммутационные свойства НПН и его энергетические характеристики. Число витков первичной обмотки  $Tr1$  определяют из выражения (6.9), приняв напряжение на его первичной обмотке равным  $2u_n$ . Аналогичным образом из этого же выражения находят число витков обмотки дросселя, подставляя вместо  $u_n$  напряжение  $u_{др} = u_b + u_{б.н}$  ( $u_{б.н}$  — падение напряжения в базе насыщенного транзистора).

Для расчета НПН обычно заданы величины  $u_n$  и  $P_n$ . Общую схему НПН выбирают с учетом приведенных выше рекомендаций. Частоту  $f$  желательно принять возможно выше. Для высококачественной АМЗ частоту НПН обычно выбирают в диапазоне от 30 до 60 кГц. В качестве материала сердечника трансформатора следует использовать ферриты марок 2000НМ1, 2000НМА и аналогичные им. По заданным номиналам напряжений и токов нагрузки выбирают схемы выпрямителей, а по величине пульсаций — схемы фильтров. Приняв КПД НПН  $\eta = 0,8 \dots 0,85$ , находят ток коллектора транзисторов  $I_{к\max} = 1,2P_n / (\eta u_n)$ , затем, учитывая величину  $f$ , из условий

$$I_{к. \text{ пред. доп}} \geq (1,3 \dots 1,4) I_{к\max}; u_{к. \text{ пред. доп}} \geq (2,5 \dots 3) u_n$$

(для двухтактной схемы) и

$$u_{к. \text{ пред. доп}} \geq (1,25 \dots 1,5) u_n$$

(для мостовой и полумостовой схем) выбирают тип транзисторов. После этого находят ток базы  $I_{б\min} = (1,2 \dots 1,3) I_{к\max} / \beta_{ст\min}$ , где  $\beta_{ст\min}$  — минимальный коэффициент усиления транзисторов, и определяют напряжение на базовых

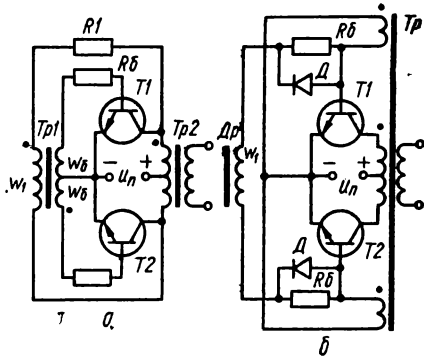


Рис. 6.56. Схемы НПН с ненасыщающимся выходным трансформатором

обмотках  $u_{\omega_6} \geq (3...5) u_{\omega_n}$ . Для германиевых транзисторов следует принять  $u_{\omega_6} = (1,5...2,5)$  В, а для кремниевых  $u_{\omega_6} = (2,5... 4)$  В. Большие значения  $u_{\omega_6}$  выбирают для НПП большой мощности. Сопротивление резистора в цепи баз находят из соотношения  $R_6 = (u_{\omega_6} - u_{\omega_n})/I_6$ . Уточняют мощность вторичных обмоток  $P_2 = \sum_{i=1}^n u_i I_i$ . Приняв КПД трансформатора  $\eta_{\text{ТР}} = 0,9... 0,95$ , находят его габаритную мощность  $P_{\text{габ}} = P_2/\eta_{\text{ТР}}$  и, руководствуясь соотношением

$$Q_{\text{ст}} Q_{\text{ок}} = P_{\text{габ}} / (2f B_m K_M K_{\text{ст}} j),$$

где  $Q_{\text{ст}}$  и  $Q_{\text{ок}}$  — сечение магнитопровода и площадь окна соответственно;  $B_m$  — максимальное значение индукции в сердечнике (для насыщающегося трансформатора  $B_m = B_s$ , для ненасыщающегося  $B_m = 0,85 B_s$ );  $K_M$  — коэффициент заполнения окна сердечника проводом;  $j$  — плотность тока в обмотках трансформатора, определяют размеры сердечника и выбирают ближайший больший типоразмер из унифицированного ряда. Рекомендуемые значения  $K_{\text{ст}}$ ,  $K_M$  и  $j$  приведены в табл. 6.5 и 6.6.

### 6.5. Рекомендуемые значения коэффициента $K_{\text{ст}}$

Толщина ленты, мм	0,02	0,05	0,08	0,1
Коэффициент заполнения $K_{\text{ст}}$	0,8	0,83	0,86	0,88

### 6.6. Рекомендуемые значения плотности тока $j$ и коэффициента $K_M$

Параметр	Суммарная мощность, снимаемая со вторичных обмоток, Вт			
	До 15	15—50	50—150	Свыше 150
Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	5,0—4,5	4,5—3	3,0—2,5	2,5—2
Коэффициент $K_M$	0,1—0,12	0,14—0,16	0,16—0,18	0,2

Из соотношения (6.9) находят число витков первичной обмотки  $w_1$ , а число витков вторичной обмотки определяют по формуле  $w_2 = u_2 w_1 / (u_n - u_{\omega_n})$ . Диаметр провода обмоток трансформатора  $d = 1,13 \sqrt{I_{\text{эф}}/j}$ , где  $I_{\text{эф}}$  — эффективное значение тока в обмотке;  $j$  определяют по табл. 6.6.

Надежная работа самовозбуждающихся НПП невозможна без применения специальных цепей запуска (рис. 6.57), параметры которых выбирают таким образом, чтобы обеспечить на входе транзисторов напряжение смещения  $E_{\text{см}}$ , равное для германиевых транзисторов 0,6—0,8 В, а для кремниевых 1—1,2 В. С учетом этого, сопротивление  $R_{\text{см}}$  для схемы на рис. 6.57, а определяют из выражения  $R_{\text{см}} = R_6 / (u_n / E_{\text{см}} - 1)$ . В схеме на рис. 6.57, б расчетная величина  $R_{\text{см}}$  на один-два порядка выше значения, полученного из этой формулы для схемы на рис. 6.57, а. Включение конденсатора  $C$  параллельно  $R_{\text{см}}$  при скачкообразном нарастании  $u_n$  позволяет несколько увеличить  $R_{\text{см}}$ ,

а параллельно резистору  $R_6$  или цепочке  $R_6 - D$  (рис. 6.57, в и г) повышает эффективность пусковой цепи при любом характере нарастания напряжения  $u_n$  и, кроме того, в 2—3 раза уменьшает динамические потери при переключении транзисторов. Наибольшей эффективностью отличается цепь запуска, показанная на рис. 6.57, г.

**Стабилизаторы напряжения (СН).** Параметрические стабилизаторы напряжения (ПСН) являются простейшими цепями без обратной связи, в которых для стабилизации используют стабилитроны или стабиливолты. Они обеспечивают небольшие коэффициенты стабилизации (КС) и отличаются невысоким КПД. Поэтому ПСН обычно применяют лишь в качестве дополнительных блоков стабилизации, включая их непосредственно на входе потребителей, требующих высокое качество электропитания.

Компенсационные стабилизаторы напряжения (КСН) в зависимости от принципа работы делят на стабилизаторы непрерывного (КСНД) и импульсного (КСИД) действия. В зависимости от того, последовательно или параллельно нагрузке включен регулирующий элемент  $PЭ$ , их КСН можно также разделить на последовательные и параллельные (рис. 6.58, а, б). Параллельный стабилизатор потребляет от источника энергии почти постоянную мощность, которая распределяется между нагрузкой и ветвью с  $PЭ$ . Таким образом, в режиме холостого хода (х. х.) параллельный  $PЭ$  должен рассеять всю потребляемую им мощность, а в режиме короткого замыкания (КЗ) эта мощность рассеивается на балластном резисторе  $R_{бал}$ .

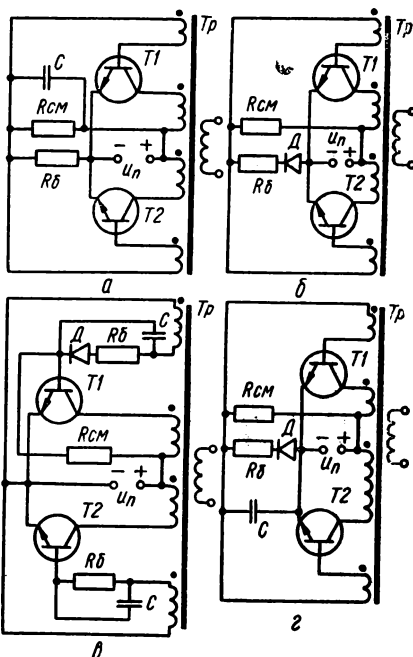


Рис. 6.57. Схемы цепей запуска НПН

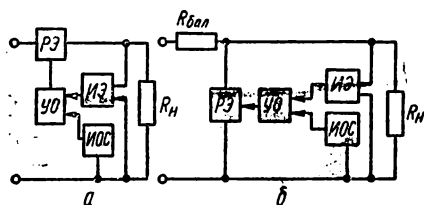


Рис. 6.58. Структурные схемы последовательного (а) и параллельного (б) КСН:

$PЭ$  — регулирующий элемент;  $VO$  — усилитель ошибки;  $ИЭ$  — измерительный элемент;  $ИОС$  — источник опорного сигнала

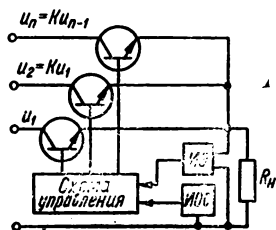


Рис. 6.59. Схема КСНД с переключением регулирующего элемента

В последовательном стабилизаторе вся мощность тока КЗ должна рассеиваться на  $PЭ$ , а в режиме х. х. потребляемая мощность мала. Поэтому па-

параллельные стабилизаторы более эффективны при большой постоянной нагрузке, не боятся КЗ и в большей степени сглаживают высокочастотные пульсации тока нагрузки; последовательные эффективнее при значительных изменениях тока нагрузки и шире используются в современной АМЗ.

Отклонение напряжения на выходе КСНД от номинального значения компенсируется изменением внутреннего сопротивления  $RЭ$ , т. е. в процессе регулировки падения напряжения на последнем. Вследствие этого КПД КСНД, выполненных по широко распространенной схеме включения  $RЭ$  с общим коллектором (ОК), обычно не превышает 0,45...0,5. Включая транзисторы в  $RЭ$  по схеме с общей базой (ОБ), можно несколько повысить КПД при стабилизации низких значений напряжения. Дальнейшее увеличение КПД КСНД достигается коммутацией параллельных ветвей в  $RЭ$ . По мере изменения входного напряжения схема управления включает определенную параллельную ветвь  $RЭ$ , работающую в более узком, чем в обычных стабилизаторах, диапазоне входных напряжений (рис. 6.59). Сужение диапазона изменений входного напряжения в каждой из ветвей существенно снижает потери мощности в  $RЭ$ .

Для уменьшения импульсных помех ветви переключаются с некоторым «перекрытием», т. е. транзисторы двух соседних ветвей работают в не-

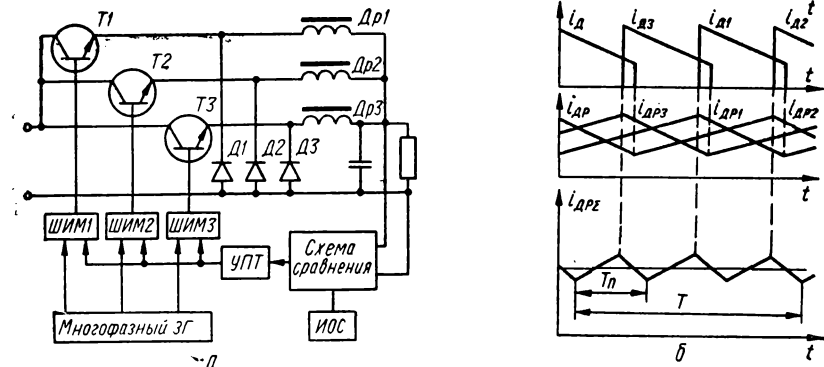


Рис. 6.60. Многофазный КСИД:

а — электрическая схема; б — временные диаграммы

которой зоне одновременно. Отдельные образцы таких КСНД имеют КПД порядка 0,8.

Основное преимущество компенсационных стабилизаторов импульсного действия — высокий КПД (0,8...0,9). Постоянство напряжения на выходе КСИД поддерживается изменением относительной длительности включенного и выключенного состояний  $RЭ$ . Обязательным элементом КСИД является дроссель, который создает значительные поля рассеяния и увеличивает объем ВИП. Уменьшению объема реактивных элементов и снижению уровня пульсаций способствует повышение рабочей частоты  $\omega$ , увеличение удельных нагрузок ( $j$  и  $B_m$ ) и использование наиболее современных магнитных материалов и типов конденсаторов [17].

При использовании КСИД в ВИП большой мощности (когда  $RЭ$  приходится выполнять на основе параллельно включенных транзисторов) эффективно применение многофазных стабилизаторов, которые отличаются от обычных тем, что в них используются параллельные ветви из дросселей

и диодов, определенным образом включенных в цепь своего регулирующего транзистора (рис. 6.60,а). Коммутацию транзисторов в таких схемах осуществляют не одновременно, а с некоторым фазовым сдвигом (рис. 6.60,б), благодаря чему уменьшаются амплитуда импульсов тока транзистора и тока потребления от источника, повышается быстродействие и снижается объем и масса элементов силовой части КСИД. Частота переключения транзисторов в таких КСИД в  $m$  раз ( $m$  — число фаз стабилизатора) меньше, чем частота пульсаций на нагрузке, что позволяет расширить верхний предел частоты КСИД на основе элементов с меньшей граничной частотой. Относительное уменьшение пульсаций в многофазных КСИД характеризуется коэффициентом  $N$ , показывающим, во сколько раз пульсации выходного напряжения многофазного КСИД меньше, чем у обычного при тех же выходных параметрах и одинаковом произведении  $LC$  (табл. 6.7).

### 6.7. Относительное уменьшение пульсаций $N$ в $m$ -фазных КСИД

$m$	1	2	3	4	5	6	12	24
$N$	1	6,9	12,8	18,7	24,6	30,5	65,9	136,7

КСНД отличаются от КСИД относительно простой схемой и меньшим уровнем помех, однако уступают ему по КПД и удельным технико-экономическим показателям. Значение объемной удельной мощности КСНД обычно не превышает 15—20 Вт/дм<sup>3</sup>. Удельная мощность КСИД в несколько раз выше, а при переходе на частоты в несколько десятков килогерц, применении бескорпусных элементов, гибридных и интегральных микросхем может стать даже на порядок выше. С учетом этого, применение КСНД оправдано в тех ЦЭП, для которых необходимо обеспечить очень высокое качество питания (входные усилители, ответственные каналы радиоэлектронных устройств с сигналами в аналоговой форме и т. п.).

Многие другие потребители в АМЭ, в том числе и наиболее энергоемкие (электродвигатели, электромагниты и т. д.), обычно допускают питание от КСИД. При использовании нескольких КСИД в разных ЦЭП их необходимо синхронизировать от общего генератора для исключения «биений». Все токоподводящие проводники и индуктивные накопители (дроссели, трансформаторы) следует располагать как можно дальше от элементов тракта (особенно входных усилителей и магнитных головок), а длина проводников должна быть минимально возможной. В ряде случаев в дополнение к мощному КСИД выгодно использовать отдельные КСНД или ПСН, включаемые на входе потребителей с высокими требованиями к качеству электропитания.

Для обеспечения надежной работы СН необходимо предусматривать меры по защите их элементов и потребителей от токовых перегрузок, перенапряжений и перегрева. Наиболее надежной является совместная защита по указанным параметрам, хотя в большинстве случаев защиту ВИП организуют только по току и напряжению. Защита по напряжению обычно не обеспечивает устранение всплесков тока, разрушающих переходы транзисторов РЭ. Защита только по току должна иметь предельно высокое быстродействие во избежание «вторичного пробоя» переходов транзисторов РЭ при КЗ нагрузки.

Схемы защиты на основе электромагнитных реле очень инерционны (время их срабатывания порядка 100—200 мс) и поэтому не пригодны для токовой защиты транзисторов. На рис. 6.61 показана схема КСНД с электронной защитой по току и напряжению. Схема защиты от перегрузки по току содержит датчик перегрузки  $R10$ , делитель  $D1$ ,  $R3$ , делитель  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  и транзистор  $T5$ . Сопrotивление  $R10$  рассчитывают так, чтобы падение напряжения на  $D1$  при максимальном значении тока нагрузки превышало падение напряжения на  $R10$ . При этом  $T5$  закрыт и не мешает нормальному функционированию КСНД. При увеличении тока нагрузки выше допустимого значения



падение напряжения на  $R_{10}$  увеличивается, и, как только оно станет больше напряжения на  $D_1$ , включается транзистор  $T_5$ . При этом увеличивается ток через УПТ схемы сравнения, и  $P_Э$  (транзисторы  $T_1, T_2$ ) запирается.

Защита потребителей от перенапряжений состоит из делителя  $R_{11}, R_{12}$ , стабилитрона  $D_3$ , тиристора  $D_4$  и реле  $P_1$ . При номинальном значении выходного напряжения КСНД падение напряжения на  $R_{12}$  ниже напряжения пробоя  $D_3$  и тиристор  $D_4$  закрыт. При увеличении  $u_{\text{вых}}$  сверх допустимой величины стабилитрон  $D_3$  пробивается и отпирается  $D_4$ . Реле  $P_1$  срабатывает и отключает питание КСНД. Для увеличения надежности защиты в состав КСНД обычно вводят дополнительную защиту от КЗ, которая при падении  $u_{\text{вых}}$  ниже определенной величины из-за режима КЗ отключает питание стабилизатора.

**Стабилизированные, высокочастотные и многофазные преобразователи напряжения (СПН, ВПВН, МПН).** Наряду

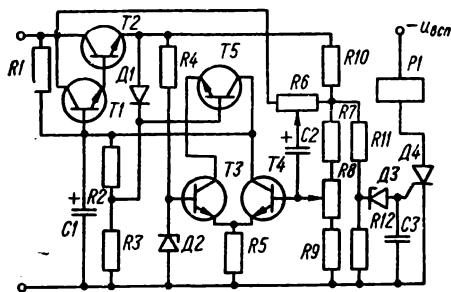


Рис. 6.61. Схема КСНД с защитой по току и напряжению

с выполнением основных функций нестабилизированных преобразователей (обеспечением гальванической развязки ЦЭП и преобразованием величины напряжения источника) СПН позволяют получить на выходах стабильное по величине напряжение. Стабилизация напряжения в СПН осуществляется амплитудным методом или методом изменения формы [17]. Одним из простейших вариантов первого метода является включение КСН или ПСН на входе НПН. Обратную связь в таких схемах предпочтительнее вводить с выходных каналов СПН.

Более надежными являются СПН, у которых в переключающем состоянии силовые транзисторы таких СПН находятся в активной области, работая как  $P_Э$  в КСНД, а по окончании рабочего полупериода переводятся в состояние отсечки, как в НПН. Потери в силовых транзисторах остаются значительными и КПД амплитудных СПН относительно небольшой. Такие СПН для исключения несимметрии формы выходного напряжения требуют также применения транзисторов с одинаковыми параметрами, т. е. малотехнологичны. Тем не менее они достаточно эффективны в многоканальных ВИП. Другой метод построения СПН основан на изменении формы кривой напряжения. При этом методе среднее, или действующее значение напряжения стабилизируется изменением ширины импульса выходного напряжения на полную (форма 1) или частичную (форма 2) его глубину (рис. 6.62, б). В многоканальных ВИП с частью потребителей, требующих стабилизации среднего значения напряжения (блоки электроники), и частью потребителей, требующих стабилизации действующего значения напряжения (приводные двигатели), предпочтительнее СПН с частичной модуляцией. При постоянной нагрузке в разных ЦЭП и в одноканальных ВИП оба вида СПН примерно равноценны.

Так же, как и в КСИД, необходимо принимать все возможные меры для уменьшения создаваемых СПН помех. На рис. 6.62, в показана схема СПН, в которой сочетаются преимущества преобразователей обоих методов стабилизации напряжения. Выходное напряжение такого СПН практически прямоугольной формы со стабильной амплитудой образуется интегрированием широтно-модулированного переменного напряжения с помощью дросселя  $D_p$ , переключаемого дополнительным инвертором на транзисторах  $T_1, T_4$ , который управляется от генераторов импульсов прямоугольной формы ГПФ. Основной инвертор на транзисторах  $T_2, T_3$  управляется от широтно-импульсных модуляторов (ШИМ). Режим работы генераторов ГПФ и ШИМ задается



В АМЗ чаще применяют МПН, обеспечивающие прямоугольно-ступенчатое напряжение без четных гармоник и гармоник, кратных трем. Такие МПН удобно классифицировать по точности поддержания и диапазону регулирования частоты выходного напряжения (табл. 6.8). МПН средней точности обычно выполняют на основе транзисторно-магнитных преобразователей. На рис. 6.64 показана схема и временные диаграммы трехфазного ПН, содержащего три мультивибратора, один из которых является задающим (на транзисторах  $T1$ ,  $T2$  и трансформаторе  $Tr1$ ), а два других (ведомых) работают в режиме автосинхронизации от задающего и соседнего ведомого мультивибратора.

Трансформаторы мультивибраторов выполняются идентичными на сердечниках с ППГ. Число витков обмоток обратной связи выбирают  $\omega_{o.c.} = (0,15 \dots 0,2)\omega_k$ , а число витков коллекторных обмоток  $\omega_k$  находят из выражения (6.9). Резисторы

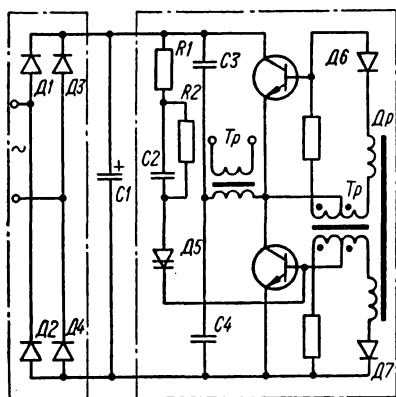


Рис. 6.63. Полумостовая схема ВПВН

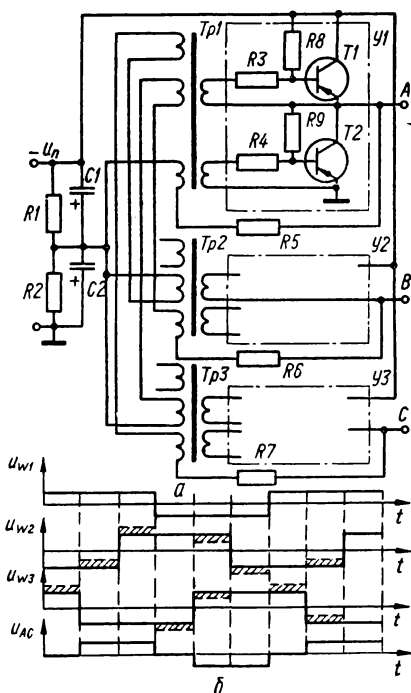


Рис. 6.64. Трехфазный преобразователь:

*a* — схема; *б* — временные диаграммы

$R5, R6, R7$  служат для подстройки фазового сдвига и частоты. Схема эффективна при частоте выходного напряжения не менее 200 Гц. Диапазон регулирования частоты в ней ограничен величиной 2 : 1. Более универсальными, допускающими глубокое регулирование частоты, являются схемы, выполненные аналогично структурной схеме, показанной на рис. 6.53, *д*.

Выбор схемы генератора тактовой частоты (ГТЧ) определяется требованиями к стабильности частоты выходного напряжения. Генераторы на основе  $RC$ -цепей (рис. 6.65, *а*) обеспечивают точность стабилизации порядка 0,5—3%. В электроприводах повышенной точности обычно используют ГТЧ на основе кварцевых резонаторов (рис. 6.65, *б*).

Для большинства АМЗ характерно дискретное изменение скорости транспортирования носителя с коэффициентом деления, кратным двум. Такой закон управления обычно реализуют с помощью делителей частоты (ДЧ) на основе триггеров или счетчиков импульсов в интегральном исполнении, например, типа К155ИЕ4.

Основное назначение фазорасщепителей (ФР) — преобразование сигналов тактовой частоты в  $m$ -фазную систему импульсов с фазовым сдвигом, рав-

## 6.8. Классификация МПН

Класс МПН	Точность под- держания частоты, %	Диапазон регулирования частоты $\omega_{\max}/\omega_{\min}$
Средней нерегулируемые точности: регулируемые	1—5	—
		4 : 1 (8 : 1)
Точные: нерегулируемые регулируемые	0,05—0,5	—
		16 : 1 (32 : 1)
Повышенной точности	Выше 0,01	32 : 1 (64 : 1)

ным  $\pi/m$  ( $m$  — число фаз ФР). Иногда ФР используют для управления бесконтактным реверсом, торможением двигателя и т. п. Выполняют ФР на основе пересчетных схем и сдвиговых регистров в интегральном исполнении. В схемах ФР необходимо предусматривать связи, обеспечивающие автоматическое восстановление правильного чередования фаз при сбоях. Практическая схема ДЧ и ФР на основе ИМС показана на рис. 6.66, а.

Промежуточные усилители ПУ формируют сигналы управления силовыми ключами инвертора *Индв* в соответствии с законом, заданным на входах

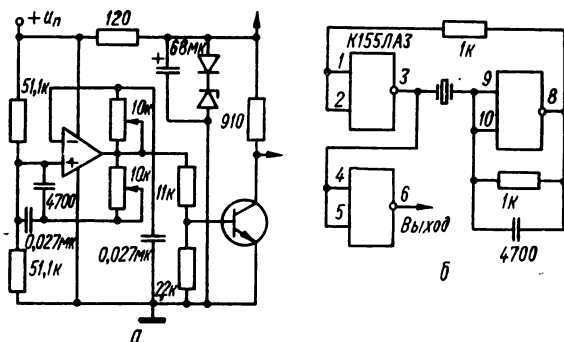


Рис. 6.65. Схема ГТЧ на основе:  
а — RC-цепи; б — кварцевого резонатора

ПУ. В электроприводе применяют два типа ПУ (с трансформаторной связью либо с непосредственной связью ПУ и *Индв*). Преимущество ПУ с трансформаторными связями состоит в простоте схемы, однако зависимость массогабаритных показателей устройства от рабочей частоты делает их малоприменимыми при частотах ниже 100—150 Гц. Показатели ПУ с непосредственной связью от частоты не зависят. Они позволяют относительно просто обеспечить дополнительные каналы управления для регулирования выходного напряжения *Индв*, защиты от перегрузок и т. п. На рис. 6.66, б показана схема одной фазы трехфазного *Индв* и ПУ с непосредственной связью. В последнее время применяются ПУ с оптронами, которые в определенной мере сочетают положительные свойства рассмотренных выше типов ПУ. Использование в ПУ оптронной развязки позволяет выполнять силовые ключи МПН на основе самозащищенных транзисторных ключей. Последние представляют собой комбинацию транзисторных ключей с устройством защиты и управления; их применение существенно повышает функциональную надежность преобразователей.

Выходная мощность МПН в электроприводе АМЗ при амплитуде напряжения 100—120 В не превышает 1—1,5 кВт, что позволяет выполнять инверторы на транзисторах. Наиболее эффективными являются МПН, у которых функции силовых ключей регуляторов нагрузки выполняют транзисторы инвертора. Напряжение в таких МПН регулируют широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигналов управления инвертора. При большом диапазоне регулирования выходного напряжения метод ШИМ следует сочетать с амплитудным (разбивая диапазон регулирования на ряд поддиапазонов с различным значением постоянного напряжения). Внутри каждого поддиапазона регулирование выполняют методом ШИМ. Эта мера снижает коэффициент гармоник и уменьшает уровень помех в силовых цепях инвертора. Для защиты силовых ключей и увеличения КПД МПН целесообразно ограничивать ток через ключи

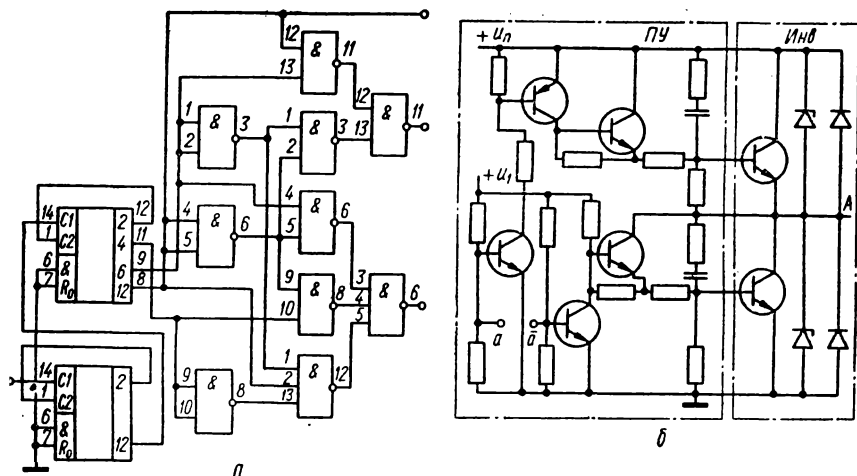


Рис. 6.66. Узлы МПН: а — схема ДЧ и ФР на основе ИМС; б — схема одной фазы ПУ и Инв

чи, например, методом ШИМ сигналов управления ПУ либо другим методом.

Для электроприводов некоторых типов АМЗ характерны дискретные изменения значения частоты и направления вращения двигателей на рабочем ходу. При этом, вследствие большой инерции маховых масс, передаваемой двигателю, в МПН возникают перегрузки силовых цепей. Поэтому в такой АМЗ, наряду с ограничением тока и активным торможением двигателя в МПН должны использоваться и другие меры защиты.

**Особенности конструирования ВИП.** Принято два способа компоновки элементов ВИП — моносхемный, когда все элементы располагают в одной плоскости, например, на одной печатной плате, и схемно-узловой, при котором на одной печатной плате располагают лишь некоторую часть ВИП, обычно с четко выраженными входными и выходными параметрами. При первом способе компоновки отсутствуют переходные соединения между отдельными каскадами схемы, что улучшает электрические параметры устройства, уменьшает себестоимость, объем и массу ВИП. Однако из-за ограниченных размеров плат такой метод обычно применяют лишь для узлов или простейших ВИП. При втором способе требуется введение соединителей и характеризуется большей сложностью, однако упрощает отвод тепла от активных элементов ВИП и увеличивает его ремонтоспособность.

Печатные платы (обычно применяют одно- и двухслойные) конструируют с учетом следующих рекомендаций:

1. Входные и выходные проводники одного каскада или узла не должны располагаться рядом и параллельно.

2. Все проводники, в первую очередь высокочастотных цепей, должны иметь минимальную длину, а проводники импульсного тока необходимо удалять от других цепей, в особенности от заземленных по переменному току.

3. Общие шины должны быть по возможности более широкими, а проводники заземления должны иметь минимальную индуктивность. При ширине проводника более 2,5 мм их следует разделять на два и более проводников.

4. Для уменьшения паразитного влияния одних цепей печатной платы на другие их отделяют печатными экранами, обычно в виде сетки.

5. На двухсторонней плате следует избегать прокладки аналогичных проводников с той и другой стороны платы параллельно друг другу (за исключением шин питания).

6. Навесные элементы с большой массой (дроссели, трансформаторы и т. п.) для уменьшения механических перегрузок плат располагают вблизи точек крепления плат.

При размещении на платах ИМС необходимо: ИМС, выполняющие операцию ИЛИ (и объединяемые ею ИМС), размещать на одной плате; одновременно переключаемые инверторы размещать в разных корпусах и по возможности подключать к разным шинам разводки питания; незадействованные входы работающих схем И—НЕ и И—ИЛИ—НЕ объединять с рабочими входами (во всех случаях, когда коэффициент разветвления ИМС не превышает допустимой величины).

При работе НПН, СПН, КСИД, ВПВН вследствие импульсного характера токов образуется широкий спектр помех, которые проникают со стороны выхода в цепи потребителей, а со стороны входа — через питающую сеть в смежную аппаратуру. Снижение уровня помех в шинах достигается включением на входе ВИП (а иногда и на его выходе) заграждающих высокочастотных фильтров (рис. 6.67). Дроссель такого фильтра выполняют на сердечниках из альсифера, феррита марок М400, М600 или пресс-пермаллоя МП-140. Иногда кольцевые сердечники нанизывают на проводники, например, на выводы диодов выпрямителя. Конденсаторы используют безындукционные: керамические, металлобумажные или металлопленочные. Монтаж фильтра выполняют выводами элементов с минимальной длиной соединений. Для фильтрации радиопомех верхней части диапазона частот (свыше 1МГц) используют проходные конденсаторы.

Для уменьшения помех, излучаемых элементами и проводами ВИП, широко применяют экранированные проводники для монтажа внутри блока и укладываются жгуты без образования петель (контуров) тока, а также экранируют силовые элементы ВИП. Элементы ВИП размещают так, чтобы максимально разнести входные и выходные цепи (обычно их размещают на противоположных сторонах платы). Цепи обратной связи выполняют экранированными проводами и обеспечивают в них фильтрацию ВЧ-помех. Полезно заключать в экраны все устройство питания; при невозможности этого следует тщательно экранировать силовую импульсную часть ВИП и, в первую очередь, электромагнитные элементы.

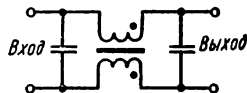


Рис. 6.67. Схема высокочастотного фильтра

## Глава 7

### НАСТРОЙКА, ИСПЫТАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В АМЗ

#### 1. НАСТРОЙКА И ИСПЫТАНИЯ АМЗ

Параметры АМЗ можно разделить на две группы. Одна группа характеризует тип АМЗ, ее возможности по выполнению определенных функций и совместимости различных типов АМЗ. К таким параметрам относятся: скорость движения МЛ, число дорожек и способ записи, частотный диапазон или продольная плотность записи, параметры входа и вы-

хода и ряд других. Все эти параметры, в основном, обеспечиваются конструкцией АМЗ и подлежат периодической проверке. Другая группа характеризует метрологические ошибки, определяющие погрешности АМЗ. К таким параметрам относятся: неравномерность АЧХ, отношение сигнал/шум, коэффициент гармоник, коэффициент передачи, дрейф нуля, паразитная амплитудная модуляция, коэффициент колебания скорости, временной сдвиг и др. Эти параметры могут меняться в процессе изготовления и эксплуатации, а поэтому подлежат настройке и периодической проверке.

Среднюю скорость движения МЛ измеряют несколькими способами, из которых наиболее распространены способ с использованием тахометрического датчика и способ мерной МЛ. Измерения производят в режиме рабочего хода на ленте, тип которой оговорен для данного аппарата.

Тахометрический датчик представляет собой легко вращающийся ролик известного диаметра, соединенный с устройством, вырабатывающим известное (всегда постоянное) число импульсов за один оборот. Количество этих импульсов или период их следования измеряют электронно-счетным частотомером. Среднюю скорость определяют по формуле

$$V_{cp} = \pi Df/n = \pi D/(nT),$$

где  $D$  — диаметр ролика тахометрического датчика, см;  $f$  — частота, измеренная частотомером, Гц;  $T$  — период следования импульсов, с;  $n$  — число импульсов датчика за один оборот ролика.

При измерении средней скорости тахометрическим датчиком необходимо принять меры, исключающие проскальзывание МЛ относительно ролика и нарушение геометрии тракта МТЛ. При измерении с помощью мерной МЛ определяют время прохождения отрезка ленты определенной длины. Длину отрезка в миллиметрах берут равной  $1000V_{ном}$ , где  $V_{ном}$  — номинальная скорость, см/с;  $V_{cp} = L/t$ , где  $L$  — известный отрезок МЛ, см;  $t$  — время прохождения данного отрезка МЛ, с. Для снижения ошибок при измерениях последние проводят не менее пяти раз и за результат принимают среднеарифметическое значение проведенных измерений. Когда средняя скорость задается величиной с малыми допусками, настраивают среднюю скорость. Для этого шкив на ведущем ЭД изготавливают несколько большего диаметра, собирают МТЛ, измеряют его среднюю скорость, а затем доводят размер шкива до необходимого путем шлифования. Точный размер определяют по формуле  $D_T = dV_{тр}/V_{cp}$ , где  $d$  — размер шкива, мм (до третьего знака после запятой), установленного на данном аппарате;  $V_{тр}$  — точное значение заданной средней скорости;  $V_{cp}$  — средняя скорость при шкиве диаметром  $d$ , которую измеряют на всех рабочих скоростях данной АМЗ.

Коэффициент колебания скорости (ККС) и коэффициент детонации (КД) измеряют при помощи детонометров в режиме  $k_v$  или  $k_d$ . На испытуемом аппарате записывают сигнал с постоянной частотой, оговариваемой в паспорте на детонометр. Воспроизведенный сигнал подают на вход детонометра и по показаниям индикатора определяют  $k_v$  или  $k_d$ . Для исключения ошибок стабильность частоты записываемого сигнала должна быть на порядок выше ожидаемого ККС. Обычно ККС обеспечивается кинематической схемой и конструкцией МТЛ и настройке не подлежит. Для определения деталей и узлов МТЛ, создающих наибольший ККС, можно проанализировать частотные составляющие сигнала с выхода детонометра. Определив частоты, на которых ККС имеет максимальное значение, находят дефектные детали и узлы. Измеряют ККС на всех скоростях движения МЛ.

Дрейф скорости определяют как отношение разности между максимальной и минимальной скоростью МЛ к среднему значению скорости, выраженное в процентах, при полной подающей катушке и максимальном напряжении питания и при полной приемной катушке и минимальном напряжении питания. Измеряют дрейф скорости на всех скоростях движения МЛ.

Размеры и расположение дорожек на МЛ проверяют при помощи инструментального микроскопа после проявления ленты с записью в суспензии. По

всем дорожкам одновременно записывают гармонический сигнал средней частоты диапазона с уровнем, равным номинальному, или импульсный сигнал типа меандр с частотой в два раза ниже предельной частоты записи. Для приготовления суспензии берут около одного грамма порошка карбонильного железа (с частицами размером не более 3 мкм) на 100 см<sup>3</sup> бензина, гелтана или спирта. Перед проявлением дорожек суспензию взбалтывают и на короткий промежуток времени погружают в нее отрезок МЛ с записью. Затем ленту сушат и при натяжении, равном натяжению в тракте МТЛ, измеряют размеры и расположение дорожек.

Статическое натяжение МЛ измеряют на участках магнитных головок, приемного и подающего узлов МТЛ с помощью тензометрических датчиков, измеряющих давление ленты на тензоэлемент. При импульсной записи параметры выходных импульсов измеряют с помощью осциллографа (ЭО). Записывают импульсный сигнал типа «меандр» с частотой, соответствующей максимальной плотности записи для данной скорости. Воспроизведенный сигнал подают на вход осциллографа, длительность развертки и усиление которого точно калибровано, и определяют полярность выходных импульсов, амплитуду, уровень логической «1» и логического «0». Длительность выходного импульса измеряют на уровне амплитуды, равной 0,5  $U_{\max}$ . Одновременно измеряют крутизну переднего и заднего фронтов выходного импульса. Обычно параметры выходных импульсов определяются схемными решениями и настройке не подлежат.

Временной сдвиг определяют при помощи двухлучевого ЭО. По всем дорожкам одновременно записывают одну и ту же последовательность импульсов. Частоту повторения импульсов берут в 10—20 раз ниже граничной частоты записи для данной скорости движения МЛ. Записанную последовательность с измеряемых каналов подают на разные входы двухлучевого ЭО, синхронизированного от одного из каналов. Измеряют расстояние между передними фронтами импульсов разных каналов и величину размытости фронта и, умножая эту величину на масштаб длительности развертки, определяют постоянную и переменную составляющие межканального временного сдвига на всех скоростях движения МЛ.

Достоверность измеряется различными методами: например, подсчетом числа выпадений импульсов при записи последовательности единиц, при записи квазислучайных кодовых комбинаций и др. Наиболее простым является метод подсчета числа выпадающих импульсов, при котором записывается импульсный сигнал с частотой следования, равной максимально допустимой для данной скорости. Частотомером при записи измеряется количество импульсов, подаваемых на вход УЗ, а при воспроизведении подсчитывается количество воспроизведенных импульсов. Количество записанных импульсов, деленное на разность между числом записанных и воспроизведенных импульсов, определяет достоверность в бит/сбой. Такой способ определения достоверности наиболее приемлем при методе записи БВН. Число записываемых импульсов берут в пределах  $10^7$ — $10^8$ .

**Настройка и испытания при ПМЗ.** Для взаимного обмена сигналами между разными АМЗ мало того, чтобы было одинаковое количество дорожек, их взаимное расположение, скорость, необходимо, чтобы каналы записи и воспроизведения (КМЗВ), включая магнитные головки, были бы близки по своим параметрам. В противном случае при воспроизведении сигналограммы, записанной на разных АМЗ, будут получены различные результаты. Исходя из этого, КМЗВ настраиваются раздельно.

Для настройки канала воспроизведения (КВ) пользуются специальным тестом, представляющим собой МЛ, на которой с определенным уровнем записаны последовательно участки с фиксированными частотами. При настройке КВ на МТЛ устанавливают тест и в режиме воспроизведения измеряют выходные уровни воспроизведенного сигнала на каждой из частот. Затем органы настройки приводят частотную характеристику КВ к заданной форме.

После настройки КВ настраивают канал записи (КЗ) и проверяют АЧХ сквозного канала (СК). Сначала регулируют и измеряют токи подмагничива-



вия. Контролируемых и регулируемых параметров два — ток и его частота. Все измерения производят на резисторе сопротивлением 5—10 Ом, включенном последовательно с ГЗ. Частота тока высокочастотного подмагничивания (ВЧП) контролируется электронным частотомером и подстраивается органами регулировки до значения, оговоренного в технической документации на аппаратуру. Затем настраивают фильтр-пробку на частоту тока ВЧП. В последнюю очередь регулируют ток ВЧП, для чего записывают верхнюю частоту записываемого диапазона частот для данной скорости при различных значениях тока ВЧП. При воспроизведении этой записи находят значения тока ВЧП, при котором воспроизведенный сигнал максимален. Найденное значение тока ВЧП увеличивают до значения, при котором уровень сигнала уменьшается на 3 дБ.

После настройки тока ВЧП проверяют АЧХ сквозного канала, для чего на вход УЗ подают последовательно ряд частот (обычно тех же, что записаны на тесте) с уровнем на 10 дБ ниже номинального и производят запись. При воспроизведении фиксируют значения воспроизведенного сигнала и определяют неравномерность АЧХ. Распространенным рядом частот при измерении АЧХ является  $f_H$ ;  $2f_H$ ;  $3f_H$ ;  $6f_H$ ; 1000 Гц;  $f_B/3$ ;  $f_B/2$ ;  $f_B$ , где  $f_H$  — нижняя, а  $f_B$  — верхняя частоты диапазона, Гц. Настраивают АЧХ отдельно по каждому каналу записи на всех скоростях движения МЛ.

Отношение сигнал/шум определяют при записи сигнала с номинальным входным уровнем по всем дорожкам, затем по четным дорожкам записывают «паузы» при включенном токе ВЧП, но без подачи сигнала на вход УЗ. При воспроизведении определяют уровень сигнала  $U_c$  по четным дорожкам при наличии сигнала на всех дорожках и  $U_n$  при наличии «паузы» по четным дорожкам. Отношение сигнал/шум по четным дорожкам  $A = 20 \lg (U_c/U_n)$ . Аналогично определяют отношение сигнал/шум по нечетным дорожкам.

Коэффициент гармоник определяют при записи сигнала частотой 400 или 1000 Гц с номинальным входным уровнем. При воспроизведении записи селективным вольтметром измеряют напряжение основного сигнала  $U_1$  и напряжения высших гармоник. В большинстве случаев достаточно измерить напряжение основного сигнала и третьей гармоники  $U_3$  и определить коэффициент гармоник  $k_r = (U_3/U_1) 100\%$ . Для уменьшения  $k_r$  следует увеличить ток ВЧП или уменьшить ток записи. При изменении тока ВЧП изменяется АЧХ и требуется ее подстройка.

Уровень стирания определяют при записи сигнала частотой 1000 Гц с номинальным уровнем. При воспроизведении селективным вольтметром измеряют уровень сигнала  $U_c$ . Затем записанный участок МЛ стирают, т. е. производят на нем запись при закороченном входе УЗ. При воспроизведении измеряют уровень шума  $U_{ш}$  тем же вольтметром и определяют уровень стирания  $S = 20 \lg (U_c/U_{ш})$ . Если уровень стирания ниже заданного, ориентируют ГС и увеличивают ток стирания. Уровень стирания проверяют на всех скоростях движения МЛ.

Переходные помехи определяют при записи по всем каналам одного и того же сигнала на отрезке МЛ, а затем записывают «паузу» по четным каналам. Измерения производят при записи сигналов, соответствующих нижним и высшим частотам частотного диапазона АМЗ на самой высокой скорости движения МЛ. Уровень переходной помехи  $B = 20 \lg (U_n/U_c)$ .

Комбинационные помехи измеряют при записи одновременно двух сигналов частотами  $f_1$  и  $f_2$  с уровнями, равными половине номинального уровня. Частоты  $f_1$  и  $f_2$  выбирают так, чтобы комбинационные частоты находились в частотном диапазоне АМЗ. Комбинационные частоты определяют как разность или сумму основных частот и их гармоник  $f_1 \pm f_2$ ,  $2f_1 \pm f_2$ ,  $2f_2 \pm f_1$ ,  $3f_1 \pm f_2$ ,  $3f_2 \pm f_1$  и т. д. При воспроизведении селективным вольтметром измеряют уровни основных сигналов ( $U_1$  и  $U_2$ ) и уровни сигналов комбинационных частот на частотах, приведенных выше. Затем определяют уровень комбинационных помех  $D = 20 \lg (U_1 + U_2)/U_k$ , где  $U_k$  — максимальный уровень из всех получившихся комбинационных помех.

Коэффициент ПАМ определяют при записи сигнала с номинальным уровнем и частотой, близкой к верхней частоте диапазона для данной скорости. Записанный сигнал воспроизводится и подается на ЭО, с помощью которого определяют значение максимальной и минимальной амплитуд сигнала при длительном наблюдении и вычисляют коэффициент ПАМ.

**Настройка и испытания при ЧМ-записи.** Несущую частоту измеряют частотомером, подключенным к ГЗ или к резистору сопротивлением 5—10 Ом, включенному последовательно с МГ. Вход УЗ при этом должен быть закорочен. При необходимости несущую частоту подстраивают регулировочными элементами. Данную проверку и настройку производят на максимальной скорости движения МЛ. Изменяя скорость движения МЛ, убеждаются в правильности работы делителей частоты. Целесообразно определить температурный и временной дрейф несущей частоты.

Для измерения девиации частоты на вход УЗ подают положительное напряжение постоянного тока, соответствующее максимальному уровню записи. Частотомером определяют частоту записи  $f_1$ . Положительная девиация  $\Delta f_+ = f_1 - f_0$ . Отрицательная девиация частоты  $\Delta f_-$  определяется при отрицательном входном напряжении. Изменяя коэффициент усиления КЗ, устанавливают требуемое значение девиации.

Величину и форму тока записи измеряют на резисторе сопротивлением 5—10 Ом, включенном последовательно с ГЗ, при помощи ЭО. Регулировочными элементами модулятора добиваются требуемого значения тока записи. С помощью спектроанализатора определяют симметрию тока записи по содержанию в сигнале второй гармоники, которая должна быть не более 0,3%. Величину и форму тока записи измеряют во всем диапазоне входных сигналов, подавая на вход УЗ напряжение постоянного тока от  $-U_{\max}$  до  $+U_{\max}$ .

Нелинейность статической характеристики определяют в режиме модулятор — демодулятор. На вход АМЗ в режиме записи подают последовательно напряжения постоянного тока, соответствующие полной положительной, отрицательной и нулевой девиации частоты, измеряют значения выходных напряжений и находят коэффициент нелинейности статической характеристики. Если АМЗ не имеет КВ, то нелинейность статической характеристики по постоянному току определяют как отклонение характеристики преобразования напряжения постоянного тока в частоту от линейного закона. Частоту на выходе модулятора измеряют частотомером при значениях входных сигналов, соответствующих величинам полной положительной  $\Delta f_+$ , полной отрицательной  $\Delta f_-$  и нулевой девиации частоты. Для более точного определения нелинейности снимают ряд значений девиации частоты в интервале значений входных напряжений от  $-U_{\max}$  до  $+U_{\max}$ , строят график зависимости частоты от напряжения и определяют его отклонение от прямой.

Дрейф нуля измеряют обычно на минимальной скорости движения МЛ. Записывают несущую частоту при закороченном входе УЗ в течение заданного времени или на всю длину МЛ в катушке. При воспроизведении измеряют постоянное напряжение на выходе АМЗ. Дрейф нуля в абсолютных величинах определяется как арифметическая сумма максимальных абсолютных значений положительного и отрицательного выходного напряжения. Обычно дрейф нуля определяют после прогрева АМЗ в течение времени, оговоренного в технической документации.

Коэффициент гармоник определяют при записи сигнала частотой, равной половине максимальной частоты частотного диапазона для данной скорости, и напряжением, равным номинальному. При воспроизведении записи анализатором спектра определяют уровень сигнала первой  $U_1$  и второй  $U_2$  гармоник и вычисляют коэффициент гармоник по формуле  $k_g = (U_2/U_1) \cdot 100\%$ . Измерения производят на всех скоростях движения МЛ.

Комбинационные искажения определяют на частоте  $F_3 = F_{\max}(\mu_m - 1)/\mu_0$  при воспроизведении без удвоения частоты или  $F_3 = F_{\max}(2\mu_m - 1)/\mu_0$  при воспроизведении с использованием удвоения частоты, где  $F_{\max}$  — максимальная частота записи для данной скорости;  $\mu_m$  — отношение несущей частоты к мак-

симальной записываемой частоте;  $\mu_0$  — целая часть числа  $\mu_m$ ;  $\mu_0'$  — наибольшее целое число, меньшее  $2\mu_m$ . На вход УЗ подается сигнал с частотой, вычисленной выше, и напряжением, равным номинальному напряжению. При воспроизведении анализатором гармоник измеряют уровни сигналов на частоте записи  $U_{F_3}$  и сигнала на частоте, равной максимальной записываемой частоте. Уровень комбинационных искажений

$$k_{\text{и}} = 20 \lg (U_{F_{\text{max}}} / U_{F_3}).$$

Переходная помеха определяется при записи несущей частоты модуляторов по всем каналам записи с закороченными входами УЗ. Затем на входы каналов, соседних с измеряемыми, подают положительное постоянное напряжение, вызывающее максимальную девиацию частоты, и производят запись. При воспроизведении вольтметром среднеквадратических значений определяют уровень шумов при записи несущей частоты и при подаче на соседние каналы положительного напряжения. Прирост напряжения шумов и определяет переходную помеху с соседнего канала. Обычно ее выражают в децибелах по отношению к полезному сигналу. Измерения производят на всех скоростях движения МЛ.

АЧХ и динамический диапазон (отношение сигнал/шум) при ЧМ-записи определяют так же, как и при ПМЗ.

Временную ошибку измеряют при помощи двухлучевого ЭО, для чего записывают импульсный сигнал с низкой частотой повторения (100—200 Гц). Стабильность периода повторения импульсного генератора должна быть в 3—5 раз выше минимальной ожидаемой временной ошибки. Обычно используют импульсные генераторы с кварцевой синхронизацией или внутренний генератор АМЗ, используемый в системе регулирования средней скорости. При воспроизведении на один из лучей двухлучевого ЭО подают сигнал от генератора импульсов, а на второй — воспроизведенный сигнал. Развертка ЭО синхронизируется от импульсного генератора и регулируется таким образом, чтобы на экране был размещен один период воспроизводимого сигнала.

Во время воспроизведения импульсы на втором луче будут перемещаться по отношению импульса первого луча. Измерения производят в течение заданного времени и определяют временную ошибку, как максимальное смещение воспроизведенных импульсов по отношению к импульсам генератора. При измерении обязательно в АМЗ подразумевается какой-либо способ регулирования средней скорости движения МЛ, в результате чего на продолжительном интервале времени усредняется сдвиг номинала скорости. Если при записи и воспроизведении используются различные опорные генераторы, то для определения действительной максимальной ошибки в системе необходимо вводить поправку на сдвиг опорной частоты.

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ В АМЗ

Фазовые искажения вызывают нарушение формы сигнала при ПМЗ, нелинейные искажения при ЧМ-записи, увеличение МВС и как следствие снижение достоверности при ЦМЗ и др. Для коррекции этих искажений необходимо знать ФЧХ, которую определяют экспериментально.

В соответствии с формулами (1.2), (1.8) и (1.10) выражение комплексной АЧХ КМЗВ имеет следующий вид:

$$\hat{K}(\omega, t) = K(\omega, t) \exp \{ -j \{ \alpha + [\tau_0 + \Delta\tau(t)] \omega + \gamma(\omega, t) \} \}.$$

Неискажающая ФЧХ представляет собой прямую  $\varphi = \tau_0 \omega$  ( $\tau_0$  — задержка сигнала, постоянная во всем диапазоне частот), проходящую через начало координат ( $\varphi, \omega$ ), которой должны соответствовать условия: постоянный (частотно-независимый) фазовый сдвиг  $\alpha = 0$ ; флуктуация задержки сигнала  $\Delta\tau(t) = 0$ ; нелинейность формы ФЧХ  $\gamma(\omega, t) = \gamma_0 \omega$ ,  $\gamma_0 = \text{const}$ . Характери-

стики реального КМЗВ не удовлетворяют ни одному из этих условий. Вследствие дифференцирующего действия ГВ возникает частотно-независимый фазовый сдвиг  $\alpha = \pi/2$ . Колебания скорости ленты приводят к флуктуациям задержки сигнала в канале:  $\Delta\tau(t) = \text{varia}$ . Ферромагнитные сердечники ГЗ и ГВ, согласование МГ с усилителями, процесс записи и особенно саморазмагничивания сигналограммы обуславливают частотно-зависимые сдвиги  $\gamma(\omega)$ . Флуктуации фазы ЭДС ВГ вследствие дифференцирования сигналов с ПАМ (вторичная ПФМ) обуславливают флуктуации этой компоненты  $\gamma(t)$ . Наличие неопределенной постоянной задержки  $\tau_0$  между процессами записи и воспроизведения, хотя и не вызывает фазовых искажений, но существенно затрудняет измерение ФЧХ (обуславливает неоднозначность результатов).

Определяют как абсолютную (АФЧХ), так и относительную (ОФЧХ) ФЧХ КМЗВ. Абсолютная ФЧХ отражает полное значение разности фаз воздействия и отклика (постоянный фазовый сдвиг за счет разнесения во времени процессов записи-воспроизведения может быть при этом исключен). Относительная ФЧХ отражает изменения фазы сигнала на заданной частоте по отношению к фазе сигнала на любой другой опорной частоте, начальная фаза которой принимается равной нулю. Таким образом, относительная ФЧХ отражает относительные изменения в фазовом спектре сигнала, т. е. фазовые искажения  $\gamma(\omega)$ , и не учитывает постоянных фазовых сдвигов.

**Методы измерения АФЧХ КМЗВ.** *Прямой метод* заключается в измерении ФЧХ на основе методов измерения ФЧХ четырехполюсников с постоянными параметрами (рис. 7.1, а). Метод применяется при наличии в АМЗ сквозного тракта и рекомендуется для измерения на частотах не выше 100—150 Гц. Точность измерения ФЧХ — порядка 10 эл. градусов.

*Компенсационный метод* требует установки в АМЗ комбинированного блока головок, состоящего из ГЗ и ГВ1, а также специальной головки ГВ2 (рис. 7.1, б) с широким магнитопроводом, обеспечивающим воспроизведение двух дорожек одновременно [4]. Для измерения ФЧХ на носитель записывают сигнал заданной частоты (переключатель П в положение 1). Затем носитель переворачивают так, чтобы записанный сигнал воспроизводился ГВ1 и одновременно записывался на параллельную дорожку ГЗ (П — в положение 2). Сигнал с обеих дорожек воспроизводится ГВ2 и поступает на нуль-индикатор НИ. При использовании индукционной ГВ2 и отсутствии фазовых искажений сигналы с обеих дорожек находятся в противофазе и индикатор показывает нуль. Нулевые показания индикатора достигаются введением в записываемый ГЗ сигнал дополнительного фазового сдвига с помощью фазовращателя ФВ, а результат измерения считывают по его лимбу. Метод требует установки в аппарате специальных магнитных головок и поэтому не полностью отражает ФЧХ конкретного АМЗ.

*Двухдорожечный метод* (рис. 7.1, в) предполагает запись на две отдельные дорожки измерительного гармонического сигнала частоты  $\omega_0$  и коротких опорных импульсов с периодом  $T = 2\pi/(n\omega_0)$ , соответствующих нуль-пересечениям измерительного сигнала на входе КМЗВ. При воспроизведении сравнивают моменты перехода через нуль измерительного и опорного сигналов с помощью измерителя временных интервалов и по формуле  $\Delta\varphi = (\Delta T/T)360^\circ$  определяют искомый фазовый сдвиг. Метод применим только в многорожечных аппаратах. Ошибка измерения растет пропорционально частоте измерительного сигнала и составляет от единиц до десятков электрических градусов.

**Методы измерения ОФЧХ КМЗВ.** *Двухчастотный метод* позволяет измерять ФЧХ в однорожечных АМЗ [4]. При измерении двухчастотный сигнал с кратными частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2 = n\omega_1$  записывается ГЗ на одну дорожку (рис. 7.1, г). В процессе регистрации каждая из частотных составляющих получает определенный фазовый сдвиг; с частотой  $\omega_1 \rightarrow \Delta\varphi(\omega_1)$  и с частотой  $\omega_2 \rightarrow \Delta\varphi(\omega_2)$ . При воспроизведении ГВ из измерительного сигнала выделяются фильтрами гармонические составляющие с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Затем частоту  $\omega_1$  умножением приводят к частоте  $\omega_2$ , на которой промышленным фазометром ФМ измеряют фазовый сдвиг

$$\Delta\varphi(\omega_{1,2}) = n\Delta\varphi(\omega_1) - \Delta\varphi(\omega_2),$$

где  $\Delta\varphi(\omega_1, \omega_2)$  — измеряемое  $\Phi M$  значение фазового сдвига на частоте  $\omega_2$  по отношению к частоте  $\omega_1$ ;  $\Delta\varphi(\omega)$  — абсолютный фазовый сдвиг на частоте  $\omega$ ;  $n$  — отношение частот  $\omega_2/\omega_1$ .

При приведении частоты  $\omega_2$  к частоте  $\omega_1$  делением  $\Phi M$  измеряет величину  $\Delta\varphi(\omega_{2,1}) = \Delta\varphi(\omega_1) - \Delta\varphi(\omega_2)/n$ . Метод обеспечивает точность измерения от единиц эл. градусов на частотах до 100 кГц до десятков эл. градусов на частотах 1 МГц и выше.

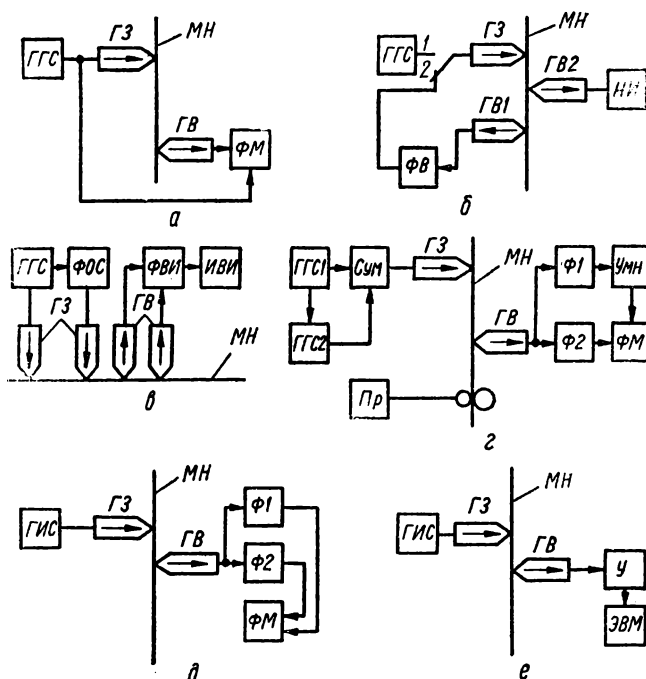


Рис. 7.1. Схемы для измерения ФЧХ КМЗВ по методам:

а — прямому; б — компенсационному; в — двухчастотному; г — двухчастотному; д — импульсному методу измерения ОФЧХ; е — то же, АФЧХ;

ГГС — генератор гармонических сигналов; МН — магнитный носитель; ФМ — фазометр; ФВ — фазовращатель; НИ — нуль-индикатор; ФОС — формирователь опорного сигнала; ФВИ — формирователь временных интервалов; ИВИ — измеритель временных интервалов; Сум — сумматор; Умн — умножитель (делитель) частоты сигналов; Ф1, Ф2 — разделительные фильтры; ГИС — генератор импульсных сигналов; У — усилитель

Для анализа источников фазовых искажений бывает необходимо разделить фазовые сдвиги, принципиально зависящие от длины волны записи  $\lambda \rightarrow \varphi(2\pi/\lambda)$  и частоты  $\varphi(\omega)$ . В этом случае можно использовать модификации двухчастотного метода, разработанные для применения многоскоростных АМЗ.

Для измерения ФЧХ КМЗ (рис. 7.1, г) [9] на МН записывают набор пар гармонических сигналов кратных частот от двух синхронизированных генераторов, выбранный в соответствии с желаемым диапазоном измерения ФЧХ КМЗВ. Воспроизведенный ГВ сигнал разделяется фильтрами Ф1 и Ф2 и частота одного из них путем умножения или деления приводится к частоте другого, на которой с помощью ФМ производятся измерения. Для обеспечения измерений во всем интересующем диапазоне частот при воспроизведении ско-

рость носителя меняется таким образом, чтобы все воспроизводимые пары сигналов приводились к частотам одной, например первой, пары. Это устраняет влияние характерных для КМВ частотно-зависимых компонент фазовых искажений на результаты измерений. Аналогично построена и методика измерения ЧХФ КМВ, в которой исключаются характерные для КМЗ компоненты фазовых искажений, зависящие от длины волны записи  $\lambda$  (рис. 7.1,з). При измерениях на носитель записывается на скорости  $V_3$  одна пара гармонических сигналов кратных частот ( $\lambda_1 = \text{const}$ ,  $\lambda_2 = \text{const}$ ). При первом воспроизведении на скорости  $V_{\text{восп1}} = V_3$  гармонические сигналы также разделяются фильтрами  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$  и приводятся к одной частоте, на которой измеряют разность фаз. Затем скорость воспроизведения меняют так, чтобы  $V_{\text{восп}k} = V_3 k$ , где  $k = 2, 3, \dots$ , и повторяют измерения для частот, определяемых соотношениями скоростей при записи и при воспроизведении  $k = V_{\text{восп}}/V_3$ .

В Киевском политехническом институте предложен метод измерения ОФЧХ КМЗВ с помощью записи импульсных сигналов, выполняемой как в линейном режиме, так и при записи с насыщением (рис. 7.1,д). Последнее особенно удобно при исследовании АЦМЗ. При измерениях на носитель записывают импульсный сигнал с периодом  $T$  и длительностью импульсов  $T/3$  (это соотношение удобно для проведения измерений). Воспроизведенный сигнал поступает на разделительные фильтры для выделения первой и второй гармоники с частотами соответственно  $\omega_1 = 2\pi/T$  и  $\omega_2 = 2(2\pi/T)$ . Затем одну из частот приводят к другой, как при двухчастотном методе измерений, и измеряют фазовый сдвиг между ними. Изменение длительности импульсов и периода их следования позволяет перекрыть весь диапазон частот записи-воспроизведения данного АМЗ. Если вместо разделительных фильтров применить ЭВМ, то по этой схеме можно измерять и АФЧХ КМЗВ путем разложения отклика КМЗВ в ряд Фурье с последующим вычислением фазового спектра (рис. 7.1,е).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басовский В. Ф. Транзисторные преобразователи напряжения. Киев, Техніка, 1974. 140 с.
2. Бургов В. А. Физика магнитной звукозаписи. М., Искусство, 1973. 495 с.
3. Видеомагнитофон «Электроника-Л1-08» / И. М. Александров, Н. Н. Дмитриев, В. П. Ковцов и др.— Техника кино и телевидения, 1975, №5, с. 45—50.
4. Вичес А. И., Смирнов В. А.— В кн.: Вопросы магнитной записи электрических сигналов. М., Связь, 1973, вып. 2, с. 24—37.
5. Гитлиц М. В. Магнитная запись в системах передачи информации. М., Связь, 1978. 304 с.
6. Ефимов Е. Г. Магнитные головки. М., Энергия, 1976. 78 с.
7. Екояма К. Фундаментальное исследование видеомагнитофонов. — В кн.: Проблемы магнитной записи. М., Энергия, 1975, с. 99—135.
8. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К., Юрасов В. С. Автоматическое регулирование в магнитной записи. Киев, Техніка, 1979. 166 с.
9. Ивасенко В. А., Монаков Ю. М., Свяченый В. Д.— Техника средств связи. Сер. ОТ, 1978, вып. 2 (10), с. 44—51.
10. Картьяну Г. Частотная модуляция. Бухарест, Меридианэ, 1961. 538 с.
11. Константинеску В. Н. Газовая смазка. М., Машиностроение, 1968. 709 с.
12. Корноухов П. В. Корректирующие цепи усилителей звуковой частоты. Киев, Техніка, 1965. 265 с.
13. Лишин Л. Г. Магнитная запись цветных изображений. М., Энергия, 1979. 120 с.

14. Лишин Л. Г. Труды ВНИИТР, 1965, вып. 13, с. 29—40.
15. Малов А. Н., Законников В. П. Обработка деталей оптических приборов. М., Машиностроение, 1974. 304 с.
16. Микроэлектродвигатели для систем автоматики/Э. А. Лодочников, Ф. М. Юферов, В. Б. Аненков и др. М., Энергия, 1969. 272 с.
17. Моин В. С., Лаптев Н. Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М., Энергия, 1972. 512 с.
18. Новый принцип построения студийных аппаратов магнитной записи звука.— Техника кино и телевидения, 1976, № 2, с. 83—84.
19. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Под ред. Г. А. Монахова. М., Машиностроение, 1974. 598 с.
20. Овчинников И. Е., Лебедев Н. И. Бесконтактные двигатели постоянного тока. Л., Наука, 1979. 270 с.
21. Пневматическая система автоматического кассетного видеомагнитофона на АСR-25 фирмы АМРЕХ. Всесоюзный центр переводов научн.-техн. лит. и документации. Перевод № П—50316. М., 1975. 35 с.
22. Раковский В. В. Измерения в аппаратуре записи звука кинофильмов. М., Искусство, 1962. 403 с.
23. Рыжков В. А., Сергеев Н. П., Раков Б. М. Внешние ЗУ на магнитном носителе. М., Энергия, 1978, 403 с.
24. Свойства современных магнитных лент для вычислительной и инструментальной техники/Ю. А. Василевский, Л. И. Зеленина, Н. М. Немировская, С. С. Субботин.— Техника кино и телевидения, 1974, № 8, с. 59—62.
25. Свойства современных магнитных лент для записи звука и видеозаписи/Ю. А. Василевский, Л. И. Зеленина, Н. М. Немировская, С. С. Субботин.— Техника кино и телевидения, 1974, № 7, с. 15—19.
26. Спиридонов Н. С. Основы теории транзисторов. Киев, Техніка, 1975. 360 с.
27. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под ред. Н. Н. Горюнова. М., Энергия, 1976. 744 с.
28. Техника магнитной видеозаписи/А. В. Гончаров, В. И. Лазарев, В. И. Пархоменко, А. Б. Штейн. М., Энергия, 1978. 400 с.
29. Травкин С. П., Филиппов В. В., Люшкин В. В. Магнитные ферритовые видеоголовки: материалы и особенности конструирования.— Обзоры по электронной технике, 1978. Сер. 6. Материалы, вып. 5 (549). 36 с.
30. Травников Е. Н. Механизмы аппаратуры магнитной записи. Киев, Техніка, 1976. 476 с.
31. Физические основы магнитной звукозаписи/А. А. Вроблевский, В. Г. Корольков, Я. А. Мазо и др. М., Энергия, 1970. 422 с.
32. Цифроаналоговые системы автоматического управления/В. М. Трохин, В. М. Перельмутер, В. И. Энтина и др. Киев, Техніка, 1979. 160 с.
33. Шахгильдян В. Н., Ляховкин А. А. Система фазовой автоподстройки частоты. М., Связь, 1972. 447 с.
34. Stellavox. Швейцария. Новые магнитофоны SQ7. SP8 № 72977401. На нем. яз., б. г. 2 с.
35. Stellavox. Швейцария. Приставка к профессиональному магнитофону SP-7, 1973. На нем. яз., б. г. 2 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие (В. И. Антонов) . . . . .	3
<b>Глава 1. Основные характеристики аппаратуры магнитной записи</b>	
1. Характеристики канала магнитной записи-воспроизведения (КМЗВ) (канд. техн. наук О. В. Порицкий) . . . . .	7
2. Основные параметры АМЗ (А. Т. Сытник) . . . . .	32
<b>Глава 2. Магнитные головки и носители магнитной записи</b>	
1. Магнитные головки (П. М. Михалец) . . . . .	45
2. Носители магнитной записи (канд. техн. наук В. Т. Колищук) . . . . .	58
<b>Глава 3. Механизмы транспортирования носителя</b>	
1. Механизмы транспортирования ленты (Е. Н. Травников) . . . . .	96
2. Механизмы транспортирования ленты видеомагнитсфонов (канд. техн. наук И. А. Слуцкий) . . . . .	133
3. Модернизация МТЛ (В. М. Шнян) . . . . .	148
4. Тенденции развития МТЛ современной АМЗ (В. И. Антонов) . . . . .	156
5. Накопители на магнитных дисках (Е. К. Гловацкий) . . . . .	162
<b>Глава 4. Приводы механизмов транспортирования носителя</b>	
1. Электродвигатели и электромагниты (Л. П. Водяницкий) . . . . .	180
2. Пневматические системы МТЛ (Е. Н. Травников) . . . . .	198
3. Системы автоматического регулирования МТЛ (В. П. Веклич) . . . . .	212
<b>Глава 5. Технология изготовления электромеханических узлов АМЗ (д-р техн. наук А. П. Гавриш)</b>	
1. Изготовление основных механических устройств . . . . .	224
2. Изготовление блоков магнитных головок . . . . .	232
<b>Глава 6. Радиоэлектронные устройства в АМЗ</b>	
1. Усилители и генераторы в тракте прямой магнитной записи-воспроизведения (канд. техн. наук В. С. Голуб) . . . . .	245
2. Тракты модуляционной точной магнитной записи (канд. техн. наук Л. С. Гордеев) . . . . .	257
3. Особенности трактов магнитной видеозаписи (канд. техн. наук А. Д. Калужный) . . . . .	267
4. Тракты цифровой магнитной записи (канд. техн. наук Г. Н. Розорин) . . . . .	275
5. Устройства управления и автоматки (А. М. Ольшанский) . . . . .	289
6. Электропитающие устройства АМЗ (Н. Н. Демченко) . . . . .	293
<b>Глава 7. Настройка, испытания и измерения в АМЗ</b>	
1. Настройка и испытания АМЗ (А. М. Слуцкий, А. Т. Сытник) . . . . .	309
2. Измерения фазовых искажений в АМЗ (канд. техн. наук О. А. Янушевский) . . . . .	314
Список литературы . . . . .	317



АНТОНОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ  
ВЕКЛИЧ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ  
ВОДЯНИЦКИЙ ЛЕОНИД ПЕТРОВИЧ  
ГАВРИШ АНАТОЛИЙ ПАВЛОВИЧ, д-р техн. наук  
ГЛОВАЦКИЙ ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ  
ГОЛУБ ВЛАДИСЛАВ СЕРГЕЕВИЧ, канд. техн. наук  
ГОРДЕЕВ ЛЕВ СТЕПАНОВИЧ, канд. техн. наук  
ДЕМЧЕНКО НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ  
КАЛЮЖНЫЙ АЛЕКСЕЙ ДМИТРИЕВИЧ, канд. техн. наук  
КОЛИЩУК ВИКТОР ТЕРЕНТЬЕВИЧ, канд. техн. наук  
МИХАЛЕЦ ПЕТР МИХАЙЛОВИЧ  
ОЛЬШАНСКИЙ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ  
ПОРИЦКИЙ ОЛЕГ ВАСИЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук  
РОЗОРИНОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук  
СЛУЦКИЙ АЛЕКСАНДР МОИСЕЕВИЧ  
СЛУЦКИЙ ИМАНУИЛ АВРАМОВИЧ, канд. техн. наук  
СЫТНИК АЛЕКСАНДР ТИМОФЕЕВИЧ  
ТРАВНИКОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ШИЯН ВИТАЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ  
ЯНУШЕВСКИЙ ОЛЕГ АНТОНОВИЧ, канд. техн. наук

## **СПРАВОЧНИК ПО ТЕХНИКЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ**

Под редакцией О. В. Порיצкого, Е. Н. Травникова

Редактор *Л. О. Полянская*

Оформление художника *Л. А. Дикарева*

Художественные редакторы *Л. А. Дикарев, В. С. Шапошников*

Технический редактор *Н. А. Бондарчук*

Корректоры *Н. А. Стрелец, Т. Е. Царинская*

Информ. бланк № 1254

Сдано в набор 01.10.80. Подписано в печать 13.05.81. БФ 02331.

Формат 60 × 90<sup>1/16</sup>. Бумага типогр. № 2. Гарн. лит.

Печ. выс. Усл. печ. л. 20. Уч.-изд. л. 26,11.

Тираж 55000 экз. Зак.422. Цена 1 р. 50 к.

Издательство «Техника», 252601, Киев, 1, ГСП, Крещатик, 5.

Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе-310057, Харьков-57, Донец-Захар-  
жевская, 6/8.