

ФЕРРИТОВЫЕ МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЗВУКОЗАПИСИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В. САЧКОВСКИЙ, г. Санкт-Петербург

В первой части статьи рассмотрены конструкции ферритовых магнитных головок, выпускаемых в СНГ серийно: указаны их параметры, отмечены особенности применения. В последующих частях описана технология изготовления головок, приведены дополнительные методики измерения параметров головок и рекомендации по регулировке магнитофонов с такими головками. Эти сведения будут полезны радиолюбителям и специалистам, занимающимся ремонтом и конструированием аппаратуры магнитной записи звука.

Эпоха доминирования кассетных магнитофонов, вероятно, подходит к концу. Однако учитывая экономические соображения и наличие у населения огромного количества фонограмм на компакт-кассетах, можно предположить, что в нашей стране она продлится и, по крайней мере, еще 15–20 лет кассетные магнитофоны будут служить своим владельцам.

На страницах "Радио" уже появлялись публикации, посвященные магнитным головкам (МГ) для звукозаписи [1, 2]. И все же информации, в частности о ферритовых МГ, к сожалению, явно недостаточно. За последние десять лет можно припомнить лишь несколько материалов о ферритовых головках, появившихся в [3, 4, 5]. Более того, в некоторых материалах [1, 2] были допущены неточности, приводящие к серьезным проблемам при их использовании.

Автор попытался дать более полную информацию о ферритовых МГ, выпускаемых в настоящее время, и рассказать об

особенностях их применения в кассетных магнитофонах.

Как под общим названием "металлические" МГ подразумеваются головки из разных материалов (пермаллой, сендаст, аморфные сплавы), так и под названием "ферритовые" (или "стеклоферритовые") МГ имеются в виду головки из разных материалов с различной технологией изготовления, что существенно влияет на их параметры и эксплуатационные свойства. Для отечественных МГ информация о материалах и технологии изготовления заключена в двузначном числе – номере модификации – после точки в условном обозначении МГ. Определенным технологиям и материалам соответствуют конкретные области номеров модификаций; это было стандартизовано еще в 70-х годах и, за редким исключением, действует сейчас (табл. 1). Зарубежные фирмы маркируют головки по самым разным (зачастую закрытым) внутрифирменным стандартам, поэтому необходимую информацию из

обозначения зарубежной МГ извлечь практически нельзя.

Самое очевидное достоинство ферритовых МГ — их долговечность — определяется материалом рабочей поверхности. Различают ферриты поликристаллической и монокристаллической структуры. Поликристаллические ферриты, применяемые для изготовления МГ, получают либо по технологии горячего прессования – горячепрессованные ферриты (ГПФ), либо по технологии изостатического прессования (ИПФ) или "Oxostat". При изостатическом прессовании сжатие пресс-порошка происходит равномерно со всех сторон, при горячем же прессовании – только в одном направлении. В результате пористость ГПФ марки 10000 МТ-1 не превышает 0,5%, а феррита мар-

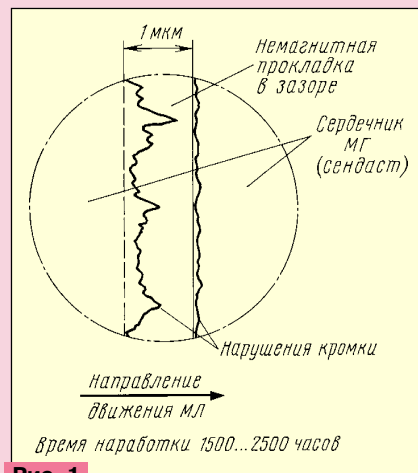


Рис. 1

ки 10000 МТ-2 (ИПФ) – не более 0,1%. Широко применяемый для изготовления стирающих головок прессованный (на стадии формовки) феррит М1500НМ3 ([1]) имеет пористость до 5% и более. Пористость материала определяет не только износ самой МГ, но, что важнее, и износ рабочего слоя магнитной ленты (МЛ). Рабочая поверхность стирающих головок (для таких магнитофонов, как "Орбита-205" из обычного феррита с пористостью до 20% представляет собой, по сути, "терку", нещадно обдирающую рабочий слой МЛ (вспомните горки порошка на лентопротяжном механизме). Только в МГ типа 6С24.710 применен ИПФ, обеспечивающий малый износ МЛ (в [1] неточно указано, что материал получен горячим прессованием).

Монокристаллические ферриты (МКФ) получают, используя технологию выращивания искусственных рубинов и сапфиров по методам Вернейля, Чохральского или Бриджмана. Первые два метода более производительные, но кристаллы получаются менее качественные, поэтому чаще применяют метод Бриджмана [6, 7]. Выращивание кристалла (так называемой "були") весом 8 кг вместе с охлаждением занимает около 20 дней. Монокристалл является анизотропным материалом и при изготовлении МГ требует ориентации по кристаллографическим осям.

Характер износа рабочей поверхности из ГПФ или ИПФ и монокристалла весьма различен. На рабочую поверхность головки воздействуют абразивность МЛ,

Таблица 1

Завод-изготовитель или разработчик магнитной головки, город	Материал рабочей поверхности МГ	Номера модификаций	Примечание
ВКБМЗ, г. Вильнюс	Сендаст, пермаллой	01 – 20	1
НПО "Маяк", г. Киев	Пермаллой	21 – 30	
НПО "Исток", г. Фрязино Моск. обл.	Пермаллой	31 – 40	2
"Весна", г. Запорожье	Сендаст	31 – 40	3
З-д "Техприбор", г. С.-Петербург	Пермаллой	41 – 50	-
ПО "Электрон", г. Ереван	Горячепрессованный феррит (ГПФ)	51 – 60	-
З-д "Эльф а", г. Вильнюс	Пермаллой	61 – 70	-
"Магнетон", г. С.-Петербург	Монокристаллический феррит (МКФ)	71 – 80 (17)	4
ПО "Монолит", г. Новосибирск	Сендаст	81 – 90	-
ПО "Горизонт", г. Боровичи	Пермаллой, сендаст	91 – 99	
ПО ЭВТ, г. Пенза	Горячепрессованный феррит (ГПФ)	01	3; 5

1 – МГ под этими номерами изготавливаются также на других заводах по документации ВКБ МЗ.
 2 – МГ для катушечных магнитофонов.
 3 – МГ для кассетных магнитофонов.
 4 – МГ типа ЗА44.171 (ошибочное обозначение), также ЗД12.171.
 5 – МГ типа ЗД24.012 (произвольное обозначение).

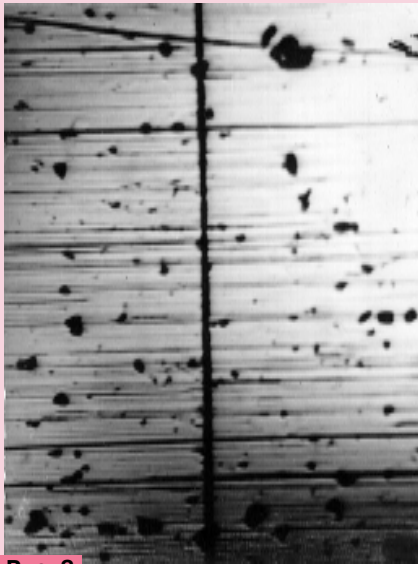


Рис. 2

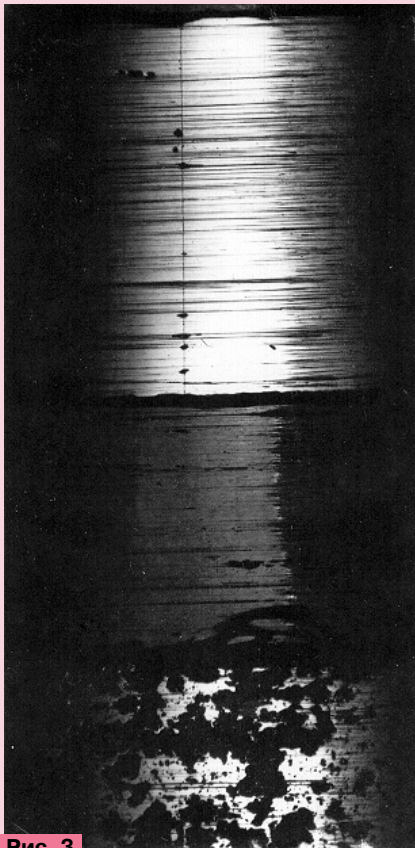


Рис. 3

адгезия (прилипание) к МЛ, тепловое и электростатическое воздействие фрикционного происхождения (особенно в аппаратах скоростной перезаписи), а также удары от микровключений в рабочем слое МЛ (характерно для отечественных и изношенных зарубежных МЛ). Если пермаллоевые головки, как наиболее мягкие, отказывают вследствие изменения формы рабочей поверхности (“пропиливаются”), сендастовые – от потери линейности кромок, заволакивания зазора под действием адгезии (рис. 1), то головки из ГПФ (в большей степени) или из ИПФ (в меньшей степени) изнашиваются за счет эрозии, выкрашивания зерен поликристалла. Раз-

мер зерен в ГПФ — 15...30 мкм, в ИПФ — 10...15 мкм. Эрозия происходит от воздействия электростатических сил, температурных микронапряжений и ударов микровключений по наиболее слабым участкам – границам зерен. На рабочем зазоре образуется “рытвина” шириной 10...30 мкм. Единичные выкрашивания быстро переходят в массовые, и головка отказывает. При глубине зазора 60...80 мкм восстановление таких головок затруднено. Кроме того, края “рытвин” царапают рабочий слой ленты, приводя к увеличению уровня шумов.

В отличие от головок на основе ГПФ и ИПФ износ головок из МКФ носит преимущественно абразивный характер, эрозия (т.е. вырыв частичек материала) практически не наблюдается. Вначале происходит износ более мягкого стекла, заполняющего зазор, образовавшаяся лунка обнажает кромки зазора, затем – “завал” кромок, приводящие к постепенному расширению эффективной ширины зазора. Важно, что головка на основе МКФ сохраняет поверхность магнитных лент зеркальной даже тогда, когда сама головка сильно изношена.

Кстати, последствия умеренного износа головок из МКФ легко устраняются без снятия с магнитофона путем прогона полировальной ленты (электрокорунд с зерном 10 мкм), нарезанной по ширине 3,81 или 6,3 мм. Такая лента выпускается многими заводами (в С.-Петербурге – ЛОМО, завод “Магнетон”). Время прогона – 1...2 мин. При полировке снимается слой толщиной всего 2...4 мкм, что полностью восстанавливает параметры МГ (при полировке через каждые 30 с проводится контроль АЧХ до полного ее восстановления). Благодаря этому МГ из МКФ можно изготавливать с глубиной зазора всего 40...60 мкм. После прогона полировальной ленты имеет смысл несколько часов погонять магнитофон на малоценной ленте с повышенной абразивностью (Sound Breeze или ТАСМА МК 60-7) для финишной доводки поверхности.

Хорошо известно, что при работе магнитофона по 2 ч в день пермаллоевые головки отказывают через 1,5...2 года, сендастовые – через 2...2,5 года, МГ из ГПФ или ИПФ – через 2...4 года. Для сравнения: МГ из МКФ служат 6...10 лет, и притом легко восстанавливаются. В аппаратах скоростной перезаписи срок службы уменьшается пропорционально увеличению скорости и ежедневной наработке, кроме МГ из ГПФ или ИПФ, которые отказывают быстрее (особенно головки записи). Неожиданная особенность: головки из МКФ с лентой МЭК II (CrO_2) обычно работают дольше, чем с лентой МЭК I ($\Sigma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). На рис. 2 показан характер разрушения зазора образца головки ЗД24.712 из ГПФ 10000 МТ-1 после 1000 ч наработки, а на рис. 3 – зазор головки 6В24.710 из МКФ после 5000 ч наработки. Рядом (снизу) виден изъеденный эрозией межканальный экран из ГПФ.

Электромагнитные параметры головок приведены в табл. 2. По головкам ЗД24.012 (ПО ЭВТ, г. Пенза) и 6А24.510 и 6В24.510 (г. Ереван) даны паспортные данные, по остальным – реальные, измеренные на большом количестве головок. Приведены условия измерения в соответствии с [8]. Коэффициент шунтирования $K_{ш}$ характеризует

потери в магнитной головке и рассчитывается по формуле

$$K_{ш} = E/E_{ид},$$

где E – электродвижущая сила (ЭДС) реальной головки, мВ; $E_{ид}$ – ЭДС головки без потерь, мВ.

В общем случае

$$E_{ид} = 2l \cdot f \cdot \Phi_0 \cdot h \cdot W \cdot 10^3,$$

где f – частота измерения, Гц;

Φ_0 – эффективное значение магнитного потока короткого замыкания на 1 м ширины дорожки по [9], Вб/м;

h – ширина дорожки, м;

W – число витков.

Подставляя значения, получаем для кассетных магнитофонов при $f = 315$ Гц, $\Phi_0 = 250$ нВб/м, $h = 0,6$ мм, $W = 1000$ витков

$$E_{ид} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ В};$$

а для катушечных магнитофонов при $h = 0,94$ мм

$$E_{ид} = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ В}.$$

Амплитудно-частотная характеристика воспроизведения (АЧХВ) головки без потерь, $D_{Рид}$, дБ, рассчитывается по формуле

$$D_{Рид} = 20 \lg(f_{изм}/f) + N_{изм},$$

где $f_{изм}$ – номинальная частота измерения АЧХВ, Гц (верхняя частота);

f – опорная частота, равная 315 Гц;

$N_{изм}$ – относительный уровень записи на номинальной частоте измерения по [9], дБ.

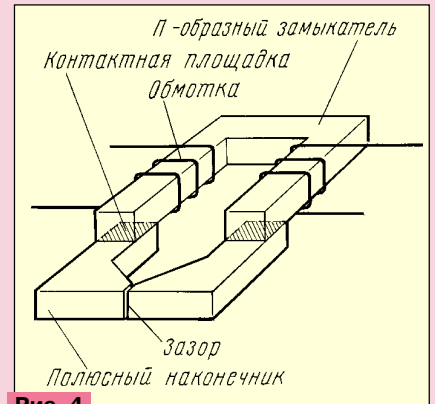


Рис. 4

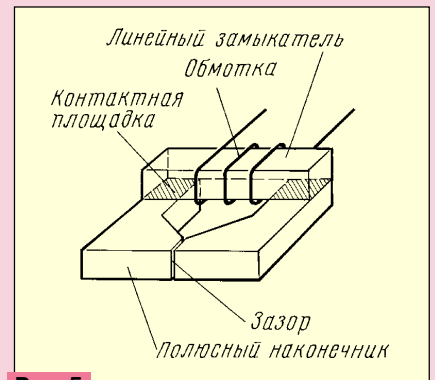


Рис. 5

В табл. 2 не приведены данные по стирающим головкам (ГС). Это связано с тем, что параметры ГС для катушечных магнитофонов приведены в [1], а отечественные ГС для кассетных магнитофонов не представляют интереса, поскольку изготавливаются из прессованного феррита и нещадно обдирают ленту. Кроме того, эти головки не работают с лентой МЭК IV

Таблица 2

Тип головки	Индуктивность, сопротивление, мГн (Ом)	Число витков	ЭДС (f=315 Гц), мВ	K _ш	Воспроизведение				Запись				Примечание
					f _{ном} , кГц	При t ₁ , мкс	D _{ном} , дБ	D _р , дБ	Тип МП по МЭК	Спад АЧХ записи, дБ	Ток записи, мА	Ток подм., мА	
3Д24.712	85...115 (200...220)	1050	0,17...0,24	0,55...0,77	10	120	12,5	7...10	I	9...12	0,05...0,11	0,15...0,2	Исполнение "Мини"
									II	2,5...6	0,08...0,16	0,25...0,4	
									I	15...19	0,05...0,11	0,15...0,2	
									II	9...13	0,08...0,16	0,25...0,4	
3Д24.752У	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,21	0,5...0,62	10	120	12,5	5...8	I	9...12	0,05...0,1	0,14...0,22	То же
									II	2,5...6	0,07...0,15	0,23...0,45	
3Д24.752	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,21	0,5...0,62	10	120	12,5	5...8	I	9...12	0,05...0,1	0,14...0,22	
									II	2,5...6	0,07...0,15	0,23...0,45	
3Д24.751	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,2	0,5...0,59	14	70	17	9...11	I	10...19	0,06...0,11	0,14...0,22	
									II	3...9	0,07...0,16	0,23...0,45	
3Д24.750	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,19	0,5...0,56	18	70	17	7...10	I	11...20	0,06...0,11	0,14...0,22	
									II	3...10	0,07...0,16	0,14...0,45	
3Д12.172	100...140 (220...240)	1150	0,3...0,6	0,34...0,68	10	120	12,5	5...11	I	9...12	0,13...0,28	0,35...0,57	Моно
3А24.751	17...25 (95...110)	525	-	-	14*	-	-	-	I	9...15	0,1...0,25	0,3...0,55	Для скор. перезаписи
									II	3...9	0,12...0,35	0,5...1	
3А44.171	3,8...7,0 (26...28)	200	-	-	14*	-	-	-	I	9...15	0,25...0,7	0,75...1,3	То же
									II	3...9	0,3...0,9	1,3...2,5	
6Д24.711	50...100 (100...140)	1000	0,27...0,35	0,58...0,75	14	90	15	7...14	I	6...12	0,09...0,2	0,35...0,45	
6В24.710	300...500 (380...450)	2000	0,48...0,7	0,51...0,75	14	90	15	10...14	-	-	-	-	
6А24.710	1,9...3,1 (3...4)	200	-	-	14**	-	-	-	I	2...10	0,4...1,2	2...4	
6В24.510	≤500	-	0,48...0,88	-	14	90	15	10...16	-	-	-	-	
6А24.510	1,65...2,75	-	-	-	14**	-	-	-	I	Нет данных	0,1...1	2...3,5	
3Д24.012	90...170	-	0,16...0,36	-	10	120	12,5	5...9	I	То же	0,055...0,125	0,08...0,16	

* Режим записи на скорости 4,76 см/с.

** Режим записи на скорости 9,05 см/с.

("Metal"). Качественное размагничивание таких лент – тема отдельной статьи.

Есть особый класс стирающих головок, применяемых в дешевых зарубежных аппаратах, — головки на постоянном магните. Сердечник из высокоэлектрического феррита намагничивают по специальному закону, получая знакопеременное спадающее магнитное поле. Число полюсов от трех до десяти и более. Качество стирания невысокое: повышенные шумы и нелинейные искажения. У нас такие головки используются в магнитофонах "Электроника-402С", "Электроника-331С" и их модификациях (производство в г. Зеленограде и г. Воронеже).

Что же касается головок для записи и воспроизведения, то завод "Магнетон" (г. С.-Петербург) выпускал их с магнитоприводом как из ГПФ или ИПФ, присваивая им индекс "П", так и из МКФ с индексом "М". С середины 80-х годов по результатам испытаний головки выпускаются только из МКФ. ПО ЭВТ (г. Пенза) выпускало головки из ГПФ 10000 МТ-1 (феррит производства завода "Магнетон"). Ереванский завод выпускает го-

ловки из ГПФ собственного изготовления. Ферритовые головки, поступающие на наш рынок из-за рубежа, практически все, даже считающиеся высокочастотными (Hitachi, Sony, JVC), изготовлены из ГПФ или, в лучшем случае, из ИПФ.

Ферритовые головки (табл. 2) изготавливаются по двум конструктивным схемам (рис. 4, 5): с "П"-образным и с линейным замыкателями. Первая конструкция имеет больший объем перемагничиваемого материала, что приводит к повышенной нелинейности воспроизведения сигналов с малым уровнем записи ("ферритовому звуку"), но зато позволяет разместить обмотку с большим числом витков. Применяется в головках для катушечных магнитофонов. Вторая же конструкция (рис. 5) обеспечивает хорошую линейность при воспроизведении, но число витков при этом ограничено размерами окна под обмотку и внешними габаритами МГ. Одно время считалось, что при такой конструктивной схеме невозможно получение приемлемой величины ЭДС МГ. Однако проведенный автором детальный расчет магнитной цепи по уточненной методике выявил область конструктивных параметров, в которой

МГ по такой схеме конкурентоспособны. Это позволило впервые создать ферритовые МГ для кассетных магнитофонов, отличающиеся отсутствием "ферритового звука" при воспроизведении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полев Ю. Магнитные головки катушечных магнитофонов. — Радио, 1989, № 12, с. 84.
2. Сухов Н. Магнитные головки для кассетных магнитофонов. — Радио, 1995, № 5, с. 15—17.
3. Мелешкин Н. Замена магнитной головки. — Радио, 1988, № 10, с. 36.
4. Колотило Д. Восстановление магнитных головок. — Радио, 1988, № 11, с. 38.
5. Федичкин С. Полевой транзистор во входном каскаде малошумящего УЗЧ. — Радио, 1988, № 10, с. 30.
6. Смит Г. Драгоценные камни. — М.: Мир, 1984, с. 186 — 195.
7. Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. — М.: Мир, 1974.
8. Головки магнитные для звукозаписи. Общие технические условия. ГОСТ 19775—87. — М.: Госкомстандарт.
9. Ленты магнитные измерительные лабораторные и технологические для бытовых и автомобильных магнитофонов. Общие технические условия. ОСТ4.306.002-86. — М.: ВНИИ.

(Продолжение следует)

ФЕРРИТОВЫЕ МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЗВУКОЗАПИСИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В. САЧКОВСКИЙ, г. Санкт-Петербург

Технология изготовления кассетной двухканальной головки в общем виде сводится к следующему:

— на полублок (рис. 6) напыляют так называемые ограничители нормированной толщины в зависимости от требуемой ширины рабочего зазора. Далее полублоки спаивают стеклом. В щель, образованную ограничителями, стекло

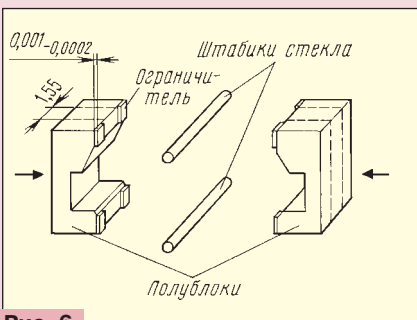


Рис. 6

затекает капиллярно. Затем из спаянной заготовки вырезают блоки размерами 1,55 мм (ширина двух каналов), на каждом блоке прорезают паз под межканальный экран (рис. 7), вклеивают межканальный экран и сошлифовывают перемычку (рис. 8, 9).

Закончив склейку элементов, образующих рабочую поверхность, заготовку шлифуют по радиусу (рис. 10), при этом выдерживают глубину зазора 40...60 мкм. После разбраковки полюсных наконечники со сформированным зазором готовы к сборке.

Достоинство такой трудоемкой технологии состоит в том, что параллельность и соосность зазоров блока стереоголовок обеспечивается автоматически.

Более простой способ — "поэлементная" сборка: головки каналов, экран и остальные элементы изготавливают отдельно, а затем "стопкой" либо

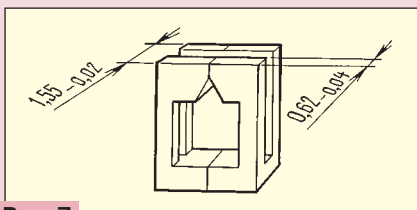


Рис. 7

склеивают, либо спаивают стеклом. Но такая простота, как говорится, «выходит боком»: соблюсти соосность и параллельность зазоров практически невозможно. По этой технологии производились головки в Пензенском ПО ЭВТ, в частности ЗД24.012.

Основные области применения головок из МКФ:

— аппараты для скоростной перезаписи, работающие на скоростях выше номинальной. Токи подмагничивания, в зависимости от скорости, имеют частоту от 200 кГц до 2 МГц;

— высококачественные бытовые магнитофоны, рассчитанные на долгий срок службы и стабильно высокое качество работы;

— магнитофоны среднего класса (1—2-й групп сложности), которые за счет применения таких головок не только выигрывают в долговечности, но также улучшают качество звучания [3].

Конечно, возможны и крайности: установка головки ЗД24.751 в магнитофонную панель весьма низкого класса (в магнитоле "Мелодия-106") вместо МГ типа BRG ЗД24.N (Венгрия) совершенно преобразило звучание (как говорят, "не узнать!")

Необходимо также учитывать, что головки, приведенные в табл. 2, не пишут на МЛ МЭКIV ("Metal").

При подсчете затрат можно принять, что одна головка из МКФ по долговечности эквивалентна трем из сендаста

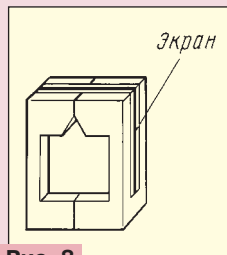


Рис. 8

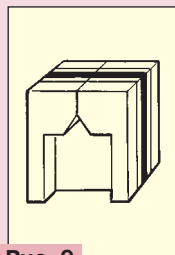


Рис. 9

(срок ограничен полным износом магнитофона). Если покупать на заводе, то стоимость одной головки типа ЗД24.750 колеблется от 20 до 24 рублей в зависимости, где покупать — в отделе сбыта завода "Магнетон" или в магазине завода. На рынке к этому прибавляется "накрутка" дилеров.

При настройке магнитофонов с ферритовой головкой проявляются особенности, связанные со свойствами приме-

няемого материала: так, ток подмагничивания в 2...2,5 раза меньше, чем у металлических головок, а высокая добротность приводит к резкому влиянию резонансных явлений на процесс настройки. Параметры ферритов, применяемых для изготовления МГ, приведены в табл. 3. Для сравнения даны параметры некоторых магнитных сплавов (по другим материалам см. также в [10, 11]).

Перед установкой МГ желательно определить ее индуктивность $L_{МГ}$, собственную емкость $C_{МГ}$ и добротность $Q_{МГ}$. Раньше завод-изготовитель в паспорте на МГ давал индивидуальные значения $L_{МГ}$, ЭДС, а также токов записи и подмагничивания. Теперь в паспорте приводятся лишь неоправданно расши-

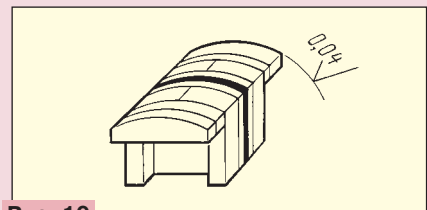


Рис. 10

ренные пределы их значений, что при существенной стоимости головок вызывает только недоумение. Если значения токов можно усредненно взять из табл. 2, то индуктивность требуется определить поточнее. Можно рекомендовать следующую методику измерения $L_{МГ}$, $C_{МГ}$. Схема измерения приведена на рис. 11.

Индуктивность магнитной головки $L_{МГ}$ образует колебательный контур с суммарной емкостью $C_{\Sigma} = C_{МГ} + C_{\text{пар}} + C_{\text{доп}}$, где $C_{МГ}$ — собственная емкость головки; $C_{\text{пар}}$ — емкость монтажа; $C_{\text{доп}}$ — дополнительная емкость. Для измерения желательно иметь 4—5 номиналов $C_{\text{доп}}$ от 5 до 80 пФ, известных с точностью не хуже 5 %, это непосредственно влияет на точность измерения. Допуск на R1 и R2, входная емкость и входное сопротивление милливольтметра не критичны. Подключение к МГ лучше всего производить с помощью гнезд от подходящего малогабаритного разъема (например, от РГ35-3М и т. п.). Провод подключения к МГ и выводы R1, $C_{\text{доп}}$ должны иметь минимальную длину для уменьшения $C_{\text{пар}}$.

Требуемая погрешность установки частоты генератора составляет 1...2 %, Таблица 3

Материал	μ_n	$B_{\text{макс}}$, Тл	H_c , А/м (Э)	ρ , Ом·м (Ом·см)	T_c , °С	P_s , %	H_v
Феррит ППФ 10000 МТ-1	10000	0,37	5 (0,064)	10^{-1} (10)	150	0,5	650
Феррит ИПФ 10000 МТ-2	10000	0,37	5 (0,064)	10^{-1} (10)	150	0,1	650
Феррит МКФ 6000 МК	6000	0,43...0,50	2,4...4,0 (0,03...0,05)	$2,5 \cdot 10^{-3} \dots 16 \cdot 10^{-3}$ (0,25...1,6)	150	—	650
Сендаст 10СЮВИ	30000	0,98	4,0 (0,05)	10^{-8} (10^6)	500	—	500
Сендаст 10СЮТ	10000	1,0	0,8 (0,01)	10^{-7} (10^5)	500	—	500
Аморфный металлический сплав (АМС)	120000	0,7	0,32 (0,004)	$1,26 \cdot 10^{-6}$ ($1,26 \cdot 10^4$)	315	—	965

Обозначения:

μ_n — начальная магнитная проницаемость;
 $B_{\text{макс}}$ — индукция при $H=800$ А/м;
 H_c — коэрцитивная сила;

ρ — удельное сопротивление;
 T_c — температура Кюри;
 P_s — пористость;
 H_v — твердость по Виккерсу.

выходное напряжение в диапазоне 20...200 кГц — не менее 3 В. Необходимая чувствительность милливольтметра — 3 мВ.

Подключая по очереди конденсаторы $C_{доп}$ разных номиналов, начиная с малых значений, отсчитывают резонансную частоту контура по минимальному показанию милливольтметра при

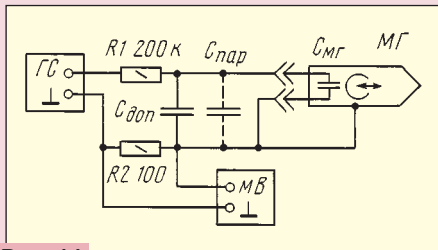


Рис. 11

изменении частоты генератора. Преобразуя известную формулу, получаем

$$C_{\Sigma} = (2,53/L_{МГ}) \times 10^4 / f_{рез}^2$$

где C_{Σ} — суммарная емкость, пФ; $L_{МГ}$ — индуктивность, Гн (для ферритовых головок в данном диапазоне частот величина практически постоянная); $f_{рез}$ — резонансная частота, кГц.

Отсюда следует, что между C_{Σ} и $1/f_{рез}^2$ имеется линейная зависимость, по которой можно определить $C_{МГ}$. Делается это следующим образом [12]:

— для каждого использованного номинала $C_{доп}$ подсчитывается величина $10^4/f_{рез}^2$ (см. пример в табл. 4);

— строится график (рис. 12), где по оси абсцисс откладываются значения $C_{доп}$, а по оси ординат — $10^4/f_{рез}^2$.

По полученным точкам проводится прямая до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения и дает значение $(C_{МГ} + C_{пар})$. При длине соединений между $R1$, $C_{доп}$ и МГ меньше 2 см емкость $C_{пар}$ может быть принята равной 2 пФ. В приведенном примере $(C_{МГ} + C_{пар}) = 13$ пФ. Отсюда находим $L_{МГ} = 2,53 / (C_{МГ} + C_{пар}) \times 10^4 / f_{рез}^2 = 2,53 / (13 \times 0,485) = 0,0944$ Гн; $C_{МГ} = 13 - 2 = 11$ пФ.

Измеренные значения $C_{МГ}$ для разных экземпляров головок типа ЗД24.750 — ЗД24.752 лежат в пределах 7...20 пФ. Эта емкость отличается для разных каналов и изменяется в зависимости от подключения общего провода к одному либо к другому выводу МГ.

Для металлических головок этот метод определения собственной емкости и индуктивности оказывается непригоден из-за их низкой добротности и, как следствие, сильной частотной зависимости индуктивности.

Точное измерение $Q_{МГ}$ в любительских условиях затруднено. В общем случае добротность контура Q определяют по резонансной кривой (см. [12]):

$Q = f_{рез} / (f_{макс} - f_{мин})$,
где $f_{рез}$ — частота резонанса, кГц;
 $f_{мин}$ и $f_{макс}$ — частоты, при которых напряжение на контуре падает до уровня $0,707U_{макс}$, кГц.

Точность измерения зависит от сте-

Таблица 4

$C_{доп}$, пФ	0	5	10	20	30	40
$f_{рез}$, кГц	146,6	124	110	92	80,5	72,5
$1/f_{рез}^2 \cdot 10^4$	0,485	0,65	0,826	1,187	1,54	1,9

пени шунтирования контура входными сопротивлениями измерительных приборов, точности отсчета $0,707U_{макс}$ и частот $f_{рез}$, $f_{мин}$ и $f_{макс}$. Для измерений с погрешностью до 5% при $Q = 20...40$ необходимо, чтобы сопротивление шунтирования было не менее 10 МОм, а величины $f_{рез}$, $f_{мин}$, $f_{макс}$, $0,707U_{макс}$ измерялись с погрешностью не более 0,2%. По схе-

$$R_{рез} = Q_{МГ} \sqrt{L_{МГ} / C_{\Sigma}}$$

$$R_s = 10^6 (R_{рез} / Q_{МГ}^2)$$

где $R_{рез}$ — резонансное сопротивление, МОм;
 $L_{МГ}$ — индуктивность головки, Гн;
 C_{Σ} — суммарная емкость, пФ;
 R_s — активное сопротивление потерь, Ом.
Для желающих разобраться подробнее рекомендуем [13].

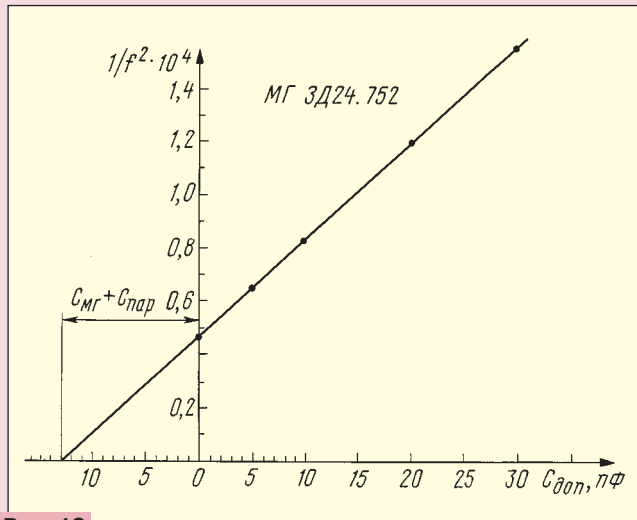


Рис. 12

ме рис. 11 сопротивление шунтирования примерно равно $R1$, что дает уменьшение Q на 50...70%.

Использование полевых транзисторов, имеющих большое входное сопротивление, заставляет принимать меры по защите от статического электричества (статический потенциал напряжения на руках оператора относительно земли может достигать 20 кВ!).

В практической работе можно ориентироваться на данные измерений, приведенные в табл. 5. Измерения проводились как в диапазоне верхних звуковых частот, так и в диапазоне частот тока подмагничивания. Погрешность измерений — около 5%. При измерениях использовались конденсаторы с малыми потерями, а $C_{МГ}$ и $C_{пар}$ были приняты с большим допущением равными 15 и 6 пФ соответственно. Это допущение и набегающая при вы-

Таблица 5

Тип МГ	Канал	C_{Σ} , пФ	$f_{рез}$, кГц	Q	$L_{МГ}$, мГн	$R_{рез}$, кОм	R_s , Ом		
ЗД24.750	1	21*	104,5	8,5	110,3	616	8526		
		530	20,6	20	112,6	291	728		
		720	17,7	19,7	112,2	246	634		
		810	16,7	18,8	112	221	625		
		1150	13,9	18,5	113,9	184	538		
	1910	10,65	17,8	115,7	139	437			
	2	21*	105,5	8,5	108,2	610	8155		
		530	21	21	108,2	300	680		
		720	17,8	20	110,3	248	618		
		810	16,9	18,8	108,7	218	616		
1150		13,9	18,5	113	183	536			
1910	10,7	17,8	115,7	139	437				
ЗД24.751	1	21*	121	8,1	82,3	507	7730		
		1150	16,2	18,1	86,5	157	479		
		1910	12,5	15,6	84,9	106	434		
		2460	11,1	13,9	83,2	81	418		
		21*	120	8,2	83,7	518	7700		
	2	1150	16	16	86	138	540		
		1910	12,3	16,4	87,6	111	413		
		2460	11	14,7	85	86	400		
		ЗД24.752	1	21*	112,7	6,8	95	457	9883
				1150	14,7	14,1	101,8	133	667
1910	11,38			15	102,3	110	488		
2460	10,2			14,6	98,9	81	434		
21*	115,2			6,8	90,8	447	9670		
2	1150	15,4	14,7	92,8	132	611			
	1910	11,9	14	93,5	97	500			
	2460	10,65	13,3	90,7	81	457			
	ЗД24.211	2	1325	15	3,3	84,9	26,4	2427	

* Принято: $C_{МГ} = 15$ пФ; $C_{пар} = 6$ пФ.

числениях погрешность дали разброс значений индуктивности $L_{МГ}$, которые рассчитывались по формуле, приведенной ранее. Резонансное сопротивление параллельного колебательного контура $R_{рез}$ и активное сопротивление потерь R_s рассчитывались по формулам [12]:

Анализ полученных данных показывает следующее: добротность уменьшается при более широком зоре МГ и при увеличении C_{Σ} , оставаясь очень высокой (десятки единиц) в области верхних звуковых частот. На частотах тока подмагничивания добротность ферритовых головок также довольно большая (на металлической МГ меньше единицы, замерить не удастся). При этом $R_{рез}$ такое, что в случае совпадения частоты $f_{рез}$ с частотой тока подмагничивания в режиме записи выставить номинальные токи подмагничивания при обычной схеме их подачи становится невозможным (получается "перебор"). R_s ферри-

товых МГ значительно меньше, чем у металлических МГ, например типа ЗД24.211 ("Маяк"), особенно на средних и высших частотах (200 Ом против 3...5 кОм!). Этим объясняется существенно меньший уровень тепловых шумов у ферритовых головок.

Таблица 6

Частота, Гц	Относительный уровень записи магнитного потока короткого замыкания, дБ		Относительная АЧХ * воспроизведения головки без потерь, D _{рид} , дБ	
	τ ₁ =70 мкс	τ ₁ =120 мкс	τ ₁ =70 мкс	τ ₁ =120 мкс
315	0	0	0	0
400	-0,1	-0,2	2	1,9
25	7	7,1	-15	-14,9
31,5	5,4	5,6	-14,6	-14,4
40	4,1	4,2	-13,9	-13,7
63	2,1	2,3	-11,9	-11,7
80	1,4	1,6	-10,5	-10,4
125	0,6	0,7	-7,4	-7,3
250	0,1	0,2	-1,9	-1,9
500	-0,2	-0,7	3,8	3,4
1000	-0,8	-1,8	9,3	8,2
2000	-2,5	-5	13,5	11
4000	-6,2	-9,9	15,9	12,2
6300	-9,4	-13,6	16,6	12,4
8000	-11,3	-15,6	16,8	12,5
10 000	-13,1	-17,5	16,9	12,5
12 500	-15	-19,4	17	12,6
14 000	-15,9	-20,4	17	12,6
16 000	-17,1	-21,5	17,1	12,6
18 000	-18,1	-22,6	17,1	12,6
20 000	-19	-23,5	17,1	12,6
22 000	-19,8	-24,3	17,1	12,6

* τ₂=3180 мкс.

Перед тем, как перейти к конкретным вопросам оптимизации параметров и регулировки магнитофонов с ферритовыми головками, необходимо напомнить некоторые термины и положения, принятые в технике магнитной записи звука. Опорная частота, принятая 315 Гц (раньше, до 01.07.88 г., номинальная частота — 400 Гц), позволяет сравнивать результаты измерений [8]. На этой частоте измеряется ЭДС головок при воспроизведении, АЧХ также измеряется по отношению к этой частоте. Для этого применяется сигналограмма, записанная в соответствии с рекомендациями Международной Электротехнической Комиссии (МЭК). АЧХ магнитного потока короткого замыкания этой сигналограммы N, дБ, рассчитывается по формуле [14]:

$$N = 20 \lg \sqrt{\frac{1+1/(2\pi f\tau_2)^2}{1+(2\pi f\tau_1)^2}}$$

где f — частота, Гц;
τ₁, τ₂ — постоянные времени, с.

Относительный уровень записи магнитного потока короткого замыкания рассчитывается как разница между N(f) и N(315 Гц), где 315 Гц — опорная частота. Численные значения относительного уровня записи приведены в [9]. По этим значениям рассчитывается D_{рид} головки без потерь. В табл. 6 приведены расчетные значения относительного уровня записи (опорная частота 315 Гц, τ₂ = 3180 мкс, τ₁ = 70 и 120 мкс).

Частотная коррекция канала воспроизведения, т. е. тракта головка—усилитель воспроизведения (УВ), должна обеспечить выполнение требований к неравномерности АЧХ в заданном диапазоне частот. Таким образом, стандартизация зависимости АЧХ N(f), предложенная Хеегардом в пятидесятых годах, приводит к стандартизации АЧХ канала воспроизведения. Выбор

распределения предсказаний между каналами записи и воспроизведения сделан, как сказано в [15], "исходя из частотной характеристики остаточного магнитного потока записанной фонограммы, которую можно получить при существующих лентах и разумной величине предсказаний в усилителе записи". С одной стороны, это позволяет обмениваться записями, но с другой — сдерживает разработку и применение новых, "нестандартных" магнитных лент. Причины выбора конкретных значений τ₁ и τ₂ мы здесь рассматривать не будем.

ее ход реальных волновых характеристик отличается некоторым "уплощением" вершины и более пологим спадом в области высоких частот. Это можно было бы объяснить клиновидностью зазора, как показано в [16], но измерения ширины зазора этого не выявили (в пределах точности измерения). Наиболее вероятное объяснение этого — изменение магнитной проницаемости материала в зоне зазора из-за диффузии стекла в сердечник (что можно представить параллельной работой нескольких зазоров разной ширины). АЧХ в области нижних частот лежит примерно на 1 дБ выше D_{рид} и на рис. 13 не детализирована.

ЛИТЕРАТУРА

10. Терещук Р., Терещук К., Седов С. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. — Киев.: Наукова думка, 1982, с. 28 — 30, 33 — 37.

11. Крюкова В., Лукьянова Н., Павлов Е. Состояние и перспективы развития магнитных головок из металлических сплавов. Обзоры по электронной технике. Серия 6, "Материалы". Вып. 4 (1961). — М.: ЦНИИ "Электроника", 1983.

12. Кронегер О. Сборник формул для радиолюбителя. — М.: Энергия, 1964, с. 44 — 53.

13. Асеев Б. Основы радиотехники. — М.: Связьиздат, 1947, с. 71 — 74.

14. Магнитофоны бытовые. Общие технические условия. ГОСТ 24863—87. — М.: Госкомиздат, с. 6.

15. Корольков В., Лишин Л. Электрические схемы магнитофонов. — М.: Энергия, 1967, с. 42, 43.

16. Парфентьев А., Пуссэт Л. Физические основы магнитной записи звука. — М.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1957, с. 177 — 179.

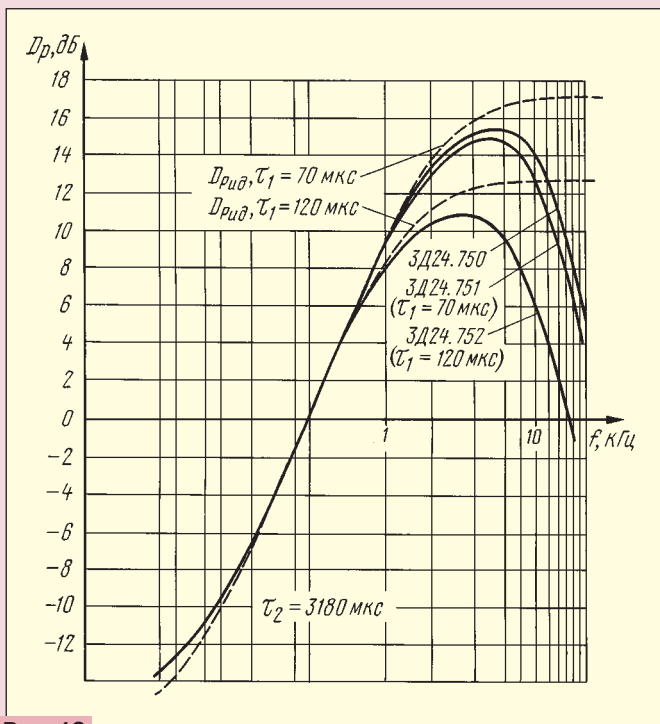


Рис. 13

В табл. 6 приведены значения D_{рид} АЧХ головки без потерь, а на рис. 13 показан ее вид вместе с АЧХ головок типов ЗД24.752 (τ₁ = 120 мкс), ЗД24.751 и ЗД24.750 (τ₁ = 70 мкс). Высокая чистота рабочей поверхности головок позволяет получить малые контактные потери. Кстати, благодаря "скользкости" поверхности МГ, они практически не загрязняются и не требуют частой чистки. Высокие магнитные свойства монокристаллического феррита обеспечивают ничтожно малые потери на токи Фуко и перемагничивание материала. Тем не ме-

(Окончание следует)

ФЕРРИТОВЫЕ МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЗВУКОЗАПИСИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В. САЧКОВСКИЙ, г. Санкт-Петербург

Структурная схема канала воспроизведения показана на рис. 14. Усилитель воспроизведения имеет АЧХ, обратную АЧХ идеальной головки $D_{Pид}$ (см. рис. 13), а коррекция АЧХ на верхних звуковых частотах обычно осуществляется за счет резонанса последовательного контура, образованного индуктивностью $L_{МГ}$ и суммарной емкостью, состоящей из

— замена изношенной МГ на имеющемуся аппарате;
 — разработка канала воспроизведения с целью максимальной реализации возможностей ферритовых МГ, а именно — достижение малого уровня шума (благодаря малому $R_{вх}$, см. табл. 5), хорошей линейности при воспроизведении, широкой полосы воспроизводимых частот и

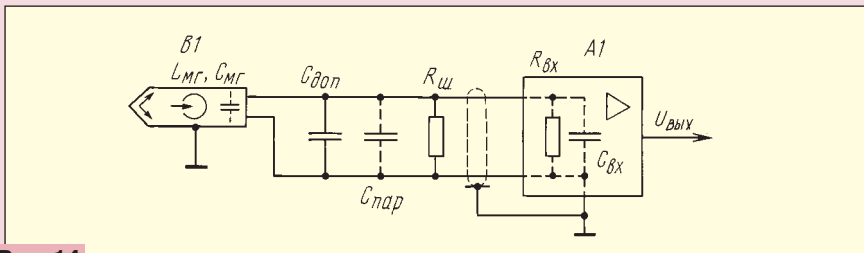


Рис. 14

$C_{МГ}$, емкости монтажа $C_{пар}$, входной емкости усилителя $C_{вх}$ и дополнительной емкости $C_{доп}$. Напряжение на суммарной емкости, т.е. на входе УВ, для такого контура на частоте резонанса увеличивается в Q раз, где Q — добротность контура. Подъем АЧХ на частоте резонанса от уровня сигнала без учета резонанса равен $20 \lg Q$, дБ. Из-за шунтирующего действия $R_{вх}$ и $R_{ш}$ добротность уменьшается. Влияние $R_{вх}$ без учета потерь в суммарной емкости с достаточной точностью можно оценить по формуле

$$Q_{ш} = Q \cdot R_{вх} / (R_{рез} + R_{вх}),$$

где Q — исходная добротность МГ (см. табл. 5);

$R_{вх}$ — входное сопротивление УВ, кОм;

$R_{рез}$ — резонансное сопротивление (см. табл. 5), кОм;

$Q_{ш}$ — добротность шунтированного контура.

Так, при $Q = 15$, $R_{рез} = 150$ кОм, $R_{вх} = 100$ кОм получаем $Q_{ш} = 6$, т.е. подъем АЧХ на 15,6 дБ. При $R_{вх} = 1000$ кОм, $Q_{ш} = 13$ (подъем АЧХ на 22,3 дБ). Благодаря высокому качеству поверхности МГ из МКФ реально требуемый подъем АЧХ составляет всего от 6 до 10 дБ, что соответствует $Q_{ш} = 2...3$. Рассчитать приблизительную величину $R_{ш}$, необходимую для получения желаемой добротности, можно по формуле

$$1/R_{ш} = (Q - Q_{ш}) / (Q_{ш} R_{рез}) - 1/R_{вх},$$

где $R_{ш}$ — шунтирующее сопротивление, кОм;

$Q_{ш}$ — требуемая добротность шунтированного контура;

$R_{рез}$ — сопротивление по табл. 5, кОм;

$R_{вх}$ — входное сопротивление усилителя, кОм.

Так, для $Q_{ш} = 3$ (подъем АЧХ не более 10 дБ) при $Q = 15$, $R_{рез} = 150$ кОм, $R_{вх} = 100$ кОм, $R_{ш} = 60$ кОм; для $R_{вх} = 1000$ кОм — $R_{ш} = 39$ кОм.

Можно выделить две задачи, при решении которых целесообразно использование ферритовых МГ:

хороших импульсных характеристик.

Последняя задача сводится к разработке "совместимого" усилителя воспроизведения, имеющего собственные шумы не хуже $-65...-70$ дБ и низкие интермодуляционные искажения. УВ должен устойчиво работать с высокодобротными МГ (большинство существующих УВ возбуждаются при отсутствии $R_{ш}$). Добавочно накладывается требование возможности работы на удвоенной скорости для перезаписи. Это требует изменения величины суммарной емкости с $1300...630$ пФ при $L_{МГ} = 100$ мГн (верхняя частота $14...20$ кГц) на $320...160$ пФ (верхняя частота на удвоенной скорости $28...40$ кГц). Если $C_{МГ} = 11$ пФ, $C_{пар} = 20...40$ пФ, то при большой входной емкости УВ получение хорошего качества на удвоенной скорости становится невозможным. Изменение суммарной емкости достигается двумя способами:

— переключением конденсатора $C_{доп}$;

— электронным регулированием $C_{вх}$.

Подробное описание вариантов электронного регулирования $C_{вх}$ и анализ влияния динамической емкости даны в [17], но предложенный там вариант УВ имеет уровень шумов -58 дБ, что явно недостаточно. Гораздо лучшие параметры имеет усилитель на полевых транзисторах с р-п переходом, описанный в [5]. Возможно, параллельное включение N однотипных малошумящих поле-

вых транзисторов, при котором ЭДС собственных шумов уменьшается в \sqrt{N} раз, позволяет разработать "совместимый" УВ для кассетного магнитофона с уровнем шума ниже -70 дБ (головки из МКФ это позволяют). Но вопрос использования удвоенной скорости остается открытым — велика динамическая входная емкость.

Определим верхнюю частоту $f_{верх}$ для разных типов выпускаемых ферритовых МГ, исходя из требования необходимой неравномерности АЧХ канала воспроизведения. Типовые АЧХ каналов воспроизведения для трех типов МГ без учета коррекции на верхних частотах показаны на рис. 15. Эти АЧХ получены по данным для МГ ЗД24.750 — ЗД24.752 (см. рис. 13). Накладывая на эти кривые при разных спадах АЧХ резонансные кривые входного контура, можно убедиться, что приемлемая неравномерность суммарной АЧХ получается, если за $f_{верх}$ принять частоту, на которой спад АЧХ без коррекции не превышает -10 дБ. Для ЗД24.752 $f_{верх} = 14...16$ кГц, для ЗД24.751 $f_{верх} = 16...18$ кГц, а для ЗД24.750 $f_{верх} = 18...20$ кГц. На рис. 15 приведены резонансные кривые от уровня -10 дБ на частоте 20 кГц при $Q_{ш}$, равной 10 , 3 и 2 , а также вид суммарной АЧХ канала воспроизведения. Как видно, оптимальная коррекция верхних частот для МГ ЗД24.750 происходит при величине $Q_{ш}$ между 2 и 3 .

Поэтому при установке ферритовой МГ в магнитофон, если в УВ есть регулировка коррекции верхних частот (кроме формирования стандартных постоянных времени τ_1 и τ_2), и/или цепи положительной обратной связи для увеличения добротности входного контура [17] нужно вывести их регулировки на минимум. После этого параллельно МГ надо подключить в качестве $R_{ш}$ малогабаритный подстроечный резистор с номиналом в пределах $80...100$ кОм, установив его максимальное значение и отключив имеющийся в УВ шунтирующий резистор.

При установке МГ, кроме обычно проверяемых наклона (азимута), центровки и "кивка" головки, необходимо проверять глубину вхождения МГ в кас-

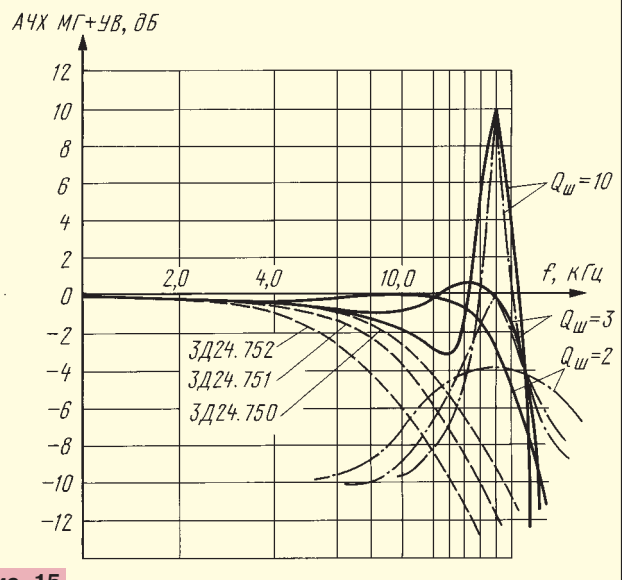


Рис. 15

(Окончание. Начало см. в "Радио" 1998, № 3, 4)

сету. Из-за чрезмерного прижима ленты к рабочей поверхности, кроме повышенного износа МГ, возникают и фрикционные "свисты", особенно если рабочая поверхность загрязнена следами клея от липкой ленты, которой приклеиваются ракорды.

Проверку удобнее всего проводить с помощью кассеты, в верхней крышке которой сделан вырез в том месте, где головка входит в кассету. Зона контакта рабочей поверхности с магнитной лентой должн лежать в пределах 3,5...4,5 мм симметрично по отношению к зазору.

Если при включении аппарата УВ возбуждается, необходимо уменьшить величину $R_{ш}$ до исчезновения возбуждения.

Верхняя частота берется либо равной $f_{\text{верх}}$ конкретного типа МГ, либо занижается, если магнитофон не обеспечивает необходимой стабильности азимута движения магнитной ленты или УВ имеет ограничение по верхней частоте. Настройка входного контура на эту частоту производится подбором $C_{\text{доп}}$. Ввиду высокой износостойкости головок из МКФ (износ 3 мкм за 1000 ч) подстройки в процессе эксплуатации не требуется.

Частота резонанса определяется по максимуму выходного сигнала УВ при подаче магнитного поля сигнала в зазор МГ с помощью катушки на рамке-формирователе по [9]. Каркас такой рамки имеет размеры 8×75×3 мм, число витков — 20±5 проводом ПЭВ 0,2. Сигнал с генератора подается через ограничительный резистор 100 Ом. Этот способ не требует нежелательных паяк на платах магнитофона. Магнитное поле в зазор можно также подавать с помощью гибкого проводника, наклеенного на рабочую поверхность МГ в области зазора (клеить удобно спирторастворимым клеем типа БФ-6).

Наиболее удобно настройку на $f_{\text{верх}}$ и АЧХ канала воспроизведения производить с помощью сигналограммы измерительных лент типа ЗЛИТ1.С.4-120 [9], состоящей из пачек частотных посылок. Частота повторения пачек 18 Гц, длительность одной частотной посылки не менее 3 мс, пауза между посылками 1 мс, максимальная частота 14 кГц. Частота резонанса определяется с помощью осциллографа по максимальной амплитуде соответствующей частотной посылки. Если же $f_{\text{верх}}$ больше 14 кГц, либо такой измерительной ленты нет, то ее можно сформировать с помощью персонального компьютера. В память записывается ряд необходимых посылок, которые записываются на кассету с помощью хорошо настроенного магнитофона, имеющего достаточный частотный диапазон. Длительность посылок и частота повторения такие же, как у ЗЛИТ1.С.4-120. Число частотных посылок — до 10. При частоте дискретизации 44 кГц может быть получена максимальная частота до 20 кГц, при частоте дискретизации 54 кГц — до 24...25 кГц. Подойдет также лента типа ЗЛИМ.УНЧК.4 производства АО "Магнолия" (около \$8...10), на которой есть все необходимые сигналы (для проверки АЧХ, детонации, номинального уровня, баланса и т.д.).

После настройки входного контура на $f_{\text{верх}}$ выставляют номинальный уровень на линейном выходе и соответствующие показания индикаторов в режиме воспроизведения. Для этого необходима измерительная лента с сигналограммой опорной частоты номинального уровня. Регулировку линейности АЧХ производят подстроечным резистором $R_{ш}$, который затем заменяют на постоянный. При использовании самодельной измерительной ленты для регулировки АЧХ необходимо следить за тем, чтобы уровень записи был на уровне -20 дБ. Для этого при записи на эталонном магнитофоне входное напряжение уменьшают в 10 раз по отношению к номинальному. При достаточном опыте регулировку АЧХ допустимо выполнить и без измерительной ленты по схеме на

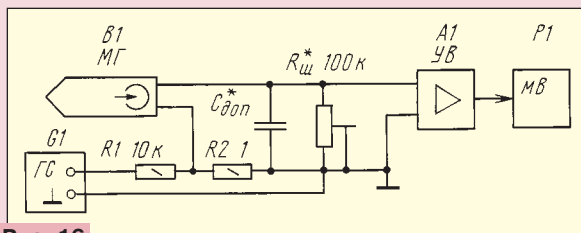


Рис. 16

рис. 16, выставляя подъем верхних частот равным спаду типовых АЧХ (см. рис. 15). Вполне удовлетворительно можно подстроить АЧХ, установив $R_{ш}$ с сопротивлением, рассчитанным по данным табл. 5 для $Q_{ш} = 2$ при известном $R_{вх}$. Настройка "на слух" с использованием музыкальных фонограмм, как правило, дает отрицательные результаты из-за маскировки самых высокочастотных сигналов среднечастотными и различия в качестве и спектральном балансе записей. В то же время $R_{вх}$ легко удается измерить, например, компенсационным методом.

Оценка нелинейности канала воспроизведения обычно требуется при разработке УВ или при сравнении МГ из разных материалов. Если такая потребность возникнет, рекомендуется проводить оценку нелинейности методом разностного тона Twin-Ton-Test [18]. При этом на вход подают два испытательных сигнала одинаковой амплитуды с отношением частот 1:1,06. Если амплитуда продуктов их интермодуляции составляют 4,7% от амплитуды испытательных сигналов, то это соответствует коэффициенту $K_3 = 3\%$ для одного из испытательных сигналов.

Для получения хорошего звука, как это давно обосновано за рубежом и наконец-то признано и у нас [19], необходимо добиваться получения коэффициента интермодуляционных искажений $K_и$ меньше 0,003%. На практике качественную оценку $K_и$ проводят, подавая магнитное поле испытательных сигналов в зазор МГ, как было описано ранее. Частоту сигналов при этом удобно выбирать от $f_{\text{верх}}$ до $f_{\text{верх}}/2$ с разностью между ними в 0,5...1 кГц. Амплитуду сигналов увеличивают от нуля до номинального уровня на линейном выходе УВ. Если при акустическом прослушивании такой комбинации, лучше на высококачественные головные телефоны, начинает прослушиваться разностный

тон, это означает, что $K_и$ становится больше 0,003% [18; 19]. Для более точной оценки $K_и$ необходим анализатор спектра.

Как уже отмечалось, благодаря минимальному объему перемагничиваемого материала, нормированию коэрцитивной силы H_c и хорошим высокочастотным свойствам материала, кассетные головки из МКФ имеют достаточно низкую нелинейность при воспроизведении: меньшую, чем у сендастовых головок и сравнимую с лучшими пермаллоевыми головками. Однако при записи на МЛ типа IV МЭК наблюдаются явления, связанные с насыщением кромок рабочего зазора. Результаты исследования такого эффекта приведены в [20], где показано, что увеличение поля в зазоре H_G (в эрстедах, Э) свыше значения, соответствующего половине величины индукции насыщения $B_{\text{нас}}$ (в гауссах, Гс), приводит к насыщению кромок рабочего зазора. Как следствие, расширяется зона записи, увеличиваются потери и возрастают нелинейные искажения. Там же приводится эмпирическая формула для определения необходимого поля в зазоре H_G (Э) при ширине зазора g (мкм), требуемой для записи с предельным уровнем сигнала с длиной волны λ (мкм) на носитель с коэрцитивной силой H_c (Э):

$$H_G = (1,7/g^{0,33} + 0,8\lambda/g^{0,78}) \times H_c.$$

В [20] также показано, что эта величина близка к оптимальной напряженности поля подмагничивания для записи с высокочастотным подмагничиванием.

Коэрцитивная сила H_c различных типов МЛ лежит в пределах [18]:

- 24...28 кА/м (300...350 Э) для МЛ типа I (Fe_2O_3);
- 35...40 кА/м (440...500 Э) для МЛ типа II (CrO_2 и его заменители);
- 80...120 кА/м (1000...1500 Э) для МЛ типа IV (Metal).

Отсюда необходимое поле в зазоре H_G (Э):

- для МЛ типа I при $f_{\text{верх}} = 14$ кГц ($\lambda = 4,76$ см/с ($10^4/14000$ Гц = 3,4 мкм) $g = 1,8$ мкм, $H_c = 940...1100$ Э;
- для МЛ типа II при $f_{\text{верх}} = 16$ кГц ($\lambda = 3,0$ мкм), $g = 1,5$ мкм, $H_c = 1400...1620$ Э;
- для МЛ типа IV при $f_{\text{верх}} = 20$ кГц ($\lambda = 2,38$ мкм), $g = 1,0$ мкм, $H_c = 3600...5400$ Э.

Для работы с МЛ типа I необходим материал с $B_{\text{нас}} > 2900$ Гс (0,29 Тл):

- с МЛ типа II — с $B_{\text{нас}} = 3250$ Гс (0,33 Тл);
- с МЛ типа IV — с $B_{\text{нас}} = 7200...10800$ Гс (0,72...1,08 Тл).

Сравнивая полученные значения для $B_{\text{нас}}$ с данными табл. 3, можно сделать вывод, что не только ферритовые МГ, но и металлические МГ не гарантируют записи без чрезмерных искажений на все имеющиеся МЛ типа IV. Сообщение о разработке МЛ для звукозаписи с $H_c = 160$ кА/м (2000 Э) в [18] увеличивает требование к $B_{\text{нас}}$ материала до $B_{\text{нас}} > 1,4$ Тл.

Существует конструкция ферритовой МГ, в которой для защиты кромок зазора от насыщения на внутренние стенки зазора нанесен слой металлического сплава с $B_{\text{макс}} > 1,4$ Тл толщиной 2...10 мкм. Это так называемые "MIG" головки ("Metal-In-Gap" — метал в зазоре) [21; 22]. Такие головки

довольно широко применяют в видеотехнике, но для целей звукозаписи наша (да и зарубежная) промышленность их практически не выпускает, вероятно, из-за ограниченного распространения лент типа IV (повышенная стоимость, а главное — отсутствие аппаратов, реализующих их достоинства).

Для серийно выпускаемой МГ типа ЗД24.750 с $g = 1$ мкм при записи сигнала с $f_{\text{верх}} = 20$ кГц на МЛ типа II необходим материал сердечника в зоне зазора с $V_{\text{макс}} > 0,36$ Тл, что выполнено с достаточным запасом (по табл. 3 у МКФ $V_{\text{макс}} = 0,43 \dots 0,5$ Тл). Поэтому утверждение, что “ферритовые головки... дают наибольший уровень нелинейных искажений (в режиме записи)” [2], применительно к головкам из МКФ представляется некорректным. Непосредственные измерения показывают обратное.

И наконец, о настройке усилителя записи при установке ферритовых МГ. При настройке канала записи в первую очередь необходимо убедиться, что частота подмагничивания $f_{\text{подм}}$ меньше резонансной частоты $f_{\text{рез}}$ контура, образованного индуктивностью МГ $L_{\text{мг}}$ и суммарной емкостью C_{Σ} , состоящей из собственной емкости МГ, выходных емкостей генератора и усилителя (фильтр-пробки) и емкости монтажа. Желательно, чтобы $f_{\text{подм}} < 0,8 f_{\text{рез}}$ или, по данным табл. 5, $f_{\text{подм}} < 84 \dots 96$ кГц. Если емкость $C_{\text{мг}}$ была измерена, как рассмотрено ранее, то можно получить более точное ограничение по величине $f_{\text{подм}}$. При $f_{\text{подм}} = f_{\text{рез}}$ контур $L_{\text{мг}}C_{\Sigma}$ работает как фильтр-резонатор, при этом любое температурное изменение величин $L_{\text{мг}}$ и C_{Σ} приводит к изменению тока подмагничивания, а его величина оказывается сильно завышенной. Если $f_{\text{подм}} > f_{\text{рез}}$, то ток подмагничивания шунтируется C_{Σ} и, если он регулируется не резисторами, а подстроенными конденсаторами, может резко возрасти нагрузка на генератор.

Из-за малых потерь подмагничивания для ферритовых МГ оптимальный ток оказывается в 2...3 раза меньшим, чем у металлических головок (при прочих равных условиях). Ток записи меньше, но незначительно. Это приводит к тому, что штатных регулировок для установки (уменьшения) тока подмагничивания не хватает, приходится либо вводить в разрыв цепи тока дополнительное сопротивление либо позволять уровень стирания, уменьшать напряжение питания генератора (что хуже). Если ток подмагничивания подается через разделительную емкость, то уменьшать ее не следует (лучше поставить последовательный резистор), чтобы не попасть еще и в последовательный резонанс этой емкости и индуктивности головки.

Особенно внимательно надо относиться к этому при установке записывающих МГ ЗА24.751 и ЗА44.171 на аппараты скоростной перезаписи. Если частота $f_{\text{подм}}$ более 200 кГц для ЗА24.751 и выше 500 кГц для ЗА44.171, регулировка тока подмагничивания

может оказаться невозможной из-за резонансных явлений. При настройке тока подмагничивания для МГ типа ЗА44.171 из-за проникания подмагничивания с соседнего канала иногда не хватает регулировок, уменьшающих ток подмагничивания (на частоте 500 кГц уровень проникания у этой МГ —30 дБ). С прониканием можно бороться, зашунтировав канал, где сказывается это явление, резистором 10 кОм.

Перед установкой оптимального тока подмагничивания целесообразно выбрать основной тип МЛ, с которой предполагается работать.

Выбор проводится обычно по соотношению “цена—качество”. Как прави-

Настройку на минимум искажений можно производить без селективного вольтметра, используя способ, описанный в [18]. Нелинейные искажения определяются по отклонению передаточной характеристики при записи сигнала опорной частоты от прямой линии (в логарифмическом масштабе в дБ). Отклонение на 0,5 дБ соответствует 3 % нелинейных искажений (рис. 17). Этот способ в [18] описан для катушечных магнитофонов, для кассетных магнитофонов требуется проверка точности получаемых результатов. Вообще говоря, опытный настройщик замечает искажения 3 % и более по искажению формы синусоиды.

После установки токов подмагничивания необходимо проверить линейность АЧХ во всем диапазоне частот. Возможно, потребуется уменьшение коррекции верхних частот в УЗ. Установка “нуля” индикаторов записи на номинальный уровень проводится, как обычно, после калибровки УВ по измерительной ленте или же исходя из перегрузочной способности МЛ (и УЗ) по компромиссу между шумами и искажениями.

Данная статья посвящена только серийным головкам, поэтому влияние таких конструктивных параметров, как ширина зазора, наличие заднего зазора и т. п., на качество записи здесь не рассматривалось.

В заключение одно предупреждение: из-за хороших высокочастотных и диэлектрических свойств материала ферритовые головки чувствительны к высокочастотным помехам от радиостанций, от искрения коллектора двигателя, а также от двигателей с импульсным управлением. Это требует тщательной развязки цепей их питания, в том числе и общего провода. Иногда для уменьшения помехи требуется поворот коллекторных двигателей вокруг оси (что обычно предусмотрено в конструкции магнитофонов), а когда это не помогает, приходится устанавливать медный высокочастотный экран под посадочной площадкой МГ. Если позволяет конструкция, лишние экранировать и кассетоприемник.

ЛИТЕРАТУРА

18. **Василевский Ю.** Носители магнитной записи. — М.: Искусство, 1989, с. 200—215, 231.
19. **Костин В.** Психоакустические критерии качества звучания и выбор параметров УМЗЧ. — Радио, 1987, № 12, с. 40—43.
20. **Джефферс Ф.** Магнитные головки для записи информации с высокой плотностью. — ТИИЭР, 1986, т. 74, № 11, с. 78—97.
21. **Jeffers F. J.** et al. A “MIG” — type head for magnetic recording. — IEEE Transactions on Magnetic, 1982, v. MAG-18, № 6, p. 1146—1148.
22. Analysis of Metal-in-Gap Heads. — IEEE Transactions on Magnetic, 1984, v. MAC-20, № 5, p. 872, 873.
23. **Карнауков Е.** Аудиокассеты. — Радио, 1995, № 8, с. 51, 52.
24. **Сухов Н.** 66 компакт-кассет на рынке СНГ. — Радио, 1993, № 10, с. 10—15.
25. Кассеты для магнитной записи звука. — Радио, 1991, № 4, с. 82, 83.

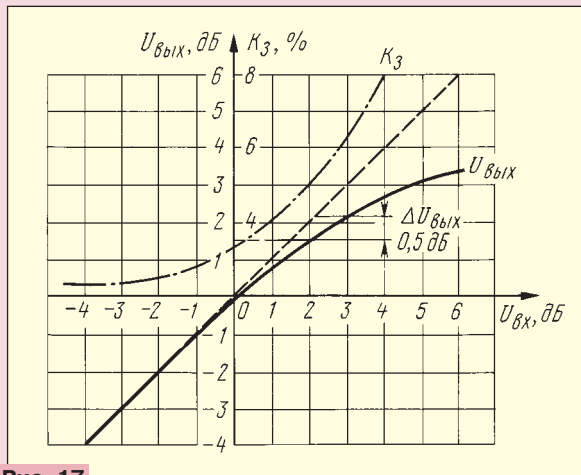


Рис. 17

ло, у каждого пользователя имеется апробированный, “привычный” тип МЛ, но при установке новой долговечной МГ можно использовать и другие типы, ориентируясь по данным [23, 24, 25]. По опыту неплохие результаты, особенно в отношении частотных характеристик, искажений и “прозрачности” звучания, показывают ленты, производимые не очень известной у нас корейской фирмой Sunkuoong Magnetics Corp. (торговая марка SKC).

Как уже отмечалось, раньше в индивидуальном паспорте на МГ приводились значения токов записи и подмагничивания, полученные для типовых МЛ — R723DG (МЭК I) и S4592A (МЭК II). По этим данным путем пересчета [23, 24] можно было определить токи для выбранного типа МЛ. Сейчас этих данных нет. Настройка оптимального тока $I_{\text{подм}}$ начинается с определения зоны регулирования и, при необходимости, установки дополнительного сопротивления. Для этого, уменьшая $I_{\text{подм}}$, находят точку, в которой сигнал частотой 6,3 кГц записывается с максимальным уровнем. Затем, увеличивая этот ток, уменьшают уровень на 1...3 дБ. Оптимальный ток устанавливают либо по минимальным шумам выбранного типа МЛ, либо по минимальным нелинейным искажениям при записи тона частотой 315 Гц. Эти значения обычно близки. Окончательная настройка зависит от возможности магнитофона. Если УВ (при $\tau_1 = 120$ мкс) имеет шумы хуже —54...—57 дБ (увы, таких УВ немало), то настройка на минимум шумов МЛ затруднена.