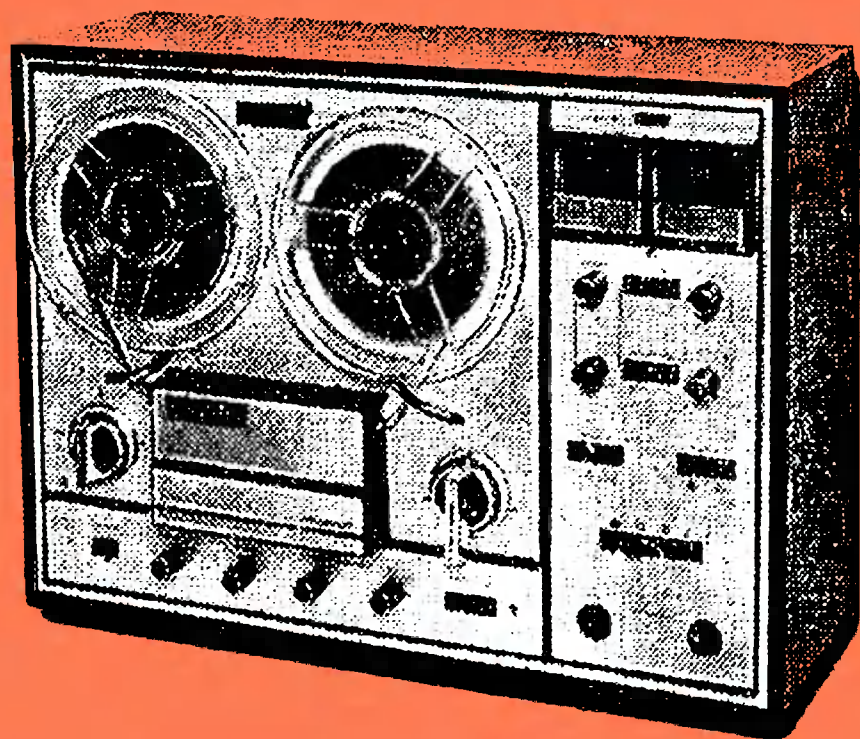


Д. РАЧЕВ **Вопросы**
любительского
высококачественного
звуковоспроизведения



ЭНЕРГОИЗДАТ

АН08

Д. РАЧЕВ Вопросы _____ любительского высококачественного звуковоспроизведения

Перевод
с болгарского
Ю. П. Алексеева
и О. М. Кочкина

Ленинград



Энергоиздат
Ленинградское
отделение
1982

ББК 32.871
Р 27
УДК 681.846

БИБЛИОТЕКА НА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Инж. Димитър Рачев ВЪПРОСИ НА Hi-Fi ЛЮБИТЕЛЯ

ДИ "Техника", София, 1975

Рачев Д.

Р 27 Вопросы любительского высококачественного звуковоспроизведения: Пер. с болг. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 184 с., ил.

95 к.

В популярной, занимательной форме освещены вопросы любительского высококачественного звуковоспроизведения. Книга поможет радиолюбителям выбрать правильно параметры и характеристики спектрофонов, магнитофонов, стереоусилителей, громкоговорителей и головных телефонов. Для широкого круга радиолюбителей

Р 2402020000—051
051 (01) —82 224—81 (3)

ББК 32.871
6Ф2.7

Димитр Рачев

**ВОПРОСЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ**

Редактор *В. А. Романов*
Художественный редактор *Д. Р. Стеванович*
Технический редактор *Ю. А. Игошин*
Корректор *С. С. Полигнотова*

ИБ № 2466 ("Энергия")

Подписано в печать 16.11.81 (набор выполнен в издательстве). Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага офсетная №1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,5 Уч.-изд. л. 11,56. Доп. 50 000 экз. Заказ 3668. Цена 95 к.

Энергоиздат. Ленинградское отделение 191041, Ленинград, Марсово поле, 1.

Ленинградская фабрика офсетной печати № 1 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197101, Ленинград, ул. Мира, 3.

© ДИ "Техника", София, 1975
© Перевод на русский язык. Энергоиздат, 1981

ОСНОВЫ ВЫСОКОЙ ВЕРНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Несколько слов о Hi-Fi любительстве

Понятие Hi-Fi иногда считают результатом временной торговой конъюнктуры, вроде модной рекламы. Равнодушие и скептицизм к этой новой и прогрессивной области техники понятны, так как неприятельные слушатели обычной бытовой звуковоспроизводящей аппаратуры все еще составляют 90—95% всех любителей воспроизведения музыкальных записей.

Между качеством массовой бытовой аппаратуры и качеством Hi-Fi устройств* существует невероятно большая разница, которая быстро увеличивается. Это объясняется очень быстрым повышением качественных и эксплуатационных параметров Hi-Fi аппаратуры, в то время как массовая бытовая техника в области звуковоспроизведения не ушла далеко по сравнению с прошедшими годами.

Современная техника Hi-Fi достигла такой степени развития, что уже трудно определить разницу при прослушивании первоисточника музыкальной программы и звукозаписи, воспроизведенной с помощью Hi-Fi аппаратуры. А это, в сущности, и является целью данной области техники — как можно полнее приблизить домашнее помещение к условиям концертного зала или студии, чтобы существовало наименьшее различие между восприятием музыки в зале и в жилой комнате.

Любители Hi-Fi аппаратуры — это прежде всего музыкально грамотные и технически образованные люди, которые, получив хотя бы единственный раз удовольствие услышать настоящее Hi-Fi воспроизведение, уже никогда не смогут вернуться к старому радиоприемнику.

Как обычно бывает со всякими увлечениями, Hi-Fi техника имеет своих энтузиастов и фанатиков. Первые являются настоящими

*Смотри, например, СТ СЭВ 1079-78. — П р и м. р е д.

любителями Hi-Fi аппаратуры, которые умеют получить все от техники и от музыки. Вторые — прежде всего техники, которые в своем стремлении достигнуть самых совершенных технических показателей аппаратуры забывают слушать музыку.

Настоящий любитель Hi-Fi аппаратуры должен уметь разделять свои чувства между техникой и музыкой и ограничивать свои интересы и увлечения так, чтобы техника служила ему средством высококачественного прослушивания.

При этом Hi-Fi любители направляют свою деятельность на удовлетворение не только своих личных увлечений. Они доставляют своим близким и гостям большое удовольствие наслаждаться высококачественным воспроизведением.

Когда мы говорим о Hi-Fi любителе, то не нужно ему приписывать некую скрытую дозу дилетантства, которое содержится во всяком любительстве. Напротив, Hi-Fi любители почти без исключения являются не просто меломанами, а специалистами — техниками, инженерами, профессиональными музыкантами, людьми, хорошо разбирающимися в музыке и технике.

Увлечение созданием звуковоспроизводящей аппаратуры наивысшего качества — это ревностная деятельность, способная дать огромную радость, много волнений и сильные переживания.

2

Идеальная и действительная высокая верность воспроизведения

”Воспроизведение с высокой верностью — это такое музыкальное воспроизведение, при котором исчезают улавливаемые на слух отклонения от оригинала”, — это одно из определений Hi-Fi, которое основано в большой степени на субъективном критерии музыкальной верности при воспроизведении.

В действительности существуют методы измерения большинства параметров отдельных элементов Hi-Fi устройств. Но эти оценки физических величин не являются единственно важными. Следует считаться прежде всего с субъективным восприятием слушателя. Верность музыкального воспроизведения с помощью громкоговорителя полностью не поддается физическому измерению, и при сегодняшнем состоянии наших знаний эта верность является индивидуальным, чисто психологическим вопросом.

Субъективный характер ощущения музыкальной верности зависит от неодинакового восприятия, которое получают уши каждого отдельного

слушателя. Слуховая система — очень неточный инструмент контроля, и от нее нельзя требовать стандартных показаний. Ухо не может служить эталоном для сравнения или для точного измерения. Как зрению, так и слуху свойственны недостатки и даже иллюзии, носящие субъективный характер. Акустические иллюзии еще мало изучены, но они выражаются не слабее оптических. Установлено, например, что каждый человек воспринимает одновременно с музыкой и различные иллюзорные звуки и эффекты, которые существуют только в его слуховом воображении.

Слуховые ощущения при музыкальном восприятии — это чувственные явления такого рода, при которых особенно сильно проявляются субъективные и психофизиологические факторы. Даже в концертном зале восприятие одного музыкального исполнения различно у отдельных слушателей. Воздействие на отдельного слушателя может зависеть от его расположения и настроения в данный момент.

К психологическим факторам, изменяющим воздействие, следует добавить и то, что в концертном зале исполнители — оркестранты и певцы — видны, что усиливает эффект локализации источника звука и позволяет визуально определить направление звука. В домашних условиях такой возможности не существует и можно рассчитывать только на данные, полученные от органов слуха, что усиливает значение стереофонии.

Принято считать, что верность воспроизведения является идеальной (или интегральной), когда имеет место полное совпадение между музыкальным восприятием и музыкальным оригиналом. Однако следует сказать, что идеальная верность не существует ни при каких условиях, и это не только из-за субъективного характера музыкального восприятия.

В концертном зале имеют место различные реверберационные эффекты, шумы от публики, даже шумы от самого оркестра. В студии звукозаписи условия могут быть самые хорошие, но и там время реверберации является недостаточным и компенсируется в записи искусственным путем. Носители записанной информации — грампластинки или магнитные ленты — также являются носителями различных искажений и шумов. До воспроизведения с помощью громкоговорителей запись подвергается многочисленным преобразованиям, которые увеличивают искажения и шумы.

Все несовершенства техники звукозаписи, носителей звуковой информации (грампластинок и магнитных лент), звукоснимающих элементов (звукоснимателей и магнитофонных головок), электроакустических преобразователей (микрофонов, головных телефонов) и электронных преобразователей (усилителей, фильтров, смесителей, схем звуковых эффектов и т.д.) многократно увеличивают искажения и шумы

и уменьшают высокую верность воспроизведения намного ниже идеальных границ полного совпадения с оригиналом.

Дефекты звукозаписывающего и звуковоспроизводящего трактов, которые определяют верность воспроизведения, могут быть сгруппированы в следующие виды искажений*: линейные искажения (искажения частотной характеристики), которые приводят к увеличению неравномерности частотной характеристики выше допустимой нормы; нелинейные искажения, которые могут быть гармоническими (изменяющими тембр звука) или интермодуляционными (создающими новые комбинационные частоты); динамические искажения, выражающиеся в сужении динамического диапазона (отношение уровней звуков фортиссимо и пианиссимо); переходные искажения, которые проявляются при быстрых изменениях сигнала на входе устройства, когда сигнал имеет малые фронты и пики с большой амплитудой; механические искажения, которые возникают под влиянием различных вибраций и биений подвижных механических элементов; пространственные искажения, которые появляются при отсутствии звуковой перспективы. При наличии этих искажений диаграмма излучения звука неодинакова на различных углах прослушивания и на различных частотах.

И все-таки на практике высокая верность воспроизведения может быть достигнута и достигается с помощью современных технических средств. В настоящее время контролируются только поддающиеся физическому измерению качественные показатели и даже созданы некоторые международные нормы и государственные стандарты на них. Это, естественно, не так мало, и едва ли кто-либо, имевший удовольствие слушать истинное Hi-Fi воспроизведение, может сказать, чего еще можно было бы желать от техники.

3

Высокая верность воспроизведения и стереофония

“Монофоническое воспроизведение может быть и без Hi-Fi, но стереофоническое без Hi-Fi качества бессмысленно”. В этом афоризме содержится истина, которая разграничивает действительное Hi-Fi стереовоспроизведение и стереофонический эффект. Стереовоспроизведение без Hi-Fi качества — это почти то же самое, что поставленные в соседние углы комнаты два приемника или два громкоговорителя,

* Шумы также причисляются к соответствующей группе, так как по существу являются искажениями. — Прим. автора.

на один из которых подаются высокие, а на другой — низкие частоты. Понятно, что стереоэффект будет иметь место, но он может вызвать восторг только у самых непритязательных слушателей.

Если мы хотим осуществить истинное предназначение стереофонии — поместить нас перед оркестром, чтобы наши уши ощущали его так, как в концертном зале, то такая стереофония должна быть Hi-Fi качества. Потому, что Hi-Fi — это полное впечатление присутствия в концертном зале, это истинное воздействие утонченной музыки, это самое точное разграничение действительного тембрового звучания отдельных инструментов. Только в настоящем Hi-Fi стереозвучании имеется много жизни, много удовольствия.

Восприятие стереозвучания ни в коем случае не означает попытки услышать скрипки слева и контрабасы справа. Настоящее Hi-Fi стереозвучания — это неоценимая возможность комплексного улучшения пространственного восприятия исполнения, превосходное средство получения точного представления о музыкально-эстетическом качестве произведения, единственный способ (естественно, в домашних условиях, а не в концертном зале) построить в сознании звуковые образы, полностью соответствующие музыкальному воспроизведению.

Вдобавок к этому, до того как стереофоническая аппаратура успела ассимилироваться и внедриться в быт широких масс, появилась четырехканальная стереоквадрафония. В 1970 г., только десять лет спустя после внедрения стереофонии, было установлено, что двухканальная система не в состоянии имитировать полностью реальную атмосферу концертного зала, так как звуковые волны распространяются не только вперед. Появилось несколько систем искусственного воссоздания волн, отраженных от стен зала, через два новых канала, излучающих сзади или с боков.

Итак, электроакустика создала много нового за последние 20—25 лет. А чего достигла за этот период электроника? Немало, если говорить о звукозаписывающей и звуковоспроизводящей технике. С одной стороны, акустики создали стереофонию и квадрафонию, с помощью которых осуществили эффект присутствия в концертном зале, не выходя из жилой комнаты. С другой стороны, специалисты по электронике до такой степени усовершенствовали схемы и элементы, что намного превысили минимальные требования норм и стандартов для Hi-Fi устройств.

Что же тогда остается? Не следует забывать, что если мы хотим испытать большое удовольствие от музыки с высокой верностью воспроизведения и к тому же в реальных условиях концертного зала, то никогда не нужно разделять понятия Hi-Fi и стерео. Ни Hi-Fi без стерео, ни стерео без Hi-Fi не могут дать нам и половины удовольствия, которое мы получили бы от Hi-Fi стереоустройства высокого качества.

Для любителей Hi-Fi аппаратуры небезынтересно познакомиться с кратким очерком зарождения и развития этой области техники. Когда мы говорим о Hi-Fi, то необходимо понимать, что речь идет о стереофоническом воспроизведении.

Стереофония возникла не в 1950 г., как принято считать. Еще в 1550 г. Адриан Вилерт поставил два отдельных хоровых состава в двух углах церкви. Позднее Бах провел большой эксперимент со стереофонией, когда установил два органа и пригласил два хора и два оркестра в церковь Святого Томаса в Лейпциге.

В 1940 г. Бёр демонстрировал внушительный эксперимент с многоканальным стереоустройством. Он расположил оркестр за занавесом, а перед публикой поставил несколько громкоговорителей. Каждый из них был связан с отдельным усилительным каналом и микрофоном, поставленным на определенное место перед оркестром. Публика получила неотразимое впечатление от восприятия как бы самого оркестра. Бёр уменьшал число каналов до трех, потом до двух, но воспроизведение заметно не изменялось.

В настоящее время Бёр создал устройство в виде искусственной человеческой головы, которая и сейчас используется в акустике. В места расположения ушей он вмонтировал микрофоны, а "голову" поставил в зал среди слушателей. От ее двух микрофонов он получил наиболее естественные для стереофонического воспроизведения сигналы.

Позднее сильный толчок развитию стереофонии дало кино. После появления пироксозранного кинофильма были созданы двухканальные и многоканальные системы озвучивания, которые были использованы и при магнитной записи.

Годы 1950, 1960 и 1970 знаменуют начальные шаги трех эпох практического развития стереофонии и техники Hi-Fi.

1950 г. положил конец старым проигрывателям и пластинкам с частотой вращения 78 об/мин, возвестил зарождение бытовой магнитофонной техники и принес первые сведения о некоторых опытах по практическому применению стереофонии.

1960 г. был очень плодотворным и может с полным правом считаться годом окончательного утверждения стереофонии, когда началась практическая реализация и более широкое распространение стереофонических устройств вопреки тогдашним взглядам на стереофонию как на забавное средство получения эффекта перемещения звука.

1970 г. прошел совсем недавно, но мы имеем право оценивать его как историческую веху. Ведь именно тогда зародилась квадрафония, для практической реализации которой потребовалось всего 1–2 года.

Десятилетия между этими вехами были периодами интенсивных поисков, упорных исследований и непрерывно появлявшихся друг за другом самых неожиданных результатов.

1945 г.: как предвестник Hi-Fi современной техники появилось сокращение FFRR (Full Frequency Range Recording)*, которое фирма "Десса" начала ставить на своих грампластинках. Эта запись "в полном диапазоне частот" обеспечивала полосу воспроизведения не более 80—5000 Гц, но для старых пластинок с частотой вращения 78 об/мин и это было значительным успехом.

1947/48 гг.: большой переворот в технике грамзаписи начался с внедрения микрозаписи на пластинке из пластмассы и воспроизведения с пониженной скоростью. Объем записи на одной такой грампластинке увеличился в несколько раз, и ее стали называть "долгоиграющей";

1948 г.: грампластинки с микроканавками привели к отмиранию грубых металлических игл. Появились новые комбинированные иглы с сапфировыми или алмазными наконечниками. Ламповые высококачественные усилители уже имеют частотный диапазон до 20 кГц и гармонические искажения до 0,1% при выходной мощности примерно 10 Вт.

1950 г.: усилия направлены на улучшение воспроизведения низких частот. Появились закрытые акустические системы типа "фазоинвертор" (bass-reflex), целью которых было получение улучшенного воспроизведения низких частот при сравнительно небольших выходных мощностях путем повышения КПД.

1951/52 гг.: на рынке начали появляться малогабаритные бытовые магнитофоны с магнитной лентой на пластмассовой основе. Металлическая лента и проволока как носители звуковой информации были окончательно отвергнуты.

1953 г.: усовершенствование грамзаписи доведено до необходимости улучшить воспроизведение и на высоких частотах. В закрытые акустические системы стали встраивать специальные высокочастотные громкоговорители. Заговорили о двухканальных усилителях с разделением частот. Схема регулировки тембра (типа "Baxendall") с отдельной регулировкой на низких и высоких частотах стала неотъемлемой частью каждого высококачественного усилителя. Появилось модное увлечение — вносить значительные коррекции частотной характеристики для ее подъема на обоих концах частотного диапазона (характеристика типа "чайка").

1955 г.: вместо кристаллических звукооснимателей все больше выходят на передний план звукоосниматели динамического типа. Вводится коррекция по стандарту RIAA для грамзаписи.

1958 г.: значительно повышается податливость подвижной системы звукооснимателя, что позволяет уменьшить прижимную силу звукооснимателя

* Запись в полном диапазоне частот. — П р и м. п е р е в.

от 100—150 до 40—50 мН*. Затем последовал период продолжительных исследований, в результате которых теперь прижимная сила звукосни-мателя составляет около 10 мН.

1960 г.: внедрение стереофонии проходит почти одновременно с бы-строй заменой ламповых усилителей транзисторными.

1965 г.: громкоговорители уменьшаются по размерам, и однове-менно их собственная резонансная частота значительно снижается. Фазо-инверторные акустические системы уступают место закрытым аperiоди-ческим системам.

1969 г.: Рей Долби предлагает свою систему снижения шумов в маг-нитной записи, которая быстро находит применение и в бытовой магнитофонной технике.

1968/70 гг.: постепенно внедряются в практику различные новые виды магнитных лент — мал шумящие, хромовые, кобальтовые, с повы-шенной динамикой, профессиональные.

1970 г.: фирма "Nivico" (Япония) предлагает метод CD-4 квадрафо-нической записи на грампластинку, после чего начинается быстрый прогресс квадрафонии в бытовой радиоаппаратуре.

Техника Hi-Fi еще очень молода, но считается, что она достигла наивысшего развития. Ее прогресс является настолько бурным, что трудно предвидеть, каковы будут успехи в ближайшие годы.

5 Элементы Hi-Fi устройства

Символ Hi-Fi приобрел реальный смысл только после того, как электроника и электроакустика позволили создать совершенную аппаратуру, воспроизводящую записанную музыку, приближенную к реальной музыке. Только устройства Hi-Fi, и при том стереофони-ческие, могут обеспечить истинную глубину и полноту музыкального ощущения, которые мы испытываем в концертном зале.

В то время, когда зарождалась техника Hi-Fi, основным элементом, определявшим качественный уровень устройства воспроизведения, был усилитель. Магнитофонная техника еще была очень примитивна и магни-тофон не использовался в качестве источника звуковых сигналов высо-кого качества. Керамическая головка звукоснимателя проигрывателя имела две разные иглы — одну для низких скоростей и одну для ско-рости 78 об/мин. Так как записи все еще были монофоническими,

* В старой системе МКГСС соответственно от примерно 10—15 гс до 4—5 гс. —
Пр и м. р е д.

то не предъявлялось никаких специальных требований к конструкции проигрывателя. Акустические системы имели корпуса типа "фазиинвертор", и главным показателем их высокого качества был объем корпуса.

Только усилитель, в том числе и ламповый, содержал элементы, которые подтверждали стремление к высокой верности воспроизведения. В нем давно была применена раздельная регулировка тембра по высоким и низким частотам, разделены корректирующий предусилитель и окончательный линейный усилитель, использован ряд схемных решений для улучшения частотной характеристики и уменьшения искажений — бестрансформаторные оконечные каскады, "ультралинейные схемы" и т. д.

Современное Hi-Fi устройство, к сожалению, представляет собой очень дорогое изделие, состоящее из ряда высококачественных устройств, которые непрерывно совершенствуются и становятся все дороже. Между тем усилитель уже не занимает центральное место по своему значению. Качество устройства сейчас больше не определяется только усилителем, даже можно сказать, меньше всего определяется усилителем. Дело в том, что технические параметры Hi-Fi усилителей достигли такой высокой границы совершенства, что намного превышают требования норм Hi-Fi. Современная электроника представляет собой такие схемные средства и элементы, что ограничение качества устройства происходит не из-за электронного усилителя, а из-за устройств, в которых используются механические, электромеханические и магнитные принципы работы. Например, проигрыватель и магнитофон со сложными кинематическими схемами и несовершенными носителями звуковой информации сильно ограничивают качество устройства из-за вносимых искажений и шумов. Трудности усовершенствования этих устройств привели к значительному изменению соотношения цен. На заре Hi-Fi техники усилитель определял класс устройства и его стоимость была в 3—4 раза выше стоимости проигрывателя и примерно в 2 раза выше стоимости магнитофона.

Сейчас один стереомагнитофон высшего класса стоит в 2—3 раза выше Hi-Fi стереоусилителя, а стереопроеигрыватель такого же класса приблизительно равен по цене усилителю.

До недавнего времени радиолюбители сами изготавливали акустические системы, используя имеющиеся громкоговорители и конструируя корпуса по расчетам или по готовому описанию. Сейчас не многие Hi-Fi любители берутся собственноручно изготавливать акустические системы, так как их конструкции стали сложнее, а громкоговорители — более разнообразны и труднодоступны для приобретения. Пара высококачественных акустических систем стоит почти столько же, сколько усилитель. "В громкоговорителе вся истина", — часто говорят радиолюбители, и с ними следует согласиться: так трудно заставить один

бумажный диффузор громкоговорителя звучать, как целый симфонический оркестр.

Добавим также, что современное Hi-Fi устройство включает в себя много других, тоже дорогих изделий: тюнер*, стереофонический головной телефон, микшерный пульт, кассетный магнитофон, фонотека и дискотека, — и следует признать, что приобретение одного Hi-Fi комплекса является дорогим удовольствием. При условии, что общие результаты будут удовлетворительными, этот комплекс должен быть однородным, т. е. все его элементы должны относиться к одному классу.

Итак, Hi-Fi устройство представляет собой комплекс электронных, электронно-механических и электроакустических приборов, соответствующим образом соединенных и предназначенных для преобразования, усиления и воспроизведения в звуковой форме подаваемых на его вход звуковых сигналов без заметных искажений и в соответствии с существующими техническими требованиями.

Комплекс Hi-Fi устройства может быть оформлен конструктивно в виде отдельных блоков или нескольких элементов, объединенных в один общий блок. В комплексе Hi-Fi можно разграничить следующие группы составных элементов.

Носители звуковой информации — грампластинки, магнитные ленты, кассеты.

Источники звуковых сигналов — проигрыватель, катушечный магнитофон, кассетный магнитофон, УКВ-тюнер, микрофон.

Система усиления, коррекции, распределения и смешивания сигналов от различных источников — предусилители с частотной коррекцией, оконечные линейные усилители, микшерные пульта, фильтры, блоки для создания различных эффектов, квадрафонические декодеры. В некоторых случаях часть этих элементов содержится в самих источниках: в проигрывателе — предусилитель, в магнитофоне — оконечный усилитель, в тюнере — усилитель.

Акустические устройства для воспроизведения звука — громкоговорители, акустические системы, стереофонические головные телефоны.

Состав комплекса

Hi-Fi комплекс может быть составлен различными способами в зависимости от имеющихся приборов. На рис. 1 приведен пример комплекса, содержащего необходимый минимум, к которому должны стремиться любители Hi-Fi. В этом случае необходимы следующие приборы.

Проигрыватель. Проигрыватель класса Hi-Fi должен иметь звукосниматель магнитного типа, микролифт для установки тонарма, регулятор вертикального

Смотри о нем, например, в ГОСТ 20842-75. — П р и м. р е д.

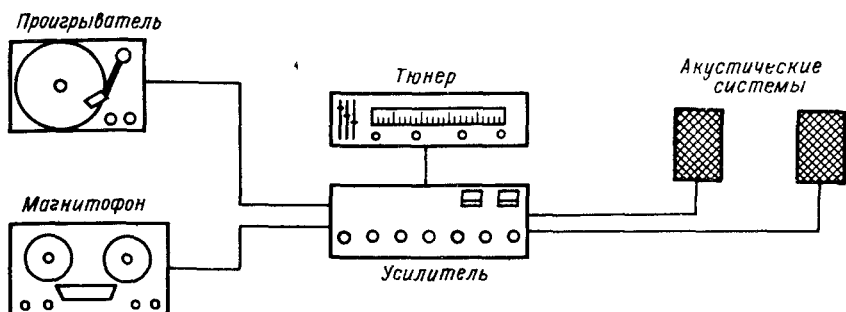


Рис. 1. "Классический" состав Hi-Fi комплекса

давления, регулятор скатывающей силы (antiskating), систему регулировки скорости диска со стробоскопическим индикатором.

Приемлемые технические параметры Hi-Fi проигрывателя следующие:

- а) звукоснимателя
 - диапазон воспроизводимых частот 20–20 000 Гц
 - вертикальная и горизонтальная гибкость подвижной системы $20 \cdot 10^{-6}$ см/дин*
 - затухание между каналами > 25 дБ
- б) самого проигрывателя
 - неравномерность частоты вращения диска $< \pm 0,5\%$
 - уровень рокота < -45 дБ
 - коэффициент детонации $< 0,15\%$
 - уровень фона < -55 дБ

Прогрыватель класса Hi-Fi все больше теряет свое значение домашнего устройства для повседневного прослушивания обыкновенных грампластинок. Его следует беречь и использовать преимущественно для высококачественной перезаписи на магнитную ленту. Поэтому многие любители, приобретая такой проигрыватель, начинают беречь и старый, чтобы не лишать своего дома воспроизведения обычной грамзаписи.

Магнитофон. Магнитофон как наиболее популярный и удобный источник звука претерпел особенно много конструктивных изменений и продолжает совершенствоваться.

Как элемент Hi-Fi устройства он должен быть стереофоническим с обязательными скоростями движения ленты 19,05 и 9,53 см/с, иметь стрелочный индикатор уровня записи и отвечать следующим требованиям:

- неравномерность скорости движения ленты $< \pm 0,1\%$
- коэффициент детонации $< 0,1\%$
- диапазон частот**

* По системе СИ 1 дина = $1 \cdot 10^{-5}$ Н, но в литературе гибкость звукоснимателя все еще выражают в см/дин. – П р и м. а в т о р а.

** Всего тракта "запись-воспроизведение", причем измерение происходило с использованием мал шумящей Hi-Fi магнитной ленты. – П р и м. а в т о р а.

при скорости 9,53 см/с	30–15 000 Гц (<3 дБ)
при скорости 19,05 см/с	30–20 000 Гц (<3 дБ)
динамический диапазон*	> 50 дБ
затухание между каналами	> 40 дБ
нелинейные искажения*	<1%

Тюнер. В качестве источника звука тюнер используется только при наличии УКВ/ЧМ-стереовещания. При хорошо подобранной музыкальной программе тюнер может использоваться и как источник записи. При выборе тюнера следует руководствоваться следующими минимальными требованиями:

чувствительность	< 3 мкВ
отношение сигнал-шум	> 60 дБ
затухание между каналами	> 40 дБ

Тюнер должен иметь индикатор настройки (на середину S-кривой), индикатор "стерео-моно", возможность выбора фиксированной настройки на определенную станцию с помощью клавишных переключателей.

Усилитель. Во многих случаях усилитель и тюнер оформлены в единый блок. В последнее время принято разделять предусилитель и оконечный усилитель и часто предусилитель комбинируют с микшерным пультом.

Усилитель должен иметь корректирующий предусилитель для магнитного звукоснимателя и VU-метр** для каждого стереоканала. Что касается технических параметров, то здесь следует руководствоваться следующими минимальными требованиями:

выходная мощность на канал	20 Вт
частотный диапазон	20–20 000 Гц (± 1 дБ)
динамический диапазон	> 65 дБ
нелинейные искажения	< 0,2%
интермодуляционные искажения	< 0,6%
затухание между каналами	> 40 дБ

Нельзя категорически заявить, что именно следует предпочесть — комбинированный тюнер-усилитель или два отдельных блока, подобранных и согласованных друг с другом. При современной транзисторной аппаратуре отпадают опасения относительно тяжелых тепловых режимов и остаются только эксплуатационные и эстетические соображения, которые любитель должен сам определить.

Акустические системы. Группы громкоговорителей должны быть оформлены в закрытые акустические системы с разделением частот для отдельных групп громкоговорителей. Несмотря на то, что самое правильное представление о качестве акустической системы можно получить только при ее прослушивании, все же следует учесть и объективные требования:

диапазон воспроизводимых частот (при неравномерности частотной характеристики < 10 дБ)	40–18 000 Гц
нелинейные искажения (на частотах выше 50 Гц)	< 3%

* Всего тракта "запись—воспроизведение", причем измерение происходило с использованием малощумящей Ni-Fi магнитной ленты. — При м. автора.

**Индикатор уровня. — При м. автора.

Расширенный комплекс аппаратуры

При постепенном усовершенствовании домашней Hi-Fi студии любитель может добавить и некоторые дополнительные устройства и принадлежности, что повысит качественный уровень комплекса и создаст повышенные эксплуатационные удобства. Такая структурная схема расширенного комплекса аппаратуры показана на рис. 2. Новыми в нем являются следующие приборы.

Второй магнитофон. Он особенно полезен для перезаписи с ленты на ленту, что часто случается на практике. Он будет также служить повседневным магнитофоном для прослушивания сделанных записей. В конце концов, Hi-Fi любительство ставит себе целью не коллекционировать записи, а обеспечить наиболее подходящие средства для получения максимального эстетического удовольствия от музыки.

Кассетный магнитофон. Кассеты являются удобным носителем звуковой информации, и с новыми улучшенными магнитными лентами кассетные магнитофоны не уступают по качеству катушечным магнитофонам. Стерефонический кассетный магнитофон, включенный в расширенную структуру Hi-Fi комплекса, должен отвечать следующим минимальным требованиям:

частотный диапазон	
для ленты CrO_2	30–14 000 Гц
для ленты Fe_2O_3	30–12 000 Гц
динамический диапазон	
для ленты CrO_2	> 50 дБ
для ленты Fe_2O_3	> 45 дБ
неравномерность скорости движения ленты	< $\pm 0,3\%$
коэффициент детонации	< 0,1%
нелинейные искажения	< 1%
затухание между каналами	> 40 дБ

Микшерный пульт. Он должен осуществлять плавную дозировку при смешивании сигналов от нескольких источников звука. Одновременно современные

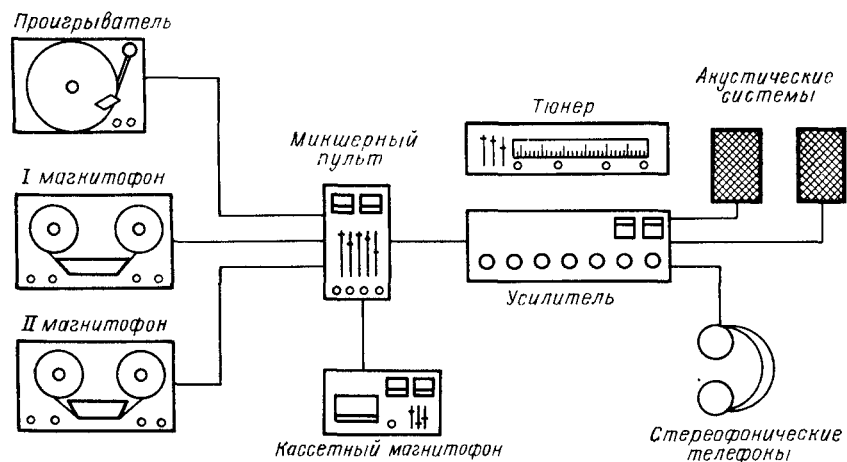


Рис. 2. Структурная схема расширенного Hi-Fi комплекса

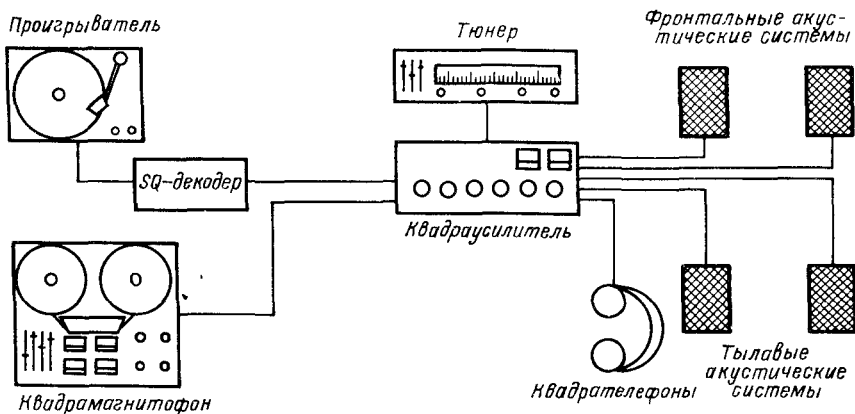


Рис. 3. Структурная схема квадрафонического комплекса

микшерные пульта выполняют частично или полностью функции корректирующего предусилителя. В них перенесены и некоторые дополнительные эффекты и фильтры, которые особенно часто используются при записи искусственных трюков.

Технические данные микшерных пультов зависят от их состава и возможностей. Выбор этих данных должен отвечать будущим намерениям и желаниям любителя.

Стереофонические головные телефоны. В последние годы они стали необходимой и неотъемлемой частью Hi-Fi комплекса. Их высокие акустические достоинства и удобства, создаваемые при записи, все больше ценятся любителями. Вот их примерные технические данные:

частотный диапазон	20—20 000 Гц
чувствительность (на частоте 1 кГц и при мощности 1 Вт)	>100 дБ
нелинейные искажения (при 100 дБ)	<1%
максимальная мощность	0,8 Вт

Состав квадрафонического комплекса

Квадрафония все еще находится в состоянии усовершенствования и поиска наиболее подходящей системы. Отсутствие унификации и стандартизации не позволяет дать правильный совет относительно структуры будущего квадрафонического комплекса.

Приведенная на рис. 3 схема составлена с учетом наиболее перспективных тенденций.

Прогриватель. В конструкции квадрафонического проигрывателя и тонарма нет отличия от стереопроигрывателя.

Звукосниматель квадрафонической системы SQ не отличается от звукоснимателя для стереопластинок. В системе CD-4, однако, к звукоснимателю предъявляются специальные требования: должны быть расширенная частотная характеристика с верхней границей 40—60 кГц и специальный профиль конца иглы.

SQ-декодер. Система SQ выделяется как особенно удобная для квадрафонической грамзаписи и полностью совместимая со стереозаписью, не требующая

никаких изменений в проигрывателе и звукозаписывающем устройстве. Необходимо только декодирующее устройство для получения четырех сигналов от одного комплексного сигнала.

SQ-декодер полностью доступен для любительского изготовления, и не представляет проблемы пополнение им квадрафонического комплекса.

Магнитофон. Квадрафоническая магнитофонная запись осуществляется по дискретной системе, которая требует четырех отдельных каналов для записи и воспроизведения и четырех дорожек на ленте в одном направлении. По этой причине квадрафонический магнитофон отличается от стереомагнитофона — он имеет четыре дискретных канала, четырехдорожечные головки, четыре индикатора уровня. Квадрафонические записи имеют такое расположение на дорожках, которое полностью несовместимо со стереозаписью.

Усилитель. Квадрафонический усилитель имеет четыре отдельных усилительных канала и четыре выхода для подключения фронтальных и тыловых акустических систем. Индикация уровня на выходе осуществляется с помощью четырех отдельных индикаторов. Выходная мощность квадраусилителя может достигать сотен ватт.

Квадрафонические головные телефоны. Квадрафонические головные телефоны являются новинкой, которая еще найдет применение с развитием квадрафонии. Они имеют четыре независимые электродинамические системы и специальные акустические каналы для распределения звуковых волн.

Акустические системы. Фронтальные акустические системы — такие же, как и для стереофонического комплекса. В качестве тыловых могут использоваться акустические системы с более узким диапазоном воспроизводимых частот или с одним широкополосным громкоговорителем, так как частотный диапазон тыловых каналов охватывает только среднечастотную и высокочастотную области.

Тюнер остается без изменения, так как все еще не создана приемлемая система квадрафонического радиовещания.

6 Трудности обеспечения высокой верности воспроизведения

В своем стремлении получить полное Hi-Fi качество от аппаратуры любитель должен знать, каковы его основные "противники" на пути к этому. Они следующие: ограничение частотного диапазона; явления резонанса; искажения; шумы; паразитные модуляции.

Ограничение частотного диапазона. Передаваемый от звуковоспроизводящего устройства частотный диапазон должен теоретически охватывать по меньшей мере весь слышимый диапазон: 20—15 000 Гц. На практике две крайние области оказываются очень спорными и труднодостижимыми. Согласно исследованию Клиппша, чтобы получить достаточное слуховое ощущение на частоте 30 Гц, необходим зал длиной 12 м. Звуки с частотой ниже 40 Гц сравнительно редко встречаются в музыке и не существуют в человеческой речи.

Оказывается, что и верхняя граница не является критичной. Во-первых, музыкальное восприятие исчезает на очень высоких частотах и заменяется неким неопределенным звуковым ощущением, зависящим от индивидуальности слушателя и его возраста (см. приложение 1). После 40 лет слушатели, как правило, не чувствуют частоты выше 10 кГц. Количество звуковой информации на частотах выше 15 кГц ничтожно мало, и она состоит преимущественно из гармоник с незначительной амплитудой, составляющих тембровый спектр некоторых инструментов.

По этим и другим соображениям, стандарт ФРГ DIN 45 500 определяет для большинства низкочастотных устройств диапазон 40–12 500 Гц. Понятно, что это ограничение вызвано затруднениями создания носителей магнитной и грамзаписи с более широким частотным диапазоном.

Подъем или спад кривой частотной характеристики за пределами допустимой неравномерности известны как линейные или частотные искажения.

Ограничение частотного диапазона не является особенно серьезной помехой на пути к Hi-Fi. Многие громкоговорители, например, воспроизводят частоты выше 15 000 Гц, но немногие из них свободны от паразитных резонансов.

Резонансные явления. Паразитные резонансы являются причиной ярко выраженных неравномерностей кривой частотной характеристики низкочастотных устройств. Это прежде всего механические и акустические резонансы, так как борьба с электрическими резонансами намного легче.

И действительно, чрезвычайно трудно конструировать микрофоны, звукосниматели и тонармы проигрывателя, громкоговорители и акустические системы с таким подавлением резонансных явлений, чтобы они не влияли на частотную характеристику.

Когда характеристика имеет узкие провалы и подъемы, то они не воспринимаются на слух, хотя могут быть глубокими. Но если кривая имеет горб, даже равный нескольким децибелам, то могут получиться очень неприятные слуховые ощущения. Резонансные пики на кривой частотной характеристики можно частично компенсировать соответствующими схемными решениями. Но компенсация будет иметь силу только в постоянном, непрерывном режиме работы.

В динамическом режиме при переходных процессах резонансные явления проявляются и создают звуковые эффекты, которых нет в оригинале. Интенсивность и длительность этих паразитных звуков зависят от того, насколько ярко выражены резонансные явления. Так как демпфирование механических и акустических паразитных резонансов является трудной проблемой и решается еще при конструировании системы или элемента, то любителю не остается ничего другого, как быть более взыскательным при их выборе.

Искажения нелинейного вида могут быть гармоническими или интермодуляционными и вызываются нелинейностью амплитудной характеристики усилителей и преобразователей.

Появление гармонических частот видоизменяет тембр звучания и таким образом влияет на верность воспроизведения. Низшие гармоники образуют созвучные аккорды с основной частотой, и, если в процентном отношении они невелики, то их влияние не ощущается. Напротив, даже малый процент гармоник шестого порядка и выше будет крайне неприятен для уха.

Интермодуляция — это очень серьезное последствие нелинейности амплитудной характеристики. Она характеризуется комбинацией различных частот, существующих в оригинале звукового сигнала, и созданием новых комбинационных частот, которые не имеют никакой гармонической связи с оригиналом.

Нелинейные искажения могут возникнуть не только в электронных узлах, но и в некоторых электромеханических приборах — звукоснимателях, громкоговорителях. Здесь мы снова сталкиваемся с проблемами конструктивного совершенства, так что единственное, что можно сделать, — произвести внимательный отбор при покупке этих приборов.

Шумы. Все описанные выше дефекты воздействуют на сигнал, ограничивая или деформируя его. Шумы прибавляют звуки, которые не фигурируют в первоначальной музыкальной картине и ощущаются даже тогда, когда исчезает подаваемый сигнал. Более того, когда звуковой сигнал отсутствует, шумы наиболее заметны.

Борьбу с этими невыносимыми назойливыми явлениями — шумами — следует вести упорно, так как одно из самых важных качеств Hi-Fi устройства — его бесшумность.

Шумы могут делиться на несколько групп в соответствии с их характером и происхождением.

Электронные шумы — это тепловые шумы от различных активных и пассивных электронных элементов, прежде всего от резисторов; их причисляют к так называемым белым шумам. В эту категорию входят и собственные шумы транзисторов, шумы, вызванные структурой некоторых материалов и слоев, тепловые шумы оксидных катодов.

Шумы носителей звукозаписи — грампластинок и магнитных лент. Эти шумы трудно устранить, и самое лучшее, что можно сделать, — подобрать бесшумные ленты и пластинки. Эти шумы имеют широкий частотный спектр, и уменьшение их может быть достигнуто путем сужения частотного диапазона усилителя за счет среза высоких частот. Это решение является довольно неприятным компромиссом с Hi-Fi качеством устройства.

Шумы от механических повреждений. К сожалению, случайный характер появления этих шумов совсем не означает, что они

редки. Их появление связано с пылью или царапинами на грампластинке, с дефектами на поверхности магнитной ленты.

Из-за своего случайного характера эти шумы не могут быть устранены никакими методами. Единственное надежное средство — содержание в хорошем состоянии грампластинок и использование качественных магнитных лент.

Паразитные шумы вызываются преимущественно проникновением сигналов с частотой сети питания или ее гармоник. На техническом жаргоне шум от сети — рокот или фон.

Паразитные шумы могут проникать в Hi-Fi устройства различными путями. Очень часто они вызваны неисправностью приобретенного усилителя или появляются при осуществлении записи с радиопередачи, модулированной значительным уровнем фона от сети. Паразитные шумы на очень низких частотах могут возникать при воспроизведении грамзаписи, где они содержатся еще с момента записи. Инфразвуковые шумы перегружают усилители и громкоговорители, часто имея очень большие амплитуды. Устраняются они с помощью специальных фильтров.

Паразитные шумы в усилителе и других элементах устройства устраняются сравнительно легко. Они исключительно неприятны при воспроизведении, ухудшают Hi-Fi качество, и поэтому нужно терпеливо и упорно бороться с ними.

Паразитные модуляции. Этот тип искажений специфичен для звукозаписывающих и звуковоспроизводящих устройств и для носителей звуковой информации. Возникают они от непостоянства скорости движения носителя звука. Линейная скорость магнитной ленты и угловая скорость грампластинки меняются под влиянием различных механических и электромеханических факторов. Часто они имеют периодический характер с произвольной частотой и вызывают изменения высоты тонов, к которым ухо особенно чувствительно, что очень неприятно. Другими словами, это явление характеризуется паразитной модуляцией звуковых сигналов с частотой изменения скорости.

Часто для определения паразитной модуляции используется термин "детонация". В соответствии с частотой изменения скорости она делится на детонацию 1-го рода (от 0,5 до 10 Гц) и детонацию 2-го рода (от 10 до 300 Гц).

Слуховой эффект от паразитной модуляции первого рода — это так называемое завывание или плавание звука, а от модуляции второго рода — хрипение, сиплость чистых тонов.

Hi-Fi СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ПРОИГРЫВАТЕЛИ

7

Угол погрешности у современных проигрывателей

“Если стоимость одного звукоснимателя высокого класса составляет половину стоимости проигрывателя, то звукосниматель с тонармом стоят дороже целого проигрывателя”. В этом парадоксе много правды, так как основные качества и класс проигрывателя определяются этими двумя элементами. У современных проигрывателей различия в классах настолько велики, что цены проигрывателей находятся в соотношениях 1 : 20 и даже 1 : 30.

Конструкции стандартных проигрывателей и тонармов не решают проблему устранения двух недостатков: угла погрешности, который вызывает появление искажений по второй гармонике сигнала, и влияния центробежной силы, называемой “скейтинг”*, которая проявляется в неодинаковом давлении на обе стенки канавки, что особенно существенно при стереозаписи и также приводит к искажениям.

Угол погрешности — это угол, который создается в точке *A* между осью звукоснимателя и касательной к канавке, с которой соприкасается игла (рис. 4). При записи игла рекордера движется по радиальной прямой линии *OA* и угол погрешности равен 0° , а при воспроизведении тонарм проигрывателя вращается относительно точки *P* и конец иглы описывает дугу *ABO*.

Изгиб тонарма под известным углом φ (рис. 5) приводит к уменьшению угла погрешности и сопровождающих его искажений. И действительно, при наличии изгиба касание к канавке осуществляется в двух точках пластинки, что намного уменьшает угол α . Чем длиннее тонарм, тем меньше становится угол погрешности, но чрезмерное удлинение тонарма невозможно по конструктивным и эстетическим соображениям.

*Skating (англ.) — скатывание. — Прим. перев.

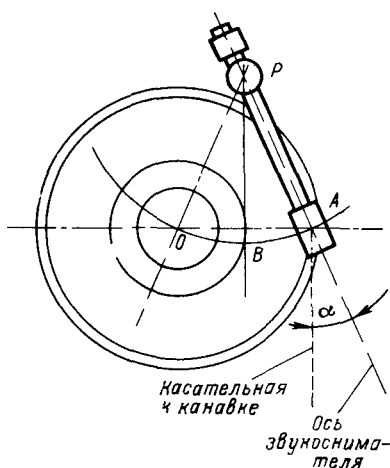


Рис. 4. Угол погрешности α является конструктивным недостатком, который приводит к искажениям по второй гармонике

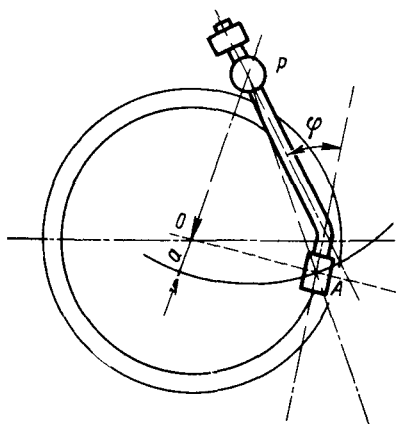


Рис. 5. Изгиб тонарма уменьшает угол погрешности, так как осуществляется касание в двух точках пластинки

Некоторые фирмы предлагают решения, позволяющие приблизить движение звукопроизводящего тонарма полностью или частично к движению рекордера. В моделях TD 125-МКП фирмы "Torrens" и "Beogram 4000" фирмы "Bang and Olufsen" (рис. 6) используется линейно-движущийся тонарм, полностью повторяющий движение рекордера, и угол погрешности по всей пластинке равен 0° . Близок к 0° угол погрешности в моделях "Zero 100" и "Zero 100 SB" фирмы "Garrard" (рис. 7). В них создана возможность непрерывного изменения угла изгиба φ тонарма, в результате чего угол погрешности близок к 0° . Графики на рис. 8 показывают, как меняется этот угол в зависимости

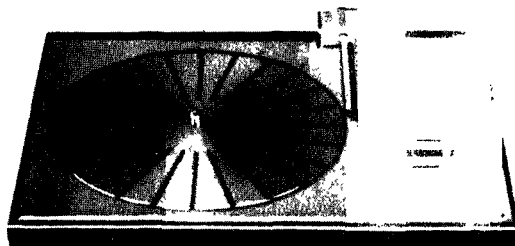
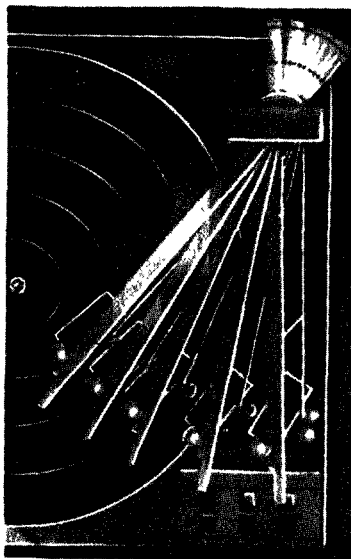


Рис. 6. Проигрыватель "Beogram 4000" с прямолинейным движением тонарма имеет угол погрешности, равный 0°

Рис 7. В некоторых моделях тонарм движется обыкновенным способом, но угол его изгиба изменяется



от диаметра канавки у обыкновенного тонарма длиной 200 мм (а) и тонарма проигрывателя "Zero 100" (б).

Угол погрешности приводит к появлению искажений по второй гармонике сигнала. Коэффициент этих искажений прямо пропорционален углу погрешности α и обратно пропорционален диаметру канавки D . Обеспечение минимального отношения α/D во всей зоне записи уменьшает до минимума искажения по второй гармонике, и это основной вопрос при выборе конструктивных размеров тонарма проигрывателя.

Рассматриваемый угол погрешности называют горизонтальным, так как он возникает при горизонтальном движении тонарма. Но искажения

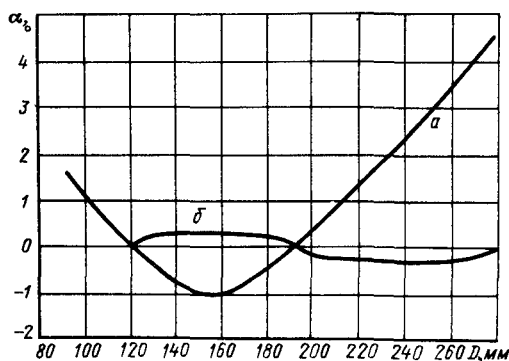


Рис. 8. Зависимость между углом погрешности α и диаметром канавки D у обычного проигрывателя (а) очень сильна, и α достигает 0° только в двух точках. У проигрывателя "Zero 100" (б) угол погрешности почти равен 0° на всех канавках пластинки

возникают и от погрешности, вызванной вертикальным движением иглы при стереозаписи, когда имеет место модуляция по глубине.

При записи эта модуляция получается в результате почти вертикального движения резца с постоянным наклоном $15 \pm 5^\circ$ относительно вертикальной линии. Звуковоспроизводящий тонарм не может повторить эти условия, так как игла в вертикальной плоскости движется по радиусу окружности, центр которой находится сравнительно близко к концу иглы. Возникающий вертикальный угол погрешности приводит к нелинейным искажениям по второй гармонике и к уменьшению затуханий между двумя стереоканалами.

8

Огибаемость — характерное качество современных звукозаписывающих устройств

Способность иглы при нормальной силе давления осуществлять полное прилегание и непрерывный контакт со стенками канавки независимо от частоты и амплитуды записанного сигнала есть решающее качество для определения класса звукозаписывающего устройства. В современной зарубежной литературе контактная способность иглы (огибаемость) выражается термином "trackability".

Динамический диапазон высококачественной грамзаписи очень широк, и это усложняет движение иглы по канавке, особенно при резких скачках, вызванных динамикой и высокими частотами записанного сигнала. Если контактная способность звукозаписывающего устройства слаба, игла не всегда плотно прилегает к стенкам канавки, что ведет к потере высоких частот, увеличению нелинейных искажений, появлению паразитных сигналов и шумов, хрипам, а при особенно резких скачках — к выскакиванию иглы из канавки.

Огибаемость иглы зависит от многих факторов, но прежде всего она непосредственно связана с прижимной силой тонарм и звукозаписывающего устройства. С уменьшением этой силы увеличивается податливость подвижной системы звукозаписывающего устройства и расширяется ее частотный диапазон в области высоких частот. Поэтому у высококачественных проигрывателей эта сила мала.

Объективная оценка огибаемости очень трудна, тем более что существующие испытательные пластинки не обеспечивают те особые условия, при которых ее можно оценить.

Проблема высокой огибаемости особенно существенна для высококачественного воспроизведения стереофонической грамзаписи. Решение ее связано с большими конструктивными трудностями при разработке

соответствующей подвижной системы звукооснимателя. Поэтому значительные различия в стоимости того или другого звукооснимателя определяются не столько коммерческой, сколько технической стороной проблемы.



Известны ли вам три вида магнитных звукооснимателей?

Под общим наименованием "магнитные", в сущности, объединяются три разновидности звукооснимателей скоростного типа, имеющих сходные характеристики, и не все любители привыкли их распознавать и разграничивать.

Магнитный звукоосниматель с переменным магнитным сопротивлением. Он состоит из неподвижного постоянного магнита и двух расположенных наклонно полюсных наконечников, на которых монтируются две катушки. В зазоре между полюсами упруго закреплен подвижный элемент — иглодержатель, изготовленный из мягкого железа. Колебание иглы приводит к деформации магнитного поля в зазоре и к индуцированию ЭДС в катушке.

Магнитный звукоосниматель с подвижным магнитом. Его конструкция подобна вышеописанному звукооснимателю за исключением того, что подвижный элемент с иглой состоит из постоянного магнита, а остальная часть магнитопровода с катушками изготовлена из мягкого железа.

По принципу работы и по техническим показателям эти два вида звукооснимателей сходны между собой. Ввиду значительных усовершенствований в области постоянных магнитов и создания ферритовых магнитов малых размеров в последние годы преобладающее применение находят звукоосниматели с подвижным магнитом.

Динамический звукоосниматель с подвижной катушкой. Эти звукоосниматели часто называют "магнитными", хотя по принципу работы они относятся к электродинамическому типу.

Две катушки (в стереофонической модели) укреплены на подвижной системе с иглой и колеблются в зазоре постоянного магнита.

Основное преимущество этой системы состоит в том, что перемещение катушек при колебании иглы не влияет на магнитное поле в зазоре. Поэтому невелики искажения при воспроизведении.

Конструктивные неудобства, вызванные креплением сравнительно больших катушек на подвижной системе, привели к уменьшению слоев намотки до небольшого числа, даже до одного (ленточная система). Это, с одной стороны, обеспечивает необходимую податливость

системы, но, с другой стороны, — уменьшает выходной сигнал до единиц микровольт.

Применяется этот вид звукооснимателей в настоящее время только в профессиональных проигрывателях.

10

Кое-что о коэффициенте упругости подвижной системы

Гибкость подвижной системы звукооснимателя, которая определяет огибаемость иглы, выражается с помощью коэффициента упругости (эластичности), называемого еще податливостью системы (английский термин "compliance" принят во многих странах и часто встречается в литературе). У высококачественных звукооснимателей этот коэффициент достигает значения от $25 \cdot 10^{-6}$ до $30 \cdot 10^{-6}$ см/дин, тогда как его минимальное значение согласно требованию стандарта DIN 45500 составляет $4 \cdot 10^{-6}$ см/дин. На низких частотах и при определенном давлении такая податливость подвижной системы гарантирует непрерывное прилегание иглы к стенкам канавки.

Большая податливость звукооснимателя — это указание на способность подвижной системы следовать по модулированной канавке с минимальными приложенными усилиями. Звукоосниматели с большой податливостью могут осуществлять надежный контакт иглы с канавкой при небольшой прижимной силе. Если, например, звукоосниматель имеет коэффициент упругости $15 \cdot 10^{-6}$ см/дин, то это значит, что при прижимной силе 1 дина игла перемещается на $15 \cdot 10^{-6}$ см. Обычно эти данные приводятся для окружающей температуры 20°C . Они позволяют определить минимальную прижимную силу, необходимую для работы с данным звукооснимателем. Посмотрим, как это делается.

У пластинок с большой динамикой звуков низкие частоты очень часто требуют перемещения резца рекордера примерно на $3,8 \cdot 10^{-3}$ см. Минимальная прижимная сила $F_{\text{мин}}$ (дин) рассчитывается по формуле

$$F_{\text{мин}} = L_{\text{макс}}/E_{\text{макс}},$$

где $L_{\text{макс}}$ — наибольшее отклонение в канавке, см; $E_{\text{макс}}$ — максимальный коэффициент упругости подвижной системы, см/дин.

Тогда с приведенными данными получаем

$$F_{\text{мин}} = \frac{3,8 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-6}} = 0,254 \cdot 10^{-3} \text{ дин},$$

что составляет около 2,5 мН. Этот результат надо удвоить, так как не приняты во внимание ни сила трения между иглой и пластинкой,

ни трение в подшипнике тонарма. Тогда минимально допустимая прижимная сила получается 5 мН ($\approx 0,5$ гс). Для увеличения надежности фирмы рекомендуют эту силу брать не ниже 7,5 мН (табл. 1).

Таблица 1

Звукосниматель		Коэффициент упругости, $\times 10^{-6}$ см/дин	Рекомендуемая прижимная сила, мН
Фирма	Тип		
"Ortofon"	SL15	25	7,5–15
"Goldring"	G800E	30	7,5–15
"Jelco"	MC14E	18	12–20
"Shure"	DM101MG	30	10–20
"Shure"	DM103ME	25	7,5–15
"Shure"	M91ED	25	7,5–15
ADC	Q32	25	20
"Excel-Sound"	ES-70EX	30	7,5–15

Конец иглы — недооцениваемый фактор высокого качества воспроизведения

Понятно, что едва ли конец иглы — самое главное... Но когда класс проигрывателя определяет уровень домашней студии, то следует принимать во внимание и мелкие факторы, влияющие на этот класс.

Коническая или эллиптическая игла? Это не вопрос моды или торговой рекламы. Несмотря на большие технологические трудности изготовления, эллиптическая игла предпочтительнее. Посмотрим, каковы ее преимущества.

При изготовлении матрицы грампластинки используется резец, форма которого показана на рис. 9, а. Из-за острой грани резца и характера

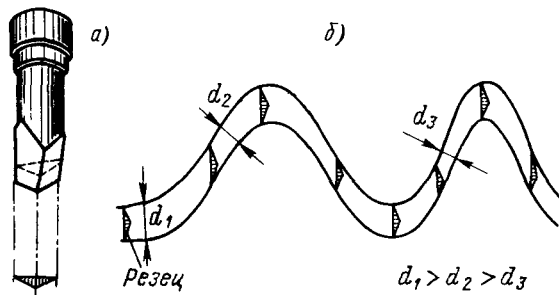


Рис. 9. При движении резца рекордере (а) получается канавка с узкими и широкими участками (б)

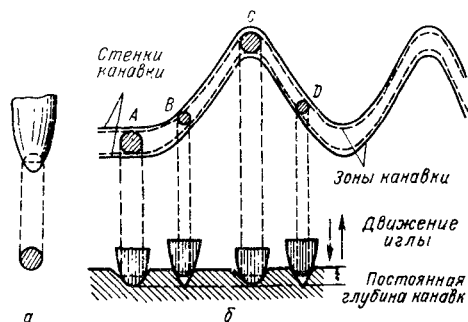


Рис. 10. Воспроизведение с помощью конической иглы (а) ведет к подъемам и снижениям иглы на различных участках канавки (б)

его движения полученная канавка имеет узкие и широкие участки (рис. 9, б).

Ширина канавки будет равна ширине резца только при отсутствии модуляции и при максимальном отклонении. Следовательно, если запись воспроизводится иглой, имеющей конический конец (рис. 10, а), то точки соприкосновения с канавкой соответствуют различным сечениям конуса по высоте (рис. 10, б). Это определяется одной вертикальной составляющей движения — подъемом (точки В и D) или снижением (точки А и С) иглы.

При монофонической записи это "подпрыгивание" терпимо и необходимая вертикальная податливость звукоснимателя достигается с помощью небольшого увеличения силы давления. Если запись

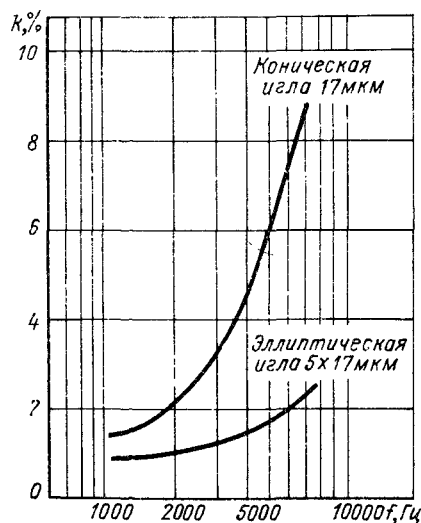


Рис. 11. Сравнение коэффициентов нелинейных искажений по второй гармонике у игл с конической и эллиптической формой конца

стереофоническая, при которой имеется вертикальная модуляция, то звукосниматель чувствителен и к ней, и положение усложняется.

Появляющийся паразитный сигнал вызывает искажения по второй гармонике сигнала (один период сигнала дает два отклонения иглы). Как показано на рис. 11, этим эффектом не следует пренебрегать и его влияние тем больше, чем выше воспроизводимая частота.

Выход из затруднения только один — использовать иглу, профиль конца которой одинаков или близок к профилю записывающего резца. В настоящее время проблема решается с помощью использования эллиптической иглы.

Стандарт на геометрические размеры иглы еще не создан, но все существующие формы игл не имеют больших различий: конические иглы имеют радиус закругления конца в пределах 10–20 мкм, а эллиптические — 20–30 мкм (большой радиус) и 5–8 мкм (малый радиус).

Каков характер нелинейных искажений, полученных при воспроизведении, или, как еще говорят, — от контакта? На рис. 12 показана область точек соприкосновения конической (δ) и эллиптической (ϵ) игл, а также отклонения этой области от очертаний канавки, полученной от записывающего резца (a).

У конической иглы касание осуществляется в точках $P'-P'$, линия соединения которых перпендикулярна направлению движения, тогда как резец в этот момент записывает двумя своими гранями точки $P-P$. Следовательно, точки касания конической иглы не совпадают с точками касания резца, кроме тех случаев, когда отсутствует модуляция (точка 1)

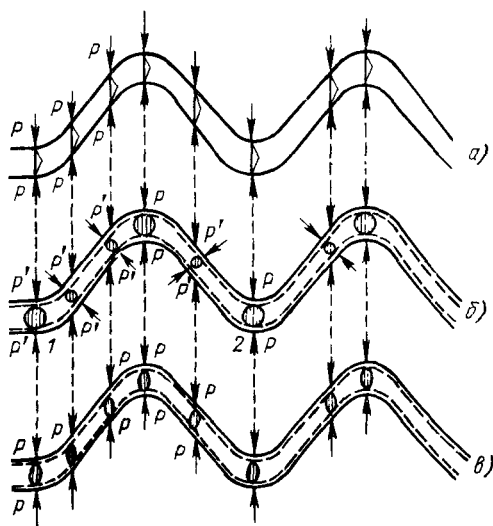


Рис. 12. Отклонение траектории от точек соприкосновения конической иглы (δ) с профилем канавки (a) приводит к значительным искажениям по третьей гармонике. У эллиптической иглы (ϵ) эти искажения много меньше

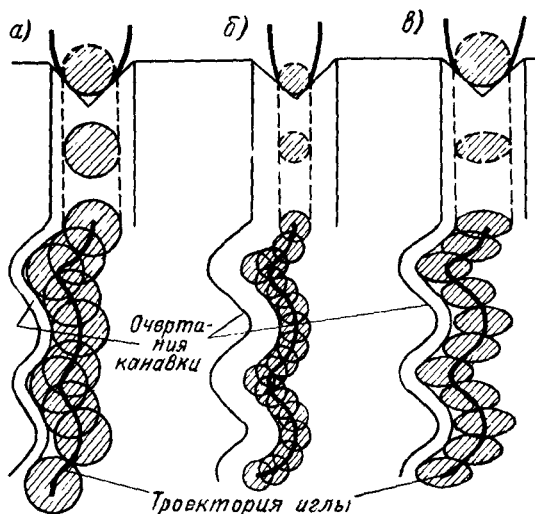


Рис. 13. При большом радиусе конца (а) траектория, описанная от центра иглы, значительно отклонена от очертаний канавки. Если радиус небольшой (б) или конец иглы имеет эллиптическую форму (в), то траектория приближается к действительной

или при максимальном отклонении (точка 2). Это несовпадение приводит к искажениям по третьей гармонике сигнала, которые довольно значительны. При использовании эллиптических игл такие искажения почти полностью отсутствуют.

Амплитуда искажений, вызванных контактом иглы со стенками канавки, зависит от значения радиуса конца конической иглы. Большой радиус не позволяет игле следовать по всему профилю канавки; ее реальная траектория, описанная от центра, приведена в виде сплошной линии на рис. 13, а. Неудивительно, что конструкторы стремятся уменьшить радиус и вместо 20 или 17 мкм доводят до 12,5 и 10 мкм (рис. 13, б). Проведены опыты по дальнейшему уменьшению радиуса, до 6,5 мкм. Но иногда "лучшее — враг хорошего". Давление такой острой иглы на дно канавки приводит к появлению дополнительных шумов и ухудшению качества воспроизведения. У эллиптической иглы (рис. 13, в) траектория почти полностью совпадает с очертаниями канавки, так как боковые грани эллиптического конца имеют радиус 5–8 мкм, а большой радиус с удлинённой стороны эллипса не позволяет давить на дно и воспроизводить шумы.

Итак, эллиптическая игла является идеальным разрешением многих проблем при Hi-Fi воспроизведении грамзаписи, что подтверждает и оценка на слух, особенно в наиболее неблагоприятных случаях — на высокой частоте, при высоком уровне сигнала и вблизи от центра пластинки.

Характеристики сигнала, полученного от звукоосциллятора, непосредственно зависят от силы давления иглы на пластинку, т. е. от прижимной силы звукоосциллятора. Прежде всего это особенно важно для гармонических и интермодуляционных искажений.

Кривые, приведенные на рис. 14, говорят об этом достаточно ясно. При малой прижимной силе гармонические искажения тем больше, чем выше частота записанного сигнала. С повышением частоты (рис. 14, а, б, в) игла начинает терять контакт с профилем канавки и поднимается по стенкам. Если давление иглы нормальное (рис. 14, г), то кривая воспроизведения "чиста" даже на высоких частотах.

Кривая на рис. 15 показывает, как изменяется процент гармонических искажений в зависимости от прижимной силы F . Не надо удивляться большим искажениям: они только подтверждают значение правильного выбора этой силы, кроме того, этот выбор усложняется сильной частотной зависимостью прижимной силы, при которой точно не зафиксировать минимальную прижимную силу во всем частотном диапазоне.

Интермодуляционные искажения можно оценить с помощью кривых рис. 16, которые получены при воспроизведении на двух частотах — 400 Гц и 4000 Гц

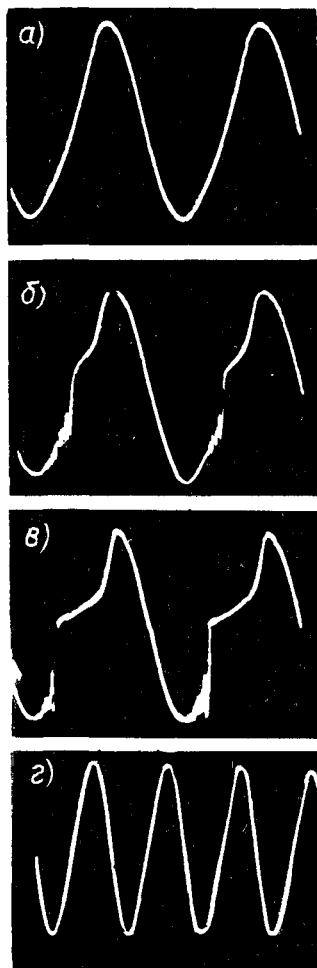


Рис. 14. Если давление иглы недостаточно, искажения сигнала увеличиваются с повышением частоты: а — недостаточное давление на частоте 5 кГц; б — то же на частоте 10 кГц; в — то же на частоте 15 кГц; г — нормальное давление на частоте 10 кГц

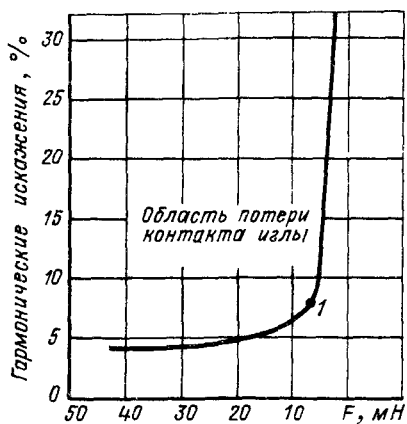


Рис. 15. Зависимость гармонических искажений от прижимной силы звукоснимателя на частоте 1000 Гц при скорости записи 5 см/с

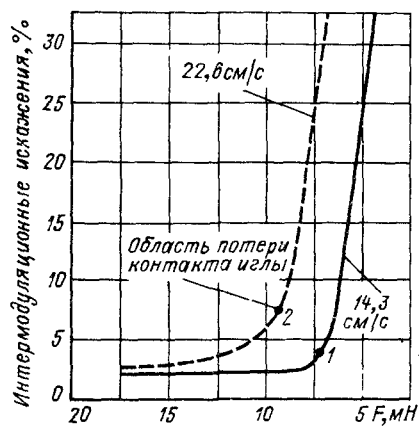


Рис. 16. Зависимость интермодуляционных искажений от прижимной силы звукоснимателя

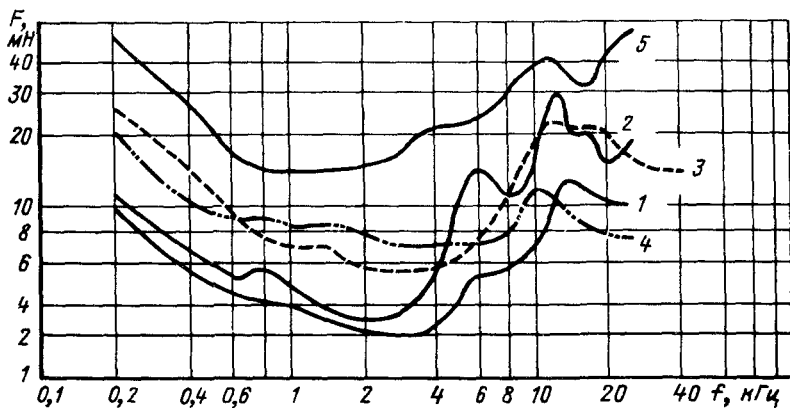


Рис. 17. Зависимость между оптимальной прижимной силой звукоснимателя и частотой записи сигнала для пяти типов магнитных звукоснимателей

при скоростях записи 14,3 см/с (сплошная кривая) и 22,6 см/с (штриховая кривая).

Эти две зависимости (рис. 15 и 16) ясно очерчивают область минимально допустимой прижимной силы, при которой игла все еще сохраняет контакт со всеми видами кривизны канавки. За пределами этой области (недостаточная прижимная сила — точки 1 и 2 на рис. 15 и 16) искажения сигнала резко увеличиваются из-за неполного контактирования.

Кривые на рис. 17, составленные для нескольких видов звукооснимателей магнитного типа, подтверждают трудности поиска оптимальной прижимной силы звукооснимателя. Если требуется учесть область высоких частот, то эту силу необходимо увеличить. Слишком большая сила приводит к быстрому износу грампластинки. Наиболее отработанные подвижные системы (они же наиболее дорогие) звукооснимателей магнитного типа обеспечивают воспроизведение до 20 кГц с минимальными искажениями при прижимной силе не более 15 мН (звукоосниматели 1 и 4 на рис. 17).

13

Вертикальное давление и частотная характеристика

Частотная характеристика является основным показателем качества звукооснимателя и находится в прямой зависимости от прижимной (контактной) способности иглы по отношению к канавке и соответственно от прижимной силы звукооснимателя.

Многие любители проявляют стремление к чрезмерному облегчению звукооснимателя. Однако при этом игла перестает следовать по мелким

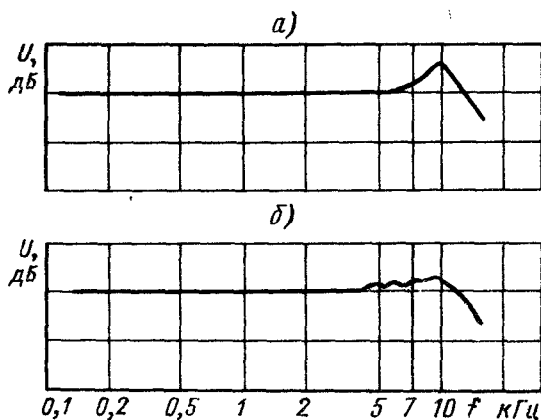


Рис. 18. При соответствующем прилегании иглы на всех частотах подъем частотной характеристики вызван собственным механическим резонансом подвижной системы (а). При недостаточном давлении возникают искажения в высокочастотной части диапазона (б)

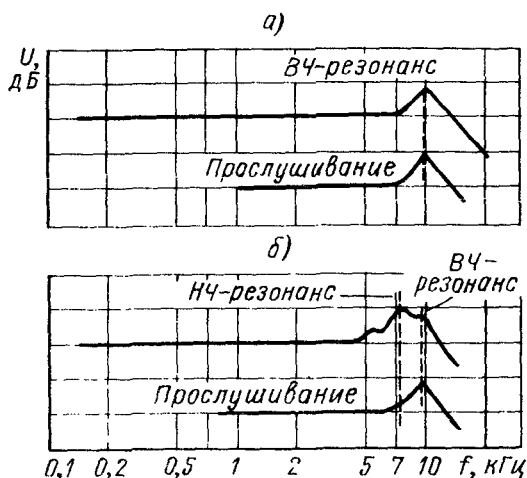


Рис. 19. У стереофонических звукоосцилляторов совпадение резонансных пиков частотной характеристики и кривой переходного затухания является гарантией правильно подобранной прижимной силы (а). Несовпадение указывает на то, что значение силы недостаточно (б)

канавкам и на высоких частотах наблюдается спад частотной характеристики (а также, как было показано, возрастают нелинейные искажения). При испытании с использованием тест-пластинки, содержащей непрерывную запись сигнала на различных частотах с одинаковой амплитудой, оказалось, что этот эффект проявляется в диапазоне частот выше 10 кГц.

Если осуществляется нормальное давление звукоосциллятора, то мы получаем хороший контакт иглы с канавкой на всех частотах и частотная характеристика воспроизведения будет иметь вид, показанный на рис. 18. На верхней границе высокочастотного диапазона наблюдается подъем, вызванный наличием собственного механического резонанса подвижной системы (рис. 18, а). Если прилегание иглы к канавке недостаточно, то резонансные пики несколько выделяются (рис. 18, б).

У стереофонических звукоосцилляторов этот эффект проявляется еще заметнее, что можно установить, сопоставив частотную характеристику с кривой переходного затухания между каналами (рис. 19). При правильно подобранной прижимной силе две кривые совпадают по частоте резонансных пиков (рис. 19, а). В противном случае, помимо возникновения нескольких резонансных горбов, отсутствует совпадение между действительной резонансной частотой частотной характеристики и резонансным пиком кривой переходного затухания (рис. 19, б).

В качестве примера хорошо подобранной прижимной силы звукоосциллятора, обуславливающей совпадение резонансных пиков частотной характеристики и кривой переходного затухания между каналами, на рис. 20 приведены характеристики звукоосцилляторов SP15 фирмы "Bang Olufsen", измеренные с использованием проигрывателя "Beogram 4000" этой же фирмы.

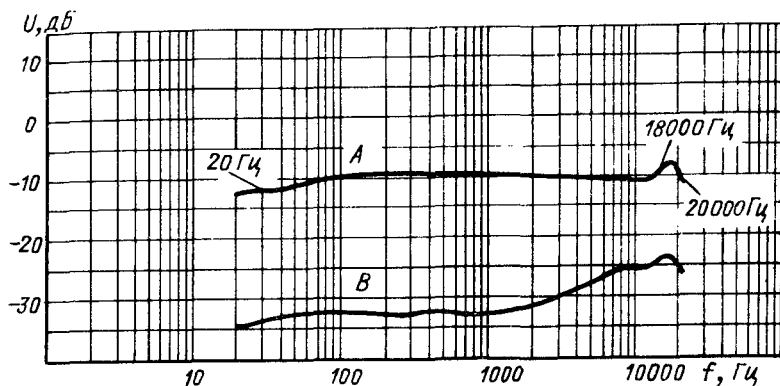


рис. 20. Частотная характеристика (А) и кривая переходного затухания (В) звукоснимателя высокого класса

14

Сущность скатывающей силы

На первый взгляд, в будущем конструкция проигрывателя сохранится в своем классическом виде и в его кинематической схеме едва ли появится что-нибудь сложное. Исключение составляют проигрыватели с автоматической сменой грампластинок, но такие модели для Hi-Fi воспроизведения не используются. Но уже в настоящее время начали ощущаться трудности в связи с появлением стереофонических грампластинок и нормированием в стандартах высоких требований к Hi-Fi аппаратуре. К тому же необходимо иметь в виду и конкурирующее влияние устройств магнитной записи.

Модернизация в технике воспроизведения грамзаписи с внедрением стереофонических грампластинок, магнитных звукоснимателей и эллиптических игл, а также с развитием квадрафонии привела к многим сложным и противоречивым зависимостям между различными техническими требованиями при высококачественном воспроизведении. Различия, например, могут быть в цене на дополнительные устройства, которые делают заднюю часть тонарма сложным механизмом (рис. 21, а, б, в).

К явлениям, открытым в связи с появлением стереопластинок, следует причислить прежде всего вредное действие центробежной силы на тонарм, английское наименование которой "скейтинг" стало очень популярным.

В результате действия прижимной силы звукоснимателя на пластинку и из-за вращения диска возникает сила трения $F_{тр}$, направленная

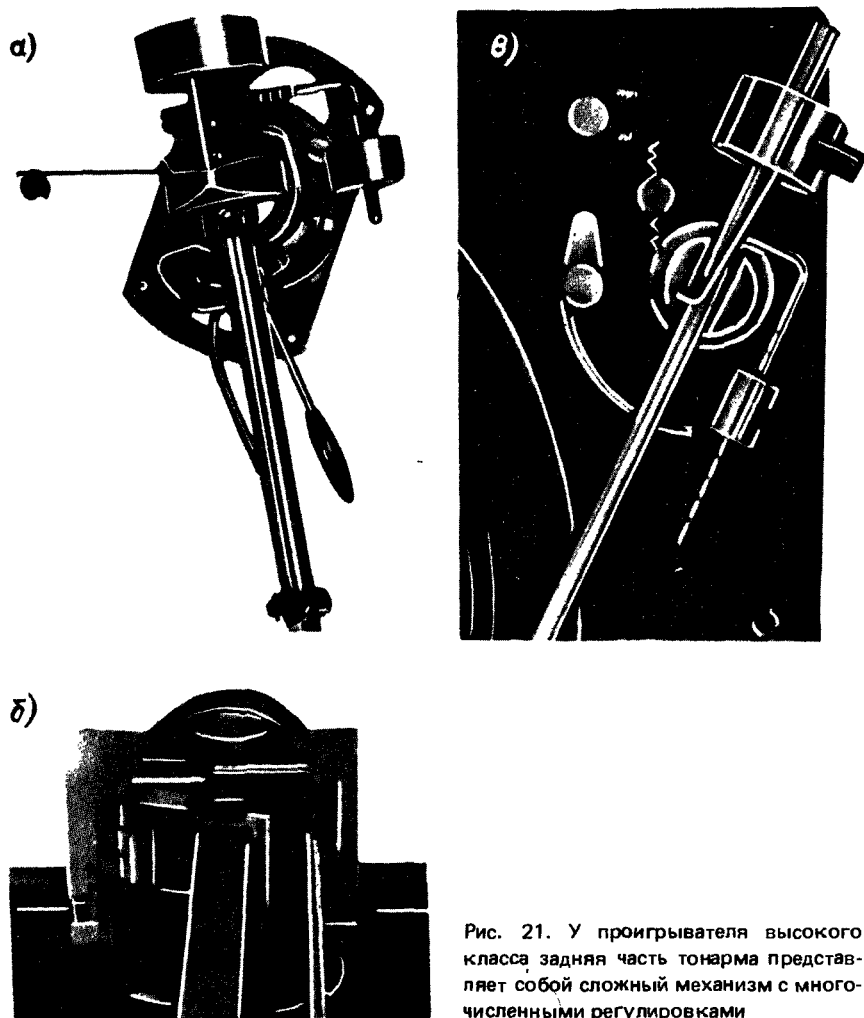
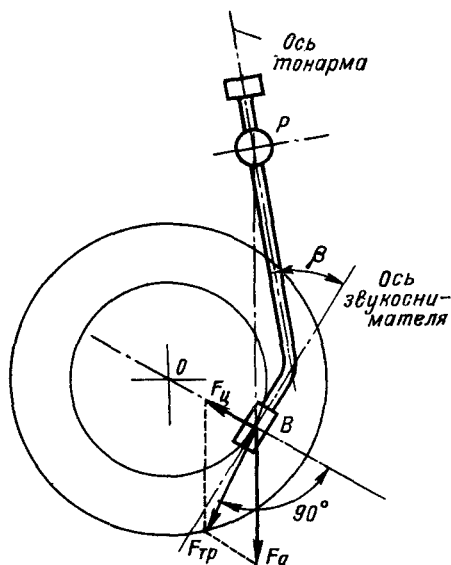


Рис. 21. У проигрывателя высокого класса задняя часть тонарма представляет собой сложный механизм с многочисленными регулировками

тангенциально к канавке (рис. 22). Сила $F_{тр}$ состоит из двух составляющих — F_a , направленной на неизогнутую часть тонарма, и $F_{ц}$, направленной к центру пластинки. Именно центробежная сила $F_{ц}$ прижимает иглу к внутренней стенке канавки и вызывает вредное действие — скашивание.

Центробежная сила $F_{ц}$ есть функция нескольких факторов. При одной и той же скорости записи она сильно зависит от коэффициента трения f между иглой и пластинкой (а он, со своей стороны, является функцией радиуса закругления иглы и материала пластинки),

Рис. 22. Сила трения $F_{\text{тр}}$, составляющая которой $F_{\text{ц}}$ направлена к центру диска, что вызывает скатывание



от вертикальной прижимной силы F и от угла коррекции тонарма β :

$$F_{\text{ц}} = fF \operatorname{tg} \beta$$

Если, например, коэффициент трения равен 0,3 (для виниловой пластинки и нормального радиуса иглы), прижимная сила 20 мН и угол коррекции 24° , то сила скатывания $F_{\text{ц}} \approx 2,7$ мН.

Пластинки, изготовленные из материала на ацетатной основе, имеют скатывание в 2 раза больше, чем пластинки на виниловой основе.

Ко всему этому следует добавить, что сила $F_{\text{ц}}$ меняется в зависимости от диаметра канавки, а также при колебании температуры, так как коэффициент трения f зависит от температуры. Этот коэффициент меняется и в зависимости от степени полировки поверхности пластинки, что связано уже с технологическим совершенством производства.

Многие факторы, усложняющие проблему компенсации скатывания, исследованы экспериментально с помощью тест-пластинок. Полученные зависимости (рис. 23 и 24) сняты в одинаковых условиях и при постоянной частоте вращения. На рис. 23 видны области изменения скатывающей силы в зависимости от прижимной силы для конической и эллиптической игл. Установлено, что при одной и той же силе давления эллиптическая игла создает почти в 2 раза большую центробежную, скатывающую силу, чем коническая.

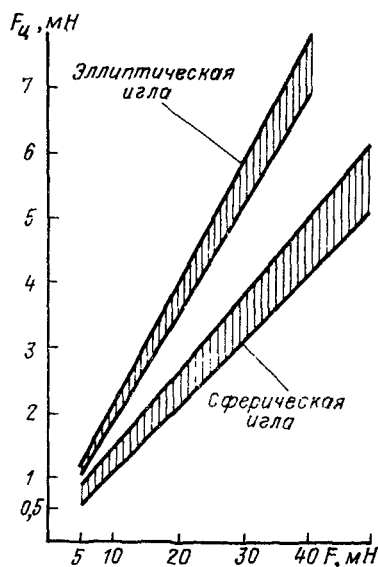


Рис. 23. Скатывающая сила $F_{ц}$ зависит от прижимной силы звукоснимателя F и от формы конца иглы

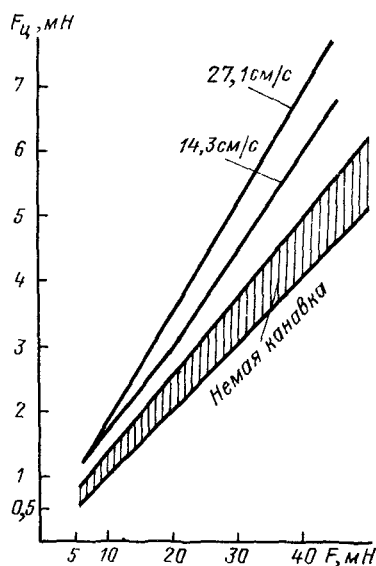


Рис. 24. Скатывание тем больше, чем выше скорость записи

Интересна зависимость скатывания от скорости записи. При одной и той же вертикальной прижимной силе самые быстрые колебания записи дают самое большое скатывание (рис. 24). Наименьшее скатывание наблюдается при проигрывании немых (без модуляции) канавок.

И наконец, полезно запомнить следующий очевидный факт: с износом пластинки изменяется гладкость ее поверхности, при этом появляется необходимость в дополнительной регулировке компенсатора скатывающей силы.

15

Зачем и как регулируется компенсатор скатывающей силы?

Точная настройка компенсатора имеет особое значение для современных проигрывателей. Проблема скатывания возникла с увеличением скорости колебания иглы в новых пластинках и с появлением сверхподатливых звукооснимателей*, которые имеют небольшую динамическую массу и вертикальную прижимную силу 7,5–10 мН.

В действительности при прижимной силе 10 мН без компенсатора скатывающей силы центробежная сила в некоторых случаях может достигнуть примерно 3 мН, причем на внутреннюю стенку канавки будет действовать сила 13 мН, а на внешнюю — 7 мН. В таком случае левый канал будет воспроизводиться нормально, а прижимная сила для правого канала будет очень мала.

Нормальное давление на внутреннюю стенку обеспечивает хороший контакт иглы и неискаженное воспроизведение (рис. 25, а). Недостаточное прилегание иглы к внешней стенке приводит к повышению гармонических и интермодуляционных искажений, к изменениям частотной характеристики правого канала (спад на высоких частотах) и к подчеркиванию резонансных пиков.

Нелинейными искажениями, вызванными скатыванием (рис. 25, б), не следует пренебрегать: в некоторых случаях они могут достигать уровня более 10%. К неприятным последствиям скатывания следует причислить также: неравномерный износ двух стенок канавок грампластинки и, следовательно, увеличение шумов и искажений в левом канале; неравномерный износ конца иглы и увеличение вероятности перескакивания ее через канавки и царапания пластинки; деформацию подвижной системы звукооснимателя и появление дополнительных искажений.

В качестве компромиссного решения при отсутствии компенсатора скатывающей силы обыкновенно прибегают к увеличению прижимной силы. Если увеличить силу с 10 до 20 мН, то распределение ее на две стенки будет составлять примерно 23 мН и 17 мН. Эта мера устранит

* Hi-Track — по терминологии фирмы "Shure". — П р и м. а в т о р а.

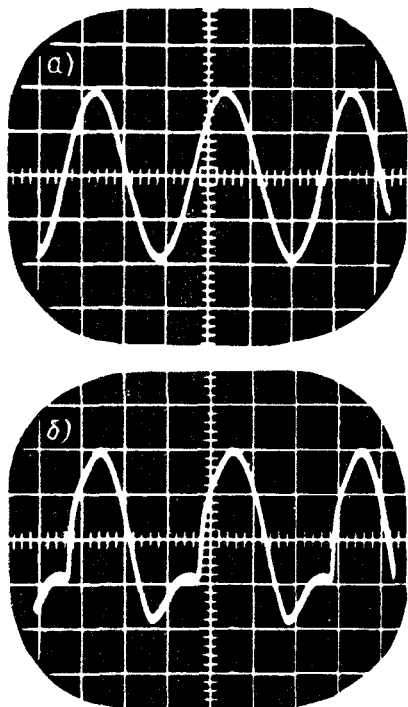


Рис. 25. Под действием центробежной силы воспроизведение синусоидального сигнала частотой 1000 Гц в левом канале (а) осуществляется без искажений в отличие от правого канала (б), для которого прижимная сила звукоснимателя недостаточна

искажения, но не освободит от других последствий неравномерной нагрузки.

Кроме того, чрезмерное увеличение вертикальной прижимной силы приведет к быстрому износу пластинки и к недопустимой нагрузке звукоснимателя, что создает дополнительные искажения. И тогда остается более трудный путь — создание в тонарме равной, но противоположно направленной силы, которая скомпенсирует центробежную составляющую $F_{ц}$.

Если проигрыватель старого типа и не имеет такого компенсирующего устройства, то его действие можно имитировать путем небольшого отклонения всего шасси от горизонтального положения. В большинстве случаев достаточно отклонения на $1-2^\circ$. Любитель может и сам сконструировать компенсатор скатывающей силы с противовесом, используя идею рис. 21, в.

Конструкторы высококачественных проигрывателей используют различные средства компенсации — противовес, пружины, в некоторых новых моделях — магнитные системы. Обязательно предусматривается

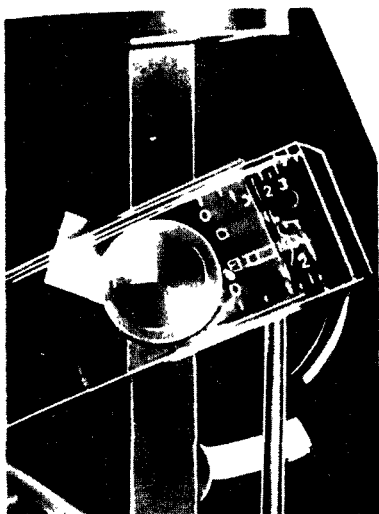
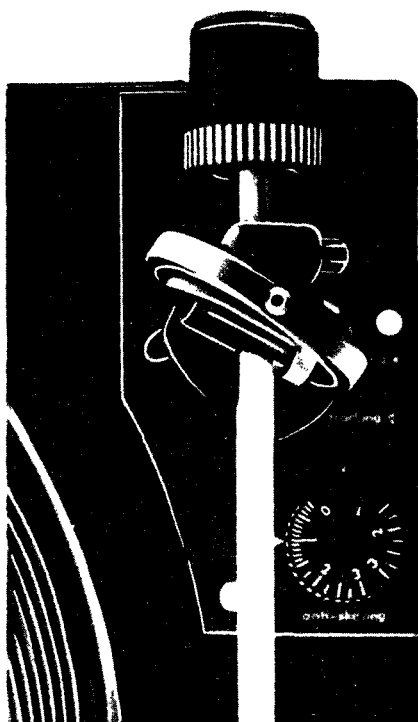


Рис. 26. Регулировка противоскатывающей силы легко осуществляется по специальным шкалам для конической и эллиптической игл



плавный регулятор этой компенсирующей силы, называемый антискейтинг, так как сила $F_{\text{ц}}$ зависит от прижимной силы звукоснимателя F , которая также регулируется, и от ряда других побочных факторов, рассматриваемых выше.

Зависимости между силой $F_{\text{ц}}$ (мН), силой F и радиусом закругления конца иглы для наиболее часто встречающихся случаев приведены в табл. 2, которая составлена как для круглых, так и для эллиптических игл*.

У иглы с радиусом закругления 16 мкм горизонтальная прижимная сила составляет 10% вертикальной силы. При чаще всего используемой прижимной силе от 5 до 25 мН сила $F_{\text{ц}}$ составляет 0,5–2,5 мН. Обыкновенно высококачественные проигрыватели имеют специальные шкалы для точной настройки как прижимной силы, так и компенсации скатывающей силы. В некоторых случаях для настройки компенсации

*В таблице не приняты во внимание остальные факторы, которые могут в два раза увеличить скатывающую силу. — Прим. автора.

Таблица 2

Прижим- ная сила, мН	Радиус закругления конца иглы, мкм						
	10	12	14	16	18	20	5X22,5 (эллип- тическая)
5	0,70	0,60	0,55	0,5	0,50	0,45	0,85
10	1,25	1,15	1,05	0,1	0,95	0,90	1,50
15	1,80	1,60	1,55	1,5	1,45	1,40	2,10
20	2,30	2,10	2,05	2,0	1,95	1,90	2,70
25	2,90	2,60	2,55	2,5	2,45	2,40	3,40
30	3,50	3,10	3,05	3,0	2,90	2,85	4,20
35	4,10	3,65	3,55	3,5	3,40	3,55	—
40	4,75	4,25	4,10	4,0	3,90	3,85	—
45	—	4,75	4,60	4,5	4,35	4,30	—
50	—	5,35	5,15	5,0	4,85	4,75	—

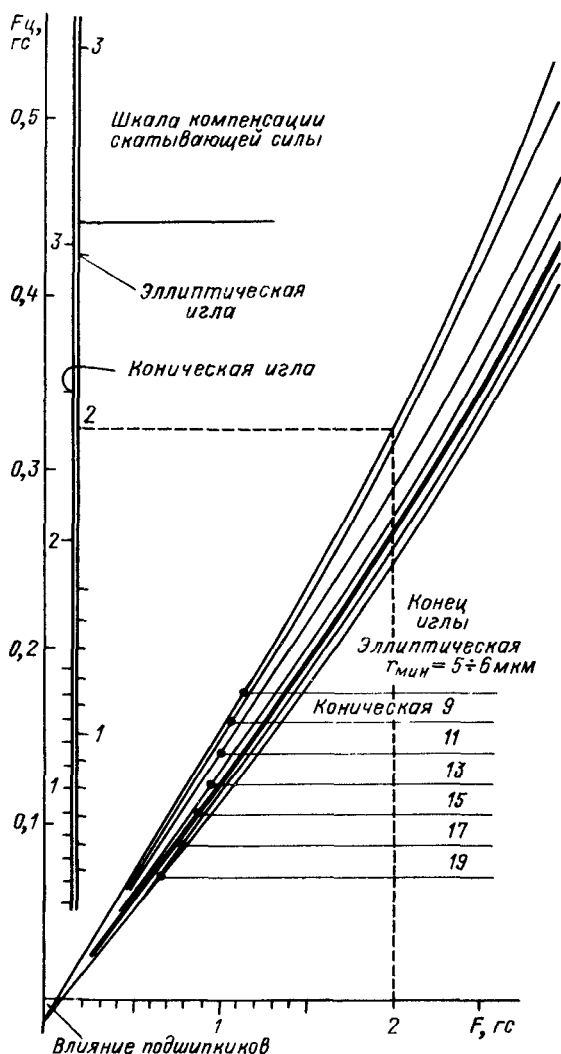
скатывающей силы применяют две шкалы — одна для круглых, другая для эллиптических игл (рис. 26). Чаще всего эти шкалы имеют градуировку от 0 до 3, каждое деление шкалы составляет 1 мН (0,1 гс). Например, для иглы радиусом 12 мкм и прижимной силой 15 мН центробежная сила, согласно табл. 2, составит 1,6 мН. Компенсатор скатывающей силы следует отрегулировать на $1,6 : 1,0 = 1,6$ деления.

К большинству высококачественных проигрывателей приложены таблицы или диаграммы, по которым можно отрегулировать компенсацию скатывающей силы в зависимости от вида иглы и вертикальной прижимной силы. Эти диаграммы составлены сообразно с особенностями конкретного проигрывателя и позволяют непосредственно использовать шкалу компенсатора скатывающей силы.

На рис. 27 показана диаграмма компенсации скатывающей силы современного Hi-Fi проигрывателя модели 1229 фирмы "Dual". В зависимости от вертикальной прижимной силы и радиуса закругления конца иглы можно найти скатывающую силу и соответствующее деление на компенсаторе скатывающей силы для конической или эллиптической иглы. Более жирной линией показана зависимость, составленная для звукоснимателя типа DM101M-C фирмы "Shure" с коническим концом иглы 15 мкм. В качестве примера, показанного штрихами, взят случай с эллиптической иглой, имеющей радиус 5–6 мкм. При прижимной силе 2 гс (≈ 20 мН) сила скатывания составляет около 0,32 гс ($\approx 3,2$ мН) и на шкале для эллиптической иглы следует поставить регулятор на деление 2.

Некоторые фирмы создают специальные устройства для контроля и регулировки компенсации скатывающей силы — измерители скатывающей

рис. 27. Диаграмма компенсации скатывающей силы проигрывателя 1229 фирмы "Dual"



силы (скейтингметры) (рис. 28), которые устанавливаются на звукоснимателе и могут в любой момент показывать отклонение от точного баланса двух сил. Скейтингметр фирмы "Dual" снабжен иглой 16 мкм, для которой, согласно табл. 2, центробежная сила точно равна 1/10 прижимной силы.

В большинстве случаев, однако, когда нет скейтингметра и шкалы для регулировки компенсации скатывающей силы, поступают следующим образом. Включают проигрыватель и ставят иглу на гладкую

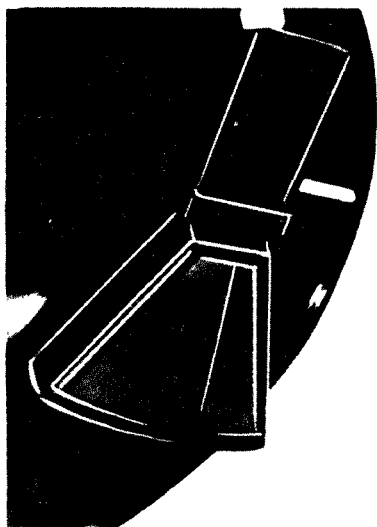


Рис. 28. Точная регулировка компенсации скатывающей силы может быть проведена с помощью скейтингметра, установленного на звукоснимателе

(без канавок) часть пластинки у центра или у края. В некоторых тест-пластинках предусмотрена возможность регулировки компенсации скатывающей силы на гладкой поверхности, оставленной специально для этой цели.

Компенсатор скатывающей силы регулируется до тех пор, пока не достигнет такого положения, когда тонаrm перестанет смещаться влево или вправо. Понятно, что неточность этого метода очень велика, так как трение на гладкой части пластинки и на участках с канавками различно.

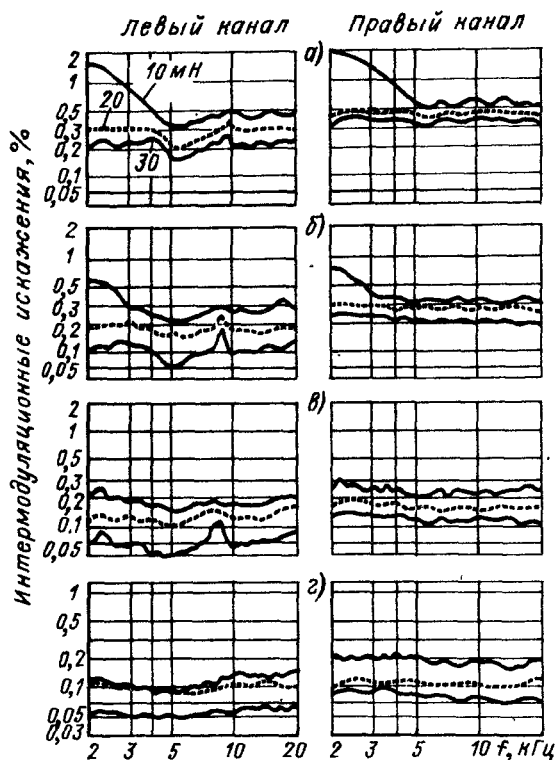
16

Оценка интермодуляционных искажений

Вопреки установленной методике измерений интермодуляционных искажений усилителя, где рекомендуется использовать две удаленные друг от друга частоты (например, 50 и 500 Гц или 250 и 8000 Гц согласно стандарту DIN 45 500), у звукоснимателя интересно проверить влияние двух соседних частот, записанных примерно на одинаковых скоростях. Две частоты подбирают в различных участках диапазона, где поведение звукоснимателя представляет больший интерес.

Если мы хотим исследовать звукосниматель в диапазоне 10 кГц, то на тест-пластинке записывают одновременно две частоты — 9,8 и 10,2 кГц. Сумма и разность их будет составлять соответственно 20 кГц

Рис. 29. Коэффициент интермодуляции звукопередатчика высокого класса невелик, и частотно-независим



и 400 Гц. Амплитуды этих двух паразитных интермодуляционных сигналов могут быть рассчитаны, если известен характер нелинейности испытываемого звукопередатчика. В большинстве случаев сумма двух сигналов выходит за пределы верхней границы частотного диапазона звукопередатчика и остается только разность, по которой можно судить об интермодуляционных искажениях.

На рис. 29 и 30 показано сравнительное исследование двух звукопередатчиков — одного высокого класса (рис. 29), а другого стандартного с ярко выраженным механическим резонансом (рис. 30). Исследование проводилось в частотном диапазоне 2—20 кГц с помощью сигналов, разность между частотами которых составляла 400 Гц и которые были записаны с уменьшением скорости записи: 14,2 см/с (а), 8,9 см/с (б), 5,6 см/с (в) и 3,5 см/с (г). Запись — стереофоническая и сделана последовательно для левого и правого каналов на пластинке 33 об/мин диаметром 30 см.

Интересующий нас частотный диапазон около 400 Гц пропускается через узкополосный фильтр. Амплитуда пропускаемого паразитного

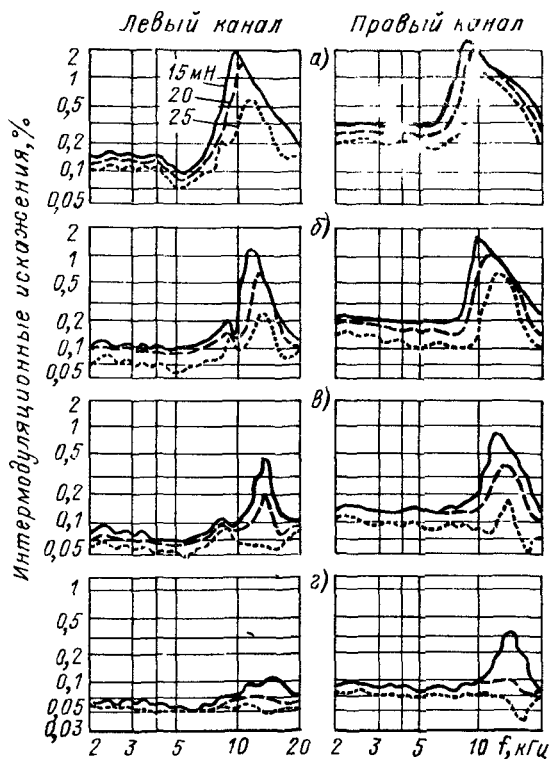


Рис. 30. У звукописателя стандартного класса механический резонанс вызывает значительные по амплитуде интермодуляционные пики

сигнала пропорциональна коэффициенту интермодуляции. У высококачественного звукописателя этот коэффициент обратно пропорционален силе давления и повышается с увеличением скорости записи (рис. 29). Практически зависимость его от частоты не проявляется, за исключением случаев, когда скорость равна 14,2 см/с, а прижимная сила составляет только 10 мН. В этом случае отмечается подъем в области 2 кГц, вызванный недостаточной податливостью подвижной системы.

Если рассматривать результаты, полученные для звукописателя (рис. 30) с ярко выраженным механическим резонансом, то выводы будут совсем другие. При любой скорости записи, а особенно при высокой, влияние механического резонанса подвижной системы приводит к резкому повышению коэффициента интермодуляции в области резонанса. Значение коэффициента интермодуляции большое и практически не меняется с увеличением давления иглы.

Кривые на рис. 30 показывают различие между коэффициентами интермодуляции левого и правого каналов. Причина его в том, что

в тонаре использованного для измерения проигрывателя не предусмотрено устройство для компенсации центробежной силы. В таком случае игла сильнее прижимается к внутренней стенке канавки, которая соответствует левому каналу. Поэтому коэффициент интермодуляции в левом канале меньше, чем в правом.

17

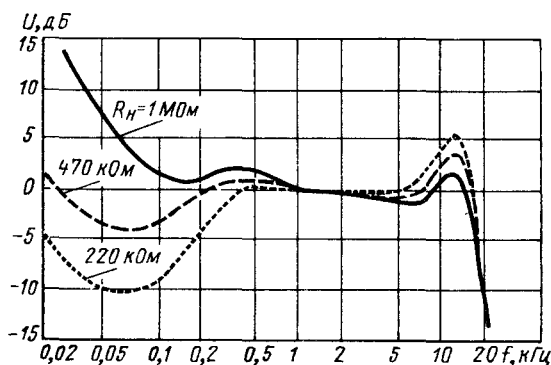
Кристаллический или магнитный звукосниматель?

Для истинных Ni-Fi любителей этот вопрос является излишним: давно известно, что кристаллический звукосниматель несовместим с понятием Ni-Fi. Но так как приобрести магнитный звукосниматель все еще трудно и он стоит дорого, то все-таки проведем их сравнение.

Кристаллический и магнитный звукосниматели являются типичными представителями двух основных групп, называемых обычно амплитудной (воспроизводимый сигнал пропорционален амплитуде отклонения иглы) и скоростной (воспроизводимый сигнал пропорционален скорости отклонения иглы).

К амплитудным звукоснимателям причисляют кристаллические (обычно из сегнетовой соли, редко из естественного кристалла) и керамические (чаще всего из титано-бариевой керамики) звукосниматели, использующие пьезоэлектрический эффект этих материалов. Они имеют неравномерную частотную характеристику с многочисленными пиками и провалами во всем диапазоне частот. Им требуется большая прижимная сила звукоснимателя (редко ниже 50 мН), и тем не менее их контактная способность очень низка — их коэффициент упругости составляет

Рис. 31. Частотная характеристика кристаллического стереофонического звукоснимателя более неравномерна, чем характеристика магнитного звукоснимателя, и меняет свой вид при различных сопротивлениях нагрузки



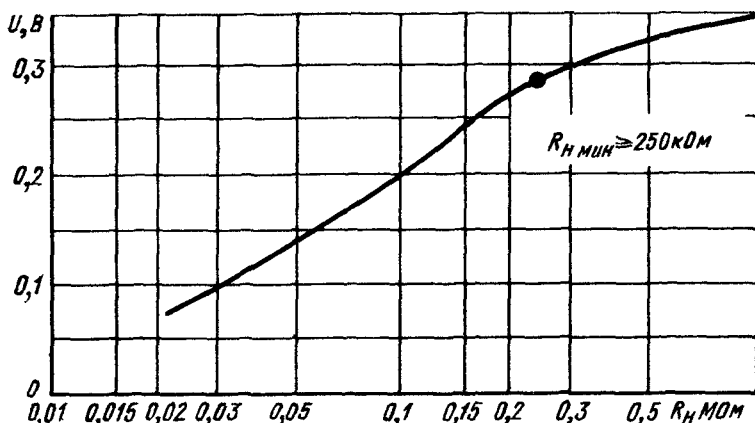


Рис. 32. При различной нагрузке R_n кристаллического звукоусилителя уровень выходного сигнала изменяется

$(1,2 \div 2) \cdot 10^{-6}$ см/дин. Выходной сигнал имеет высокий уровень — от 300 мВ до 1 В.

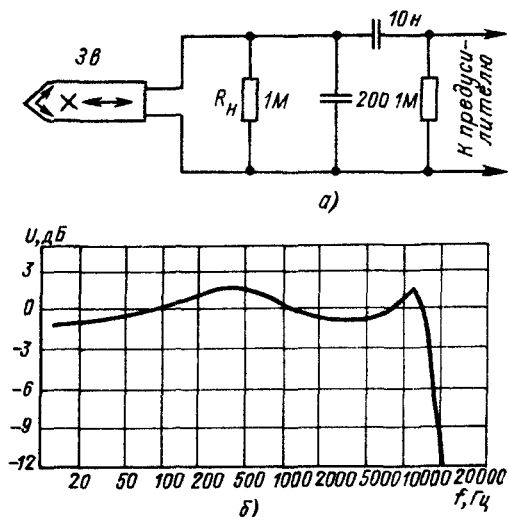
В качестве примера характеристики кристаллического звукоусилителя высокого качества мы приведем частотную характеристику звукоусилителя STVCS фирмы "Melodyne" (рис. 31). Нужно отметить, что этой характеристике присущи два резонансных пика — высокочастотный в диапазоне 10–12 кГц и низкочастотный в области 200–300 Гц, а также значительно большая неравномерность, чем у магнитного звукоусилителя. Для частотной характеристики кристаллического звукоусилителя характерно и то, что она существенно меняет свой вид при изменении сопротивления нагрузки (R_n) на входе усилителя.

Кроме того, в этой характеристике заметен спад в области низких частот (70–100 Гц) и большой подъем на самых низких частотах. На высокочастотном конце характеристики имеется резонанс, который выражается тем сильнее, чем меньше сопротивление нагрузки, и, что особенно плохо, — этот резонанс попадает в область воспринимаемых ухом частот.

Уровень выходного сигнала у кристаллического звукоусилителя также зависит от сопротивления нагрузки (рис. 32). Чтобы не ухудшалась частотная характеристика, R_n выбирается более, чем 250 кОм. Обычное значение $R_n = 1$ МОм, уровень сигнала 340 мВ. Все это указывает на необходимость точного подбора R_n . Для выравнивания характеристики в области низких частот иногда предусматривают RC-фильтры (рис. 33, а)*,

* На электрических схемах в СССР не рекомендуют применять при обозначении емкости конденсатора приставку "н" (нано). — П р и м. р е д.

Рис. 33. Корректирующие элементы на входе усилителя (а) выравнивают частотную характеристику кристаллического звукоснимателя в области низких частот (б)



эффект воздействия которых на частотную кривую показан на рис. 33, б. При этом неравномерность характеристики уменьшается до $\pm 1,5$ дБ в диапазоне 10 Гц — 16 кГц. Мнение о недостаточно высоком качестве кристаллического звукоснимателя может складываться отчасти из-за того, что такие коррекции применяются редко.

Кристаллические звукосниматели имеют низкую тепло- и влажостойкость и не могут работать при температуре выше 40°C и относительной влажности воздуха выше 75%. В этом отношении керамические звукосниматели более устойчивы. Имеется еще один недостаток — звукосниматель иногда "свистит" при механической вибрации кристаллической пластины на высоких частотах.

Но есть, однако, и одно преимущество — кристаллический звукосниматель не требует коррекции, предусматриваемой стандартом RIAA, так как линейность его характеристики обеспечивается автоматически из-за противоположного наклона кривых записи и воспроизведения. Кроме того, кристаллический звукосниматель не испытывает влияния со стороны внешних магнитных полей, а значит, не создает дополнительный фон.

Не вдаваясь в подробности, оценим достоинства магнитных звукоснимателей. Прежде всего, это частотная характеристика. "Классический" диапазон 20—20 000 Гц расширен в области высоких частот до 40—50 кГц, что необходимо для квадрафонических систем.

На рис. 34 показана частотная характеристика и кривая затухания между каналами магнитного звукоснимателя типа DM101MG фирмы "Shure", а на рис. 35 приведена форма сигнала при воспроизведении прямоугольной волны с тест-пластинки. Частотная характеристика

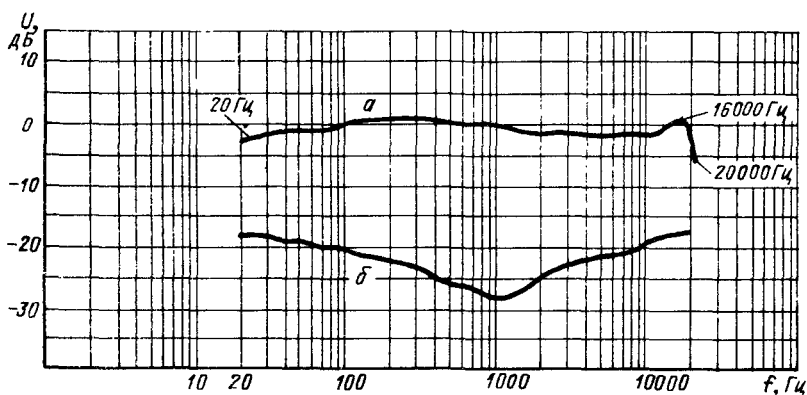


Рис. 34. Магнитный звукосниматель типа DM101MG фирмы "Shure" не относится к высшему классу, но тем не менее его частотная характеристика достаточно линейна в диапазоне 20 Гц — 20 кГц (а) и имеет затухание между каналами 25 дБ (б)

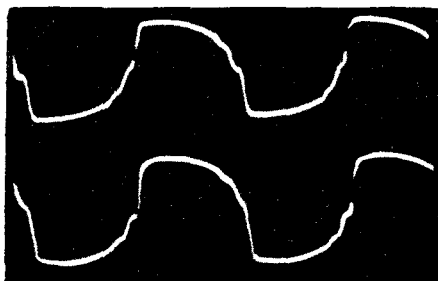


Рис. 35. Колебания переднего фронта прямоугольной волны сигнала от звукоснимателя DM101MG быстро затухают: демпфирующие свойства звукоснимателя достаточно хороши

отличается хорошей линейностью в диапазоне 20 Гц — 20 кГц. Высоко-частотный резонанс, вызванный собственным механическим резонансом подвижной системы, имеет частоту около 18 кГц и не превышает 3 дБ. В современных конструкциях звукоснимателей подвижная система разработана так, что ее собственный механический резонанс выведен за пределы воспринимаемых частот.

Низкочастотный резонанс, возникающий из-за механического колебания всего звукоснимателя вместе с тонармом, у высококачественных конструкций попадает в диапазон 12–18 Гц (ниже порога чувствительности нижних частот) и сильно затухает.

Паразитные сигналы между каналами (кривая б на рис. 34) ослабляются на 25 дБ на частоте 1000 Гц. В лучших образцах это ослабление достигает даже 35–40 дБ.

При воспроизведении сигналов прямоугольной волны и нормальной прижимной силе в звукоснимателе DM101MG осуществляется быстрое

затухание колебаний, вызванных крутым передним фронтом волны (рис. 35). Это говорит о хорошем демпфировании подвижной системы. Она имеет коэффициент упругости (податливости) $25 \cdot 10^{-6}$ см/дин, что не может быть осуществлено при кристаллическом звукоснимателе.

Ко всему этому следует добавить, что магнитные звукосниматели очень незначительно искажают синусоидальные сигналы. Как гармонические, так и интермодуляционные искажения много ниже тех, которые присущи кристаллическим звукоснимателям.

Особенно важным качеством магнитных звукоснимателей является большая горизонтальная и вертикальная податливость их магнитных систем. У стереофонических звукоснимателей это свойство имеет существенное значение. Податливость кристаллических звукоснимателей невелика из-за твердости кристаллической пластинки, к которой прикреплена игла. Податливость подвижной системы с магнитным звукоснимателем является вопросом мастерства конструктора. Обычно максимальная горизонтальная и вертикальная податливость составляют $30 \cdot 10^{-6}$ см/дин.

Наконец, еще одно преимущество, которое является не последним по значимости, — малая прижимная сила (обычно 7,5–15 мН), сохраняющая пластинки намного дольше, чем "царапание" с силой 50–100 мН при использовании кристаллического звукоснимателя.

18

Боковая и вертикальная составляющие рокота

Нередко Hi-Fi любители замечают, что их проигрыватель очень хорошо воспроизводит монофонические записи и совсем неудовлетворительно — стереозаписи. Причина одна — стереофонические звукосниматели чувствительны и к вертикальной составляющей рокота. Это вызывает у некоторых любителей желание проверить соотношение между вертикальной и горизонтальной (боковой) составляющими рокота в своем проигрывателе.

Измерение проводится проще, чем можно предположить. На рис. 36 дается примерное расположение выводов стереофонического звукоснимателя. Двумя показанными способами соединения можно сделать звукосниматель чувствительным или только к боковой составляющей рокота (рис. 36, а), или только к вертикальной (рис. 36, б). В первом случае осуществляется суммирование сигналов двух каналов при противофазном соединении, во втором — при соединении в фазе. Используется тест-пластинка с неммыми канавками, специально предназначенная для измерения рокота и других паразитных колебаний и шумов.

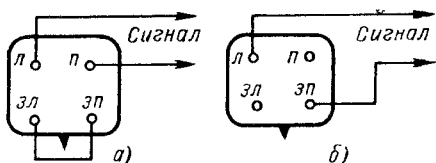


Рис. 36. Соединение выводов стереофонического звукоснимателя для измерения горизонтальной (а) и вертикальной (б) составляющих рокота
л — левый канал; п — правый канал;
зл — заземление левого канала;
зп — заземление правого канала

Сумма двух составляющих, измеренных таким способом, должна дать общий уровень рокота. Оценка может быть дана на слух, когда сигнал подается на усилитель, или измерена с помощью вольтметра или осциллографа.

19

Меняйте сами свои пластинки!

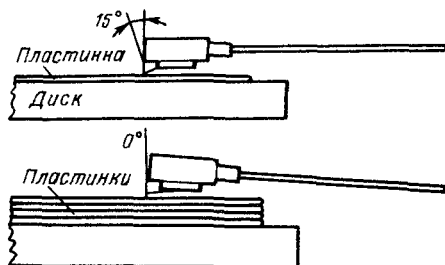
Может быть, в нашу эру широкой и комплексной автоматизации процессов отказ от проигрывателя-автомата покажется предрассудком. Но наши советы предназначены прежде всего для тех Hi-Fi любителей, которые используют проигрыватель не как "музыкальный ящик", а как качественный источник для перезаписи и, реже, прослушивания.

Каковы доводы "за" и "против" проигрывателя с автоматической сменой пластинок?

"За": 1) исключается опасность неточного опускания звукоснимателя на грампластинку и появления царапин на ней; 2) создается возможность непрерывного прослушивания в течение 4—5 ч без ручного управления; 3) осуществляется мягкое опускание звукоснимателя на пластинку.

"Против": 1) размещение пластинок друг на друге и падение их на диск проигрывателя противоречит элементарным требованиям правильного хранения и приводит к появлению царапин и образованию электростатических зарядов; 2) при нагромождении пластинок меняется угол, который игла образует с вертикальной плоскостью (рис. 37). Если тонарм не имеет специального устройства компенсации этого изменения, то возникнут дополнительные искажения по второй гармонике сигнала и уменьшится затухание между каналами; 3) при постепенном подъеме звукоснимателя изменяется в известных границах и вертикальная прижимная сила; 4) прослушивание с помощью автомата возможно только в том случае, если нет связи между одной и другой сторонами пластинки. При воспроизведении симфонических и оперных записей такая связь нарушается; 5) сложная механическая система

Рис. 37. У автоматического проигрывателя игла меняет вертикальный угол при нагромождении пластинок



автоматики дополнительно нагружает электродвигатель и ухудшает стабильность скорости; 6) большое число механических передач и подшипниковых систем увеличивает рокот.

Как видим, соображения против автомата многочисленны и серьезны. Поэтому в прошлые годы для обеспечения Hi-Fi требований создавались проигрыватели, в которых двигатель служил только для вращения диска (модель L75 фирмы "Leeco", модель 401 фирмы "Garrard" и др.). Через некоторое время было принято компромиссное решение — ввести только автоматическую установку и возвращение тонарма. С этого началось осуществление мягкой и точной установки иглы на начальную канавку и возвращение в исходное положение при сохранении всех остальных преимуществ проигрывателя с "ручным управлением". К такому типу относится современный проигрыватель высокого класса 1229 фирмы "Dual".

В заключение заметим, что проигрыватель с автоматической сменой пластинок — это удобный бытовой прибор, но совершенно не удовлетворяющий Hi-Fi требованиям.

20 Коррекция по стандарту RIAA

Этот стандарт* был утвержден в 1955 г. До этого времени фирмы-изготовители грампластинок делали записи по самым различным, зачастую собственным стандартам на характеристики. Такое положение требовало предусматривать в усилителе несколько видов коррекции грамзаписей или использовать плавные регуляторы тембра.

С 1958 г. коррекция по стандарту RIAA была принята как рекомендация Международной электротехнической комиссии (МЭК)

* RIAA — Recording Industries Association of America. — Прим. автора.

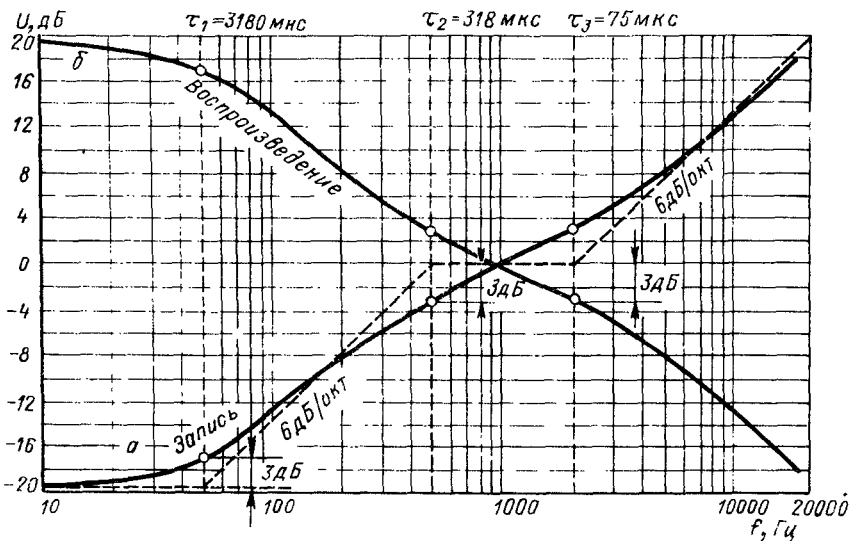


Рис. 38. Частотная характеристика по стандарту RIAA, построенная для постоянных времени τ_1 , τ_2 и τ_3

и вошла в стандарты большинства стран, например в ГОСТ 7893–72, DIN 45 541.

Ряд соображений, принятых при осуществлении записи на грампластинку для повышения подъема высоких частот с целью обеспечения требуемой формы характеристики, учтен на рис. 38 (кривая *а*). Прежде всего наблюдается стремление улучшить отношение сигнал-шум в области высоких частот.

Грамзапись осуществляется с помощью резца рекордера, связанного со звуконосителем скоростного типа. Скорость движения резца около точки равновесия прямо пропорциональна значению сигнала, подаваемого на запись. Следовательно, при постоянном по амплитуде сигнале скорость также остается постоянной и амплитуда резца, а соответственно и ширина канавки, будут обратно пропорциональны частоте сигнала*.

На высоких частотах ширина канавки будет уменьшаться и отношение сигнал-шум ухудшится. На низких частотах ширина канавки увеличивается, что требует увеличения расстояния между канавками и приводит к повышению искажений. Необходимо амплитуду записи уменьшать на низких частотах и увеличивать на высоких.

* $v = \omega A = 2\pi fA$, где v — скорость колебания резца; f — частота сигнала; A — амплитуда колебания резца. — Прим. автора.

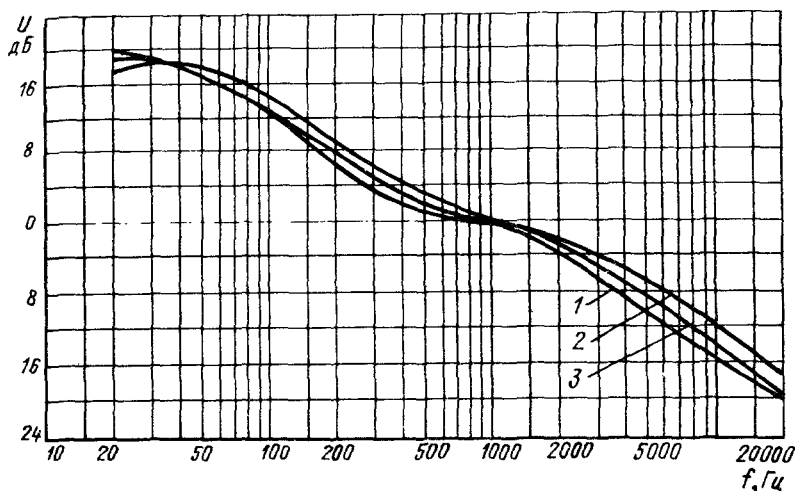


рис. 39. Сравнение частотных характеристик различных стандартов для грамзаписи

Характеристика записи, утвержденная стандартом RIAA, пригодна как для моно-, так и для стереозаписи. В ней определены три зоны: зона низких частот, где сигнал затухает на 6 дБ на октаву, зона средних частот, где около частоты 1 кГц на уровне 0 дБ находится точка перегиба, и зона высоких частот, где сигнал повышается на 6 дБ на октаву. Такая характеристика получается с помощью трех постоянных времени: $\tau_1 = 3180$ мкс, соответствующей 50 Гц; $\tau_2 = 318$ мкс, соответствующей 500 Гц; $\tau_3 = 75$ мкс, соответствующей 2100 Гц.

Эти три точки определяют зигзагообразность кривой записи.

Кристаллические звукосниматели имеют обратную характеристику, и частотная компенсация получается автоматически. К сожалению, кристаллические звукосниматели не отвечают Hi-Fi требованиям, а магнитные звукосниматели имеют линейную частотную характеристику. Это вызывает необходимость ввода между магнитным звукоснимателем и входом линейного усилителя специальной схемы частотной коррекции, которая имеет обратную характеристику (рис. 38, кривая б).

Частотная характеристика корректирующего предусилителя, соответствующая требованию стандарта RIAA, осуществляется с помощью схемы, обеспечивающей три постоянных времени τ_1 , τ_2 и τ_3 через соответствующие RC-цепочки, часто соединенные цепью отрицательной обратной связи.

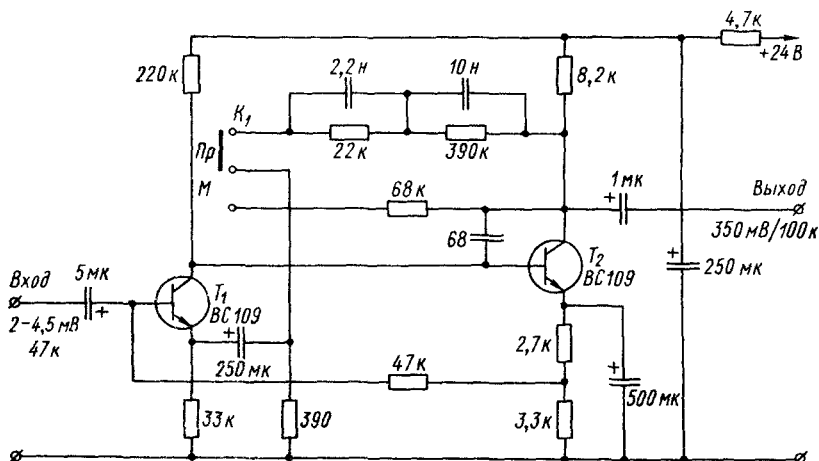


Рис. 40. Принципиальная электрическая схема предусилителя-корректора по стандарту RIAA

Иногда еще можно встретить грамзапись, сделанную по старым стандартам и требующую другой коррекции в предусилителе. Стандарт NARTB дает частотную кривую, полученную с использованием постоянных времени 2720, 318 и 100 мкс (кривая 1 на рис. 39). Один старый немецкий стандарт (фирмы "Telefunken") использует постоянные времени 3180, 318 и 50 мкс (кривая 2 на рис. 39). Для сравнения приведена кривая 3, соответствующая требованиям формы частотной характеристики по стандарту RIAA для постоянных времени 3180, 318 и 75 мкс.

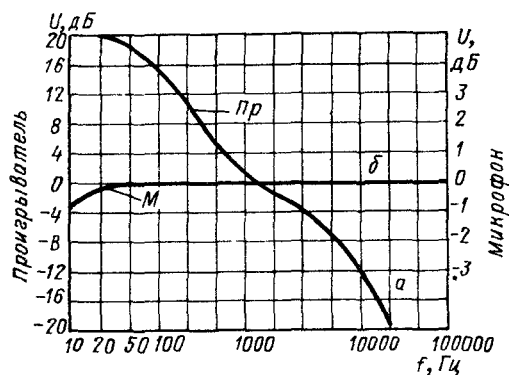
Входной каскад предусилителя не требует коррекции для обеспечения стандартных постоянных времени; это означает, что его входное сопротивление должно быть значительным. Его емкость (большая часть — емкость соединительного кабеля) вместе с индуктивностью звукоснимателя должна иметь собственный резонанс за пределами диапазона звуковых частот.

На практике для магнитных звукоснимателей рекомендуется уменьшать входное сопротивление предусилителя до 100 кОм, и даже до 50 кОм, для подавления упомянутого паразитного резонанса и компенсации подъема частотной характеристики в области механического резонанса подвижной части звукоснимателя.

Принципиальная схема предусилителя магнитного звукоснимателя (рис. 40) состоит из двух малошумящих кремниевых транзисторов BC109*, связанных непосредственно. Частотная характеристика

* В приложении 3 дана сравнительная таблица малошумящих НЧ-транзисторов подобного типа. — Прим. автора.

Рис. 41. Частотные характеристики корректора по стандарту RIAA в положениях "Проигрыватель" (а) и "Микрофон" (б)



предусилителя изменяется за счет переключения K_1 в положение M — линейное для работы с динамическим микрофоном (рис. 41, а) или в положение Pr , соответствующее стандарту RIAA для магнитного звукоснимателя (рис. 41, б)*.

В положении M между двумя каскадами включается частотно-независимая обратная связь, в положении Pr — обратная связь, обеспечивающая необходимые постоянные времени с помощью точно подобранных RC -цепей.

Чтобы избежать смещения рабочей точки первого транзистора при переключении K_1 , цепи обратной связи отделены от цепей постоянного тока конденсатором 250 мкФ.

Технические данные предусилителя (в числителе дано значение диаметра в положении "Микрофон", в знаменателе — в положении "Проигрыватель"):

Входное напряжение (при $f = 1$ кГц), мВ	2/4,5
Входное сопротивление, кОм	47/47
Выходное напряжение (при $f = 1$ кГц, $R_n = 100$ кОм), мВ	350/350
Коэффициент нелинейных искажений (при выходном напряжении 350 мВ), %	
$f = 100$ Гц	0,3/0,2
$f = 1$ кГц	0,3/0,1
$f = 20$ кГц	-/0,2
Потребляемый ток, мА	0,85/0,85

* Изображения элементов схем соответствуют болгарским стандартам. —
Прим. ред.

Обратная связь между коллектором и базой второго транзистора, осуществляемая с помощью конденсатора 68 пФ, уменьшает усиление на высоких частотах и устраняет опасность самовозбуждения.

Чтобы уменьшить до минимума шум от первого каскада, рабочая точка T_1 подобрана так, чтобы ток коллектора был невелик — около 100 мкА.

21

Методы измерений параметров проигрывателя

Проведение измерений параметров проигрывателя необходимо. Проигрыватель Hi-Fi класса — это практически единственный и особенно часто используемый источник звука для качественной магнитной записи, и от его данных зависит качество записи.

Когда говорится об измерении параметров проигрывателя, то имеется в виду контроль над теми параметрами, которые определяются его конструкцией и тонармом. Все, что связано с электрическими параметрами звукоснимателя и предусилителя (часто вмонтированного в проигрыватель), — это предмет отдельного разговора.

Рокот. Механический рокот, вызываемый вибрацией системы привода и подшипников, соединяющих двигатель с диском, представляет собой явление, которое особенно волнует Hi-Fi любителя, так как создает значительные помехи при воспроизведении. Паразитный сигнал рокота имеет частоту от нескольких герц до десятков герц и на слух воспринимается как гудение или жужжание. Уровень рокота зависит в основном от несовершенства конструкции и неточности изготовления приводных механизмов и подшипников.

Измерение уровня рокота осуществляется с помощью стандартных средств и приборов. Достаточно располагать вольтметром переменного тока, имеющим шкалу в децибелах, а также некоторыми указанными в приложении 2 тест-пластинками. Структурная схема установки для измерения показана на рис. 42. Между звукоснимателем и предусилителем-корректором RIAA необходимо поместить калиброванный делитель (-35 дБ/0 дБ), построенный по схеме рис. 43.

Делитель рассчитан на подключение к магнитному звукоснимателю с сопротивлением нагрузки 50 кОм. Для кристаллического звукоснимателя, у которого требуемая нагрузка составляет 1 МОм, значения сопротивлений резисторов делителя должны быть умножены на 20. Делитель должен быть хорошо экранирован, в качестве его выводов должны использоваться экранированные проводники. Уровень рокота, полученный на выходе усилителя, зависит еще и от чувствительности

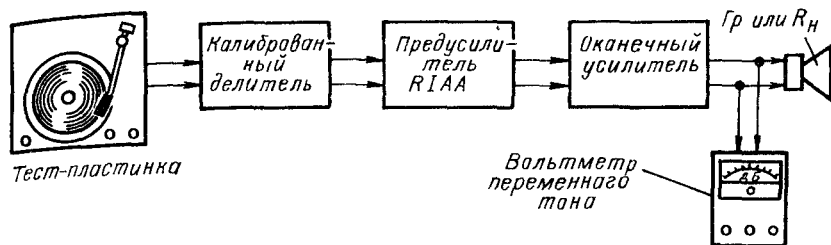


рис. 42. Структурная схема измерительной установки для оценки рокота: измерения могут быть осуществлены доступными стандартными средствами

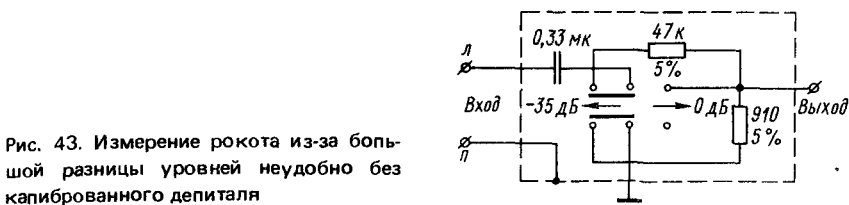


рис. 43. Измерение рокота из-за большой разницы уровней неудобно без калиброванного делителя

звукоснимателя и от положения регулятора тембра усилителя. Поэтому рокот можно рассматривать как отношение сигнал-шум и определять при помощи двух канавок на тест-пластинке — одной, записанной с определенными частотой и скоростью записи, другой — "немой".

Но нормам NAB* записанный на тест-пластинке эталонный сигнал должен иметь частоту 100 Гц и скорость записи 1,4 см/с. В любительских условиях можно использовать простую методику измерений — сравнение выходных сигналов, полученных от немой и записанной канавок. Сначала регуляторы низких и высоких частот ставятся в положение линейного усиления, а регулятор баланса — в крайнее максимальное положение для канала, который измеряется. Делитель включается на прямую передачу (0 дБ), а вольтметр подключается к высокоомному выходу усилителя. Звукосниматель ставят на немую канавку и регулятором громкости устанавливают напряжение рокота около 1 В. Переключают делитель на -35 дБ, одновременно с помощью регулятора тембра ослабляют высокие частоты, что позволяет исключить влияние шумов от пластинки. С помощью регулятора громкости стрелку вольтметра устанавливают на 0 дБ. Затем, не трогая регулятора, перемещают звукосниматель снова на немую канавку и устанавливают делитель

*NAB — National Association of Broadcasters. Позднее введены рекомендации МЭК, по которым сравнительный сигнал записывается на частоте 315 Гц со скоростью 3,9 см/с по сложной методике. — Прим. автора.

на 0 дБ, причем отсчитывают уровень по шкале вольтметра в децибелах.

Уровень рокота определяют простым алгебраическим сложением полученных величин в децибелах. Если от немой канавки получен уровень -5 дБ, то: $(-35) + (-5) = -40$ дБ. Это измерение можно повторить и для другого канала, переключив выводы звукоусилителя.

Если установлено, что существует акустическая обратная связь между входом и выходом, то громкоговоритель можно заменить активным сопротивлением нагрузки. Удобно контролировать рокот на слух, причем громкоговоритель *Гр* рекомендуется отключить, а обратную связь устранить путем его удаления от проигрывателя.

Не следует, однако, рассчитывать только на слуховой контроль рокота, так как колебания механической передачи могут быть ниже осязаемой границы и создавать сильные и неприятные интермодуляционные искажения.

Согласно требованиям МЭК, DIN 45 500 и NAB уровень рокота не должен превышать -35 дБ для монофонических и -40 дБ для стереофонических проигрывателей, если считать, что это проигрыватель Hi-Fi класса.

Завывание и вибрация. Периодические изменения частоты вращения диска проявляются в двух видах помех, называемых еще детонацией, так как зависят от изменения частоты сигнала: завывание* проявляется на низких частотах (0,5–10 Гц), вибрация** — на более высоких частотах (10–300 Гц). Периодические изменения частоты вращения зависят прежде всего от эксцентриситета различных вращающихся элементов — электродвигателя, фрикционных шайб (вызывающих вибрации), диска, грампластинок (вызывающих детонацию 1-го рода).

На рис. 44 дан примерный график медленных и быстрых изменений частоты вращения высококачественного проигрывателя. Детонация 1-го рода составляет 0,1%, детонация 2-го рода — 0,07% от частоты вращения диска. Для измерения детонации в профессиональных условиях требуются специальные приборы — детонометры. Любителям достаточно использовать упрощенную методику, которую можно реализовать с помощью установки на рис. 45. Новое в ней то, что вместо вольтметра на выходе подключен осциллограф, поставленный на периодическую развертку и внешнюю синхронизацию.

Регулятор низких частот предусилителя ставится на максимальное затухание, чтобы исключить влияние рокота на индикацию осциллографа. На тест-пластинке выбирается та часть, которая дает постоянную

* Wow (англ.), pleurage (фр.) — детонация 1-го рода.

** Flutter (англ.), scintillation (фр.) — детонация 2-го рода. — Прим. автора.

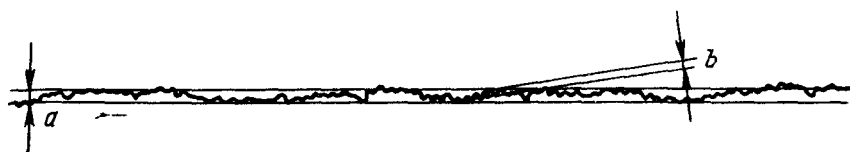


Рис. 44. Кривая детонации показывает характер медленных (а) и быстрых (б) колебаний частоты вращения проигрывателя

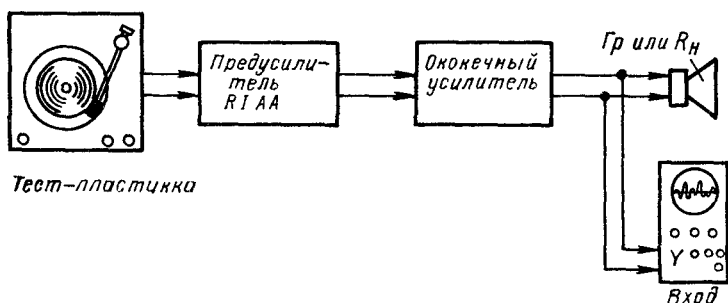


Рис. 45. В любительских условиях можно получить достаточно ясное представление о характере и амплитуде детонации, если использовать показанную измерительную установку

частоту 1000 Гц, и с помощью дискретного регулятора скорости развертки получают на экране 3—4 периода сигнала. Затем с помощью плавного регулятора скорости развертки стремятся довести картину на экране осциллографа до наиболее стабильного состояния, так как синхронизация исключена.

Колебания картины то в левую, то в правую сторону показывают наличие детонации обоих видов. Скорость этих смещений и их амплитуда в сочетании со слуховым впечатлением при наличии громкоговорителя на выходе дадут представление о степени детонации.

22

Использование прямоугольных сигналов позволяет раскрыть много неизвестных качеств

Как низкочастотные усилители, так и звукосниматели не могут раскрыть всех своих качеств без исследования их с помощью сигналов, имеющих прямоугольную форму. Воспроизведение сигналов прямоугольной формы можно получить от большинства тест-пластинок, указанных в приложении 2. Полученная таким образом оценка качества

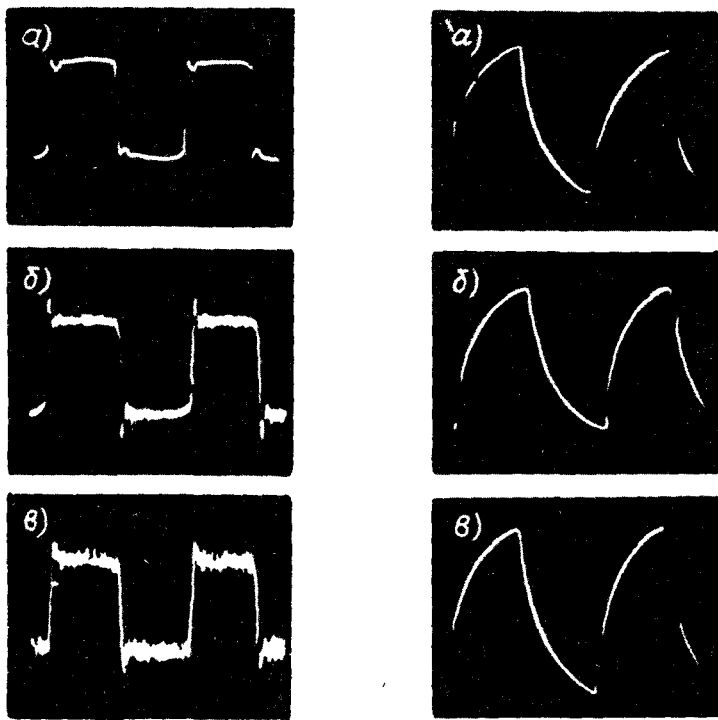


Рис. 46. Сигналы прямоугольной формы, полученные от тест-пластинки, раскрывают много "тайн" звукописателя: *а* — высококачественный звукописатель с хорошей переходной характеристикой и незаметным шумом; *б* — звукописатель с худшей переходной характеристикой — большие выбросы импульсов и медленное их затухание при скачкообразном воздействии; *в* — звукописатель со значительным собственным шумом, который ощущается и без сигнала прямоугольной волны

Рис. 47. Предусилитель с частотной коррекцией интегрирует сигнал прямоугольной формы и маскирует результаты анализа, видимые на рис. 46

звукописателя намного полнее и точнее, так как он испытывается в условиях, близких к реальным. Сигнал прямоугольной формы дает ясное представление о резонансных явлениях электрического и механического характера и позволяет анализировать причины, а также искать оптимальные условия для подавления этих паразитных резонансов. Во многих случаях звукописатели с почти совпадающими частотными характеристиками вызывают различные субъективные оценки на слух. Тогда на помощь приходят сигналы прямоугольной формы, которые раскрывают "тайны" звукописателя.

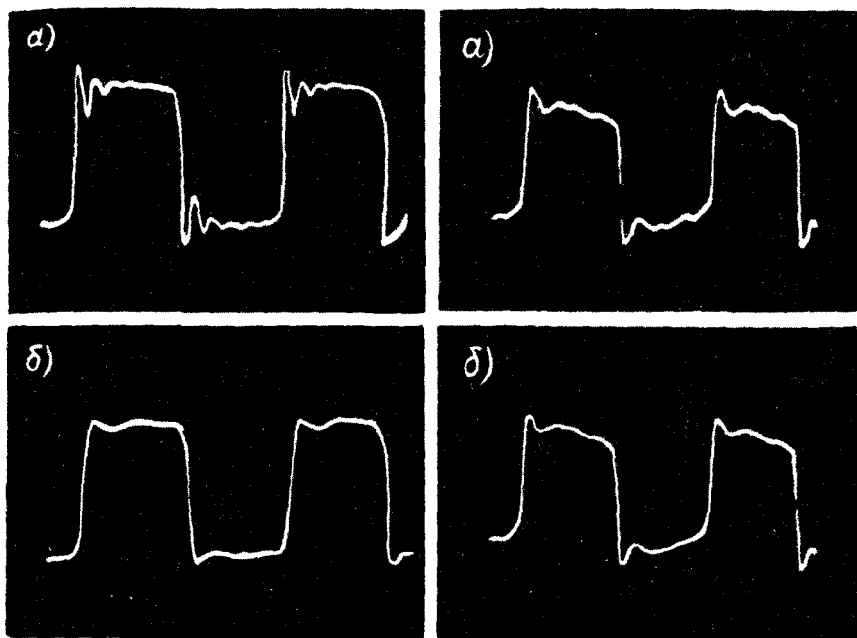


Рис. 48. Электрический резонанс, созданный катушкой звукоусилителя и паразитными емкостями, приводит к изменению формы импульса (а), причем резонансные колебания заметно затухают при подключении дополнительной емкости (б)

Рис. 49. Изменение формы импульса, вызванное механическим резонансом подвижной системы звукоусилителя (а), почти не меняется при подключении дополнительной емкости (б)

Три осциллограммы на рис. 46 ясно показывают различия между тремя звукоусилителями, поставленными в одинаковые условия при частоте повторения 1 кГц. Сигналы для исследования получены с выхода линейного предусилителя без коррекции RIAA. Все три звукоусилителя, исследованные ранее классическим методом — с помощью синусоидальных сигналов, показали очень близкие характеристики. Между тем, звукоусилитель (рис. 46, а) имеет едва заметный собственный шум и очень хорошую переходную характеристику — выбросы от переднего и заднего фронтов имеют малую амплитуду и очень быстро затухают; звукоусилитель (рис. 46, б) имеет значительные выбросы и незатухающие мерцания; паразитные шумы у звукоусилителя (рис. 46, в) недопустимо велики, и это ясно ощущается на слух.

Если эти исследования будут проведены с использованием сигнала, полученного с выхода предусилителя с частотной коррекцией, осциллограмма

покажет интегрированный импульс (рис. 47), в котором все указанные выше данные анализа замаскированы. Фотографии *а, б, в* на рис. 47 соответствуют фотографиям *а, б, в* на рис. 46.

Импульсные характеристики дают возможность понять характер резонансного явления, которое приводит к изменению формы импульса. Если резонанс электрического характера (рис. 48, *а*), то он исчезнет или заметно уменьшится при подключении конденсатора небольшой емкости параллельно соединительному кабелю (рис. 48, *б*). Если изменение вызвано механическим резонансом (рис. 49, *а*), то дополнительная емкость окажет несущественное влияние на форму выходного сигнала (рис. 49, *б*).

23

Пластинки требуют больших забот

Наибольший объем музыкальной программы, охватывающей все жанры музыки, содержится в грампластинках. Существуют предварительно записанные магнитные ленты и кассеты, но они еще очень ограничены по жанру и преимущественно создаются для любителей легкой музыки.

Грампластинка до сегодняшнего дня остается наиболее качественным источником "законсервированной" музыки, самым верным оригиналом для вторичной магнитной записи и поэтому требует специального ухода.

Современные условия работы с грампластинкой благоприятны для ее правильной эксплуатации и хранения. Если мы сравним их с условиями недавнего периода, например с началом стереофонии — 1960 г., то увидим следующую разницу: в 1960 г. податливость подвижной системы звукоснимателя была $(4 \div 5) \cdot 10^{-6}$ см/дин по сравнению с $(25 \div 30) \cdot 10^{-6}$ см/дин современных качественных звукоснимателей; малая податливость звукоснимателей в 1960 г. требовала большой вертикальной прижимной силы — 100–150 мН, тогда как современные звукосниматели обеспечивают безопасную для пластинок силу от 7,5 до 20 мН; в начальный период стереофонической грамзаписи по системе 45 × 45 не оценивали вредного влияния скатывающей силы на пластинку. Сейчас нет высококачественного проигрывателя без компенсатора скатывающей силы.

Несмотря на большое развитие пластмасс, современные грампластинки изготавливаются из поливинилхлорида, которому присущи и свои недостатки. Этот материал имеет сравнительно низкую температуру плавления (60–70°C), легко поддается деформации при механической нагрузке даже в нормальных температурных условиях, сравнительно

мягок, в результате чего на пластинках легко получаются царапины и порезы при невнимательной их эксплуатации. К тому же поливинилхлорид легко электризуется при трении и по этой причине притягивает пыль.

Некоторые фирмы изготавливают специальные щетки*, которые монтируются на звукоснимателе или отдельном держателе. Щетки непрерывно очищают канавки, по которым следует игла. Если щетка вмонтирована в звукосниматель, то она поднимает и облегчает его и при регулировке вертикальной прижимной силы следует учитывать это влияние.

Приведенные ниже рекомендации относятся прежде всего к наиболее ценным грампластинкам и тест-пластинкам, но мы советуем Hi-Fi любителям превратить их для любых пластинок в ежедневные привычки.

Рекомендации

Общие. Не трогайте поверхность пластинки с записью пальцами! Берите пластинку двумя руками, касаясь только внешнего края и центрального круга с этикеткой. Пот и жир от рук собирают пыль.

Избегайте повторения некоторых пассажей на середине пластинки! Всякое опускание иглы, даже с помощью автомата или микролифта, создает царапины и приводит к трещинам.

Прикосновение длинными ногтями, металлическими украшениями и другими металлическими предметами вызывает царапины, которые увеличивают шумы от пластинок.

Не ставьте несколько пластинок друг на друга, когда вынимаете их из конвертов. Это тоже может повредить запись.

Тепловые условия. Храните пластинки подальше от источников тепла — печей, радиаторов, солнечных лучей. Не оставляйте их летом в автомобиле, особенно при прямом солнечном облучении.

При работе с пластинками не забывайте подальше отложить сигарету.

Пыль. Не оставляйте пластинки без конверта после проигрывания! Каждый час в комнате опускается 5 г пыли, а пыль на пластинке оказывает сильное абразивное действие при прохождении иглы по канавке.

Очищайте от пыли поверхность пластинки до и после проигрывания! Для этого используйте сухие мягкие ткани или тампоны, специально созданные для этого. Вытирайте легко, круговым движением по направлению канавок.

Избегайте применять для очищения от пыли "антистатическую" жидкость, которая увлажняет поверхность пластинки. Такая жидкость, которую продают иногда отдельно в пульверизаторах, может принести больше вреда, чем пользы.

Не пробуйте сдувать пыль, так как незаметно увлажните поверхность и этим самым вызовете дополнительное оседание пыли.

Избегайте курить в комнате во время прослушивания или записи с особенно ценных пластинок! Смолистые и никотиновые частицы и сигарный пепел так тойки, что их трудно счистить с пластинок, а действие их также отличается сильными абразивными свойствами.

* Например, "Dustamatic" фирм "Stanton" и "Pickering". — П р и м. а в т о р а.

При увеличении шума от пластинки или при сильном ее загрязнении следует смыть пыль обильной струей холодной воды. Смывать следует мягкой тряпкой и устранять не только пыль и жир, но и различные микроорганизмы и грибки, которые появляются при повышенной влажности и температуре воздуха и находят питание на поверхности пластинки. Не используйте для мытья пластинок мыло, спирт, бензин, ацетон и другие сильные растворители!

Не забывайте очищать от пыли иглу звукоснимателя! Ее следует чистить очень внимательно, небольшой мягкой кисточкой. Движение кисточки должно быть направлено вдоль тонуса, а не поперек.

Проигрыватель. Износ пластинки снижается с уменьшением прижимной силы звукоснимателя и почти исчезает при силе около 10 мН. Не используйте звукосниматели, которые требуют большей силы!

Правильно регулируйте компенсацию скатывающей силы! Центробежная сила ведет к ускорению износа иглы и внутренней стенки канавки. В стереопластинках создаются искажения и шумы в левом канале.

Эллиптическая игла, помимо всех своих преимуществ, при воспроизведении приводит к более медленному износу пластинок.

Не рискуйте особенно ценными грампластинками и не проигрывайте их на других проигрывателях, свойства которых вам неизвестны.

Регулярно очищайте от пыли диск проигрывателя, чтобы эта пыль не оставалась на поверхности пластинки.

Не воспроизводите стереопластинки на монофонических проигрывателях! Монофонические звукосниматели чаще всего бывают кристаллическими, очень "твердыми", с большой прижимной силой и малой податливостью.

Следите за износом иглы, так как изношенный конец сильно царапает пластинку. По литературным данным, алмазный конец рассчитан на 500–600 ч нормальной работы, а сапфировый — на 40–50 ч. Почти в 10 раз больший срок службы и в 10 раз большая стоимость алмазной иглы определению подскажет, какую иглу выбрать.

Дискоотека. Не накладывайте более пяти пластинок друг на друга в горизонтальном положении, если пластинки не хранятся в толстой картонной упаковке.

Не допускайте наклонного положения при хранении пластинок. Они должны располагаться плотно друг к другу в строго вертикальном положении.

При размещении пластинок в дискоотеке рекомендуется между рядами из 10–15 пластинок ставить крепкую вертикальную перегородку.

МАГНИТОФОН КАК ИСТОЧНИК Hi-Fi ЗВУКА

24

Основные данные магнитных лент

Зависимости для различных видов лент даны в табл. 3—7. Рекомендуется иметь диаметр сердечника не менее $1/3$ внешнего диаметра катушки. Для самых маленьких катушек принят минимальный диаметр сердечника, равный 45 мм. Несоблюдение этого требования приводит к увеличению колебаний скорости движения к концу ленты.

Таблица 3

Длина ленты

Диаметр катушки, мм	Сердечник, мм	Нормальная лента, м	Долгоиграющая лента (Long Play), м	Двойная долгоиграющая лента (Double Long Play), м	Тройная долгоиграющая лента (Triple Long Play), м
80	45	—	65	90	135
100	45	90	135	180	270
110	45	—	—	270	360
130	45	180	270	360	540
150	50	270	360	540	720
180	60	360	540	720	1080
250	70	760	1080	—	—
265	100	—	1100	—	—

Ряд фирм допускают отклонения от приведенных в табл. 3 значений, особенно для больших диаметров катушек (250 и 265 мм).

Таблица 4

Ширина и толщина ленты

Ширина, мм	Допуск ширины, мм	Общая толщина, мкм	Толщина магнитного слоя, мкм	Наименование	Примечание
6,35	±0,06	48	10	Нормальная	Катушки
6,35	±0,06	35	10	Долгоиграющая	То же
6,35	±0,06	25	9	Двойная долгоиграющая	" "
6,35	±0,06	18	6	Тройная долгоиграющая	" "
6,35	±0,06	13	5	Четырехкратная долгоиграющая	" "
3,81	±0,05	20	9	C30	Кассеты
3,81	±0,05	20	9	C60	"компакт"
3,81	±0,05	13-18	6	C90	То же
3,81	±0,05	9-12	5	C120	" "

Таблица 5

Стандартные скорости

Обозначение	Точная скорость		Примечание
	см/с	дюйм/с	
76	76,2	30	Для профессионального использования
38	38,1	15	
19	19,05	7½	
19	19,05	7½	Для любительского использования
9,5	9,53	3¾	
4,75	4,76	1⅞	
2,4	2,38	1⅝	

Примечание. Скорость кассеты "компакт" составляет 4,75 см/с, а больших 8-дорожечных кассет — 9,5 см/с.

Таблица 6

Продолжительность записи
на одной дорожке катушки (в мин)

Длина ленты, м	Скорость, см/с			
	19	9,5	4,75	2,4
45	3,75	7,5	15	30
65	5,5	11	22	45
90	7,5	15	30	60

Длина ленты, м	Скорость, см/с			
	19	9,5	4,75	2,4
135	11	22	45	90
180	15	30	60	120
270	22	45	90	180
360	30	60	120	240
540	45	90	180	360
720	60	120	240	480
1080	90	180	360	720

Пример. Двойная долгоиграющая лента в катушке диаметром 180 мм при скорости 4,75 см/с обеспечивает запись продолжительностью $4 \times 240 = 960$ мин, т. е. 16 ч (при 4-дорожечной монозаписи). При стереозаписи продолжительность в этом случае составит 480 мин.

Таблица 7

Продолжительность записи
на одной дорожке
кассеты "компакт"

Тип	Длина ленты, м	Продолжитель- ность записи, мин
C6	—	2 × 3
C30	45	2 × 15
C60	90	2 × 30
C90	132	2 × 45
C120	176	2 × 60

С 1969 г. все изготовители лент и кассет приняли в качестве основных эти данные, которые входят в ряд государственных стандартов и международных рекомендаций (DIN 45 516 от 1971 г., публикация МЭК 94А от 1972 г.).

25

Как оценивается магнитная лента

Современные 4-дорожечные стереомагнитофоны и 8-дорожечные кассетные магнитофоны используют магнитные головки с очень маленькими шириной и высотой зазора. В этих условиях малейшая потеря контакта между головкой и лентой вызывает чувствительное снижение

уровня на высоких частотах во время записи и воспроизведения. Чтобы получить наилучший контакт между магнитным слоем и головкой, помимо конструктивных мер, которые приняты в самом магнитофоне, необходима лента, обладающая некоторыми специфическими качествами.

1. Повышенная эластичность материала. В качестве основы для нанесения магнитного слоя на различных этапах усовершенствования магнитофонных лент были использованы материалы нескольких видов:

Поливинилхлорид (PVC), который все еще используется для некоторых видов лент. Устойчив к механическим воздействиям и не поддается растягиванию при натяжении, но очень зависит от воздействия температур. Его не следует использовать или хранить при температуре выше 40–50°C. На основе поливинилхлорида изготовлены ленты LGS26, LGS35 и LGS52 фирмы BASF, а также типа 6 (СССР).

Целлюлозный триацетат, находящий применение в некоторых дешевых лентах. Ацетатная основа механически прочная, но отличается твердостью, малой эластичностью и не обеспечивает хороший контакт с головкой. На ацетатной основе созданы старые ленты типа С, СН (СНL) и CR (СPL) предприятия "Орво" (ГДР).

Полиэстер (торговые названия "Mylar", "Tenzar" и др.) получил широкое распространение при изготовлении высококачественных лент. Без сомнения, это наиболее подходящая подложка для магнитных лент с большей, чем у ацетатной подложки, прочностью на растяжение, что позволяет использовать ее для изготовления очень тонких лент (до 18 мкм), работающих на высоких скоростях (до 38 см/с). Растяжение ее незначительно даже при воздействии температуры до 100°C. Отличается большой эластичностью, вследствие чего обеспечивается идеальный контакт с головкой даже очень тонких лент из этого материала. Полиэстерные ленты известны и у нас: PS18 и PS26 предприятия "Орво" (ГДР), PE31 (PE36), PE41 (PE46) фирмы "Agfa", PES18 (26, 35) фирмы BASF.

2. Высокая степень полирования магнитного слоя. Хорошо отполированная магнитная поверхность ленты — это необходимое условие полного контакта с головкой и гарантия медленного износа ее рабочей поверхности. Полированные ленты хорошо записывают и воспроизводят высокие частоты и имеют небольшой собственный шум.

Одной из особенностей малошумящих лент (Low Noise) является то, что их магнитный слой состоит из мелкозернистого материала и идеально отполирован.

Из известных лент можно отметить PE46 и PE36 ("Agfa") и PES26 и PES35 (BASF) класса Low Noise. Имеющиеся в продаже ленты PS18 и PS26 ("Орво") также отличаются хорошей поверхностью слоя по сравнению со старыми типами лент СН и CR.

3. Отсутствие дефектов в магнитном слое. Собственный шум ленты определяется прежде всего составом, размером зерна и однородностью

магнитного материала. Если при нанесении магнитного слоя допущены посторонние вкрапления в виде зерен или микропузырьков, то это приведет к потере сигнала, что обозначается терминами* "Drop Outs" и "In Outs".

Поверхностные дефекты слоя из-за посторонних вкраплений и пустот являются особенно серьезным недостатком при профессиональной музыкальной или цифровой записи на магнитную ленту, когда всякий такой дефект приводит к потере информации. Но так как требования Hi-Fi любителей растут, то некоторые фирмы предлагают ленты высококачественного типа использовать для домашней любительской студии. Таковы, например, ленты PEM368 "Professional" (долгоиграющая) и PEM268 "Professional" (двойная долгоиграющая) фирмы "Agfa".

26

Что должен показывать индикатор уровня?

Транзисторные низкочастотные устройства очень чувствительны к изменениям уровня сигнала — превышение максимально допустимого уровня ведет к резкому повышению нелинейных искажений, а уменьшение его — к усилению шума. То же самое получается при перенасыщении магнитного слоя в магнитофонной ленте. Очевидна необходимость контроля уровня сигнала на выходе звуковоспроизводящего и на входе звукозаписывающего устройств.

Наиболее популярными являются индикаторы действующего значения сигнала, известные как VU-метры (Volume Unit Meter). В магнитофоне VU-метр, называемый еще модулометром, имеет особенно важную функцию — осуществляет непрерывный визуальный контроль за уровнем подаваемого на запись сигнала. В усилителях VU-метр подключается на выходе и показывает уровень воспроизводимого сигнала, а в микшерных пультах — уровень смешанных сигналов.

В стереофонических устройствах обычно бывает два индикатора уровня — отдельно для каждого канала, а в квадрафонических — четыре (рис. 50). В стереомагнитофоне контроль уровня записи может осуществляться двумя независимыми индикаторами или, как бывает в большинстве случаев, общим индикатором, на который подается сумма сигналов от двух каналов.

Схемы индикаторов могут быть совсем простыми, используемыми в самых обычных бытовых устройствах, но могут быть и очень

* "Drop Outs" — выпадение (из синхронизма, из работы), "In Outs" — внутренние (собственные) шумы — Прим. перев.

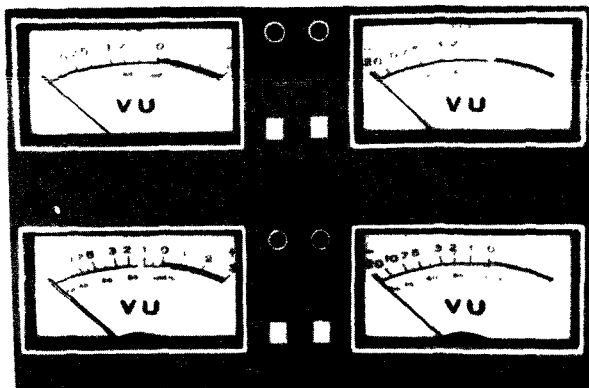


Рис. 50. Группа из четырех индикаторов уровня сигнала в квадрафоническом усилителе

сложными — в аппаратуре для профессиональных целей. В любительской Hi-Fi аппаратуре применяются компромиссные решения, которые требуют выполнения следующих двух основных требований:

1. Из-за большого динамического диапазона современного НЧ-устройства шкала индикатора уровня должна быть логарифмической, градуированной в децибелах, так чтобы одинаково четко были видны как сильные, так и слабые сигналы.

2. Индикатор уровня должен иметь возможность отражать наличие кратковременных пиков с большими амплитудами без пропуска соседних пиков. Другими словами, он должен точно следовать за всеми быстрыми изменениями сигнала, для чего необходим очень точный подбор постоянных времени, определяющих затухание стрелочной системы.

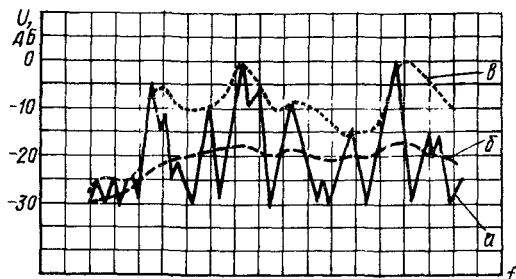
Выполнение второго требования обязывает точно определить временные характеристики, которые включают в себя время интеграции, время установления и время восстановления.

Время интеграции — это длительность единичного сигнала, при которой стрелка прибора отклоняется до отметки шкалы 80%. Время интеграции — наиболее существенный показатель индикатора уровня, он отражает возможность измерения острых пиков с погрешностью не более 20%.

Согласно ГОСТ 12392—66, для бытовых магнитофонов время интеграции должно быть в пределе от 150 до 350 мс с номинальным значением 250 мс.

Время установления — это время, которое необходимо, чтобы стрелка преодолела свою инертность и достигла отклонения, соответствующего сигналу. Время установления определяет запаздывание, с которым сигнал отражается на индикаторе. Обычно у стрелочной системы оно около 200 мс и эта разница между сигналом и его индикацией не может улавливаться человеческим глазом.

Рис. 51. Колебания сигнала (a) могут быть отсчитаны по индикатору, показывающему средний (b) или пиковый уровень ($в$)



Время восстановления — это время, необходимое для возврата стрелки в начальное положение после выключения сигнала. Оно измеряется интервалом, в течение которого после выключения сигнала стрелка уменьшает свое показание в 20 раз. Обычно время восстановления составляет несколько секунд. Согласно упомянутому выше ГОСТ, в бытовых магнитофонах оно должно быть от 0,5 до 1,5 с (номинальное время 1,5 с).

Помимо временных характеристик, важным показателем для индикатора уровня является его частотная характеристика: она должна соответствовать частотному диапазону устройства.

В соответствии с расчетом RC -цепей, определяющих временные характеристики, индикатор уровня может отсчитывать среднее значение изменений записываемого сигнала (рис. 51, кривая b) или проследживать значения пиков этого сигнала. В последнем случае схема индикатора должна обеспечивать быстрое установление показаний при пиках и плавный спад в промежутках между пиками сигнала (рис. 51, кривая $в$). Такой пиковый индикатор обычно имеет время интеграции от 10 до 20 мс и используется преимущественно в профессиональной аппаратуре.

Индикаторы пиковых значений сигнала предохраняют от перегрузок и магнитного насыщения при записи, но не дают точного представления о динамике записываемого сигнала.

Простейшая схема диодного индикатора, который обеспечивает близкий к логарифмическому ход показаний стрелки, дана на рис. 52, а на рис. 53 показана зависимость тока индикаторной системы $I_{\text{и}}$ от подаваемого на вход переменного напряжения U .

Максимальный уровень 0 дБ достигается подачей напряжения 5 В. Остается известный резерв контроля перемодуляции до +3 дБ или 10 В на входе, и эта область маркируется красным цветом. В области низких

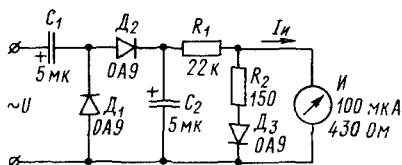


Рис. 52. Диодная схема, обеспечивающая логарифмический ход показаний стрелки

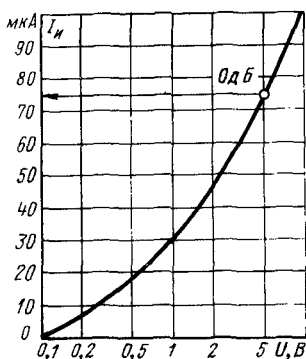


Рис. 53. Зависимость тока индикатора $I_{и}$ от поданного на его вход напряжения

уровней шкала доходит до -30 дБ, где градуировка уплотняется. Больше всего шкала растянута около 0 дБ: это очень удобно для контроля при критическом уровне модуляции.

Выпрямительная часть с D_1 и D_2 работает как удвоитель напряжения, а диод D_3 помогает получить необходимый логарифмический ход кривой, так как его рабочая точка находится на начальном, нелинейном участке характеристики.

Конденсаторы C_1 и C_2 вместе с резистором R_1 определяют постоянную времени измерительной цепи и затухание стрелочной системы. При указанных значениях этих элементов время интеграции составляет около 100 мс.

Частотный диапазон, в котором показания сохраняют свою точность, от 20 Гц до 50 кГц. При стереозаписи следует предусмотреть по одной такой схеме для каждого канала.

Схема транзисторного индикатора дана на рис. 54. Стрелочная система имеет полное отклонение при токе 1 мА. Время интеграции зависит от емкости диода Зенера D_1 , а время восстановления — преимущественно от внутреннего сопротивления стрелочной системы.

Если мы хотим построить VU-метр для стереомагнитофона с общей стрелочной системой, то можно воспользоваться схемой на рис. 55. Сигналы от левого $л$ и правого $п$ каналов подаются на дифференциальный усилитель с транзисторами T_1 и T_2 .

Рис 54. Транзисторная схема индикатора уровня

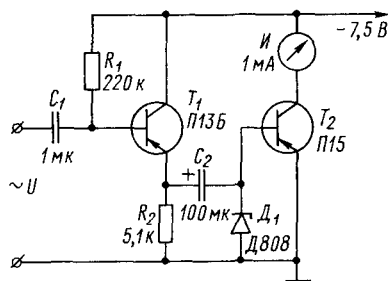
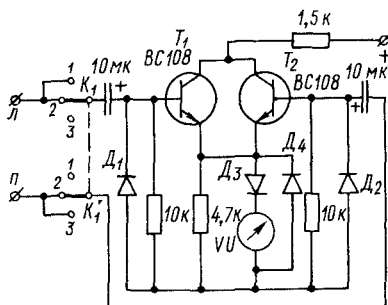


Рис 55. Индикатор уровня с дифференциальным усилителем



Переключатель K_1 позволяет проводить сравнительные измерения уровней в отдельных каналах (положения 1 и 3) и контролировать суммарный стереосигнал (положение 2). Индикатор включен в общую эмиттерную цепь двух транзисторов через диодную группу, создающую логарифмический ход градуированной кривой. Диоды D_1 и D_2 работают на низких уровнях, в нелинейной части характеристик и влияют на вид кривой.

На рис. 56 дана схема VU-метра, применяемая в стереомагнитофонах типов "724" и "Вариокорд 263" с одним стрелочным индикатором фирмы "Uher". Сигналы левого и правого каналов подаются на базы двух транзисторов типа AC127. Постоянная составляющая общего эмиттерного тока проходит через R_3 и индикаторную систему I . Переменная составляющая тока фильтруется C_3 , и этот конденсатор вместе с R_3 определяют необходимую постоянную времени затухания стрелочной системы. Индикатор проградуирован в децибелах: $-30, 0, +3$ дБ.

В некоторых магнитофонах предусмотрена возможность работы с лентой, покрытой двуокисью хрома. Эти ленты допускают большие перегрузки, но требуют изменений тока подмагничивания, что осуществляется с помощью переключателя. Этот переключатель используется и для коррекции показаний VU-метра, так как допустимый более высокий уровень сигнала при использовании хромоксидной ленты не должен изображаться как перегрузка в красном секторе.

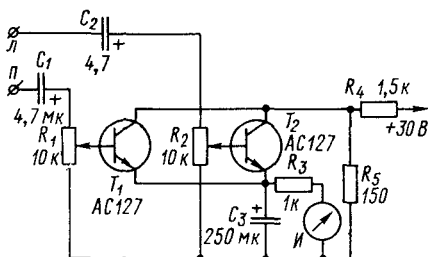


Рис. 56. Схема индикатора уровня магнитофона "724" фирмы "Uher"

Когда на выходе усилителя находится VU-метр, он может служить для приблизительного показания выходной мощности. В этом случае с ним соединяется обычный вольтметр переменного тока, проградуированный в ваттах или децибелах.

Мощность $P_{\text{и}}$, которую должен показывать индикатор, определяется отношением $P_{\text{и}} = U^2/R_{\text{н}}$, где U — действующее напряжение на выходе (В), $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки (Ом).

Естественно, что показания будут правильными, если сопротивление нагрузки постоянно и равно тому, при котором проведена калибровка. Нелинейность шкалы индикатора до некоторой степени компенсируется тем, что выпрямительный диод на низких уровнях работает в нелинейной части характеристики.

2

Автоматическая регулировка уровня при записи

Ручная регулировка уровня записи может обеспечить оптимальную модуляцию сигналов ленты только в том случае, если имеется индикатор уровня, откалиброванный в соответствии со 100%-ной модуляцией. В противном случае запись получается неудачной, какой бы качественной ни была лента. При низком уровне записи звуковая картина получается "плоской", без широкой динамики оригинала и с плохим отношением сигнал-шум.

Очень высокий уровень записи создает перемодуляцию — магнитное насыщение ленты, перегрузку транзисторных каскадов и в конечном счете — большие нелинейные искажения. Особенно тяжелым становится положение при наличии источников звука с большим динамическим диапазоном и острыми пиками; даже хороший VU-метр в таком случае едва ли сможет обеспечить точное сохранение необходимого уровня. Но даже если уровень записи регулируется и контролируется в допустимых пределах, все же появляются некоторые расхождения, которые при воспроизведении особенно неприятны.

После того как кассетные магнитофоны приобрели широкую популярность у массового потребителя, появилась необходимость упростить обращение с магнитофоном. Были созданы системы автоматической регулировки уровня записи, которые в кассетном магнитофоне особенно оправданны. Ведь там узкая дорожка записи, тонкий магнитный слой и малая скорость ленты являются особенно благоприятными условиями для перемодуляции или повышения отношения сигнал-шум.

Особенно сильны искажения, вызванные перегрузкой при записи с микрофона. Динамический диапазон "живых" звуков может превышать 80 дБ (при исполнении музыки), тогда как предварительно записанная на пластинку или ленту музыка имеет динамический диапазон ниже 60 дБ.

По этой причине теперь уже не производятся кассетные магнитофоны без автоматической системы регулирования уровня при записи. Эта система представляет собой быстросрабатывающий ограничитель пиков записанного сигнала с большим временем восстановления. Она обеспечивает оптимальный уровень подаваемого сигнала и непрерывно его поддерживает во время записи. Чтобы гарантировать необходимый уровень и поддерживать его во время записи, хорошая система автоматической записи должна иметь минимальное время установления и достаточно большую постоянную времени для восстановления нормального уровня.

К сожалению, некоторые изготовители высококачественных катушечных стереомагнитофонов также предусматривают возможность применения автоматической регулировки уровня записи. Мы говорим "к сожалению" потому, что любители качественных магнитных записей могут поддаться на это удобство и не обратят внимание, что оно имеет свои недостатки. Всякая автоматическая система записи, даже самая совершенная, имеет какое-то время запуска, и при резком, ударном вступлении музыкального произведения может получиться сильная перегрузка и искажение. Хорошо, что в таких магнитофонах предусмотрен ручной регулятор уровня, который следует предпочесть, когда мы делаем записи, претендующие на Hi-Fi качество.

28

Кассеты атакуют...

Когда в 1968 г. появились первые кассетные магнитофоны, никто не смел и подумать, что при скорости 4,75 см/с можно говорить о Hi-Fi качестве. И действительно, несколько лет кассетные магнитофоны и магнитолы служили только для развлечения молодежи, так как единственными их ценными качествами были компактность

и портативность. К этому периоду можно отнести и кассетные магнитофоны для воспроизведения готовых записей без возможности осуществления собственных записей. Эти простые и дешевые устройства были предназначены прежде всего для использования в автомобиле.

Позднее (после 1970 г.) появились первые претензии к этой аппаратуре со стороны любителей магнитной записи с более изысканным вкусом. Низкая скорость и небольшая ширина дорожек (1,5 мм для моно и 0,6 мм для стерео) потребовали новых технических средств для достижения Hi-Fi норм. Так появились системы подавления шума ("Долби", DNL и др.), а также новые высококачественные ленты на хромоксидной и кобальтовой основах, ленты "Hi-Fi Low Noise" и "Super Dynamic".

Нормализация кассет типа "компакт" произошла своевременно и успешно, причем была достигнута полная совместимость между моно- и стереозаписями. Расположение дорожек таково, что кассеты, записанные в стереорежиме, могут воспроизводиться на монофоническом магнитофоне и наоборот.

Итак, несмотря на низкие скорость 4,75 см/с и ширину дорожки 0,6 мм, через пять лет после появления первых кассетных магнитофонов были достигнуты технические параметры, находящиеся на границе Hi-Fi норм, а в некоторых новых моделях с лентой из двуокиси хрома — превышающие их. Это привело к дальнейшему развитию магнитных головок, зазор которых уменьшился до 1,5 мкм.

Стереофонические кассетные магнитофоны выпускаются как в виде компактных устройств, так и в виде приставок для подключения к большому стереоустройству.

Кассетные магнитофоны продолжают интенсивно развиваться, и в последние годы наблюдается скачок в сторону качественно новых конструкций. По рис. 57 и 58 можно себе представить новейшее направление развития кассетных магнитофонов. Они перестают выпускаться только в портативном оформлении и становятся настольными устройствами, исключительно стереофоническими, дополняющими комплект любой претендующей на высокое качество стереофонической установки.

Высокие качества стереомагнитофонов кассетного типа можно оценить по приведенным ниже техническим характеристикам нескольких новых моделей.

"National RS279" (рис. 57): частотная характеристика 20—16 000 Гц (нормальная лента) и 20—18 000 Гц (лента на основе двуокиси хрома); отношение сигнал-шум 50 дБ без системы "Долби", 60 дБ с системой "Долби"; неравномерность движения ленты 0,1%; частота подмагничивания 100 кГц; коэффициент нелинейных искажений 0,8%.

"Grundig CN710 и CN720" (рис. 58): частотная характеристика 30—12 500 Гц (с лентой на основе двуокиси железа) и 30—14 000 Гц (с лентой на основе двуокиси хрома); отношение сигнал-шум 50 дБ

Рис. 57. Кассетный магнитофон с системой "Долби" для ограничения шумов

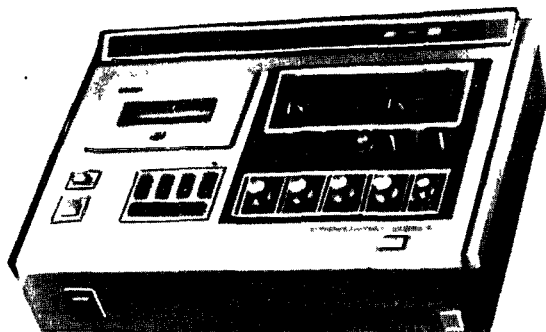


Рис. 58. Кассетный магнитофон с системой DNL для ограничения шумов

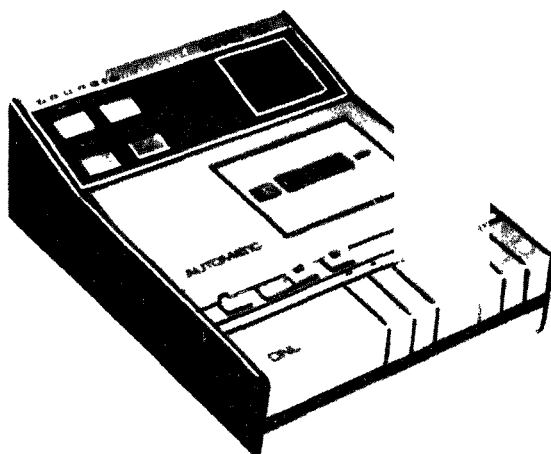
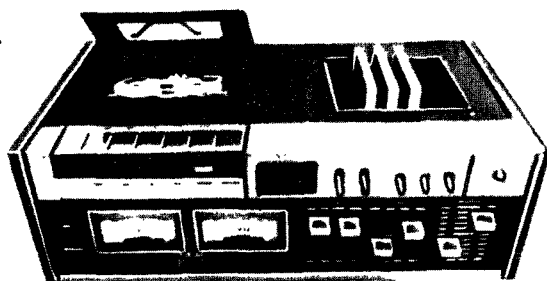


Рис. 59. Кассетный магнитофон "Теас А450"



(с системой DNL для ограничения шума) и 48 дБ (без системы DNL) — для хромоксидной ленты; этот же показатель для ленты на основе двуокиси железа соответственно составляет 48 дБ и 45 дБ; неравномерность движения ленты $\pm 0,2\%$.

"Теас А450" (рис. 59): частотная характеристика 30—10 000 Гц (с лентой на основе двуокиси железа) и 30—16 000 Гц (с лентой на основе

двуокиси хрома); отношение сигнал-шум 50 дБ без системы "Долби", 58 дБ с системой "Долби"; неравномерность движения ленты 0,07%.

Новейшие конструкции кассетных магнитофонов имеют устройство для отвода прижимного ролика (автостоп) и выключения электродвигателя после перемотки ленты.



Совместимость — одно из больших удобств кассеты

В данном случае пойдет речь не о конструктивной унификации и совместимости, характерной для кассет "компакт", а об одном очень ценном их качестве — возможности прослушивать стереозаписи с помощью монофонического магнитофона и монозаписи с помощью стереофонического магнитофона.

У катушечных магнитофонов такой возможности не существует из-за принятого способа расположения дорожек (рис. 60 для двухдорожечной записи и рис. 61 для четырехдорожечной записи) *. В действительности такое расположение обеспечивает максимальное затухание между двумя стереоканалами, но ведет к ряду других эксплуатационных неудобств и недостатков: уменьшает затухание между соседними обратными по направлению каналами, что имеет более неприятный эффект, чем переходное затухание между стереоканалами; воспроизведение монофонической двухдорожечной записи можно осуществить с помощью четырехдорожечного магнитофона, но при пониженном уровне сигнала и потере высоких частот.

Кассетные магнитофоны, работающие с кассетой "компакт", имеют расположение дорожек, показанное на рис. 62. Несмотря на увеличенное переходное затухание между каналами и некоторую технологическую трудность изготовления головки (два канала являются соседними), получается большое эксплуатационное удобство от полной совместимости, позволяющей осуществлять моно- и стереозаписи. На рис. 62 показано, что две дорожки левого и правого каналов при стереозаписи полностью охватывают зазор головки мономагнитофона и две информации воспроизводятся как суммированный моносигнал. И наоборот, монозапись с шириной дорожки 1,5 мм может воспроизводиться двумя магнитными зазорами стереомагнитофона при незначительном падении уровня сигнала.

О совместимости моно и стерео в больших восьмидорожечных кассетах не может быть и речи, так как они используются исключительно для стереозаписи. Расположение дорожек при старой четырехдорожечной системе "Fidelipac" показано на рис. 63, а.

Если магнитная головка подвижна и при верхнем ее положении воспроизводится I стереопрограмма (дорожки 1 и 3), то при нижнем — II стереопрограмма (дорожки 2 и 4). Новые восьмидорожечные кассеты "Leag Jet" работают также с подвижной головкой и воспроизводят четыре стереопрограммы: I — дорожки 1 и 5, II — дорожки 2 и 6, III — дорожки 3 и 7 и IV — дорожки 4 и 8 (рис. 63, б). Лента — бесконечная с автоматическим переключением программ.

Некоторые японские фирмы проводят опыты с новой четырехдорожечной системой, получившей название "Hiras", которая работает с лентой 3,8 мм, также

* На всех рисунках направление дано со стороны слушателя к магнитофону. Иногда в литературе направление указывается в обратном порядке — от головки к ленте, что может привести к путанице. — П р и м. а в т о р а.

Рис. 60 Расположение дорожек у двухдорожечных моно и стереомагнитофонов

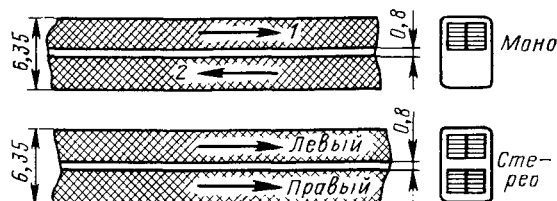


Рис. 61. Расположение дорожек в четырехдорожечных моно- и стереомагнитофонах

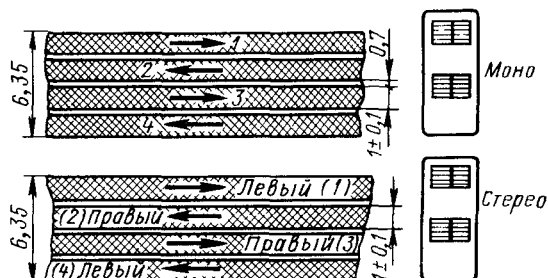


Рис. 62. Расположение дорожек в кассете "компакт"

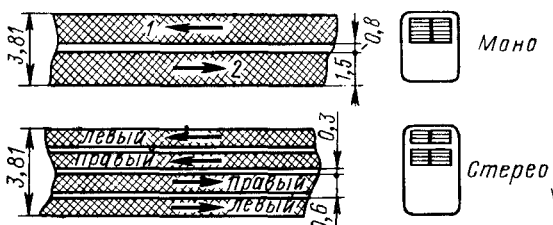
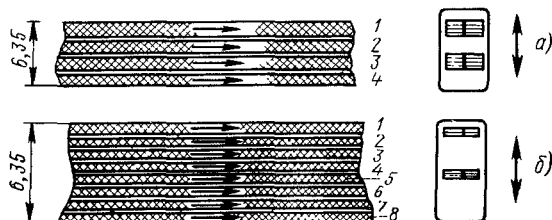


Рис. 63 Расположение дорожек в больших восьми- и четырехдорожечных кассетах типа "Fidelipac" (а) и "Lear Jet" (б)



бесконечной с автоматическим переключением двух программ и подвижной головкой (рис. 64). Кассета меньше восьмидорожечной, но больше кассеты "компакт", из-за чего она конструктивно несовместима с ними. Дорожки расположены, как в кассете "компакт", но без изменения направления, из-за чего обеспечивается совместимость моно и стерео.

При квадрафонической магнитной записи используется дискретная система, которая требует четырех отдельных каналов. Запись в катушечных магнитофонах выполняется с помощью неподвижной четырехдорожечной головки (рис. 65, а) при однонаправленном движении ленты. На восьмидорожечные кассеты записываются две квадрафонические программы — 1, 3, 5, 7 дорожки для одной и 2, 4, 6, 8 дорожки — для другой с перемещением головки (рис. 65, б).

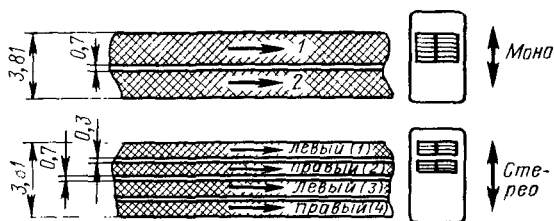


Рис. 64. Расположение дорожек в кассете "Нирас"

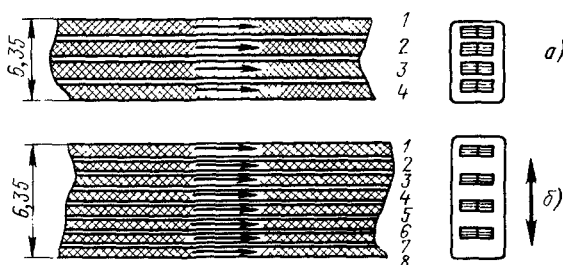


Рис. 65. Расположение дорожек при квадрафонической записи на катушках (а) и кассетах (б)

Ленты совершенствуются

Параллельно с быстрым вторжением кассет в музыкальный быт человека удвоились усилия конструкторов с целью приблизить кассетные магнитофоны к тому качественному уровню, который достигнут при конструировании больших и дорогих катушечных магнитофонов. И если в последние годы достигнуты серьезные успехи в совершенствовании магнитных лент, то это прежде всего вызвано необходимостью скомпенсировать каким-либо способом малую скорость и ширину ленты в кассете.

Вот кратко пути усовершенствования магнитных лент.

Малозумящая лента, известная по обозначению "Н1—F1 Low Noise" (рис. 66). Первый этап улучшения магнитофонных лент не был связан с нуждами кассетных магнитофонов, так как начался еще до массового распространения кассет. Однако сейчас почти нет кассетных лент, которые не относились бы к типу "Low Noise". При этом совершенствования касались не изменения состава и параметров магнитного слоя, а только улучшения его структуры и поверхности. Малозумящие ленты имеют мелкозернистый слой из $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с улучшенной технологией нанесения и повышенной степенью полировки.

Хромоксида́ная лента, известная как "Chromdioxid", CrO_2 или "Crolin" (рис. 67). Появление ее обусловлено прежде всего усилиями конструкторов кассет, в результате которых в кассетных магнитофонах улучшилось воспроизведение на высоких частотах, повысилось отношение сигнал-шум, расширился динамический диапазон, и все это вопреки низкой скорости и узкой дорожке ленты.

Двуокись хрома обладает очень равномерной и плотной структурой с монокристаллическим строением и отличается высокой индукцией насыщения (свыше 0,6 Тл по сравнению с 0,47 Тл у $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и коэрцитивной силой (37 кА/м

рис. 66. Обозначение малошумящих лент

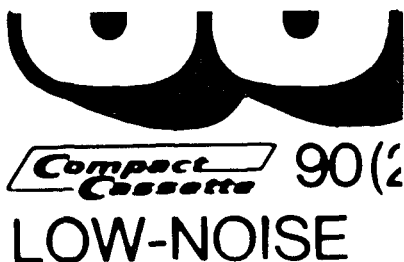
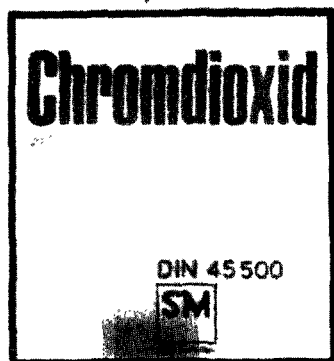


рис. 67. Обозначение хромоксидных лент



по сравнению с 24 кА/м у $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Поверхность слоя после нанесения получается идеально глянцевой, что гарантирует хороший контакт с головкой и малый шум.

Из-за повышенной коэрцитивной силы хромоксидная лента требует большего тока подмагничивания и стирания. Поэтому в новых кассетных магнитофонах предусмотрен переключатель, позволяющий выбрать нормальный режим работы с хромоксидной или обыкновенной лентой (рис. 68).

Хромоксидная лента обеспечивает широкую частотную характеристику со стороны высоких частот (до 15-16 кГц), что видно из сделанного ранее сравнения нескольких промышленных кассетных магнитофонов. Высокие частоты записанной программы сохраняются более продолжительное время, чем у обыкновенных лент.

Все это показывает, что с лентой из CrO_2 при скорости движения ленты 4,75 см/с кассетные магнитофоны приближаются по основным параметрам к магнитофонам среднего Hi-Fi класса.

Любительское использование хромоксидной ленты имеет смысл только для низкоскоростных кассетных магнитофонов, где наиболее ярко проявляются ее преимущества. В катушечных магнитофонах она не используется, так как излишне усложняет режим подмагничивания и стирания; дорожки в этих магнитофонах широкие, и настоящие Hi-Fi любители и без того работают преимущественно на скорости 19 см/с.

Помимо неудобства с переключением тока подмагничивания и стирания, имеются и другие препятствия для широкого распространения хромоксидной ленты: она дорогая, хромоксидный слой довольно твердый и оказывает повышенное абразивное

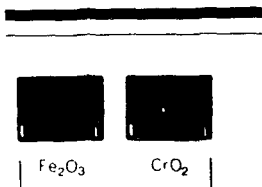


Рис. 68. Работа с хромоксидной лентой требует больших токов намагничивания и стирания, что учитывается введением специального переключателя

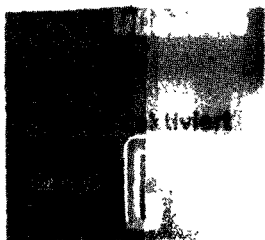


Рис. 69. Обозначение кобальтовых пент

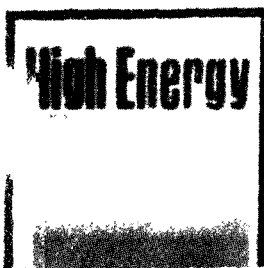


Рис. 70. Обозначение пент с высокой динамикой (SD)

действие на головку. С другой стороны, однако, твердость поверхности из двуокиси хрома позволяет добиваться идеального полирования с более высокой гладкостью, чем у слоя из $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. В конечном счете выбор ленты – вопрос технологических возможностей конструктора.

Кобальтовая лента (рис. 69). Кобальтовые примеси к ферромагнитному слою $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ также улучшают, хотя и в меньшей степени, магнитные качества ленты, как и примеси CrO_2 . Они повышают магнитную проницаемость и таким образом обеспечивают более высокий уровень записи высоких частот – на 2–3 дБ выше уровня при ленте из $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ без кобальта. Несмотря на то, что это повышение уровня на высоких частотах меньше, чем у хромоксидной ленты, существенное преимущество кобальтовой ленты состоит в том, что не требуется большой ток для подмагничивания и стирания. По этой причине кобальтовые кассеты полностью применимы во всех кассетных магнитофонах.

Кобальтовая лента имеет и свои недостатки – старение записи (ослабление высоких частот с течением времени) и копирэффект выражены сильнее, чем у остальных лент, так как кобальтовые примеси уменьшают коэрцитивную силу магнитного слоя. К недостаткам кобальтовой ленты не без основания относят и ее более высокую по сравнению с лентой на основе окиси железа стоимость.

Лента с повышенной динамикой, обозначаемая еще как "Super Dynamic" (SD), "High Energy", "Hi-Output", "Low Print" (рис. 70).

Появление ее вызвано конкурентной борьбой производителей хромоксидной ленты и лент на основе окиси железа. Более сложное производство и эксплуатация, а также высокая себестоимость хромоксидной ленты заставили некоторых производителей создать новую технологию приготовления и нанесения ферромагнитного слоя $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, причем параметры новой ленты оказались близкими к параметрам хромоксидной ленты.

Новая технология SD обеспечивает очень тонкую дисперсию ферроокисных частиц (0,4 мкм вместо 1 мкм), высокую плотность и равномерное распределение ферролака, при которых получаются малые шумы и высокий уровень полезного сигнала. На частоте 12 кГц уровень записанного сигнала на 6 дБ выше уровня сигнала, записанного на обычной ленте. На ленте SD можно делать записи и при более высоком входном уровне записываемого сигнала без возникновения перемодуляции и искажений. Вместе с улучшенным отношением сигнал-шум все это обеспечивает значительное расширение динамического диапазона записываемой информации.

К преимуществам технологии изготовления ленты SD следует добавить и значительно слабее выраженный копирэффект. Ленты SD выпускаются не только для кассет, но и для катушек нормальных размеров.

Лента из железной пыли. Она предложена фирмой "Philips", но еще не имеет практического применения. Если сравнивать с лентами хромоксидной и кобальтовой лент, то окажется, что лента из порошкообразного чистого железа много дешевле. В то же время она страдает основным недостатком хромоксидной ленты — требует еще большего тока для подмагничивания и стирания. Высокое остаточное намагничивание железа позволяет уменьшить толщину слоя, что заметно повышает уровень записи на высоких частотах и улучшает отношение сигнал-шум. Практически уровень записи на 12 кГц при скорости ленты 4,75 см/с больше на 12 дБ, чем при записи на "классической" ленте.

Повышенная коэрцитивная сила железного слоя требует увеличения уровня тока подмагничивания примерно на 9 дБ по отношению к току подмагничивания для ленты $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и на 6 дБ — для хромоксидной ленты. Это означает, что при наличии универсального магнитофона требуется иметь еще одно переключение для тока подмагничивания. Насколько это будет легко, докажут конструкторы кассетных магнитофонов, которые должны предусмотреть три степени подмагничивания: $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 - \text{CrO}_2 - \text{Fe}$.

31

Еще одна разновидность — восьмидорожечные кассеты

Большие однокатушечные кассеты с бесконечным движением ленты и восьмидорожечной записью в последнее время получили большую популярность особенно из-за удобства их использования для качественного озвучивания салона легкового автомобиля. В странах, где автомобильные дороги длинные и по ним ездят каждый день, меломаны испытывают желание создать в машине такой музыкальный комфорт, который приблизил бы их к домашнему.

Конструкция однокатушечной кассеты (рис. 71) отличается однонаправленным движением ленты, которое начинается от внутреннего края катушки, после чего лента проходит мимо головки, наматываясь на эту же катушку.

У восьмидорожечных кассетных магнитофонов не предусмотрена перемотка вперед и назад, что лишает слушателя возможности сделать выбор желаемой

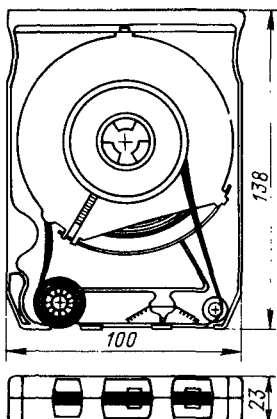


Рис. 71. Характерной чертой конструкции однокатушечной кассеты является движение ленты в одном направлении

программы. Это неудобство, однако, оправдывается их назначением — создать непрерывную музыкальную программу при простом обслуживании с малыми затратами времени во время езды.

Стереокассеты с 8 дорожками позволяют воспроизводить 4 программы по 8—10 мин каждая или в целом 40-минутную запись в зависимости от длины ленты. Для квадрафонической записи продолжительность воспроизведения остается такой же, но воспроизводятся 2 программы. В сравнении с небольшими кассетами скорость ленты здесь большая — 9,5 см/с, а ширина ленты нормальная — 6,35 мм.

Выбор программы осуществляется путем вертикального перемещения головки. Для этой цели используется электромеханическое устройство, которое включается автоматически в конце каждой программы от контактной системы и металлической фольги, соединяющей начало и конец ленты. Кроме автоматического выбора желаемой программы действует ручное управление с помощью специальной кнопки для каждой программы. В большинстве магнитофонов этого типа имеется световая индикация номера прослушиваемой в данный момент программы.

Расположение дорожек при стереозаписи четырех программ было показано на рис. 63, б. В этом случае магнитофон имеет две вертикально перемещающиеся головки. Существуют и квадрафонические однокатушечные магнитофоны, которые имеют четыре головки для двух программ (рис. 72).

К недостаткам однокатушечных магнитофонов можно отнести следующие особенности. смена программ происходит путем вертикального перемещения головок, что не может гарантировать такую высокую точность совпадения зазора и дорожки, как в случае с неподвижной головкой; расположение 8 дорожек на ленте шириной 6,35 мм требует, чтобы ширина одной дорожки была не более чем 0,5—0,6 мм, что приводит к ухудшению отношения сигнал-шум на 3 дБ; перезапись на однокатушечную кассету трудна, так как требуется точный расчет времени; движение ленты сопровождается большими механическими усилиями — трением ленты о ленту и скручиванием; внешние размеры однокатушечной кассеты довольно велики — 125 × 100 × 21 мм по сравнению с размерами небольших двухкатушечных кассет (100 × 65 × 13 мм).

Неоднократные неудачные попытки полностью унифицировать кассеты заставили некоторых конструкторов перейти к созданию универсальных магнитофонов.

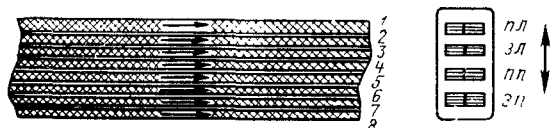


Рис. 72. Расположение дорожек и записанной информации в квадрафоническом однокатушечном кассетном магнитофоне

1Л — передний левый канал; 3Л — задний левый канал; 1П — передний правый канал; 3П — задний правый канал



Рис. 73. Восьмидорожечный четырехканальный кассетный магнитофон "Pioneer QR444" для автомобиля

Уже создаются приставки к однокатушечным магнитофонам для воспроизведения кассет "компакт", универсальные кассетные магнитофоны для двух видов кассет, универсальные магнитофоны для кассет и катушек. Магнитофон модели X2000SP фирмы "Akai" может записывать и воспроизводить нормальную ленту в катушках и в кассетах одно- и двухкатушечного типов.

В качестве примера технических параметров современного восьмидорожечного однокатушечного кассетного магнитофона для легкового автомобиля можно привести данные модели QR444 фирмы "Pioneer" (рис. 73):

Скорость	9,5 см/с
Диапазон частот	50 Гц—12 кГц
Нелинейные искажения	< 1%
Отношение сигнал-шум	> 42 дБ
Затухание между каналами	> 30 дБ
Затухание между программами	> 40 дБ
Общий коэффициент детонации	< 0,25%

Кроме того, возможность воспроизведения четырех программ стереозаписи или двух программ квадразаписи. Выходная мощность 12 Вт (синусоидальный сигнал) при выходном сопротивлении 4 Ом или 4 × 3 Вт (при четырехканальном воспроизведении). Напряжение источника питания 13,8 В (аккумулятор с отрицательным полюсом на корпусе) при потреблении тока 2 А.

Вопреки некоторым техническим и эксплуатационным преимуществам однокатушечные восьмидорожечные кассеты все еще с трудом пробивают себе путь.

Зато широкое распространение имеют кассеты "компакт". Несмотря на это, трудно предвидеть, как завершится борьба между этими двумя основными направлениями конструирования кассетных магнитофонов.

32 "Долбинизация" упрочивается

При конструировании кассетных магнитофонов с медленным движением ленты и узкими дорожками конструкторов все время волнует проблема улучшения отношения сигнал-шум. А среди всех составных элементов Hi-Fi устройства магнитофон является самым большим источником шумов.

Проблема расширения динамического диапазона и уменьшения шумов при воспроизведении существует давно. Старым разрешением этой проблемы было применение системы "экспандер — компрессор" (сжатие — расширение), но эта система вносит значительные искажения.

В эпоху быстрого прогресса Hi-Fi техники, когда даже любительские требования доходят до значений 0,1% для коэффициента нелинейных искажений, 0,08% для коэффициента детонации и 20 кГц для частотного диапазона, динамический диапазон все еще ограничивается сильным шумом магнитофонов. Если иметь в виду, что кассетные стереомагнитофоны уже стали составной частью домашнего Hi-Fi устройства, то можно объяснить усиление деятельности конструкторов по созданию шумоподавительных систем и регуляторов динамического диапазона. И вот в процессе чисто коммерческой конкурентной борьбы некоторые западные фирмы создали ряд систем, не имеющих в основе международного стандарта: DNL (Dynamic Noise Limiter) фирмы "Philips", ANRS (Automatic Noise Reduction System) фирмы "IVC — Nivico", давно известный шумоподавитель фирмы "Panasonic" (см. § 45) и систему "Долби", предложенную американским инженером Р. Долби и принятую большинством конструкторов кассетных магнитофонов.

"Долби" — это система подавления шума с дифференцированным действием в отдельных частотных областях. При записи повышается уровень высоких частот (от 1–2 кГц и выше), а при воспроизведении уровень этих сигналов снова восстанавливается. Это действие применяется только к сигналам с низким уровнем, которые соизмеримы с шумами. Другими словами, "Долби" — это динамический экспандер и компрессор, но для точно определенного частотного диапазона (рис. 74).

Применение этой системы приводит не только к снижению собственного шума от ленты и усилителя, но и к устранению некоторых побочных

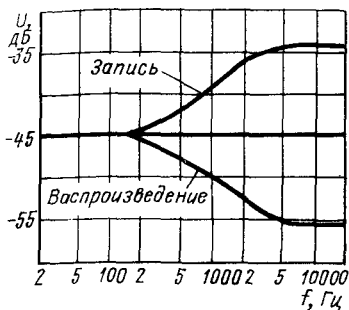


Рис. 74. При записи с системой "Долби" выходной уровень V слабого сигнала повышается, а при воспроизведении снижается, но в точно определенном частотном диапазоне

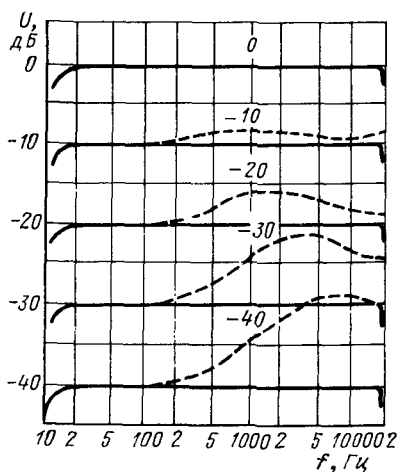


Рис. 75. Кривые регупировки уровня показывают повышение сигнала на 11 дБ при минимальном уровне записи (-40 дБ)

явлений, сильно проявляющихся во время пауз: копирэффекта, паразитного проникновения соседнего канала и нестертой старой записи.

Идея создания шумоподавительной системы родилась в студии звукозаписи. Поэтому и основной профессиональный вариант — "Долби А" — предназначен для студийной звукозаписи и, естественно, очень сложен. Он обеспечивает подавление шумов не в одной частотной области, а в четырех частотных секторах при различной степени компенсации.

Упрощенный вариант — "Долби В" — используется в бытовых кассетных магнитофонах и уже применяется большинством конструкторов. В системе "Долби В" (называемой просто "Долби") сигнал, записанный при максимальном уровне 0 дБ на VU-метре, не подвергается никакой коррекции (рис. 75), но если уровень падает до -40 дБ, то сигналы с частотой выше 1 кГц повышаются на 11 дБ. Это реально соответствует улучшению отношения сигнал-шум на 11 дБ. Другими словами, сигнал с частотой 10 кГц при уровне -40 дБ может потеряться в шуме, если магнитофон имеет отношение сигнал-шум примерно 44 дБ. Но если применить систему "Долби", то этот сигнал повысится до -28 дБ и отдастся от шума на 16 дБ вместо 5 дБ без "Долби". Это совсем немало, если иметь в виду, что 11 дБ составляют увеличение в 3,5 раза по напряжению.

При воспроизведении необходимо предусмотреть обратную коррекцию, чтобы восстановить сигнал в его первоначальном виде. Тогда шум

уменьшится на 11 дБ и отношение сигнал-шум вместо 44 дБ станет 55 дБ. Это очень чувствительное улучшение, которое спокойно можно уловить на слух. У катушечных магнитофонов отношение сигнал-шум всегда выше, чем у кассетных, что быстро предопределило массовое применение "Долби" главным образом в кассетных магнитофонах. Преимущества этой системы оценили многие конструкторы, и уже известен ряд высококачественных катушечных магнитофонов, работающих по системе "Долби" (например, "Revox A77", "Tandberg 9200 XD").

Каковы проблемы совместимости между "долбинизированными" и существующими кассетными магнитофонами? На первый взгляд, подъем высоких частот на 11 дБ при низком уровне создает неестественное звучание при воспроизведении с помощью магнитофона без регулятора "Долби". На практике, однако, получаем нечто неожиданное: подъем высоких частот оказывается очень полезным, так как компенсируется существующий завал частотной характеристики в этой области у дешевых кассетных магнитофонов. Особенно выгодным оказывается подчеркивание высоких частот у кассетных магнитофонов, используемых в легковых автомобилях, так как улучшается чувствительность в условиях сильного окружающего шума. Во всех остальных случаях коррекция "Долби" может компенсироваться уменьшением уровня высоких частот с помощью регулятора тембра кассетного магнитофона.

Обратная совместимость — воспроизведение нормальных кассет с помощью магнитофона с "Долби" — вообще не создает проблем, так как всякий магнитофон, работающий по системе "Долби", имеет возможность переключения на нормальный режим работы.

Применение системы "Долби" помогает кассетным магнитофонам окончательно утвердиться в качестве составного элемента Hi-Fi устройства. И действительно, после того как в более качественных кассетных магнитофонах частотная полоса расширилась до 13 кГц (даже 15 кГц, с хромоксидной лентой) и детонация достигла уровня менее 0,15%, осталось только решить проблему расширения динамического диапазона. Когда "Долби" скажет решительное слово и по этому вопросу, то к классической структуре Hi-Fi устройства добавится еще один блок — кассетный магнитофон.

33

Техника DNL

Система DNL также улучшает отношение сигнал-шум, но включается в тракт воспроизведения и работает с нормально сделанными записями. При использовании DNL подавляются высокие частоты

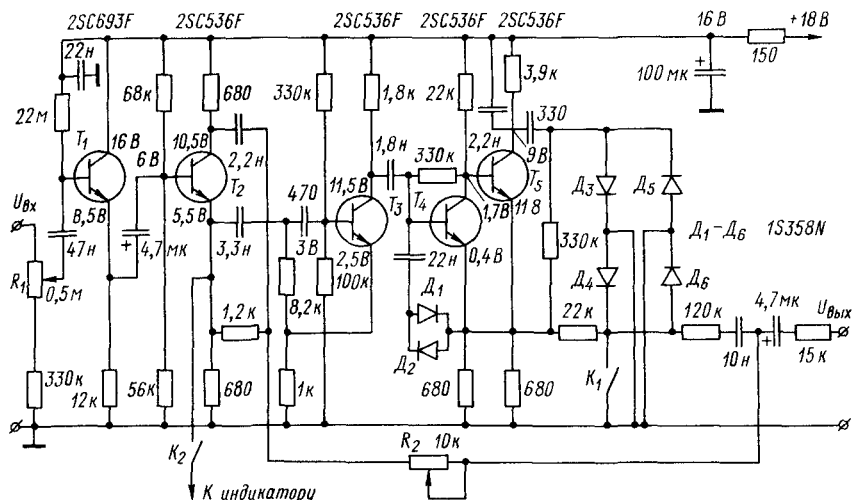


Рис. 76. Схема шумоподавителя DNL фирмы "Philips" (тип 6720) доступна и для любительского изготовления

при низком уровне воспроизводимого сигнала. При высоком уровне сигнала воспроизведение осуществляется нормально.

Некоторые фирмы уже выпускают готовые блоки DNL для дополнительного встраивания в магнитофон. Блок типа 6720 фирмы "Philips" (рис. 76) может работать с кассетным или катушечным стереомагнитофоном любого типа и монтируется между выходом магнитофона и усилителем. Размеры его $73 \times 180 \times 120$ мм; на схеме показан только один канал.

К входным зажимам блока подключается выход стереофонического источника — магнитофона, проигрывателя, тюнера. С выходных зажимов сигнал передается на вход стереоусилителя. Выключателем K_1 система может быть отключена.

С помощью потенциометра R_1 регулируется уровень входного сигнала в канале. Аналогичный потенциометр имеется и в другом канале. Оба независимо регулируют входные уровни. Подаваемый на вход сигнал $U_{вх}$ может составлять от 0,4 до 4 В. Входное сопротивление — более 470 кОм, а выходное — 20 кОм.

С помощью встроенного в блок индикатора уровня можно контролировать уровень сигнала и потенциометром R_1 регулировать так, чтобы он не превышал допустимого предела.

Схема использует принцип активной фазовой компенсации. На выходе второго каскада сигнал разделяется на два сигнала: с коллектора T_2

один следует по чисто активному пути на выход схемы. С помощью R_2 можно регулировать амплитуду этого сигнала. Второй сигнал берется с эмиттера T_2 , усиливается и симметрично ограничивается диодами D_1 и D_2 .

С выхода T_5 сигнал поступает в "сердце" схемы, регулирующей выходной уровень в зависимости от уровня и частоты поступающего сигнала. Далее сигнал идет на диоды D_4 и D_6 , рабочая точка которых определяется постоянной составляющей сигнала, детектированного диодами D_3 и D_5 . Частота этого сигнала высокая и определяется емкостью разделительного конденсатора 330 пФ.

Шумоподавляющее действие схемы начинается с частоты 4,5 кГц и меняется в зависимости от уровня сигнала. При напряжении 1 В на входе и частоте 1 кГц затухание составляет 0 дБ, т. е. на выходе мы имеем 0,775 В. При снижении входного сигнала до -40 дБ затухание на 12 кГц составляет 1,5 дБ, а при снижении до -54 дБ — достигает 15 дБ.

Улучшение отношения сигнал-шум будет еще эффективнее при работе с лентой из двуокиси хрома.

Показанная схема шумоподавителя DNL сравнительно проста и доступна для любительского исполнения. Вместо указанных на схеме транзисторов 2SC693F и 2SC536F можно использовать более доступные болгарские BC148 или чехословацкие KC148.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ СТЕРЕОУСИЛИТЕЛИ

34

Стандарт DIN 45 500

Каковы требования к составным элементам домашнего звуковоспроизводящего устройства, если считать, что оно относится к классу Hi-Fi?

Определение понятия Hi-Fi следует принимать очень внимательно и критично. С одной стороны, Hi-Fi качества домашней звукозаписывающей и звуковоспроизводящей аппаратуры строго нормированы несколькими существующими государственными стандартами: DIN 45 500 в ФРГ, N.F.C. 97 110, 97 130, 97 210, 97 310 во Франции, INF в США и т. д. С другой стороны, в Hi-Fi технике все еще имеется ряд качественных показателей, для которых не существует объективных критериев. Это дает возможность рекламировать с обозначением Hi-Fi весьма претенциозную аппаратуру.

Наиболее полный и точный регламент норм Hi-Fi содержится в DIN 45 500. Он подразделяется на семь отдельных стандартов: 1 — общие требования к Hi-Fi аппаратуре; 2 — УКВ/ЧМ-приемники (тюнеры); 3 — проигрыватели; 4 — магнитофоны; 5 — микрофоны; 6 — усилители; 7 — громкоговорители (рис. 77).

В табл. 8 указаны минимально допустимые технические данные согласно DIN 45 500 для аппаратуры, которая, как считается, имеет Hi-Fi качества. Для этого стандарта характерно, что он не вводит никаких новых дополнительных требований, а только нормирует показатели существующих Hi-Fi устройств. Требования стандарта DIN 45 500 не являются особенно строгими, но все же они достаточны для определения подходящей аппаратуры и предохраняют от неудачного выбора.

Стандарт относится только к аппаратуре домашнего пользования и не касается профессиональных устройств.

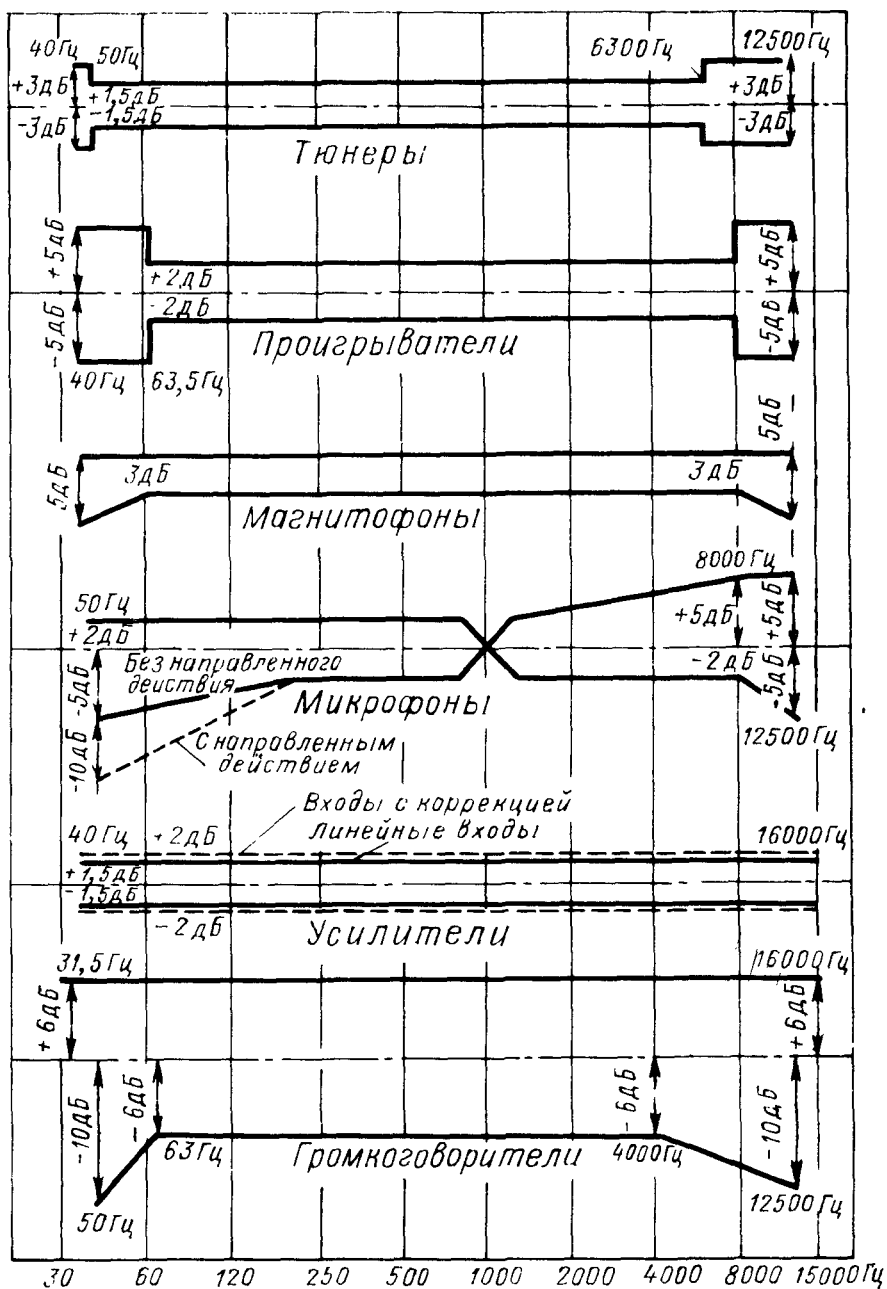


Рис. 77. Допуски для частотных диапазонов различных НЧ-ГЧ устройств согласно стандарту DIN 45 500

Таблица 8

Устройство	Параметр	Значение параметра	Примечание
УКВ-тюнер	Чувствительность	$< 2 \text{ мкВ}$	При 1000 Гц и 100%-ной глубине модуляции
	Диапазон частот	40–12 500 Гц	Неравномерность характеристики $\pm 3 \text{ дБ}$ от 40 до 50 Гц и от 6300 до 12 500 Гц; $\pm 1,5 \text{ дБ}$ от 50 до 6300 Гц
	Коэффициент гармоник	$< 2\%$	На 1000 Гц и при девиации 40 кГц
	Затухание между каналами	$> 26 \text{ дБ}$ $> 15 \text{ дБ}$	На частотах: 250–6300 Гц 6300–12 500 Гц
	Динамический диапазон	$> 50 \text{ дБ}$ $> 46 \text{ дБ}$	Для моно Для стерео
	Отношение сигнал-фон	$> 60 \text{ дБ}$ $> 54 \text{ дБ}$	Для моно Для стерео
	Выходной уровень	0,5–2 В	При выходном сопротивлении менее 47 кОм
Проигрыватель	Частотный диапазон звукоусилителя	40–12 500 Гц	$\pm 5 \text{ дБ}$ от 40 до 63,5 Гц и от 8 до 12,5 кГц; $\pm 2 \text{ дБ}$ от 63 до 8000 Гц
	Отклонение от номинальной скорости	от +1,5 до –1%	При номинальном напряжении сети
	Детонация (общая)	$\pm 0,15\%$	
	Уровень вибраций	35 дБ	При скорости записи 10 см/с
	Динамический диапазон	$> 55 \text{ дБ}$	
	Разница между уровнями двух каналов	$< 2 \text{ дБ}$	На 1000 Гц
	Затухание между каналами	$> 20 \text{ дБ}$ $> 15 \text{ дБ}$	На 1000 Гц От 500 до 6300 Гц

Устройство	Параметр	Значение параметра	Примечание
Магнитофон	Диапазон частот	40 – 12 500 Гц 63 – 10 000 Гц	Для 19,05 см/с Для 9,53 см/с
	Отклонение от номинальной скорости	$\pm 1,5\%$	В среднем за 30 с
	Детонация (общая)	$\pm 0,2\%$ $\pm 0,3\%$ $\pm 0,6\%$	Для 19,05 см/с Для 9,53 см/с Для 4,76 см/с
	Коэффициент гармоник	$< 5\%$	На 333 Гц и при максимальном уровне записи
	Динамический диапазон	> 48 дБ	
	Отношение сигнал-фон	> 45 дБ	
	Затухание между каналами	> 25 дБ / > 60 дБ	При стерео на 1000 Гц При моно между соседними дорожками на 1000 Гц
Микрофон	Диапазон частот	50 – 12 500 Гц	В пределах допуска неравномерности согласно рис. 77
	Коэффициент гармоник	$< 1\%$	При звуковом сигнале 100 дБ на частотах 250–8000 Гц
	Разница между уровнями двух каналов	< 3 дБ	На частотах 250 – 8000 Гц
Усилитель	Диапазон частот	40–16 000 Гц	$\pm 1,5$ дБ при линейном входе; ± 2 дБ с коррекцией на входе
	Выходная мощность	$> 2 \times 6$ Вт > 10 Вт	При стерео При моно
	Коэффициент гармоник	$< 0,7\%$ $< 1\%$	На частотах 40–4000 Гц для усилителя мощности На частотах 40–4000 Гц для всего усилителя

Устройство	Параметр	Значение параметра	Примечание
Усилитель	Интермодуляционные искажения	$< 2\%$ 3%	На частотах 250 и 8000 Гц для усилителя мощности То же для всего усилителя
	Частотный диапазон мощности *	40–12 500 Гц	При нормированных максимальных искажениях
	Разница между уровнями двух каналов	< 3 дБ	
	Затухание между каналами	> 40 дБ > 30 дБ	На 1000 Гц На 250–10 000 Гц
	Отношение сигнал-фон	> 50 дБ	При номинальной мощности до 20 Вт**
Громкоговоритель	Диапазон частот	50–12 500 Гц	При допусках согласно рис. 77
	Коэффициент гармоник	$< 1\%$ $< 3\%$	На частотах от 1000 до 12 500 Гц На частотах от 250 до 1000 Гц
	Разница в уровнях при стерео	< 3 дБ	В частотном диапазоне от 315 до 6300 Гц

*Под частотным диапазоном мощности понимают диапазон частот, в котором при нормированных нелинейных искажениях выходная мощность снижается не более чем на 3 дБ. — П р и м. а в т о р а.

**Отношение сигнал-фон при выходной мощности более 20 Вт увеличивается на столько децибел, на сколько увеличивается мощность. — П р и м. а в т о р а.

Диапазон частот у магнитофонов различен в зависимости от скорости движения ленты. Поэтому допуски ограничены двумя крайними частотами диапазона: f_n — нижняя граница и f_v — верхняя граница.

В домашних Hi-Fi магнитофонах используются скорости 4,76; 9,53 и 19,05 см/с, для которых эти граничные частоты соответственно равны: 80–6300 Гц; 63–10 000 Гц; 40–12 500 Гц.

Кроме требований к механическим и электрическим параметрам магнитофонов, этот стандарт указывает нормы для магнитных лент на катушках, методы измерений, расположение дорожек, выходных зажимов и т. д.

Hi-Fi любители понимают, что тут не ставится вопрос о пиковой, действующей и средней мощностях, которые известны по элементарному курсу электротехники. В различных публикациях, проспектах и рекламных материалах встречается еще много терминов мощности, которые неминуемо приводят к путанице.

Синусоидальная, постоянная, номинальная, реальная, музыкальная, динамическая, звуковая, пиковая . . . Если к этому всему добавить и некоторые сокращения — RMS (Root Mean Square), которое англичане любят употреблять вместо известного и ясного термина "действующая мощность", IHF (Institute of High Fidelity), используемое для стереоусилителей, когда сумма мощностей умножается на некоторый коэффициент, и другие подобные, то ясно, как трудно человеку вылезти из этих терминологических джунглей.

Затем, если принять во внимание, что указанная в проспектах мощность находится в прямой зависимости от коэффициента гармоник и частоты (или частотного диапазона), от сопротивления нагрузки и от качества источника питания, то можно себе представить, какую свободу имеют фирмы, когда рекламируют некоторые несовершенные 30- или 50-ваттные усилители.

Конечно, такое разнообразие имеет и известные оправдания при высококачественном музыкальном воспроизведении. Ведь если нужно воспроизводить речь, то для достаточно хорошей разборчивости ее уровень должен быть всего на 50 дБ выше минимального уровня слышимости. В средней по размеру жилой комнате это соответствует акустической мощности примерно 300 мВт.

Совсем другое положение создается при звуковоспроизведении. Острые и с большими амплитудами пики музыкального исполнения требуют от усилителя большого резерва мощности для неискаженного воспроизведения этих пиков. В противном случае происходит ограничение этих пиков, некий вид "насыщения", который ухо легко улавливает.

Теперь несколько слов о наиболее часто употребляемых определениях мощности:

Синусоидальная мощность, известная еще как **номинальная** или **постоянная мощность** усилителя. Характеризует возможность усилителя воспроизводить в течение продолжительного времени без искажений чистый синусоидальный сигнал. Ясно, что понятия "чистый" и "без искажений" являются очень субъективными и чаще всего определяются стремлением фирмы-изготовителя разрекламировать высокий класс своего усилителя. Поэтому в различных проспектах можно встретить модели с синусоидальной мощностью 15 Вт при нелинейных искажениях 0,1%, а также модели с мощностью 25–30 Вт при нелинейных искажениях, равных 1%.

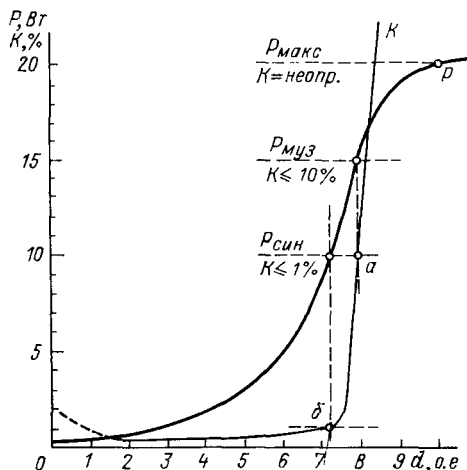
Покупателю трудно оценить эти модели, так как неизвестна кривая зависимости между мощностью и коэффициентом гармоник; в то же время нелинейные искажения менее 1% отвечают требованиям стандарта DIN 45 500.

По определению, синусоидальная мощность — это средняя мощность, которую усилитель может развивать при номинальной активной нагрузке в течение 10 мин при подаче сигнала на частоте 1 кГц без превышения номинального значения коэффициента гармоник.

Музыкальная мощность*. Это псевдоопределение мощности усилителя все же имеет свое оправдание в Hi-Fi технике, к тому же оно служит и в конкурентной борьбе фирмам, так как хорошо воздействует на слабо информированного покупателя.

* Слово "музыкальная" употребляется, чтобы показать, что подаваемый на вход сигнал является кратковременным. — П р и м. а в т о р а.

рис. 78. Сравнительная диаграмма трех видов мощности и коэффициента гармоник



Музыкальная мощность находится в прямой зависимости от стабильности источника питания. Это мощность, которую может обеспечить усилитель с определенным значением коэффициента гармоник при воспроизведении сигнала импульсного характера (речь, музыка), если напряжение источника сигнала не меняется при наличии или отсутствии сигнала.

Определение "музыкальная мощность" связано с динамическим диапазоном усилителя, т.е. с возможностью воспроизводить фортиссимо без искажений и пианиссимо без шумов. По этой причине часто вместо "музыкальная мощность" можно встретить определение "динамическая мощность", при которой фортиссимо воспроизводится с определенным процентом нелинейных искажений. Но этот "определенный процент" очень часто достигает максимально допустимых 10%, которые начинают раздражать даже самого непритязательного слушателя.

В зависимости от качества усилителя отношение между музыкальной и синусоидальной мощностями может меняться от 1,2 до 2.

Насколько синусоидальная мощность близка к музыкальной, настолько правильно рассчитано питание, способное принимать пиковые нагрузки без изменения напряжения. По этой причине в случае, когда измеренная мощность одного канала (при условии, что другие не работают) очень близка к мощности этого же канала при одновременной работе двух каналов, можно говорить о хорошо рассчитанном и стабилизированном питании.

Пиковая мощность. Это мощность, получаемая при максимальном напряжении на выходе, т.е. при полностью открытом регуляторе громкости и при номинальной нагрузке. Часто пиковая мощность называется еще реальной, т.е. такой, которой действительно располагает усилитель независимо от искажений.

Нелинейные искажения при пиковой мощности превышают допустимые значения. Кроме того, усилитель не может работать продолжительное время при такой нагрузке, так как некоторые его элементы и узлы попадают в ненормальный для них тепловой режим.

Встречаются еще понятия "синусоидальная пиковая мощность", которая достигает удвоенного значения синусоидальной мощности, а также "музыкальная пиковая мощность", в два раза превышающая обычную музыкальную мощность.

На рис. 78 дана сравнительная диаграмма трех основных видов мощности усилителя. Взят конкретный пример усилителя с максимальной мощностью $P_{\text{макс}} = 20$ Вт. Графики выражают зависимость мощности P и коэффициента гармоник K от степени регулирования выходного уровня — положение регулятора громкости в относительных единицах d . Уменьшая выходной уровень с помощью регулятора громкости, находим положение, при котором искажения, отсчитываемые по кривой K , составляют 10% (точка a). Это соответствует мощности $P_{\text{муз}} = 15$ Вт. При дальнейшем уменьшении уровня с помощью регулятора доходим до коэффициента гармоник 1% (точка b), которому соответствует выходная мощность $P_{\text{син}} = 10$ Вт.

36

Сколько ватт необходимо?

Сколько ватт звуковой мощности необходимо для высококачественного озвучивания жилища?

На этот вопрос некоторые отвечают: "Все зависит от собственного вкуса и от вкуса ... соседей". Относительно страха перед соседями следует сказать, что истинный ответ будет не в их пользу и едва ли удовлетворит их вкус.

Проведено много исследований по определению предпочтительного уровня звука для слушателей различного социального состава, возраста и пола при воспроизведении разнообразных по жанру и исполнительскому составу музыкальных произведений в жилых помещениях нормальных размеров. Некоторые обобщенные результаты предпочтительного уровня звука в децибелах указаны в табл. 9.

Таблица 9

Слуховое воздействие	Неспециалисты		Музыканты	Технические специалисты	Студийные специалисты	
	мужчины	женщины			мужчины	женщины
Симфоническая музыка	78	78	88	88	90	87
Легкая музыка	75	74	79	84	89	84
Эстрадная музыка	75	73	79	84	89	83
Речь	71	71	74	80	84	77

Понятно, что ряд других факторов и условий могут спутать и видоизменить эту статистику. В общем, чтобы получить желаемую динамику оркестра, необходимо на форте (f) создать уровень звука 80 дБ, на фортиссимо (ff) — 90 дБ и на форте-фортиссимо (fff) — 100 дБ. Ниже

80 дБ динамика недостаточна, а выше 100 дБ будет безумие ... Естественно, что эти высокие уровни справедливы только в моменты пиковой мощности

По усредненным экспериментальным данным, акустические уровни при различной динамике музыкального исполнения соответствуют величинам, указанным в табл. 10.

Если мы воспользуемся данными акустических мощностей, излучаемых различными музыкальными инструментами (табл. 11), то установим, что самое большое отношение акустических мощностей (между

Таблица 10

Оттенок музыкальной динамики		Акустический уровень, дБ
Пианиссимо	<i>ppp</i>	40
	<i>pp</i>	50
	<i>p</i>	60
Меццо форте	<i>mf</i>	70
Фортиссимо	<i>f</i>	80
	<i>ff</i>	90
	<i>fff</i>	100

Таблица 11

Музыкальный инструмент	Максимальная акустическая мощность, Вт
Треугольник	0,050
Кларнет	0,050
Аплийский ¹² рожок	0,053
Флейта	0,055
Пикколо	0,084
Контрабас	0,156
Бас-саксофон	0,288
Труба	0,314
Фортепиано	0,437
Тромбон	6,4
Малый барабан	11,9
Орган	12,6
Оркестр из 15 исполнителей	9,0
Оркестр из 75 исполнителей	66,5

треугольником и большим оркестром) составит свыше 1000. Это не особенно много для уха, если иметь в виду, что данная мощность, умноженная на 10, вызывает усиление восприятия звука только в два раза. Оркестр из 75 исполнителей воздействует на ухо только в 8 раз сильнее, чем треугольник. Из табл. 11 также видно, что фортепиано создает 0,4 Вт акустической мощности (или 8 Вт электрической мощности при КПД 5%).

По одной очень простой формуле можно рассчитать минимальную рекомендуемую электрическую мощность (Вт) для помещения объемом V (м^3) при выбранном уровне звука I (дБ) и времени реверберации в помещении t_r (с):

$$P_{\text{эл}} = \frac{3,2VI}{\eta t_r} \cdot 10^{-3},$$

где η — КПД громкоговорителя, %.

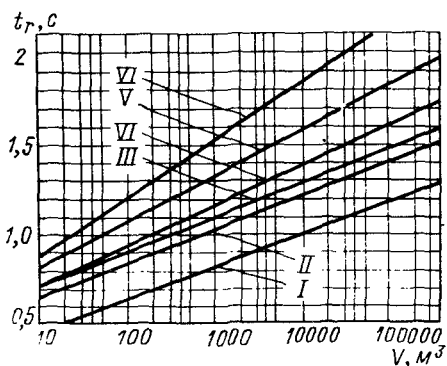


Рис. 79. Время реверберации находится в прямой зависимости от объема и вида помещения I — небольшая комната; II — зал в квартире; III — большая комната; IV — класс; V — концертный зал; VI — зал для органа

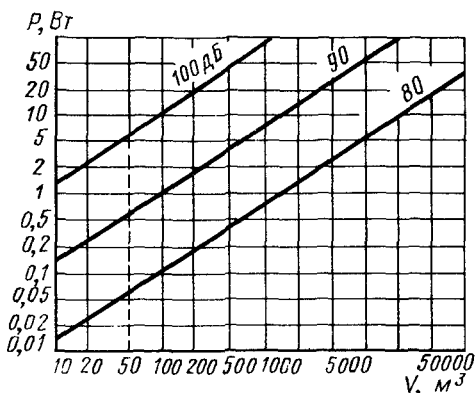


Рис. 80. По трем графикам можно определить минимально необходимую мощность громкоговорителя для данного помещения объемом V , чтобы получить уровень звука 80 дБ (f — форте), 90 дБ (ff — фортиссимо) и 100 дБ (fff — форте-фортиссимо)

Если помещение имеет объем $V = 50 \text{ м}^3$, звуковой уровень $I = 100 \text{ дБ}$ (максимальный), а КПД громкоговорителя $\eta = 5\%$ (очень завышенное значение для современных громкоговорителей), то получаем $P_{\text{зл}} = 3,2/t_r$.

По рис. 79 можно сосчитать, что для жилого помещения объемом 50 м^3 время реверберации составляет $0,75 \text{ с}$. Тогда необходимая минимальная электрическая мощность громкоговорителя для нормального воспроизведения в такой комнате составит $P_{\text{зл}} = 4,2 \text{ Вт}$.

Всем Н1—Fi любителям известно, что фирмы, выпускающие высококачественные усилители, рекламируют их с более высокими мощностями — 50, 100 и даже 200 Вт. Естественно, эти мощности остаются недоиспользованными в комнате, но позволяют достигать более широкой динамики воспроизведения и меньшего уровня искажений сигнала, чем при усилителях с меньшей мощностью.

Для салона средних размеров или небольшого зала минимальная мощность, которая может удовлетворить, составляет 15—20 Вт. Понятно, что это действительно только при условии, если КПД акустических систем не очень мал.

На рис. 80 даны графики для определения минимально необходимой звуковой мощности в зависимости от объема помещения. Графики составлены для времени реверберации 0,58 с, КПД громкоговорителей 5% и для закрытых акустических систем.

Некоторые будут в недоумении: зачем при расчетах принимать за высший уровень звука такое большое значение — 100 дБ; когда известно, что организации по охране труда и медицина ставят предел 80 дБ? Сверх этого предела ухо подвержено неприятным воздействиям, которые могут привести к временным повреждениям. В данном случае, однако, речь идет о кратковременных нагрузках, когда самое мощное фортиссимо достигается даже с превышением этого уровня. Очевидно, такая динамика может непрерывно использоваться, только если жилое помещение расположено в горах. Если же мы хотим слушать непременно с пиковым уровнем 100 дБ, то лучше всего пойти в концертный зал.

37

Многоканальный тонкорректор

Серьезные Hi-Fi любители уже не удовлетворяются классическим двухканальным "отдельным регулированием по низким и высоким частотам", которое осуществляет подъем или спад на 15–20 дБ в двух граничных частотных областях диапазона. При таком регулировании среднечастотная область остается неизменной и возможности корректирующего устройства ограничены.

Есть много случаев, когда необходима коррекция в нескольких узких полосах частот, причем с большой крутизной спада или подъема (источники звука с нелинейной характеристикой, перезапись со старых магнитных лент с ослабленными высокими частотами, проигрывание грампластинок с высоким уровнем шумов и т. д.). Для выравнивания частотной характеристики в подобных случаях созданы так называемые выравниватели (equalizer) — многоканальные тонкорректоры, действующие в нескольких (чаще всего в пяти) узких полосах частот. В большинстве случаев это фильтры типа LC с большой крутизной спадов характеристики.

Для регулировки "глубины действия" фильтра используются потенциометры с прямолинейным движением и градуировкой в децибелах, так что положение подвижных контактов очерчивают на лицевой панели приблизительную общую частотную полосу пропускания.

Такие выравниватели можно не только встраивать в предусилители и микшерные пульта, но и выпускать в виде отдельных приставок к Hi-Fi устройствам. Примерная схема такой приставки дана на рис. 81

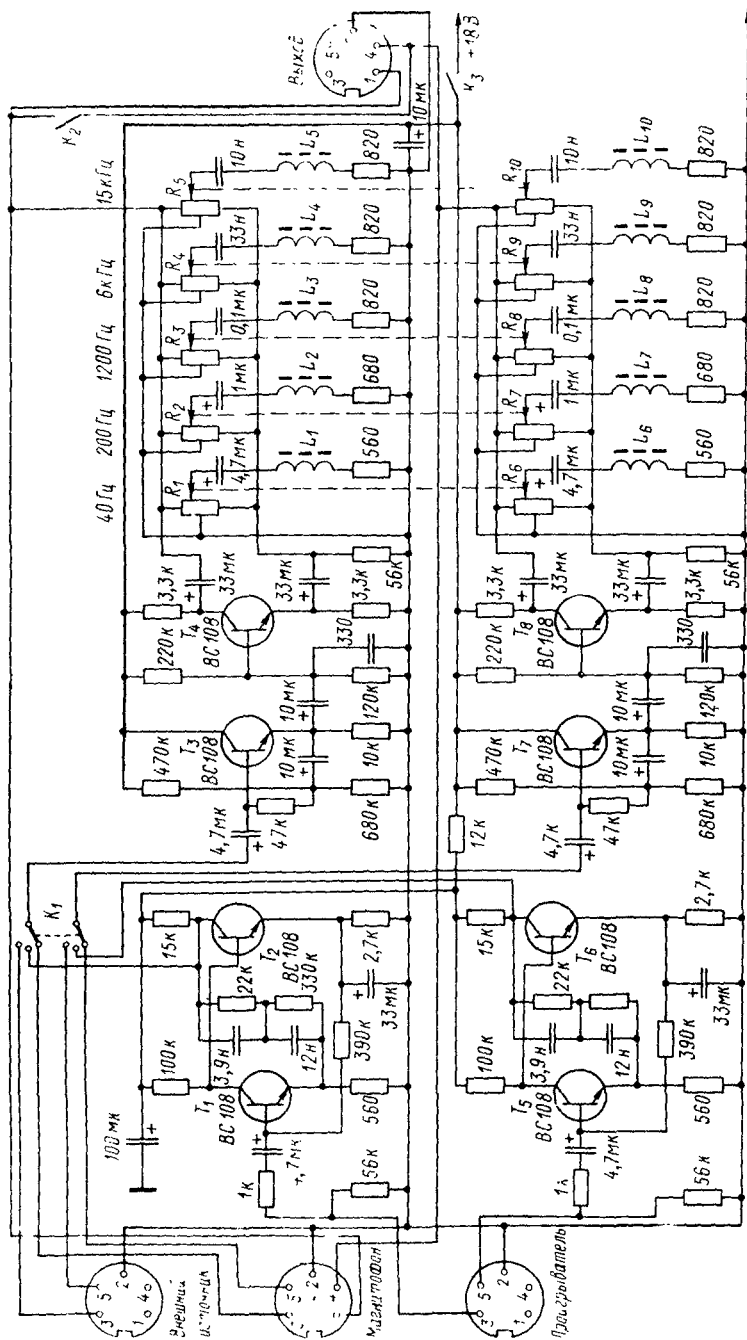


Рис 81. Принципиальная схема пятиполосного тонкорректора-выравнивателя

Схема состоит из трех основных каскадов: предусилителя-корректора для входа "Проигрыватель" по нормам RIAA — каскады на T_1 , T_2 , T_5 , T_6 ; универсального предусилителя для остальных источников звукового сигнала ("Внешний", "Магнитофон") — каскады на T_3 , T_4 , T_7 , T_8 ; корректирующих фильтров, включенных на выходе общего предусилителя (T_4 , T_8).

Предусилительная часть имеет три входа: для проигрывателя 3 мВ/50 кОм, магнитофона 200 мВ/100 кОм и внешнего источника 200 мВ/100 кОм. Переключение входов и распределение сигналов по соответствующим предусилителям осуществляется с помощью K_1 .

У предусилителя-корректора для магнитного звукоснимателя и у основного предусилителя нет схемных особенностей. Везде употреблены кремниевые малошумящие транзисторы BC108 (или KC148 из ЧССР).

Вход первого каскада основного предусилителя высокоомный, что достигается введением отрицательной обратной связи между эмиттером и базой транзистора.

Частоты, на которых проводится отдельная корректировка частотной характеристики, обычно 40 Гц, 200 Гц, 1200 Гц, 6 кГц и 15 кГц. С выходов коллектора и эмиттера последнего транзистора T_4 (T_8) берутся два равных и противофазных напряжения, которые подаются на неподвижные контакты потенциометров $R_1 - R_5$ ($R_6 - R_{10}$). Эти потенциометры вместе с резонансными LC -цепями образуют частотно-зависимые делители напряжения, коэффициент деления которых зависит от положения подвижного контакта потенциометра. Соответственно этому на выход подается большее или меньшее напряжение в частотной полосе, определяемой каждой LC -цепью.

Регулирующие потенциометры имеют заземленный средний вывод, и, если все их подвижные контакты встанут в средние положения, общая частотная характеристика тонкорректора будет линейной. В двух крайних положениях характеристика меняется на ± 5 дБ, что достаточно для проведения коррекции частотной характеристики при самых различных источниках звукового сигнала.

Цепи фильтрации содержат индуктивности $L_1 - L_5$ со следующими параметрами: $L_1 - 1,2$ Гн, $L_2 - 0,4$ Гн, $L_3 - 100$ мГн, $L_4 - 22$ мГн, $L_5 - 10$ мГн. Для намотки можно использовать ферритовые тороидальные или другой формы сердечники. Самая большая катушка L_1 может быть намотана на Ш-образный сердечник из качественного кремниевого или пермаллового железа.

Выход блока коррекции выведен на пятиконтактный разъем; выходной уровень напряжения 200 мВ при выходном сопротивлении 100 кОм.

Гнезда 1 и 4 магнитофонного разъема связывают непосредственно вход и выход при записи без коррекции. Ключ K_2 предназначен для переключения "Сtereo" и "Моно".

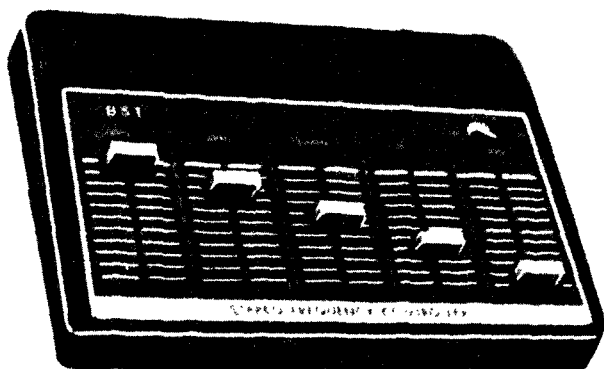


Рис. 82. Общий вид пятиполосного тонкорректора

На рис. 82 показан внешний вид описанного выравнивающего устройства. Напряжение питания составляет 18 В при общем потреблении тока около 5 мА. Малое потребление позволяет использовать в качестве источника питания две маленькие батареи по 9 В или четыре по 4,4 В, что обеспечивает полную автономность устройства.

38 Фильтр "присутствия"

Название фильтра происходит от создаваемой им возможности выдвинуть на передний план сольное исполнение. В некоторых записях или при неподходящей акустике солист "теряется" в оркестре. Этот

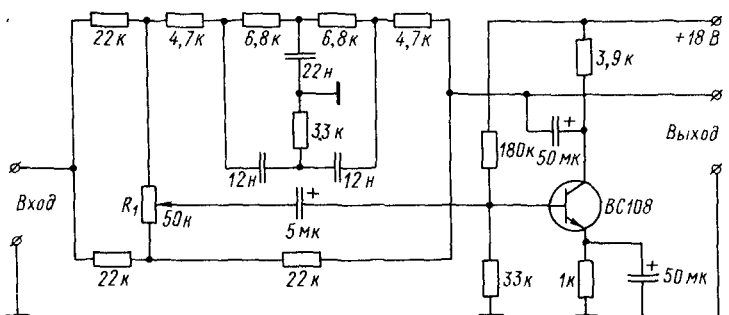


Рис. 83. Фильтр "присутствия" выделяет солиста с помощью подъема средних частот

эффект можно компенсировать путем искусственного подчеркивания среднечастотного диапазона, с которым обычно совпадает диапазон солиста. Схема на рис. 83 осуществляет это подчеркивание с помощью двойного Т-образного фильтра, включенного в цепь отрицательной обратной связи однотранзисторного усилительного каскада. В схеме используется малошумящий транзистор BC108.

Средняя частота подъема 2 кГц. Посредством потенциометра R_1 можно регулировать уровень подъема, который может достигать максимум 10 дБ.

Входное сопротивление каскада 12 кОм, выходное — 100 Ом. Коэффициент нелинейных искажений не более 0,1% при выходном напряжении 250 мВ. Коэффициент передачи составляет около 0,95.

39

Каковы должны быть интермодуляционные искажения?

Если оценивать гармонические искажения легко и удобно, наблюдая за выходным сигналом на экране осциллографа, то интермодуляционные искажения в этом отношении создают большие затруднения. Кроме осциллографа в этом случае еще необходимы два генератора и специальные фильтры. Все неприятности, которые создают интермодуляционные искажения, являются серьезными, и требуются способы проверки их воздействия.

На схеме (рис. 84) показана простая измерительная установка для оценки интермодуляционных искажений в любительских условиях. Для упрощения работы с установкой одна из частот берется сетевой (50 Гц), другая — 5000 Гц вместо предлагаемых стандартом DIN 45 500 частот 250 и 8000 Гц.

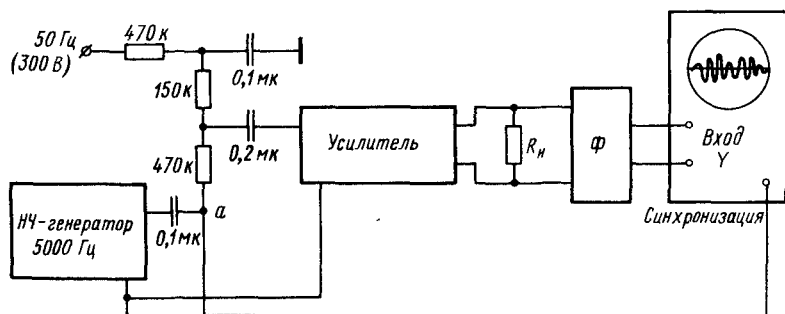


Рис. 84. Измерительная установка для оценки интермодуляционных искажений в любительских условиях

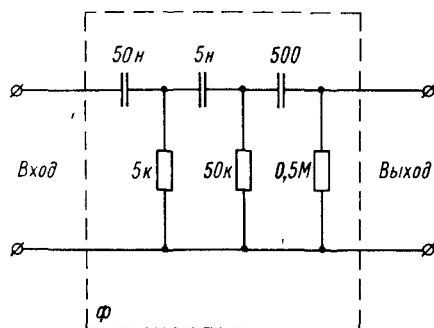


Рис. 85. Фильтр Φ исключает низкочастотную составляющую из сигнала на выходе

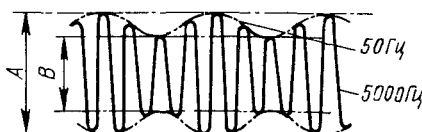


Рис. 86. По наблюдаемой осциллограмме можно вычислить величины A и B и рассчитать коэффициент интермодуляционных искажений

Напряжения этих двух частот с отношением амплитуд 4 : 1 подаются на вход испытываемого усилителя. Наличие нелинейных элементов и цепей в усилителе приводит к возникновению на этих двух частотах биений: сигнал с частотой 5000 Гц модулируется сигналом частотой 50 Гц. Глубина этой модуляции зависит от того, насколько сильно выражена нелинейность в усилителе.

Сигнал, полученный в результате биений, подается для наблюдения на вертикальный вход осциллографа через фильтр Φ (рис. 85), исключающий низкочастотную составляющую. Усилитель имеет номинальную нагрузку R_n . Осциллограф работает с внешней синхронизацией, которая обеспечивается сигналом, взятым с точки a . По наблюдаемой на экране осциллографа кривой (рис. 86) можно рассчитать величины A и B и вычислить коэффициент интермодуляционных искажений:

$$K_{\text{и}} = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100\%.$$

4

Компенсатор паразитного проникновения сигналов между каналами

Взаимное проникновение сигналов между двумя стереоканалами — неприятное явление в стереофонии, которое приводит к сильному ослаблению пространственного эффекта. Одним из средств борьбы с этим недостатком являются компенсаторы паразитных проникающих

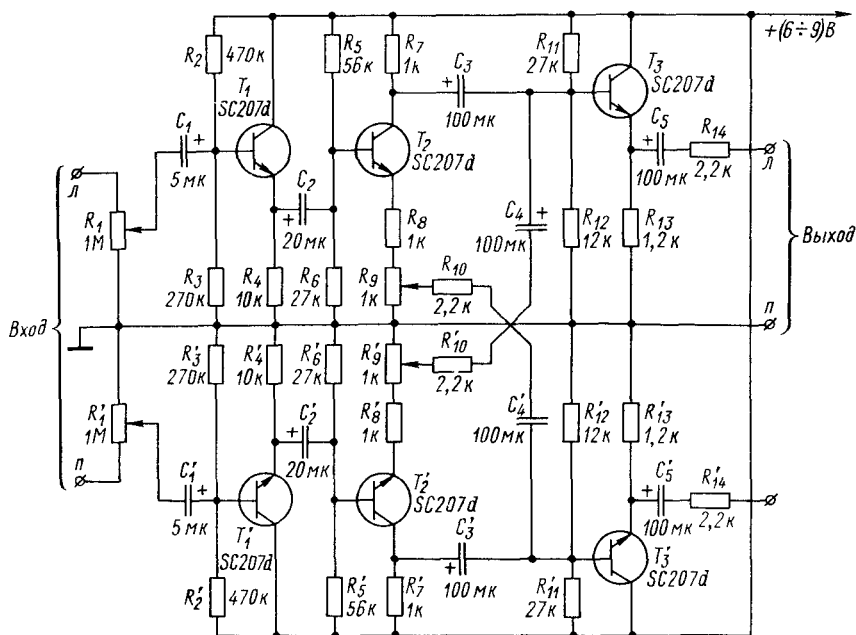


Рис. 87. Компенсатор паразитного проникновения сигналов между стереоканалами

сигналов. Примерная схема такого компенсатора приведена на рис. 87. Схема работает по принципу подачи из одного канала в другой противофазного сигнала компенсации.

Схема включается между предусилителем и оконечным усилителем. Входное сопротивление первого каскада компенсатора достаточно велико, чтобы осуществлять необходимое согласование с высокоомным выходом предусилителя. Полезный сигнал с коллекторов T_2 и T'_2 подается для усиления на базы T_3 и T'_3 , а компенсирующий сигнал, повернутый по фазе на 180° , снимается с эмиттеров T_2 и T'_2 и через R_9 и R'_9 подается в другой канал.

Последний каскад компенсатора имеет низкоомный выход и обеспечивает правильное согласование с входом оконечного усилителя. Максимальное входное напряжение компенсатора равно 1,5 В.

Для настройки компенсатора лучше всего использовать тест-ленту или тест-пластинку. С помощью R_1 и R'_1 настраиваются на максимальное неискаженное напряжение на выходе. Затем путем регулировки R_9 и R'_9 добиваются наилучшей компенсации минимального паразитного сигнала от левого канала на выходе правого канала и наоборот. Отсчет следует производить с помощью осциллографа или лампового вольтметра (в крайнем случае на слух).

С помощью компенсатора можно обеспечить затухание между каналами в пределах 50 дБ на частоте 1000 Гц. С повышением частоты затухание обеспечить труднее.

В схеме использованы кремниевые транзисторы SC207d производства ГДР. Их можно заменить советскими транзисторами КТ315Б или КТ315Г.

41

"Суперстерео"

Вариант схемы компенсатора, в которой использованы более бесшумные транзисторы BC108, показан на рис. 88. Схема работает по такому же принципу компенсации, что и схема рис. 87, но имеет на один каскад меньше. За счет этого ее первый каскад работает по схеме, обеспечивающей высокое входное сопротивление предусилителя. Высокоомность входа создается за счет обратной связи между эмиттером и базой с помощью конденсатора C_3 (C_4).

Схема отличается тем, что при регулировании двойным потенциометром R_1 - R_2 можно достигнуть очень широкого диапазона компенсации —

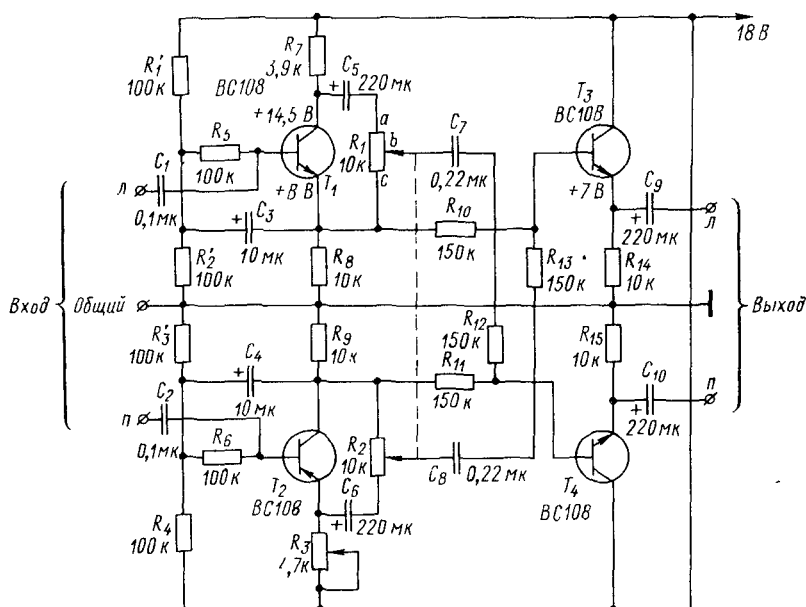


Рис. 88. Компенсатор "суперстерео" с четырьмя малощумящими транзисторами типа BC108

от монофонического воспроизведения до нормального стереофонического и даже до полностью скомпенсированного "суперстерео".

Выходное напряжение с T_1 (T_2) подается на потенциометр R_1 (R_2), верхний конец которого связан с коллектором (его напряжение находится в противофазе с входным напряжением), а нижний конец — с эмиттером (его напряжение — в фазе с входным напряжением). В соответствии с положением подвижного контакта потенциометра к базе транзистора T_4 от левого канала поступает скомпенсированное напряжение, более или менее сфазированное с основным сигналом в правом канале. Так как кроме основного сигнала здесь существует и паразитный сигнал от левого канала, то путем подбора соответствующего положения подвижного контакта можно обеспечить точную компенсацию паразитного и дополнительно введенного сигналов.

Два потенциометра R_1 и R_2 расположены на одной оси и имеют линейную характеристику. При положении подвижного контакта между точками a и b на другой канал поступает противофазное компенсирующее напряжение и компенсатор работает в режиме "суперстерео". При нахождении подвижного контакта между точками b и c компенсатор будет работать в режиме нормального стерео, а при самом низком положении, в точке c , на другой канал поступает синфазное полное напряжение и воспроизведение будет монофоническим.

С помощью подстроечного потенциометра R_3 создается предварительное выравнивание усиления в двух каналах. При напряжении питания 18 В этот компенсатор потребляет 3–5 мА.

42

Что показывают сигналы прямоугольной формы?

Верно то, что сигналы прямоугольной формы не могут ни показать многого, ни дать точную количественную оценку параметров исследуемого НЧ-усилителя. То, что они выражают, можно только оценить как "мало", "много" или "не совсем". Но и эта оценка в большинстве случаев является полезной, тем более что методика и установка для измерения совсем простые.

На рис. 89 показано, что достаточно располагать одним самым обыкновенным генератором прямоугольных сигналов, работающим на фиксированной частоте 1 кГц. Естественно, необходим осциллограф, но какое измерение в НЧ-технике возможно без осциллографа? Выход испытываемого усилителя нагружается активным сопротивлением, равным номинальной нагрузке 4; 8 или 16 Ом и способным рассеять номинальную выходную мощность.

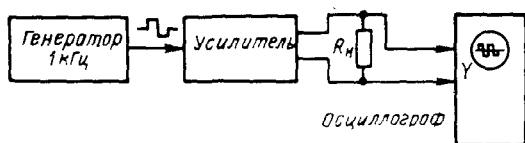


Рис. 89. Измерительная установка для проверки усилителя с помощью сигналов прямоугольной формы

Выход генератора подключается к одному из линейных входов усилителя, например к входу "Радиоприемник" или "Внешний источник звука". Выходной уровень генератора выбирается так, чтобы при частично открытом регуляторе громкости усилителя на входе осциллографа получился сигнал с амплитудой около 1–2 В. Не рекомендуется при таком виде измерений полностью открывать регулятор громкости, чтобы не допускать насыщения транзисторных каскадов.

Качество сигнала прямоугольной формы и особенно его фронтов, не является критичным, так как искажения сигнала при прохождении его через усилитель очень велики и сразу отражаются на экране.

Известно, что сигнал прямоугольной формы имеет частотный спектр, богатый гармониками. Если некоторые частоты этого спектра не пропускаются совсем или пропускаются усилителем слабо, то форма сигнала на выходе видоизменяется. Эта форма также меняется, если между некоторыми частотами или полосами частот в спектре получаются фазовые искажения, или если усилитель вносит недопустимо большие нелинейные искажения, или самовозбуждается.

На рис. 90 показаны несколько типичных случаев искажения сигнала при прохождении его через НЧ-усилитель:

а — сигнал прямоугольной формы частотой 1 кГц, поданный на вход усилителя;

б — сигнал при линейной характеристике усилителя (легкий наклон вызван спадом в области ниже 20 Гц или наличием фильтра рокоута);

в — слабое затухание в области высоких частот (приблизительно 3 дБ на 10 кГц);

г — значительное затухание на высоких частотах (–6 дБ на 3 кГц; –15 дБ на 20 кГц);

д — подъем высоких частот (6 дБ на 10 кГц);

е — подъем низких частот (15 дБ на 50 Гц);

ж — затухание низких частот (–15 дБ на 50 Гц);

з — исправный усилитель с линейной характеристикой (на выходе громкоговоритель вместо активного сопротивления);

и — самовозбуждающийся усилитель, нагруженный громкоговорителем.

Рис. 90. Искажения сигнала прямоугольной формы при прохождении его через усилитель

При наличии несимметричных относительно друг друга положительных и отрицательных полуволн следует предположить неточный подбор по коэффициенту β двух оконечных транзисторов и большие искажения.

Если регуляторы тембра поставлены в положение линейной характеристики усилителя и, несмотря на это, изображение сигнала прямоугольной формы имеет наклон (как в случаях в и г), то это означает, что постоянные времени связанных RC -цепей малы (недостаточна емкость конденсатора или мало сопротивление резистора).

Очень полезна сравнительная оценка идентичности двух стереоканалов при наличии двухлучевого и двухканального (с электронным коммутатором) осциллографов. Наблюдая одновременно за двумя выходными сигналами, можно судить о точности сведенных стереопотенциометров, идентичности фильтров, а также проводить сравнение их с эталонным сигналом.



43 Эффективный фильтр для шумящих грампластинок

Часто требуется проиграть грампластинки с большим собственным шумом — пластинки со старыми записями, изношенные, запыленные, поцарапанные и т. д. В таком случае может помочь только активный RC -фильтр, подключенный между предусилителем и оконечным усилителем с крутизной ската 12 дБ на октаву*. Фильтр эффективно действует как подавитель шумов в тюнерах при стереоприеме. Понятно, что все это приводит к ограничению частотной характеристики на высоких частотах.

Схема фильтра составлена из двух транзисторов типа BC108, включенных с общим коллектором, и двух RC -цепей, одна из которых находится в цепи обратной связи (рис. 91).

*Известен еще как скретч-фильтр (Scratch). — Прим. автора.

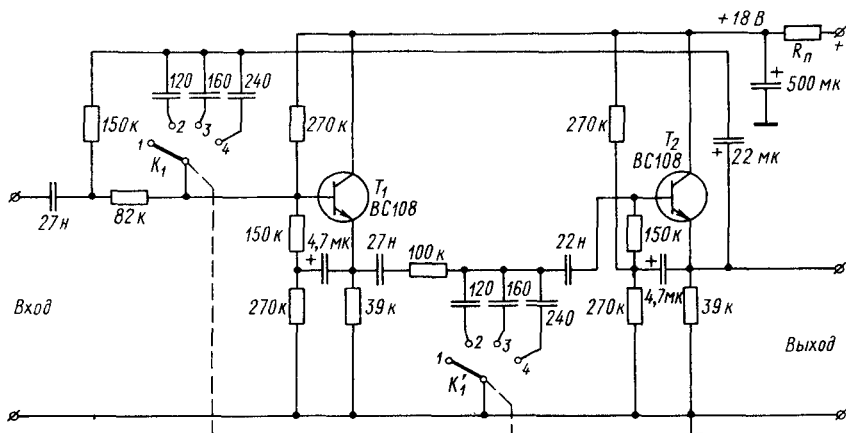


Рис. 91. Фильтр для подавления шумов и рокота с двумя транзисторами

Переключатель K_1 позволяет выбирать три различные частоты среза — 16, 12 и 7 кГц. Первое положение исключает действие фильтра шума и превращает его в фильтр подавления рокота* с частотой среза 45 Гц. С помощью графика на рис. 92 можно выбрать и другие частоты среза соответствующим подбором конденсаторов.

Коэффициент передачи по напряжению схемы равен 0,95, а коэффициент нелинейных искажений на 1000 Гц составляет 0,1%.

* Фильтр рокота (Rumble) устраняет шум от вибрации механических элементов (подшипники, двигатель и др.) проигрывателя или магнитофона. — При м. а в т о р а.

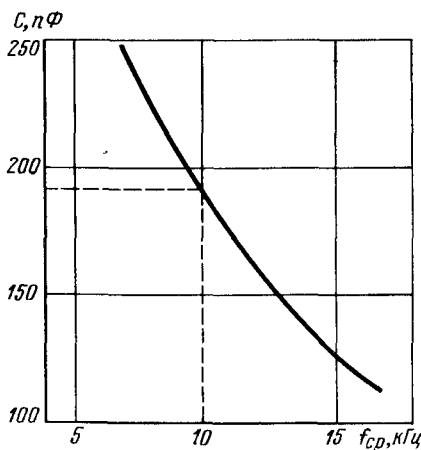
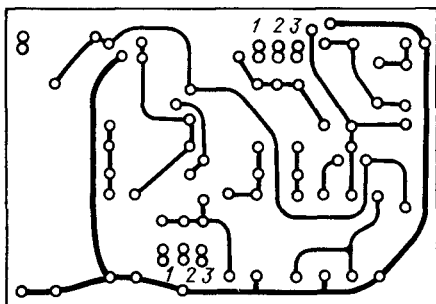


Рис. 92. Частота среза $f_{ср}$ может быть выбрана переключением конденсаторов

рис. 93. Печатная плата



Высокое входное сопротивление (около 1,7 МОм) и низкое выходное обеспечивают удобное включение схемы между предусилителем и оконечным усилителем.

Монтаж схемы выполнен на печатной плате размером 80 × 52 мм (рис. 93). Расположение элементов на плате показано на рис. 94. При монтаже использованы два параллельно соединенных конденсатора 22 нФ и 4,7 нФ вместо указанных в схеме конденсаторов 27 нФ. Связь между платой и переключателем K_1 обеспечивается экранированным проводом.

Напряжение источника питания составляет 18 В при потреблении тока 8 мА. Резистор R_n предусмотрен для регулировки этого напряжения, если источник питания дает более высокое напряжение. Еще лучше, если эти 18 В стабилизированы. Для развязки предусмотрен электролитический конденсатор большой емкости (500 мкФ).

Из-за своего комбинированного действия эти фильтры известны также как скретч-фильтры (рокот-фильтры).

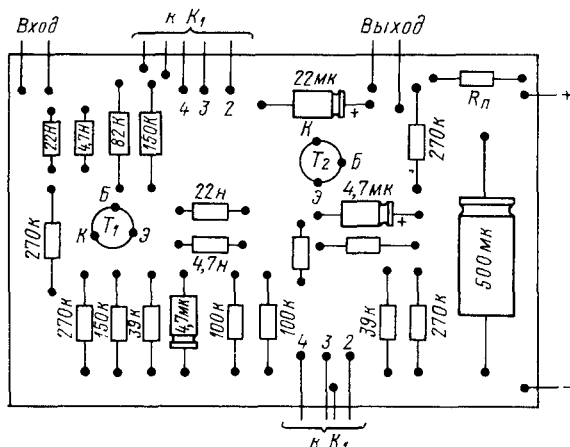


Рис. 94. Монтаж элементов на печатной плате

Правильное решение вопроса об источнике питания для $Ni-Fi$ устройств часто недооценивается как проблема. Ряд показателей источника питания определяет и некоторые основные качества $Ni-Fi$ усилителя.

Едва ли необходимо подтверждать и доказывать, что питание $Ni-Fi$ усилителя должно быть стабилизированным. Транзисторные усилители в отличие от ламповых особенно чувствительны к изменениям напряжения источника питания, вызванным как колебаниями в сети переменного тока, так и изменениями нагрузки. Кроме того, источник питания должен иметь очень хорошую фильтрацию и электронную защиту от превышения нормального потребляемого тока, чтобы предохранить как питаемый усилитель, так и сам источник питания.

Каковы характерные требования к источникам тока, предназначенным для питания $Ni-Fi$ усилителей?

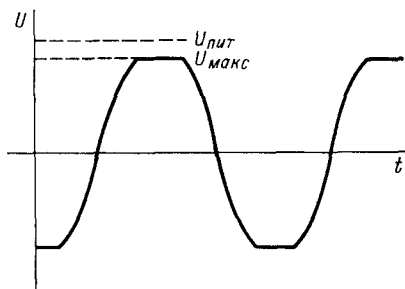
Высокая динамическая стабильность. Динамическая нестабильность компенсирующего стабилизатора характеризуется значением перепадов исходного напряжения или тока нагрузки. Эти перепады тем меньше, чем ниже внутреннее сопротивление стабилизатора, которое определяется в основном сопротивлением участка коллектор — эмиттер регулирующего транзистора в режиме насыщения. Обычно оно составляет несколько десятых долей ома. Динамические качества стабилизатора определяются частотными свойствами транзисторов в регулирующей цепи и в усилителе сигнала ошибки.

Высокая динамическая стабильность источника питания гарантирует значительно большую неискаженную динамическую (музыкальную) мощность усилителя. Это особенно необходимо при записи современной легкой музыки, где преобладает гитарное сопровождение, которое из-за крутых фронтов и больших амплитуд звуков гитары затрудняет работу усилителя и его источника питания. Положение усложняется и тем, что для транзисторных усилителей требуется широкий диапазон изменения потребляемого тока — от нескольких миллиампер при пианиссимо до нескольких ампер при фортиссимо.

Таким образом, для современной высококачественной записи с широким динамическим диапазоном, и особенно для записи гитарного исполнения, динамическая стабильность стабилизатора питания является вопросом первостепенной важности.

Необходимое значение напряжения питания. В транзисторных усилителях амплитуда выходного напряжения ограничена напряжением питания. Если амплитуда сигнала на выходе приблизится к напряжению питания, то возникнут искажения из-за ограничения амплитуды (рис. 95). Поэтому напряжение источника питания должно превышать с достаточным запасом максимальную амплитуду выходного сигнала.

рис 95. Малое напряжение питания вызывает амплитудное ограничение выходного сигнала, т.е. его искажение



Необходимая мощность источника питания. Когда мощность источника питания рассчитана неправильно и потребляемая мощность усилителя возрастает до предельных возможностей источника питания, то сигнал искажается. Особенно часто напряжение питания начинает меняться с частотой сигнала, а иногда и с частотой сети, и вызывать паразитные модуляции и искажения выходного сигнала.

Чем лучше рассчитано питание, тем синусоидальная мощность ближе к музыкальной мощности, так как источник питания в состоянии воспринимать пиковые нагрузки без изменения напряжения и без искажений.

Резервы мощности источника питания можно определить следующим образом. Если измеренная мощность одного стереоканала при выключенном другом канале очень близка к мощности этого же канала при работе двух каналов одновременно, то это признак хорошо рассчитанного и стабилизированного питания.

Надежная защита от перегрузок. Обычно защита стабилизатора вводится в действие при превышении потребляемым током определенного значения. Она может выполняться любыми схемами ограничения тока или схемой с управляющим транзистором и триггером выключения питания.

В настоящее время началось применение электронной защиты в оконечном каскаде усилителя, что предохраняет мощные транзисторы при перегрузках или коротком замыкании.

Высокая степень фильтрации. Это основное требование к любому источнику питания НЧ-усилителей мы упоминаем в самом конце, не умаляя его значения. Не каждому Hi-Fi любителю известно, что амплитуда переменной составляющей тока в исправном источнике питания не должна превышать 1–2 мВ, так как едва ли существует что-либо более неприятное, чем гудящий на частоте сети усилитель. Эти низкие значения пульсации на 50 и 100 Гц легко достигаются с помощью стабилизатора, а также обыкновенного выпрямителя, так как действие компенсирующей схемы стабилизации таково, что, кроме стабилизации, она дополнительно осуществляет сглаживание пульсаций.

Большие емкости конденсаторов в фильтрах, составляющие несколько тысяч микрофард, способствуют не только более высокой степени фильтрации, но и служат источником энергии при больших пиках в нагрузке и повышают динамические качества усилителя.

45

Подавитель шумов в паузах

До появления известных современных систем подавления шумов, таких, как "Долби", DNL, ANRS, существовали простые устройства понижения шума порогового действия. Показанная на рис. 96 схема* обеспечивает сильное затухание выходного сигнала во время паузы.

Вход и выход устройства подключается между источником сигнала и входом усилителя или записывающего магнитофона. Входной сигнал подается на базу T_4 и при открытом транзисторе проходит через R_{13} к выходу. Этот же сигнал через R_{14} подается и на вход усилителя, собранного на T_1, T_2, T_3 . Усиленное напряжение с эмиттерной нагрузки R_9 последнего транзистора попадает на диоды D_1-D_4 , выпрямляется и создает отрицательное напряжение на диодах D_6-D_9 .

В паузах отрицательное напряжение постепенно уменьшается, диоды D_6-D_9 открываются положительным напряжением, поступающим через R_{12} , и шунтируют выходную цепь устройства, уменьшая выходной сигнал.

Время задержки открытия диодов во время паузы определяется временем перезарядки C_6 через R_{12} . Замедление открытия их после окончания паузы зависит от времени заряда C_6 , от напряжения на D_1-D_4 , а также от соотношения емкостей конденсаторов C_5, C_6 .

Потенциометром R_1 устанавливается порог срабатывания устройства в зависимости от значения выходного напряжения источника и характера записанного исполнения. При использовании одного и того же источника, например магнитофона, достаточно один раз отрегулировать порог срабатывания. Для данного устройства наиболее подходящим является порог в пределах 0,1–1 В, что соответствует напряжению линейного выхода магнитофона. Входное сопротивление магнитофона или усилителя, к которому подключается выход описанного устройства, не должно быть меньше 50 кОм. Потенциометр R_1 регулируется так, чтобы воспроизвести пианиссимо полезного сигнала, но в то же время подавить шум в паузах.

При стереовоспроизведении следует изготовить два таких канала, а потенциометр R_1 взять двоянным: 2×15 кОм.

*Предложена фирмой "Panasonic". — П р и м. а в т о р а.

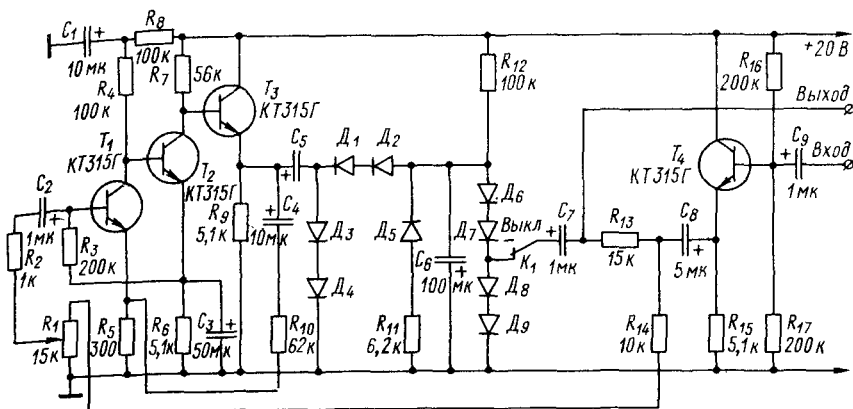


Рис. 96. Принципиальная схема подавителя шумов в паузе между записями

С помощью переключателя K_1 устройство можно выключить, причем входной сигнал переключается на выход без затухания.

В качестве D_1-D_9 могут использоваться советские диоды типа Д104 или болгарские типа SFD104. Вместо транзисторов КТ315Г могут использоваться КС148 или КС149.

46

Индикатор баланса стереоусилителя

С помощью регулятора баланса при стереовоспроизведении меняется усиление одного канала усилителя относительно другого канала, что создает эффект перемещения источника звука в пределах звукового поля. Регулятор баланса используется тогда, когда замечается различие уровней записи в двух каналах и требуется компенсировать его при воспроизведении или когда акустические системы расположены так, что слушатель находится не между ними.

Слуховое восприятие действия регулятора баланса имеет место только при условии, что изменение усиления в одном канале относительно другого составляет более 6 дБ.

Чаще всего регулирование баланса при воспроизведении стереозаписи не контролируется визуально, а рассчитано только на слуховую оценку. Ранее было мало стереоусилителей, имеющих стрелочную систему индикации баланса. В современных магнитофонах и усилителях стрелочные индикаторы установлены для каждого канала, но они служат только для контроля уровней записи и воспроизведения.

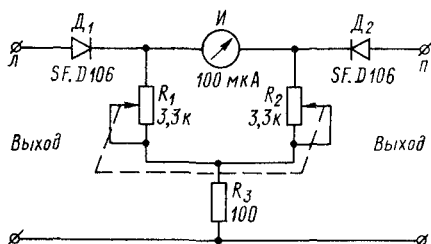


Рис. 97. Визуальная индикация баланса легко выполнима и создает большие удобства

Схема индикации баланса (рис. 97) сравнивает простым способом два напряжения — левого и правого каналов. Она имеет максимальное отклонение 100 мкА и нуль посередине. Чувствительность схемы можно подстраивать с помощью двойного потенциометра R_1 - R_2 .

47 Воздействие цвета

Известно значение внутреннего психологического состояния слушателя при восприятии музыкального произведения. Но мало изучено воздействие внешних факторов на психику слушателя — факторов, которые могут повлиять на признание или отрицание им той или иной музыкальной пьесы. Музыка средних веков нравится не всем. Но если ее слушать в полумраке двора средневекового замка в исполнении музыкантов, одетых в старинные костюмы, и в сопровождении движущихся световых эффектов, то воздействие ее на слушателя будет несравнимо с тем, которое получилось бы при воспроизведении этой же музыки с помощью проигрывателя в домашней обстановке.

Может быть, вы имели возможность слушать, например, скрипичный концерт Бетховена на репетиции, когда оркестранты одеты в свои повседневные костюмы (солист — в рубашке, а дирижер с засученными рукавами ...). Наверняка вы были разочарованы в Бетховене. Вечером на концерте в соответствующей обстановке и в строгих вечерних костюмах эти же исполнители дадут вам почувствовать всю силу этого действительно прекрасного произведения.

Органную музыку слушают обычно в соответствующем концертном зале со специальной акустикой. Все прелюдии и фуги Баха воздействуют на нас намного сильнее, если мы слушаем их в каком-нибудь большом соборе.

Говорят, что многим композиторам не нравятся их произведения в исполнении оркестра. Объяснение этому дали психологи: когда

создавалась музыка, композитор находился под впечатлением шума морских волн, журчания какого-нибудь потока или света красивого заката.

Техника уже делает опыты по созданию таких внешних эффектов искусственным путем, которые оказали бы психическое воздействие на слушателя. Особенно широкую известность в последние годы получили устройства цветомузыки. Первоначально они были объектом любительского творчества для домашнего воспроизведения. Позднее такие устройства с различной мощностью и числом цветовых каналов стали выпускаться промышленностью; они нашли применение в эстрадных концертах, для усиления впечатления от "поющих" фонтанов с помощью движущегося освещения . . .

Конечно, цветомузыка не имеет прямой связи с высококачественным воспроизведением, но так или иначе этот вопрос интересует Hi-Fi любителей. Едва ли психическое воздействие цвета будет очень сильным, если частотный диапазон воспроизведения и динамика не соответствуют нормам Hi-Fi. К сожалению, любители "бархатного" тембра не воспринимают полностью воздействия цвета, так как жестоко режут "шипящие" высокие частоты.

Полное решение всех вопросов, связанных с цветовым сопровождением музыкального воспроизведения, все еще находится далеко от знаний и технических возможностей сегодняшнего дня. Многие параметры звукового сигнала легко поддаются частотному и амплитудному анализу. Поэтому любители все еще идут по самому легкому пути и конструируют устройства для чисто внешнего, декоративного воздействия цветового сопровождения в зависимости от частоты и амплитуды сигнала.

В сущности проблема синтеза музыки и цвета еще находится в начальной стадии разрешения и над ней работают как инженеры и музыканты, так и художники и психологи.

48 Несколько "цветовых" приставок

Рассмотрим практические примеры осуществления простой приставки цветомузыки, которая по силам нашим любителям и может быть реализована с использованием доступных средств и элементов. Это, однако, не означает, что таким путем радиолюбитель решит проблему цветового сопровождения своего Hi-Fi устройства. Просто, он скорее войдет в эту интересную область техники, он "загорится", с тем чтобы сделать или приобрести что-нибудь более серьезное.

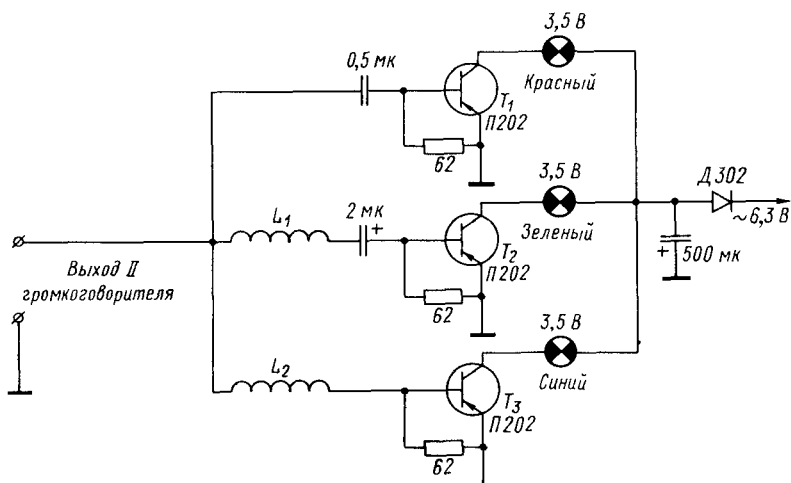


Рис 98 Простейший вариант цветомузыкальной приставки

Первоначально приведем в качестве примера две приставки цветомузыки самого простого типа, предназначенные для начинающих в этой области. Приставки могут подключаться к выходу радиоприемника, усилителя или магнитофона.

В приставке (рис. 98) используются три советских низкочастотных транзистора средней мощности типа П202 (можно П201 или П203).

Сигнал с выхода НЧ-усилителя (например, от гнезда для громкоговорителя II) подается на базы транзисторов через простейшие LC-фильтры. В результате частотного разделения, выполняемого этими фильтрами, на T_1 подаются высокие, на T_2 — средние, а на T_3 — низкие частоты.

Световые эффекты осуществляются с помощью маленьких электрических лампочек напряжением 3,5 В и максимальным потреблением тока 0,2 А, включенных в коллекторные цепи трех транзисторов. К каждой лампочке монтируется рефлектор и цветное стекло — красное для высоких, зеленое для средних и синее для низких частот. Удобно использовать три карманных фонарика с рефлекторами, причем прозрачные стекла следует заменить цветными.

Световые лучи направляются на полупрозрачный экран из матового стекла размером 150 × 150 мм. Экран устанавливается на расстоянии 150 мм от ламп. В результате смешивания трех основных цветов на экране получают различные цветовые гаммы.

Из-за малой мощности лампочек хороший эффект получается вечером в затемненном помещении.

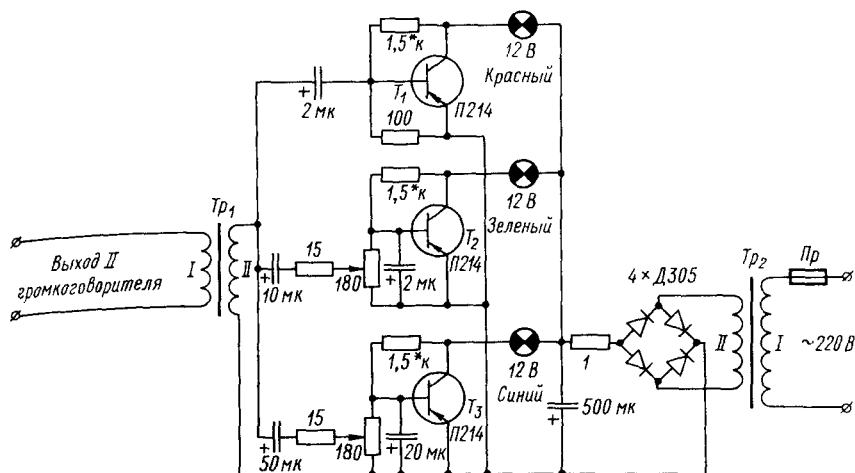


Рис. 99. Цветомузыкальная приставка с RC -фильтрами

Питание приставка получает от напряжения 6,3 В, если приемник ламповый, или от отдельного источника с постоянным напряжением 9 В.

Катушка L_1 намотана на два поставленных друг на друга ферритовых тороидальных сердечника размером $7 \times 4 \times 2$ мм. Индуктивность катушки 1,2 мГн, она содержит 200 витков провода ПЭЛ-0,1. Катушка L_2 намотана на три подобных сердечника и имеет также 200 витков провода ПЭЛ-0,1. Ее индуктивность около 1,8 мГн.

Еще более простой вариант приставки цветомузыки, в котором применены RC разделительные фильтры, дан на рис. 99. Здесь использованы три транзистора типа П214, работающие по схеме с общим эмиттером. Их режим подобран так, что ток коллектора во время отсутствия сигнала достаточно мал, чтобы у лампы отсутствовало свечение. Подбор осуществляется путем изменения резисторов 1,5 кОм базового делителя в пределах 1–5 кОм. Интенсивность свечения лампочек в этом случае больше, так как они взяты из числа автомобильных напряжением 12 В при потребляемом токе не более 0,25 А. Монтируются они на рефлекторах, и лучи света направляются на матовое стекло.

Транзисторы монтируются на небольших радиаторах, например на алюминиевых пластинках размерами $50 \times 50 \times 3$ мм.

Переходный трансформатор Tr_1 собран из Ш-образных пластин сечением 3–4 см². Обмотка I имеет 50 витков провода ПЭЛ-0,25, а обмотка II – 150 витков этого же провода.

Питание осуществляется от сетевого выпрямителя, обеспечивающего необходимое постоянное напряжение 12 В и ток 2 А. Сетевой

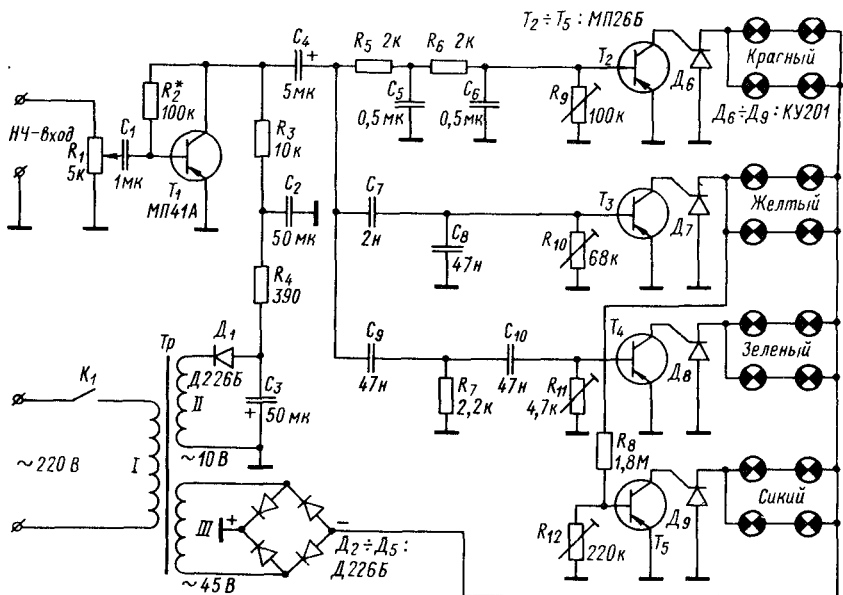


Рис. 100. Тиристорная цветомузыкальная приставка

трансформатор Tr_2 намотан на сердечнике Ш20 толщиной набора 25.мм. Первичная обмотка состоит из 1360 витков провода ПЭЛ-0,3, а вторичная — из 120 витков провода ПЭЛ-1,5.

Более серьезный опыт цветового сопровождения музыкального воспроизведения можно провести, если воспользоваться схемой на рис. 100. В ней предусмотрены четыре цветовых канала: красный для частот ниже 200 Гц, желтый для частот 200—3000 Гц, зеленый для частот выше 2 кГц. Синий свет зажигается при отсутствии желтого.

Потенциометром R_1 регулируется и усилительным каскадом на T_1 усиливается общий уровень поступающего на вход комплексного сигнала.

К входам трех усилительных каскадов с транзисторами T_2 , T_3 и T_4 подключены частотно-разделительные фильтры RC. В каждом канале имеется по одному подстроечному потенциометру R_9 — R_{12} для регулировки порога зажигания отдельных групп ламп.

Сигнал, поступающий на базу транзистора, открывает его, тиристор в его коллекторной цепи также открывается, и зажигается соответствующая группа из четырех лампочек. Сигнал, управляющий синими лампами, берется с выхода "желтого" канала через R_8 подается на базу транзистора T_5 . В этом случае "синий" канал будет открыт и лампочки его будут светить только тогда, когда тиристор D_7 закрыт и желтые лампы не светят.

Транзистор T_1 должен иметь коэффициент β не менее 60, а T_2 , T_3 и T_4 между 60 и 80.

Сетевой трансформатор Tr намотан на сердечнике Ш25 толщиной набора 40 мм. Первичная обмотка I содержит 1250 витков провода ПЭЛ-0,31, вторичная обмотка II имеет 57 витков провода ПЭЛ-0,1, а вторичная обмотка III — 246 витков провода ПЭЛ-0,8. Осветительные лампы телефонного типа напряжением 24 В, 100 мА.

Перед настройкой подвижные контакты потенциометров R_9 — R_{12} ставятся в самое нижнее по схеме положение. Базы транзисторов T_2 — T_5 при этом соединены с корпусом, и если нет ошибок в монтаже или неисправных элементов, то не должны светиться никакие лампочки.

Сначала настраивается "красный" канал. На вход подается сигнал от генератора с частотой 150—200 Гц и напряжением 1,5 В. Регулированием R_9 выбирается положение, при котором красные лампы светят достаточно ярко.

Таким же способом настраивают остальные каналы: на средних частотах (желтые и синие лампы) берется частота 2 кГц, на высоких частотах (зеленые лампы) — 7 кГц.

49

Микшерный пульт начинает использоваться в домашней студии

Случай, когда необходимы плавная дозировка, смешивание и коррекция сигналов от различных источников, уже выходят за рамки профессиональной записи, например, танцевальных оркестров и гитарных ансамблей. Едва ли имеется опытный Hi-Fi любитель, который не оценил бы пользы от микшерного пульта для своего устройства и не искал бы наиболее подходящего решения для своих конкретных нужд.

Требования профессионалов в этом отношении очень высоки, и их пульта представляют собой внушительные панели с 8, 10 и более каналами, каждый из которых имеет по одному низкоомному и одному высокоомному входу (рис. 101). Приобрели популярность наименования входов: "Микрофон" для низкоомного и "Проигрыватель" для высокоомного. Первый имеет чувствительность 1—2 мВ и к нему подключают как динамические микрофоны, так и все остальные низкоомные источники — динамические адаптеры для гитар, магнитные звукосниматели. Второй вход имеет чувствительность 100 мВ и предназначен для высокоомных выходов магнитофонов, радиоприемников, тюнеров, керамических звукоснимателей.

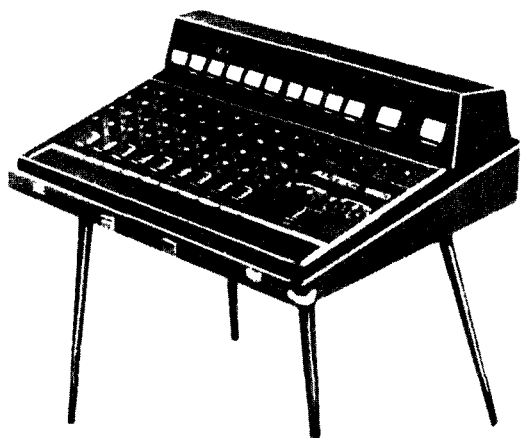


Рис. 101. Микшерный пульт типа 1220 фирмы "Altec" имеет 11 каналов, из которых 10 микрофонных, ревербератор, многополосный регулятор тембра и контроль уровня каждого канала

Современные микшерные пульта позволяют не только ввести сигнал, произвести его смешивание и коррекцию, но и получить некоторые дополнительные акустические эффекты — реверберацию, вибрацию, тремоло, сжатие, расширение, а также имеют отдельную регулировку по низким и высоким частотам, фильтры "присутствия", подавления шумов и рокота, фильтры ограничения полосы и др.

Первым преобразователем большей части записанных или воспроизводимых электронным путем звуков является микрофон. Он нашел широкое применение в "электронизации" оркестровых и вокальных составов, где каждый певец и музыкант имеют свой усилительный канал. В этом случае требуется использовать микшерные пульта профессионального типа, которые содержат необходимое число микрофонных входов, каналов и фильтров и которые позволяют создавать эффекты, используемые в инструментальных и вокально-инструментальных ансамблях, — "дисторшн", "уа-уа", вибрато, тремоло. В домашней Hi-Fi студии микрофон теряет свое значение из-за наличия различных других "вторичных" источников звука — проигрывателя, магнитофона, тюнера. В этом случае микшерный пульт содержит необходимые низкоомные и высокоомные входы и фильтры, а для создания эффектов используется только ревербератор.

Так, если необходимо смешать и откорректировать сигналы от различных источников звука, то часто требуется и распределить эту новую информацию по разным направлениям. Микшерный пульт должен выполнять все эти задачи, т. е. смешивать, корректировать и распределять поданные на его входы сигналы.

Все микшерные пульта соответственно их назначению имеют в большем или меньшем числе следующие блоки и цепи:

1. Входные цепи с предусилителями.
2. Смесительные и разделительные каскады.

3. Схемы контроля и проверки.

4. Дополнительные схемы — фильтры коррекции, схемы для создания эффектов.

5. Цепи связи и управления.

Входные цепи подобны входам H_i-Fi усилителей. Они содержат прежде всего элементы согласования по сопротивлению и уровню, а в некоторых случаях и симметричности входа для микрофонов с симметричным выходом. Симметричность можно обеспечить с помощью трансформатора или, еще лучше, отдельного транзисторного каскада.

Во входной части предусмотрен делитель, который обеспечивает затухание входного сигнала в пределах примерно от -70 до $+10$ дБ. Это позволяет подключать различные источники звука.

Имеются предусилители, в которых с помощью соответствующей обратной связи получается постоянная частотная коррекция различных источников звука (коррекция RIAA, NAB, "линейная характеристика"). Предусилители могут быть одинаковыми для всех каналов или различными в зависимости от характеристики источника. Каждый предусилитель содержит отдельные регуляторы для низких и высоких частот и регулятор громкости.

К входной части пульта следует отнести также, схемы модулирования основных сигналов различными звуковыми и акустическими эффектами; дополнительные фильтры; переключатели и кнопки, позволяющие создавать в нужных каналах различные эффекты; "панорамный" потенциометр (Pan-pot), с помощью которого балансируют или перераспределяют в избранных каналах уровни подаваемых сигналов и эффектов.

Микшерные устройства могут быть различных типов — на резисторах, трансформаторах и транзисторах. Транзисторные микшеры имеют низкоомный вход и обеспечивают низкий уровень шума, малые паразитные переходы между каналами и хорошее отношение сигнал-шум.

Затухание сигнала из-за фильтрации, коррекции и смешивания компенсируется дополнительными выходными усилителями, с которыми связаны выходные делители.

Чтобы следить за правильным распределением сигналов и действием различных фильтров и эффектов, микшерные пульты имеют различные контрольные органы. звуковой контроль через головные телефоны, визуальный контроль с помощью VU-метров, измерителей пиковых значений, световых модуляторов. Как уже говорилось, VU-метр — это обыкновенный стрелочный вольтметр, показывающий действующее значение измеряемого напряжения, но градуированный в децибелах. Он контролирует изменение уровня сигнала в каждом канале. Измеритель пиковых значений — это пиковый вольтметр, который реагирует даже на самые острые пики контролируемого напряжения.

В некоторых микшерных пультах вместо стрелочных систем контроля используются световые модуляторы — система индикаторных ламп зеленого, оранжевого и красного цветов, которые светятся ярче или бледнее в зависимости от уровня контролируемого сигнала.

Цепи связи и управления характерны только для профессиональных микшерных пультов, используемых для электронного озвучивания оркестров, театров, студий. С их помощью осуществляется связь, даются и получают команды режиссера, осветителей, технических работников студии.

Микшерные пульта для домашних студий сравнительно просты. Они часто содержат два входа для проигрывателя (стерео), один магнитофонный вход (стерео), один микрофонный вход (моно) и один вход для другого внешнего стереоисточника с высоким уровнем сигнала.

Существует одна конструктивная особенность — редко можно встретить микшерный пульт, в котором регулировки осуществляются с помощью обычных круглых потенциометров. Регуляторы с прямолинейным движением подвижного контакта очень удобны и дают ясное визуальное представление о положении регулятора и об уровне сигнала в децибелах.

50 **Пятиканальный микшерный пульт для малого оркестра**

Схема (рис. 102) выполняет смешивание сигналов от четырех микрофонных входов и от одного входа для внешнего источника. По этой схеме можно сравнительно легко и малыми средствами создать один простой микшерный пульт для любительского эстрадного ансамбля.

Так как схема предназначена для смешивания сигналов в основном от микрофонных каналов, то входные каскады разработаны очень тщательно. Используются транзисторы с большим усилением и малым собственным шумом (BC109), смещение на базу подается с коллектора через высокоомные резисторы 4,7 МОм. Каждый каскад охвачен отрицательной обратной связью по току через резисторы в цепи эмиттера сопротивлением по 2,7 кОм.

Усиленный на 35 дБ сигнал от входного каскада поступает на отдельные потенциометры, подвижные контакты которых объединены через резисторы по 68 кОм. Таким способом уменьшается их взаимное влияние при смешивании — один или несколько регуляторов могут находиться на "нуле", не доводя до короткого замыкания остальные выходы.

Пятый канал предназначен для входного сигнала с высоким уровнем — тюнера, магнитофона или кристаллического звукоснимателя.

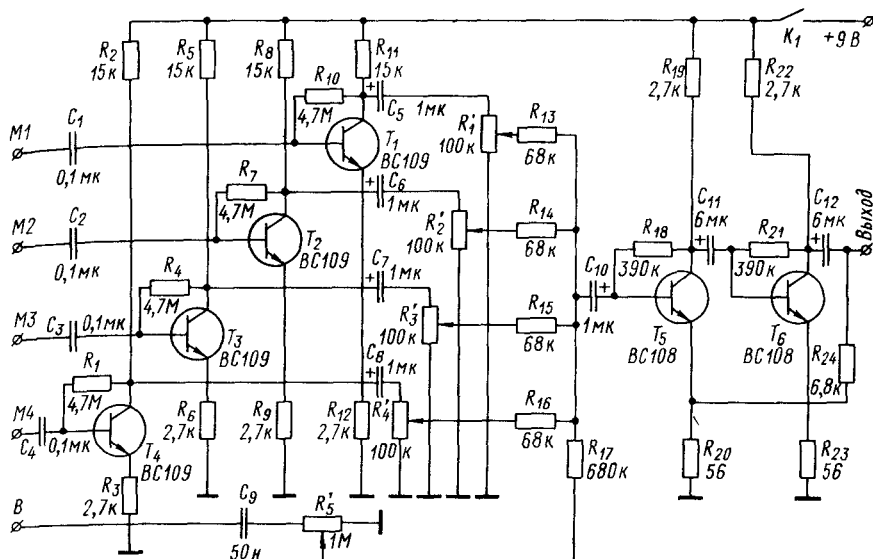


Рис. 102. Схема пятиканального микшерного пульта

Затем идет общий двухкаскадный усилитель на транзисторах BC108, собранный по схеме, подобной схеме входных усилителей. Между коллектором и эмиттером транзистора T_5 предусмотрена дополнительная обратная связь, которая улучшает частотную характеристику и отношение сигнал-шум усилителя.

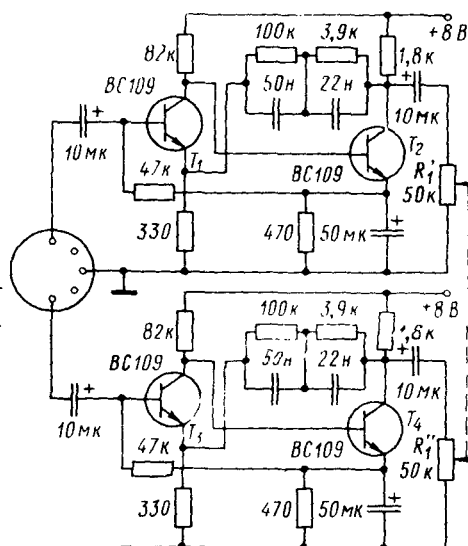
Неравномерность частотной характеристики менее 1 дБ в диапазоне 20–20 000 Гц. Общее потребление тока микшерным пультом не превышает 6 мА, а это означает, что он может получать питание от малогабаритной батареи напряжением 9 В.

51

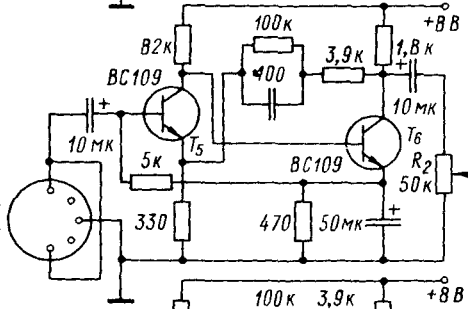
Микшерный пульт для озвучивания в домашних условиях

На рис. 103 показана схема небольшого микшерного пульта для любительских нужд, имеющего два входа для подключения стереофонического проигрывателя с магнитным звукоснимателем и один монофонический вход для динамического микрофона. Пульт предназначен для взыскательных Hi-Fi любителей, которые делают записи студийного типа с плавным переходом от конца предыдущей музыкальной

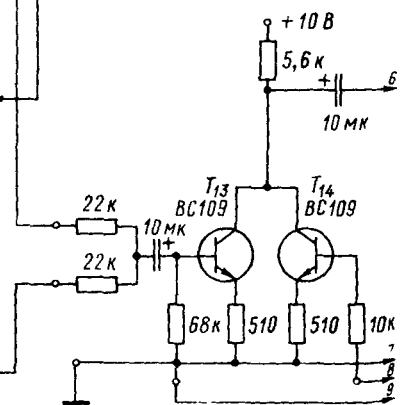
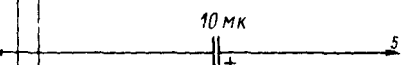
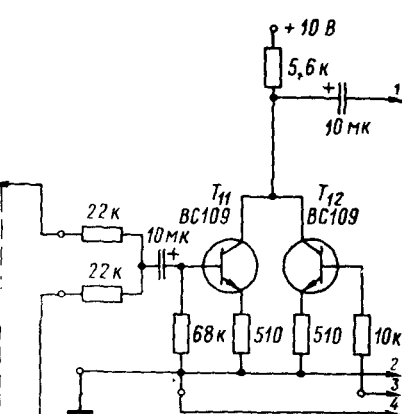
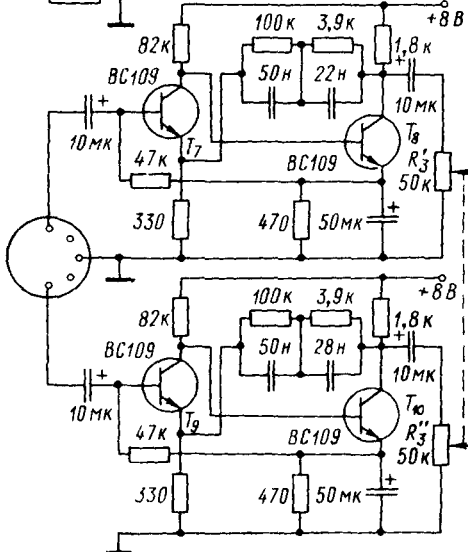
Проигрыватель I



Микрофон



Проигрыватель II



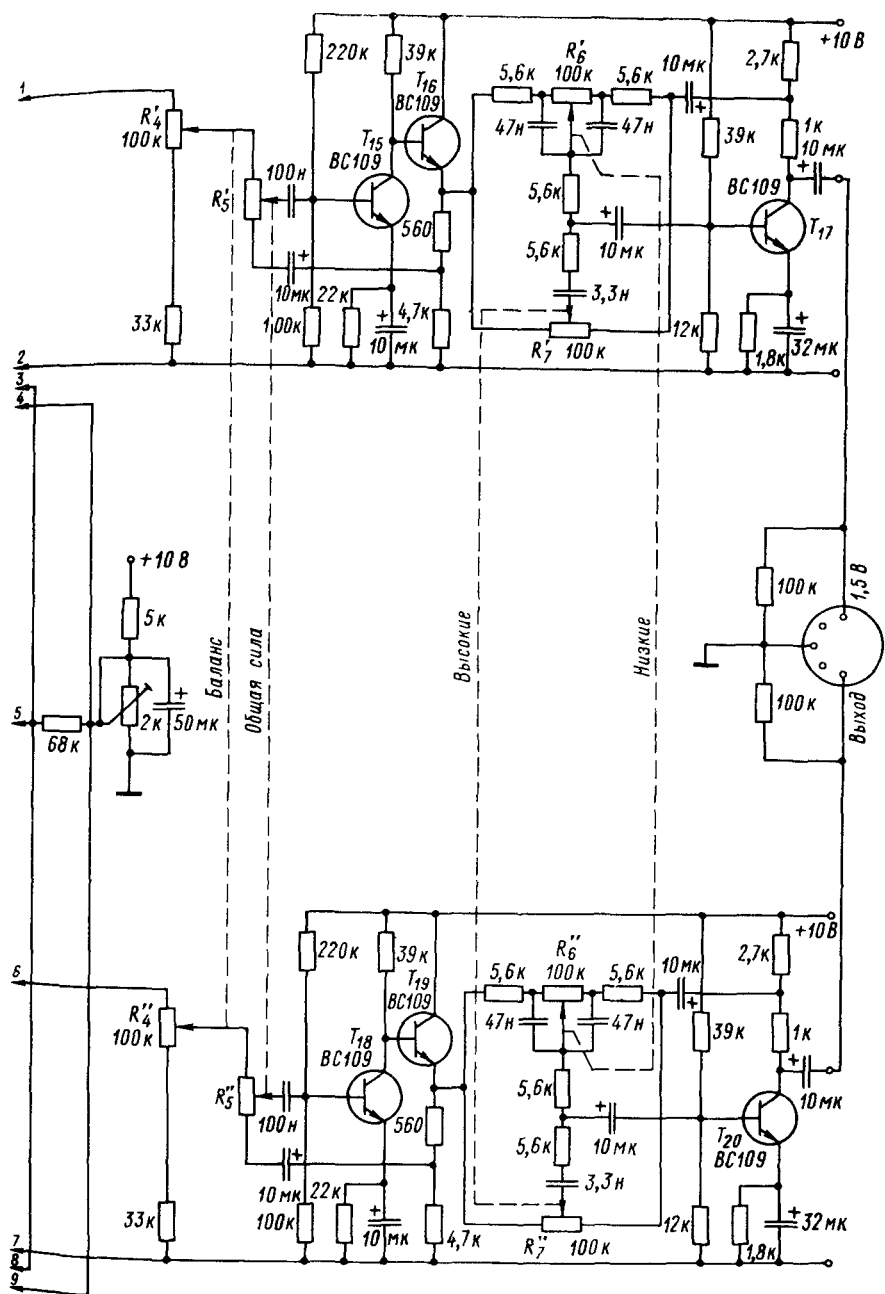


Рис. 103. Любительский микшерный пульт-предусилитель

пессы к началу следующей и с объявлением названия и исполнителей на фоне приглушенного начала каждого произведения. Понятно, что в таком случае необходимы два проигрывателя с магнитными звукозаписывающими.

Микшерный пульт состоит из трех основных схем: предусилителя, смесителя и усилителя с частотной коррекцией, так что он в сущности представляет собой хороший стереопреусилитель, непосредственно связанный с оконечным каскадом.

Каждый канал проигрывателя содержит по два предусилителя коррекции, построенных согласно стандарту RIAA. Если элементы этого предусилителя имеют допуск не больше 2%, то полученная частотная характеристика будет отличаться от стандартной кривой RIAA не более, чем на 1 дБ. Микрофонный предусилитель обеспечивает линейную частотную характеристику до 18 кГц.

Смесительный каскад с транзисторами T_{11} и T_{12} и аналогичный ему каскад для второго входа проигрывателя относятся к активному типу. Регуляторами $R'_1-R''_1$ и аналогичными $R'_3-R''_3$ для второго входа плавно дозируются сигналы, подаваемые для смешивания. Режим работы транзисторов в смесительном каскаде подбирается с помощью подстроечного потенциометра сопротивлением 2 кОм.

После смесительного каскада следуют два усилительных канала — левый и правый, в которых предусмотрены стандартные регулировки: стереобаланса $R'_4-R''_4$, общий регулятор уровня смешанного сигнала $R'_5-R''_5$, коррекции по низким и высоким частотам $R'_6-R''_6$ и $R'_7-R''_7$. Диапазон регулировки двух последних регуляторов ± 18 дБ на 50 и 12000 Гц. В схеме не указаны индикаторы выходных уровней, которые могут быть стрелочного типа. Обычно они связаны с выходом правого и левого каналов.

Выход выведен на стандартный пятиконтактный разъем; уровень сигнала 1,5 В — вполне достаточно для питания линейного оконечного усилителя.

52

Трех- и пятиконтактные разъемы

Еще не существует единой международной системы расположения выводов в трех- и пятиконтактных разъемах, но все больше в качестве стандарта утверждается стандарт ФРГ DIN 41 524, который рекомендуется и Международной электротехнической комиссией (МЭК). На этой базе в СССР принят ГОСТ 12368—78, а в Болгарии — БДС.

На рис. 104 показаны способы ввода и вывода сигналов проигрывателя. При монофонической записи используются трехконтактные

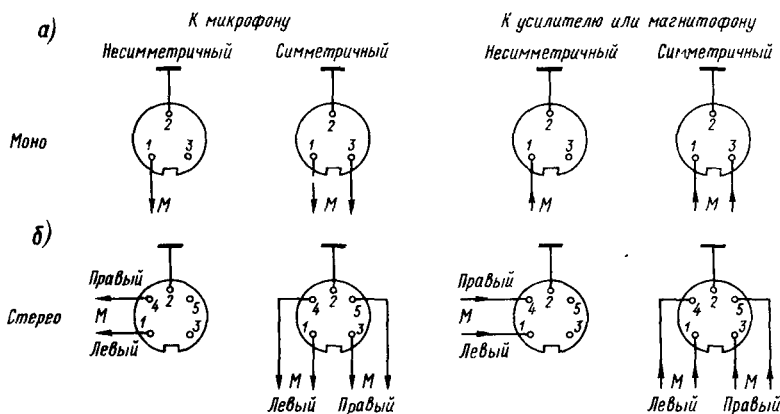


Рис. 106. Микрофонные разъемы

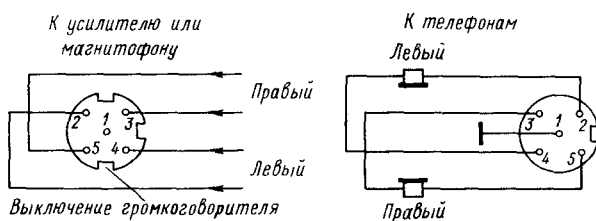


Рис. 107. Разъемы для головных телефонов

В магнитофонах с монозаписью монтируются разъемы с 3 или 5 выводами, из которых используются 1, 2 и 3 (рис. 105, а). К выводу 1 (вход) подключается источник сигнала записи — микрофон, радио, телевизор, второй магнитофон. От вывода 3 (выход) берется сигнал воспроизведения и подается на вход усилителя или радиоприемника. Только при монофонической записи с проигрывателя используется отдельный разъем, в который на вывод 3 подается сигнал от проигрывателя. Гнезда для магнитофонного входа в усилителе или приемнике могут быть с тремя или пятью контактами. Во втором случае выводы 3 и 5 соединены вместе.

Когда используется стереофонический магнитофон, ввод и вывод сигналов записи и воспроизведения осуществляется так, как показано на рис. 105, б. Выводы 1 и 4 предназначены для сигналов от источника записи, за исключением случая "Запись с проигрывателя", при котором используется отдельный разъем и сигналы подаются на выводы 3 и 5.

Микрофонные входы и выходы показаны на рис. 106. Высокоомные несимметричные микрофоны подключаются к выводу 1, а низкоомные симметричные микрофоны — к выводам 1 и 3 (рис. 106, а). Соединение стереомикрофонов в двух случаях показано на рис. 106, б.

В последние годы стали употреблять исключительно пятиконтактные разъемы даже для монофонической аппаратуры. Сигналы подаются на выводы 1 и 3; при этом соединены накоротко в первом случае выводы 1 и 4, во втором — 3 и 5

С появлением стереофонических головных телефонов стала ощущаться необходимость в специальном способе подключения их к выходу, чтобы не получались ошибки с неприятными последствиями. Создали новый вид пятиконтактного соединения (рис. 107), к которому не могут подключаться ни обыкновенные пяти- и трехконтактные разъемы, ни разъемы громкоговорителей. Новые разъемы допускают сочленение с отключением и без отключения собственных громкоговорителей.

АКУСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В Hi-Fi УСТРОЙСТВЕ

53

Соображения при выборе акустических систем*

Громкоговоритель — это элемент, который особенно сильно влияет на качество воспроизведения Hi-Fi устройством. Из всех остальных составных частей устройства он вносит самые большие искажения и оказывает самое сильное влияние на общее качество воспроизведения.

И действительно, если мы сравним на слух несколько высококачественных усилителей, магнитофонов и проигрывателей, то едва ли установим некоторую особую разницу. Зато неотразимым будет впечатление, если мы получим возможность прослушать и сравнить между собой несколько пар акустических систем с одним и тем же источником звука и усилителем. Такая возможность создана в больших магазинах-салонах по продаже Hi-Fi устройств и акустических систем. При переключении с одних пар акустических систем на другие слушатель ощущает различные особенности музыкальных произведений, воспроизводимых ими. Некоторые инструменты слышны хорошо, другие "исчезают". Орган звучит хорошо или теряет целые октавы в высоком регистре.

Иногда пытаются оправдывать различие в звучании акустических систем личными предпочтениями и вкусами слушателей. Никто не может заставить слушателя, говорят в таких случаях, предпочесть скрипку Страдивари скрипке Гварнери.

* Иногда вместо термина "акустическая система" неправильно употребляют термин "звуковая колонка". Звуковые колонки — это системы, состоящие из нескольких одинаковых громкоговорителей, расположенных друг над другом (в виде колонки); они используются для озвучивания стадионов и улиц и не имеют ничего общего с акустическими системами, используемыми в Hi-Fi устройствах. — П р и м. а в т о р а.

Но когда оценивается качество звучания акустической системы, то надо иметь в виду один единственный критерий — верность. Среди всех тембровых нюансов, создаваемых различными громкоговорителями, существует один, который больше всех приближается к естественному звучанию инструмента. И ничто, кроме уха слушателя, не может определить самую совершенную из всех несовершенных акустических систем. Только ухо может определить ту пару акустических систем, которая не излучает гулкие низкие звуки, а имеет хорошо демпфированный низкий регистр и издает не "бесцветные", а "окрашенные" высокие звуки с блестящим звоном медных инструментов.

Ухо человека, или, вернее, музыкальная память человека — это самый точный инструмент для измерения верности воспроизведения звучания акустической системой. Но будучи в состоянии провести такое измерение, ухо должно иметь эталон для сравнения. Таким эталоном не может быть ничто другое, кроме оригинального исполнения музыкального произведения. И поэтому акустики советуют: прежде чем выбрать акустическую систему или целое звуковоспроизводящее устройство, купите себе билет на концерт! Когда же будете слушать выбираемое Hi-Fi устройство, впечатление от "живой" музыки еще будет сохраняться как эталон в памяти.

Важным условием правильной оценки качества акустических систем является источник звука в виде высококачественного электропроигрывателя с магнитным звуконосителем и набор грампластинок, создающих полную звуковую картину: большой симфонический оркестр, духовые инструменты, гитары, орган, вокальное исполнение. Для сравнения не годится жанровая музыка в исполнении небольшого оркестра, а также музыка, созданная электронным способом — электрическими гитарами, электронным органом.

Мы нарочно не касаемся технического аспекта в вопросе выбора акустических систем. Во-первых, технические проблемы акустических систем широко рассматриваются в литературе, а во-вторых, мы хотим подчеркнуть, что, когда дело касается выбора акустической системы, нужно прежде всего доверять своему уху и значительно меньше каталожным данным.

54

Как размещать акустические системы

Очень часто, преодолев большие трудности, касающиеся приобретения и комплектования Hi-Fi аппаратуры, любитель считает, что больше проблем нет. Вопросы, связанные с установкой и монтажом отдельных блоков, им недооцениваются. Он спешит начать прослушивание.

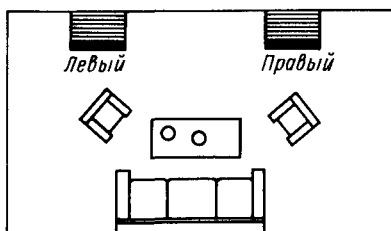


Рис. 108. При размещении акустических систем у длинной стены комнаты условия для проявления паразитных резонансов становятся неблагоприятными

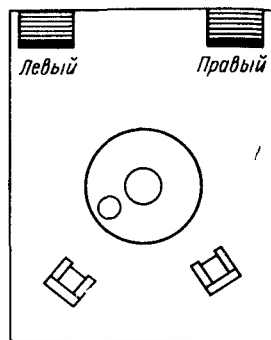


Рис. 109. При размещении акустических систем у короткой стены низкие частоты хорошо подчеркнуты, но могут проявиться неприятные резонансные явления

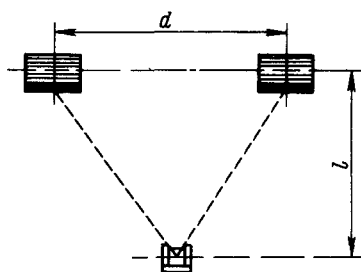


Рис. 110. Расстояние между акустическими системами d зависит от длины помещения l

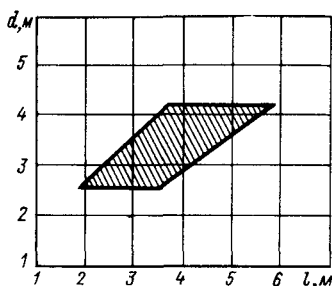


Рис. 111. Чтобы всегда находиться в стереозоне, место для прослушивания определяется в зависимости от расстояния между системами

То, что при монтаже Hi-Fi устройства самые большие проблемы создают акустические системы, кажется, на первый взгляд, неправдоподобным. При их установке следует считаться с тем, что от правильного расположения очень сильно зависит проявление стереоэффекта, хорошее подчеркивание низких и высоких частот, более полное устранение акустических дефектов помещения. Понятно, что вместе с тем следует справиться и с некоторыми другими затруднениями, связанными с возможностями жилой комнаты, с эстетическими соображениями и возражениями остальных членов семьи.

Предварительно заметим, что при размещении акустических систем не следует руководствоваться никакими строго установленными нормами

Рис. 112 Расположение акустических систем, обеспечивающее наиболее сильное подчеркивание низких частот

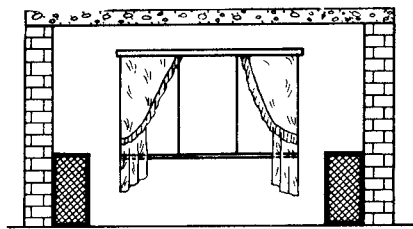


Рис. 113. При неприятном "гудении" на низких частотах помогает некоторое удаление систем от углов комнаты

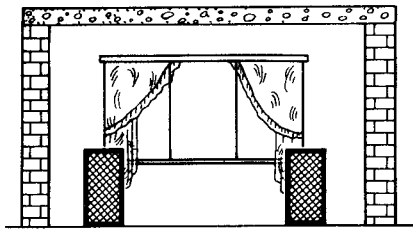
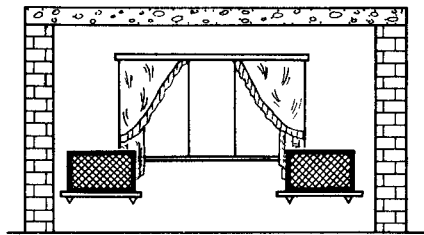


Рис. 114. Особенно сильное затухание низких частот создается при подъеме акустических систем над полом



и законами. Самое подходящее место можно найти после неоднократной расстановки аппаратуры, и единственным прибором для оценки в этом случае остается ухо. Указания, которые даны ниже, очень ориентировочны и позволяют сэкономить немного времени при экспериментировании.

Прежде всего требуется подумать о форме помещения. Если комната квадратная, то проблема предварительно решена. Если она прямоугольная, то возникает первая проблема: у длинной или у короткой стены поставить акустические системы? В первом случае (рис. 108) ощущается затухание низких частот, но устраняются некоторые неприятные резонансные явления, вызываемые особенностями помещения. Такие резонансы, проявляющиеся в виде колебаний звука, грохота или звона, могут возникнуть при размещении систем согласно рис. 109, особенно если помещение очень длинное. Но в этом случае низкие частоты очень подчеркнуты и сильно выделяются.

Расстояние d между акустическими системами (рис. 110) обычно составляет 2–3,5 м. Оно зависит от расстояния l до места прослушивания:

необходимо, чтобы слушатель всегда находился в соответствующей точке стереозоны. С другой стороны, l ограничивается размерами комнаты.

Возможности изменения двух величин d и l ограничены заштрихованной зоной на рис. 111. Если, например, комната позволяет выбрать расстояние d , равное 3 м, то место прослушивания может находиться в 2,5–4 м от стены.

Акустические системы могут быть поставлены вертикально или горизонтально. При вертикальном положении высокочастотные громкоговорители должны оставаться в верхней части, чтобы быть приблизительно на высоте слушателя.

По той же причине — острей направленности звуковых волн на высоких частотах — при горизонтальном положении акустических систем высокочастотные громкоговорители должны находиться с внутренней стороны, ближе к осевой линии комнаты.

И еще несколько особенностей. Если акустические системы плотно прижаты к углам комнаты, то максимально подчеркиваются низкие частоты (рис. 112). Если низкие частоты доведены до чрезвычайного "гудения", то системы следует немного отодвинуть от углов (рис. 113). Еще более сильное затухание низких частот можно получить, если поднять системы на некоторую высоту от пола (рис. 114).

Чрезвычайно громкое звучание на низких частотах получается при удалении задней стенки акустических систем от стены. Такое усиление низких частот неестественно и не должно допускаться.

При экспериментальном изучении наиболее подходящего места для расположения акустических систем рекомендуется слушателю повернуться к ним спиной, так как установлено, что внешний вид оказывает сильное влияние.

55 Искажения в громкоговорителе

Когда выбирается Hi-Fi усилитель, магнитофон или проигрыватель, то часто на выбор влияют различия в нелинейных искажениях, которые не превышают нескольких десятков процентов. В то же время мы как-то забываем, что к выходу этого устройства нужно подключать элемент, искажения в котором на некоторых частотах и в частотных полосах составляет несколько процентов и даже десятки процентов.

Гармонические искажения являются менее известным и рассчитанным недостатком громкоговорителя — обычно говорится о неравномерности

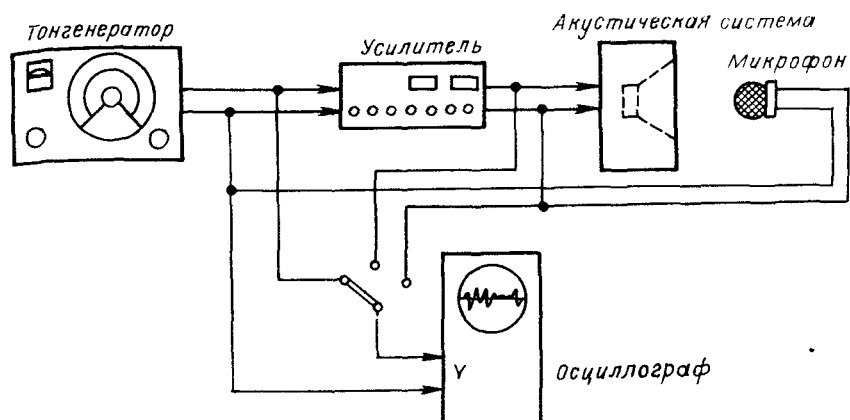


Рис. 115. Для измерения коэффициента гармоник громкоговорителя в любительских условиях можно использовать сравнительно простую установку

в узком диапазоне частот, о низком КПД, о неспособности его воспроизводить без искажений переходные процессы.

Трудно найти в каталогах данные об искажениях предлагаемых промышленных громкоговорителей, и для этого в действительности имеются серьезные основания. Во-первых, умалчивание носит чисто коммерческий характер — едва ли один из основных элементов Hi-Fi устройства будет иметь хорошую аттестацию, если указано, что его искажения в сто раз больше искажений остальных элементов. Кроме того, искажения громкоговорителя проявляются только на определенных частотах и в узком частотном диапазоне. Самые большие искажения наблюдаются в низкочастотной части характеристики и на 30 Гц (они могут достигнуть нескольких десятков процентов). Но акустическая мощность, излучаемая на 30 Гц, так мала, что эти искажения почти не проявляются.

Приблизительное представление об искажениях, создаваемых громкоговорителем или акустической системой, можно получить при реализации измерительной установки (рис. 115). Необходим звуковой генератор с плавным изменением частоты, осциллограф с высокой чувствительностью по вертикали и один высококачественный микрофон.

Если чувствительность осциллографа по оси Y недостаточна, чтобы получить ясное изображение непосредственно с микрофона, то можно подключить микрофонный предусилитель, искажения которого незначительны и не повлияют на результат.

Вместо звукового генератора можно использовать проигрыватель с гест-пластинкой, которая дает плавно или ступенчато изменяющиеся частоты в звуковом диапазоне.

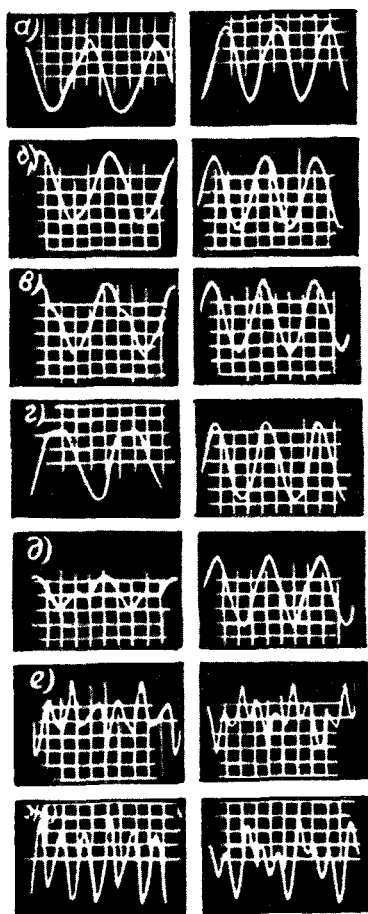


Рис. 116. Осциллограммы, полученные для семи типов громкоговорителей на частотах 30 и 40 Гц, показывают большие различия качества громкоговорителей при воспроизведении низких частот

Переключая осциллограф с входа на выход усилителя, наблюдают искажения самого усилителя. При подключении к микрофону картина в корне меняется, особенно в области низких частот. Усилитель должен иметь достаточно большую выходную мощность, чтобы компенсировать значительную разницу в КПД исследуемых громкоговорителей.

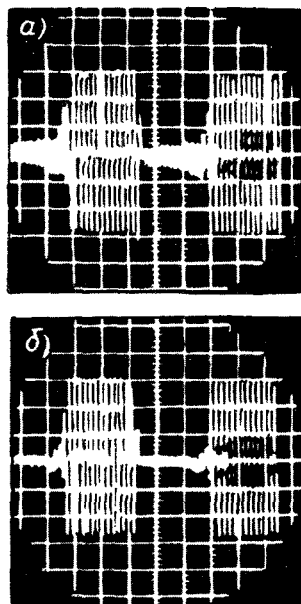
На рис. 116 показаны осциллограммы нескольких типов произвольно взятых громкоговорителей, снятые на частотах 30 и 40 Гц по вышеописанной методике. Очевидны большие различия, которые очень сильно проявляются при воспроизведении самых низких частот.

Хотя этот метод не дает абсолютной количественной оценки искажений, он может помочь получить сравнительно точное визуальное представление о поведении громкоговорителя в низкочастотной области.

После многочисленных лабораторных испытаний большого числа громкоговорителей удалось прийти к заключению, что очень мало из них имеют на 30 Гц коэффициент гармоник менее 30%. Одним из самых неприятных эффектов, возникающих из-за этих искажений, являются "подпрыгивающие" басы, которые при воспроизведении звучат гнусаво и глухо.

Основная причина значительных искажений громкоговорителей на низких частотах известна — чрезвычайно большие колебания диффузора, которые приводят в основном к двум неприятным последствиям: 1) к выходу подвижной катушки за пределы магнитного зазора, причем часть ее намотки перестает пересекать равномерное магнитное поле. Явление это симметрично, и искажения представляют собой преимущественно

Рис. 117. Результаты испытаний с помощью пачек синусоидальных сигналов



нечетные гармоники; 2) нелинейная упругость подвеса диффузора при больших колебаниях приводит к искажению верхней части синусоиды сигнала. Эта нелинейность также симметрична, и поэтому снова преобладает третья гармоника.

Некоторые из осциллограмм на рис. 116 показывают несимметричные искажения кривых. Это означает, что искажения получены из-за преобладания в сигнале четных гармоник, которые возникают, если подвижная катушка с одной стороны выходит за пределы зазора или если упругость подвеса диффузора различна в двух направлениях.

На более высоких частотах самым существенным фактором появления искажений являются собственные резонансы различных механических частей громкоговорителя. В этом случае очень небольшой процент гармонических искажений оказывает заметное воздействие на слушателя. На средних и высоких частотах ухо в состоянии уловить и такие искажения, которые трудно заметить на экране осциллографа.

Измерение гармонических и интермодуляционных искажений на высоких частотах осуществляется прецизионными методами, отличными от известных, в том числе от показанного на рис. 115 упрощенного метода

На рис. 117 даны результаты испытаний двух высокочастотных громкоговорителей с помощью пачек синусоидальных сигналов. Первый громкоговоритель (рис. 117, а) показывает сильное и продолжительное

звучание в паузах, выраженное на осциллограмме в виде медленно затухающего колебания с большой амплитудой при отсутствии сигнала.

Второй громкоговоритель (рис. 117, б) воспроизводит острые переходы с очень слабыми колебаниями, с трудом различаемыми на осциллографе. В то же время испытания этих двух громкоговорителей с помощью прецизионных анализаторов дали разницу гармонических искажений, равную только 2%.

Борьба с искажениями громкоговорителей происходит довольно медленно, и можно сказать, что она только теперь началась.

56 Проблема громкоговорителя

Громкоговоритель — это наименее усовершенствованный элемент Hi-Fi устройства, элемент, который может заставить любителя разочароваться в первоклассной аппаратуре или привести в восторг от среднего по качеству устройства.

Уже рассматривались вопросы, касающиеся искажений громкоговорителя, и было установлено, что наиболее трудной для решения конструктивной проблемой все еще остается уменьшение неимоверно большого коэффициента гармоник на низких частотах.

Но что можно ожидать от бумажного диффузора, имеющего так много недостатков, к которому, вдобавок, предъявляются такие противоречивые требования!

Диффузор должен быть достаточно эластичным и легким, чтобы без усилий следовать за всеми колебаниями подвижной системы на высоких частотах. Одновременно он должен быть изготовлен из твердого материала, чтобы не возникали местные деформации с большими амплитудами, т. е. движения, не соответствующие колебаниям катушки. Именно из-за них наблюдаются неравномерность частотной характеристики с многочисленными пиками и провалами, значительные гармонические и интермодуляционные искажения, плохая переходная характеристика. Такие местные изгибы диффузора наблюдаются особенно часто на низких частотах, где амплитуды особенно велики.

К конструктивным недостаткам, приводящим к увеличению искажений при больших амплитудах колебаний подвижной катушки, следует причислить невозможность создания равномерного магнитного поля в воздушном зазоре.

Какие конструктивные и схемные решения принимаются для уменьшения вредного влияния перечисленных недостатков?

Прежде всего — разделение на высоко-, средне- и низкочастотные группы громкоговорителей* с помощью фильтров, которые уже давно используются в высококачественных акустических системах.

Высокочастотные громкоговорители имеют небольшие по площади диффузоры из тонкого и эластичного материала, которые в состоянии реагировать на быстрые колебания на высоких частотах.

Прямолинейное распространение высокочастотных звуков является значительным неудобством, ограничивающим зону хорошей чувствительности в высокочастотном диапазоне. Созданы высокочастотные громкоговорители со сферическим диффузором — мембраной ("kalotten"), обеспечивающей многонаправленное распространение, а также сферические и цилиндрические акустические системы с круговым расположением громкоговорителей и использованием отражений от стен.

У низкочастотных громкоговорителей проблемы более разнообразны и меры, которые принимают конструкторы, можно обобщить в следующие группы:

1. Однородность диффузора. Чтобы уменьшить искажения от несогласованности деформаций диффузора и движений подвижной катушки, проводятся самые серьезные исследования по созданию диффузоров максимальной однородности и оптимальной твердости. Созданы диффузоры с покрытием из фольги (типа "сэндвич"), твердость и однородность которых обеспечиваются двусторонним покрытием из металлической фольги или металлического порошка. Таким же образом достигается и максимальная легкость диффузора: бумажная сердцевина очень тонка, а металлическое покрытие выполняется из алюминия.

2. Искусственное уменьшение КПД с целью уменьшить искажения на самых низких частотах. Оно осуществляется различными конструктивными способами. Так как этот вопрос очень актуален, то рассмотрим его отдельно и более подробно.

3. Электромеханическая обратная связь**. Является продолжением обратной связи, охватывающей выходной трансформатор; она известна со времен широкого применения ламповых усилителей с трансформаторным подключением громкоговорителя. Электромеханическая обратная связь охватывает и громкоговоритель, снижая искажения от несогласованных движений диффузора.

Рассмотрим подробнее вопросы низкого КПД и электромеханической обратной связи.

* В литературе приобрели международное употребление термины "tweeter" — для ВЧ-, "medium" — для СЧ- и "woofer" — для НЧ-громкоговорителей. — П р и м. а в т о р а.

** Известна в виде сокращения MFB (Motional Feed Back). — П р и м. а в т о р а.

В результате многочисленных усовершенствований громкоговорителей и использования современных магнитных сплавов в настоящее время разработаны и внедрены в производство высококачественные малогабаритные громкоговорители. Это позволило отказаться от корпусов типа "фазоинвертор" и "лабиринт", что, в свою очередь, привело к возможности уменьшить объем корпуса акустической системы до $(20 \div 25) \cdot 10^{-3}$ вместо $(40 \div 50) \cdot 10^{-3}$ м³, как это было 8–10 лет тому назад*. Однако не столько размеры, сколько высокое качество звучания и естественность воспроизведения резко отличают современные акустические системы высокого класса от прошлых моделей.

57

Электрические или электронные фильтры для громкоговорителей?

Вопрос можно было бы выразить более ясно: до или после оконечного усилителя следует проводить частотное разделение сигналов по группам громкоговорителей?

Известна основная причина, которая требует использовать несколько частотно-разделенных групп громкоговорителей: паразитное модулирование некоторых частот определенного частотного диапазона частотами другого диапазона, т. е. интермодуляция. Особенно часто высокие частоты модулируются низкими частотами, и в результате получается "дрожание" или "бульканье". Иногда высокие частоты модулируют друг друга, и тогда получается рокот на низкой частоте, равной разнице между взаимно модулируемыми высокими частотами.

Известны и меры, которые чаще всего принимаются против взаимной модуляции, — разделение частотного диапазона на две или три более узкие частотные полосы с помощью электрических LC -фильтров. И тогда требуется применение двух или трех различных по виду групп громкоговорителей: низко- и высокочастотных при двух каналах и низко-, средне- и высокочастотных при трех каналах.

Но если на данную группу громкоговорителей подаются сигналы, лежащие за пределами частотного и амплитудного диапазонов этих громкоговорителей, то могут возникнуть значительные искажения и повреждение громкоговорителей. Если, например, при не очень крутых наклонах характеристики фильтров на высокочастотные громкоговорители подаются сигналы низкой частоты, то звуковые катушки громкоговорителей будут подвергнуты жестоким нагрузкам. Следовательно,

*Примерно в 1965–1967 гг. — П р и м. р е д.

существует потребность в хорошо рассчитанных, правильно сконструированных и точно выполненных LC -фильтрах.

Известно, однако, что взаимные модуляции возникают не только в громкоговорителях, но и в кассетах усилителя мощности. Тогда LC -фильтры, поставленные между выходом усилителя и группой громкоговорителей, не смогут предотвратить паразитные модуляции, возникшие в усилителе.

Решение этой проблемы известно еще со времен применения двухканальных усилителей: частотное разделение осуществляется до входа оконечного усилителя на два или три усилительных канала, охваченных частотно-зависимыми обратными связями, которые содержат различные RC -переходные цепочки. Преимуществ от такого решения несколько: подавление паразитных взаимных модуляций, возникающих в оконечном каскаде; возможность подстройки необходимой крутизны затухания; возможность изменения частоты среза.

Когда оцениваются преимущества электронных фильтров, не следует забывать, что они требуют по одному оконечному усилителю на каждый канал. А это означает, что в стереоусилителе понадобятся четыре или шесть оконечных усилительных каскадов.

Из-за этих чисто экономических соображений очень немногие фирмы позволяют себе применять электронное разделение каналов, и трудно предвидеть, войдет ли оно широко в практику.

58 Низкий КПД может быть полезен

Легко можно понять соображения некоторых больших фирм*, которые выпускают громкоговорители и акустические системы с очень маленьким КПД — в 10 раз меньшим нормального. То, что ранее считалось основным недостатком, постепенно превратилось в средство достижения высокой верности воспроизведения. Основания для снижения КПД и средства, которыми оно искусственно достигается, следующие:

1. Стремясь к высокой верности воспроизведения, в последние годы конструкторы отказались от некоторых видов широко известных акустических систем — с корпусами типа "фазоинвертор", с акустическими "лабиринтами" и т. д. В единственной используемой сейчас аperiодической акустической системе для излучения используется только лицевая

* Например, "Acoustic Research", если судить по моделям серии AR4. — П р и м. автора.

сторона громкоговорителя, а задняя его часть заключена в плотно закрытую и заглушенную камеру. Это, понятно, уменьшает КПД, но обеспечивает более нормальное и естественное воспроизведение низкочастотных сигналов, особенно в области собственного резонанса.

2. Для уменьшения искажений на низких частотах практикуется увеличение длины подвижной катушки так, чтобы оба ее конца выходили за пределы магнитного зазора. В этом случае намотка катушки пересекает равномерное магнитное поле: при этом уменьшается используемая в ней электрическая мощность.

3. С целью уменьшения искажений и паразитных резонансов, вызванных местными деформациями, диффузор низкочастотных громкоговорителей делается менее упругим и более толстым. Это увеличивает его массу и требует большей электрической мощности для приведения в движение.

4. Нередко конструкторы практикуют искусственное уменьшение индукции магнитного поля в зазоре до некоторого оптимального значения. Как ни парадоксально, но это уменьшение благоприятно отражается на качестве воспроизведения и способствует более быстрому затуханию нежелательных колебаний на самых высоких частотах.

Вышеприведенные примеры не исчерпывают всех соображений, связанных с уменьшением КПД громкоговорителей. Эти примеры только показывают, к каким компромиссам иногда можно прибегать во имя высокой верности воспроизведения.

59

Пассивные излучатели

Как наиболее важный элемент в структуре Hi-Fi устройства, от качества которого зависит конечный эффект — излучение звука, акустические системы также претерпели ряд усовершенствований, но тем не менее сами громкоговорители, которые не относятся к малогабаритным элементам электроники, почти полностью сохранили свой классический вид.

Одной из разновидностей современных акустических систем является комбинация из активного и пассивного громкоговорителей. Пассивный громкоговоритель, называемый, более удачно, пассивным излучателем (рис. 118), содержит все элементы обычного громкоговорителя, но не имеет магнитной системы и подвижной катушки. Диффузор его должен иметь такой же диаметр, как и активный громкоговоритель. Он так сконструирован и подвешен, что его собственный резонанс выведен за зону чувствительности — где-то около 10–15 Гц. Такую же низкую



Рис. 118. Общий вид пассивного громкоговорителя

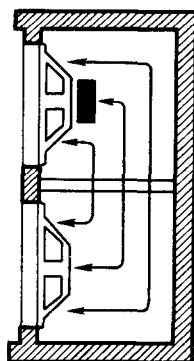


Рис. 119. Между активным и пассивным громкоговорителями создается акустическая обратная связь

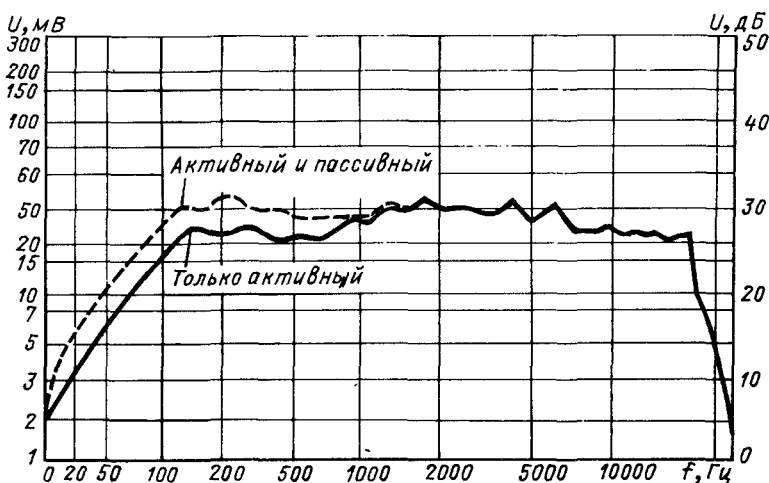


Рис. 120. Пассивный громкоговоритель повышает на 3 дБ характеристику в области низких частот

собственную резонансную частоту должен иметь и активный громкоговоритель.

Масса и упругость пассивного диффузора рассчитаны так, что при наличии акустической связи в корпусе системы (рис. 119) он начинает колебаться в фазе с активным диффузором в диапазоне низких частот. Два диффузора колеблются вместе, удваивая таким образом излучающую поверхность, повышая уровень в НЧ-диапазоне и улучшая КПД системы.

На сравнительной диаграмме (рис. 120) показано, что при наличии пассивного громкоговорителя частотная характеристика акустической системы повышается на 2–3 дБ в диапазоне от 20 до 500 Гц.

Радиолюбители старшего поколения помнят, что во времена широкого использования ламповых Hi-Fi усилителей появилась одна интересная новинка — обратная связь, охватывающая выходной трансформатор. Это была комбинация положительной обратной связи по току и отрицательной — по напряжению, подключенных к вторичной обмотке выходного трансформатора.

В области резонанса полное сопротивление громкоговорителя быстро возрастает, что вызывает увеличение отрицательной и уменьшение положительной обратной связи. В результате получается сильное затухание колебаний диффузора в области собственной резонансной частоты.

Из транзисторных усилителей выходной трансформатор давно исключен. Поэтому конструкторы провели опыты — и удачные! — с целью реализации одной старой идеи — напряжение для обратной связи берется от подвижной катушки громкоговорителя, так что обратная связь должна быть пропорциональна колебаниям диффузора.

На практике диффузор громкоговорителя не колеблется в унисон с поданным на подвижную катушку электрическим сигналом, поэтому к "верным" колебаниям диффузора прибавляются и такие, которые "не содержатся" в сигнале. Эти паразитные колебания выражены тем сильнее, чем больше амплитуда колебания диффузора, т. е. чем ниже частота сигнала.

Чтобы уменьшить амплитуду колебаний в НЧ-громкоговорителе при сохранении прежнего акустического давления, единственным до сих пор применяемым средством является увеличение диаметра диффузора. Поэтому низкочастотный громкоговоритель обычно является определяющим фактором при выборе объема корпуса акустической системы. Применение же в стереоаппаратуре двух таких систем объемом по $(30\div 40) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ достаточно громоздко.

Так как искажения в низкочастотном громкоговорителе вызваны прежде всего паразитными колебаниями диффузора, не соответствующими основному электрическому сигналу, то нетрудно найти и противодействие: непрерывно сравнивать действительное движение диффузора с основным сигналом. Сигнал погрешности, полученный от несоответствия при сравнении, регулирует перемещения диффузора, так что они в точности соответствуют основному сигналу, который нужно воспроизвести. Регулирование осуществляется электронным путем — через датчик, усилитель и компаратор.

Известны различные системы регулирования движения диффузора: статические, при которых управляющий сигнал получается от амплитудных датчиков (датчиков перемещения), и динамические, использующие датчики скорости и ускорения.

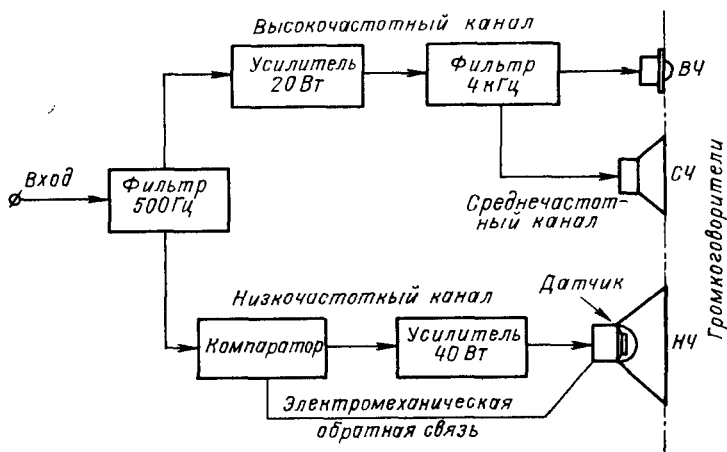


Рис. 121. Структурная схема акустической системы 22RH532 с автоматическим регулированием движения диффузора

В качестве примера динамической системы с электронным автоматическим регулированием движения диффузора можно привести созданную в 1968 г. акустическую систему модели 22RH532 фирмы "Philips" (рис. 121).

Поддаваемый для воспроизведения сигнал первоначально делится на две частотные полосы активным разделительным фильтром. Сигналы с частотой от 500 Гц до 20 кГц подаются в средний и высокочастотный каналы, а сигналы ниже 500 Гц — в низкочастотный канал. ВЧ-громкоговорители получают питание обычным способом — от общего усилителя мощностью 20 Вт и пассивного разделительного фильтра с частотой разделения 4 кГц. Таким образом, высокочастотный громкоговоритель воспроизводит частоты от 4 до 20 кГц, а среднечастотный — от 500 Гц до 4 кГц. Низкочастотный канал работает с отдельным 40-ваттным усилителем, так как на низких частотах необходима большая мощность, чтобы создать такое же звуковое давление.

На том же рисунке показан принцип электронного управления диффузором через датчик ускорения. Датчик крепится к основанию диффузора и преобразует данные о его движении в электрические сигналы. Эти сигналы отсылаются обратно в схему компаратора и сравниваются с подаваемым сигналом. Если устанавливается разница, то она формируется в сигнал погрешности, который подается в противофазе на входной сигнал и корректирует то, что диффузор не успел правильно воспроизвести.

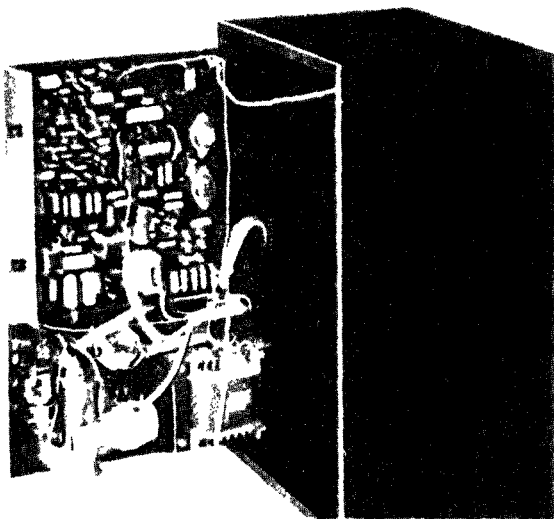


Рис. 122. Общий вид акустической системы с автоматическим регулированием диффузора

Таким образом, с одной стороны, значительно уменьшаются нелинейные искажения управляемого громкоговорителя, а с другой — сильно демпфируется его собственный резонанс. Это позволяет хорошо воспроизводить самые низкие частоты, находящиеся ниже резонансной частоты громкоговорителя. Благодаря этой коррекции частотная характеристика низкочастотного громкоговорителя является линейной в диапазоне 35–500 Гц, а искажения сравнимы с искажениями в двух других каналах — около 0,1–0,2%.

Вся электронная часть этой акустической системы собрана в заднем отделении корпуса (шкафа) и отделена от громкоговорителей акустической перегородкой. Общий объем устройства $15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, из которых только $9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ используются под акустическую камеру, а в остальную часть встроена электрическая схема и ее питание (рис. 122). Внешние размеры корпуса $380 \times 285 \times 220 \text{ мм}$, что для действующей мощности 60 Вт очень мало.

Низкочастотный громкоговоритель имеет необыкновенно малый диаметр — 210 мм, при диаметре среднечастотного громкоговорителя — 125 мм и высокочастотного — 25 мм.

Акустическая система модели 22RH532 снабжена интересной автоматикой для включения и выключения собственного питания. Как только на вход поступает сигнал с амплитудой более 1 мВ, реле включает питание. Другое реле с запаздыванием на 3 мин выключает питание, если за этот период не поступил никакой сигнал.

В первые годы Hi-Fi эпохи головные телефоны не воспринимались как серьезный акустический элемент. Формированию такого отношения способствовало то, что раньше на головные телефоны принимали только программы самых малогабаритных приемников.

Но оказалось, что между телефонами тех лет и сегодняшними существует очень значительное различие. И все-таки серьезные противники стереофонических головных телефонов обращают внимание на их действительные недостатки. Чисто электрическое разделение сигналов, идущих в левый и правый каналы, и подача их только к левому и только к правому уху приводят к искусственному усилению стереоэффекта (рис. 123). А стереофоническое воспроизведение, как известно уже всем любителям, заключается не только в ощущении эффекта "левое — правое" ("пинг — понг"), но прежде всего в расширении зоны акустического излучения, соответствующего положению оркестра.

Стереофонические головные телефоны создают и другие курьезные эффекты, которые ни в коем случае не усиливают естественности звучания. Во-первых, слушатель получает очень ясное впечатление о том, что он как будто находится в середине оркестра или среди исполнителей, но не перед ними, как при прослушивании с помощью громкоговорителей. Во-вторых, если в записи имеются моменты, когда сигнал идет только от одного канала, то у слушателя создается впечатление, что он глух на одно ухо.

Ясно, что стереофонические телефоны не могут точно воспроизводить механизм стереофонического прослушивания, при котором два уха воспринимают различия давления и фаз звукового поля, которое нас окружает, — различия, вызванные расстоянием между двумя ушами и маскирующим действием головы.

Практически это означает, что при воспроизведении с помощью громкоговорителей (рис. 124) на ухо воздействует не только звуковой сигнал от соответствующего канала, но и сигнал, идущий от другого канала. Из-за отдаленности двух ушей друг от друга эти сигналы создают различные звуковые давления.

К счастью, существуют достаточно простые технические средства, с помощью которых упомянутый эффект можно создать искусственным путем. Их принцип показан на рис. 125. К левому уху, кроме основного сигнала от левого канала, направляется также часть сигнала правого канала. То же самое делается для правого уха, в результате чего достигается искусственное удлинение времени, в течение которого сигнал от данного канала в нормальных условиях должен достигнуть противоположного уха.

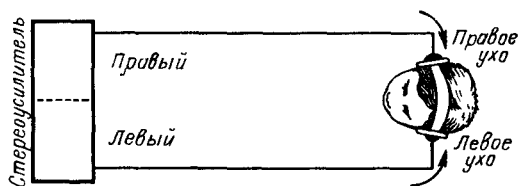


Рис. 123. Основным недостатком стереофонических головных телефонов является то, что сигнал левого канала подается только на левое ухо, а правого — только на правое

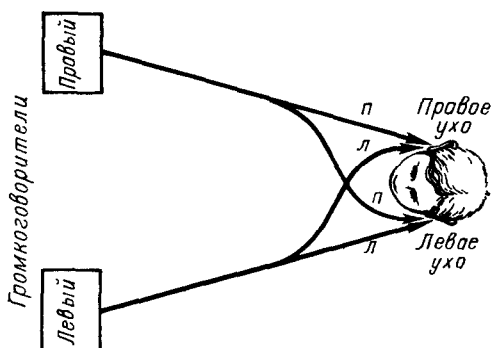


Рис. 124. При стереовоспроизведении с помощью громкоговорителей каждое ухо получает сигналы от двух каналов

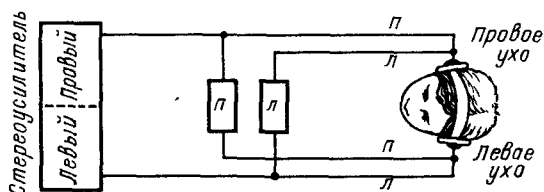
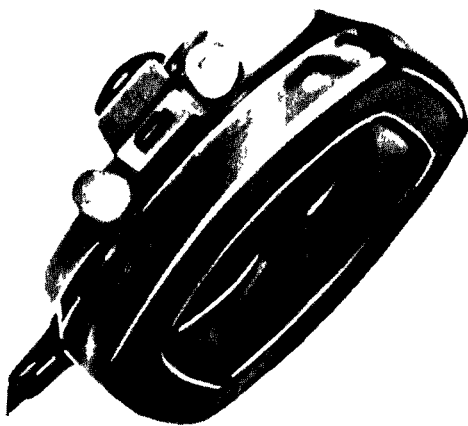


Рис. 125. Условия нормального стереовоспроизведения с помощью головных телефонов можно создать искусственным путем, используя простые схемы

Если принять во внимание, что основной недостаток головных телефонов можно преодолеть с помощью простых схемных средств, то остается много "за", которые привели к такому широкому их распространению: исключается влияние помещения, которое часто, особенно домашняя обстановка, не соответствует требованиям акустики; положение слушателя в комнате может быть произвольным без опасения потерять стереоэффект; устраняется влияние посторонних помех и шумов, создается полная изоляция от окружающих разговоров. Это позволяет создать большую громкость и расширить динамический диапазон прослушиваемой музыкальной программы; обеспечивается изоляция и для присутствующих, т. е. музыку не воспринимают те, кто не желает ее слушать в данный момент; при записи с проигрывателя на магнитофон устраняется нежелательное акустическое давление на проигрыватель, что создает акустическую обратную связь и механическую вибрацию.

Понятно, что не следует ставить вопрос, что лучше для прослушивания — громкоговорители или головные телефоны. Ответ ясен: высокока-

Рис 126. Динамические головные телефоны для квадрафонического прослушивания



чувственные головные телефоны динамического типа являются необходимой дополнительной принадлежностью каждого Hi-Fi устройства, позволяющей осуществлять контроль при записи с проигрывателя и дающей большое удовлетворение при стереовоспроизведении.

Ко всему этому остается добавить, что уже созданы в некоторых странах и предлагаются слушателям динамические квадрафонические головные телефоны, содержащие четыре миниатюрные системы (рис. 126). Оказывается, что с их помощью можно создать квадрафонический эффект, если две системы расположить впереди, а две другие — сзади ушей.

2

Несколько приставок к головным телефонам

Индивидуальное прослушивание стереозаписей имеет много приверженцев. В Болгарии выпускаются и продаются стереофонические головные телефоны* и вопросы их правильного использования волнуют многих любителей.

Большинство стереотелефонов динамического типа; они требуют входной мощности примерно 50—150 мВт, из-за чего могут подключаться

* Болгарские головные телефоны имеют следующие основные технические данные: диапазон частот 20 Гц — 20 кГц, сопротивление на частоте 1000 Гц — 200 Ом, чувствительность на частоте 1000 Гц при мощности 1 Вт — 110 дБ, коэффициент гармоник < 1% — Прим. автора

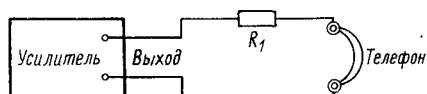


Рис. 127. Последовательно подключенный резистор R_1 предохраняет динамический головной телефон от перегрузок

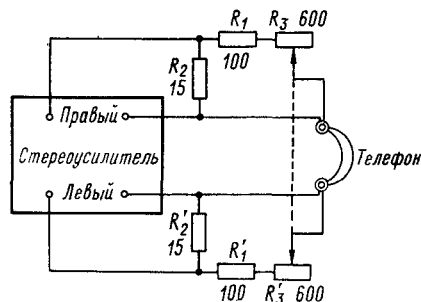


Рис. 128. Двойной потенциометр $R_3-R'_3$ для регулирования баланса двух каналов часто встраивается в головной телефон

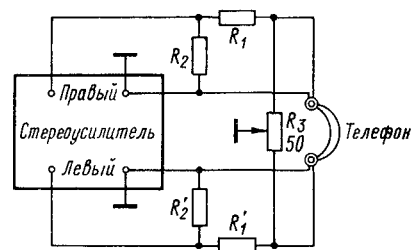


Рис. 129. Регулировка баланса сигналов может осуществляться с помощью только одного потенциометра

как к выходу предусилителя, так и к оконечному усилителю вместо громкоговорителя или могут получать сигналы от специально созданного усилителя.

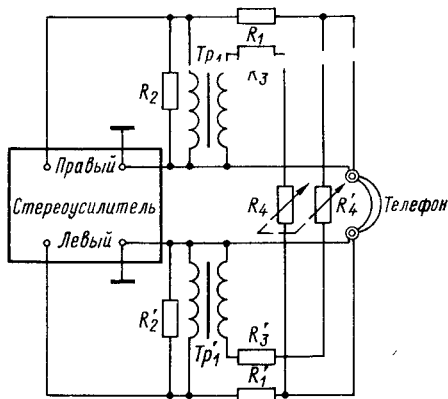
В случае подключения к предусилителю, в оконечном каскаде которого обычно использован эмиттерный повторитель, непосредственное включение головного телефона не вызывает никаких затруднений, если его сопротивление не менее 100–200 Ом.

Так как чаще всего динамические головные телефоны имеют низкое сопротивление (4–16 Ом), подключение их к предусилителю может осуществляться только через согласующий трансформатор. По этой причине удобнее такие телефоны подключать к низкоомному выходу для внешнего громкоговорителя в оконечном каскаде.

Едва ли есть необходимость напоминать, что через катушку динамического головного телефона не должна проходить постоянная составляющая тока. Если на выходе таковая имеется, то надо убедиться в наличии разделительного конденсатора.

Подключение головных телефонов к оконечному каскаду требует принять некоторые меры предосторожности. И действительно, катушка малогабаритной динамической системы телефона, возбуждаемая

Рис. 130. Дополнительные сигналы не только регулируются по амплитуде, но и изменяют фазу на 180°



сигналом мощностью 100 мВт, очень легко может деформироваться и расцентроваться, если случайно будет чрезмерно увеличена звуковая мощность усилителя (а она может достигнуть 20, 30 Вт и более). Простым решением вопроса будет последовательное включение резистора R_1 (рис. 127), сопротивление которого зависит от выходного сопротивления и мощности усилителя, а также от сопротивления головных телефонов. Ориентировочно R_1 имеет сопротивление несколько сотен ом.

Более удовлетворительный результат дает схема на рис. 128, где осуществляется работа усилителя с нормальной нагрузкой на выходе. Значения сопротивлений на схеме рассчитаны для мощности усилителя 10 Вт, выходного сопротивления 15 Ом, для стереотелефонов с сопротивлением 150 Ом и максимальной мощностью 100 мВт. Не следует забывать, что резисторы R_2 и R'_2 должны быть в состоянии рассеивать максимальную мощность усилителя. Через сдвоенный потенциометр R_3 - R'_3 создается возможность дополнительного регулирования баланса двух каналов. Часто такой регулятор баланса монтируется в самом головном телефоне. В таком случае удобнее, чтобы он был составлен из двух независимых потенциометров, каждый из которых был встроен в соответствующий левый и правый телефоны.

Известно, что с помощью схемных средств можно приблизительно моделировать условия "свободного" стереоприема от громкоговорителей, если создать смешивание и изменение фазы сигналов двух каналов.

Самый простой способ регулировки баланса без изменения фазы сигналов показан на рис. 129. Потенциометр R_3 имеет сопротивление, приблизительно в четыре раза большее сопротивления головных телефонов. Если сигналы, поданные от левого в правый канал и обратно, проходят через трансформатор 1 : 1, то получается изменение фазы на 180° (рис. 130). Смешивание регулируется двойным потенциометром R_4 - R'_4 ($R_4 = R'_4 = 10R_3$).

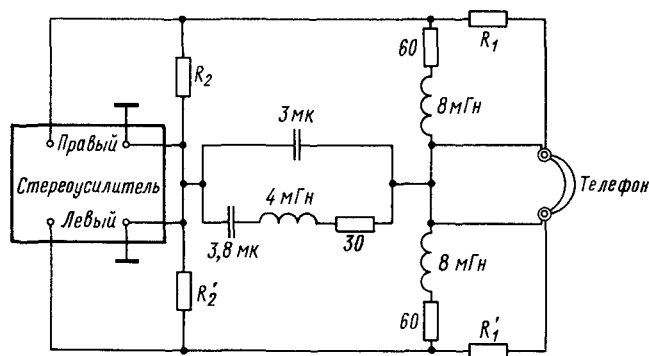


Рис. 131. Частотно-зависимое изменение фазы дополнительных сигналов можно получить с помощью LC -элементов, стоящих в общем проводе

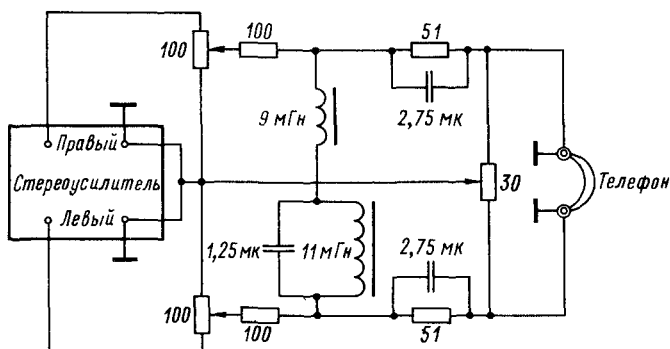


Рис. 132. Промышленная схема приставки для смешивания и изменения фазы

И все-таки эти схемы не создают идеальных условий прослушивания: отсутствуют возможности изменять фазу двух дополнительных сигналов в зависимости от их частоты. Решение этой проблемы дано фирмой CBS (рис. 131). Частотно-зависимое изменение фазы и смешивание сигналов достигается наличием селективных элементов в общем проводе для двух телефонов.

На рис. 132 показана схема промышленного смесителя-дефазатора для стереофонических головных телефонов типа CFN-1 фирмы "Jensen". Прибор оформлен в виде приставки и подключается между выходом стереоусилителя и головными телефонами.

3

Все ближе к концертному залу

В среде любителей музыки все еще не преодолено полностью скептическое отношение к двухканальному стереовоспроизведению, и это несмотря на то, что появилась четырехканальная стереофония — квадрафония. Реакция на ее появление была естественной — сильное недоверие, как при всякой новости подобного характера. Действительно, так много громкоговорителей в обычной комнате! И в то же время достаточно исключить пару тыловых громкоговорителей в квадрафонической системе, как сразу чувствуется, что звуковая стереокартина стала совсем плоской по сравнению с той, которую мы до сих пор превозносили.

Исключительная верность восприятия музыкальной картины, наибольшее приближение к атмосфере "живого" концерта, необъяснимое превращение маленькой домашней комнаты в настоящий концертный зал — вот характеристика квадрафонии, данная слушателем — неспециалистом в технике. А что говорят технические специалисты?

Чтобы имитировать в комнате акустические особенности концертного зала и почувствовать себя "среди оркестра", необходимо прежде всего расширить стереофонический эффект в глубину, воспроизводить отраженные от стен звуковые волны, создающие характерные особенности реверберации. Дополнительные акустические сигналы, получающиеся в зале и записанные как сигналы новых двух каналов, воспроизводятся через новые группы громкоговорителей, расположенные сзади и удаленные от слушателя (рис. 133).

Как и при всякой подобной новинке, борьба между большими фирмами за превосходство привела к продолжительному периоду существования самых различных стандартов, норм и систем, причем каждая фирма стремилась навязать свой стандарт. Но если о кассетах, например,

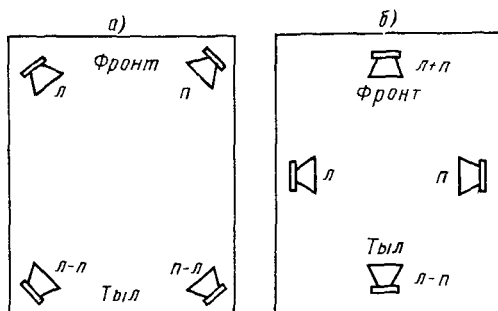


Рис. 133. Варианты расположения дополнительных громкоговорителей при квадрафоническом воспроизведении, которые имитируют реверберацию зала и приближают нас к "живому" концерту
 лп — левый передний; лз — левый задний; пп — правый передний; пз — правый задний

спор разрешился быстро и удачно, то в квадрафонии наступил полный хаос. Даже создатели этой системы — японцы и американцы — не успели использовать свои права на приоритет.

Сделаем попытку систематизировать этот хаос. Отчетливо вырисовываются три основные системы квадрафонии в зависимости от числа записанных и усиливаемых каналов: 1) полная квадрафония со структурой 4-4-4* — четыре записанных канала, четыре усилительных канала и четыре акустические системы; 2) квазиквадрафония со структурой 4-2-4 — четыре канала записи, два усилительных канала и четыре акустические системы; 3) псевдоквадрафония со структурой 2-2-4 — два стандартных записанных канала стерео, два усилительных канала и четыре акустические системы.

Каждая из этих основных структурных разновидностей содержит несколько систем, предложенных различными ведущими фирмами. Преимущества и недостатки этих систем так сложно переплетены, что все еще ни одна из них не может победить в конкурентной борьбе.

Несмотря на то что на рынок выпускаются квадрафонические магнитофоны, усилители и грампластинки, проблемы квадрафонической магнитной и грамзаписи все еще находятся в стадии разрешения. В некоторых странах проводятся экспериментальные передачи квадразаписи, но слушатели могут их воспринимать только при условии, если располагают двумя стереоприемниками.

Затруднения с квадрафоническим радиовещанием привели к известному распространению квадрафонической магнитной и грамзаписи, где некоторые системы обеспечивают полную совместимость со стереофонической записью.

Сравнительно просто решается вопрос с магнитной записью. Используются четырехдорожечные головки с четырьмя рабочими зазорами,

* По этой системе обозначения монофония изображается как 1-1-1, псевдостереофония — 1-1-2, стереофония — 2-2-2. — Прим. автора.

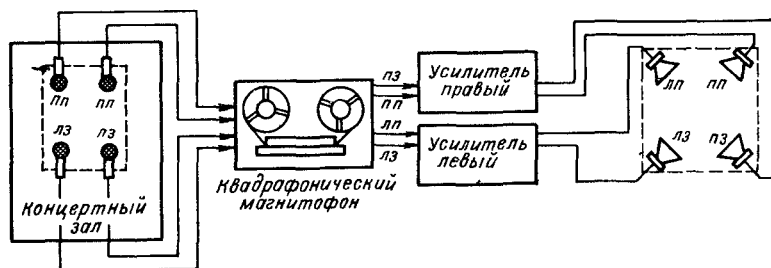


Рис. 134. Квадрафоническая магнитная запись должна быть восьмидорожечной; она несовместима с обычной моно- и стереозаписью

расположенными друг над другом. Таким образом, запись становится восьмидорожечной, что в некоторых случаях позволяет использовать стандартную ширину ленты (6,3 мм) или кассеты (3,2 мм), а иногда применять широкую ленту. К сожалению, магнитные квадразаписи несовместимы со стереозаписью из-за различного расположения дорожек. Предложена совместная система квадразаписи, при которой дорожки расположены точно так же, как у обычного четырехдорожечного стереомагнитофона. Запись, однако, следует проводить только в одном направлении, и каждый раз приходится перематывать ленту обратно. Совместимость неполная, поэтому при воспроизведении стереозаписи "прочитывается" только половина записанной информации.

Метод, предложенный фирмой "Acoustic Research" и известный как "дискретная система", показан на рис. 134. Запись осуществляется с помощью четырех магнитофонов, расположенных в четырех точках концертного зала или студии, ограничивающих четырехугольник, близкий по площади к помещению для воспроизведения. Записанная на четырехканальный магнитофон информация усиливается четырехканальным усилителем (например, двумя стереоусилителями) и воспроизводится четырьмя акустическими системами (см. рис. 134).



Системы CD-4 и SQ

Квадрафоническая грамзапись создает специфические затруднения, так как в каждой канавке требуется записать сигналы для четырех каналов. Борьба за утверждение одной или другой системы ведется тремя основными изготовителями грампластинок: RCA — за систему CD-4, CBS — за систему SQ и "Деcca" — за систему QS.

Интересен способ гравирования четырех видов информации в канавке, предложенный в 1970 г. фирмой "Nivico" (Япония) и названный CD-4 (рис. 135)*. Путем матричного преобразования сигналы от четырех микрофонов суммируются и вычитаются. Разности двух левых и двух правых каналов модулируют несущую частоту 30 кГц и располагаются в новой частотной области от 20 до 45 кГц (рис. 136). Смешанные с суммами этих же сигналов, занимающих частотный диапазон до 15 кГц, они дают два новых сигнала: $(lp + lz) + (lp - lz)$, записываемый на внутренней стенке канавки (рис. 136, а) и $(np + nz) + (np - nz)$, записываемый на внешней стенке канавки (рис. 136, б). Как показано на рисунке, сигнал, состоящий из разностей, имеет более низкий уровень, чем сигнал, состоящий из сумм. Затухание на 20 дБ необходимо для обеспечения хорошего контакта иглы с канавкой в высокочастотном диапазоне от 20 до 45 кГц.

Запись производится по стандартной для стереозаписи системе 45/45. На рис. 137 представлены сильно увеличенные фотографии стереофонической (а) и квадрафонической (б) грампластинок, записанных по этой системе.

Воспроизведение квадрафонической грамзаписи по системе CD-4 происходит согласно схеме рис. 138. Декодирование записанной информации осуществляется через два частотных детектора с матричным преобразователем и разделительными фильтрами. На выходе получаются сигналы lp , lz , np и nz , которые усиливаются и подаются на соответствующие громкоговорители.

Запись по системе CD-4 полностью совместима с другими видами грамзаписи. Со стереопластинок воспроизводятся сигналы $lp + lz$ и $np + nz$, а с монопластинок — сигналы $lp + lz + np + nz$. Но есть при этом способе записи и затруднения: звукосниматель должен иметь значительно более широкую частотную характеристику (40–60 кГц) и сложный профиль конца иглы (рис. 139)**.

Преимущества этой системы в полной мере пригодны только для квадрафонической записи. Она непригодна для квадрафонического радиовещания не только из-за наличия четырех отдельных видов информации, но и из-за очень широкого частотного диапазона, который необходимо передать.

В то время как происходило широкое внедрение систем CD-4, фирмы CBS и "Sansui" предложили систему SQ, которая дает возможность вести квадрафонические радиопередачи с помощью существующих

*Варианты этой схемы известны как QX, X4 и т. д. — Прим. автора.

** Квадрафонический звукосниматель по методу CD-4 типа 2400Q фирмы Pickering имеет частотный диапазон 10–50 000 Гц, а тип 4CIX фирмы Jelec — 16–60 000 Гц.

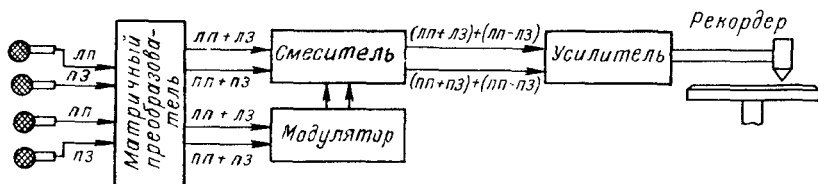


Рис. 135. Квадрафоническая грамзапись по системе CD-4 удачно решает вопрос совместимости с моно- и стереозаписями

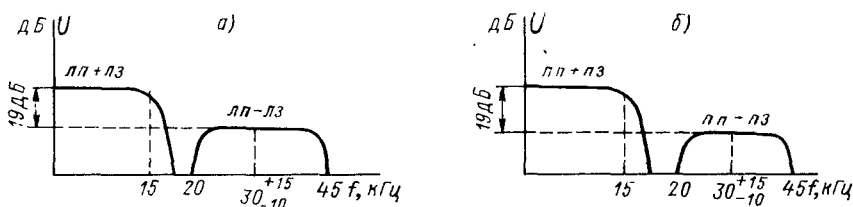


Рис. 136. Частотный спектр при записи по системе CD-4 достигает 45 кГц. Как и при стереозаписи по системе 45/45, "левые" сигналы записываются на внутренней стенке канавки (а), а "правые" — на внешней стенке канавки (б)

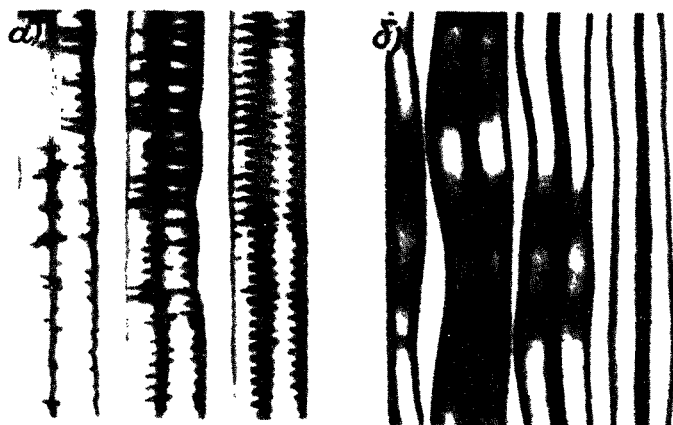


Рис. 137. Макрофотографии канавок стереофонической (а) и квадрафонической (б) грампластинок

методов стереопередачи в диапазоне УКВ/ЧМ. Квадрафонические передачи по системе SQ можно спокойно принимать и воспроизводить, как и стереозаписи, с помощью существующих стереоприемников и усилителей.

При квадрафонической грамзаписи по системе SQ не используют несущую частоту, модулированную дополнительными сигналами, как при системе CD-4. При способе SQ на пластинке левый и правый передние каналы записываются по системе 45/45, что обеспечивает полную

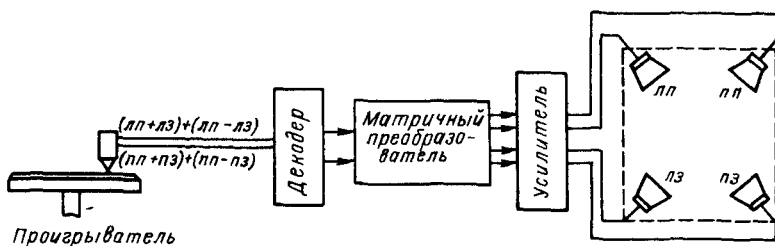


Рис. 138. Воспроизведение по системе CD-4 осуществляется путем декодирования и матричного преобразования записанных сигналов

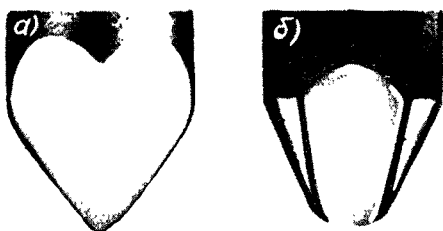


Рис. 139. Конец иглы для квадрафонического воспроизведения по системе CD-4 имеет сложный профиль: а — нормальная эллиптическая игла; б — биэллиптическая игла для воспроизведения квадразаписи по системе CD-4

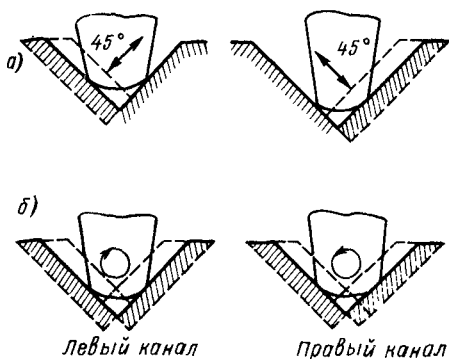


Рис. 140. В системе SQ гравировка "передних" сигналов осуществляется по нормальной системе 45/45 для стереозаписи (а), а "задние" сигналы накладываются посредством круговой модуляции (б)

совместимость квадрапластинок с обыкновенными для стереовоспроизведения (рис. 140, а). Что касается "задней" информации, то она гравировается на пластинке круговой модуляцией, сигнал которой накладывается на основной сигнал (рис. 140, б). Левый задний канал записывается по круговой развертке по часовой стрелке, а правый задний канал — против часовой стрелки.

Если при воспроизведении не используется декодер для дополнительных сигналов, то будут ощущаться только "передние" сигналы, обеспечивающие нормальное стерео. При наличии декодера, двух каналов усиления и двух акустических систем можно полностью ощутить преимущества квадрафонии. Следует еще сказать, что метод SQ не

требует специальных звукоосцилляторов с расширенной частотной характеристикой и специальным профилем иглы. К тому же нет никаких препятствий для нормального проигрывания стереопластинок через усилитель SQ.

Среди существующих в настоящее время квадрафонических систем система SQ является наиболее распространенной и перспективной. Она непрерывно прогрессирует, но есть еще много неопределенностей.

Система QS принципиально одинакова с SQ, различие состоит только в изменении фазы сигналов дополнительных каналов.

К поискам наиболее подходящей системы квадрафонии прибавляются и усилия по созданию квадрафонических устройств класса Hi-Fi, так как по некоторым основным показателям — динамическому диапазону, гармоническим и интермодуляционным искажениям — квадрафония все еще не достигла норм Hi-Fi.

15

Квадрафония доступными средствами

Псевдо- и квазиквадрафония — это системы, которые позволяют от сигналов левого и правого каналов для обычной стереозаписи отделить (при псевдо) или преобразовать (при квази) с помощью кодирования и декодирования сигналы для подачи на задние громкоговорители. Идея создателя этой системы* Дэвида Хэфлера заключается в осуществлении возможности полного использования существующих стереозаписей и стереоусилителей (при псевдо) или только существующих стереоусилителей (при квази) так, чтобы от сигналов двух стереоканалов получить новую информацию, которая имитировала бы волны, отраженные в зале.

Известно, что сигналы, существующие в стереозаписи, содержат информацию, способную создать впечатление о направленности звука не только слева и справа, но и спереди и сзади. Единственной заботой остается отделить ее от стереосигнала и подать к ушам, чтобы локализовать ее в пространстве.

Квазиметод Д. Хэфлера использует четыре системы громкоговорителей (рис. 141), две из которых расположены по сторонам (l и n), одна фронтальная впереди (ϕ) и одна сзади (z). На эти громкоговорители после матричного преобразования подаются следующие сигналы: $l + n + \phi$ на передний громкоговоритель (ϕ), $l + n - z$ на левый громкоговоритель (l), $n + \phi - z$ на правый громкоговоритель (n) и $l - n + z$ на задний громкоговоритель (z).

*Известна также как система 4D, Quadrosound, Multisound, Analiser и т. д. — Прим. автора.

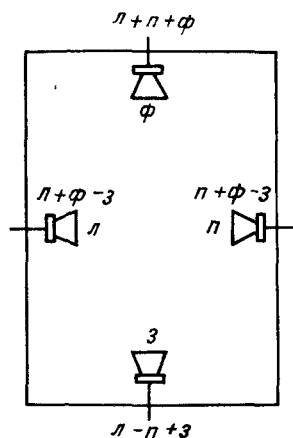


Рис. 141. При квази- и псевдоквадрафонии чаще всего используется система расположения громкоговорителей, предложенная Д. Хэфлером

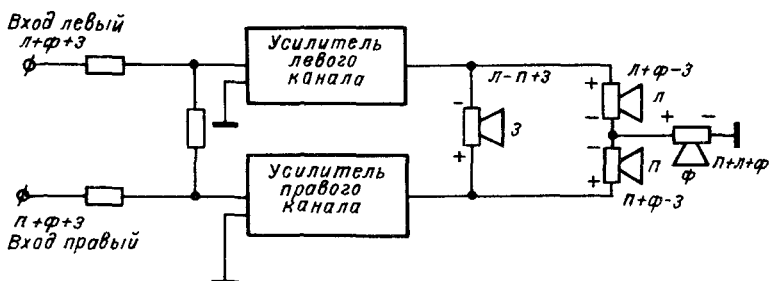


Рис. 142. Матричная схема по методу Д. Хэфлера обеспечивает формирование четырех сигналов для квазиквадрафонического воспроизведения

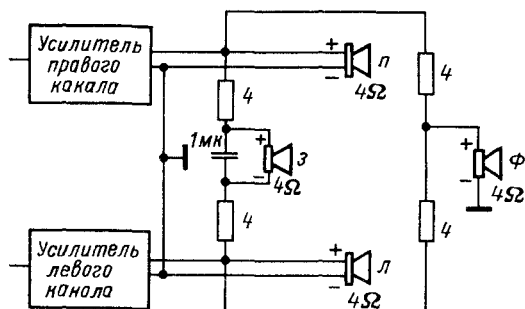


Рис. 143. Двухканальная псевдоквадрафоническая система требует применения только одной матрицы сопротивлений и соответствующего фазирования громкоговорителей

При этих условиях передний и два боковых громкоговорителя передают очень точно основную звуковую информацию от оркестра, а задний громкоговоритель воспроизводит дополнительные сигналы, создающие эффект зрительного зала, — сигналы, которые потерялись, если бы воспроизведение осуществлялось только левым и правым громкоговорителями.

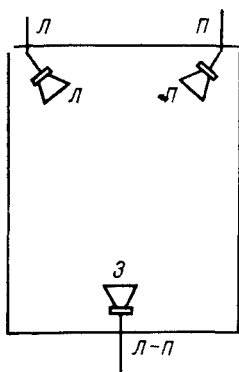


Рис. 144. При использовании трех громкоговорителей квадрозона расширяется и матрица сопротивлений упрощается

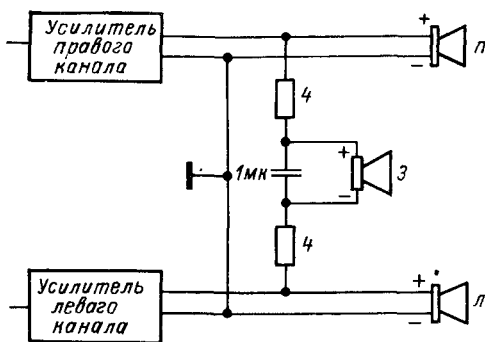


Рис. 145. Матричная схема при использовании одного заднего громкоговорителя может быть осуществлена очень простыми средствами

Матричная схема воспроизводящей части системы Д. Хэфлера показана на рис. 142. Два сигнала $л + ф + з$ и $п + ф + з$, которые передаются по двухканальной линии и усиливаются двухканальным стереоусилителем, в записывающей части системы после матричного преобразования превращаются в четыре сигнала: $л$, $п$, $ф$ и $з$.

Псевдоквадрафония использует еще более простые средства. Она, в сущности, требует только двух новых громкоговорителей, расположенных соответствующим образом сзади слушателя, используя при этом нормальные двухканальные записи, линии передачи и усилители. Такое устройство может быть выполнено каждым Hi-Fi любителем, так как для получения дополнительных сигналов используется матрица сопротивлений и соответствующее фазирование громкоговорителей.

На рис. 143 показан псевдометод, предложенный фирмой "Scientific", в котором используется расположение громкоговорителей согласно рис. 141. Матричная схема состоит из четырех резисторов, сопротивление которых соответствует по значению сопротивлению громкоговорителей. Благодаря этой схеме дополнительные громкоговорители получают информацию, которая содержится в основном сигнале, но не ощущается слушателем при двухканальном воспроизведении.

Задний громкоговоритель получает сигнал через RC -цепь, которая создает известную задержку подаваемого сигнала и имитирует реверберацию зала.

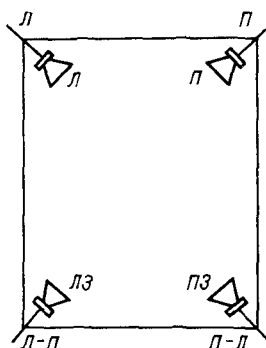


Рис. 146. Улучшенный вариант псевдоквадрафонического расположения громкоговорителей

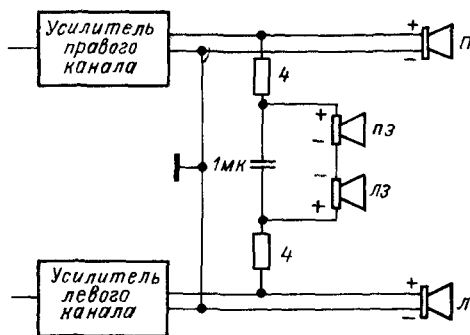


Рис. 147. Противофазовое соединение задних громкоговорителей обеспечивает излучение разности двух сигналов

Записи предложенным методом полностью совместимы с записями, сделанными другими квадрафоническими системами, а также со стерео- и монозаписями. При воспроизведении от моноисточников, а также при правильном фазировании громкоговорителей и балансе каналов от заднего громкоговорителя не должно ощущаться никаких звуков. Это явление используется для настройки квадросистемы — баланса и фазирования с помощью подачи моносигнала и подбора минимума звука в заднем громкоговорителе.

Система Д. Хэфлера из четырех громкоговорителей имеет одно неудобство — она чувствительно снижает зону квадрафонического восприятия и заставляет слушателя искать наиболее подходящее место в комнате. Эта зона много шире при использовании трех громкоговорителей (рис. 144), смонтированных по схеме рис. 145. Установлено, что поворот фазы заднего громкоговорителя не оказывает влияния на квадразффект.

Образец улучшенного варианта этой схемы показан на рис. 146. В этом случае два задних громкоговорителя, воспроизводящих разность двух сигналов, должны быть в противофазе (рис. 147).

Несмотря на простоту рассматриваемых искусственных средств воспроизведения эффекта присутствия в зале, следует признать, что они приводят к излучению не существующей в музыкальном исполнении звуковой информации, к которой ухо особенно чувствительно.

Псевдоквадрафония — это все-таки шаг вперед по сравнению со стереофонией, так как приводит к чувствительному расширению стереозоны и к созданию впечатления, что слушатель находится не перед звуковой плоскостью, а в середине оркестра или зала.

Псевдометоды квадрафонического воспроизведения не требуют дополнительных усилителей или декодеров. Достаточно две дополнительные акустические системы и простая матричная схема — приставка для выделения новой информации.

При хорошо продуманном расположении акустических систем и правильно рассчитанной и настроенной матричной схеме трудно отличить подлинно квадрафоническое от псевдоквадрафонического воспроизведения.

Предложенная схема псевдоквадрафонической приставки (рис. 148) обеспечивает выделение разностного сигнала левого и правого стереоканалов. Используются нормальные стереозаписи и обычный стереоусилитель, к которому подключаются основные (левый и правый) громкоговорители. Дополнительные задние громкоговорители включаются через транзисторные фазоинвертирующие каскады, на выходе которых получают разности $л - л$ и $п - л$ двух сигналов. Дозировка разностей выполняется двойным потенциометром $R'_2 - R''_2$ (2×10 кОм). Еще один такой потенциометр $R'_1 - R''_1$ используется для регулирования амплитуды сигналов задних громкоговорителей.

Необходимая мощность для возбуждения задних громкоговорителей в несколько раз меньше мощности для основных громкоговорителей. Все же, если усиления транзисторами BC108 окажется недостаточно, то можно добавить по одному оконечному каскаду классического типа, обозначенному на схеме штрихами.

Расположение акустических систем в комнате можно выполнить по схемам рис. 141 и 146.

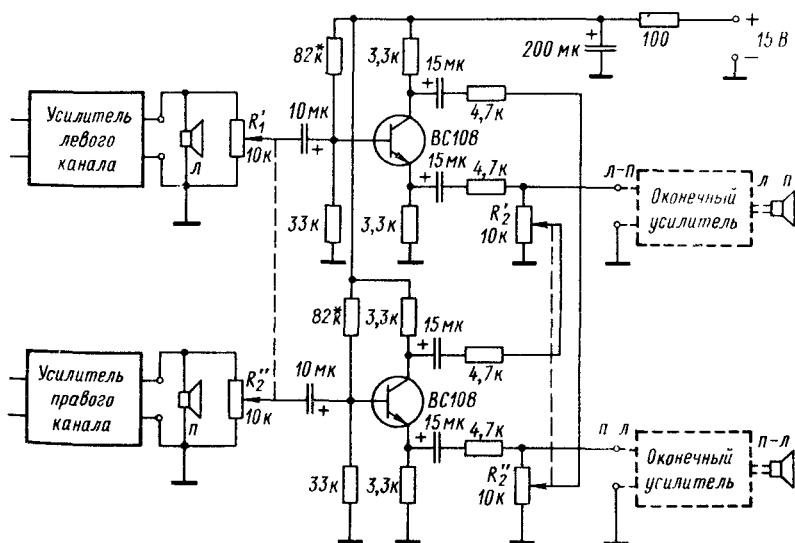


Рис. 148. Схема псевдоквадрафонической приставки

SQ-декодер

Возникнув первоначально как стремление фирм — изготовителей Hi-Fi аппаратуры "освежить" рынок, квадрафония сейчас завоевала уважение слушателей музыкальных программ и открыла путь к более полному приближению домашней комнаты к концертному залу.

Верно то, что внедрение квадрафонии в быт происходит медленнее, чем стереофонии. Но этот медленный процесс необратим, и это неминуемо приведет к еще более полной "музыкальной истине" в комнате. Некоторые "неверующие" могут сказать, что для достижения полной "музыкальной истины" требуется продолжить

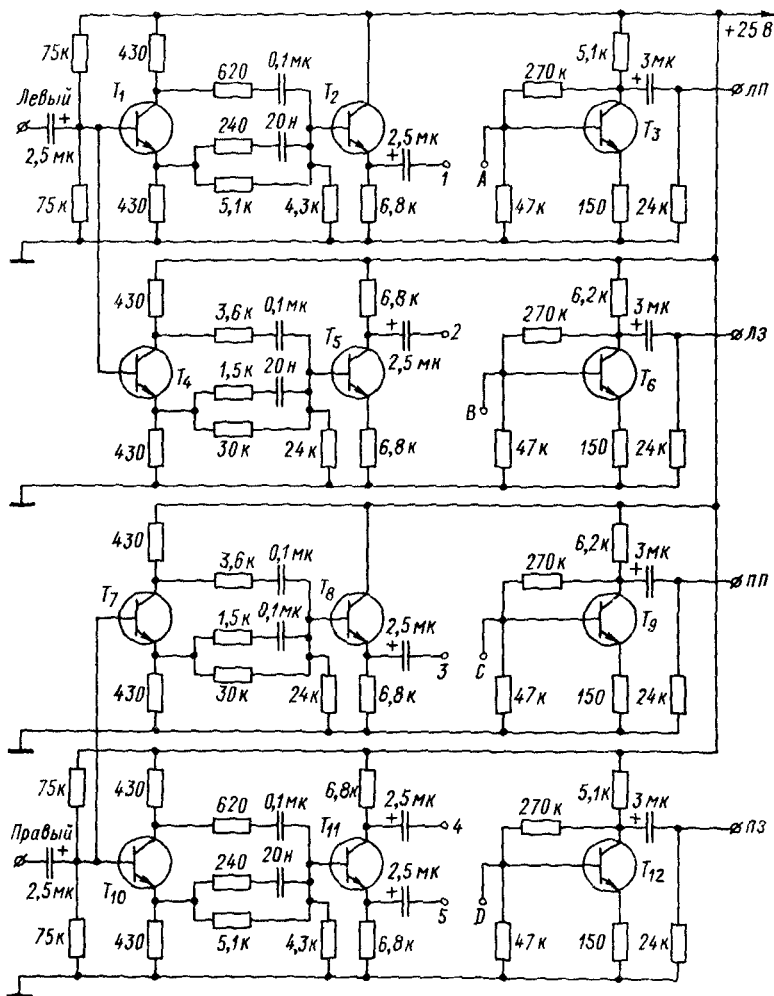


Рис. 149. Принципиальная схема квадрафонического декодера для систем SQ и QS

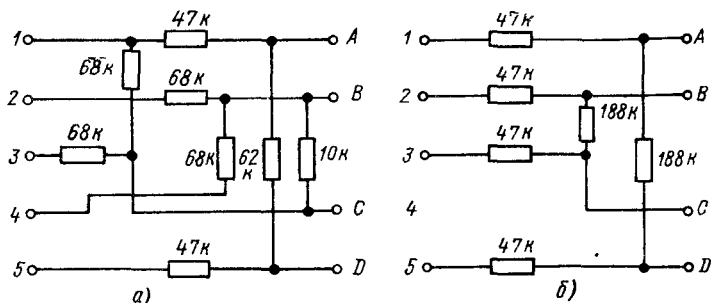


Рис. 150. Матрицы сопротивлений, включаемые в схему рис. 149, для систем SQ (а) и QS (б)

опыты с гексафонией, октафонией и т. д. Но зачем? Ведь чтобы отпечатать одну цветную фотографию, необходимы и достаточны только четыре основных цвета! Все остальное — вопрос точного сочетания и дозирования.

Матричные системы SQ и QS, кроме всех своих преимуществ, позволяют очень легко приспособить себя к стереоусилителю через простую схему — декодер. В отличие от системы CD4 декодер SQ или QS не обязательно монтируется непосредственно за звукоснимателем.

Соединение SQ-декодера с существующим стереоусилителем обычно осуществляется между предусилителем и оконечным каскадом (рис. 149). Различные RC-схемы и транзисторные каскады в четырех каналах создают необходимое изменение фазы сигналов. Выход 1 дает сигнал для левого канала, дефазированный относительно входного сигнала. От выхода 2 получают сигнал с поворотом по фазе на 90° относительно сигнала на выходе 1. Этот сигнал получает дополнительное изменение фазы на 180° , так как берется от коллекторного выхода транзистора. На следующих двух выходах 3 и 4 получают сигналы с поворотом фазы по такому же принципу, как на выходах 1 и 2, но для правого канала. Последний выход 5 дает сигнал, как на выходах 2 и 4, но с поворотом фазы на 180° .

Добавляя матрицу сопротивлений между выходами 1–5 и А–Д, получаем соответствующее смешивание таких дефазированных сигналов. Для системы SQ такая матрица имеет вид, показанный на рис. 150, а, а для системы QS — на рис. 150, б. Переход от одной системы к другой можно осуществить с помощью подходящей коммутации сопротивлений этих двух схем.

Чтобы достигнуть точного поворота фазы и смешивания, а также обеспечить небольшие помехи между каналами, необходимо иметь допуск в используемых элементах не более 5%. Это особенно важно для матрицы сопротивлений (рис. 150), где лучше всего применять резисторы с допуском 2%.

При этих условиях декодер обеспечивает следующие технические параметры:

Частотная характеристика (± 1 дБ)	40 Гц–18 кГц
Точность изменения фазы (на частотах от 100 Гц до 10 кГц)	9°
Входное напряжение при 20 кОм	500 мВ
Выходное напряжение при 5 кОм	500 мВ
Выходное сопротивление	1800 Ом

При напряжении питания 25 В общее потребление тока 20 мА.

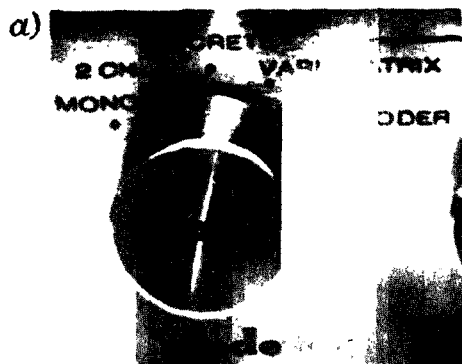


Рис 151 В квадрафонических устройствах переключатель "Моно"—"Сtereo" имеет новые функции а — в квадра-усилителе "Marantz 4270", б — в квадраусилителе "Grundig RTV 1040"

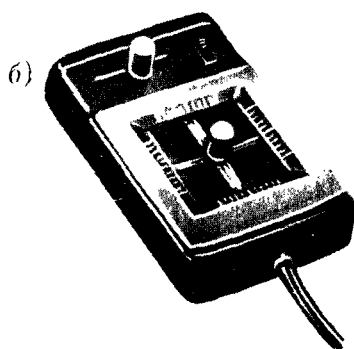
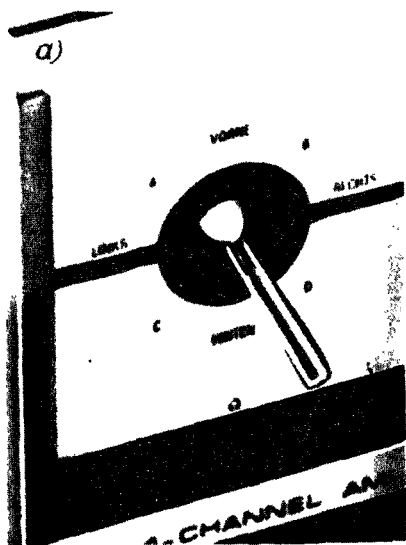


Рис 152 Звуковой квадрабаланс в современных усилителях одним рычагом или кнопкой устанавливается баланс всех четырех каналов

Выпускаются специальные интегральные схемы (например, MC1312 и MC1313 фирмы "Motorola"), которые содержат целую декодирующую часть SQ квадрафонического усилителя. В этом случае декодер имеет вид коробочки размерами 100 x 50 x 30 мм, которая вставляется в точно определенное место основного усилителя. Такие модели стереофонических усилителей с дополнительно встроенной

приставкой SQ-декодера для квадрафонии обозначаются значком 2 + 4 (стерео + + квадра)

В современных квадрафонических усилителях к переключателю "Моно — "Стереo" добавлены еще несколько положений для выбора квадрафонической системы (рис 151) "Diskret" для дискретной системы четырехканальной записи, например, при магнитофонной квадрафонии; "Matrix" для различных матричных систем (пластинки, записанные по системе CD-4; радиовещание); "SQ-декодер" для пластинок, записанных по системе SQ.

Другой новинкой в управлении квадрафоническим усилителем является видоизмененный регулятор баланса, который позволяет одним рычагом обеспечивать звуковой баланс между четырьмя каналами (рис 152, а) Часто такой регулятор оформлен в блоке дистанционного управления (рис. 152, б), так что звуковой баланс можно точно установить с места прослушивания

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**Восприятие самых высоких частот слушателями
различных возрастных групп**

Таблица * показывает, какой процент слушателей в различном возрасте воспринимает самые высокие частоты при звуковом давлении 1 мкбар**.

Возраст, год	Частота, Гц					
	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000
20-29	100	100	100	90	60	40
30-39	100	100	90	70	30	20
40-49	100	90	70	40	15	10
50-59	100	80	40	20	5	0
60-69	90	70	20	0	0	0

Приложение 2

**Список некоторых наиболее распространенных
тест-пластинок**

1. ЭС-6640/3-1 — Измерительная стереофоническая грампластинка фирмы "Мелодия" (СССР).
2. Изм. 33 д 0101/0102 — Измерительная пластинка (СССР).
3. KV5 — KV18 — фирмы "Супрафон" (ЧССР).
4. STR100 — фирмы CBS.
5. STR111 — фирмы CBS.
6. BTR150 — фирмы CBS.
7. SXL2057 — фирмы "Decca".
8. LXT5346 — фирмы "Decca".
9. DE30 — фирмы VOX.
10. SAL9020 — фирмы "Capitol".

*Таблица опубликована фирмой "Isophon".

**По системе СИ 1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па. — П р и м. р е д.

Сравнительная таблица малошумящих транзисторов

Тип	Предельные значения при $t = 25^{\circ}\text{C}$						$f_{\text{гр}}$ при $I_K = 10 \text{ мА}$ и $U_{KЭ} = 5 \text{ В}$, МГц	I_{213} при $I_K = 2 \text{ мА}$ и $U_{KЭ} = 5 \text{ В}$	$K_{\text{ш}}$ на 1 кГц, дБ, не более	Приблизительные аналоги				
	$I_{KBO}, \text{нА}$	$U_{KBO}, \text{В}$	$U_{KЭO}, \text{В}$	$U_{ЭBO}, \text{В}$	$I_K, \text{мА}$	$P_K, \text{мВт}$				СССР	ЧССР	ВНР	ГДР	НРБ
BC107A	60	50	45	6	200	300	300	125–260	10	КТ312	КС507	BC107	SF136	2Т3771
BC107B	60	50	45	6	200	300	300	240–500	10	КТ315	–	–	SF137	2Т3502
BC108A	60	30	20	5	200	300	300	125–260	10	–	КС508	BC108	–	–
BC108B	60	30	20	5	200	300	300	240–500	10	–	–	–	–	–
BC108C	60	30	20	5	200	300	300	450–900	10	–	–	–	–	–
BC109B	60	30	20	5	200	300	300	240–500	4	–	КС509	BC109	–	–
BC109C	60	30	20	5	200	300	300	450–900	4	–	–	–	–	–
BC147A	60	50	45	6	200	250	300	125–260	10	–	КС147	–	–	–
BC147B	60	50	45	6	200	250	300	240–500	10	–	–	–	–	–
BC148A	60	30	20	5	200	250	300	125–260	10	–	КС148	–	–	–
BC148B	60	30	20	5	200	250	300	240–500	10	–	–	–	–	–
BC148C	60	30	20	5	200	250	300	450–900	10	–	–	–	–	–
BC149B	60	30	20	5	200	250	300	240–500	4	–	КС149	–	–	–
BC149C	60	30	20	5	200	250	300	450–900	4	–	–	–	–	–

Основные параметры некоторых известных звукоусилителей

Звукоусилитель		Горизонтальная податливость, $\times 10^{-6}$ см/дин	Вертикальная податливость, $\times 10^{-6}$ см/дин	Рекомендуемая прижимная сила, мН	Частотный диапазон, Гц	Конеч иглы, мкм	Затухание между каналами, дБ	Выходной уровень на 1 кГц, мВ/см/с
Фирма	Тип							
ADC	Q32	25	25	20	20-17 000	Эллипс	30	0,85
ADC	Q36	30	30	15	20-14 000	Эллипс	30	0,9
ADC	XLM	50	50	4-10	10-20 000	7 x 18	35	0,8
ADC	550XE	35	35	7,5-15	10-20 000	7 x 18	25	0,9
"Bang and Olufsen"	SP10A	25	25	11	20-20 000	15	25	1,2
	SP15	30	30	10-15	20-30 000	5 x 17	30	0,8
"Elac"	STS344-17	25	25	10-20	20-22 000	17	24	1,0
"Elac"	STS444E	33	33	7,5-15	10-24 000	6 x 18	26	1,1
"Jelco"	MC12S		-	10	20-15 000	Конич	30	1,2
"Jelco"	MC12E		-	10	20-16 000	Эллипс	24	1,2
"Jelco"	MC15E		-	9	20-20 000	Эллипс	28	1,2
"Empire"	888SE	30	30	5-15	6-35 000	7,5 x 18	30	0,7
"Empire"	999SE/X	30	30	5-15	8-32 000	5 x 17,5	35	1,9
"Empire"	1000ZE/X	35	35	1-10	4-40 000	5 x 17,5	35	0,93
"Excel-Sound"	ES-70EX	30	30	7-15	20-20 000	5 x 20	30	0,9
"Goldring"	G800E	30	30	7,5-15	10-23 000	8 x 18	20	1,0
"Goldring"	800 Super E	35	35	5-12,5	10-23 000	8 x 21	25	0,8
"Lenco"	M94	-	-	25	20-17 000	12	23	2,0
"Ortofon"	FF15	20	20	15	20-20 000	8 x 18	25	1,0
"Ortofon"	M15E	30	30	10	20-20 000	8 x 18	25	0,8

Звукосниматель		Горизонтальная податливость, $\times 10^{-6}$ см/дин	Вертикальная податливость, $\times 10^{-6}$ см/дин	Рекомен- дуемая прижимная сила, мН	Частотный диапазон, Гц	Концы иглы, мкм	Затухание между каналами, дБ	Выходной уровень на 1 кГц, мВ/см/с
Фирма	Тип							
"Ortofon"	MF15E	25	25	15	10-40 000	8 x 18	25	2,0
"Ortofon"	SL15Q(CD-4)	20	20	17,5	20-40 000	Бизаллит	25	1,8
"Pickering"	XVR5	35	35	5-10	10-25 000	5 x 17	35	0,8
"Philips"	GP41 I	-	-	20-40	20-18 000	15	20	1,0
"Philips"	GP400	20	16	15-30	-	15	20	1,2
"Philips"	M400	20	20	15-30	20-20 000	15	24	1,2
"Philips"	M401	20	20	15-30	20-20 000	7 x 18	24	1,2
"Philips"	M412	25	20	7,5-15	20-20 000	7 x 18	25	1,2
"Shure"	M75-6	-	-	15-30	20-20 000	15	20	1,2
"Shure"	M91ED	25	25	7,5-15	20-20 000	5 x 18	25	1,0
"Shure"	DM101MG	40	30	5-12,5	20-20 000	15	25	0,8
"Shure"	SM103ME	25	25	7,5-15	20-20 000	5 x 18	25	1,0
"Shure"	V15-II	-	-	7,5-15	20-20 000	5 x 18	25	0,7
"Stanton"	500AA	25	25	5-30	20-20 000	13	35	0,8
"Stanton"	500E	25	25	5-30	20-20 000	10 x 22,5	35	0,8
"Stanton"	600A	-	-	25	20-17 000	12	23	2,0
"Stanton"	600E	-	-	20	20-20 000	10 x 18	39	1,15

Приложение 5

Справочный лист

Для расширения знаний и опыта в области низкочастотной техники звукозаписи, электроакустики и по другим характерным вопросам $Ni-Fi$ техники читатель может использовать доступные технические периодические издания — советский журнал "Радио" и болгарский журнал "Радио, телевидение, электроника". Приводится список наиболее интересных публикаций, систематизированных по разделам книги.

$Ni-Fi$ стереопроигрыватели

Журнал "Радио"

1. Тонарм любительского ЭПУ. 1971, № 8, с. 17.
2. Техника воспроизведения грамзаписи. 1972, № 4, с. 32; № 7, с. 29; № 10, с. 41.
3. Предварительный усилитель НЧ для магнитного стереофонического звукоосциллятора. 1972, № 9, с. 59.
4. Повышение качества воспроизведения грамзаписи. 1972, № 2, с. 32.
5. Тонарм с переменным углом коррекции. 1973, № 7, с. 60.
6. Любительский электропроигрыватель. 1973, № 11, с. 36.
7. Микролифт в проигрывателе. 1974, № 1, с. 32.
8. Упрощенный расчет тонарма. 1974, № 7, с. 39.
9. Усилитель-корректор. 1974, № 10, с. 60.

Журнал "Радио, телевидение, электроника"

1. Согласование различных видов звукоосцилляторов с транзисторными входными каскадами. 1969, № 7, с. 214.
2. Особенности записи и воспроизведения с грампластинок. 1971, № 3, с. 78.
3. Электропроигрыватели для домашней студии. 1972, № 2, с. 51.
4. Электропроигрыватель "Аудиофон 20". 1972, № 2, с. 54.
5. Усилитель-корректор для магнитного звукоосциллятора и микрофона. 1972, № 5, с. 151.
6. Новый тип воспроизводящей иглы. 1974, № 4, с. 113.
7. Корректирующий усилитель для проигрывателя. 1974, № 7, с. 211.

Магнитофон как источник $Ni-Fi$ звука

Журнал "Радио"

1. Индикаторы уровня записи. 1968, № 4, с. 33.
2. Индикатор уровня записи. 1968, № 9, с. 24.
3. Низкоомный вход в транзисторном магнитофоне. 1968, № 12, с. 35.
4. Кассетные магнитофоны. 1969, № 8, с. 54.
5. Автоматическая установка уровня записи в магнитофоне. 1970, № 9, с. 33.
6. Магнитные головки. 1971, № 2, с. 57.
7. Комбинированные записи. 1972, № 8, с. 25.
8. Кассетный магнитофон. 1972, № 10, с. 27; № 11, с. 26.
9. Приставка для записи и воспроизведения звука. 1972, № 10, с. 46.

10. Внестудийные записи. 1972, № 11, с. 28.
11. Новый стандарт на бытовые магнитофоны. 1973, № 1, с. 28.
12. Налаживание магнитофона в любительских условиях. 1973, № 10, с. 39.
13. Подавитель шумов в паузах. 1974, № 4, с. 37.
14. Кассетный стереофонический магнитофон. 1974, № 5, с. 16; № 6, с. 38.
15. Магнитные ленты для звукозаписи. 1974, № 7, с. 40.
16. Устройства шумоподавления в звукозаписи. 1974, № 7, с. 60; № 9, с. 56.
17. Магнитная лента с порошком железа. 1974, № 7, с. 62.

Журнал "Радио, телевидение, электроника"

1. Стандарты на частотную коррекцию в магнитофоне. 1968, № 4, с. 129.
2. Магнитофон "Uher 724-stereo". 1971, № 9, с. 271.
3. Новая хромовая лента "Кролин". 1972, № 2, с. 51.
4. Система "Долби" в кассетных магнитофонах. 1973, № 6, с. 177.
5. Шумоподаватель "Долби". 1974, № 2, с. 51.
6. Обозначения советских магнитных лент. 1974, № 2, с. 59.
7. Предусилитель для четырехдорожечного магнитофона. 1974, № 4, с. 114.

Высококачественные стереоусилители

Журнал "Радио"

1. Цветомузыкальная установка. 1968, № 1, с. 47.
2. Моно-стерео микшер. 1968, № 7, с. 56.
3. Стерефонический усилитель с УКВ-приемником. 1968, № 11, с. 23; № 12, с. 46.
4. О плавности регулирования громкости. 1968, № 11, с. 36.
5. Транзисторный усилитель мощности 50 Вт. 1969, № 2, с. 28.
6. Цветомузыка и техника. 1969, № 9, с. 21.
7. Классы качества звуковоспроизведения. 1970, № 7, с. 36.
8. Стерефонический усилитель НЧ. 1970, № 12, с. 31.
9. Цветомузыкальное устройство. 1971, № 2, с. 26.
10. Мощный усилитель НЧ. 1971, № 6, с. 28.
11. Четырехканальный усилитель. 1971, № 8, с. 60.
12. Микшер на полевых транзисторах. 1971, № 10, с. 59.
13. Пятиканальный микшер. 1972, № 2, с. 59.
14. Автоматический корректор частотной характеристики. 1972, № 5, с. 43.
15. Высококачественный усилитель НЧ. 1972, № 7, с. 32.
16. Как измерить выходную мощность усилителя НЧ? 1973, № 1, с. 59.
17. Стерефонический усилитель. 1973, № 3, с. 30.
18. Стерефонический усилитель "Электрон-20". 1973, № 6, с. 46.
19. Двухтактный выход без фазоинвертора. 1973, № 7, с. 61.
20. Выбор схемы усилителя мощности НЧ. 1974, № 3, с. 38.
21. Малогабаритный стерефонический усилитель. 1974, № 3, с. 46.
22. Регулятор ширины стереобазы. 1974, № 3, с. 61.
23. Усилитель НЧ с глубокими регулировками тембра. 1974, № 4, с. 26.
24. Основные параметры усилителя НЧ и их измерение. 1974, № 4, с. 51.
25. АРУ в усилителях НЧ. 1974, № 4, с. 57.
26. Блок регуляторов тембра высококачественного усилителя НЧ. 1974, № 5, с. 45.

27. Стерефонический усилитель. 1974, № 6, с. 26.
28. Усилители мощности с защитой от короткого замыкания. 1974, № 6, с. 60.
29. Двухполосный стерефонический усилитель. 1974, № 9, с. 40.
30. Комбинированный блок для Hi-Fi систем. 1974, № 10, с. 61.

Журнал "Радио, телевидение, электроника"

1. Усилитель для динамических головных телефонов. 1968, № 8, с. 244.
2. Предусилитель для магнитной мембраны. 1968, № 8, с. 239.
3. Методы измерения нелинейных искажений. 1968, № 10, с. 300.
4. Высококачественный НЧ стереоусилитель 2 × 10 Вт. 1969, № 1, с. 5.
5. Hi-Fi стереоусилитель 2 × 15 Вт "Студио". 1969, № 8, с. 236; № 9, с. 281.
6. 4-канальный смеситель-предусилитель-корректор. 1970, № 1, с. 6.
7. Предусилитель-корректор. 1970, № 3, с. 79.
8. Трехканальный микшер. 1970, № 6, с. 189.
9. Тонкомпенсированные регуляторы усиления. 1970, № 6, с. 187.
10. Hi-Fi – мода или культурная необходимость. 1970, № 8, с. 248.
11. Измерение основных качественных показателей НЧ усилителей. 1971, № 1, с. 18.
12. Hi-Fi фильтр для перезаписи. 1971, № 4, с. 108.
13. Цветомузыкальная приставка на транзисторах. 1971, № 5, с. 142.
14. Устройство цветомузыки. 1971, № 9, с. 279.
15. Транзисторный стереоусилитель "Аудиоват 20". 1971, № 12, с. 166.
16. Цветомузыкальное устройство. 1972, № 6, с. 178.
17. НЧ-усилитель. 1972, № 6, с. 179.
18. Гитарные колонки с усилителями. 1972, № 7, с. 204.
19. Фильтры для НЧ-усилителя. 1972, № 12, с. 362.
20. Цветомузыкальное устройство. 1973, № 2, с. 74.
21. Высококачественный предусилитель-корректор. 1973, № 4, с. 106.
22. Приставка для цветомузыки. 1973, № 4, с. 108.
23. Блок коррекции Hi-Fi усилителя. 1973, № 6, с. 182.
24. Предусилитель-корректор. 1973, № 10, с. 316.
25. Низкочастотный предусилитель на полевых транзисторах. 1973, № 10, с. 317.
26. Усилитель 2 × 100 Вт стерео. 1974, № 1, с. 15.
27. Транзисторный стереоусилитель для динамических головных телефонов. 1974, № 2, с. 57.
28. Магнитный ревербератор для электрогитары. 1974, № 4, с. 111.
29. НЧ-предусилитель с двумя независимыми входами. 1974, № 5, с. 143.
30. Система динамического подавления шумов. 1974, № 6, с. 172.
31. "Аудиоват 50" – 50-ваттный транзисторный усилитель-смеситель. 1974, № 8, с. 239.

Акустические проблемы в Hi-Fi устройстве

Журнал "Радио"

1. Звуковая установка. 1968, № 2, с. 48.
2. Самодельный ревербератор. 1968, № 5, с. 31.
3. Расчет акустического фазоинвертора. 1968, № 7, с. 29.
4. Акустическое демпфирование громкоговорителей. 1969, № 4, с. 27.
5. Шарообразный акустический агрегат. 1969, № 12, с. 29.
6. Электродинамическая обратная связь в акустических системах. 1970, № 5, с. 25.

7. Усилители для акустических систем с электромеханической обратной связью. 1971, № 3, с. 33.
8. Направленное воспроизведение стереозаписи. 1971, № 4, с. 60.
9. Самодельные электродинамические головные телефоны. 1971, № 9, с. 23.
10. Любительский электроакустический агрегат. 1971, № 11, с. 27.
11. Электроакустический агрегат из доступных деталей. 1972, № 3, с. 30.
12. О воспроизведении низких звуковых частот. 1972, № 8, с. 32.
13. Стерефонические телефоны. 1972, № 8, с. 35.
14. Стереозффект по одному каналу. 1972, № 10, с. 47.
15. Стерефония на головные телефоны. 1973, № 2, с. 48.
16. Высокочастотный акустический агрегат с круговой диаграммой направленности. 1973, № 4, с. 39.
17. Стерефонические головные телефоны. 1973, № 6, с. 30.
18. О воспроизведении низких частот. 1973, № 6, с. 33.
19. Что представляет собой акустическая система с "пассивным" громкоговорителем? 1973, № 6, с. 59.
20. Фазоинвертор с пассивным радиатором. 1974, № 1, с. 29.
21. Стерефонические головные телефоны. 1974, № 2, с. 41.
22. Микрофон в стерефонии. 1974, № 3, с. 33.
23. О воспроизведении низких звуковых частот (электродинамическая обратная связь в акустических системах). 1974, № 7, с. 32.
24. Магнитный ревербератор. 1974, № 9, с. 43.

Журнал "Радио, телевидение, электроника"

1. Расположение акустических систем для воспроизведения стереозвука в домашних условиях. 1969, № 10, с. 311.
2. Малогабаритная акустическая система с закрытым объемом. 1971, № 1, с. 21.
3. Болгарские стерефонические головные телефоны. 1971, № 4, с. 105.
4. Низкочастотный громкоговоритель для Hi-Fi целей. 1971, № 9, с. 276.
5. Акустические системы для домашней студии. 1972, № 1, с. 23.
6. Новая акустическая Hi-Fi система. 1974, № 1, с. 22.
7. Искусственная реверберация. 1974, № 8, с. 249.
8. Двухзвенная акустическая система "Аудиобокс 20". 1972, № 2, с. 57.
9. Громкоговорители с мембраной типа "сэндвич". 1973, № 8, с. 243.

Квадрафония

Журнал "Радио"

1. Квадрафония — путь повышения качества звучания. 1972, № 9, с. 36.
2. Опыты с квадрафонией. 1974, № 3, с. 61.

Журнал "Радио, телевидение, электроника"

1. Четырехканальная стереосистема. 1971, № 4, с. 107.
2. Четырехканальная стереофония (квадрафония). 1972, № 11, с. 345.
3. Улучшенная схема псевдоквадрафонии. 1974, № 6, с. 173.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Книги

1. Якубашк Х. Стерефония в радиолюбительской практике. — М.: Энергия, 1965.
2. Гендин Г.С. Высококачественные любительские усилители низкой частоты. — М.: Энергия, 1968.
3. Лугвин В.Г. Элементы современной низкочастотной электроники. — М.: Энергия, 1964.
4. Дольник А., Эфруси М. Высокочастотные акустические системы. — М.: Изд-во ДОСААФ, 1960.
5. Эфруси М.М. Акустическое оформление громкоговорителей. — М.: Госэнергоиздат, 1962.
6. Lukeš Jaroslav. Věrný zvuk. Praha, 1962.
7. Richter Heinz. Mono-Stereo Hi-Fi. Stuttgart, Telekosmos-Verlag, 1969.
8. Darteville Ch. Technique Hi-Fi. Paris, Ed. Radio, 1972.
9. Resson R. Toute la stereophonie. Paris, Ed. Radio, 1962.
10. Hemardinger P. La pratique de la stereophonie.
11. Cormier M. Selection de montages basse frequence.
12. Reithmuller J. Pratique de la haute-fidelite. Paris, Ed. Radio, 1962.

Журналы

1. Радио, 1969—1974.
2. Радио, телевизия, електроника, 1970—1974.
3. Amatrske radio, 1972—1974.
4. Radiovy konstrukter, 1966—1974.
5. Radioamator, 1970—1974.
6. Funkschau, 1968—1974.
7. Funktechnik, 1968—1974.
8. Revue de son, 1970—1974.
9. Le haut-parleur, 1969—1974.
10. Hi-Fi stereo, 1970—1974.
11. Electronique pour vous, 1971—1974.
12. Technique electroniques et audiovisuelles, 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основы высокой верности воспроизведения

1. Несколько слов о Hi-Fi любительстве	3
2. Идеальная и действительная высокая верность воспроизведения	4
3. Высокая верность воспроизведения и стереофония	6
4. Этапы высокой верности воспроизведения	8
5. Элементы Hi-Fi устройства	10
6. Трудности обеспечения высокой верности воспроизведения	17

Hi-Fi стереофонические проигрыватели

7. Угол погрешности у современных проигрывателей	21
8. Огибаемость — характерное качество современных звукоосцилляторов	24
9. Известны ли вам три вида магнитных звукоосцилляторов?	25
10. Кое-что о коэффициенте упругости подвижной системы	26
11. Конец иглы — недооцениваемый фактор высокого качества воспроизведения	27
12. Как влияет давление иглы на качество воспроизведения	31
13. Вертикальное давление и частотная характеристика	33
14. Сущность скатывающей силы	35
15. Зачем и как регулируется компенсатор скатывающей силы?	39
16. Оценка интермодуляционных искажений	44
17. Кристаллический или магнитный звукоосциллятор?	47
18. Боковая и вертикальная составляющие рокота	51
19. Меняйте сами свои пластинки!	52
20. Коррекция по стандарту RIAA	53
21. Методы измерений параметров проигрывателя	58
22. Использование прямоугольных сигналов позволяет раскрыть много неизвестных качеств	61
23. Пластинки требуют больших забот	64

Магнитофон как источник Hi-Fi звука

24. Основные данные магнитных пент	67
25. Как оценивается магнитная лента	69
26. Что должен показывать индикатор уровня?	71
27. Автоматическая регулировка уровня при записи	76
28. Кассеты атакуют	77
29. Совместимость — одно из больших удобств кассеты	80
30. Ленты совершенствуются	82
31. Еще одна разновидность — восьмидорожечные кассеты	85
32. "Долбинизация" упрочивается	88
33. Техника DNL	90

Высококачественные стереоусилители

34. Стандарт DIN 45 500	93
35. Имеется несколько видов мощности	98
36. Сколько ватт необходимо?	100
37. Многоканальный тонкорректор	103
38. Фильтр "присутствия"	106
39. Каковы должны быть интермодуляционные искажения?	107
40. Компенсатор паразитного проникновения сигналов между каналами	108
41. "Суперстерео"	110
42. Что показывают сигналы прямоугольной формы?	111
43. Эффективный фильтр для шумящих грампластинок	113
44. Что требуется от источника питания?	116
45. Подавитель шумов в паузах	118
46. Индикатор баланса стереоусилителя	119
47. Воздействие цвета	120
48. Несколько "цветовых" приставок	121
49. Микшерный пульт начинает использоваться в домашней студии	125
50. Пятиканальный микшерный пульт для малого оркестра	128
51. Микшерный пульт для озвучивания в домашних условиях	129
52. Трех- и пятиконтактные разъемы	132

Акустические проблемы в Hi-Fi устройстве

53. Соображения при выборе акустических систем	136
54. Как размещать акустические системы	137
55. Искажения в громкоговорителе	140
56. Проблема громкоговорителя	144
57. Электрические или электронные фильтры для громкоговорителей?	146
58. Низкий КПД может быть полезен	147
59. Пассивные излучатели	148
60. Электромеханическая обратная связь	150
61. Головные телефоны: "за" и "против"	153
62. Несколько приставок к головным телефонам	155

Квадрафония

63. Все ближе к концертному залу	159
64. Системы CD-4 и SQ	161
65. Квадрафония доступными средствами	165
66. Приставка для псевдоквадрафонии	169
67. SQ-декодер	170

Приложения

Приложение 1	174
Приложение 2	174
Приложение 3	175
Приложение 4	176
Приложение 5	178

Список использованной литературы

182

95 к.

