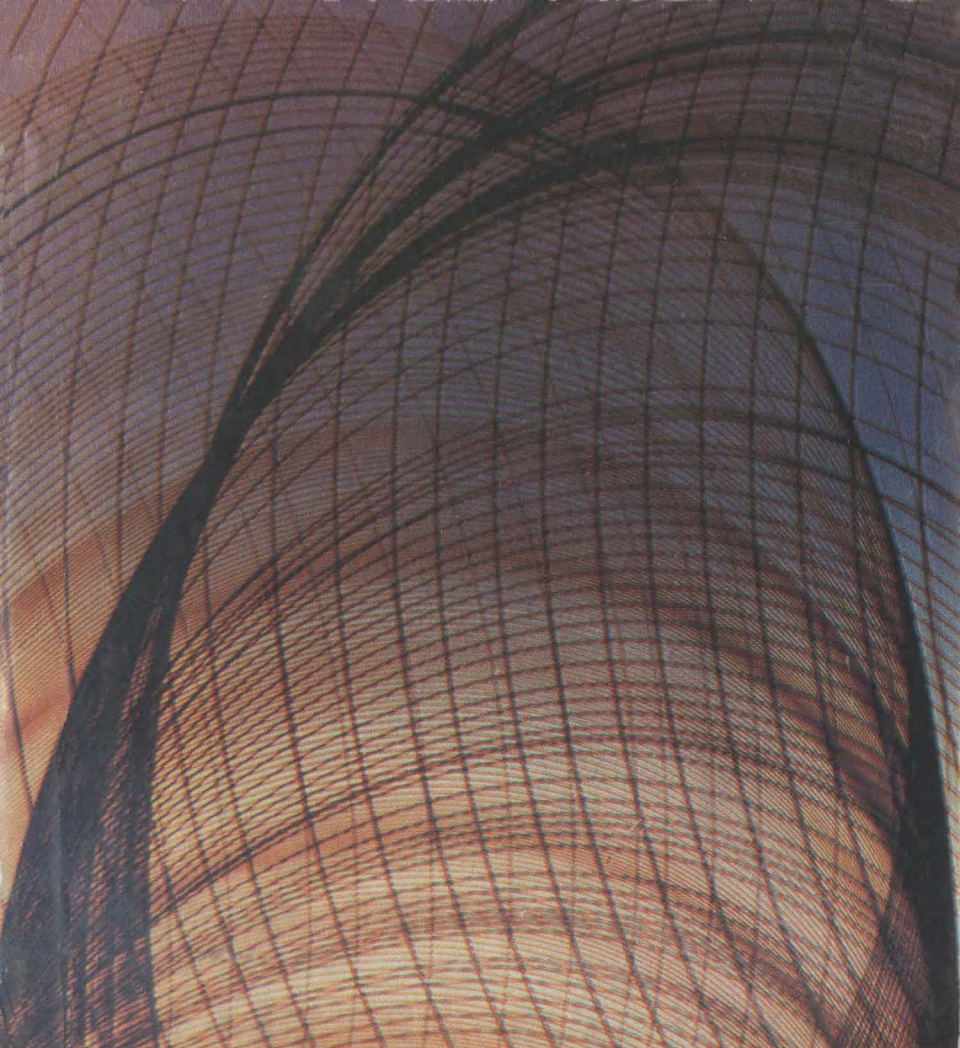




Л. ДЕГРЕЛЛ



ПРОИГРЫВАТЕЛИ
И ГРАМПЛАСТИНКИ

Советско-венгерская
библиотека по радиоэлектронике

Л. Дегрелл

ПРОИГРЫВАТЕЛИ И ГРАМПЛАСТИНКИ

Перевод с венгерского В. К. Пискарева
под редакцией Ю. А. Вознесенского

Москва «Радио и связь» 1982



ББК 32.871
Д26
УДК 681.844

Дегрелл Л.
Д26 Проигрыватели и грампластинки: Пер. с венг. /
Под ред. Ю. А. Вознесенского. — М.: Радио и связь,
1982. — 176 с., ил. — (Сов.-венг. б-ка по радиоэлек-
тронике).

60 к.

В популярной форме рассказывается о проигрывателях и грам-
пластинках. Приводятся примеры конструкций проигрывателей. Да-
ются советы по уходу за аппаратурой и содержанию домашней фо-
нотеки.

Для широкого круга читателей.

Д 2402030000-125 183-82
046(01)-82

ББК 32.871
6Ф2.7

**Редакция научно-популярной литературы
и массовой радиобиблиотеки**

DEGRELL LÁSZLÓ
**LEMEZJÁTSZÓK ÉS
HANGLEMEZEK**

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, BUDAPEST
SZOVJETSKOJE RAGYIO, MOSZKVA
1978

© Degrell László, Budapest, 1978

© Перевод на русский язык, издательство «Радио и связь», 1982

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемая вниманию читателей книга «Проигрыватели и грампластинки» содержит много полезных сведений по истории развития механической записи, технике производства грампластинок и конструкции воспроизводящей аппаратуры. С первых страниц книги автор стремится показать, что грампластинка — тонкое изделие, требующее осторожного и бережного обращения. В этом отношении полезны советы автора по уходу за грампластинками, их хранению и коллекционированию. Несомненно, книга явится хорошим дополнением к изданию «Механическая звукозапись» Л. П. Аполлоновой и Н. Д. Шумовой, выпущенному издательством «Энергия» в 1978 г.

Механическая запись звука постоянно развивается. Первые граммофоны с акустическим рупором заменены современными проигрывателями с программным управлением, мощными усилителями и широкополосными акустическими системами, звучание которых приближается к естественному. Значительные успехи достигнуты в технологии записи на лаковый диск, в совершенствовании гальванического процесса и процесса прессования грампластинок. Современная установка для записи на лаковый диск представляет собой сложный автоматический комплекс, работающий по заранее составленной программе. Все эти достижения привели к значительному повышению качества грампластинок. Дальнейшее совершенствование процесса записи на лаковый диск идет по пути снижения шума магнитной ленты. Перспективно в этом направлении применение цифровых способов студийной записи на магнитную ленту с последующим преобразованием сигналов в аналоговую форму в процессе перезаписи на лаковый диск.

Во многих странах (в том числе в СССР) разрабатываются музыкальные грампластинки с цифровой записью. Они позволяют воспроизвести сигналы в полосе 20—20 000 Гц с отношением сигнал/шум более 85 дБ, при коэффициенте нелинейных искажений менее 0,05% и практически незаметной детонации звука. Длительность звучания цифровой грампластинки диаметром 125 мм составляет 2×60 мин. Цифровые грампластинки отличаются от существующих, для их внедрения необходима полная замена всех проигрывателей более сложными. Вопрос о целесообразности такой замены пока еще не решен.

Для нас грампластинка остается проводником музыкальной культуры в широкие слои населения. Она позволяет прослушать в домашних условиях любимые музыкальные и литературные произведения, активно провести свой отдых. В книге большое внимание уделяется эстетической стороне восприятия музыки. Автор учит слушать музыку и ощущать акустическую обстановку концертного зала, в которую переносит слушателя музыка, записанная квалифицированным звукорежиссером.

Книга написана простым языком с минимальным количеством математических выкладок, однако техника производства грампла-

стинок и конструкции воспроизводящей аппаратуры рассмотрены достаточно полно. Терминология приведена к виду, привычному для советского читателя. Можно полагать, что книга представит интерес для широкого круга любителей грамзаписи и специалистов, занимающихся механической звукозаписью.

Отзывы и замечания по книге присылайте по адресу: 101000, Москва, Главпочтамт, а/я 693, изд-во «Радио и связь», редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки.

Ю. А. Вознесенский

ПРЕДИСЛОВИЕ К ВЕНГЕРСКОМУ ИЗДАНИЮ

Человек, любящий музыку, но слабо разбирающийся в технике, рассматривая витрину магазина радиотоваров, может оказаться в затруднительном положении, увидев стереофонический электрофон, а рядом с ним головку звукоснимателя стоимостью в два с половиной раза выше. Если к головке приобрести проигрыватель, усилитель и звуковые системы, то цена полного комплекта уже в двадцать — двадцать пять раз может превысить цену электрофона. А между двумя соперничающими устройствами можно увидеть черный диск из синтетической пластмассы с ценой, небрежно проставленной шариковой ручкой на конверте.

Невольно возникает вопрос: если одну и ту же грампластинку можно прослушать с обеих установок, какой смысл покупать более дорогую? И вообще, какие данные определяют качество установки?

Цель данной книги — осветить эти вопросы, описать устройства, используемые в настоящее время, а также конструкции, которые могут получить широкое распространение в будущем. Хотя основное внимание в книге уделяется проигрывателям и грампластинкам, дается также краткий обзор некоторых вопросов, связанных с прослушиванием музыки с грампластинки. К ним относятся запись звука, усилители, акустические системы, условия прослушивания музыки и, естественно, коллекционирование грампластинок.

Я стремился познакомить любителей музыки с обслуживанием проигрывателей и обращением с грампластинками, привлечь внимание радиолюбителей, модернизирующих свою аппаратуру только ради улучшения ее технических параметров, к музыкальному впечатлению, получаемому после повышения качества звукопередающих устройств. Надеюсь, что мои слова не останутся набором сухих данных, а окажут существенную помощь энтузиастам-любителям, которые, не жалея труда и времени, займутся улучшением своей аппаратуры и приобретут богатый опыт. И если их мнение не совпадает с мыслями, изложенными в книге, то можно будет и поспорить. Но только после прослушивания музыки, а не во время ее звучания...

Ласло Дегрелл

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГРАМЗАПИСИ

1.1. ПУТЬ К ЗАПИСИ ЗВУКА

Большая часть популярных трудов и научных работ, посвященных звукозаписи, начинается с хорошо известной старинной поговорки: «Сказанное улетает, написанное остается». Что же, начнем и мы с этой поговорки и сравним звучание слова с его написанием, иначе говоря, рассмотрим наиболее значительные этапы фиксации мысли. Первым в ряду информационных средств человека можно упомянуть способ получения настенных рисунков в пещерах (около 50 000 лет до нашей эры), а на второе место можно поставить клинопись Месопотамии (5000 лет до нашей эры). Для записи информации и в наши дни наиболее часто применяются эти два древних метода: нанесение на поверхность материала другого вещества (бумага и карандаш) и гравировка на поверхности какого-либо материала. Последняя технология используется для изготовления граммопластинок. Но прежде чем по времени мы перенесемся в эту эпоху, вспомним еще несколько дат. Около 900 лет до нашей эры были изготовлены первые отпечатки с каменных пластинок. Помимо технической достопримечательности этого события, большое значение имеет и сама идея, ибо родилось новое понятие: тиражирование.

Приведенная выше поговорка потеряла свою точность уже в 63 г. до нашей эры, когда был застенографирован текст одной из речей Цицерона. Интересно напомнить, что покрытые воском деревянные таблички еще в конце третьего столетия использовались в качестве тетрадей для записи, а Бонетинус (475—542 гг.) описал на них зависимость между звуком и скоростью движения.

Систематические исследования колебаний начались только после изобретения камертона Шоу в 1711 г. В это время в печатном деле предпринимались попытки получить трехцветные отпечатки. По мнению французского математика Дюамеля звук, т. е. колебания воздуха, можно записывать путем гравировки твердого материала (1830 г.). Сам он не занимался проектированием экспериментального прибора; за него это сделали Вильгельм Эдуард Вебер, Эйсенмангер и Эдуард-Леон Скотти де Мартенвиль. Звукозаписывающие устройства этих изобретателей начиная с 1830 г. были использованы для различных акустических исследований.

Нельзя забывать, что играющие аппараты существовали уже столетия до этого, но они по существу были только механическими автоматами. Своей конечной целью изобретатели ставили создание устройств, пригодных для записи и воспроизведения любого звукового явления, встречающегося в природе. И все же создание звучащих автоматов, имитирующих человеческую речь, встретилось с большими трудностями. В то время существовало странное представление, что голос артиста с хорошими вокальными данными может быть сохранен, если через его отрезанную голову продуть

воздух и с помощью рычагов приводить в движение звукообразующий аппарат. К счастью, о практическом осуществлении этой идеи в хрониках ничего не говорится...

Так как в середине XIX столетия в центре внимания находились проволочный телеграф и фотографии Даггера, свои первые шаги запись и воспроизведение звука сделали от этих двух изобретений.

1.2. ШАРЛЬ КРО И ТОМ ЭДИСОН

Шарль Кро был любителем-естествоиспытателем. Документы на изобретение под названием «Фонограф» он по совету друзей 30 апреля 1877 г. послал во Французскую академию наук и после признания своих идей рассчитывал получить средства для продолжения исследовательских работ. Сущность его изобретения заключалась в том, что «на покрытую сажей поверхность вращающегося стеклянного диска игла, прикрепленная к мембране, может записывать звуковые колебания. С этого диска на светочувствительной хромовой пластинке оптическим путем можно получить одну или несколько копий. Вращая металлическую пластинку и прослеживая изображение звука иглой, соприкасающейся с мембраной, можно вновь получить звук».

Но надеждам Кро не суждено было осуществиться, так как папка с его изобретением долгое время пролежала не раскрытой. В середине декабря ежедневные газеты опубликовали известие, что американский изобретатель Эдисон продемонстрировал аппарат, пригодный для записи и воспроизведения звука. Тогда по настоянию Кро был найден лежащий без движения в архиве пакет и хотя Академия наук публично признала правильность его идей, в финансовой поддержке, на которую он возлагал надежды, было отказано.

Имя Томаса Альвы Эдисона было знакомо читателям газет. Этот тридцатилетний человек уже десять лет удивлял мир своими изобретениями. В середине 1877 г. он работал над повышением быстродействия телеграфного аппарата. По его замыслу знаки Морзе, составляющие телеграмму, пробивались в виде дырок на бумажной ленте. Протягивая ленту с большой скоростью через машину нового типа, можно было снизить время передачи телеграммы, т. е. повысить пропускную способность телеграфных линий. Когда перфорированные бумажные ленты двигались под стальными контактными иглами считывающего прибора, то они вызывали изменяющиеся по высоте звуки. Эдисон заинтересовался этим явлением и занялся его изучением, отложив начатые работы. Он покрыл бумажную ленту слоем воска и записал на нем иглой, прикрепленной к мембране, хорошо различимые телеграфные знаки. Воодушевленный этим успехом, Эдисон за три недели разработал чертежи нового устройства и передал их для изготовления прибора одному из своих близких сотрудников шведу Джону Круеши. Принцип работы прибора он не пояснил. Круеши шаг за шагом собирал аппарат неизвестного назначения, состоящий из вала с рукояткой и металлического каркаса, смонтированного на деревянной подставке. На валу был закреплен пустотелый цилиндр, который при круговом вращении рукоятки продвигался перед иглой на постоянное расстояние, соответствующее шагу винтовой резьбы. Игла была прикреплена к круглой мембране, заключенной в короткий рупор. В конце ноября Круеши поставил аппарат на стол Эдисона. Эди-

сон плотно натянул на цилиндр станиоль, подвел иглу к поверхности цилиндра, осторожно начал вращать рукоятку и в прикрепленный к мембране рупор пропел первую строфу детской песенки «У Мери была овечка». Затем он отвел иглу от цилиндра, рукояткой вернул его в исходное положение, вставил иглу в только что выдавленную канавку и вновь начал вращать цилиндр. И со стороны мембраны тихо, но разборчиво прозвучала детская песенка.

Именно поэтому летоисчисление звукозаписи принято начинать с октября 1877 г.

1.3. ФОНОГРАФ

Может быть, по простой случайности, но более вероятнее, по аналогии со словом «телеграф», наименование «фонограф» (по гречески записыватель звука) независимо один от другого дали звукозаписывающему устройству и Кро, и Эдисон. После первого памятного эксперимента последовали дни и ночи кропотливой работы по совершенствованию прибора. Эдисон и его сотрудники многократно записывали и воспроизводили звуки, и в то же время постоянно модифицировали отдельные узлы, оценивая работу на слух. Они изменяли положение иглы и крепление мембраны, а на валу укрепили маховик, снизивший неравномерность ручного привода. Через несколько дней отпала необходимость в сохранении тайны сотрудниками и Эдисон сам отвоз свой прибор для демонстрации в редакцию научно-технического журнала «Сайэнтифик Америкэн».

Известие об устройстве распространилось мгновенно. Президент США Рутерфорд Хейс тоже попросил продемонстрировать ему фонограф. На этом показе Эдисон определил в 10 пунктах цель своего изобретения. Среди них было девять прозаических применений (диктовка писем, книги для слепых, служба точного времени, ораторское искусство, культура речи, изучение иностранных языков и так далее). И это не удивительно, ведь Эдисон не интересовался музыкой и к тому же имел пониженный слух.

В скором времени, наряду с хвалебными высказываниями о фонографе, появились и объективные работы, говорившие о его недостатках. На один валик фонографа можно было записать примерно сто слов, которые нужно было говорить с очень близкого расстояния. Устройство не фиксировало звук «ш», а отдельные звуки, такие, как «д» и «т» воспроизводились одинаково. Однако главным неудобством было то, что оловянный валик выдерживал только около пяти проигрываний.

Заявка на изобретение прошла все инстанции за три месяца и была зарегистрирована 19 февраля 1878 г. Эдисон продолжал интенсивно работать над усовершенствованием фонографа и в качестве переходного варианта экспериментировал с оловянной пластинкой, имевшей форму диска. Он испытывал пружинный привод от часового механизма вместо ручного привода, изготовил электрический фонограф, приводимый в движение десятиполосным двигателем постоянного тока сначала с помощью фрикционных колес, а затем ременной передачи. Интерес широкой публики к фонографу за этот год почти полностью исчез, и Эдисон сосредоточил свои усилия на разработке лампы накаливания. Ее успешная демонстрация состоялась 2 января 1880 г.

Изобретатель телефона Белл в 1885 г. вновь решил заняться фонографом и изготовил для него бумажный диск, покрытый вос-

ком. Свой прибор он назвал графофоном. Эдисон десятью годами позже заменил валик со станиолевым покрытием сплошным восковым валиком, с которого можно было без особого труда сточить ранее записанные канавки. Используя восковые валики и применив для записи алмазную иглу, Эдисон добился улучшения качества звука и увеличил время звучания. Можно было начать изготовление музыкальных записей, но с восковых валиков звук воспроизводился более тихим, чем с оловянных, поэтому их стали прослушивать через трубку, вставленную в ухо на манер стетоскопа. Между тем возникло требование тиражирования записей. В первое время каждую запись изготовляли индивидуально: одну двухминутную песню одновременно записывали десятью фонографами, после этого устанавливали новые валики и запись производили вновь. В один и тот же день такую запись приходилось повторять по полсотни раз. Позднее были предприняты попытки акустической перезаписи с одного валика на другие. При таком тиражировании с одного валика получали десять первых копий, а затем с каждой из них десять вторых копий. Было испытано также гальванопластическое тиражирование восковых валиков стандартных размеров (длина 115 мм, диаметр 50 мм), которое стало возможным благодаря остроумной идее, основанной на использовании ламп накаливания Эдисона. Восковой валик с первичной записью (оригинал) помещали в вакуумную трубу. Индуктор высокого напряжения подключали к двум электродам, протянутым в вакууме. Один из электродов изготавлили из золота, атомы которого отделялись и притягивались другим электродом. Между электродами медленно вращался восковой валик, на поверхности которого оседал слой золота. Затем на этот слой гальваническим путем наращивали более толстый слой никеля. После нагревания воск вытапливали из металлической цилиндрической формы. Таким образом получали литейную модель. Ее заливали горячим воском, на котором отформовывались канавки первичного валика. При остывании воск сжимался и валик легко вынимали из литейной формы¹.

1.4. ГРАММОФОН ЭМИЛЯ БЕРЛИНЕРА

В 1870 г., девятнадцати лет отроду, Берлинер покинул родительский дом в Германии и направился в Америку. Там он выполнял работы, не требующие квалификации, а свободное время проводил в библиотеках. Особенно заинтересовало его описание изобретенного Беллом телефона. Прилежно работая, ему удалось внести в него некоторые усовершенствования. На полученные деньги была создана домашняя лаборатория. Здесь он много занимался фонаутографом Скотта. Берлинер установил, что этот прибор создает на закопченной пластинке канавки постоянной глубины, выписывая звуковые колебания в виде поперечных отклонений. Игла фонографа Эдисона, следуя колебаниям мембраны, выдавливала на валике канавку переменной глубины. Берлинер предположил, что для записи звука на плоской пластине можно использовать

¹ Гальванопластический способ тиражирования восковых валиков не получил практического применения. Отсутствие удобного способа тиражирования валиков явилось основной причиной, ограничившей их распространение. Здесь и далее примечание редактора. — *Прим. ред.*

поперечные колебания. Во время поисков в библиотеке Берлинер натолкнулся на описание принципов записи звука, сформулированных Кро. Они совпадали с его собственными представлениями, поэтому сначала он построил и опробовал прибор Кро. Записанную на стекле спиральную звуковую канавку Берлинер фотохимическим способом скопировал на цинковую пластинку. Его надежды оправдались: с металлической пластинки можно было воспроизводить звук. На разработанное устройство, названное граммофоном, был получен патент 26 сентября 1887 г., т. е. через 10 лет после получения патента на фонограф.

Признание его работы побудило Берлинера к дальнейшим исследованиям. Он поставил перед собой задачу устранить наиболее слабый этап процесса — медленное и неточное светокопирование. В результате систематических исследований, проводившихся в течение нескольких месяцев, был разработан более надежный метод. По этому методу на поверхности цинковой пластинки, покрытой воском, процарапывалась канавка; затем пластинку заливали соляной кислотой и вытравливали на ней места, соответствующие царапинам в воске. Громкость, получаемая с изготовленных таким способом пластинок, была выше, чем при оптическом копировании. Процесс травления и полученные с его помощью пластинки были продемонстрированы специалистам летом 1888 г. Наиболее значительным было признано не техническое решение, предложенное Берлинером, а его представление, что вместо сохраняемых с трудом валиков фонографа, который уж получил достаточно широкое распространение как диктофон, можно выпускать легко тиражируемые и удобные в обращении плоские пластинки, содержащие записи развлекательного и художественного характера. Новым было и его предложение выплачивать при создании записи гонорар исполнителям. Эти намерения коренным образом отличались от целей говорящей машины, характеризующих фонограф. Берлинер серьезно поставил перед собой задачу проложить путь в каждый дом музыки, записанной на пластинке. В результате пятилетней настойчивой и упорной работы были разработаны гальванопластический процесс тиражирования с позитива цинкового диска и технология прессования грампластинок из эбонита при помощи стальной печатной матрицы. Было основано общество, организовавшее завод, на котором началось мелкосерийное тиражирование пластинок. Эбонит был заменен шеллаком, из которого можно было прессовать дешевые пластинки хорошего качества. Главным препятствием широкому распространению изобретения было отсутствие приводного двигателя, пригодного для вращения диска проигрывателя. Диск приходилось вращать вручную. Использовать привод от фонографа со стальной пружиной запрещалось охраной авторских прав. Берлинер должен был применить только самостоятельно разработанный двигатель. Он обратился с просьбой к работавшему в городе Камдена специалисту по приборам Эдмунду Р. Джонсону сконструировать для граммофона дешевый привод. Джонсон изготовил двигатель, но после демонстрации Берлинер признал его непригодным и взял свое поручение обратно. И если граммофон все же не оставался без двигателя, это целиком заслуга Джонсона, который несмотря на отказ сконструировал новый тип двигателя. Он взял за основу пружинную систему, использовавшуюся не в фонографах, а в швейных машинах. Вторая модель двигателя настолько понравилась Берлинеру, что летом 1896 г. он заказал их в количестве 200 шт. Скромная мастерская Джонсона вскоре превратилась в настоящий

завод. Одновременно с этим Берлинер в лице Джонсона приобрел партнера, обладавшего незаурядными коммерческими способностями. Их предприятие начало процветать, что вызвало неудовольствие со стороны фирм, занимавшихся выпуском фонографов Эдисона. Началась конкурентная борьба. Появились статьи в газетах, дело дошло до суда. Джонсон поддержал изобретение Берлинера, но вскоре оказался на краю банкротства. Юристы запретили продажу пластинок, изготовленных по методу Берлинера. Однако за два года, пока длился процесс, Джонсон разработал способ записи на восковой диск и метод получения с него гальванопластической матрицы (1901 г.) и создал самостоятельную фирму «Джипэн Виктор Компани» («Джи-Ви-Си») по производству звуковых аппаратов и пластинок. Берлинер со временем отстоял свое право на патент, а Джонсон не запатентовал процесс записи на восковой диск, разработанный на основе идей Берлинера. Воспользовавшись этим обстоятельством, один из сотрудников Джонсона тайно запатентовал это изобретение и продал его затем фирме «Колумбия Бродкастинг систем» («Си-Би-Эс»). Берлинер со своим сотрудником не решился снова возобновить бессмысленный юридический спор, а без покупки патента продолжал производство пластинок, потому что фирма «Си-Би-Эс» без разрешения Берлинера выпускала граммофоны ...

Решить этот спор чрезвычайно трудно, так как в 1884 г., т. е. за три года до получения патента на граммофон, Тайнер, один из сотрудников Белла, составил записку в десяти томах для подтверждения прав на проигрыватель пластинок Белла—Тайнера. Можно предположить, что этот проигрыватель не получил распространения из-за неудобств, связанных с вращением диска в вертикальной плоскости.

1.5. ПЕРЕХОД К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ЗВУКА

В первые годы двадцатого века центром производства пластинок была фирма «Джи-Ви-Си», руководимая Берлинером и Джонсоном. Директором английского филиала фирмы компании «Дойче Граммофон Гезельшафт» («Граммофон») был Гейсберг, который с подлинной деловитостью работал над усовершенствованием процесса записи. Ему удалось убедить некоторых известных артистов сделать свои записи для пластинок. В России эти записи появились на пластинках, имевших красивые этикетки с золотыми буквами на красном фоне вместо обычных выгравированных надписей. Так родилась первая в истории пластинок серия записей серьезной музыки, в которой среди других были записи Шалыпина и Карузо. Берлинер приобрел у лондонского партнера изображение собаки, сидящей перед граммофоном и слушающей голос хозяина, и начал рекламировать его в качестве символа фирмы. Записи на пластинку голоса Карузо подняли популярность певца, в то же время и сами пластинки становились все более и более популярными. За пластинками с танцевальной музыкой диаметром 175 мм последовали пластинки диаметром 250 и 300 мм с записями классической музыки в исполнении известных артистов.

Конкурентная фирма «Си-Би-Эс» также попыталась выпустить подобную серию, но ее записи звучали хуже записей Гейсберга. Одной из причин этого была тщательная обработка Гейсбергом музыкального материала. Например, Карузо не успокаивался до тех

пор, пока не доводил до совершенства мельчайшие фрагменты записи. Запись производили акустически через рупор, поэтому исполнитель должен был занять правильное положение перед рупором, чтобы записать звук достаточной громкости, но с минимальными искажениями. Во время записи следовало заботиться и о правильной частоте вращения диска, которую в это время устанавливали между 68 и 88 мин⁻¹. Несколько позже, учитывая частоту американской сети 60 Гц и снижение частоты вращения двигателя (3600) в отношении 1:46, была установлена частота 78,26 мин⁻¹.

В то же время не ослабевал интерес к фонографам, время звучания с которых было увеличено путем уменьшения размеров канавки на валиках и увеличения плотности записи. Такие валики звучали до пяти минут и выдерживали большое число проигрываний.

Однако техника производства пластинок вновь шагнула вперед благодаря новой идее, которая в настоящее время всем кажется очевидной. В 1904 г. стало известно о сенсации Лейпцигской ярмарки — появлении пластинок фирмы «Одеон», проигрываемых с двух сторон. Это нововведение позволило удвоить время звучания пластинки. После обычных юридических споров все фирмы стали выпускать двухсторонние пластинки. Эдисон не оставался в стороне от этих открытий и разработал новый тип пластинки, на которой вместо поперечной записи Берлинера применил глубинную запись, оправдавшую себя в фонографах, производство которых в конце десятилетия прекратилось, хотя валики для них продолжали изготавливать до 1929 г. Пластины с глубинной записью применялись вплоть до второй мировой войны.

В первом десятилетии производство пластинок начало удовлетворять требования покупателей. Джонсон, идя навстречу пожеланиям женщин, спроектировал граммофон, который хорошо вписывался в интерьер комнаты. Его викторола получила распространение (экстраграммофон фирмы «Си-Би-Эс» провалился). Увеличился выбор программ, а обычный фортепьянный аккомпанемент был заменен оркестровым сопровождением. Особенно чисто записывалось звучание духовых инструментов, звук смычковых инструментов был улучшен путем применения рупоров специальной формы. Были осуществлены первые оркестровые записи симфонической музыки. Наибольшую известность получила запись на четырех пластинках 5-й симфонии Бетховена в исполнении оркестра Берлинской филармонии под управлением Артура Никиша. В списке пластинок, выпущенных фирмой «Джи-Ви-Си» в 1917 г; помимо записей оперетт и других развлекательных программ привлекла внимание и первая запись джазовой музыки.

В 1923 г. вышел в свет первый номер журнала «Граммофон», предназначенного специально для собирателей пластинок.

В первой половине 20-х годов во всем мире стало развиваться радиовещание, позволившее передавать звуки на расстояние. Для приема радиовещательных программ использовались приемники и усилители на электронных лампах и громкоговорители, которые уже в самом начале излучали звук лучшего качества, чем наиболее совершенные в то время граммофоны. Но вопреки всем ожиданиям радиовещание не вытеснило граммофон, а в определенной степени даже укрепило его позиции. Это произошло благодаря введению электрического способа записи звука.

Впервые в истории вопросы звукозаписи начали изучать в лабораториях фирмы «Белл». В этом научном учреждении были вы-

яснены физические и математические зависимости звукозаписи, и в результате проведенной исследовательской работы, длившейся несколько лет, был освоен электромеханический процесс звукозаписи. Полоса частот и динамический диапазон записей, проведенных с использованием микрофонного усилителя и электрического станка для звукозаписи, намного превосходили показатели акустической записи, а искажения были уменьшены в больших размерах. Был создан также и электрический проигрыватель, но для всеобщего распространения он был в то время еще чрезвычайно дорог. Поэтому все усилия были направлены на совершенствование акустических проигрывателей. Несмотря на это, качественные показатели электрической записи на пластинках были лучше показателей акустических проигрывателей. Поэтому специалисты фирмы «Белл» справедливо ожидали, что интерес к новой технике окажется большим. Но их ждало разочарование. Фирма «Джи-Ви-Си», которая в 1924 г. имела 13 000 рабочих и выпускала половину пластинок, производившихся в Америке, проявила колебание в отношении внедрения электрического способа записи и многие фирмы вслед за ней не пожелали рисковать.

Однако в течение года все же начался новый век в технике грамзаписи и произошло это довольно необычно. Производство экспериментальных пластинок, записанных электрическим способом, фирма «Белл» поручила второстепенному заводу. Руководитель фирмы несколько образцов новых пластинок тайно послал своему старому другу Л. Штерлингу, который был директором фирмы в Англии. Прослушав пластинки, Штерлинг был настолько поражен их качеством, что с первым пароходом немедленно отправился в Америку, чтобы закупить там для своего предприятия секрет электрического способа записи. Однако фирма «Белл» отклонила его просьбу, так как рассчитывала передать описание процесса только американскому предприятию. Тогда Штерлинг в течение нескольких дней купил стоящее на пороге банкротства бывшее материнское предприятие—американскую фирму «Си-Би-Эс». Фирма «Джи-Ви-Эс» также не осталась в стороне и заключила договор на получение процесса и вскоре подготовила для продажи первую пластинку с записью звука электрическим способом. Фирмы «Джи-Ви-Си» и «Си-Би-Эс» договорились не предоставлять на пластинках данных с способом их изготовления, что затруднило бы продажу накопленной до того времени продукции. Вместе с тем они предложили магазинам реализовать имеющиеся запасы. Только 2 ноября 1925 г. было публично объявлено о важнейшем изменении. На этот день был назначен выпуск в продажу усовершенствованного проигрывателя фирмы «Белл», который называли «Ортофоник Викторола».

Началась конкурентная борьба за обладание правом на электрический способ записи звука. В Европе инженеры фирмы «Граммофон» были вынуждены собственными силами разрабатывать аналогичный процесс, который обходил бы пункты патента. Берлинер и Джонсон продали свое предприятие и через несколько лет объединились с американской корпорацией «Ар-Си-Эй». В это время разразился экономический кризис. Европейские предприятия по производству пластинок были объединены фирмой «Электрикэл энд Мьюзикл Индастриз» («ЭМИ»). Торговля пластинками в Америке за несколько лет снизилась со 100 до 6 миллионов штук. Производство пластинок находилось в состоянии застоя и, по общему мнению, к его процветанию мог привести только прогресс в технике. В сентябре 1931 г. фирма «Ар-Си-Эй» продемонстрировала долго-

играющую пластинку с частотой вращения $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹. Для этой пластинки были использованы старые записи невысокого качества, поэтому ее демонстрация закончилась неудачей. В увеселительных заведениях появились автоматические граммофоны, а в 1934 г. фирма «Ар-Си-Эй» выпустила дешевый проигрыватель, который способствовал восстановлению производства пластинок.

Через десять лет после внедрения электрического способа записи среди собирателей пластинок распространилось новое течение, целью которого было повышение качества звучания. Свое название течение получило от английских слов High Fidelity (Hi-Fi), что означает высокую степень соответствия. Повышение качества можно проследить по расширению полосы передаваемых частот. Если в 1925 г. полоса частот занимала диапазон 100—5000 Гц, в 1929 г. 50—6000 Гц, то в 1934 г. диапазон передаваемых частот расширился до 30—8000 Гц. Начался процесс повышения качественных показателей проигрывателей и совершенствования технологии производства пластинок.

1.6. ДОЛГОИГРАЮЩИЕ ПЛАСТИНКИ

Английская фирма «Декка», не входившая в число членов «ЭМИ», избежала банкротства благодаря выпуску дешевых записей серьезной музыки. Это мероприятие помогло ей стать одной из крупнейших фирм грамзаписи. Ее примеру пытались последовать фирмы «Си-Би-Эс» и «Ар-Си-Эй».

Во время второй мировой войны выпуск пластинок начал сокращаться. Одна только американская промышленность пластинок ежегодно требовала шеллака для 130 миллионов пластинок. Помимо забот о снабжении материалами, затруднилось и обеспечение программами. Установленные в увеселительных заведениях несколько сот тысяч музыкальных автоматов отнимали работу у большого числа музыкантов, поэтому профсоюз музыкантов в августе 1941 г. запретил своим членам участвовать в записях для пластинок. Некоторое время заводы выпускали пластинки со старыми записями, однако их сбыт становился все более трудным.

Тяжелое положение создалось и в области развития техники. По поручению английского военного командования фирма «Декка» для учебных целей разработала способ записи полной полосы звуковых частот. В Германии исследователи фирмы «Сименс» разработали технологию получения матриц с восковых дисков способом их серебрения. Было разработано также оборудование для магнитной записи звука, получившее название «магнитофон». После войны во всем мире начались работы по его усовершенствованию для использования в домашних условиях. Аппаратура для магнитной записи звука с самого начала имела определенные преимущества перед грамзаписью. Можно было ожидать, что в производстве пластинок наступит длительный спад. В такой обстановке особенного энтузиазма не встретило заявление директора фирмы «Джи-Ви-Си» Э. Валленштейна, в котором представители прессы приглашались на демонстрацию долгоиграющей пластинки нового типа (Long Play) в зале нью-йоркской гостиницы — там, где когда-то фирма «Ар-Си-Эй» продемонстрировала электрический способ звукозаписи. Для наглядности была сооружена башня высотой в два с половиной метра из положенных одна на другую обычных пластинок, а рядом был по-

мещен столбик из пластинок нового типа, имевших такое же время звучания. Высота этого столбика составляла 30—40 см.

В отличие от четырехминутной программы обычной пластинки музыкальные отрывки с новой пластинки звучали без перерыва больше четверти часа и по единому мнению присутствующих качество звучания было намного лучше, а шум от иглы почти неслышен. В результате сравнения длительностей различных музыкальных произведений было установлено, что время звучания каждой из сторон пластинки должно быть по 20 мин. Для этого частота вращения была снижена с 78 до 40 мин⁻¹, а затем была установлена частота вращения 33 $\frac{1}{3}$ мин⁻¹. Для повышения качества звучания был разработан новый материал для пластинок и уменьшены размеры звуковых канавок. Для отличия новых пластинок от шеллачных их стали называть долгоиграющими.

Стоковский и Флетчер предложили установить верхнюю границу диапазона записи на частоте 13 кГц. Технику записи для долгоиграющих пластинок с микроканавками разработал Петер Гольдмарк, венгр по происхождению, родившийся в Будапеште в 1906 г. С 1 января 1936 г. до ухода на пенсию в 1971 г. Гольдмарк был сотрудником фирмы «Си-Би-Эс».

Интересное мнение сложилось у сотрудников фирмы «Ар-Си-Эй» о пластинках с микроканавками. Они были против этого нововведения, так как считали, что магнитофоны в будущем вытеснят пластинки с серьезной музыкой, но останутся только пластинки с танцевальной музыкой. Для этой цели была разработана пластинка с частотой вращения 45 мин⁻¹ диаметром 175 мм, время проигрывания которой составляло 4—5 мин. Однако этот расчет не оправдался. Техника производства пластинок взяла на вооружение магнитофон, оказавший большую помощь при производстве записей. С другой стороны, сформировалось равновесное положение, при котором техническое развитие магнитофонов и проигрывателей проходило параллельно. В это время выяснилось, что магнитофон примерно в 3 раза дороже проигрывателя, равноценного по качеству, а тиражирование магнитных фонограмм в заводских условиях пока еще было нерешенным вопросом. Для записей в домашних условиях необходимо время, специальные знания и дорогая магнитная лента. Конкурентная борьба фирм, выпускавших пластинки с частотами вращения 33 $\frac{1}{3}$ и 45 мин⁻¹, была, наконец, разрешена фирмой «Филадельфия Пилко», выпустившей проигрыватель для этих двух типов пластинок.

Для проигрывания обычных пластинок в 1938 г. был разработан звукоосниматель с прижимной силой 300 мН (1 мН=0,102 Гс). К 1947 г. прижимная сила была успешно снижена до 100 мН.

В 1950 г. Эдуард Рейн и Исследовательская лаборатория фирмы «Граммофон» разработали станок для записи с переменным шагом, при которой расстояние между канавками устанавливалось в зависимости от амплитуды записываемых сигналов. Так, при записи сигналов с небольшими амплитудами канавки располагались близко одна к другой, а при увеличении амплитуды сигналов они раздвигались. С этим нововведением динамический диапазон пластинок увеличился примерно на 10 дБ, а время звучания на несколько минут.

В Венгрии производство пластинок началось после национализации предприятий в 1951 г., проведенного на основании решения Совета народной республики. Вначале на Венгерском заводе граммопластинок работали только 10 человек. Затем предприятие расши-

рилось, получило зрительный зал, пригодный для студийных записей. Увеличилось число экспортируемых пластинок, что сделало возможным проведение больших капиталовложений. Было получено новое оборудование и в 1958 г. начался выпуск пластинок с микроканавками. Годом позже была выпущена первая звуковая открытка. На одной ее стороне можно было написать сообщение, а на другой помещалась цветная фотография, покрытая прозрачным слоем, на котором были отпрессованы звуковые канавки. Звуковые открытки пользовались большим спросом. Было освоено также изготовление гибких пластинок, служивших в качестве приложений к книгам и журналам (1965 г.). В 1974 г. производство виниловых пластинок диаметром 300 мм достигло 2 миллионов штук в год. Начиная с 1962 г. постоянно увеличивался выпуск стереофонических пластинок.

2. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИНОК

Специалисты-музыковеды составляют тематические планы записей для пластинок с учетом их спроса на рынке. Предлагаемый в магазинах ассортимент пластинок состоит из двух частей: новые записи и набор ранее выпущенных пластинок. Проследим процессы изготовления пластинок, начиная от подбора записей до выпуска готовых изделий. Первым шагом является перезапись составленной программы с магнитной ленты на лаковый диск. Далее следуют гальванопластический процесс получения металлических оригиналов и прессование пластинок. Начнем с изложения в общих чертах техники механической звукозаписи.

2.1. ЗАПИСЬ ЗВУКА

Запись звука на магнитную ленту для пластинки осуществляется такими же методами, как запись звука для радиовещания, телевидения и звукового кино. Однако записи для пластинки имеют не информационный или сопровождающий характер, главная их цель — полноценная запись звуковой информации. Эти записи могут быть использованы и для будущего поколения, поэтому они должны быть выполнены на высоком техническом и художественном уровнях.

Помещение, в котором должна проводиться запись, всегда определяется записываемой программой. Обычно записи производятся в различных по размеру студиях, оснащенных разнообразной аппаратурой, позволяющей, в частности, изменять время реверберации. При наличии передвижного студийного оборудования записи производятся в специальных помещениях, например в студии, театре или соборе. Запись, как правило, проводится без публики. Ее присутствие хотя и повышает достоверность происходящего явления, но в значительной степени затрудняет техническое выполнение записи.

В студиях большого размера музыканты отделены от технического персонала, проводящего запись, звукоизолирующей перегород-

кой со стеклянным окном; отсюда звукорежиссер и инженер по звуку управляют записью техническими средствами звукозаписи. Запись звука осуществляется магнитным способом. Однако в последнее время вновь появились пластинки с прямой записью. Их изготавливают не традиционным способом акустической записи, а при помощи электроакустического оборудования, в котором между микрофоном и станком записи не используется магнитофон. Главное преимущество таких пластинок заключается в более широком динамическом диапазоне и линейной фазовой характеристике. К их недостатку относится запись с постоянным шагом или ручная его регулировка по партитуре записываемого произведения. Заметим, что измерительные пластинки в большинстве случаев изготавливают методом прямой записи с генератора.

В настоящее время большинство пластинок выпускается стереофоническими. Стереофоническое восприятие, в отличие от монофонического, возможно благодаря механизму направленности слуха, работающему на основе разницы по времени прихода сигналов к двум ушам слушателя и интенсивности сигналов. Прослушивание на монофоническом оборудовании стереофонических записей, изготовленных по способу разницы интенсивностей звука, дает хороший результат, ибо такие записи совместимы с монофоническими. Любая стереофоническая система содержит два независимых канала, по которым передаются отдельные информации. Устанавливая два громкоговорителя на заданном расстоянии один от другого и подавая на каждый сигнал соответствующего канала, можно получить пространственное распределение оркестра. Если по каждому каналу передать два одинаковых сигнала, то возникает впечатление звучания мнимого источника звука, находящегося между двумя громкоговорителями.

Звук отдельных инструментов, групп инструментов принимается динамическим или конденсаторным микрофоном и звуковой сигнал после микшерного пульта поступает на звукозаписывающий аппарат. Микшерный пульт и другое студийное оборудование для снижения уровня шумов имеют симметричные входы и выходы, а также малое выходное сопротивление. В самом простом случае стереофоническую запись можно осуществить с помощью двухканального магнитофона. При наличии более сложного оборудования производят многоканальную, например двадцатичетырехканальную, запись. Сигналы с каждой дорожки записи в оптимальных соотношениях сводят затем на две дорожки магнитной ленты.

Для современных студийных записей применяют магнитофоны со скоростью 38,1 см/с, ширина используемой магнитной ленты 6,25 мм. На этой ленте сигналы левого и правого каналов записывают на отдельные дорожки.

Отклонения амплитудно-частотной характеристики канала воспроизведения по измерительной ленте должны быть в диапазоне 31,5—63 Гц не более 3 дБ, в диапазоне 63—8000 Гц не более 1,5 дБ и в диапазоне 8—16 кГц — не более 3 дБ.

Отношение сигнал/шум относительно номинального уровня записи 510 нВб/м должно быть не менее 66 дБ. Разделение между каналами в диапазоне частот 250—4000 Гц должно быть не менее 40 дБ. Для контроля уровня записи в Европе получили распространение малоинерционные индикаторы со световым указателем, а в Америке — сконструированные ранее более инерционные индикаторы со стрелочным указателем, так называемые волюметры. Чувствительность этих двух типов приборов к импульсным сигналам отли-

чается, но при использовании любого из них на пластинке можно встретить кратковременную перемодуляцию, что вызывает затруднения главным образом во время проигрывания.

Ранее заводы пластинок гордились тем, что на их пластинках прослушивается шум ленты, что свидетельствует о высоком качестве прессования. В настоящее время прилагаются большие усилия, чтобы сделать шум ленты как можно менее заметным, но на тихих музыкальных отрывках или во время паузы его и сегодня еще можно услышать. Для снижения шума ленты предлагались различные способы, из которых наибольшее распространение получил шумоподаватель Долби А. В этом шумоподавители слабые сигналы перед записью на магнитную ленту усиливаются в большей степени, чем сильные сигналы. При воспроизведении слабые сигналы вместе с шумом ослабляются в том же соотношении. Этот процесс требует идентичности относительных уровней сигналов, снимаемых с различных студийных приборов. Как недостаток шумоподавителя Долби можно упомянуть небольшое неестественное изменение времени нарастания и затухания сигналов отдельных инструментов. Лучшим решением вопроса шумоподавления представляется замена аналогового процесса магнитной записи цифровым и использование для этой цели магнитофонов, работающих с импульсно-кодовой модуляцией. При цифровой записи шумы теоретически можно сделать как угодно малыми. Вообще цифровая запись имеет ряд достоинств по сравнению с аналоговой магнитной записью звука, к которым относятся меньшие искажения, отсутствие дегонации, линейная фазовая характеристика и равномерная частотная характеристика. Кроме того, запись с импульсно-кодовой модуляцией можно хранить и тиражировать без ухудшения качества.

При записи музыкального произведения звукорежиссер изготавляет несколько вариантов музыкальных отрывков, следующих один за другим. В этих отрывках он удаляет части с дефектами и заменяет их частями с хорошим качеством. Таким образом, можно смонтировать ленту с хорошей фонограммой. Монтаж требует знания музыки. Если монтаж ленты производится с миллиметровой точностью, то при записи со скоростью 38,1 см/с склейки получаются практически незаметными. С смонтированной ленты перезаписывается первый оригинал, с которого получают скорректированный оригинал, предназначенный для перезаписи на лаковый диск.

Запись на магнитную ленту является очень трудоемким этапом производства пластинок. В отдельных случаях 1 мин звучания пластинки требует 100 мин кропотливой работы. Иначе говоря, магнитная запись для пластинок со звучанием каждой стороны по 30 мин может продолжаться одну-две недели!

Оригиналы магнитных записей хранят в архиве при строгом соблюдении специальных условий. Их необходимо беречь от пыли, колебаний температуры и влажности, а также воздействия внешних магнитных полей. Из фонотеки магнитная фонограмма поступает в помещение для перезаписи на лаковый диск.

2.2. ПЕРЕЗАПИСЬ НА ЛАКОВЫЙ ДИСК

Перезапись на лаковый диск является весьма важной операцией в технологической цепочке изготовления пластинки, так как во время этой операции осуществляется механическая запись звука. В настоящее время запись повсеместно производится на лаковый

диск. Раньше для этой цели использовали восковые диски. Подложкой для нитроцеллюлозного лакового слоя служит жесткий дюралюминиевый диск толщиной 1 мм и диаметром 330—350 мм с зеркально отполированной поверхностью (волнистость поверхности порядка 0,1—0,2 мкм). На обе стороны этого диска способом центробежного литья наносится ровный слой нитролака высокой чистоты.

Лаковый диск помещают на планшайбу станка записи. Обычно планшайба имеет диаметр 400—450 мм и массу около 40 кг, что позволяет получить достаточно большую кинетическую энергию и снизить колебания частоты вращения до практически незаметного значения ($\pm 0,03\%$). Отклонения частоты вращения от номинального значения, как правило, не превышают $\pm 0,5\%$.

На отдельных станках записи предусматриваются различные вспомогательные операции. Например, на станке записи VMS-70 фирмы «Нойман», кроме частот вращения $16\frac{1}{3}$, $33\frac{1}{3}$, 45 и 78 мин⁻¹, можно установить частоту $22\frac{1}{2}$ мин⁻¹. На поверхности планшайбы расположены концентрические пазы с отверстиями, которые через шпиндель соединяют с вакуумным насосом. При помощи вакуума лаковый диск плотно присасывается к поверхности планшайбы и удерживается на ней без проскальзывания. Размеры зоны присасывания изменяются, так как при записи для пластинок диаметром 175 мм необходим лаковый диск меньшего размера. Для вращения планшайбы обычно применяют прямой привод, не требующий ременной передачи.

Запись для пластинок диаметром 300 мм производят на лаковом диске несколько большего диаметра. Вне зоны записи на лаковом диске нарезают пробные канавки. Их можно контролировать визуально невооруженным глазом при дневном освещении или с помощью микроскопа с увеличением в 100—200 раз, установленном на станке записи. В некоторых случаях на пробных канавках записывают заранее выбранные отрывки музыкального произведения. Канавки проигрывают звукозаписывающим устройством с большой гибкостью, установленным на станке записи. У человека, привыкшего к прослушиванию пластинок, такое контрольное воспроизведение оставляет незабываемое впечатление, так как немодулированные канавки лакового диска по существу не дают никакого шума. Это объясняется очень малым шумом лакового диска, так как даже небольшие неровности лаковой поверхности не вызывают коле-

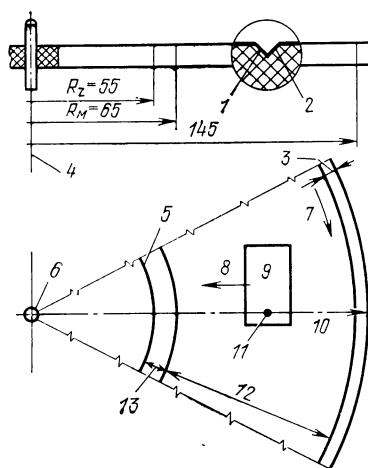


Рис. 2.1. Канавки лакового диска:

1 — левый канал; 2 — правый канал; 3 — вводная канавка; 4 — ось вращения; 5 — заключительная замкнутая канавка; 6 — центр вращения; 7 — направление вращения лакового диска; 8 — направление движения рекордера; 9 — рекордер; 10 — радиус диска; 11 — резец; 12 — канавки с записью; 13 — выводная канавка

баний иглы из-за мягкости лака.

Кроме равномерного вращения лакового диска, необходимо смещать рекордер с резцом для того, чтобы получить непрерывную спиральную канавку. Движение рекордера осуществляется точно по радиусу диска, как это показано на рис. 2.1. Резец касается диска под углом в 75° . Нарезание вводных и выводных канавок производится с различным шагом. Скорость смещения каретки, содержащей рекордер, можно изменить управлением серводвигателя, вращающего ходовой винт. Управление производится по заранее составленной программе, например шаг вводных и соединительных канавок устанавливается 1—2 мм, а у выводной канавки он может быть до 9 мм.

Сервосистема управляется автоматически путем оптической индикации цветных ракордов, вклеенных в соответствующие участки фонограммы.

В настоящее время запись программы на диск производится с переменным шагом, зависящим от модуляции. Для этой цели перед головкой воспроизведения магнитофона на расстоянии, проходимом лентой за время, соответствующее примерно половине времени одного оборота планшайбы, устанавливается еще одна воспроизводящая головка, управляющая только смещением. Таким образом можно получить более плотное расположение канавок с малой модуляцией, а перед нарезанием канавки с большой амплитудой сигнала сервосистема своевременно увеличит шаг так, чтобы канавки не перерезались. Сложное электронное устройство оценивает модуляцию канавки с учетом характеристики записи по частоте и амплитуде, а также по типу записи (монофоническая или стереофоническая). Смещение рекордера зависит от поперечной и глубинной составляющих сигналов левого и правого каналов. Естественно, минимальное смещение в любое время может быть установлено вручную в пределах 4—20 канавок на миллиметр. Перед нарезанием канавки с большой глубиной модуляцией включается устройство, управляющее глубиной; оно увеличивает глубину канавки так, чтобы при больших глубинных амплитудах канавка не прерывалась. Кроме описанных выше операций, можно автоматизировать спуск и подъем рекордера, а также включение и остановку магнитофона.

Кроме вращательного движения планшайбы и поступательного движения рекордера, большое значение имеет колебательное движение резца, вырезающего в слое лака канавку со звуковой информацией. Для преобразования электрических сигналов в механическое движение можно применить различные принципы. Специальные

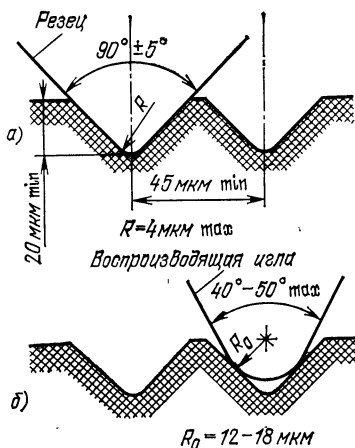


Рис. 2.2. Сечение стереоканавки в отсутствие модуляции:
а — размеры резца; б — размеры сферической иглы проигрывателя

требования записи на лаковый диск наиболее полно удовлетворяют динамические преобразователи. Принцип работы динамического рекордера аналогичен принципу работы динамического громкоговорителя. В сильном магнитном поле располагается катушка, которая, если через нее пропустить ток, смещается из положения равновесия. К катушке прикрепляется резец, вид спереди которого показан на рис. 2.2,а, а сечение в плоскости пластинки на рис. 2.5. Поперечное сечение канавки определяют режущие грани резца, расположенные под прямым углом, а также радиус закругления его острия, равный 4—5 мкм. Резцы изготовляют из сапфира, рубина или сплава Каппс (алмазы из-за плохой теплопроводности не применяют).

Глубина канавки монофонической пластинки составляет 25 мкм, и игла при следовании по канавке совершает только поперечное движение. В стереофонической пластинке внутренняя стенка канавки (со стороны центра пластинки) несет сигнал левого канала, а ее внешняя стенка (со стороны края) — сигнал правого канала (см. рис. 2.1). Главные направления движения стенок канавки составляют с плоскостью пластинки углы $+45^\circ$ или -45° . В стереофоническом рекордере резец прикрепляют к катушкам двух динамических преобразователей, расположенных перпендикулярно один к другому. Собственно преобразователи имеют очень небольшие искажения, но из-за недостаточной жесткости механической связи движение резца, особенно на высоких частотах, уже не повторяет с необходимой точностью колебания катушки. Для устранения этого недостатка вблизи резца располагают датчики в виде катушек, с которых снимают сигнал, пропорциональный действительному движению резца. Если этот сигнал подать на вход усилителя, то механические искажения, возникающие из-за нелинейности подвески резца и от собственных колебаний соединительных элементов, можно скомпенсировать электрическим путем. Подобную обратную связь наиболее просто можно осуществить в преобразователях с подвижными катушками. Этим объясняется их широкое распространение.

При конструировании рекордера необходимо позаботиться о том, чтобы работающая с большими токами катушка возбуждения не индуцировала напряжение в катушках обратной связи, а частота, на которой обратная связь из-за фазовых отношений становится положительной (критическая частота), должна быть 20—25 кГц.

Амплитудно-частотная характеристика современных динамических рекордеров при относительно высокой чувствительности в полной полосе звуковых частот не имеет резонансов. Например, неравномерность частотной характеристики рекордера SX-68 фирмы «Нойман» в полосе частот 100—10 000 Гц не превышает $\pm 0,5$ дБ, в полосе 40—15 000 Гц не превышает ± 1 дБ, а в полосе 30—16 000 Гц — ± 2 дБ. Разделение между стереофоническими каналами этого рекордера на любой частоте лучше 35 дБ. Важными параметрами рекордера являются также нелинейные искажения и наибольшая амплитуда, нарезаемая с минимальными искажениями. Наибольшее линейное смещение резца рекордера типа DSS-731 фирмы «Ортофон» равно 100 мкм. Искажения на частоте 1 кГц при амплитуде колебательной скорости 25 см/с составляют 0,4% по второй гармонике, 0,2% по третьей гармонике и 0,05% на гармониках выше третьей. Искажения разностного тона сигналов частотой 6,6 и 7 кГц, записанных с колебательной скоростью 8 см/с, не превышают 0,07%.

Необходимо остановиться также на теплоотводе в рекордере, потому что мощность, преобразованная в тепло, так же как и в динамических громкоговорителях, определяет одно из граничных условий работы. Амплитуда колебательной скорости при записи сигналов речи и музыки уменьшается пропорционально частоте. Однако при записи с повышенным уровнем или при записи сигналов для измерительных пластинок колебательные скорости высокочастотных сигналов могут получить большие значения. Например, измеренное на частоте 10 кГц полное сопротивление катушки возбуждения рекордера SX-68 составляет 10 Ом. При прохождении через катушку тока в 3 А получается колебательная скорость 33 см/с, но это допустимо только в течение 1 с. При длительном режиме записи без охлаждения предельное значение колебательной скорости равно 11 см/с. Если этот же рекордер охлаждать газобарным гелием, то допустимая при длительном режиме записи колебательная скорость возрастает примерно в 2 раза. Такой сложный метод охлаждения необходим при записи пластинок с хорошим качеством¹.

Последние усовершенствованные типы рекордеров не требуют охлаждения, но никакой рекордер не может работать без подогрева резца. При записи разогретым резцом расплавляются стенки канавки, нарезаемой на лаковом диске, благодаря чему их поверхность становится более гладкой и отношение сигнал/шум увеличивается. Из-за трудностей измерений температуры кончика резца обычно устанавливается ток подогрева резца рекордера. Для каждого типа лаковых дисков устанавливается оптимальное значение тока подогрева, для которого шумы получаются наименьшими.

По сути дела, вращение планшайбы, смещение рекордера по радиусу, колебание подвижной системы и подогрев резца рекордера являются главнейшими физическими параметрами станка записи. Помимо этого, следует сказать еще об одной технологической особенности, состоящей в непрерывном удалении стружки и крошек лака, образующихся при работе рекордера. Удаление стружки осуществляется при помощи потока воздуха через отсос, расположенный вблизи резца. При этом необходимо иметь в виду, что слишком сильное отсасывание вызывает дополнительные колебания резца.

Градуировку маркерных знаков производят между витками выводной канавки. Как правило, знаки состоят из номера пластинки по каталогу, обозначения стороны и порядкового номера лакового диска. На венгерских пластинках после этого номера следуют еще две буквы, обозначающие инициалы оператора, осуществившего запись. Из многочисленного коллектива специалистов, принимающих участие в производстве пластинок, только операторам предоставляется право оставить на лаковом диске свои инициалы. И делается это из-за ответственности, которую они берут на себя за качество записи².

¹ В Советском Союзе применяют модернизированные рекордеры SX-74, которые при записи звуковых сигналов не требуют применения гелиевого охлаждения. — *Прим. ред.*

² В Советском Союзе применена следующая маркировка пластинок. Первая буква (М, С или К) обозначает вид записи (монофоническая, стереофоническая или квадрафоническая), первая цифра (от 0 до 9) означает жанр записи (0 — гимны, 1 — симфонии и т. д.), вторая цифра (0, 1 или 2) — диаметр пластинки (соответ-

Описание технологической цепочки изготовления пластинок не будем прерывать изложением одного из основных параметров записи на лаковый диск — характеристики записи. Подробно о ней будет сказано в § 2.5.

2.3. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Лаковый диск содержит спиральную канавку, отклонения которой точно воспроизводят колебания звукового сигнала. В случае необходимости сигнал с лакового диска можно воспроизвести, однако мягкий лаковый слой не пригоден для многократного проигрывания. Следовательно, с лакового диска необходимо изготовить копии, пригодные и для многократного прослушивания. Для этой цели подошло бы любое копировальное оборудование с механическим, электронным или оптическим копированием, обладающее большой точностью. Однако до настоящего времени такое оборудование еще не изобретено. Несмотря на это, производство пластинок освоено достаточно давно, что стало возможным благодаря гальванопластике — смежной области физики и электроники. Именно при помощи гальванопластики можно получить такую копию (точнее зеркальное изображение с лакового диска), пользуясь которой, как инструментом, можно изготавливать пластинки в большом количестве. В гальваническом цехе лаковый диск промывают в жидкости, которая перемешивается под воздействием ультразвука. Во время промывки удаляются неотсосанные остатки порошка лака. После этого лаковый диск обезжиривают и сенсибилизируют материалом, обеспечивающим надежное сцепление серебра с лаком. Затем на поверхность лакового диска химическим путем наносится слой серебра, служащий позже в качестве токопровода. Реже применяется способ катодного распыления в вакууме. Серебро в большинстве случаев выделяют восстановлением при помощи органического вещества солей серебра, растворимых в воде. Эти растворы наносятся на поверхность равномерно вращающегося лакового диска из распылительного пистолета под давлением в несколько атмосфер потоком газа высокой чистоты с расстояния в 15—30 см. В результате реакции восстановления за 1 мин образуется слой металлического серебра толщиной порядка 10^{-4} мм, обладающий хорошей электропроводностью. На этот слой для получения возможно малого уровня шума наращивается мелкозернистая пленка никеля толщиной 5 мкм (при плотности тока $0,5\text{—}1,5\text{ А/дм}^2$). Этот первый гальванический слой не должен иметь внутренних напряжений, ибо они могут вызвать деформацию канавки. Для снижения внутренних напряжений применяют специальные добавки и изменяют полюса. Затем предварительно отникелированный лаковый диск погружают в скоростную ванну с сульфаминовым никелевым электролитом, в которой за 2 ч, увеличив плотность тока до 20 А/дм^2 (при диаметре диска 350 мм и токе в 200 А), наращивается поверхностный слой никеля толщиной 0,3—0,4 мм. Во время электролиза на край лакового диска надевается защитное резиновое кольцо, предохраняющее

ственно 300, 250 или 175 мм), затем следует номер записи (из пяти цифр). Первая цифра после косой черты указывает номер аппаратной, в которой производилась запись, а последняя цифра указывает вариант записи. — *Прим. ред.*

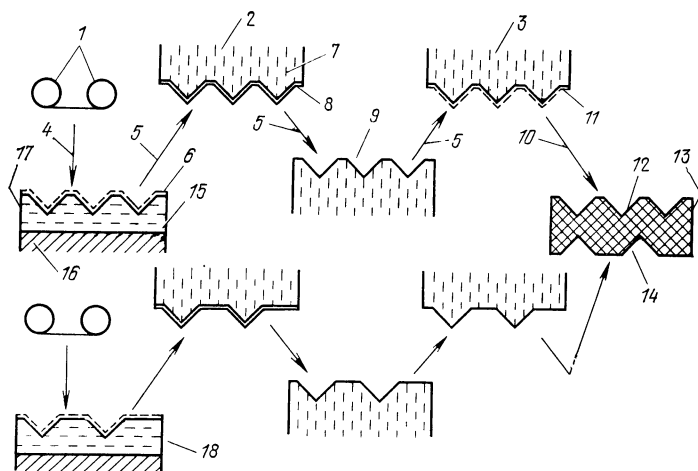


Рис. 2.3. Основные этапы изготовления пластинки (лаковый диск — первый оригинал — второй оригинал — матрица — пластинка):

1 — лента с записью программы (смонтированная); 2 — первый оригинал; 3 — матрица; 4 — запись лакового диска; 5 — гальванический процесс; 6 — серебрение после записи; 7 — слой никеля; 8 — слой серебра; 9 — второй оригинал; 10 — прессование; 11 — хромирование после разделения; 12 — сторона А; 13 — граммпластинка; 14 — сторона В; 15 — лаковый слой; 16 — алюминиевая подложка; 17 — записанный лаковый диск А; 18 — записанный лаковый диск В

от чрезмерного увеличения толщины сульфаминового электролита на краях. Преимущество сульфаминового электролита по сравнению с применявшимся ранее электролитом из сульфата никеля заключается в его лучшей растворимости, что позволяет повысить плотность тока и получить меньшие внутренние напряжения в осажденном слое никеля. Необходимо иметь в виду, что при слишком больших плотностях тока могут возникнуть растягивающие напряжения, а при малых — сжимающие. Следующая операция проводится для разделения лакового и никелевого дисков. Для этого предварительно срезают сросшиеся края дисков и затем отделяют их вручную. Выпуклые канавки полученной таким образом первой копии покрыты слоем светлого серебра. Такая копия получила название первый оригинал (рис. 2.3).

Принципиально первый оригинал с выпуклыми канавками после соответствующей обработки уже пригоден для прессования, но для получения большого количества пластинок требуется много матриц. Поэтому с первого оригинала снова гальваническим способом изготавливают новую копию, канавки которой как и у лакового диска, вдавлены внутрь. Эту копию называют вторым оригиналом. Так как серебряный слой на воздухе быстро повреждается химически, то с лакового диска обычно снимают один первый оригинал, с которого затем снимают несколько вторых оригиналов¹. Для об-

¹ В Советском Союзе с первого оригинала получают до 10 вторых оригиналов — *Прим. ред.*

легчения разделения первого и второго оригиналов поверхность первого оригинала покрывают мономолекулярным пассивирующим слоем. После отделения второй оригинал толщиной около 0,4 мм прослушивают от начала до конца. Канавки металлического оригинала, в отличие от мягких канавок лакового диска, не повреждаются иглой звукоснимателя при воспроизведении.

Для прослушивания необходимы хорошие акустические условия, потому что при воспроизведении впервые выявляются дефекты, возникшие при записи. Во время прослушивания исследуют дефекты канавки, воспринимаемые в виде щелчков. Если щелчок вызван небольшим излишком материала, то его удаляют со стенки канавки путем гравировки. Дефекты меньших размеров можно устранить многократным прохождением по этому месту (назад и вперед) воспроизводящей иглы. Для этой цели целесообразно использовать звукосниматель, который выдерживает повышенную изгибающую силу, возникающую при движении оригинала в обратном направлении. После гравировки второй оригинал обрезают точно по предписанному диаметру, ибо только при известном размере поверхности можно при изготовлении новой гальванической копии, путем регулирования тока во времени, получить матрицы одинаковой толщины. После снятия пяти матриц второй оригинал вновь прослушивают и устраняют дефекты гравировкой. С одного второго оригинала можно снять до 12 матриц, которые являются точной копией первого оригинала, но не имеют его дефектов. Толщина матриц (приблизительно 0,25 мм) имеет большое значение, поскольку они являются, собственно говоря, конечным продуктом гальванического процесса и предназначены для прессования пластинок. Однако предварительно необходимо провести центрирование матрицы, ибо при проигрывании пластинки эксцентриситет ее центрального отверстия имеет решающее значение. Центрирование осуществляется при помощи микроскопа. Матрицу закрепляют в соответствующем положении и пробивают центральное отверстие, стыкующееся с пресс-формой. Последняя операция заключается в нанесении на матрицу еще одного очень твердого слоя хрома толщиной 0,05—0,1 мкм, который увеличивает срок службы и снижает склонность винилитовой массы к прилипанию.

2.4. ТИРАЖИРОВАНИЕ ПЛАСТИНОК

Конечная продукция гальванического процесса является орудием производства цеха прессования. В действительности матрица является негативом, с которого получают позитив, т. е. пластинку. Проследим процесс прессования пластинок. Вначале на механическом прессе прессуют пробные пластинки. Примерно после десяти циклов прессования с механического пресса снимают готовую, без дефектов, пластинку. После прессования нескольких пластинок матрицу вынимают из механического пресса, а изготовленные образцы поступают в студию. Здесь экспертная комиссия сравнивает звучание с пробной пластинки и магнитной ленты и решает вопрос о пригодности записи к производству.

Пластинки изготавливают из размягчающегося при нагревании синтетического материала, так называемого винилита, который является сополимером винилхлорида с 15% винилацетата. В небольших пропорциях к винилиту добавляют размягчающие, стабилизирующие и окрашивающие вещества. Интересно отметить, что для

улучшения качества пластинки размеры заготовки, поступающей для ее прессования, постоянно уменьшались от таблетки размером $300 \times 140 \times 3$ мм до гранул диаметром около 3 мм. Работают даже с сырьем в виде порошка. Заданное по объему или массе количество основного материала загружается в экструдер, где он предварительно подогревается и гомогенизируется. Температура внутри предварительно подогретого материала составляет $140\text{--}150^\circ\text{C}$. Полученную лепешку из синтетического материала вручную помещают в пресс. Для прессования одной пластинки необходимы две матрицы, обращенные одна к другой рабочими поверхностями. Матрицы должны располагаться параллельно друг другу с точностью до десятых долей миллиметра, иначе пластинка получится разной толщины. Матрицы закрепляют на отшлифованных плоских плитах пресс-формы. Край матрицы обжимаются кольцом, а середина укрепляется коническим зажимом, имеющим диаметр 3 см, иногда 7 см (след от зажима можно видеть на готовой пластинке). После установки лепешки пресс-форма закрывается и в нее подается перегретый пар под большим давлением (около 9,8 кПа), который нагревает матрицы примерно до температуры $170\text{--}180^\circ\text{C}$. Равномерно подогретая масса лепешки во время прессования пластифицируется, но химически не разлагается. При закрытии пресс-формы на каждый квадратный сантиметр поверхности пластинки приложена сила в 150 кг. Под действием этой силы пластиночный материал заполняет самые мельчайшие углубления канавки. При прессовании пластинки диаметром 300 мм полная сила давления превышает 100 тонн. Для получения таких усилий применяют мощные гидравлические устройства.

После прогрева пластиночной массы следующим циклом является выдержка, продолжающаяся определенное время. Для осуществления как можно лучшей теплопередачи обратная сторона матрицы до ее установки в пресс-форму шлифуется. Во время шлифовки устраняются неравномерности, которые вследствие большого давления могут деформировать лицевую сторону матрицы. После тепловой выдержки паровые клапаны закрываются и в пресс-форму подается смягченная холодная вода. Подогретая вода, а также вода, сконденсировавшаяся из пара, выносится паром, поступающим во время следующего подогрева пресс-формы. На построенном недавно в ВНР заводе грампластинок теплая вода охлаждается в противоточном теплообменнике.

При охлаждении температура пресс-формы и находящейся внутри пластинки понижается примерно до 35°C . После открытия пластинку извлекают из пресс-формы. Процесс прессования одной пластинки продолжается примерно 20—25 с. Пластинка без дефектов может быть изготовлена только при использовании сухого пара с равномерным давлением и постоянной температурой. При неравномерной подаче пара ухудшается теплопередача между пресс-формой и матрицей, что приводит к неравномерному заполнению материалом пространства между матрицами, и пластинка получается коробленной (тарелкообразная, волнообразная).

После прессования пластинку переносят на обрезной станок для снятия избыточной массы, выступившей по ее краям. После шлифовки борта пластинка получает законченный вид.

Этикетки пластинки имеют такое же значение, как винилитовая масса и матрица. Их помещают в пресс-форму вместе с лепешками и весь цикл прессования они находятся в пресс-форме. Поэтому этикетки изготавливаются из терлестойкой бумаги. Краски тоже

должны быть теплостойкими, они наносятся обычной печатью. Красочные этикетки с четким шрифтом заметно улучшают внешний вид пластинок.

Возвратимся к процессу тиражирования пластинок. С одной матрицы в среднем можно получить 300—400 пластинок отличного качества. Дальше из-за износа матрицы качество пластинок становится средним. Качество готовой продукции контролируется непосредственно после изготовления первых пластинок. Последующий контроль производится путем внешнего осмотра или во время выборочной приемки.

Готовую пластинку сначала упаковывают в пылезащитный конверт, который изготавливают из полиэтиленовой пленки или бумаги. Последняя более соответствует современным условиям хранения не только потому, что можно использовать машинную упаковку, но также и потому, что в бумажный конверт можно помещать пластинку, подвергшуюся во время проигрывания влажной протирке. После этого пластинку вкладывают в конверт, изготовленный из плотной бумаги. Этот конверт защищает пластинку от повреждений во время транспортирования и хранения. Кроме этого, он несет еще эстетическую информацию. Из склада готовой продукции пластинки распределяются в торговую сеть, откуда они поступают к потребителю.

2.5. ПЛАСТИНКА КАК СРЕДСТВО ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Пластинка является средством хранения информации. Об информации с художественной точки зрения будет сказано при рассмотрении вопросов коллекционирования пластинок, сейчас же рассмотрим только технические проблемы хранения информации.

Долгоиграющая пластинка представляет собой плоский диск из синтетического материала диаметром 300 мм и толщиной 1,5—2,0 мм с отверстием в центре диаметром 7,24^{+0,09}. Раньше масса пластинки составляла 160—180 г, но с уменьшением толщины, принятым для экономии материала, масса снижена до 120—135 г.

Вначале звук записывался по разработанному Берлинером способу в виде отклонений канавки, происходящих в плоскости пластинки. При проигрывании такой пластинки звук исходил из одной точки, отсутствовала пространственная картина. Этот недостаток стремились устранить еще во времена рупорных граммофонов: в Парижском Национальном музыкальном собрании демонстрируется граммофон, два рупора которого расположены относительно друг друга на расстоянии примерно одного метра. Каждый рупор сочленен с отдельной мембраной. Две мембраны проигрывали канавку пластинки с разницей примерно в половину оборота. При частоте вращения 78 мин⁻¹ это означает задержку по времени в 0,3—0,4 с, создающую впечатление пространственного звучания. Для создания пространственного звука уже давно возникла мысль модулировать канавку пластинки не только горизонтально (запись Берлинера), но и вертикально (запись Эдисона). Путем объединения двух видов модуляций в одной канавке можно записать две различные звуковые информации, например сигналы левого и правого каналов. Были проведены экспериментальные записи по способу 0°/90° (поперечная и глубинная модуляция канавки), но оказалось, что такая модуляция не дает возможности воспроизведения звука с одинаковым качеством (отношение сигнал/шум в канале с вертикальной

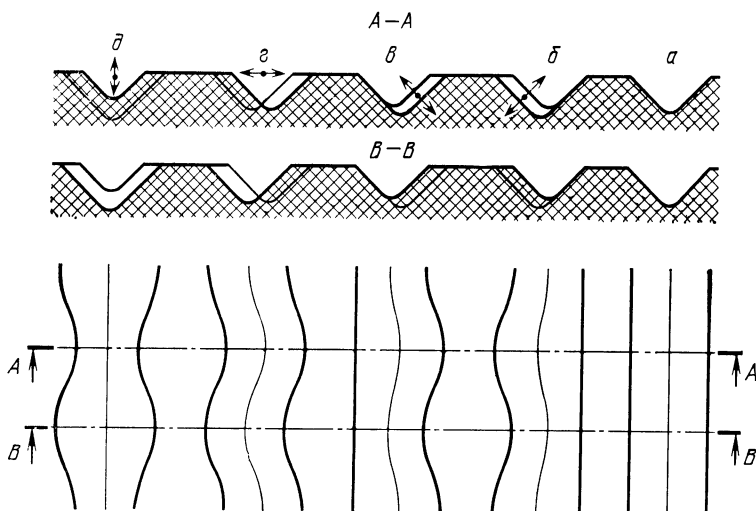


Рис. 2.4. Различные канавки:

a — немодулированная канавка; *б* — канавка, модулированная сигналом левого канала; *в* — канавка, модулированная сигналом правого канала; *г* — канавка, модулированная сигналами обоих каналов (сигналы левого и правого каналов имеют одинаковую фазу); *д* — сигналы левого и правого каналов противофазны. Стрелки на верхней части рисунка показывают направления движения иглы

модуляцией оказалось хуже, чем с горизонтальной). Вторая проблема заключалась в том, что, проигрывая пластинки, записанные таким способом, на монофонических проигрывателях, можно прослушивать только один из каналов программы; вертикально модулированная канавка не вызвала сигнала в монофоническом звукоснимателе, чувствительном только к горизонтальным колебаниям.

Если вышеописанную систему $0^\circ/90^\circ$ мысленно повернуть на 45° , то сигналы двух независимых каналов будут записываться на две стенки канавки, перпендикулярные друг другу. Таким образом, возникли стереофонические пластинки, записанные по способу $45^\circ/45^\circ$, совместимые с монофоническими пластинками.

Так как внутренняя и внешняя стенки канавки одинаковы, качество хранимой на них информации в принципе также должно быть одинаково. На практике эффект скатывания позволяет получить с двух стенок канавки только приблизительно одинаковое качество звучания. В то же время движения, составляющие с плоскостью грампластинки угол $\pm 45^\circ$, можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие. Благодаря этому чувствительные к традиционным горизонтальным колебаниям монофонические звукосниматели получают полезный сигнал с обоих каналов, т. е. стереофоническая пластинка получается совместимой с монофонической. Проигрывание монофонических пластинок стереофоническим звукоснимателем не вызывает затруднений.

На рис. 2.2 и 2.4,а показана немодулированная канавка, а на рис. 2.4,б канавка, у которой звуковую информацию несет только

внутренняя стенка; направление механических колебаний составляет угол $+45^\circ$ с плоскостью пластинки. Модуляция внутренней стенки канавки вызывается сигналами левого канала. Подобным же образом колебания внешней стенки канавки (относительно ее края), направленные под углом -45° , соответствуют сигналу правого канала. Они представлены на рис. 2.4,в. Можно отметить, что направления колебаний внутренней и внешней стенок канавки перпендикулярны друг другу, поэтому колебания одной стенки не имеют проекции на другую. В то же время движения, происходящие под углом в 45° к плоскости пластинки, проектируются как на горизонтальную, так и на вертикальную плоскости.

Если на оба канала рекордера поступают сигналы с одинаковыми фазами, получаются такие отклонения канавки, в которых присутствуют только горизонтальные составляющие, а вертикальные отсутствуют (рис. 2.4,г). Два звуковых сигнала с одинаковыми амплитудами и фазами физически означают, что источник звука расположен на одинаковом расстоянии от левого и правого микрофонов, т. е. находится посередине и является монофоническим источником звука. В этом случае записывается монофоническая канавка, имеющая только горизонтальные отклонения.

На рис. 2.4,д представлена канавка, образованная сигналами двух каналов, находящихся в противофазе. В этой канавке отсутствуют горизонтальные составляющие колебаний. Хорошо видно, что линия дна канавки, если смотреть сверху, прямая, т. е. у канавки в вертикальном направлении изменяется только ее глубина. Из рассуждений следует, что этот источник звука воспринимается по всему пространству, за исключением точки, находящейся посередине между двумя микрофонами.

Если кратко сформулировать изложенное, можно сказать, что горизонтальная проекция отклонений стенок стереофонической канавки содержит сумму сигналов двух каналов, в то время как вертикальная проекция — разницу информации этих каналов. Указанные два крайних положения на практике встречаются редко, обычно модуляция стереофонической канавки имеет как вертикальную, так и горизонтальную составляющие.

Исследуем, какими может быть наибольший записываемый сигнал при данных условиях. При разработке долгоиграющей пластинки Петер Голдмарк исходил из того, что время звучания должно составить 20 мин, радиус начала зоны записи $R_k = 145$ мм, радиус конца зоны записи $R_n = 65$ мм и частота вращения $33\frac{1}{3}$ мин $^{-1}$. Принимая указанные значения, в зоне записи шириной $R_n - R_k = 80$ мм нужно было разместить $20 \times 33\frac{1}{3} = 666$ канавок. Для каждой канавки, таким образом, отведено место не более 120 мкм. Если принять, что ширина немодулированной канавки составляет 50 мкм, а расстояние между двумя модулированными канавками 5 мкм, тогда максимальное отклонение канавки в обоих направлениях (максимальная амплитуда записи) составит

$$A = \frac{1}{2} (120 - 50 - 5) = 32 \text{ мкм.}$$

На монофонических пластинках с постоянным шагом максимальной амплитуду 32 мкм записывают на частотах ниже 500 Гц. На более высоких частотах амплитуду записи следует снижать, иначе отклонение канавки будет непропорционально большим по отношению к длине волны и размерам резца (рис. 2.5). Уменьшение

амплитуды должно происходить обратно пропорционально частоте; в числовом виде $A=v/\omega$ или $v=A\omega$, где v — колебательная скорость записи; ω — угловая частота сигнала. Это означает, что выше частоты 500 Гц постоянной является не величина максимального отклонения, а скорость отклонения. При амплитуде 32 мкм и частоте 500 Гц колебательная скорость $v=A\omega=0,0032 \cdot 2\pi \cdot 500 = 10$ см/с. Это значение остается постоянным и на частотах выше 500 Гц, поэтому максимальная колебательная скорость сигнала на частоте 1000 Гц также равна 10 см/с. Частота 500 Гц является точкой пересечения прямой линии постоянной колебательной скорости с линией, имеющей крутизну 6 дБ/октава, соответствующей $1/\omega$ (рис. 2.6). На практике ломаную линию заменяют плавной кривой, поэтому максимальная амплитуда на этой частоте отличается от теоретического значения приблизительно на —3 дБ и составляет 23 мкм. Эту амплитуду находят в соответствии с наибольшим отклонением, определенным по размерам канавки и по форме резца (см. рис. 2.5).

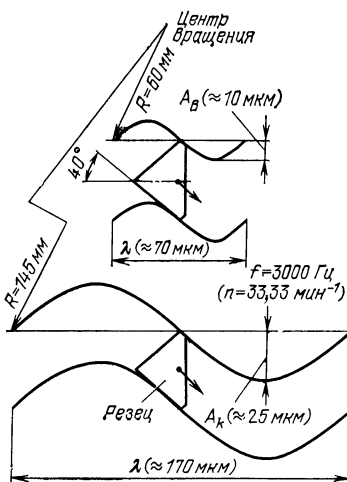


Рис. 2.5. Наибольшее значение отклонения канавки A в зависимости от радиуса канавки, формы резца и длины волны колебания

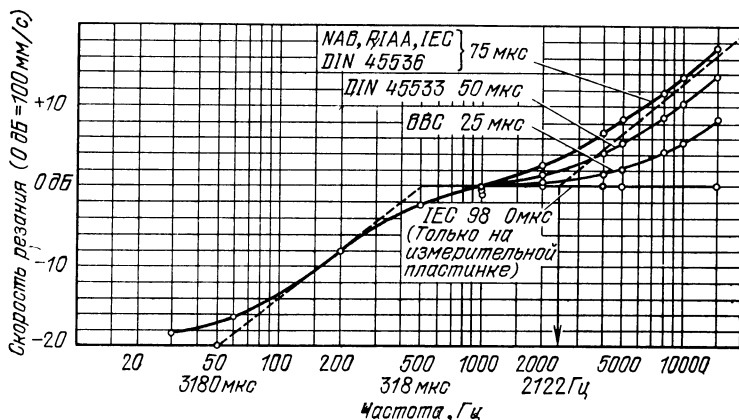


Рис. 2.6. Амплитудно-частотная характеристика канала записи: пунктирная линия — теоретическая характеристика; толстая линия — амплитудно-частотная характеристика канала записи монофонических и стереофонических пластинок; кривые, обозначенные тонкими линиями, относятся к старым монофоническим пластинкам

Следует напомнить, что первые долгоиграющие пластинки изготавливали с постоянным шагом записи, поэтому при заданных размерах канавки и времени звучания 20 мин максимальная колебательная скорость получается около 10 см/с. Очевидно, что увеличение времени звучания при данных геометрических размерах может произойти только за счет уменьшения колебательной скорости записи, т. е. снижения уровня громкости. С введением переменного шага записи эта зависимость становится более гибкой.

На стереофонических пластинках для получения такого же времени звучания ширина канавки уменьшена на 20% (40 мкм) и в том же соотношении снижена максимальная колебательная скорость записи в каждом канале ($v=8$ см/с). При этом поперечная колебательная скорость получается путем сложения проекций колебательных скоростей левого и правого каналов и ее значение $2 \cdot 8 / \sqrt{2} = 11,3$ см/с.

Если пластинку с модулированными канавками осветить под определенным углом параллельными лучами света, то на ее поверхности можно наблюдать интересное оптическое явление — «блики», т. е. световую полосу различной ширины. Этот эффект вызывается отражением света от отдельных поверхностей стенок канавки. Математически можно доказать, что ширина световой полосы b зависит от колебательной скорости записи. Для синусоидальных сигналов эта зависимость определяется выражением

$$v = b \pi \frac{n}{60},$$

где n — частота вращения пластинки в минуту. Измерив ширину полосы блика, можно проверить колебательную скорость записи. Например, при ширине световой полосы 4,6 см колебательная скорость для поперечной записи

$$v = 4,6 \pi \frac{33,33}{60} = 8 \text{ см/с}.$$

Точка перегиба кривой характеристики записи на частоте 500 Гц определена теоретически. Однако по практическим соображениям кривая характеристики записи имеет еще две точки перегиба. Одна из них находится на частоте 50 Гц; на меньших частотах колебательная скорость записи вновь устанавливается постоянной, что делает возможным записать сигналы, амплитуды которых больше, чем на участке с постоянным отклонением. Однако в действительности увеличение амплитуд сигналов на этих частотах не происходит из-за частотного распределения плотности энергии естественных звуков, которая уменьшается в сторону низких частот. цель этого перегиба — улучшение соотношения сигнал/шум.

Форма характеристики записи с частотами разделения на 50 и 500 Гц задается простыми RC -цепочками, включенными в усилитель станка записи. При дальнейших пояснениях целесообразно использовать не частоты точек перегибов частотной характеристики, обусловленные RC -цепочками, а произведение номиналов резисторов и конденсаторов, так называемые постоянные времени. Постоянная времени, рассчитанная для частоты 50 Гц:

$$\tau_1 = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi \cdot 50} = 0,00318 \text{ с, или } 3180 \text{ мкс},$$

в то время как постоянная времени, относящаяся к частоте 500 Гц, $\tau_2=318$ мкс. Эти две постоянные времени применяют во всех странах мира.

На заре производства пластинок сильный шум от материалов, из которых их изготовляли, стремились уменьшить предварительной коррекцией на высоких частотах во время записи пластинки. Такая коррекция оказалась возможной благодаря статистике амплитуд колебаний, встречающихся в музыке. Однако начало подъема на высоких частотах определялось во многих странах по-разному: стандарт ВВС (США) предписывал этот подъем начинать с 25 мкс, стандарт DIN45533 (ФРГ) — с 50 мкс, более поздний стандарт DIN45536, а также стандарты NAB (Англия) и RIAA — с 75 мкс. Для измерительных целей была введена характеристика записи без подъема, т. е. с точкой перегиба 0 с. Эти кривые представлены на рис. 2.6.

Такое разнообразие характеристик было применимо только для записи монофонических пластинок. Для стереофонических пластинок была принята одна характеристика записи с постоянными времени 3180/318/75 мкс, предложенная ИЕС. Отклонения от теоретической характеристики записи не должны превышать ± 2 дБ в диапазоне между 50 Гц и 10 кГц. При проигрывании, естественно, предварительный усилитель должен иметь частотную характеристику, обратную характеристике записи (см. гл. 6).

Уровень шума современных грампластинок, отнесенный к сигналу частотой 1000 Гц, записанному с колебательной скоростью 8 см/с, колеблется от -55 до -60 дБ. Обычно при измерении уровня шума пластинок включают фильтр, ослабляющий сигналы на частотах ниже 500 Гц.

Верхняя частота f_v сигнала, записываемого на пластинку, определяется совокупностью свойств всех студийных аппаратов (микрофон — усилитель — магнитофон — станок записи). Принятое ослабление -3 дБ, как правило, попадает на граничные значения полосы частот 40—15 000 Гц или вне ее¹.

Скорость передачи информации с помощью пластинки на основе вышеизложенного

$$\begin{aligned} v_{\Pi} &= f_v \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{сигн}}}{P_{\text{шум}}} \right) = \\ &= 15 \cdot 10^3 \text{ Гц} \cdot \log_2 (1 + 10^6) = 300 \text{ кбит/с}. \end{aligned}$$

Количество информации на пластинке при времени ее звучания 2×30 мин составляет 1080 Мбит.

Так как объем грампластины составляет примерно 290 000 мм³, то плотность информации равна 3,74 кбит/мм³.

Для сравнения подсчитаем данные, характеризующие запись информации на магнитную ленту в кассете, если уровень шума равен -50 дБ, верхняя частота $f_v=12\,500$ Гц, а объем кассеты равен 127 000 мм³.

Скорость передачи информации

$$v_{\Pi} = 12,5 \cdot 10^3 \cdot \log_2 (1 + 10^5) = 200 \text{ кбит/с},$$

¹ В Советском Союзе по ГОСТ 7893—79 ширина полосы частот на пластинках составляет 20—20 000 Гц. — *Прим. ред.*

что составляет только две трети величины, характеризующей пластинку. Эту разницу взыскательные слушатели музыки выяснили быстро. На кассете с временем звучания 2×30 мин хранится 748 Мбит информации, а плотность информации 5,9 кбит/мм³. Плотность информации стереофонической пластинки составляет только $\frac{2}{3}$ этого значения.

Результаты теоретических расчетов должным образом подтвердились опытом повседневной жизни. Пластинки, в первую очередь, удовлетворяют условиям качественного воспроизведения музыки, в то время как кассета предназначена для звуковоспроизводящей аппаратуры, сконструированной для экономии объема.

2.6. ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЕ ПЛАСТИНКИ

В то время как при стереофоническом звуковоспроизведении воспринимаем источники звука расположенными в линию, при четырехканальной звукозаписи достигается объемное звучание. При использовании четырех громкоговорителей звук может исходить из любой точки горизонтальной плоскости даже сверху центра помещения. Первоначальной целью четырехканальной звукопередачи было точное воспроизведение акустики на месте приема, исключаящее по возможности влияние условий помещения прослушивания, а не модная на заре стереофонии погоня за эффектом «игры в пинг-понг».

В 1976 г. не было еще единого общепринятого способа записи четырех отдельных информационных. Почти все крупные фирмы капиталистических стран разрабатывали свои способы записи для четырехканальных пластинок на основе собственных представлений. Не удивительно, что всего предложено больше способов, чем число каналов, по которым передается информация. Не претендуя на полноту, упомянем только некоторые способы четырехканальной звукопередачи: SQ («Си-Би-Эс»), QS («Сансуи»), RM («Пионер»), QM («Тосиба»), QR («Кеннвуд»), CD-4 («Джи-Ви-Си»), QX-4, UMX, UD-4 и так далее¹.

По своему построению все способы принято обозначать 4-2-4, или 4-4-4, где первое число, если считать по порядку, указывает на количество каналов при записи, второе — при передаче (т. е. число каналов, действительно записанных на пластинку) и третье — при воспроизведении. Как видно, главное отличие заключается в количестве именно записанных каналов. Технически эти способы, в принципе, полностью отличающиеся друг от друга, дают возможность записывать в одной канавке четыре различные информации.

В способах 4-2-4 временное положение сигналов звуковых частот кодируется в матричной форме. Это кодирование не затрагивает частотного диапазона сигнала, поэтому канавка четырехканальной пластинки, записанная по матричному способу, не содержит более высоких колебаний, чем любая стереофоническая пластинка. Для проигрывания таких пластинок нет необходимости в специальном звуконосителе.

Первый патент на матричное кодирование был получен в 1931 г. Румлейном. Его предложения были использованы исследовате-

¹ В Советском Союзе разработан матричный способ квадратофонической звукопередачи, получивший название «АВС». — *Прим. ред.*

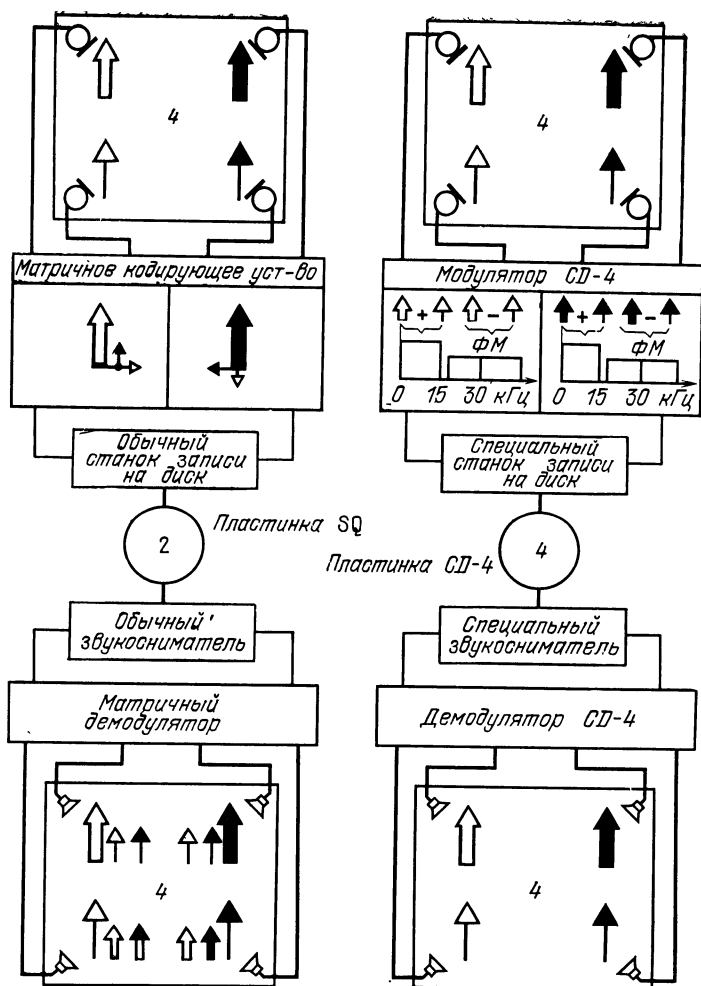


Рис. 2.7. Схемы записи и воспроизведения наиболее распространенных четырехканальных грампластинок SQ и CD-4 (стрелки показывают амплитуду и фазу сигналов отдельных каналов; более короткие стрелки означают уровень -3 дБ)

лями фирмы «Си-Би-Эс» в 1967 г. при разработке способа SQ. Определенными преимуществами и недостатками обладает и второй распространенный матричный способ RM. На рис. 2.7 показаны изменения фазы сигналов при матричном кодировании по способу SQ, т. е. временные положения сигналов. После декодирования в четырех акустических системах вновь восстанавливаются ис-

ходные сигналы. Характерным недостатком матричных способов записи является возникновение в каждом канале исходных сигналов, а также ослабленных сигналов средних каналов. Проникание может быть достаточно большим, однако при проигрывании его можно несколько уменьшить путем применения сложных логических блоков.

К недостаткам всех матричных способов относится также невозможность восстановления источника звука, расположенного сзади (посередине). Однако закодированный любым матричным способом сигнал можно прямо записать на обычном стереофоническом магнитофоне. Такая запись без дальнейшей обработки пригодна для радиовещания.

Вскоре после выпуска первой четырехканальной пластинки с матричным кодированием появились пластинки, записанные по способу 4-4-4, так называемые пластинки CD-4 (совместимые дискретные) фирмы «Джи-Ви-Си».

При кодировании по этому способу изменяется не фаза сигналов, а их частотный диапазон. По этому способу суммарные сигналы передних и задних каналов записываются как для обычных стереофонических пластинок, а разностные сигналы передних и задних каналов записываются выше диапазона слышимых звуков, используя частотную модуляцию несущей частоты 30 кГц с нижней боковой полосой шириной 10 кГц и верхней полосой шириной 15 кГц. Для получения хорошего отношения сигнал/шум частотная модуляция применяется на частотах ниже 800 Гц и выше 6 кГц, а внутри этого диапазона сигналы модулируются по фазе. Для снижения искажений уровень записи частотно-модулированных сигналов снижен на 19 дБ.

Так как суммарные сигналы всех четырех каналов записываются в диапазоне звуковых частот, то такая пластинка принципиально является совместимой со стереофоническими и монофоническими пластинками. Четыре исходных сигнала получают простым сложением и вычитанием демодулированных сигналов.

Запись для дискретных пластинок более трудная, чем при матричном кодировании, но проникание сигналов получается значительно меньше, равномерность фазовой характеристики лучше, а по динамическим свойствам и искажениям обе системы сравнимы.

Так как наибольшая частота колебаний на пластинке равна 45 кГц, первоначально запись на лаковый диск для уменьшения перегрузок рекордера проводилась при частоте вращения планшайбы, равной одной трети от номинальной. В последнее время в результате усовершенствования оборудования запись проводится при частоте вращения планшайбы, сниженной только в 2 раза.

Для проигрывания пластинок с записью по способу CD-4, необходим специальный звукоусилитель, способный воспроизводить сигналы с частотой до 45 кГц. Очевидно, что такой звукоусилитель стоит дороже звукоусилителя для матричных пластинок, проигрывание которых производится обычным стереофоническим звукоусилителем. Но это не создает существенной разницы, если принимать во внимание стоимость выходного четырехканального усилителя и четырех громкоговорителей высокого качества.

Конкурентная борьба между фирмами, выпускающими пластинки по способам SQ и CD-4, еще не завершилась; не исключено, что победу одержит новый способ квадрафонической записи. В 1975 г. в Лондоне фирма «Денон» продемонстрировала несколько пластинок UD-4, т. е. универсальных дискретных четырехканальных пла-

стинок. Они принципиально совмещают преимущества матричных и дискретных четырехканальных способов. Внешние и внутренние стенки канавок на пластинках UD-4 в области звуковых частот несут матричнокодированные сигналы (ВМХ) четырех каналов. Кроме этого, внешняя стенка канавки содержит несущую частоту 30 кГц, модулированную с девиацией ± 6 дБ сигналом ТМХ с полосой 20 — 5000 Гц, в то же время внешняя стенка канавки несет сжатый по полосе сигнал QMX, передаваемый в диапазоне 24—36 кГц.

На простом проигрывающем устройстве можно воспроизводить сигналы ВМХ (4-2-4), равноценные матричным сигналам. Более современные устройства с использованием сигналов ТМХ (4-3-4) значительно улучшают разделение каналов, а с помощью сигналов QMX (4-4-4) становится возможным практически дискретное воспроизведение¹.

3. ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ И ИГЛЫ

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОЛОВОК ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Первым звеном в цепочке устройств для воспроизведения звуковой информации, хранящейся в виде механических колебаний канавки пластинки, является звукосниматель. Когда-то он непосредственно преобразовывал отклонения канавки в колебания воздуха, однако этот процесс из-за низкого коэффициента полезного действия (КПД), больших искажений и сильного износа пластинок сегодня имеет лишь значение как один из этапов развития техники механической записи. Поэтому звукосниматель является устройством, которое преобразует механические колебания в электрические сигналы. После необходимого усиления электрические сигналы с помощью электроакустических преобразователей — громкоговорителей — преобразуются в звук. В электроакустике преобразователи всегда были наиболее слабым звеном цепочки, поэтому звукосниматели по сравнению с другими устройствами будут рассмотрены более подробно.

Основными узлами звукоснимателя являются головка и тонарм. Головка звукоснимателя содержит преобразователь, иглодержатель и иглу. Проблемы, связанные с иглодержателем, распространяются на все типы звукоснимателей, поэтому после выяснения требований к звукоснимателям речь первым делом пойдет о иглодержателях.

Типы головок звукоснимателей представлены на рис. 3.1. В направлении сверху вниз головки звукоснимателей различаются по способам получения выходного электрического сигнала. Здесь представлены все существующие способы получения электрического сигнала,

¹ В настоящее время ни матричные, ни дискретные способы квадрафонической звукопередачи не получили широкого распространения, что объясняется значительными затратами, связанными с приобретением четырехканальной аппаратуры и не слишком большой разницей в качестве звучания по сравнению со стереофонической звукопередачей. — *Прим. ред.*

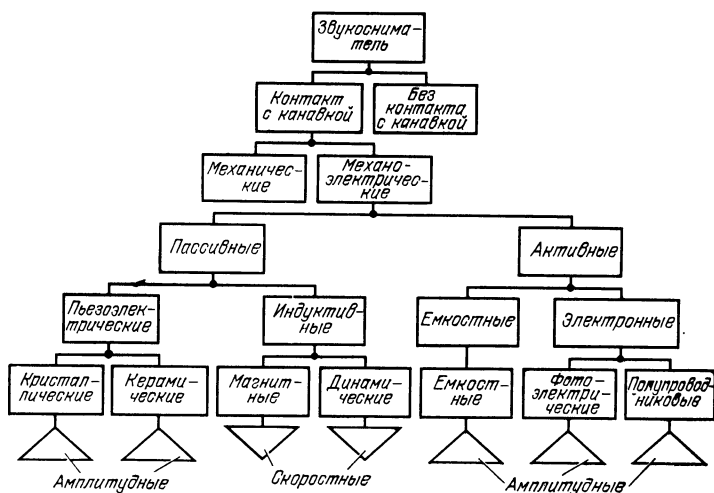


Рис. 3.1. Классификация головок звукоосцилляторов (треугольники с основанием вниз означают головки звукоосцилляторов, чувствительные к амплитуде, а вершиной вниз — чувствительные к колебательной скорости)

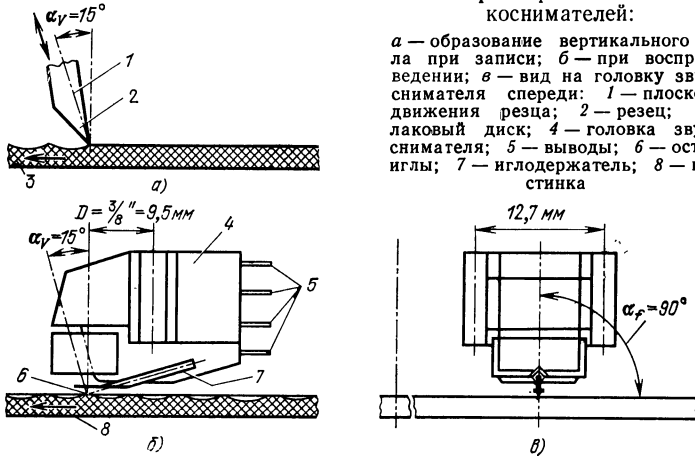
В то же время головки звукоосцилляторов можно классифицировать и по физическим параметрам движения канавки, которые воспринимает преобразователь. Этими параметрами являются отклонение канавки и изменение отклонения по времени, т. е. скорость. Отметим, что существуют головки звукоосцилляторов, чувствительные к ускорению. Расположение по строке указывает о времени появления. Несмотря на то что современные электронные преобразователи сегодня еще относительно дороги, тем не менее они имеют достаточно широкое распространение. Естественно, хорошие результаты можно получить с различными преобразователями. Эти результаты в конечном счете оцениваются при субъективном прослушивании. Принятие решения в большой степени облегчается объективными данными измерений.

3.2. ПАРАМЕТРЫ ГОЛОВОК ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Параметры звукоосцилляторов должны удовлетворять требованиям стандартов стран-изготовителей. В Европе это, как правило, немецкий промышленный стандарт DIN45500. Эти требования относятся к линейным и нелинейным искажениям, а также механическим и электрическим эксплуатационным параметрам. Одним из этих параметров является вертикальный угол при записи и воспроизведении (рис. 3.2).

Среди параметров головок звукоосцилляторов на первом месте стоит амплитудно-частотная характеристика. Раньше она имела решающее значение, но головки звукоосцилляторов, разработанные в последнее время, далеко перешагнули указанную в упомянутом

Рис. 3.2. Основные геометрические размеры головки звукоснимателей:



стандарте полосу передаваемых частот $40\text{--}63,5 \text{ Гц} \pm 5 \text{ дБ}$, $63,5\text{--}8000 \text{ Гц} \pm 2 \text{ дБ}$, $8000\text{--}12\,000 \text{ Гц} \pm 5 \text{ дБ}$ и имеют значительно меньшую неравномерность. Созданы, например, головки звукоснимателей для передачи сигналов на сверхнизких частотах. При оценке амплитудно-частотной характеристики головки звукоснимателя, а также других описываемых параметров, следует указывать тип измерительных пластинок (например, характеристики на рис. 3.3 получены с измерительной пластинкой QR2005). Однако иногда измерительные пластинки одного типа в зависимости от времени прессования могут иметь различные параметры. Для облегчения сравнения характеристик сигнал правого канала записан с разницей по уровню в 10 дБ.

Относительно легко может быть измерено разделение между каналами головки звукоснимателя. Разделение между каналами на фиксированных частотах или по всему частотному диапазону показывает, какая часть сигнала, передаваемого по одному каналу, проникает в другой канал. Хорошие головки звукоснимателей имеют

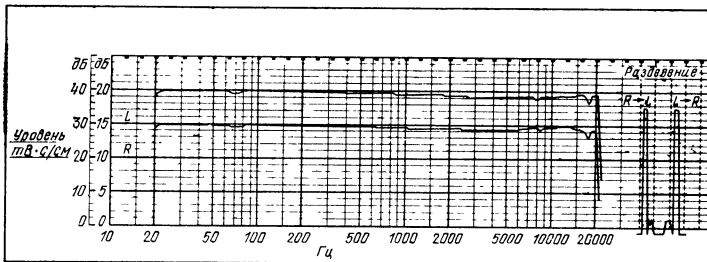


Рис. 3.3. Амплитудно-частотная характеристика головки звукоснимателя ISD15 производства EMT

разделение на частоте 1000 Гц по крайней мере 20 дБ, а в диапазоне 500—6300 Гц не менее 15 дБ. Однако, используя для одного и того же звукоснимателя различные измерительные пластинки, можно получить разные результаты, так как разделение между каналами зависит от вертикального угла записи. Поэтому в этой области необходимо унифицировать измерительные пластинки.

Труднее оценивается степень мешающего воздействия нелинейных искажений. По своему происхождению эти искажения можно разделить на две группы. К одной из них относятся искажения, возникающие из-за нелинейности преобразования. Эти искажения вызывают амплитудную модуляцию, поэтому относительно колебаний с основной частотой как на несущей возникают частоты боковых полос (комбинационные звуки). Они представляют собой относительно небольшую помеху, потому что ее значение не зависит от частоты и у современных головок звукоснимателей пренебрежимо мало.

Ко второй группе относятся искажения огибания, возникающие вследствие геометрических различий между резцом рекордера при записи и иглой звукоснимателя при воспроизведении. Кроме гармонических составляющих, они вызывают фазовую модуляцию. Эти искажения увеличиваются пропорционально частоте, поэтому их мешающее действие чрезвычайно велико и они считаются определяющими искажениями головки звукоснимателя.

Фазовая модуляция одновременно означает и частотную модуляцию, что делает возможным определение искажений огибания на основе измерений интермодуляционных искажений. Измерительная пластинка для исследования этих искажений содержит сигналы частотой 300 и 3000 Гц. При проигрывании этой пластинки сигнал частотой 3000 Гц модулируется по фазе или частоте сигналом частотой 300 Гц. Для измерения возникающих при этом интермодуляционных искажений может быть использован фазовый дискриминатор звуковых частот, например детонатор типа ЕМТ424.

Мешающее воздействие низкочастотной модуляции, возникающей из-за колебания частоты вращения диска, может быть снижено включением простого фильтра верхних частот. Зависимости интермодуляционных искажений от прижимной силы и уровня записи очень редко приводятся в паспорте с техническими данными головки звукоснимателя.

Допустимое максимальное значение интермодуляционных искажений при уровне измерительных сигналов — 6 дБ составляет 1% согласно требованиям стандарта DIN45500. Современные головки звукоснимателей имеют интермодуляционные искажения меньше 0,5% (рис. 3.4).

Соответственно требованиям к аппаратам высшего класса прижимная сила звукоснимателя не должна превышать 30 мН. В настоящее время многие звукосниматели проигрывают пластинки без искажений при прижимной силе в 10 мН. Заданные в паспорте звукоснимателя минимальное и максимальное значения прижимной силы нельзя уменьшать или превышать. По возможности целесообразно установить рекомендуемое значение, так как прижимная сила влияет на вертикальный угол воспроизведения. Только при заданной изготовителем прижимной силе он будет равен 15°. Для звукоснимателей, имеющих укороченный иглодержатель, более благоприятным является больший вертикальный угол. Поэтому МЭК предложил применять для записи и воспроизведения вертикальный угол $20^\circ \pm 5^\circ$.

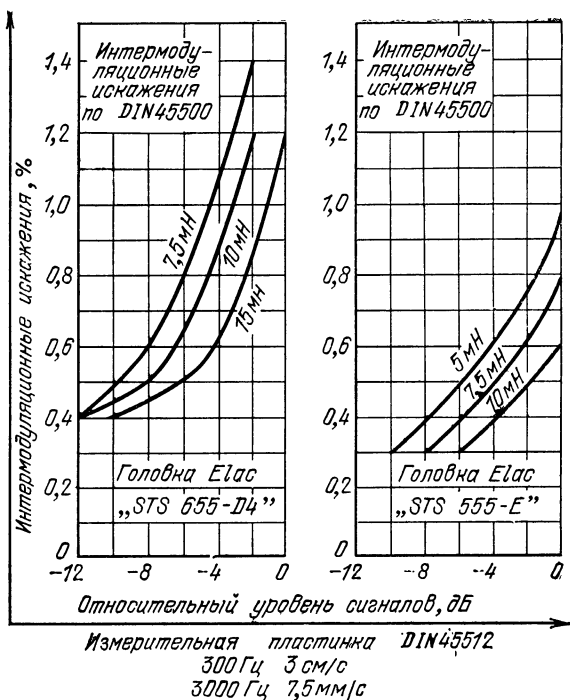


Рис. 3.4. Интермодуляционные искажения двух магнитных головок звукозаписывающих устройств в зависимости от уровня сигнала и прижимной силы

Если раньше при выборе головки звукозаписывающего устройства решающее значение играла амплитудно-частотная характеристика, то сейчас все большее внимание уделяется гибкости подвижной системы. Статическая гибкость головки звукозаписывающего устройства измеряется достаточно просто. С помощью динамометра под микроскопом игла отклоняется на 60 мкм и это значение делится на значение силы, вызвавшей это отклонение. Наиболее распространенные значения гибкости изменяются от $4 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ м/Н. Для уменьшения износа пластинок целесообразно принять нижнее значение гибкости в 20×10^{-3} м/Н. Со времен монофонических пластинок у большинства изготовителей сохранилась традиция задавать гибкость только в плоскости пластинки (горизонтальная гибкость). Измеренные значения вертикальной гибкости получаются, как правило, меньше чем горизонтальной.

При проигрывании пластинки канавка отклоняет иглу, иглодержатель и подвижные детали преобразователя, имеющие очень малую массу. Эти движущиеся точечные массы в соответствующем соотношении можно перенести на место иглы, тогда получим эффективную массу подвижной системы. Наибольшая допустимая эффек-

тивная масса равна 2 мг. Измерить ее с необходимой точностью очень трудно.

Прижимная сила, гибкость и эффективная масса подвижной системы определяют еще одно новое понятие: способность следования иглы по канавке. Этот параметр для покупателя имеет большое значение. Он показывает максимальное отклонение канавки на данной частоте, которое звукоосниматель способен проиграть без искажений при заданной прижимной силе. Измерение способности следования связано с повышенными трудностями. Длительное время способность следования определяли только по результатам субъективных сравнительных испытаний: оценивали на слух чистоту звучания музыкальных колокольчиков, воспроизводимых с измерительной пластинки TTR101 фирмы «Шур». Однако с появлением новых измерительных пластинок TTR102 и TTR103 способность следования начали измерять объективно.

Измерительная пластинка TTR102 содержит сигналы, позволяющие провести различные испытания головок звукооснимателей и тонармов. Проверка способности следования проводится при воспроизведении сигнала частотой 400 Гц, записанного с возрастающей колебательной скоростью от 6,9 до 27 см/с. Измерительная пластинка TTR103 изготовлена специально для измерения искажений следования и оценки способности звукооснимателей к огибанию канавки. На ней записан измерительный сигнал частотой 10,8 кГц с колебательными скоростями 15, 19, 24 и 30 см/с, состоящий из пакетов импульсов. Измерительные сигналы обоих видов, помимо субъективного прослушивания, могут быть оценены путем наблюдения на экране осциллографа и анализа их спектра.

Однако способность следования нельзя характеризовать одним количественным параметром. В качестве примера на рис. 3.13 показаны кривые способности следования двух первоклассных звукооснимателей в зависимости от частоты при различных значениях прижимной силы.

В интересах дальнейшей обработки электрического сигнала возникает необходимость в измерении параметров звукооснимателя, рассматривая его как генератор электрических колебаний. В качестве первого параметра можно назвать напряжение на зажимах, которое в не очень удобном для практических целей виде задается эффективным напряжением, измеренным при воспроизведении сигнала, записанного с амплитудой колебательной скорости 10 см/с (более целесообразным было бы задаваться обоими или эффективными или амплитудными значениями)¹. Вторым параметром является выходное сопротивление по постоянному току или измеренное на частоте 1000 Гц полное сопротивление, особенно важное для согласования четырехканальных дискретных звукооснимателей.

Необходимо, наконец, задать еще один качественный параметр, разбаланс стереоканалов, который определяет в децибелах расхождение между выходными напряжениями правого и левого каналов головки звукооснимателя при воспроизведении сигналов частотой 1000 Гц, записанных с одинаковой амплитудной колебательной скоростью.

¹ В Советском Союзе по ГОСТ 20006-74 измеряется чувствительность звукооснимателя как частное от деления выходного напряжения (эффективное значение) на колебательную скорость сигнала частотой 1000 Гц (эффективное значение). — *Прим. ред.*

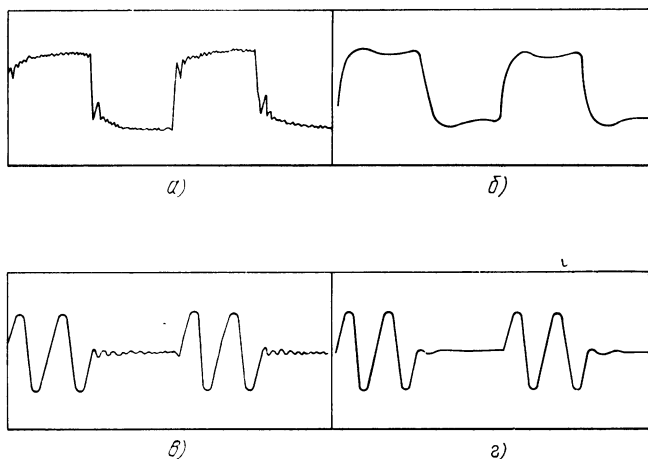


Рис. 3.5. Форма П-образного сигнала частотой 1 кГц с измерительной пластинки STR111, воспроизведенного головкой звукоснимателя с подвижным магнитом «Элак 665» при прижимной силе 10 мН (а) и головкой звукоснимателя с электродинамическим демпфированием подвижного элемента из магнитомягкого железа ADC XLM при прижимной силе 7 мН (б); форма импульсов с измерительной грампластинки HFS-69 этих же головок звукоснимателей (в и г)

Для квалификации магнитных звукоснимателей (чувствительных к колебательной скорости) можно использовать прямоугольные импульсы частотой 1000 Гц. На рис. 3.5 показаны импульсные сигналы, воспроизведенные двумя различными магнитными головками звукоснимателей. Этот параметр, характеризующий качество головки звукоснимателя, отражает особенности современной музыки, отличающейся импульсными сигналами и большим динамическим диапазоном. Хорошая головка звукоснимателя огибает прямоугольные импульсы с крутыми фронтами без выбросов и наклона горизонтальной части.

3.3. КОНТАКТ ИГЛЫ СО ЗВУКОВОЙ КАНАВКОЙ

Игла с рабочей частью в форме сферы. Единственной деталью звукоснимателя, находящейся в непосредственном контакте с канавкой при проигрывании пластинки, является игла. Ее задача заключается в том, чтобы продвигаясь по канавке пластинки, по возможности наиболее точно повторять движение резца рекордера. Самой подходящей будет игла, имеющая такую же форму, что и резец. Но такая игла обязательно начала бы снимать стружку с изгибов канавки. Отсюда следует, что для проигрывания пластинки необходимо задать второе условие: игла не должна повреждать ее канавку. Однако для удовлетворения этого требования необходимо, чтобы игла не имела острых ребер. Конечно, форма такой иглы бу-

дет отличаться от формы резца рекордера. Третьим условием является требование по возможности наименьшего износа иглы, т. е. материал иглы должен быть как можно тверже. Это требование определяет стоимость материала для иглы и трудности его шлифовать для получения требуемой формы.

В предыдущей главе было сказано, что звуковая информация записывается отклонениями боковых стенок стереофонической канавки и дна монофонической канавки. Однако эти отклонения не полностью равноценны: дно канавки во время изготовления пластинки искажается больше, чем ее боковые стенки. Кроме этого, ведение иглы, опирающейся в одной точке на дно канавки с радиусом 4—5 мкм, было бы неопределенно, и износ кончика иглы, также имеющего радиус 4 мкм, был бы очень большим. Поэтому игла изготавливается так, чтобы она опиралась на обе стороны канавки. Как и при шлифовке оптических элементов, наиболее просто обрабатываются полусферические поверхности. Поэтому вначале острие иглы, соприкасающееся с микроканавкой, шлифовалось до образования полусферической поверхности (так называемая сферическая игла). Радиус закругления полусферической поверхности иглы для монофонических пластинок вначале был установлен от 13 мкм (минимальное значение) до 25 мкм. В связи с распространением стереофонических пластинок, имеющих более узкие канавки, был стандартизован радиус закругления, равный 13—18 мкм. От этих значений допускаются отклонения ± 10 —20%¹.

Полусферическое острие иглы для повышения ее прочности переходит в конус с углом между образующими примерно 40—55°. Конусообразная часть иглы переходит в цилиндрическую, образующую тело иглы, служащее для крепления к иглодержателю. Трубочатый иглодержатель является подвижным элементом, передающим колебания иглы преобразователю головки звукоснимателя. На выходе преобразователя возникает напряжение, соответствующее движению одной воображаемой точки иглы, например центр полусферы.

Исследуем теперь, насколько точно воображаемая центральная точка сферической иглы повторяет отклонения острия резца. Предположим, что воспроизводящая игла продвигается от края к центру точно по радиусу пластинки. О том, что это предположение выполняется редко, будет сказано в гл. 4. Ошибки в пути следования иглы можно разбить на две подгруппы: статические и динамические дефекты взаимосвязи между канавкой и иглой.

Искажения огибания (геометрические искажения). Статическими ошибками называются искажения, которые зависят только от формы иглы и резца и не зависят от движения канавки. В первом приближении их можно исследовать в статическом режиме. Это искажения огибания и искажения, вызванные выталкиванием иглы канавкой (пинч-эффектом). Как показано в верхней части рис. 3.6, режущая грань резца в каждый момент времени расположена перпендикулярно продольной оси немодулированной канавки. В противоположность этому, как видно из средней части рис. 3.6 и на рис. 3.7, на одном из участков канавки с синусоидальной модуляцией положение центральной точки сферической поверхности иглы

¹ В Советском Союзе в соответствии с рекомендациями МЭК радиус закругления острия сферической иглы стандартизован равным 18—3 мкм. — *Прим. ред.*

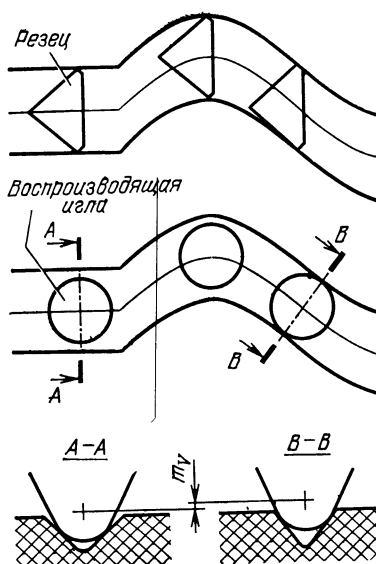


Рис. 3.6. Движение резца рекордера иглы звукоснимателя при поперечной записи

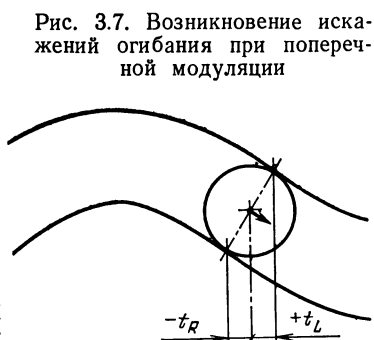


Рис. 3.7. Возникновение искажений огибания при поперечной модуляции

(относительно острия резца) определяют запаздывающая точка контакта иглы с внешней стенкой канавки и опережающая точка контакта на ее внутренней стенке. Так как в точках максимальных отклонений синусоиды временные, опережения и отставания отсутствуют, то центр полусферы совпадает с положением острия резца. Во втором полупериоде синусоидального колебания опережавший край становится отстающим, а запаздывающий — опережающим. В точках максимума и минимума синусоиды точка касания полусферической поверхности совпадает со следом острия резца. Подводя итог, можно сказать, что во время проигрывания поперечной записи искажения огибания на выходе звукоснимателя возбуждают нежелательные сигналы, обусловленные нечетными гармониками ($3f$, $5f$) основной частоты f . На стереофонических пластинках эти искажения возникают в обоих каналах. Искажения огибания поперечной записи снижаются уменьшением до допустимых размеров радиуса закругления острия иглы.

Продолжая анализ поперечной записи, исследуем искажения, вызванные колебаниями иглы в вертикальной плоскости (пинч-эффектом). При увеличении, использованном на рис. 3.6, можно видеть, что в немодулированной канавке (А—А) или в момент максимальной модуляции игла опирается на средние участки стенки канавки. Однако на участке между двумя пиками синусоиды режущая грань резца в зависимости от интенсивности модуляции вырезает при одинаковой глубине более узкую канавку (направление мгновенного движения острия резца образует угол с продольным направлением канавки). Другими словами, образованный стенками канавки угол, измеренный в направлении, перпендикулярном ее средней линии, постоянно изменяется. На более узком участке канавки игла выталкивается стенками канавки вверх, что означает вертикальную модуляцию m_v , как это видно из В—В рис. 3.6. Су-

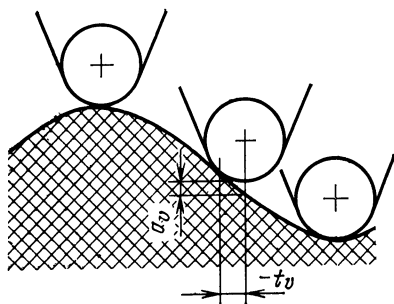


Рис. 3.8. Образование искажений огибания при проигрывании канавки с глубиной модуляцией (на восходящем участке синусоиды возникает опережение по фазе $+t_v$)

уменьшить, снижая размеры иглы в продольном направлении. Заклинивание иглы, помимо искажений, вызывает также и значительный ее износ, ибо перемещение иглы при приближении к граничному случаю самозаклинивания из-за сужающихся стенок канавки становится все более затрудненным.

К искажениям огибания, возникающим при глубинной записи, также чувствительны только стереофонические звукосниматели. Образование этих искажений наглядно поясняется на рис. 3.8: сферическая игла (более точно, перпендикулярная к канавке продольная ось иглы) только в точке вершины и в точке впадины синусоидального колебания соприкасается с канавкой, между ними игла ведется точками, находящимися вне проекции ее центральной точки. В изображенном положении это означает вертикальное запаздывание t_v , а на симметричном участке синусоиды такое же опережение. Как опережение, так и запаздывание внутри одного периода повторяются по одному разу. Поэтому искаженный сигнал содержит гармоники с нечетными номерами, но так как отклонение по времени в обоих случаях идет с подъемом центральной точки на a_v , то возникают мешающие компоненты и с четными порядковыми номерами. Значит, искажения огибания при глубинной записи содержат гармоники основной частоты со всеми целыми номерами. Анализ искажений этих трех характерных видов показывает, что значения выходящих гармоник с возрастанием их номеров сильно снижаются. Наиболее мешающее воздействие оказывают вторая и третья гармоники.

Помимо геометрических соотношений иглы и канавки в плоскости пластинки звукосниматель является еще одним источником статических искажений. На рис. 3.2 предполагалось, что вертикальные углы колебаний воспроизводящей иглы и резца одинаковые. Однако на практике из-за неправильной установки прижимной силы вертикальный угол колебаний воспроизводящей иглы и вместе с ним и плоскость движения иглы не совпадают с углом и плоскостью движения резца. Из-за этой ошибки в выходном сигнале возникают четные гармоники.

жение канавки за один период синусоиды происходит дважды, благодаря чему подъем и спуск иглы будут происходить с удвоенной основной частотой. Эти искажения математически можно описать гармониками основного колебания с четными номерами ($2f, 4f, \dots$). Монофонический звукосниматель, воспринимающий только колебания в горизонтальной плоскости, не передает искажений, происходящих от сужения канавки. В стереофоническом звукоснимателе, независимо от того, внешняя или внутренняя стенка канавки вызывает ее сужение, на обоих выходах появляются одинаковые искаженные сигналы. Эти искажения можно несколько

Рассмотрев причины, вызывающие искажения, можно сделать заключение, что воспроизведение механической записи звука не может быть выполнено идеально. На самом деле это совсем не так. Эти искажения при соответствующих условиях можно снизить настолько, что в полной петличке воспроизведения от звукоснимателя до громкоговорителя искажения головки звукоснимателя не будут преобладающими. Технические решения для снижения искажений можно применять в двух местах: централизованно при записи для пластинок или по отдельности в каждом проигрывающем устройстве.

Снижение искажений огибания. Многочисленные предложения были сделаны для компенсации во время записи на лаковый диск искажений огибания и искажений от изменения профиля канавки. По способу, предложенному фирмой «Ар-Си-Эй», перед записью сигнал пропускается через электронное устройство, так называемый динамический коррелятор записи. Это устройство задерживает сигнал, в зависимости от его мгновенного значения, на больший или меньший отрезок времени и полученный таким образом, по существу модулированный по фазе компенсирующий сигнал записывается на лаковый диск вместе с основным сигналом. При проигрывании искажения огибания и компенсирующий сигнал взаимно уничтожают друг друга и звук становится неискаженным.

Для этой же цели фирмы «Телефункен» и «Декка» разработали устройство под названием «имитатор искажений». Назначение этого прибора было — создание при записи на лаковый диск предсказаний для компенсации искажений огибания, а также квадратичных и кубических искажений, обусловленных упругой релаксацией материала лакового диска. От предыдущего этот метод отличается тем, что компенсация производится не путем задержки сигнала во времени (эти искажения при глубинной записи обозначены на рис. 3.8 — l_v), а изменением амплитуды сигнала (на том же рисунке — a_v). Таким образом, заранее изменяя записываемый сигнал, можно значительно снизить во время проигрывания искажения, вызываемые второй и третьей гармониками. С другой стороны, задавая максимальное значение этих искажений, можно примерно на 8 дБ увеличить уровень сигнала. Изготовленные с предсказаниями пластины фирмы «Телдек» появились в продаже под названием «Ройял стерео саунд». Их качество было признано хорошим, если пластины проигрывали иглами с радиусом закругления, принимавшимся в расчет при введении предсказаний.

Обратимся теперь ко второму возможному варианту, по которому снижение искажений производится в каждом проигрывающем устройстве. При изучении искажений огибания упоминалось, что их значение снижается при использовании игл с меньшими радиусами закругления острия. Учитывая это соображение, изготовители головок звукоснимателей вместо игл с радиусом закругления 18—20 мкм начали ставить в звукосниматели иглы с радиусом 17 мкм, а затем и 15 мкм. В ассортименте нескольких фирм можно встретить иглы с радиусом закругления острия, равным 12 мкм. Со временем распространения игл с такими размерами совпало предложение нескольких фирм о записи с предсказаниями, предполагающей применение игл единого размера. Широкое распространение игл с различными радиусами закругления острия затормозило принятие этого предложения. Предсказания, как способ централизованного снижения искажений, были окончательно вытеснены появлением эллиптических игл.

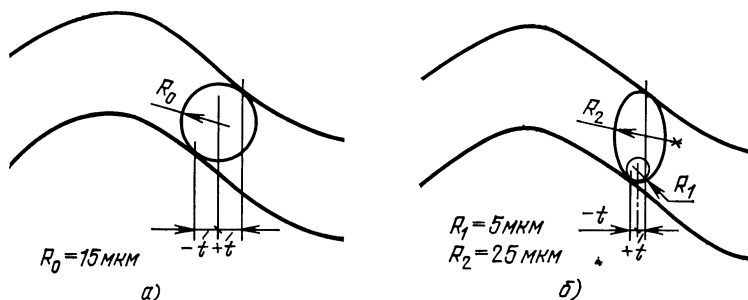


Рис. 3.9. Проигрывание канавки с большой амплитудой записи эллиптической и сферической иглами

В основу этих игл была положена простая идея: уменьшить только геометрические размеры иглы, которые действительно позволяют снизить искажения, а размеры, не влияющие на искажения, оставить такими, которые необходимы с точки зрения прочности. Сечение иглы, сконструированной согласно этому принципу, имеет два радиуса закругления (рис. 3.9, а, б). Отсюда и название — эллиптическая игла. Большая ось эллиптической иглы перпендикулярна к продольной оси немодулированной канавки. Именно это обстоятельство облегчает поперечное движение иглы при больших отклонениях канавки.

Единых размеров игл с эллиптическим сечением не существует. По стандарту DIN45500 малый и большой радиусы $R_1 = 6$ мкм и $R_2 = 20$ мкм. Номинальный размер R_1 на практике изменяется от 5 до 10 мкм, а R_2 между 17 и 22 мкм. Только профессиональные фирмы (например, «Ортофон») указывают в своих паспортах, наряду с номинальными размерами иглы, гарантированный допуск для малого радиуса ± 1 мкм, а для большого от ± 2 до ± 4 .

Может быть излишне напомнить, что игла с сечением в виде эллипса дороже иглы со сферическим острием. Пропорционально качеству воспроизведения ее цена может быть в 2 раза выше. Достоинством эллиптической иглы является то, что при проигрывании старых пластинок по сравнению со сферической иглой можно наблюдать определенное снижение искажений, особенно на сигналах, записанных с большой модуляцией. Справедлива и обратная закономерность: задавая одинаковый уровень искажений, эллиптическая игла в зависимости от меньшего радиуса позволяет увеличить динамический диапазон примерно на 10 дБ. Разумеется, связанные с приобретением эллиптической иглы повышенные расходы только тогда себя оправдают, когда коллекция пластинок заслуживает внимания.

При покупке съемной вставки звукоснимателя с эллиптической иглой следует быть особенно осторожным. Вставки могут иметь дефекты, которые редко встречаются у сферических игл одинакового с ними класса. Одним из дефектов может быть неправильное закрепление иглы (рис. 3.10), при котором главная ось эллипса не располагается перпендикулярно к иглодержателю. При таком креплении искажения огибания не только не снижаются, но даже увеличиваются. Вторым дефектом может быть неправильная форма

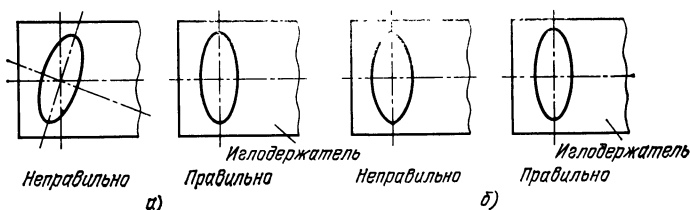


Рис. 3.10. Возможные дефекты эллиптической иглы:

а — игла косо установлена в иглодержателе; б — неправильное сечение иглы

сечения иглы, показанная на второй половине рисунка. У такого «эллипса» практически нет меньшего радиуса, поэтому игла, напоминаящая по форме сечения косточку сливы, вместо закругления опирается на стенки канавки режущим острием.

Необходимо коротко упомянуть о повышении нагрузки на канавку, что является недостатком эллиптической иглы. Если эллиптическую иглу с малым радиусом $R_1 = 5$ мкм просто поставить на место сферической иглы с радиусом закругления $R_0 = 15$ мкм, то вследствие уменьшения площади контакта примерно на одну треть на канавку и иглу будет действовать давление, возросшее примерно в 3 раза. Из-за этого эллиптические иглы изготавливают только из алмаза. Сапфир не применяют.

Иглы со специальным профилем. При разработке способа записи для дискретных четырехканальных пластинок верхняя граничная частота рабочего диапазона относительно легко была увеличена до 45 кГц. Воспроизведение этих колебаний, напротив, вызвало больше затруднения. У обычных сферических, а также эллиптических игл сечение в плоскости, перпендикулярной ной канавке, представляет собой поверхность, ограниченную окружностью с радиусом 15—18 мкм. Эта окружность касается стенок канавки только в двух участках. Поверхности площадок касания имеют диаметр в несколько микрон, в результате чего возникает большое давление на канавку (верхняя часть рис. 3.11). При таком давлении нагрузка на материал пластинки может превысить границу упругости и тогда возникнет пластическая деформация канавки. Это означает также, что игла не будет огибать небольшие отклонения, соответствующие колебаниям на очень высоких частотах.

Для проигрывания четырехканальных грампластинок были разработаны иглы со специальными профилями (биэллиптические), которые

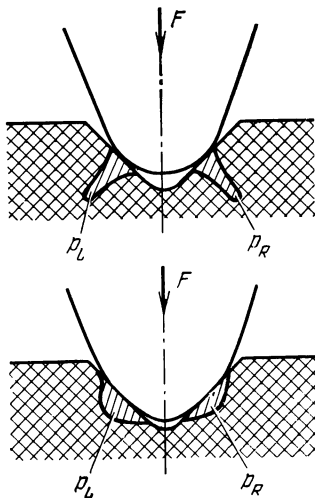


Рис. 3.11. Распределение давления на канавку у сферических, эллиптических и биэллиптических игл

обеспечивают существенно больший радиус площади контакта иглы со стенками канавки (приблизительно до 50—75 мкм). Путем оптических наблюдений на увеличенной модели иглы и канавки было подтверждено, что нагрузка от этих игл распределяется по поверхности более равномерно (см. нижнюю часть рис. 3.11). Таким образом при одинаковой прижимной силе можно избежать пластической деформации канавки и обеспечить огибание иглой высокочастотных отклонений.

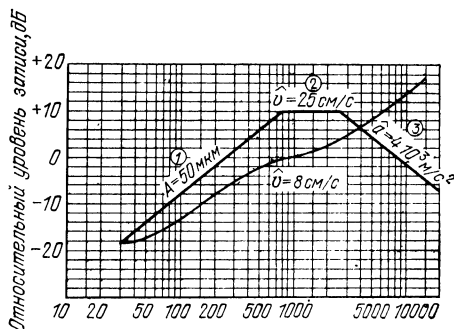
Изобретателем первой эллиптической иглы был японец Норио Сибата (1971 г.), поэтому такие иглы часто называют иглами Сибата. В то же время и в других странах также проектировались иглы подобного назначения со специальным профилем. Первым в Европе многорадиусную алмазную иглу для звукоснимателя MMC6000 разработал инженер датской фирмы «Банг энд Олуфсен» С. К. Праманик, пакистанец по происхождению. Такую же конструкцию имеет игла «Квадраэдрал» американского предприятия «Пикеринг», предназначенная для звукоснимателя UV15/2400Q, японская игла «Ичикава» фирмы «Йелко» и др.

Использование игл со специальным профилем имеет свои преимущества и при проигрывании стереофонических пластинок. Несмотря на то что материал пластинки остается без изменения, снижение пластической деформации как бы повышает его прочность, поэтому при такой же эффективной массе подвижной системы удваивается частота механического резонанса, обусловленная массой подвижной системы и упругостью стенок канавки. Более подробно об этом будет сказано в следующей главе. Таким образом, улучшается отдача на высоких частотах с внутренних канавок пластины.

При увеличении поверхности контакта между иглой и канавкой по сравнению со сферической иглой, например в 4 раза, давление на канавку снижается на одну четверть, что означает многократное увеличение срока службы и иглы, и пластинки. Наконец, при увеличении поверхности механического контакта улучшается также и отношение сигнал/шум проигрываемой пластинки.

Динамическая связь между иглой и канавкой. Достоинства эллиптической иглы в области снижения статических искажений огибания по сравнению со сферической иглой неоспоримы. Но при неизменных конструкции иглодержателя и прижимной силе возросшее давление приводит к сокращению срока службы иглы и увеличению износа канавки. Для устранения этих недостатков была использована естественная возможность, заключающаяся в пропорциональном снижении прижимной силы. Действительно, такое снижение может быть осуществлено в состоянии покоя иглы. Однако слушая музыку при воспроизведении звукоснимателем с уменьшенной прижимной силой можно ощутить, что в зависимости от уровня записи отдельные инструменты звучат чисто, а другие искаженно и неприятно. Может случиться, что игла выскочит из канавки. В звучании оркестра из-за явления, известного в акустике под названием маскирования, эти дефекты проявляются ослабленными, но по сравнению с воспроизведением звукоснимателем лучшего качества они всегда ощутимы. Эти искажения вызываются отсутствием надежного контакта между иглой и канавкой, игла временами скользит вверх по стенке канавки и не точно огибает все ее извилины. Возникающие при этом искажения нельзя ослабить уменьшением искажений огибания, так как они являются следствием низкой динамической способности иглы следовать по канавке. Этот

Рис. 3.12. Результаты измерений максимальных амплитуд (1), максимальных колебательных скоростей (2) и максимальных ускорений (3) большого числа пластинок (тонкой линией обозначена номинальная характеристика записи)



чрезвычайно важный для воспроизведения параметр получил название «способность следования иглы по канавке пластинки». Ниже исследуются факторы, определяющие способность звукоснимателя к огибанию канавки, а также пути ее улучшения.

После распространения стереофонических пластинок в лабораториях одной из крупнейших фирм по производству звукоснимателей «Шур» были тщательно исследованы несколько сот пластинок, в первую очередь таких, которые ранее считались непригодными для проигрывания из-за дефектов прессования. Результаты этих измерений представлены на рис. 3.12. Из рисунка видно, что из-за инерционности измерительных приборов, использованных во время записи, а также для расширения динамического диапазона, колебательная скорость записи на пластинках превышала граничные значения, установленные стандартами. Анализируя диаграмму измеренных значений колебательной скорости в зависимости от частоты, следует обратить внимание на три участка, отличающихся по характеру один от другого.

Первый участок распространяется приблизительно до частоты 800 Гц. На нем колебательная скорость записи возрастает примерно пропорционально частоте ($v=A\omega$), а значение амплитуды постоянно и не превышает 100 мм. Отклонение канавки на такую величину происходит большей частью при записи контрабаса или низких трубок органа и ударов барабана. Способность огибать амплитуду на низкой частоте в первую очередь определяется подвеской иглодержателя. Эта подвеска, с одной стороны, должна допускать большие отклонения без чрезмерной деформации ее материала, ибо остаточная деформация вызывает рост искажений и проникание сигналов. С другой стороны, необходимо обеспечить достаточно малую возвращающую силу, чтобы для колебаний с такой большой амплитудой не нужно было устанавливать повышенную прижимную силу. Например, для огибания амплитуды $A=50$ мкм при гибкости подвижной системы $8 \cdot 10^{-3}$ м/Н следует установить прижимную силу:

$$F = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-3}} \approx 6 \text{ мН.}$$

Мягкая подвеска должна обеспечивать одинаковую гибкость как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, однако прижимная сила постоянно нагружает подвеску в вертикальном направлении, из-за чего она становится более жесткой, гибкость понижается и возврат иглы требует большей силы.

На втором участке измеренную колебательную скорость можно считать постоянной, независимой от частоты. На пластинке хорошего качества средняя колебательная скорость составляет только 5 см/с, но кратковременно встречаются колебания, уровень которых более чем на 10 дБ превышает номинальный уровень, равный 8 см/с на частоте 1000 Гц¹, и составляет примерно 25 см/с. Как о большой редкости можно упомянуть об измеренной на пластинке «Рок энд ролл» диаметром 17 см колебательной скорости 40 см/с. С увеличением колебательной скорости увеличивается крутизна отклонения канавки. Интересно напомнить, что линейная скорость канавки с радиусом 65 мм долгоиграющей пластинки:

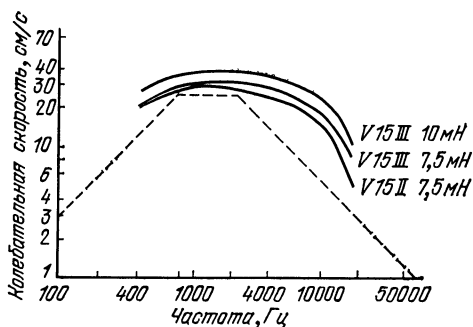
$$v = \frac{2R \pi n}{60} \approx 23 \text{ см/с.}$$

При колебательной скорости записи, превышающей это значение, игла будет двигаться под углом более чем 45° относительно немодулированной канавки. Поэтому способность огибать канавку при больших скоростях определяется, главным образом, свойствами скольжения иглы. В интервале частот 800—2500 Гц, где колебательная скорость записи достигает 25 см/с, расположены важнейшие спектры многих инструментов и человеческого голоса. В этом диапазоне из-за резонанса, обусловленного массой иглы и гибкостью подвижной системы ($m=2$ мг, $c=4 \cdot 10^{-3}$ м/Н, $f=1768$ Гц), полное механическое сопротивление звукоснимателя имеет минимум. С точки зрения нагрузки на канавку это очень благоприятно, но из-за склонности к резонансу снижается надежность к огибанию, и предсловутый звук «ш» звучит искаженно. Так как при постоянной скорости записи с увеличением частоты уменьшается отклонение канавки, то на этом участке все меньшее значение имеют факторы, определяющие способность огибать большие амплитуды, и все большее значение приобретают свойства, характеризующие третий участок.

Третий участок начинается примерно с частоты 2500 Гц. В этой области колебательная скорость записи по экспериментальным данным снижается пропорционально увеличению частоты. Другими словами, выше частоты 2500 Гц встречается практически постоянная величина ускорения. Наибольшие значения ускорения возникают при пересечениях иглой средней линии немодулированной канавки. Колебания такой частоты вызываются основными тонами некоторых инструментов с высоким звуком и высшими гармониками большинства инструментов. Особенно большие ускорения встречаются в высокоэнергетических импульсах при записи клавирина, арфы, оркестровых колокольчиков, тарелок и кастаньет. Определенные экспериментально ускорения большей частью не превышают значений, допускаемых характеристикой записи. Значения 15×10^3 м/с² встречались только в исключительных случаях, среднее значение ускорения составляет $4 \cdot 10^3$ м/с². Однако и это значение уже в 400 раз превышает ускорение свободного падения, измеренного на поверхности земли! При таком ускорении на иглу с эффективной массой $m=2$ мг действует сила $F=ma=2 \cdot 10^{-6}$ кг·4×

¹ В Советском Союзе номинальный уровень, согласно ГОСТ 7893-79, соответствует колебательной скорости 10 см/с на канал.—*Прим. ред.*

Рис. 3.13. Способность следования в зависимости от частоты при проигрывании измерительной пластинки «Шур TTR103» с головками звукоснимателя «Шур V15III» и «Шур V15II».



$\times 10^3 \text{ м/с}^2 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$, т. е. игла силой 8 мН выталкивается из канавки. Поэтому по крайней мере такую же прижимную силу следует приложить к игле, чтобы ее контакт с канавкой не прерывался. Из приведенных рассуждений следует, что снижение эффективной колеблющейся массы головки звукоснимателя является полезной мерой, позволяющей снизить динамические нагрузки на канавку и улучшить способность следования по канавке при больших ускорениях.

Хороший звукосниматель должен обеспечивать надежное следование иглы по канавке без потери подвижного контакта с ее стенками на всех трех перечисленных участках. Это тройное требование в случае заданной прижимной силы определяется диаграммой (рис. 3.13) или колебательной скоростью, достижимой на трех характерных частотах. Например, при прижимной силе 10 мН на частоте 400 Гц колебательная скорость не должна превышать 20 см/с, на частоте 1000 Гц — 28 см/с и на частоте 10 000 Гц — 18 см/с.

Однако для создания идеального звукоснимателя следует иметь в виду еще несколько динамических параметров, связанных с явлением резонанса, обусловленного взаимодействием иглы с канавкой. Если на частотной характеристике или характеристике разделения между каналами звукоснимателя наблюдаются скачкообразные изменения, то это определенный признак возникновения на этой частоте механического или электрического резонанса. Последний будет рассмотрен при разборе условий электрического согласования звукоснимателя. На резонансной частоте звукосниматель имеет неприятно резкое звучание, а происходящий одновременно с этим скачок фазовой характеристики может вызвать изменение пространственной картины звука при стереофоническом воспроизведении.

Механический резонанс всегда возникает при соединении массы жесткого и упругого веществ, а подобные сочетания в звукоснимателе имеются в избытке. Наибольшее значение имеет резонанс, определяемый массой подвижной системы и гибкостью материала пластинки. Он возникает на частоте

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{mc_1}},$$

где m — эффективная масса подвижной системы, приведенная к кончику иглы; c_1 — гибкость материала пластинки. Современные звукосниматели с эффективной массой подвижной системы около 2 мг при гибкости материала виниловых пластинок около $50 \times$

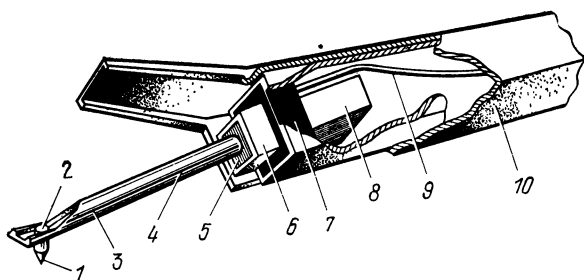


Рис. 3.14. Конструкция вставки для звукоснимателя с подвижным магнитом:

1 — игла; 2 — крепление иглы; 3 — иглодержатель малой массы; 4 — динамический регулирующий элемент (внутри трубки); 5 — центрирующий сопрягающий блок; 6 — посадочный шип; 7 — гибкая подвеска; 8 — подвижной магнит; 9 — безрезонансная поддерживающая проволока; 10 — корпус узла

$\times 10^{-6}$ м/Н имеют резонанс в области 15 кГц, который при дальнейшем уменьшении эффективной массы подвижной системы можно отодвинуть за пределы диапазона звуковых частот. Причиной резонанса может быть также взаимодействие массы иглы и гибкости трубочки иглодержателя. О резонансе, обусловленном взаимодействием тонарма и гибкостью подвижной системы головки звукоснимателя, речь пойдет в гл. 4. Следует позаботиться об эффективном демпфировании высокочастотного резонанса блоками, расположенными внутри головки звукоснимателя.

Итак, мы рассмотрели принципиальные зависимости, определяющие динамическую взаимосвязь между иглой и канавкой. Ниже будут рассмотрены конструктивные возможности выполнения головок звукоснимателя.

Конструкция вставки с иглодержателем. В каждом звукоснимателе ряд миниатюрных деталей обеспечивает передачу к подвижному элементу преобразующей системы отклонений канавки, воспринимаемых иглой. Эти детали собираются в корпусе вставки с иглодержателем. Для обеспечения постоянного контроля иглы и для ее замены вставка с иглодержателем, как правило, может быть вынута из головки звукоснимателя одним движением руки или, в редких случаях, с помощью отвертки и пинцета. Схематический чертеж съемной вставки с иглодержателем представлен на рис. 3.14. На рисунке удалена ручка из синтетического материала, расположенная в передней части вставки. В нашем примере подвижным элементом преобразующей системы является миниатюрный магнит. Это не единственное решение. Детали вставки иглодержателя с преобразователями других систем должны выполнять подобные же задания.

Первой деталью, воспринимающей отклонения канавки, является игла. О форме части иглы, непосредственно соприкасающейся с канавкой, уже говорилось раньше. Это острие иглы, переходящее далее на конус. Острие иглы должно быть тщательно отполировано. Кончик иглы следует изготовлять только из самых твердых материалов, потому что на небольшой площадке касания с канавкой под действием даже малой прижимной силы возникает большое

Таблица 3.1

Зависимость между прижимной силой, давлением на стенку канавки и ожидаемым сроком службы игл

Прижимная сила, мН	Алмазная игла сечением 5×18 мкм		
	Давление на стенку канавки		Срок службы, %
	кг/см ²	Н/мм ²	
5	4300	430	300
7,5	4650	465	220
10	5120	512	170
15	5820	582	120
20	6430	643	110
25	6820	682	103
-30	7000	700	100

давление. Расчет этого давления возможен на основе уравнений на-пряжений Герца, действительных для упругих деформаций между выпуклыми поверхностями. Эллиптическая игла с радиусами 5 и 18 мкм при прижимной силе в 15 мН, согласно подсчетам, вызывает на стенке канавки давление 5100 кг/см² или более наглядно, 5 т/см². Если прижимную силу повысить до 20 мН, давление увеличится более чем на 1300 кг/см², т. е. на 28 %. В табл. 3.1 приведено давление, оказываемое эллиптической иглой с вышеуказанными размерами на стенки канавки пластинки из материала обычной твердости для нескольких значений прижимной силы.

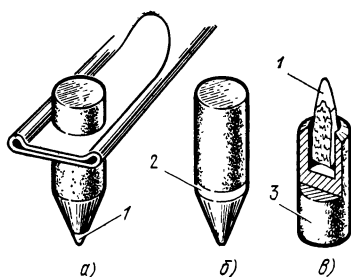
Материал иглы должен быть износостойким, так как на двух сторонах пластинки диаметром 300 мм, каждая из которых рассчитана на звучание в течение 25 мин, канавка имеет длину более одного километра, а одной иглой необходимо прослушать по крайней мере несколько сот таких пластинок. Требуемую твердость и износостойкость имеют только сапфир и алмаз.

Цена иглы из сапфира составляет около одной десятой стоимости алмазной, но срок ее службы примерно в таких же размерах меньше. Значит, за длительный период при тщательном уходе затраты будут примерно одинаковыми. Несмотря на то что оба материала износостойкие, это не означает, что они одновременно являются и ударопрочными. Достаточно один раз случайно уронить тонарм с иглой на пластинку или рядом с ней, чтобы от нее откололся мельчайший осколочек. Проиhrывать пластинку такой иглой категорически воспрещается не только потому, что даже на новой пластинке звук может быть сильно искаженным, а главным образом потому, что острие сломанной иглы может привести в негодность канавку. Иглу сразу же следует проверить, и если она повреждена, то как можно скорее заменить. Замена иглы довольно дорогостоящая операция, особенно при применении алмазных игл, поэтому при обращении со звуконосителем требуется большое внимание. Конечно, лучше иметь проигрыватель, не допускающий падения тонарма.

Средний срок службы сапфировой иглы при сухом проиhrывании составляет примерно 100 рабочих часов, а предположительный срок службы алмазной иглы около 1000 часов. При влажном проиhrывании острие иглы скользит по тонкой пленке жидкости, сни-

Рис. 3.15. Способы зажима иглы:

а — алмазная игла; *б* — комбинированная игла; *в* — игла с металлической оправкой; 1 — полировка; 2 — сварка или склейка; 3 — оправка из стали или молибдена



жающей трение между иглой и канавкой, благодаря чему уменьшается нагрев иглы и примерно в 2 раза увеличивается срок ее службы. Наиболее распространенный способ снижения трения между двумя поверхностями — уменьшение прижимной силы. Если пластинку проигрывать эллиптической иглой с радиусами 5 и 18 мкм при прижимной силе 20 мН вместо 30 мН, то срок ее службы увеличится примерно на 10%. Большое значение имеет также уменьшение износа пластинки. При снижении прижимной силы вдвое, т. е. с 30 до 15 мН, срок службы иглы увеличивается на 20%. При прижимной силе меньше этого значения срок службы возрастает экспоненциально и значительно уменьшается износ пластинки.

Однако при снижении прижимной силы на первый план выступают вопросы способности следования, из которых основным является способность следования по канавке при больших ускорениях. Так как эта способность зависит от массы подвижной системы, приведенной к кончику иглы, то повышение надежности следования иглы может быть достигнуто снижением массы, сосредоточенной в месте крепления иглы.

Раньше применялись иглы, в которых высеченный кусочек алмаза прикреплялся к металлической оправке (рис. 3.15). Оправку обычно изготавливали из высокопрочного металла — стали или молибдена, на который затем наносили антикоррозийное покрытие.

Однако при объеме оправки в десятые доли кубического миллиметра и плотности стали 7,9 мг/мм³ или молибдена 10,2 мг/мм³ общая подвижная масса оправки и иглы превысит 2 мг, что является уже большой массой. Правда, масса подвижной системы может быть снижена дальнейшим уменьшением геометрических размеров оправки, но это не позволяет сделать предел, определяемый условиями прочности. Более благоприятное решение — применение материала с меньшей плотностью. Поэтому широкое распространение получили иглы, конструкции которых показана на рис. 3.15,б.

Цилиндрическая часть иглы изготовлена из карбида какого-либо металла, оксидной керамики или сапфира, плотность последнего 4,0 мг/мм³. Можно применить и различные сплавы алюминия с плотностью 2,6—3,5 мг/мм³, но из-за относительно малой прочности таких сплавов необходимо увеличить размеры иглы. Алмаз или сапфир припаивается благородным материалом, при этом сопротивление растяжению в месте пайки будет выше, чем у обеих составных частей. При игле с телом из сапфира можно получить массу подвижной системы меньше 1 мг. Масса подвижной системы в несколько десятых долей миллиграмма может быть достигнута с иглой, изготовленной из чистого алмаза (плотность алмаза составляет

только $3,5 \text{ мг/мм}^3$) и имеющей диаметр $D=0,3 \text{ мм}$, длину $h=0,7 \text{ мм}$ и массу $m=0,17 \text{ мг}$. Обычно алмазные иглы вырезают по любому направлению (с произвольной ориентацией по отношению к исходному кристаллу) и шлифуют до приобретения цилиндрической формы. Более предпочтительными являются ориентированные иглы, изготовленные из алмазного кристалла призматической формы. По сути дела колка драгоценных камней является очень трудоемкой операцией, при которой трудно получить пригодные для серийного производства образцы одинаковой длины и поперечного сечения. Кусочки алмаза сортируют по размеру отверстия иглодержателя, поэтому игла, изготовленная целиком из алмаза, материала дорогого, устанавливается только в головках звукооснимателей, к которым предъявляются повышенные требования. В подвижную систему головки звукооснимателя входит масса трубочки иглодержателя, которая по мере приближения к центру колебаний прибавляется к массе иглы в виде квадратично уменьшающейся величины. У отдельных типов головок звукооснимателей (например, «Шур V15-II») внутри трубочки на одну треть ее длины вставляется небольшой вкладыш, который путем внутреннего демпфирования колебаний иглодержателя повышает надежность следования иглы звукооснимателя по канавке. Для трубочки иглодержателя также очень важна малая масса, поэтому толщина ее стенок не превышает $0,05-0,1 \text{ мм}$. Кроме небольшой массы, трубочка должна обладать высокой прочностью, поэтому ее обычно изготавливают из специального сплава алюминия, прошедшего термическую обработку, или фосфористой бронзы. Иглу запрессовывают в отверстие, выполненное на спресованной части трубочки со снятой фаской, и закрепляют клеем или эпоксидной смолой.

Второй конец трубочки иглодержателя сопряжен с центрирующим блоком, к которому прикрепляют подвижной элемент преобразователя, в данном случае — магнит. Центрирующий блок движется в эластичном подшипнике. Точность обработки этого небольшого блока из резины — $0,05 \text{ мм}$. При правильно выбранном материале блока колебания влажности и температуры не могут изменить центрального положения трубочки иглодержателя. К центрирующему блоку прикрепляют также тонкую, безрезонансную металлическую проволочку (сплав Cr-Ni-Fe), которая воспринимает силу тяги, действующую на иглу. Эта проволочка обеспечивает также и возвращающую силу, т. е. низкочастотную гибкость подвижной системы.

При проектировании съемной вставки с иглодержателем необходимо провести большое число экспериментов. Большую помощь в расчетах оказывают аналоговые вычислительные машины, на которых достаточно просто можно смоделировать цепи с электрическими аналогами механических элементов. Аналогом прижимной силы является электрическое напряжение. Части преобразователя, расположенные перед центром вращения и за ним, совместно с жесткостью подшипника образуют П-образное звено, состоящее из двух катушек индуктивностей и конденсатора, а необходимые демпфирующие блоки замещаются резисторами. Оптимальные данные относительно легко могут быть найдены изменением электрических величин. В магнитных звукооснимателях можно применить способ электромеханического демпфирования, по которому на движущихся в магнитном поле элементах вставки с иглодержателем устанавливаются накороткозамкнутые витки из алюминия или меди.

3.4. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Во многих головках звукоусилителей еще применяются преобразующие системы, работающие на пьезоэлектрическом принципе. Их широкое распространение объясняется просто: это самый дешевый среди известных в настоящее время типов звукоусилителей. Другим достоинством пьезоэлектрических головок звукоусилителей является высокое выходное напряжение, которое примерно в сто раз больше, чем напряжение других звукоусилителей. Благодаря этому в усилителе можно сэкономить несколько транзисторов.

Предположение о существовании пьезоэлектрического эффекта было высказано лордом Кельвином в 1887 г., а три года спустя братья Курье успешно продемонстрировали пьезоэлектрические свойства кристалла кварца. Этим экспериментом было доказано, что при механической деформации отдельных кристаллов на их обкладках возникает электрическая поляризация.

Физическое объяснение пьезоэлектрического эффекта представлено на рис. 3.16. В спокойном состоянии атомы кремния и кислорода в кристалле кварца располагаются в вершинах правильного шестигранника. Внешне кристалл электрически нейтрален, так как атомы, заряженные положительно и отрицательно, располагаются симметрично. Если к двум плоскостям, перпендикулярным анизотропной оси кристалла, приложить силу, симметрия атомов кремния и кислорода нарушится. К верхней части кристаллической пластинки окажутся ближе атомы кремния, а к нижней — атомы кислорода, при этом с пары металлических контактов, закрепленных на кристалле, можно снять электрический заряд или напряжение.

При снятии силы кристалл вновь становится электрически нейтральным, а в случае растягивающего усилия так же, как и при сжатии, возникает напряжение, но уже противоположного знака.

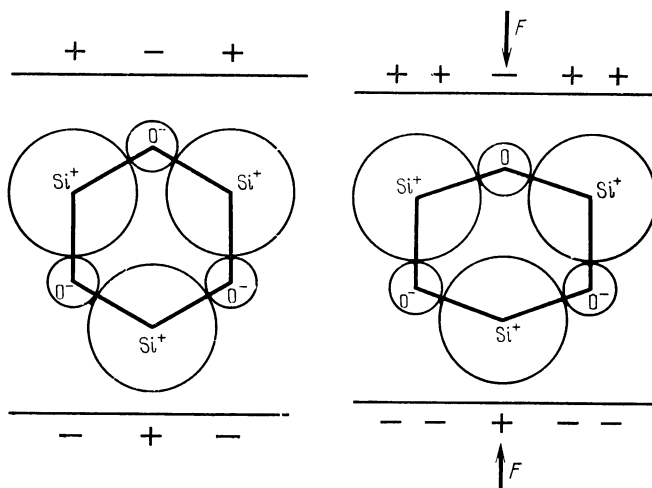


Рис. 3.16. Возникновение пьезоэлектрического потенциала при сдавливании кристалла кварца

В пьезоэлектрических головках звукоснимателей кристалл обычно работает не на сжатие, а на изгиб или, чаще всего, на кручение. Так как число зарядов, снимаемых с кристалла кварца не велико, головки звукоснимателей изготавливают из других материалов, обладающих большой диэлектрической постоянной. Эти материалы, по возможности, должны обеспечивать высокое напряжение. Таким материалом, например, является $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — калийно-натриевый тартрат, известный также под названием сегнетовой соли. Это вещество хорошо кристаллизуется, и поэтому из него можно вырастить монокристалл. В новейших головках звукоснимателей применяют и поликристаллическую керамику (титанат бария).

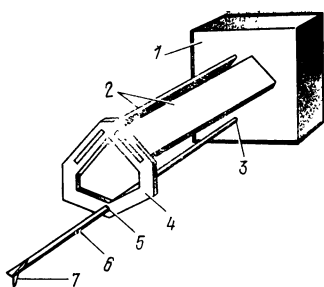


Рис. 3.17. Конструкция кристаллической головки стереофонического звукоснимателя:

1 — крепежный блок; 2 — кристаллические пластины; 3 — гибкий зажим; 4 — передатчик; 5 — жесткий зажим

Кристаллические головки звукоснимателей. Существует много вариантов кристаллических головок

звукоснимателей. Ниже приводится описание одного из характерных представителей этого типа. Преобразующий элемент состоит из двух пластин монокристалла сегнетовой соли толщиной 0,2—0,3 мм, которые на специальной установке вырезают из исходного кристалла точно по направлениям оптической и электрической осей. Обе пластины покрывают специальным токопроводящим лаком, который одновременно является и общим выводом. Второй вывод образуют обкладки, расположенные на внешних поверхностях пластин. Конструкция кристаллической головки стереофонического звукоснимателя показана на рис. 3.17. Задние концы пьезоэлектрических элементов зажаты в блоке из резины или синтетического материала, а спереди они соединены с иглодержателем механическим передатчиком. Колебания иглы, возбуждаемые каждой стенкой канавки, раздельно передаются пьезоэлектрическим пластинам.

Кристаллические головки звукоснимателей можно изготовить с относительно малыми размерами и незначительной собственной массой. Но поскольку напряжение сигнала обеспечивается путем механической деформации кристалла, гибкость кристаллического звукоснимателя редко достигает значения $4 \cdot 10^{-3}$ м/Н, поэтому обычно необходимо применять большую прижимную силу, обеспечивающую надежное следование иглы по канавке (кристалл имеет высокое полное механическое сопротивление).

Для кристаллических головок звукоснимателей повышенного качества необходима прижимная сила 25—50 мН. Если при этом желают избежать сильной деформации стенок канавки, т. е. стирания звуковой информации, то радиус иглы следует выбирать таким, чтобы канавка в месте контакта с иглой не разрушалась. Однако игла с большим радиусом закругления не может огибать высокочастотные колебания канавки.

Если конец кристалла закрепить жестко, то головка звукоснимателя будет выдавать сигнал, пропорциональный амплитуде отклонений канавки. Если применить упругий зажим (например, с

помощью резины), то можно добиться того, что кристаллическая головка звукоснимателя будет чувствительна к колебательной скорости. Правильно выбрав параметры зажима и принимая во внимание то, что между конструктивными элементами на поверхности пьезопластины нанесено вещество с высокой диэлектрической постоянной (звукосниматель является емкостным генератором), можно получить амплитудно-частотную характеристику, отвечающую требованиям высококачественного воспроизведения. Чувствительность к амплитуде проявляется при нагрузочном сопротивлении $250\text{ кОм}—1\text{ МОм}$ (о наиболее целесообразном согласовании сопротивлений более подробно будет сказано в § 6.3). Принципиально выходное напряжение кристалла не имеет искажений. Однако это преимущество не может быть использовано, потому что влияющие на амплитудно-частотную характеристику механические элементы (зажим кристаллических пластин и влагозащитный слой) в силу объективной необходимости обладают большим гистерезисом и таким образом являются причиной искажений во всем диапазоне звуковых частот. Главный недостаток кристаллических головок звукоснимателей — чувствительность к влажности. Для защиты от влаги поверхность кристаллических пластин покрывают лаком. Со временем в лаковом покрытии образуются микротрещины (при проигрывании пластины изгибаются), приводящие к тому, что кристаллическая головка звукоснимателя довольно быстро выходит из строя. Другой способ защиты от влаги — погружение кристаллических пластин в пластическую массу (например, в силиконовое масло), но в этом случае из-за гистерезиса увеличиваются искажения.

Кристаллические головки звукоснимателей чрезвычайно чувствительны к колебаниям температуры. Если температура окружающей среды увеличивается на 10°C , а такое изменение может вызвать включение лампы подсветки иглы или отопления зимой, выходное напряжение снижается на 25%. При температуре $50—52^{\circ}\text{C}$ пьезоэлектрический эффект исчезает и происходит распад кристаллического вещества. По своей природе кристалл чувствителен и к механическим воздействиям (даже в том случае, если они передаются не через иглу). Однако кристаллическая головка звукоснимателя не чувствительна к магнитным полям рассеяния.

Керамические головки звукоснимателей. По своей конструкции они схожи с кристаллическими головками звукоснимателей. Однако преобразующий элемент изготавливают из поликристаллического керамического вещества, так называемого пьезооксида. Наиболее часто им является титанат бария, свинца или свинца-циркония. Сами по себе эти вещества не обладают пьезоэлектрическими свойствами. Они получают их вследствие специальной обработки. Путем спекания формируются пластины желаемого размера, затем в сильном электрическом поле их подвергают термообработке (обжигают). Строго говоря, поликристаллические керамические тела при механической нагрузке дают ферромагнитное напряжение, названное так по аналогии с ферромагнетизмом, а не характерное для монокристаллов пьезоэлектрическое напряжение.

Пьезооксидные материалы полностью нечувствительны к влаге и химически нейтральны. Их электрические свойства при изменении температуры в области, представляющей практический интерес, постоянны. Верхняя температурная граница 70°C . Поэтому керамические головки звукоснимателей годами сохраняют свои электроакустические параметры даже в тропических условиях. Электрически керамическая головка также представляет собой емкостной преоб-

Таблица 3.2

Пьезоэлектрические головки звукооснимателей

Технические параметры	„Филипс GR 300“	„Филипс GR 200“
Преобразователь	Сtereo, кристалл	Сtereo, керамика
Материал	Сегнетовая соль	Пьезооксид, РХЕ5
Игла, мкм	Сапфир, 18 Сапфир, 75 30—70	Алмаз, 18 Сапфир, 75 30—70
Прижимная сила, мН		
Частотная характеристика, Гц	40—10 000	40—18 000
Неравномерность, дБ	±6	±6
Чувствительность, мВ/см/с	100	65
Разделение, дБ	20	20
Горизонтальная гибкость, м/Н	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Вертикальная гибкость, мН	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Емкость в каждом канале, пФ	1000	700
Сопротивление нагрузки, МОм	1	1
Масса, г	11	11

разователь, хотя собственная емкость генератора меньше емкости кристаллической головки. Меньше и генерируемое напряжение, составляющее несколько сотен милливольт, при воспроизведении сигнала частотой 1 кГц, записанного с колебательной скоростью 8 см/с. Гибкость керамической головки такого же порядка, как и у кристаллической (в среднем $4 \cdot 10^{-3}$ м/Н). Необходимая прижимная сила также достаточно велика.

Среди керамических головок звукооснимателей часто встречаются соответствующие минимальным требованиям, предписанным для высококачественных звукооснимателей. Можно ожидать дальнейшего усовершенствования и еще большего распространения этого вида звукооснимателей. Одна из возможностей их усовершенствования — снижение размеров керамических пластин и применение предварительного усилителя, встроенного в звукоосниматель, для сохранения отношения сигнал/шум. Технические данные кристаллических и керамических головок звукооснимателей, выпускаемых в Венгрии, представлены в табл. 3.2.

3.5. МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Головки звукооснимателей с подвижным магнитом. После пьезоэлектрических головок звукооснимателей наиболее распространенными являются головки с подвижным магнитом (магнитодинамические). Объясняется это тем, что их простая и надежная конструкция пригодна для крупносерийного производства. В случае износа иглы, вставку с иглодержателем можно заменить без применения каких бы то ни было инструментов,

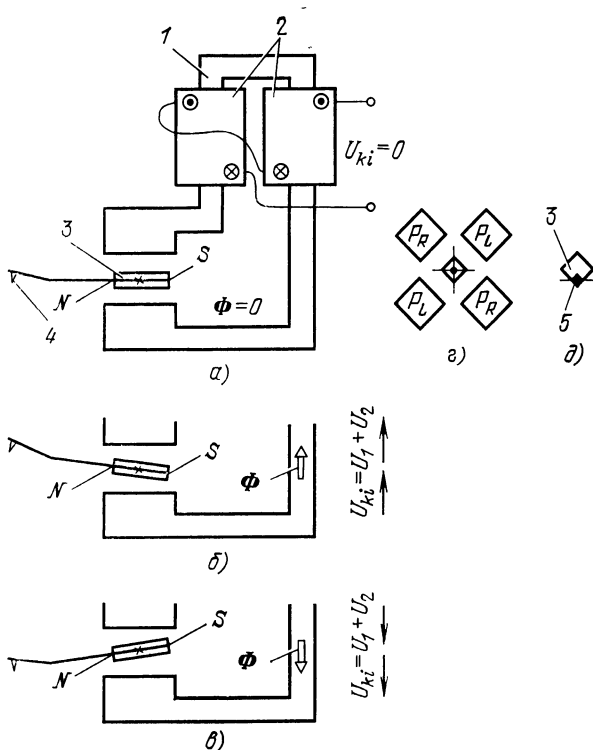


Рис. 3.18. Принцип действия головки звукоснимателя с подвижным магнитом:

1 — цепь из магнитомягкого железа; 2 — катушки; 3 — подвижной магнит; 4 — игла; 5 — иглодержатель

Выходной сигнал, соответствующий механическим движениям иглы, возникает в головке в соответствии с принципом преобразования, известным под названием магнитной индукции. Если изменяется число магнитных силовых линий, пронизывающих находящуюся в состоянии покоя катушку, то в ней индуцируется переменная электродвижущая сила. В головке звукоснимателя игла передает свои колебания очень малому постоянному магниту, находящемуся перед неподвижной катушкой. Для объяснения работы головки с подвижным магнитом на рис. 3.18 приведена ее упрощенная конструкция. В положении покоя магнита (рис. 3.18,а) поток в магнитной цепи $\Phi = 0$. В случае отклонений магнита в разные стороны (рис. 3.18,б, в) поток изменяется от $+\Phi$ до $-\Phi$. На рис. 3.18,г, д показаны вид спереди расположения полюсных наконечников стереофонической головки и место крепления иглодержателя к магниту.

Если иглу такой головки установить на пластинку, имевшаяся ранее симметрия магнитной цепи нарушается, северный полюс маг-

нита приближается к верхнему, а южный полюс к нижнему полюсному наконечнику. Поэтому определенное число силовых линий, ранее замыкавшихся через большое магнитное сопротивление воздуха, замкнется через цепь из мягкого железа, обладающего меньшим магнитным сопротивлением. Магнитную цепь из мягкого железа окружают две катушки. До тех пор пока магнит движется между двух крайних положений, видимых на среднем и нижнем рисунках, магнитный поток будет пересекать внутреннюю часть катушек с частотой, совпадающей с частотой колебаний иглы, и на выводах катушек возникает переменное напряжение. Значение этого напряжения зависит не от абсолютного значения записанной на пластинке амплитуды, а от значения колебательной скорости записи, т. е. от частоты и отклонения. Следовательно, головка с подвижным магнитом, так же как и все магнитные преобразователи, относится к группе скоростных головок звукозаписывающих устройств.

При постоянной колебательной скорости записи изменение магнитного потока будет зависеть от нескольких факторов. Часть из них имеет геометрический характер, как, например, отношение расстояния между концами иглы и центром колебаний к расстоянию между магнитными полюсами и центром колебаний, составляющее передаточное число (для сведения, это отношение может быть равно 5:1) или расстояние между магнитом и полюсными наконечниками. Последнее следует выбирать как можно меньшим для увеличения чувствительности и как можно большим для уменьшения искажений, обусловленных намагничиванием мягкого железа (мю-металла). Изменение потока в основном зависит от энергии, заключенной в магните, т. е. от магнитной силы, поэтому принято выбирать такой магнитный материал, который с малой массой (5—10 мг) способен создать сильное магнитное поле (фирма «Шур» — «Аллико 5W», фирма «Филипс» — «Тиконал XX», плотность потока последнего $0,857 = 8500$ Гс).

При данной скорости записи и установленном выше изменении потока выходное напряжение зависит от параметров обмотки. Большее число витков означает и более высокое напряжение, но увеличение витков без увеличения корпуса катушки может быть осуществлено только путем дальнейшего уменьшения диаметра и без того тонкого провода. Граница устанавливается, с одной стороны, технологией намотки, а с другой увеличением собственной емкости обмотки, которая неблагоприятно отражается на ходе амплитудно-частотной характеристики в области высоких частот. Поэтому, используя провод с диаметром в несколько сотых миллиметра, можно намотать оптимальную катушку в 2500 витков.

На магнитопроводе помещают две соединенные встречно катушки таким образом, чтобы выходные сигналы, индуцируемые благодаря изменению магнитного потока, складывались. В то же время обмотки пронизываются и силовыми линиями внешнего магнитного поля, вызывающего помехи. Однако напряжения шумов, определяемых внешним полем, взаимно компенсируются. Тем не менее такая компенсация еще не является идеальной защитой от магнитных полей рассеяния, создаваемых, например, двигателем проигрывателя, работающим от сети. Поэтому головку звукозаписывающего устройства следует помещать в корпус из материала с хорошей магнитной проводимостью (мю-металл) и заземлять его.

В стереофонической головке звукозаписывающего устройства две магнитные цепи располагают перпендикулярно одна другой так, чтобы с плоскостью пластинки они образовывали угол в 45° . Вид спереди раз-

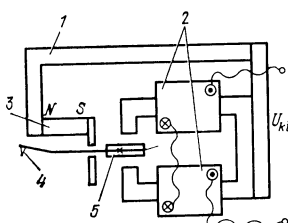


Рис. 3.19 Головка звукоснимателя с подвижным элементом из магнитомягкого железа:

1 — цепь из магнитомягкого железа; 2 — катушки; 3 — постоянный магнит; 4 — полюсные наконечники магнитной цепи; 5 — игла («индуцированный магнит»)

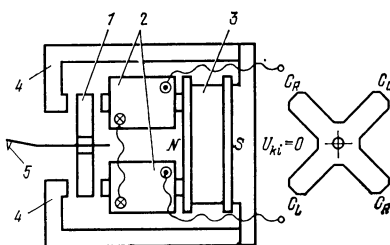


Рис. 3.20. Головка звукоснимателя с переменным магнитным сопротивлением (VMS):

1 — подвижный крест из магнитомягкого железа; 2 — катушки; 3 — постоянный магнит; 4 — полюсные наконечники магнитной цепи; 5 — игла

мещения полюсных наконечников представлен на правой стороне рисунка. Там же отдельно можно видеть часто используемый вариант крепления магнита и трубочки иглодержателя. Магнит должен иметь простую форму, так как магнитный твердый материал поддается только электроискровой обработке. Если промодулирована только внутренняя стенка канавки (левый канал), то движение магнита относительно полюсных наконечников правого канала будет симметричным и в них не вызывается изменение потока. Таким образом становится возможным разделение каналов.

Из головок звукоснимателей с подвижным магнитом в Венгрии поступали в продажу головки M44-7 и M91ED фирмы «Шур», GP400 фирмы «Филипс» и VN2101 чехословацкого производства.

Головки звукоснимателей с подвижным элементом из магнитомягкого железа. Головки с подвижным элементом из магнитомягкого железа в сущности являются разновидностью головок звукоснимателей с подвижным магнитом (рис. 3.19). Принцип преобразования у них остался такой же, но материалом для подвижного элемента служит магнитомягкое железо. Это железо после сборки головок звукоснимателя находится в сильном магнитном поле и, таким образом, является как бы вторичным магнитом относительно полюсных наконечников и обмоток. Большим преимуществом этого решения является исключение магнита из подвижной системы, поэтому его масса не является мешающим фактором.

Трудно обрабатываемый магнитный материал можно применять в деталях с простой конструкцией, а легко формируемые детали из магнитомягкого материала (например, пермаллоя) следует соединить с трубочкой иглодержателя. Неподвижный магнит можно

выполнить достаточно большим, что позволяет без снижения чувствительности звукописателя уменьшить массу его подвижной системы. Защищенность обмотки катушек от внешних магнитных полей рассеяния при применении сильного магнита одинакова с системой с подвижным магнитом, но важно отметить еще и то, что внешний металлический кожух головки звукописателя изготавливают не только для магнитной экранировки, а также для создания замкнутой магнитной цепи.

Наиболее известный изготовитель головок звукописателей с подвижным элементом из магнитомягкого железа — фирма «Аудио Дайнемикс Корпорейшен» («Эй-Ди-Си»). Амплитудно-частотная характеристика выпускаемых ею очень легких (VLM) и сверхлегких (ELM) головок в диапазоне 10 Гц — 25 кГц гарантируется с неравномерностью ± 2 дБ. Эти параметры достигаются благодаря чрезвычайно малой эффективной массе подвижной системы и большой гибкости ($35 \cdot 10^{-3}$ — $50 \cdot 10^{-3}$ м/Н), а также благодаря электродинамическому демпфированию, о чем было сказано при рассмотрении конструкции иглодержателя (см. § 3.3).

Головки звукописателей с переменным магнитным сопротивлением. Головка с переменным магнитным сопротивлением работает на принципе переменного магнитного шунта (ее называют также с поляризованной арматурой). Действие головки наглядно представлено на рис. 3.20. Конструктивно эта головка звукописателя отличается от описанных ранее преобразователей с подвижным магнитом и подвижным элементом из магнитомягкого материала. Первое отличие заключается в том, что источник магнитодвижущей силы и катушки находятся в одной и той же магнитной цепи.

В состоянии покоя магнитный шунт из магнитомягкого материала разделяет поровну магнитный поток в цепи двух катушек. При смещении иглы звукописателя магнитный шунт, как это показано на нижней части рисунка, нарушает имевшееся до этого равновесие: в верхней ветви плотность потока будет увеличиваться, а в нижней — снижаться. При соответствующем соединении двух обмоток напряжения будут складываться. И это является вторым отличием, ибо таким способом уравнивается асимметрия намагничивания магнитомягкого железа. Искажения, возникающие вследствие увеличения плотности потока в одной из обмоток, компенсируются искажениями, вызванными снижением плотности потока в другой обмотке. В результате суммарное напряжение обеих катушек будет точно пропорционально смещению. Этот «пушпульный» эффект не возникал у двух предыдущих типов магнитных преобразователей, и поэтому можно доказать, что искажения четных гармоник у них будут несколько больше. Кроме этого, при таком расположении катушек меньше сказывается влияние внешних полей.

Звукописатели с переменным магнитным шунтом выпускаются датской фирмой «Банг энд Олуфсен», известной своими приборами, выполненными с применением последних достижений технической эстетики. Так как магнитный шунт выполнен в форме миниатюрного подвижного креста, показанного на правой стороне рисунка, то головки звукописателей получили название ММС. На рис. 3.21 показаны сравнительные размеры креста и иглодержателя, позволившие на порядок снизить эффективную массу подвижной системы головок с подвижным микрокестом.

Интересное решение было использовано также датской фирмой «Ортофон» при разработке звукописателей серий F15 и M15 с переменным магнитным зазором. Их принцип действия идентичен с

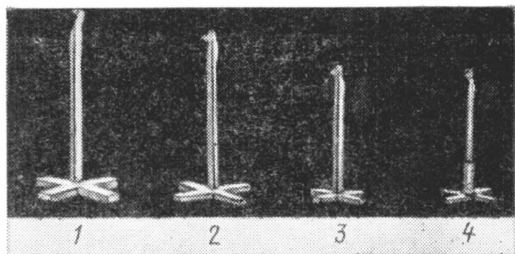


Рис. 3.21. Сравнительные размеры креста и иглодержателя:
1 — 1958 г., SP1, эффективная подвижная масса 2,6 мг; 2 — 1968 г., SP12, эффективная подвижная масса 0,8 мг; 3 — 1972 г., SP15, эффективная подвижная масса 0,5 мг; 4 — 1974 г., ММС6000, эффективная подвижная масса 0,22 мг

изложенным выше, но конструктивное выполнение (в середине кольцевого магнита «Ферроксдюр 360» с радиальной намагниченностью движется трубочка из магнитомягкого железа) дает возможность для дальнейшего снижения подвижной массы. Интересно, что измеренные искажения по второй гармонике 0,27% и по третьей гармонике 0,8 % меньше соответствующих искажений 0,48 и 0,48 % у головок звукоснимателей с подвижными катушками фирмы «Ортофон», считающимися одними из лучших среди профессиональных головок (рис. 3.22).

В торговой сети Венгрии встречались головки звукоснимателей с переменным магнитным сопротивлением типа MS15SD производства RFT, ГДР с одинарной асимметричной магнитной цепью.

Головки звукоснимателей с подвижными катушками. Как уже упоминалось при рассмотрении головок с подвижным магнитом, с выводов катушки можно снять напряжение, пропорциональное изменению потока, пронизывающего ее. Возникает мысль создать головку звукоснимателя, в которой катушка движется в поле постоянного магнита. Такие головки отличаются высоким качеством, поэтому они нашли применение в профессиональной аппаратуре. Их называют также электродинамическими головками звукоснимателя. Разработаны и внедрены многочисленные конструктивные варианты головок с подвижной катушкой, схема одной из них представлена на рис. 3.23. На правой стороне рисунка в увеличенном виде показан способ соединения витков катушки. Ее обмотка движется в сильном однородном магнитном поле.

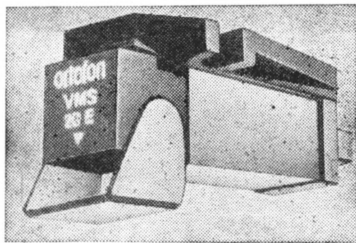


Рис. 3.22. Вид головки звукоснимателя с переменным магнитным сопротивлением (фирма «Ортофон», Дания)

Применяются бескаркасные катушки или катушки с обмоткой на небольшом каркасе из синтетического материала. Намотку производят вручную под микроскопом, иногда на специальном станке. Концы обмоточного провода одновременно служат выводами с диаметром 0,025 мм. Вследствие малого диаметра они не оказы-

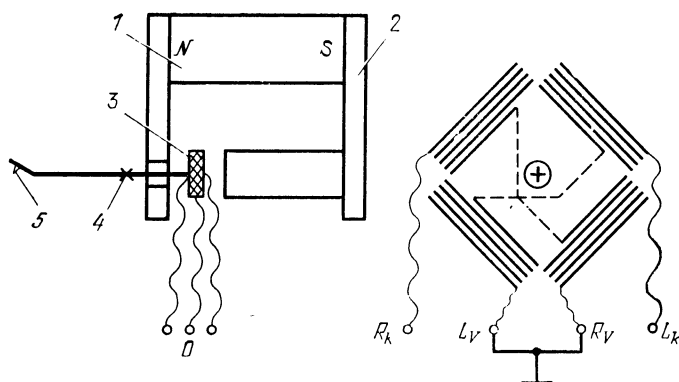


Рис. 3.23 Динамическая головка звукоусилителя с подвижными катушками (на правой стороне рисунка в увеличенном виде показан способ соединения витков катушек):

1 — постоянный магнит; 2 — цепь из магнитомягкого железа; 3 — подвижная катушка; 4 — упругий зажим; 5 — игла

вают влияния на колебания иглы. При намотке катушки медным проводом, хорошего качества опасаться обрыва движущихся выводов не следует, как правило, скорее изнашивается игла. Большинство изготовителей сами проводят замену иглы в иглодержателе без прикасания к телу катушки. Однако для этого головку звукоусилителя следует выслать на завод-изготовитель. В практике работы студий это не является серьезным недостатком, так как всегда имеется в наличии соответствующее число резервных головок.

Для снижения массы подвижной системы можно изготовить обмотку, состоящую только из нескольких витков. Например, катушки головок серии OF фирмы «Электроместехник» имеют только 45 витков. Для дальнейшего снижения массы подвижной системы иглодержатели этих головок изготовлены не из обычной фосфористой бронзы, а из титана, обладающего меньшим удельным весом. В упомянутых головках заслуживает внимания решение, позволяющее извне, с помощью винта устанавливать значение механического демпфирования, влияющего на амплитудно-частотную характеристику. Естественно, из-за малого числа витков, несмотря на сильное магнитное поле, с зажимов катушки можно получить небольшое напряжение, равное десятым долям милливольт. Воспроизведенный сигнал имеет очень небольшие искажения, так как в преобразователе присутствует магнитомягкое железо. Для сохранения хорошего отношения сигнал/шум сигналы с этих головок звукоусилителей подаются на предварительный усилитель через согласующий трансформатор. Несмотря на то что в согласующем трансформаторе применено магнитомягкое железо, тем не менее путем выбора соответствующих габаритных размеров и электрических параметров можно добиться минимума искажений. Один из современных стереофонических согласующих трансформаторов («Ортофон STM-72») имеет следующие параметры: коэффициент передачи по напряжению 1:100, рекомендуемое полное сопротивление головки звукоуси-

теля 2,5 Ом, рекомендуемое полное сопротивление нагрузки 47 кОм (при проигрывании четырехканальных пластинок СД-4 100 кОм), передаваемая полоса частот от 10 Гц до 50 кГц.

3.6. ЭЛЕКТРОННЫЕ ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Общим свойством описанных выше головок звукоснимателей является зависимость выходной мощности от массы подвижной системы преобразователя (сигналу напряжением 2 мВ на нагрузке 47 кОм соответствует мощность примерно 10^{-9} Вт). Дальнейшее снижение подвижной массы без ухудшения отношения сигнал/шум почти невозможно. Поэтому большое значение имеют преобразователи, которые не создают выходную мощность, а только влияют на более мощный поток энергии, действуя подобно электронной лампе или транзистору. Подобные электронные головки звукоснимателей всегда работают с подачей энергии извне. Однако необходимость в энергии затрудняет замену магнитной головки звукоснимателя электронной, которая не может работать без вспомогательных блоков. Первые промышленные серии доказали, что эти специальные головки звукоснимателей позволяют получить хорошее качество звуковоспроизведения и в результате проводимого сейчас усовершенствования и модернизации можно ожидать их все большего распространения.

Фотоэлектрические головки звукоснимателей. В августе 1968 г. на выставке высококачественной воспроизводящей аппаратуры в Дюссельдорфе японская фирма «Тосиба» впервые в Европе продемонстрировала головку звукоснимателя типа С-100Р, которая работает на принципе фотоэлектронного преобразования. Схема этой головки звукоснимателя показана на верхней части рис. 3.24,а. На иглодержателе, упруго подвешенном в точке х, закреплена тончайшая дюралюминиевая пластинка. В этой пластинке имеются две щели, расположенные под углом 90° друг к другу. Непосредственно за щелями этой пластинки расположены щели другой, неподвижной пластинки. Перед подвижной парой щелей располагается низковольтная миниатюрная лампочка накаливания, луч света от которой через пары подвижных и неподвижных щелей, как через диафрагму, попадает на фототранзистор.

В положении покоя через диафрагму проходит примерно половина светового потока. На правой половине рисунка показаны два положения пластин для левого канала: верхнее положение соответствует максимальному световому потоку, а нижнее — минимальному. Если канавка имеет модуляцию в левом канале, то относящаяся к нему щель будет двигаться вдоль более короткой стороны в то время как щель правого канала будет отклоняться вдоль продольной оси. При соответствующем выборе ширины и длины щелей можно получить, что при наибольших отклонениях в левом канале количество света, проходящего через щель правого канала, не меняется. Так как выходной сигнал фототранзисторов пропорционален количеству света, зависящему от отклонения, то фотоэлектрические головки звукоснимателей могут быть отнесены к группе преобразователей, чувствительных к амплитуде (амплитудных преобразователей). Соответственно этому формируется и амплитудно-частотная характеристика предварительного усилителя. Благодаря большому сигналу на низких частотах, отношение сигнал/шум более благоприятно, чем у магнитных систем.

Миниатюрная лампа накаливания питается от стабилизированного источника постоянного напряжения, ибо внутреннее или внешнее изменение силы света означает вредную модуляцию. Мощность лампочки 0,6 Вт. Для отвода тепла и изоляции от внешнего света имеется сферическая оболочка диаметром 25,4 мм, по которой головки звукооснимателей можно узнать издали. Гарантируется срок службы лампы накаливания в 10 000 час.

С особой тщательностью подбирается пара фототранзисторов, характеристики которых в рабочей области частот должны быть идентичными. Коэффициент искажений всей системы составляет 0,65% ($f=1000$ Гц, $v=5$ см/с). Нижняя граница амплитудно-частотной характеристики равна 0 Гц, что достигается коротким замыканием разделительного конденсатора между фотозвукооснимателем и усилителем (рис. 3.24,б). В этот момент положение щелей зависит от прижимной силы, поэтому предварительный усилитель можно переключить для измерения действующей прижимной силы. Ее значение можно прочитать по шкале измерительного прибора магнито-электрического типа. Рекомендованное значение прижимной силы: $15 \text{ мН} \pm 5 \text{ мН}$. Малая эффективная движущаяся масса позволяет отодвинуть верхнюю границу передаваемых частот до 40 кГц. Как горизонтальная, так и вертикальная гибкости имеют значения около $30 \cdot 10^{-3}$ м/Н и обеспечивают при малой прижимной силе передачу сигналов на низких частотах с высоким качеством. Интересно отметить, что чувствительность головки звукооснимателя примерно в 10 раз больше чувствительности магнитных головок звукооснимателей (15 мВ при колебательной скорости сигнала 7 см/с). Из-за чувствительности к амплитуде головки звукооснимателей этого типа не могут испытываться при помощи измерительных пластинок, разработанных для проверки скоростных головок звукооснимателей (например, передача П-образных импульсов).

Емкостные головки звукооснимателей. В микрофонной технике уже давно наряду с индуктивными (магнитными) преобразователями используются работающие на электрическом принципе емкостные или конденсаторные микрофоны. Одним из главных препятствий к распространению емкостных головок звукооснимателей до последнего времени была невозможность расположить предварительный усилитель с большим входным сопротивлением достаточно близко к преобразователю. При вынесенном усилителе и относительно длинном тонаре распределенная емкость проводов существенно снижает КПД преобразователя.

Принципиально имеются две возможности для изготовления емкостной головки звукооснимателя, а именно с высокочастотным и низкочастотным устройством. При высокочастотном исполнении иглодержатель является подвижной обкладкой конденсатора колебательного контура генератора с частотой сигнала в несколько мегагерц. Благодаря этому частота генерируемого сигнала будет пропорциональна отклонению канавки. Следовательно, после определенного усиления и демодуляции (например, дробным детектором) может быть выделен сигнал звуковых частот. Излишне отмечать сложность электронных устройств, примененных в головке звукооснимателя. Такие головки выпускает японская фирма «Стакс».

Емкостную головку звукооснимателя с выходным сигналом, лежащим в области звуковых частот, конструктивно можно изготовить подобно предыдущей, если на подвижной обкладке конденсатора поддерживать постоянный заряд. Из соотношения $Q=CU$ видно, что изменение емкости вызывает изменение напряжения. Основ-

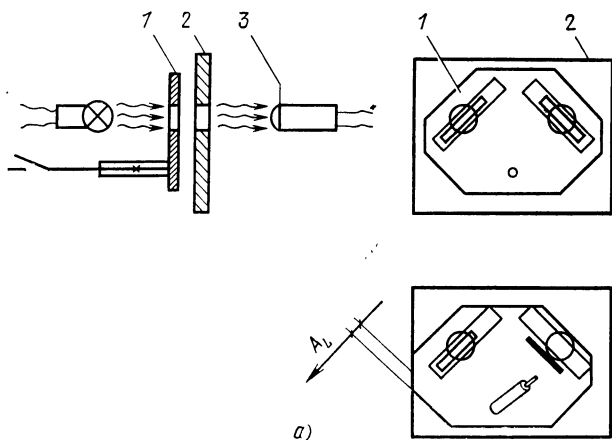


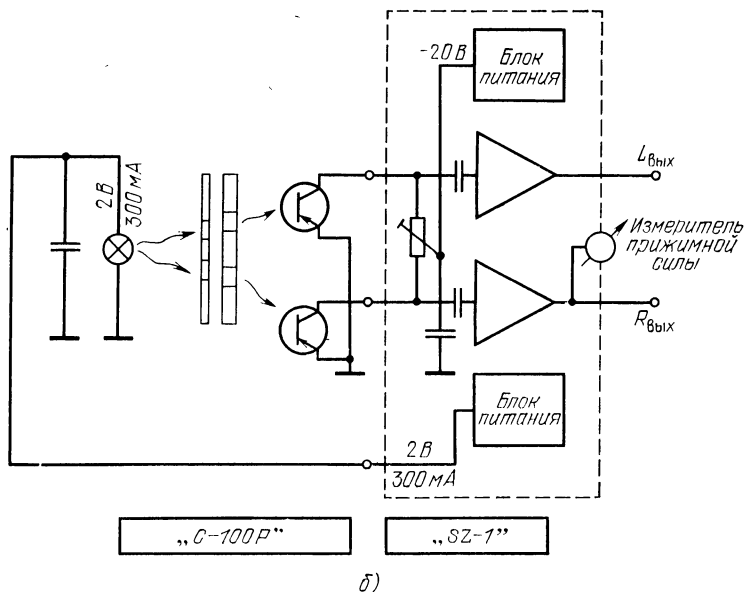
Рис. 3.24. Принцип работы фотоэлектрической головки звукоснимателя, вид спереди и расположение щелей при максимальном и минимальном световых потоках (а); схема соединений фотоэлектрической головки звукоснимателя С-100Р и электронного блока SZ-1 относящегося к нему (б)

1 — подвижная щель; 2 — неподвижная щель; 3 — фототранзистор

ная трудность заключается в обеспечении постоянного заряда, который может быть достигнут только подключением конденсатора через большое сопротивление к генератору постоянного напряжения. Это одновременно обуславливает большое выходное сопротивление и плохое отношение сигнал/шум. Вполне вероятно, что в будущем описанный способ будет вытеснен электретной конденсаторной головкой звукоснимателя.

Развитие низкочастотных емкостных головок звукоснимателей можно ожидать после разработки материалов, обладающих постоянным электрическим зарядом (электретов). Одним из представителей электретных конденсаторных преобразователей является головка типа С-401S фирмы «Тосиба», выходной сигнал которой лежит в полосе звуковых частот, т. е. нет необходимости в его демодулировании.

Функциональная схема простой конструкции показана в верхней части рис. 3.25. Подвижной частью преобразователя является иглодержатель, который и при большем, чем обычно, диаметре представляет собой небольшую подвижную массу. Иглодержатель с увеличенным диаметром имеет повышенную прочность на изгиб. Металлическая трубочка иглодержателя, соединенная с землей, является подвижной обкладкой конденсатора. Против трубочки под прямым углом расположены два синтетических электретных электрода размером 1×2 мм с противоэлектродами на обратных сторонах. Малые изменения напряжения на противоэлектродах усиливаются усилителем на интегральной микросхеме, вмонтированной непосредственно в головку звукоснимателя (см. схему соединений внизу рисунка). Входное сопротивление повторителя на полевых



транзисторах интегральных микросхем равно 10^{10} Ом. Так как электретный преобразователь чувствителен к амплитуде, то необходим предварительный усилитель с характеристикой, отличной от характеристики, применяемой для магнитных головок звукоснимателей. Предварительный усилитель и источник питания интегральных микросхем содержит блок SZ-200, подключенный к выходу головки звукоснимателя.

Исследования электретных конденсаторных звукоснимателей показали, что их частотная характеристика пригодна для проигрывания пластинок CD-4. Из принципа емкостного преобразования вытекает их большое преимущество — полная нечувствительность к магнитным полям рассеяния. На выходе предварительного усилителя при колебательной скорости $v=5$ см/с на частоте 1000 Гц получают напряжение 200 мВ, которое можно подать на линейный вход усилителя. Ожидаемые направления развития электретных звукоснимателей — это снижение относительно большой прижимной силы и повышение гибкости.

Полупроводниковые головки звукоснимателя. Десять лет назад американская фирма «Эуфоникс» разработала полупроводниковую головку звукоснимателя, получившую название «Минниконик». В ней был применен кремниевый полупроводниковый элемент, в котором было использовано только что открытое физическое свойство кристаллов изменять сопротивление полупроводника пропорционально действующей на него сжимающей или растягивающей силе. На преобразователь необходимо подать постоянное напряжение, которое изменением сопротивления модулируется соответственно с от-

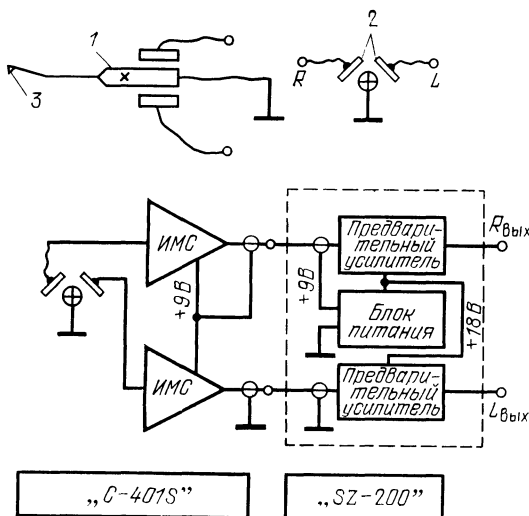


Рис. 3.25. Конструкция емкостной головки звукоснимателя (вверху) и электронного блока (внизу):

1 — металлическая трубка иглодержателя; 2 — обкладка электрета; 3 — игла

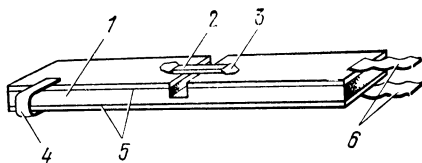
клонениями канавки. Следовательно, эта головка чувствительна к амплитуде.

Модулирующий элемент показан на рис. 3.26. Нижнюю и верхнюю поверхности пластинки из эпоксидной смолы длиной 10 мм, шириной 1,25 мм и толщиной 0,5 мм покрывает медная пластинка толщиной 25 мкм, покрытая с внешней стороны золотом. В середине пластинки имеется протравленная канавка шириной 0,5 мм. В этом месте первоначальная толщина пластинки уменьшена в 4 раза, чем достигается требуемая гибкость. Через протравленную канавку перекинута пластинка из полупроводникового кремния шириной 0,2 мм и толщиной в несколько сотых миллиметра. Концы полупроводника точечной сваркой соединены с медной фольгой. Замыкание электрической цепи обеспечивается соединением верхней и нижней медной фольги на конце, противоположном выводам.

Два таких модулирующих элемента закрепляются в традиционной прямоугольной системе, как и при пьезоэлектрических преобразователях. Передатчик, соединяющий свободные концы элементов, подсоединяется к трубке иглодержателя примерно в ее центре. Благодаря этому на модулирующий элемент передается половина отклонения, но с трансформированной в 2 раза силой. Значительное, по сравнению с пьезоэлектрическими головками звукоснимателей, отличие заключается в том, что благодаря протравке пластинки из эпоксидной смолы и малой толщины кремниевых элементов упругие отношения полупроводниковой головки существенно более благоприятны. Головка «Миниконик» при температуре 24°C имеет гибкость $25 \cdot 10^{-3}$ м/Н, т. е. такую же как у хороших магнитных звукоснимателей. Для звукоснимателя с эллиптической иг-

Рис. 3.26. Элемент модулятора полупроводниковой головки:

1 — пластина из эпоксидной смолы; 2 — пластинка из кремния; 3 — точечная сварка; 4 — электрическое соединение; 5 — позолоченная медная фольга; 6 — выводы



лой рекомендуется прижимная сила 5—15 мН, эффективная масса подвижной системы около 0,6 мг, чувствительность головки примерно 5 мВ/см/с.

Сигнал с головки звукоснимателя усиливается на 32 дБ усилителем, встроенным в корпус блока питания, обеспечивающего постоянное напряжение 20 В. Как особенность можно отметить поворот фазы сигнала одного из каналов усилителя на 180°. Необходимость в компенсации фазы объясняется тем, что при проигрывании монофонической канавки один из модулирующих элементов сжимается, а другой растягивается, поэтому в модулированном сигнале происходит поворот фазы.

Подводя итог, можно сказать, что работающая с модуляцией сопротивления полупроводниковая головка совмещает в себе достоинства магнитных головок звукоснимателей (широкую полосу частот, равномерную амплитудно-частотную характеристику, большую гибкость и малую прижимную силу) с положительными качествами пьезоэлектрических головок звукоснимателей (малую массу — всего 2 г, большое выходное напряжение, нечувствительность к магнитным полям и материалам).

Полупроводниковая головка может работать не только с модуляцией сопротивления. Известны головки звукоснимателей, работающие на принципе непосредственной модуляции транзистора. Активным его элементом является полевой МОП-транзистор, электрические параметры которого могут изменяться механическими колебаниями, действующими на него.

Полевой МОП-транзистор формируется на монокристалле кремния толщиной 0,2—0,4 мм с выводами шириной 10 мкм и длиной 100 мкм (исток, сток, затвор). Если в направлении протекания тока через транзистор (исток — сток) на отрезок кристалла действует сжимающая или растягивающая сила, ток насыщения транзистора изменяется. При соответственно больших сопротивлении нагрузки и напряжении батареи головка звукоснимателя уже может работать. Однако более выгодно, если вместо резистора нагрузочным сопротивлением послужит сопротивление находящегося в области насыщения еще одного такого же, но неуправляемого (пассивного) транзистора.

На стоке активного транзистора отклонение в 10 мкм при напряжении батареи 20 В вызывает изменение напряжения на 200 мВ. Однако это напряжение, соответствующее сопротивлению насыщения МОП-транзистора, можно снять с генератора, обладающего внутренним сопротивлением около 100 кОм. Полное выходное сопротивление может быть снижено установкой третьего МОП-транзистора. В схеме на рис. 3.27 полное выходное сопротивление равно 6,8 кОм, а напряжение на выходе превышает 700 мВ.

Головки звукоснимателей на МОП-транзисторах обладают характерным спектром шумов. Шумы складываются из шума мерца-

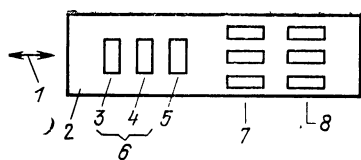
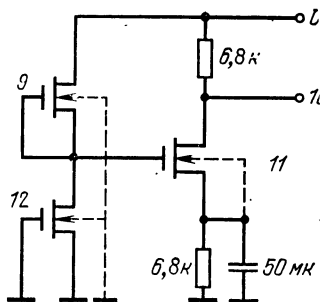


Рис. 3.27 Активный элемент головки звукоснимателя на полевых МОП-транзисторах (слева) и принципиальная схема (справа):



1 — направление действия силы; 2 — подложка; 3 — сток; 4 — исток; 5 — затвор; 6 — активный транзистор; 7 — пассивный транзистор; 8 — согласующий транзистор; 9 — пассивный МОП-транзистор; 10 — выход; 11 — согласующий МОП-транзистор; 12 — активный МОП-транзистор

ния с характеристикой $1/f$ и шума, обусловленного генерацией и рекомбинацией зарядов. В полосе 10—20 000 Гц можно достичь отношения сигнал/шум 1000 : 1, т. е. 60 дБ.

Бесконтактные головки звукоснимателей. Все рассмотренные до сих пор головки звукоснимателей были контактными. В них смещение к центру пластинки (в соответствии с шагом записи) и передача колебаний канавки производятся с помощью одного элемента — иглы. Однако несмотря на все уменьшающуюся прижимную силу и улучшение качества материала пластинки при проигрывании возникает деформация канавки. Часто вследствие чрезмерного уменьшения прижимной силы, предпринятого именно для сохранения канавки, ухудшается способность следования иглы по канавке и тогда даже при однократном проигрывании на пластинке остается больше повреждений, чем после стократного проигрывания с прижимной силой, увеличенной на несколько процентов.

Идеальным было бы такое устройство для проигрывания пластинок, которое смещало бы звукосниматель без непосредственного контакта с канавкой. К такому устройству относится видеопроектор фирмы «Филипс», продемонстрированный осенью 1972 г. Он пригоден только для проигрывания видеодисков типа VLP, в которых видеосигналы вместе со звуковой информацией записываются лучом лазера в виде последовательности микроскопических углублений шириной 0,8 мкм, глубиной 0,16 мкм и длиной от 0,6 до 4 мкм.

Воспроизведение этих видеодисков также осуществляется с помощью луча лазера, сфокусированного на дорожку записи. При оптическом воспроизведении возникают трудности, вызванные, с одной стороны, низкой светотражающей способностью черного материала, из которого изготовлены видеодиски, а с другой — сложностью устройства, осуществляющего ведение луча по дорожке записи.

В последнее время разработано несколько систем для бесконтактного воспроизведения записанной информации. Кроме оптической предложена емкостная система воспроизведения, в которой для ведения видеоснимателя по канавке используется традиционная игла, но она скользит только по самой верхней части канавки и не

вызывает повреждений углублений, расположенных на ее дне. Распространение такого рода бесконтактных систем можно ожидать в следующем десятилетии.

Приведем интересный расчет плотности записи на видеодисках.

Скорость передачи информации с видеодисков VLP при записи цветного телевизионного изображения равна 84 Мбит/с, следовательно, на тридцатиминутном видеодиске VLP может храниться 150 Гбит информации. Так как пластинка способна хранить 1080 Мбит (см. § 2.5), это означает, что на одном видеодиске можно записать программу, соответствующую 140 большим пластинкам.

4. ТОНАРМЫ

4.1. ТРЕБОВАНИЯ К ТОНАРМАМ

Проследим мысленно путь звуковых сигналов от канавки пластинки до громкоговорителя. Эта электроакустическая цепь, состоит из следующих звеньев: звукосниматель — усилитель — излучатель звука. Из этой цепи самым уязвимым звеном является звукосниматель. Объясняется это тем, что проигрывание пластинки не является чисто электротехническим процессом. Вначале ставятся механические задачи и только в самом конце электромеханические. С этих позиций тонарм следует считать устройством, принимающим участие в проигрывании пластинки как отдельная механическая конструкция, а не только как держатель головки звукоснимателя и ее проводов. Тонарм должен обеспечить беспрепятственное движение головки звукоснимателя по канавке пластинки, что означает выполнение следующих требований.

Во-первых, продольная ось головки звукоснимателя должна быть всегда направлена по касательной к окружности, которой, в первом приближении, можно считать канавку, т. е. продольная ось головки звукоснимателя и проходящий через иглу радиус пластинки должны образовывать прямой угол. Во-вторых, на иглу и стенку канавки не должны действовать другие силы за исключением необходимых для огибания модулированной канавки. В-третьих, игла должна находиться в постоянном контакте с двумя стенками канавки. Этот скользящий механический контакт не должен прерываться во время проигрывания. В-четвертых, тонарм ни механически, ни электрически не должен оказывать влияния на амплитудно-частотную характеристику головки звукоснимателя.

Сформулировать требования, предъявляемые к тонармам, просто, но очень сложно их точно выполнить. Идеальным был бы тонарм удовлетворяющий всем перечисленным условиям, но сконструировать такой тонарм очень трудно. Дефекты тонармов можно разделить на три группы по скорости их изменения во времени. Так можно говорить о явлениях стационарного характера, не изменяющихся во времени; имеются процессы, изменяющиеся во времени настолько медленно, что их можно считать как бы постоянными (квазистационарными) и можно выделить быстро изменяющиеся, динамические свойства.

Сначала рассмотрим постоянные во времени параметры тонармов — их геометрические размеры.



Рис. 4.1. Возникновение горизонтальной угловой погрешности при прямом тонарме (а) снижение угловой погрешности путем изменения захода иглы и введения угла коррекции (б); зависимость угловой погрешности от радиуса канавки при тонармах одинаковой длины (в):

1 — эффективная длина тонарма; 2 — подшипник тонарма; 3 — прямой тонарма; 4 — положительная угловая погрешность φ^+ ; 5 — траектория иглы прямого тонарма; 6 — касательная к канавке; 7 — заход иглы; 8 — изогнутый тонарма; 9 — угол коррекции; 10 — траектория иглы изогнутого тонарма; 11 — угловая погрешность при прямом тонарме; 12 — угловая погрешность при изогнутом тонарме

Геометрические параметры тонарм. При записи на лаковый диск рекордер движется к его центру по прямой линии, расположенной точно по радиусу. Однако типичный для проигрывающих устройств тонарма ведет головку звукоснимателя по канавке, поворачиваясь вокруг вертикальной оси (тонармы других систем используются сравнительно редко и о них речь пойдет ниже). Если головка звукоснимателя будет смонтирована в тонарма так, что их продольные оси совпадут (рис. 4.1, а), то она только на единственном радиусе диска будет расположена точно по касательной к канавке. К центру и краю от этого радиуса между касательной к канавке и продольной осью головки звукоснимателя возникнет угол, называемый горизонтальным углом погрешности. При проигрывании горизонтальный угол погрешности вызывает появление больших гармонических искажений и снижение разделения между стереоканалами. Поэтому горизонтальный угол погрешности не должен превышать несколько градусов.

Горизонтальный угол погрешности в показанной выше конструкции определяется радиусами зоны записи пластинки (53—146 мм), а также расстоянием между иглой и точкой вращения тонарма, называемой эффективной длиной тонарма. Если предположить эту длину равной 210 мм, то угол погрешности будет больше $\pm 10^\circ$. Для тонарма бесконечно большой длины угловая погрешность была бы равна нулю, однако этому препятствуют не только размеры проигрывателя, но и динамические условия.

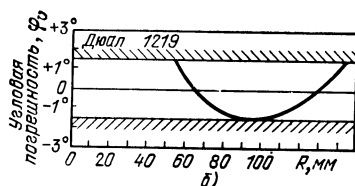
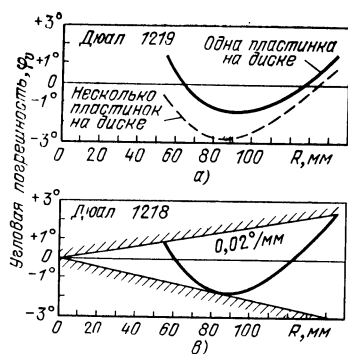


Рис. 4.2. Изменение горизонтальной угловой погрешности в зависимости от радиуса канавки в устройстве с автоматической сменой пластинок при одной сброшенной на диск

пластинке (сплошная кривая) и нескольких сброшенных пластинках (пунктирная кривая); абсолютное значение горизонтальной угловой погрешности (б); зависимость горизонтальной угловой погрешности от радиуса (в)

Существует и другой путь снижения угла погрешности, показанный на рис. 4.1.б. Продольная ось головки звукоснимателя повернута относительно продольной оси тонарма по направлению к центру пластинки. Принимая во внимание конечный результат, безразлично, каким путем достигается угол горизонтальной коррекции: поворотом трубки тонарма или монтажом головки звукоснимателя в прямой тонарм под углом к его продольной оси.

Обычно эффективную длину тонарма выбирают большей, чем расстояние между центрами вращения пластинки тонарма и (так называемый установочный размер). Разница между двумя этими размерами определяет расстояние, на которое игла заходит за центр

Таблица 4.1

Параметры тонармов высокого качества

Тип	Эффективная длина, мм	Заход иглы, мм	Угол коррекции
«Дюал 1214, 1218»	203,4	17,9	25°36'
«РЕ3060»	208	18	25°36'
«Филипс 308», «Филипс 212»	207	21	27°15'
«Дюал 701»	222	18,9	25°20'
«Ленко 85»	227	18	24°
«Ортофон 212»	228	10,5	—
«Шур МЕ3009»	229	16	22°42'
«Торенс TR16», «Торенс TR11»	230	16	21°50'
«Акустикэл АВ»	237	14,4	21°24'
«Микро М711»	252	15	21°
«Шур МЕ3012»	306	—	—
«Ортофон RMG»	320	11	15°54'

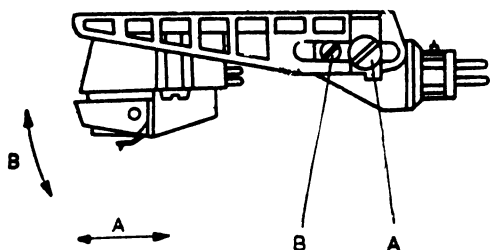


Рис. 4.3. Держатель головки звукоснимателя

пластинки (заход иглы). Интересно отметить, что при эффективной длине тонарма 220 мм и угле коррекции около 25° может быть достигнута такая же горизонтальная угловая погрешность, как при прямом тонарме длиной 1,5 м.

При наличии угла коррекции и захода иглы зависимость горизонтального угла погрешности от радиуса проигрываемой канавки показана на рис. 4.2,а. Из рисунка видно, что угол погрешности при двух значениях радиуса равен нулю, за этими точками в небольших размерах он положителен, а между ними отрицателен.

Горизонтальный угол погрешности следует задавать в зависимости от радиуса зоны записи пластинки, например, $0,02^\circ/\text{мм}$ (рис. 4.2,в). Если задать его независимо от радиуса пластинки,

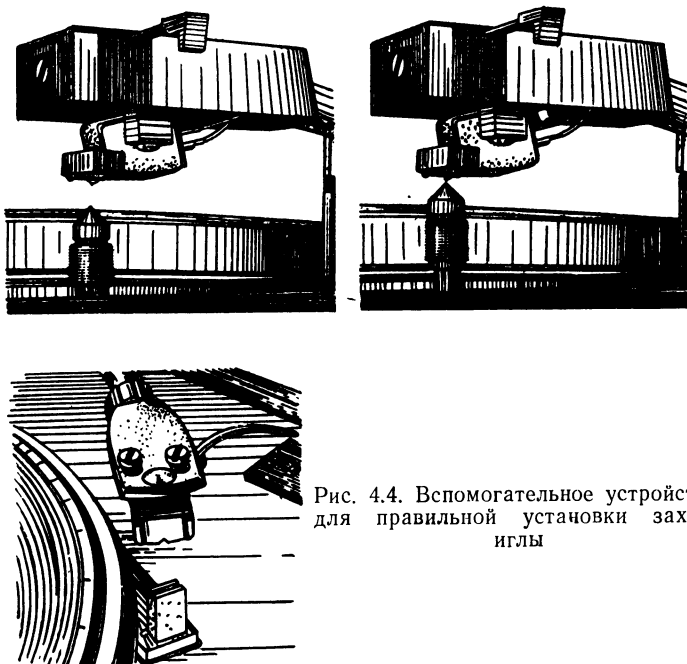


Рис. 4.4. Вспомогательное устройство для правильной установки захода иглы

например установить, что максимальная угловая ошибка не должна превышать 2° , то при этом не учитывается тот факт, что при данной угловой погрешности на внутренних канавках возникают большие нелинейные искажения, чем на внешних. Действительный угол погрешности может быть точно и быстро измерен специальным прибором. Его описание можно найти в действующем венгерском стандарте, относящемся к проигрывателям MSZ11134-71.

Между геометрическими параметрами тонарма (эффективная длина, заход иглы и угол коррекции), а также горизонтальным углом погрешности существует сложная математическая зависимость, которую в отношении угла погрешности нельзя задать в явном виде. Окончательные размеры тонарма определяются графическим конструктивно-расчетным методом, требующим длительного времени. При этом необходимо принимать в расчет влияние неизбежных неточностей при изготовлении тонарма. В табл. 4.1 приведены параметры нескольких тонармов, выпущенных большими сериями. Даже незначительные отклонения (в десятые доли миллиметра) от предписанных оптимальных значений могут вызвать значительную угловую погрешность. Поэтому конструкции тонармов хорошего качества всегда позволяют установить наиболее благоприятный заход иглы, относящийся к определенному углу коррекции и эффективной длине тонарма. С этой целью весь тонарм можно сдвинуть в продольном направлении (например, тонарм SME) или изменить положение головки звукоснимателя в держателе. Последняя возможность, при которой одинаково изменяются заход иглы и эффективная длина тонарма, показана на рис. 4.3 (держатель головки звукоснимателя типа TP50 фирмы «Торенс»). После ослабления винта *A* можно установить оптимальный заход иглы, а поворотом винта *B* — правильный вертикальный угол (15°). Заход иглы следует контролировать по установочному шаблону.

Для установки требуемого захода иглы применяются множество разнообразных шаблонов. Имеются шаблоны, изготовленные из прозрачного синтетического материала. Одни шаблоны помещают на держатель головки звукоснимателя и иглу совмещают с имеющейся на нем маркировкой. В последнее время вновь появились шаблоны из картона, которые следует закреплять на проигрывателе в предписанном положении, а затем иглу совместить с отпечатанной меткой. На некоторых проигрывателях (например, «Элак», «Пионер») рядом с диском имеется специальный указатель, который во время установки полностью вытягивается из корпуса проигрывателя до плоскости пластинки и заход иглы выставляется по имеющейся на ней точке или полоске. Этот способ регулировки показан на рис. 4.4. Если оптимальный заход иглы неизвестен, то его можно определить прибором, измеряющим угловую погрешность.

Точно так же следует обеспечить угол продольной оси иглодержателя с плоскостью грампластинки, равный 15° (вертикальный угол воспроизведения), применяемый в международной практике при записи на лаковый диск. Так как в эксплуатации еще находится много головок звукоснимателей, изготовленных до принятия решения по этому вопросу, в некоторых случаях необходима установка этого угла. Для этого следует либо увеличить высоту подвески всего тонарма, либо применить держатель головки звукоснимателя, в котором предусмотрена установка вертикального угла воспроизведения. Такой держатель показан на рис. 4.3.

Очень популярны (главным образом в США) проигрыватели с автоматической сменой пластинок. В них особую сложность пред-

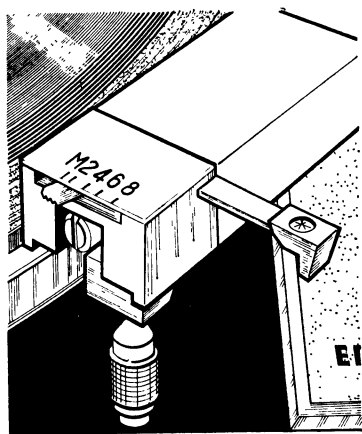


Рис. 4.5 Возможность установки вертикального угла в проигрывателях с автоматической сменой пластинок

ставляет сохранение постоянного вертикального угла, около 15° , ибо при проигрывании восьмой или десятой пластинки головка звукоснимателя находится значительно выше плоскости первой пластинки. При средней толщине пластинки 2 мм и длине тонарма 200 мм это изменение превышает 5° . На рис. 4.5 показана простая конструкция, которая не регулирует положение головки звукоснимателя в держателе во время проигрывания, но позволяет установить ее в положение, соответствующее числу прослушиваемых пластинок.

На другом проигрывателе (фирма «Дюал») можно изменять высоту подвески тонарма. В положении *Проигрывание одной пластинки* вертикальная ошибка будет оптимальной в плоскости первой пластинки, в положении *Стопочное проигрывание* — в плоскости пятой (ше-

стой) пластинки. При меньшем числе пластинок вертикальный угол на $1-2^\circ$ больше номинального, а при большем их числе на столько же градусов меньше.

Нельзя не упомянуть и о том, что последнее решение хотя и привлекательно, но при подъеме подвески тонарма и уменьшении вертикальной угловой ошибки на первой и последней пластинках увеличивается горизонтальный угол погрешности (см. рис. 4.2, пунктирная кривая), так как уменьшается эффективная длина тонарма. При длине тонарма 220 мм и подъеме на 10 мм это уменьшение составляет около четверти миллиметра. Для определения вертикального угла или вертикальной угловой ошибки простых приборов нет. Как правило, достаточно, следить за тем, чтобы посадочная плоскость головки звукоснимателя была параллельна плоскости пластинки. Необходимо также проигрывать пластинки при прижимной силе, предписанной головке звукоснимателя изготовителем. Отклонение от рекомендуемого значения прижимной силы, особенно при головках с гибкостью $20 \cdot 10^{-3}$ м/Н и больше, может вызвать вредное изменение вертикального угла.

Вертикальная ось звукоснимателя, если смотреть на него сверху, а также продольная ось иглы должны быть расположены перпендикулярно пластинке (см. рис. 3.2). Приспособлений для установки перпендикулярного положения головки и иглы, как правило, на проигрывателях не бывает, хотя этот параметр является важным с точки зрения снижения искажений и увеличения разделения между каналами. Отдельные измерительные пластинки, например венгерская SLPX1244, содержат группу каналов, сигналы на которых записаны с системой координат, повернутых по отношению к перпендикуляру на 5° влево или вправо. Проведя измерения, можно проверить перпендикулярность расположения иглы данной головки

звукоснимателя относительно пластинки. В новейших тонармах, например «Торенс ТР60», корпус держателя поворачивается относительно трубки тонарма. Поворачивая головку, можно установить перпендикулярное положение ее иглы. Следует заметить, что требуемая точность не может быть достигнута без измерительной пластинки. При отсутствии последней иглу следует установить на зеркало, помещенное на диск проигрывателя. При этом игла и ее изображение должны слиться в одну линию. Необходимо иметь в виду, что часть иглы, скользящую по канавке, можно исследовать только под микроскопом, но эта часть не обязательно является симметричным продолжением иглы, видимой невооруженным глазом.

Несколько слов следует сказать о креплении и подключении головки звукоснимателя. На заре звукозаписи головки звукоснимателей большинства фирм-изготовителей можно было устанавливать только на проигрыватели, выпускаемые теми же фирмами. Эта традиция сохранилась и сегодня в отношении большинства пьезоэлектрических головок звукоснимателей. Вероятно, читателю известны головки «Супрафон» или «Филипс», изготовленные по внутрифирменным нормам. Со временем изготовители и потребители одинаково осознали, что головка звукоснимателя является важным преобразующим элементом и ее целесообразно выпускать в продажу независимо от проигрывателя. Но для такой продажи был необходим международный стандарт, который унифицировал бы способы крепления и подключения головок звукоснимателей. Основой для этого международного стандарта послужили рекомендации RETMA, согласно которым для крепления головки звукоснимателя применяются винты с дюймовой резьбой, располагаемые друг от друга на расстоянии 12,7 мм (см. рис. 3.2). Кончик иглы должен располагаться на расстоянии 9,52 мм от плоскости, проходящей через оси винтов. Это расстояние, обозначенное на рисунке буквой *D*, рекомендуется проверять для каждой головки звукоснимателя, и если указанный размер не соблюдается, то головку можно монтировать только в держатель с регулируемым заходом иглы.

К головке звукоснимателя обычно прилагается набор, состоящий из винтов, прокладок и распорных втулок, из которых составляет вариант крепления, дающий, по возможности, наименьшую дополнительную массу. Следует иметь в виду, что в держателе головок звукоснимателей европейских проигрывателей, например «Ленко», «Торенс», можно ввинчивать винты только с метрической резьбой (M2). Выводы головки звукоснимателя с контактами держателя следует соединять гибкими проводами с обычной цветовой маркировкой. Сигнальный провод для левого канала обозначается желтым или белым цветом, для правого — красным; земляной провод для левого канала — синий или черный; для правого — зеленый.

В качестве экрана сигнального провода, относящегося к данному каналу, служит его же земляной провод, накрученный на него один или два раза. Остроумное решение использовано в новейших держателях головок звукоснимателей, выпущенных фирмой «Филипс». В них полудюймовые стандартные головки звукоснимателей серии GP400 можно устанавливать одним движением руки, при этом одновременно автоматически обеспечивается электрический контакт. Общий совет: не подпайвайте провода к вилкам головки звукоснимателя.

Регулировка прижимной силы. Второе требование, предъявляемое к тонармам, заключается в том, что на иглу и стенки канавки должна действовать только сила, безусловно необходимая

для обеспечения контакта иглы с модулированной звуковой канавкой. Эта сила была рассмотрена раньше при изучении способности следования иглы звукоснимателя по канавке. Сила на нижних частотах определяется механической гибкостью подвижной системы головки (минимальная возвращающая сила, отнесенная к данному смещению), на высоких частотах — эффективной массой подвижной системы, приведенной к игле, и ускорением, сообщаемым игле канавкой. Напомним, что головка звукоснимателя с гибкостью $80 \cdot 10^{-3}$ мН для ведения по канавке с отклонением 50 мкм требует прижимную силу 6 мН. В то же время головку с эффективной массой подвижной системы 2 мг, колеблющейся с ускорением $4 \cdot 10^3$ м/с², необходимо прижимать к канавке с силой 8 мН. Следовательно, теоретически головка звукоснимателя, обладающая названными параметрами, идеально могла бы работать при прижимной силе 8 мН.

Однако на практике это неосуществимо по двум причинам. Во-первых, тонарм опирается не только на иглу звукоснимателя, но и на подшипники, в которых существует трение, влияющее на движение головки звукоснимателя. Трение в подшипниках тонармов хорошего качества не превышает одной десятой прижимной силы, необходимой для надежного следования иглы по канавке. Некоторые современные головки можно устанавливать только в такие тонармы, силы трения в которых как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях составляет около 0,1 мН. Во-вторых, устанавливаемая прижимная сила больше расчетной еще и потому, что последняя определена для горизонтального расположения пластинки, а это на практике встречается очень редко.

Суммируя вышесказанное, можно сказать, что современные звукосниматели, как правило, надежно работают при прижимной силе порядка 10 мН.

Для выставления прижимной силы тонарм вместе с установленной в держатель головкой сначала следует уравновесить. Балансировка возможна при помощи силы, действующей на конец тонарма, противоположный головке. Источником этой силы в простейших устройствах является пружинная оттяжка, а на более качественных тонармах применяется противовес. Небольшим перемещением противовеса тонарм можно сбалансировать, как весы с коромыслом. Статически определенное положение равновесия только тогда будет стабильным, если центр тяжести системы будет находиться под линией опоры подшипника. На время балансировки регулятор прижимной силы следует установить на ноль и снять иглозащитный колпачок звукоснимателя. Обычно тонарм в положении равновесия должен располагаться горизонтально, параллельно диску проигрывателя. После этого следует установить прижимную силу, указанную в паспорте головки звукоснимателя.

Для регулирования прижимной силы применяются различные способы, в одних используется принцип пружины, в других — гравитация (сила тяжести). В пружинных системах прижимную силу, как правило, можно установить регулируя натяжение гибкой спиральной пружины, прикрепленной к тонарму и подшипнику. Натягивающий пружину барабан в некоторых случаях можно закреплять только для определенных значений прижимной силы (например, 10, 15 и 20 мН) без промежуточных значений. В пружинных системах под сбалансированным положением тонарма часто принимают не горизонтальное, а такое положение, при котором острие иглы лежит на поверхности пластинки. Устанавливаемая с помощью

пружины прижимная сила не изменяется, если проигрыватель или диск проигрывателя расположены не совсем горизонтально, но балансировку тонарма всегда следует производить точно, лучше изменением предварительного натяжения пружины.

При регулировании прижимной силы устройствами, использующими силу тяжести, предварительно следует тщательно выставить диск проигрывателя в горизонтальное положение. Для регулирования прижимной силы применяют либо грузик, передвигаемый между подшипником тонарма и головкой звукоснимателя, либо противовес, сдвигая который в направлении подшипника нарушается установленное предварительно равновесие (баланс). Грузик, передвигаемый между подшипником и головкой звукоснимателя, увеличивает инерционность тонарма, поэтому в конструкциях повышенного класса грузик располагается вблизи подшипника.

Если для снижения горизонтального угла погрешности головка звукоснимателя располагается не под углом к продольной оси тонарма, а сам тонарм изогнут относительно продольной оси, то возникает крутящий момент. Этот момент создает на две стороны подшипника неравномерную нагрузку, что особенно нежелательно при подшипниках на лезвиях. Кроме этого, если проигрыватель расположен не строго горизонтально, на иглу действует дополнительная сила. Тонарм будет находиться в динамическом равновесии, если после установления прижимной силы равнодействующий центр тяжести всех деталей, присоединенных к тонарму, расположится на пересечении и горизонтальной и вертикальной осей.

Неравномерность нагрузки подшипников может быть устранена изгибом тонарма в противоположном направлении (тонарм, изогнутый в виде буквы S) или правильно выбранным регулируемым противовесом. Балансировка S-образных тонармов достигается только для головок звукоснимателей данной массы. При использовании других типов головок недостающую массу следует возместить, поместив в держатель свинцовые пластинки. Но при этом увеличивается инерционность тонарма. Установленное значение прижимной силы можно контролировать измерителем (см. § 6.2).

Скатывающаяся сила. При описании долгоиграющих пластинок уже упоминалось, что в то время лучшие головки звукоснимателей работали с прижимной силой около 100 мН (1947 г.). Естественно, при этом не было необходимости принимать во внимание действие небольшой силы тяги, возникающей при проигрывании пластинок. Примерно десятью годами позже со специальным тонармом и магнитной головкой звукоснимателя успешно была достигнута прижимная сила в 10 мН. В настоящее время без преувеличения можно утверждать, что прижимная сила 10 мН встречается довольно часто. Но при такой прижимной силе уже нельзя пренебрегать силами, возникающими во время проигрывания и имеющими порядок нескольких миллиньютонов.

Наиболее важным фактором является скатывающаяся сила — поперечно направленная сила, которая возникает при изогнутых тонармах, вращающихся вокруг вертикальной оси. Направлена она к центру пластинки.

Прижимная сила распределяется поровну на внешнюю и внутреннюю стенки канавки, если пластинка находится в неподвижном состоянии. Во время вращения диска из-за трения между иглой и пластинкой возникает сила тяги $F_n = \mu F_T$ направленная по касательной к канавке в направлении вращения пластинки. Если продольная ось головки звукоснимателя не пересекает вертикальной

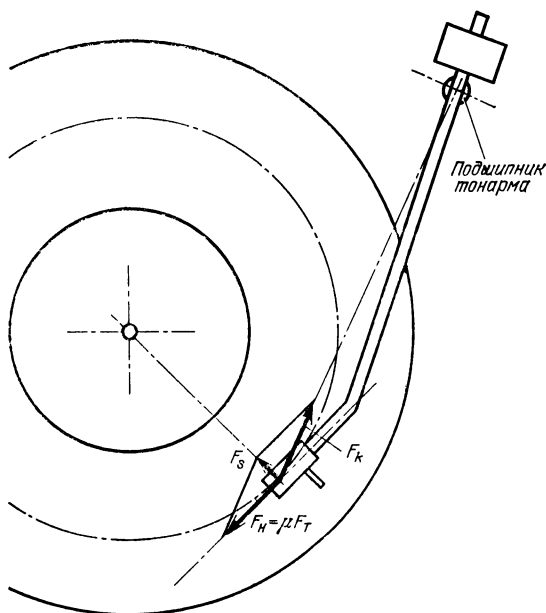


Рис. 4.6. Силы, действующие на иглу

оси поворота тонарма, то подшипник воспринимает не силу тяги, возникающую от трения, а только ее проекцию (силу реакции) F_k на линию, соединяющую иглу с осью поворота тонарма. Из рис. 4.6 видно, что на иглу действует скатывающая сила F_s направленная к центру пластинки.

Перечислим факторы, определяющие скатывающую силу. Сделать это не так просто, поскольку главный фактор — трение между иглой и материалом пластинки — зависит от многих причин, как, например, гладкости поверхностей пластинки и иглы, чистоты этих поверхностей, геометрической формы иглы и канавки и так далее. Кроме этого, имеется связь между прижимной и скатывающей силами и можно показать, что на скатывающую силу влияет геометрическая форма тонарма. Действие перечисленных факторов можно однозначно определить серией лабораторных измерений.

Измерения проводились на специально разработанном в лабораториях фирмы «Шур» детекторе скатывающей силы. Он представляет собой нулевой индикатор, который устанавливается над головкой звукоусилителя. Устройство, использованное для измерения скатывающей силы, представлено на рис. 4.7. Под действием на иглу силы в поперечном направлении головка поворачивается вокруг двух миниатюрных шарикоподшипников. Размер поворота фиксируется смещением стрелки, прикрепленной к насадке. Компенсацию скатывающей силы следует проводить до тех пор, пока стрелка вновь не установится в нулевое положение. Приложенная к игле скатывающая сила просто рассчитывается по сумме вращающих

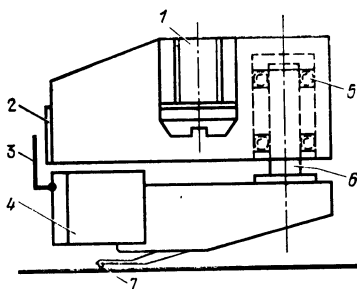


Рис. 4.7. Конструкция индикатора для измерения скатывающей силы:

1 — крепежный винт; 2 — шкала; 3 — стрелка; 4 — насадка на головку; 5 — миниатюрные шарикоподшипники; 6 — стержень; 7 — кончик иглы

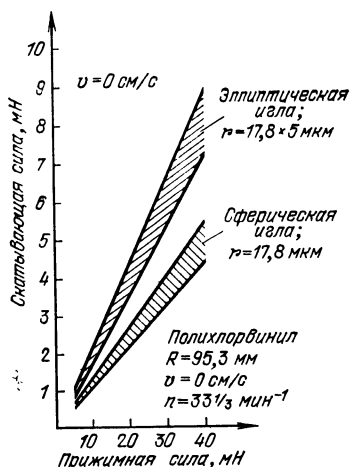


Рис. 4.8. Зависимость между прижимной и скатывающей силами в немодулированной канавке

моментов, действующих относительно центра вращения тонарма. Точность этого измерительного метода в тонарме SME3009 по отношению к игле выше $\pm 0,07$ мН.

Наибольшие трудности при изучении скатывающей силы вызывает ее зависимость от многих факторов. Результаты измерений представлены на рис. 4.8—4.12. Для сравнения использовалась немодулированная канавка с радиусом 95,25 мм на полихлорвиниловой пластинке с частотой вращения $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹. На этой пластинке были исследованы влияние модулированных канавок и различных форм иглы, изменение скатывающей силы по диаметру пластинки и так далее.

На рис. 4.8 показана зависимость скатывающей силы от прижимной силы. Для снижения ошибок, возникающих из-за статического разброса, измерения проводились на очень большом количестве пластинок с немодулированными канавками. Надежность измерений была повышена установкой пластинок точно в горизонтальной плоскости в специальном вакуумном устройстве. До значения прижимной силы порядка 15 мН большого разброса не наблюдалось, но при ее дальнейшем увеличении были получены значительные отклонения. Увеличение разброса результатов измерений при значениях прижимной силы, превышающих 15 мН, помимо ошибок от процесса измерений и различий, вызванных прессованием пластинок, следует объяснить изменение коэффициента трения. Характер изменения силы трения становится менее точным. Можно напомнить, что обычная эллиптическая игла по уравнению Герца при прижимной силе в 10 мН оказывает на стенку канавки давление 5120 кг/см², а при силе в 20 мН давление будет около 6500 кг/см². На рис. 4.8

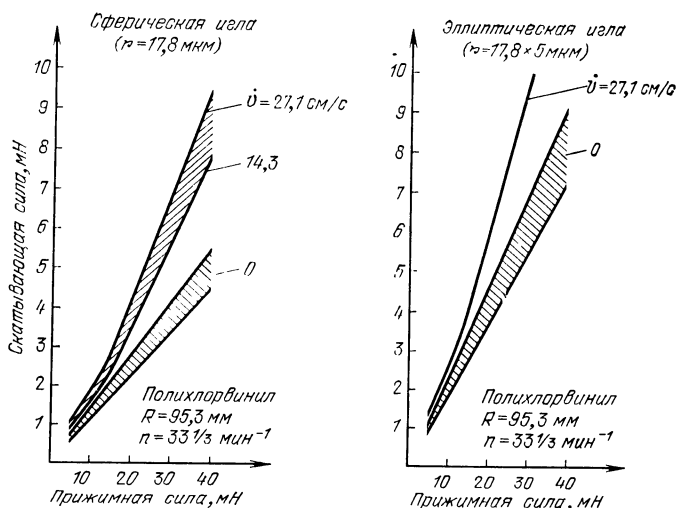


Рис. 4.9. Зависимость между прижимной и скатывающейся силами в модулированной канавке

представлена зависимость скатывающаяся сила — прижимная сила для сферической иглы с радиусом 17,8 мкм и для эллиптической иглы с радиусами 17,8 и 5 мкм. Из рисунка видно, что при прижимной силе 10 мН на сферическую иглу действует скатывающаяся сила 1,5—1,8 мН, в то время как на эллиптическую иглу действует немного большая сила, равная около 2 мН. На поверхности пластинки

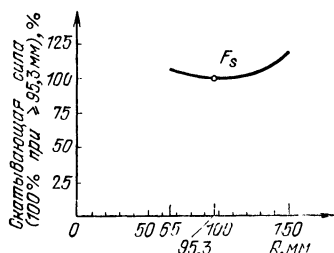


Рис. 4.10. Изменение скатывающейся силы в зависимости от радиуса звуковой канавки

Рис. 4.11. Зависимость между заходом иглы и скатывающейся силой

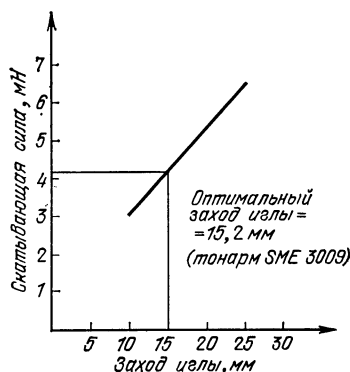
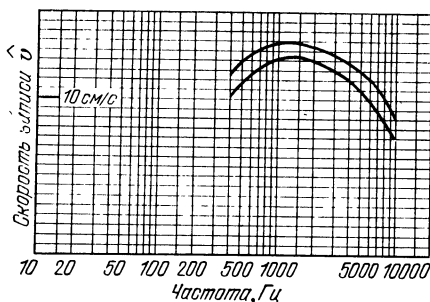


Рис. 4.12. Способность следования одного и того же звукоснимателя с компенсацией (верхняя кривая) и без компенсации (нижняя кривая) скатывающей силы



без канавок игла имеет контакт только в одной точке, поэтому скатывающую силу нельзя измерить и скомпенсировать.

Связь между скатывающей силой и прижимной силой для модулированной канавки показана на рис. 4.9. Можно видеть, что при проигрывании канавки с записью сигнала частотой 400 Гц и амплитудой колебательной скорости 27,1 см/с (или 14,3 см/с, 4000 Гц) по сравнению с немодулированной канавкой скатывающая сила значительно возрастает. Однако практически при колебательной скорости 5—8 см/с увеличение скатывающей силы не превышает 10—20%.

Подтвердилось также предположение, что скатывающая сила в немодулированной канавке не зависит от частоты вращения диска проигрывателя. Измерения проводились на проигрывателе, в котором частота вращения диска изменялась от 25 до 100 мин⁻¹. Это отношение, равное 4:1, гораздо больше, чем отношение линейных скоростей, измеренных в начальных и конечных канавках пластинки (равное примерно 2,3:1). Изменения скатывающей силы, с учетом неточностей измерительного оборудования, внутри указанных выше граничных значений частоты вращения диска при прижимной силе от 10 до 40 мН отмечены не были. Такое постоянство скатывающей силы обусловлено физическими закономерностями, по которым сила трения зависит от коэффициента трения и давления, но не зависит от скорости движения.

Интересные результаты были получены при измерении скатывающей силы в зависимости от радиуса канавки пластинки (рис. 4.10). Из рисунка следует, что скатывающая сила в небольших пределах зависит от радиуса канавки пластинки. Однако эти результаты нельзя объяснить изменением линейной скорости канавки. Для выяснения причин этого явления были изготовлены специальные пластинки. На одних пластинках вместо спиральных канавок записаны замкнутые концентрические канавки, а на других — спиральные, продвигающиеся от середины к краю. Тщательный анализ показал, что сила трения действительно не зависит от радиуса канавки пластинки, а зависит от нескольких факторов, изменяющихся с радиусом и не подчиняющихся строгим закономерностям. К ним относятся, например, изменение твердости материала пластинки, качество поверхности, форма канавки и коробление.

Можно отметить, что часть экспериментов была проведена при влажной очистке пластинки во время проигрывания. Их результаты подтвердили значительное снижение коэффициента трения. Одновременно существенно уменьшился разброс результатов измерений. Серия экспериментов показала также, что незначительное загряз-

нение поверхности пластинки изменяет коэффициент трения, а вместе с ним и значение скатывающей силы.

Как уже упоминалось при рассмотрении явления скатывания, значение составляющей силы, направленной к центру, зависит и от геометрической формы тонарма. Для данного проигрывателя расстояние между осью вращения тонарма и центром пластинки постоянно, но эффективную длину тонарма (расстояние от иглы до центра вращения) в большинстве случаев можно регулировать. Неправильно установленный заход иглы не только увеличивает горизонтальный угол погрешности, но и влияет на скатывающую силу, как это показано на рис. 4.11.

Естественно, вследствие действующей на иглу скатывающей силы на наружную стенку канавки действует меньшая нагрузка, чем на внутреннюю, и это сильно снижает способность к огибанию иглой сигнала правого канала. На рис. 4.12 показаны частотные зависимости способности следования звукоснимателя среднего качества с компенсацией скатывающей силы и без нее; разница составляет около 20—25%. Конечно, способность следования можно улучшить и повышением прижимной силы, однако согласно экспериментам ее следует увеличить с 10 до 15 мН (т. е. на 50%), что, разумеется, приведет к снижению срока службы иглы и пластинки.

В отношении срока службы также были проведены исследования на нескольких звукоснимателях с компенсацией и без компенсации скатывающей силы. После проигрывания в течение нескольких сот часов было обнаружено, что две трети игл имели больший износ на внутренней стороне, у одной трети игл износ был равномерный. Последний факт можно объяснить различием материала игл и его кристаллической структурой.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что скатывающая сила имеет постоянное значение, соответствующее выбранной прижимной силе, и может быть полностью скомпенсирована силой, имеющей противоположное направление. Несколько характерных способов компенсации будут описаны при рассмотрении отдельных типов тонармов. В § 4.2 речь пойдет также об установке правильного значения противоскатывающей силы, а в § 7.5 — о ее контроле с помощью приборов.

Динамическая связь между тонармом и головкой звукоснимателя. Международная унификация креплений и соединений головок звукоснимателей и наличие регулировок в большинстве держателей этих головок делают возможной установку в каждый тонарм любой головки звукоснимателя. Бесспорным достоинством такой унификации является возможность замены старой головки новой с более высокими параметрами. Однако есть и отрицательная сторона, ибо масса тонарма, держателя и головки звукоснимателя вместе с гибкостью ее подвижной системы образуют колебательный контур. Частота резонанса может быть подсчитана по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{m_1 c}},$$

где m_1 — эффективная масса тонарма и головки; c — гибкость подвижной системы головки звукоснимателя.

Тонармы и держатели головки звукоснимателя хорошего качества следует изготавливать такой малой массы, чтобы колеблющаяся масса определялась собственной массой головки звукоснимателя. Правда, это вступает в противоречие с требованием прочности,

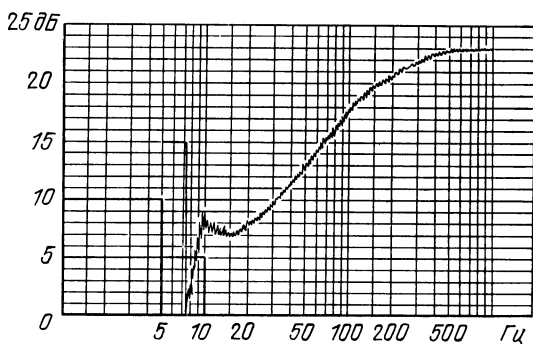


Рис. 4.13. Резонанс головки звукоснимателя «Шур V15-III» и тонарма «Торенс TP16»

предъявляемых к тонарму. Считая, для примера, массу равной 10 г и гибкость, равную $20 \cdot 10^{-3}$ м/Н, получим частоту $f = 11,25$ Гц. Это относительно просто можно проверить путем измерений, если пластинку, рассчитанную на частоту $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹ с записью сигнала частотой 20 Гц, проиграть с частотой $16\frac{2}{3}$ мин⁻¹, используя линейный предварительный усилитель (рис. 4.13). Измерения покажут, что на частоте резонанса отдача звукоснимателя будет больше, а ниже этой частоты головка звукоснимателя и тонарм будут колебаться с частотой сигнала пластинки и отдача звукоснимателя будет отсутствовать. На частотах выше резонанса сказывается инерция тонарма, поэтому головка звукоснимателя остается неподвижной и колебания иглы вызывают в преобразующей системе полезный выходной сигнал.

Часто встречается, что частота резонанса располагается выше. Это очень нежелательно, так как смещение резонанса ухудшает способность следования иглы по канавке и увеличивает шум движущего механизма. Практика показывает, что с одним и тем же движущим механизмом и тонармом, но с разными головками звукоснимателя можно получить различные отношения сигнал/шум, поскольку резонанс смещается в сторону высоких частот. Кроме того, увеличение рокота от движущего механизма способствует образованию гармонических составляющих, которые, смешиваясь с полезным сигналом, являются причиной воспринимаемых на слух интермодуляционных искажений. Путем целесообразной компоновки и упругим соединением имеющегося на тонарме противовеса описанный подъем на резонансной частоте может быть снижен.

Возбуждаемый при проигрывании сигнал частотой 10—20 Гц может исходить не только с пластинки. Его могут возбуждать колебания, вызванные движением транспорта и распространяющиеся через элементы здания; колебания пола при ходьбе или танцах; колебания от сильного движения воздуха. Особый случай — акустическая обратная связь вблизи громкоговорителя, а также обратная связь через твердые тела, если проигрыватель располагается непосредственно на акустическом агрегате. Такая обратная связь проявляется в виде сильного низкочастотного гудения, при котором звуко-

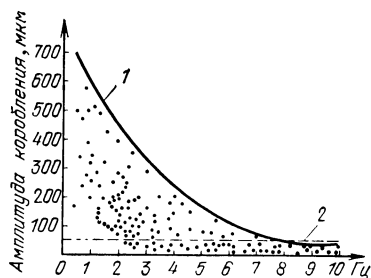


Рис. 4.14. Статистическое распределение коробления, полученное на основании измерений большого числа пластинок:

- 1 — максимум отклонения коробления;
2 — максимальная амплитуда звукового сигнала

сниматель может выпрыгнуть из канавки. Пылезащитная крышка проигрывателя, как правило, такую обратную связь не ослабляет. Обратной связи легко избежать в том случае, если система тонарма имеет упругую подвеску, не связанную с корпусом. При слишком мягком креплении тонарм будет очень чувствителен к сотрясениям, а при жестком креплении опасность акустического возбуждения остается прежней.

Так как при домашнем пользовании редко представляется возможность измерить частоту резонанса системы тонарм — головка звукоснимателя, предлагаем заменить имеющиеся головки только тогда,

когда в специальной литературе можно найти данные о динамическом согласовании новой головки звукоснимателя со старым тонармом. Не случайно, что в технической литературе приводятся данные головок звукоснимателей и сообщается тип использованного тонарма.

При анализе динамических свойств тонарма обязательно следует сказать и о том, что плоскость пластинок даже при тщательном сбалансированном и горизонтально расположенном диске проигрывателя не идеально ровная, на ней всегда имеются большие или малые неровности, которые вызывают вертикальные колебания тонарма. Из-за этого тонарм следует делать с малой инерцией и с малым трением в подшипнике. При подшипниках с малым трением трудности вызывает инерционность, обусловленная массой тонарма и головки звукоснимателя. Из-за инерционности звукосниматель не следует точно за короблением пластины, что приводит к увеличению или снижению силы, прижимающей иглу к канавке. Это действие не зависит от способа первичной установки прижимной силы: с помощью пружины или силы гравитации.

Коробление пластинок — проблема, существующая во всем мире. Согласно статистическим данным, полученным в США, при проигрывании 20% коробленных пластинок возникают искажения, перегрузка предварительного усилителя и даже выпрыгивание из канавки. Однако большое коробление вызывает менее заметные на слух искажения, чем почти невидимая неровность поверхности пластины. Были проведены эксперименты с целью определения зависимости между частотой и амплитудой сигналов, вызванных короблением пластинок. Во-первых, были собраны статистические данные о неравномерностях поверхности пластинок. Для этого использовались неподвижный по вертикали тонарм и амплитудная головка звукоснимателя. Выходной сигнал, пропорциональный короблению при вращении пластинки, записывался на автоматическом координатографе.

Путем выборочной проверки 67 пластинок с частотой вращения $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹ было получено более 200 экспериментальных данных

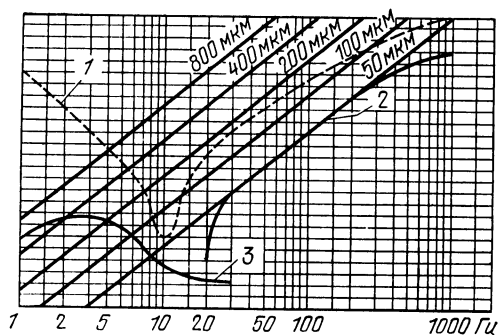


Рис. 4.15. Способность следования головки звукоснимателя «Шур V15-II», вмонтированной в тонарм SME3009, на частотах между 1 и 1000 Гц:

1 — способность следования головки звукоснимателя и тонарм; 2 — граница модуляции записи (максимальная амплитуда равна 50 мкм); 3 — распределение скорости коробления

(рис. 4.14). На частоте 0,5 Гц (наименьшей, на которой производились измерения) наибольшее зафиксированное отклонение составило 0,64 мм. Это более чем в десять раз превышает допустимое отклонение модулированной канавки. Амплитуда отклонения на частоте 10 Гц в среднем уже ниже 40 мкм. Напомним, что в этом частотном диапазоне находится частота собственных колебаний хорошо подобранной системы тонарм — головки звукоснимателя. Здесь вновь необходимо идти на компромисс. С точки зрения воспроизведения звуковых сигналов желательно, чтобы частота резонанса была расположена ниже 10 Гц, например на 2—5 Гц, но из-за коробления пластинки более благоприятны частоты резонанса выше 10 Гц. Другими словами, на нижней границе диапазона частот идеальный тонарм будет чрезвычайно чувствителен к короблению пластинки.

Если статистические данные по амплитуде пересчитать в колебательную скорость и полученную кривую изобразить на частотной зависимости наибольшей допустимой колебательной скорости при записи, уже описанной при рассмотрении звукоснимателей, то получим полную картину, характеризующую способность следования головки звукоснимателя и тонарм (рис. 4.15). Минимум способности следования, расположенный в районе 10 Гц, означает, что на этой частоте система склонна к резонансу. Обращает на себя внимание и тот факт, что минимум способности следования совпадает с участком между минимальными значениями колебательных скоростей коробления и звуковых сигналов.

Динамическую гибкость нельзя выбирать выше предписанных границ, потому что кривая полной способности следования сместится на участок коробления и таким образом высокое значение способности не может быть использовано из-за коробления. С обычной гибкостью порядка $10 \cdot 10^{-3}$ — $30 \cdot 10^{-3}$ м/Н и массой 10—30 г можно получить частоту резонанса между 5 и 16 Гц.

Подводя итог, можно сказать: мешающее действие коробления можно свести к минимуму, только тщательно согласовав гибкость

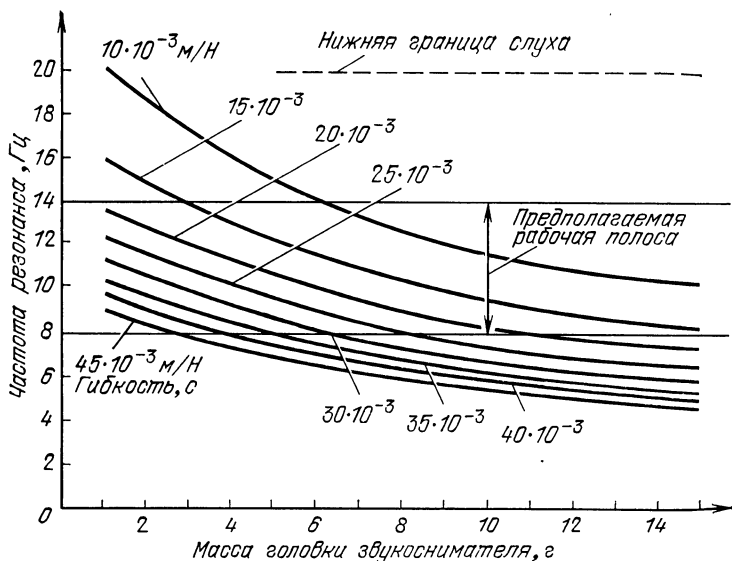


Рис. 4.16. Резонанс головок звукоснимателей с различной упругостью и массой в проигрывателе «Дюал 1219»

головки звукоснимателя (c) и массу тонарма (m_1). При решении этой задачи большую помощь могли бы оказать приборостроители, задав семейство кривых, подобных кривым на рис. 4.16.

До сих пор под массой тонарма всегда понимались его эффективная масса. Это такое же понятие, как и эффективная масса подвижной системы, отнесенная к игле. Подвижная масса тонарма может быть снижена, например, построением облегченной конструкции тонарма или перфорированием держателя головки звукоснимателя и так далее. Части тонарма с наибольшей массой, как, например, противовес, следует располагать как можно ближе к точке пересечения осей вращения, так как моменты инерции возрастают пропорционально квадрату расстояния до этой точки. Если в держатель головки звукоснимателя массой 6 г при длине тонарма 220 мм поместить головку звукоснимателя с массой 4 г, то они уравниваются противовесом с массой в 100 г на расстоянии 22 мм от оси вращения. Момент инерции, обусловленный массами головки звукоснимателя и держателя головки, будет около $500 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$, а противовеса $50 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$, т. е. в 10 раз меньше.

Проведя простой опыт, каждый может проверить качество тонарма своего проигрывателя. Для этого требуется только пластинка на частоту вращения 45 мин^{-1} , изготовленная с большим центральным отверстием. Без центрирующей шайбы ее следует поместить эксцентрично на диск проигрывателя так, чтобы край центрального отверстия касался шпинделя. Затем, не включая проигрывателя, иглу помещают на пластинку и включают двигатель. Если при вращении игла не выпрыгнет из канавки, то инерция

тонарма мала. Следует быть осторожным, чтобы во время эксперимента не повредить иглу.

В заключение напомним, что японская фирма изготовила образец тонарма с обратной связью по движению. У него в противовесе расположена система катушек с измерительной обмоткой, которая через соответствующую регулирующую цепочку обеспечивает постоянную прижимную силу, не зависящую от коробления пластинки.

В последующих главах будут показаны технические решения, обеспечивающие для различных типов тонармов выполнение описанных выше требований.

4.2. ТОНАРМЫ ОБЫЧНОЙ СИСТЕМЫ (ТОНАРМЫ, ВРАЩАЮЩИЕСЯ ВОКРУГ ОДНОЙ ТОЧКИ)

Различные формы тонармов. В настоящее время подавляющая часть проигрывателей выпускается с тонармами традиционной системы, которые при движении по направлению к центру пластинки вращаются вокруг вертикальной оси. Для снижения горизонтальной угловой погрешности головки звукоснимателей устанавливаются в тонармы под соответствующим углом коррекции и кончик иглы заходит за шпindel диска проигрывателя. Для того чтобы получить горизонтальный угол коррекции, созданы три характерных формы тонармов: прямой тонарма, изогнутый тонарма и S-образный тонарма. Типичные тонармы этих трех типов показаны на рис. 4.17—4.19. На них представлены прямой тонарма типа TP16 фирмы «Торенс», изогнутый тонарма типа SME3009 английской фирмы «Шур» и S-образный тонарма типа AS212, изготовленный в Дании фирмой «Ортофон». При одинаковых длине, заходе иглы и угле коррекции в тонармах всех трех типов можно получить одинаковую угловую погрешность. Преимущество прямого тонарма — благоприятные динамические свойства, вытекающие из его небольшой длины, в то время как достоинство изогнутых тонармов — возможность применения прямых и взаимозаменяемых держателей головок звукоснимателей «Шел».

Тонарма типа TP16 имеет диаметр 8 мм и изготовлен из антикоррозийного алюминиевого сплава, что обеспечивает необходимую прочность при эффективной длине 230 мм. Держатель головки звукоснимателя (TP60) отлит из магниевого сплава. Его можно снять после откручивания скрепляющего кольца. Перфорированный держатель более устойчив к короблению, чем конструкция, изготовленная из цельнотянутого листа, а его масса незначительно увеличивает момент инерции тонарма. Держатель головки позволяет установить требуемый заход иглы и ее перпендикулярное положение по отношению к канавке. Тонарма в горизонтальной и вертикальной плоскостях вращается при помощи защищенных от пыли прецизионных шарикоподшипников, трение в которых не меняется после нескольких лет работы.

В этом тонарме ось подшипника, лежащего в горизонтальной плоскости, не располагается перпендикулярно к продольной оси тонарма. С помощью векторного прямоугольника можно показать, что в этом случае ось будет перпендикулярна к линии симметрии головки звукоснимателя. Преимущество такой конструкции заключается в том, что при вертикальных колебаниях, возникающих от ходьбы, на внутреннюю и наружную стенки канавки приходится одинаковая нагрузка, поэтому уменьшается опасность выпрыгивания

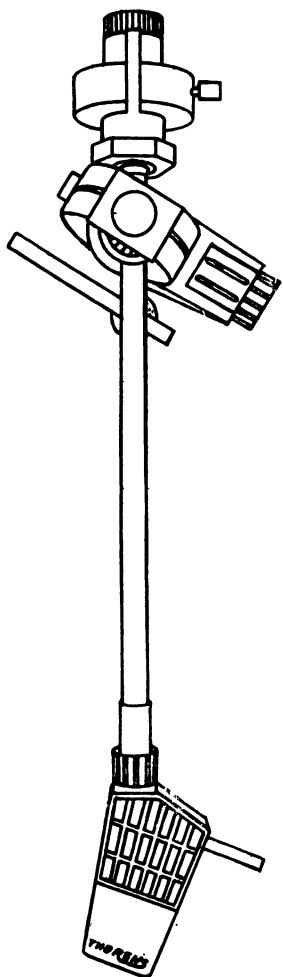


Рис. 4.17.

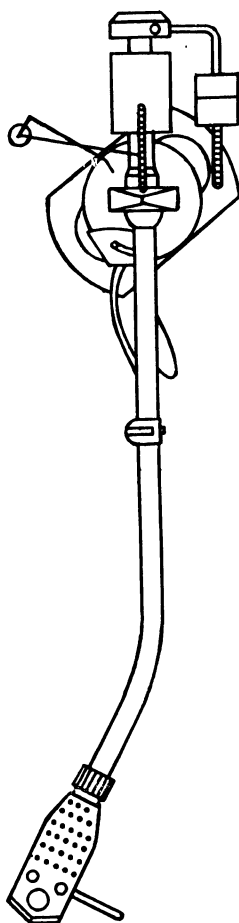


Рис. 4.18.

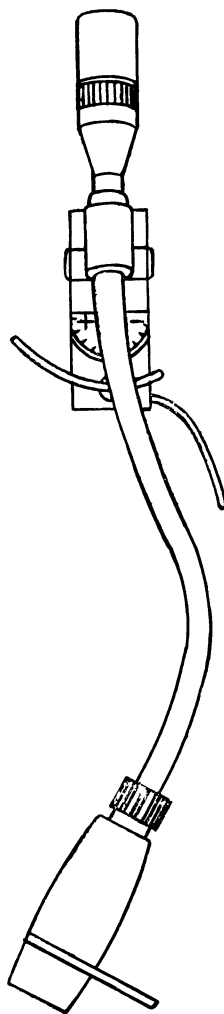


Рис. 4.19.

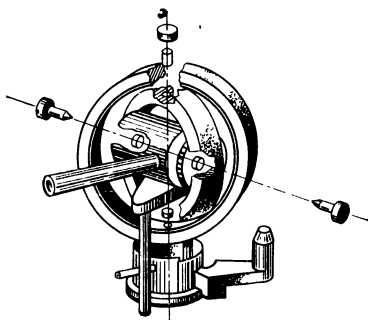
4.17. Традиционный прямой тонарм «Торенс TP16»

4.18. Традиционный изогнутый тонарм SME 3009

4.19. Традиционный S-образный тонарм «Ортофон A212»

иглы из канавки. Следует обратить внимание на тот факт, что при изготовлении тонармов фирмы «Торенс» 80% производственных расходов на 800 выпускаемых ежедневно тонармов составляют расходы на индивидуальные измерения, проверки и регулировки.

Рис. 4.20. Карданная подвеска
тонарма «Дюал 1219»



Тонармы SME изготовляют двух типов: SME3009 с эффективной длиной 229 мм и SME3012 с эффективной длиной 306 мм.

Горизонтальная подвеска выполнена на двух тончайших лезвиях, а вертикальная на миниатюрных шарикоподшипниках. Хромированный тонарм изготовлен из бесцветной закаленной стальной трубки. Цилиндрический вкладыш из ценных пород дерева, находящийся в середине трубки, демпфирует собственные продольные колебания. Ранее тонармы изготовлялись только со съёмными держателями головок звукоснимателей, в новых вариантах предполагается держатель совместить с трубкой тонарма. Перфорированный алюминиевый держатель головки звукоснимателя (S2) имеет массу только 6 г.

При проектировании большое внимание было обращено на снижение инерции, например винты крепления головки звукоснимателя изготовлены из нейлона, плотность которого составляет одну треть от плотности алюминия. Компенсация скручивающей силы, обусловленной прижимной силой и изогнутой формой тонарма, осуществляется сдвигом по двум направлениям одного грузика. Со времени своего создания (1961 г.) тонармы SME несомненно являются лучшими среди традиционных тонармов. Их часто применяют при испытаниях головок звукоснимателей. S-образный тонарм фирмы «Ортофон» при применении головок звукоснимателей с массой 5—12 г находится в равновесии в двух главных плоскостях движения, оба вращения осуществляются с помощью миниатюрных шарикоподшипников. Прижимная сила регулируется точной установкой противовеса.

Специальные подшипники. При рассмотрении типичных форм тонармов упоминались и виды их подшипников. Без всякого сомнения наиболее часто в тонармах применяются миниатюрные шарикоподшипники и подшипники на лезвиях, относительно реже встречаются другие специальные конструкции. Рассмотрим некоторые из них.

На рис. 4.20 хорошо видна карданная система проигрывателя «Дюал 1219», в которой для снижения трения вместо традиционных шарикоподшипников используются четыре закаленных и тщательно отполированных стальных острия, покоящихся в прецизионных кольцах. При такой конструкции на кончик иглы, находящийся в 222 мм от пересечения вертикальной и горизонтальной осей вращения, гарантируется трение, не превышающее 0,07 мН.

Интересную поворотную ножку тонарма создали конструкторы малоизвестной французской фирмы «ERA» для проигрывателей

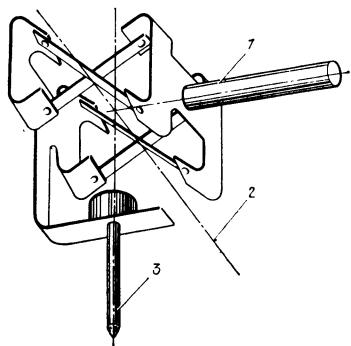


Рис. 4.21. Подвеска тонарма с мнимой осью, осуществленная на плоских пружинах (ERA):

1 — ось тонарма; 2 — мнимая ось;
3 — вертикальная ось

типа МКЗ и МК5. В тонарме имеется фиктивная горизонтальная ось, две точки которой образуются пересечением отдельных пар плоских пружин. Эти пружины в действительности друг с другом не пересекаются (рис. 4.21). Если эту фиктивную ось расположить в плоскости пластинки, то можно уменьшить детонацию звука, обусловленную короблением пластинок.

В Париже на Выставке электроакустической аппаратуры в 1967 г. демонстрировалась новинка одной из английских фирм «Кейт Монкс Аудио Лтд» («KMAL») — лабораторный тонарм с ртутными контактами типа М9ВА. Система его подшипников очень проста и состоит всего из одной вертикально расположенной иглы, конец которой вставлен в миниатюрный шарикоподшипник (рис. 4.22).

Балансировка тонарма осуществляется передвижением противовеса, а установка прижимной силы — поворотом винта с мелкой резьбой. Масса головки звукоснимателя, которая из-за угла коррекции тонарма не попадает на его продольную ось, может быть уравновешена поворотом противовеса с эксцентрическими отверстиями. Тонарм демпфируется пластинами, помещенными в сосуд, заполненный силиконовой смазкой. Для электрической подводки служат отделенные одна от другой ртутные камеры и вставляемые в них штыри. Для замены головки звукоснимателя трубка тонарма снимается с кончика вертикально расположенной иглы.

Разумеется, во всех конструкциях специальных тонармов действует скатывающая сила, которую можно скомпенсировать, например, силой отталкивания постоянных магнитов. Но об этом и о других способах компенсации скатывающей силы речь пойдет дальше.

Компенсация скатывающей силы. При анализе скатывающей силы была установлена возможность ее компенсации постоянной силой, направленной в противоположную сторону. Эту силу в проигрывателях высокого класса создает компенсатор скатывающей силы.

В самых простых вариантах компенсатора применяется спиральная пружина, прикрепленная одним концом к трубке тонарма, а вторым — к соответствующей точке проигрывателя. Такое решение встречается в более дешевых устройствах, например в проигрывателе «Филипс GA317». В этом компенсаторе противоскатывающая сила имеет постоянное значение, соответствующее одному значению прижимной силы. Как правило, в проигрывателях среднего класса не предусматривается возможность изменения прижимной силы, установленной на заводе.

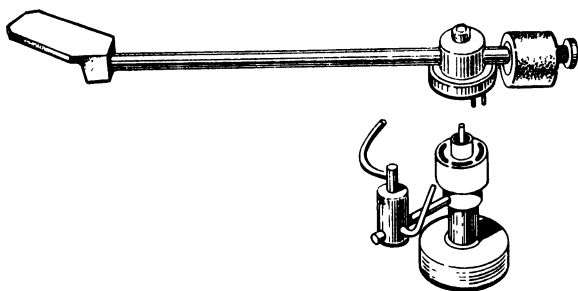


Рис. 4.22. Тонарм, покоящийся на единственном игольчатом подшипнике

В проигрывателях более высокого класса (например, «Филиппс 308», «Дюал 1219» и т. д.) противоскатывающую силу можно регулировать предварительным натяжением пружины. Для этого противоположный тонарму конец пружины имеет подвижное крепление и необходимую регулировку можно произвести извне сдвигом или поворотом соответствующей головки. При регуляторе имеется шкала (или несколько шкал) с делениями, относящимися к значениям прижимной силы. На новейших проигрывателях «Дюал 701» имеются также установочные значения для эллиптических игл, предназначенных для проигрывания дискретных четырехканальных пластинок CD-4.

Шкалы обычно относятся для сухого способа проигрывания. При применении способа влажной очистки пластинок противоскатывающую силу необходимо уменьшить на 20—30%. Размер снижения зависит от многих факторов, поэтому противоскатывающую силу целесообразно установить по наиболее чистому звуку на слух при проигрывании пластинок, содержащих отрывки с большим динамическим диапазоном, в которых звучат барабан или контрабас.

При помощи одной пружины невозможно установить постоянную компенсирующую силу, потому что во время движения тонарма в направлении к центру натяжение пружины хотя и в небольшой степени, но увеличивается. Источником постоянной силы может служить земное притяжение. Разумеется, для его использования не следует наклонять проигрыватель или поворотную ножку тонарма. Обычно применяют грузик в несколько граммов, подвешенный на тонкой стальной проволочке или нейлоновом шнуре. Второй конец грузика перекидывают через шкив и прикрепляют к тонарму. Если расстояние между шкивом и тонармом относительно велико, то противоскатывающая сила в основном будет независима от радиуса канавки. При небольшом расстоянии уменьшается угол, образованный шнурком и тонармом, и противоскатывающая сила при повороте тонарма снижается.

В противоскатывающем устройстве со шнурком изменение компенсирующего момента может осуществляться сменой грузика или перемещением точки приложения силы. Для облегчения осуществления последнего способа на рычаге тонарма имеются соответст-

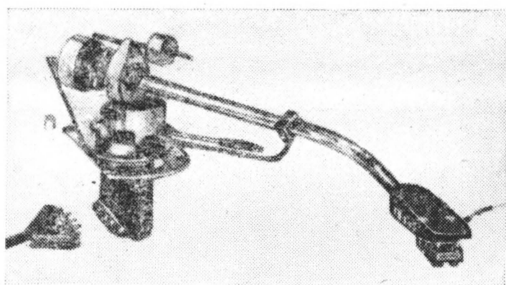


Рис. 4.23. Вид тонарма SME3009

вующие риски, в одну из которых можно заложить шнур (рис. 4.23). Массу грузика или риску, к которой следует прикрепить шнурок при данной головке звукоснимателя, игле и прижимной силе, можно определить по таблице. Хорошо составленные таблицы содержат указания и для случая влажного проигрывания. Противоскатывающий компенсатор со шнурком, как правило, должны монтировать владельцы проигрывателей, но эта работа и пользование таблицей не требуют специальных навыков.

Наиболее частое возражение против шнурового и пружинного вариантов компенсации скатывающей силы заключается в том, что обе конструкции в большей или меньшей степени передают вибрации тонарму. Полную изоляцию от вибраций обеспечивают системы, не имеющие механических контактов. Наиболее просто такие системы могут быть построены с использованием магнитных сил взаимодействия.

Магнитный компенсатор скатывающей силы применен в показанных ранее тонармах TP16 фирмы «Торенс» и AS212 фирмы «Ортофон». Перпендикулярно к вертикальной оси тонарма TP16 расположено шестиполусное магнитное кольцо, поворачивающееся вместе с тонармом. Вне этого кольца вдоль одной из диагоналей имеются два постоянных магнита. Один из них находится на постоянном расстоянии от кольца, а расстояние второго магнита можно регулировать. Компенсирующую силу на регуляторе можно установить для значений прижимной силы при четырех способах проигрывания: для сухого или влажного проигрывания со сферической или эллиптической иглами. При проигрывании в результате поворота тонарма магнитные полюса удаляются один от другого и компенсирующая сила снижается в небольшом размере. При оптимально сконструированной магнитной цепи скатывающая сила может быть скомпенсирована с достаточной точностью. Магнитный компенсатор скатывающей силы применен также в проигрывателе «Гарард Зиро 100» (см. § 4.3).

Взаимодействие магнитных сил может возникать не только между двумя постоянными магнитами. Его можно создавать и электромагнитным путем. Поэтому среди конструкций противоскатывающих устройств можно встретить и электрические компенсаторы. В патенте ГДР описан тонарма, в котором магнитное поле катушки с током действует на постоянный магнит. Этот магнит укреплен на движущейся части тонарма внутри неподвижного коль-

ца с катушкой. Ось полюсов постоянного магнита образует с осью катушки горизонтальную плоскость и в среднем положении тонарма при проигрывании пластинки перпендикулярно к оси катушки. Благодаря этому в течение всего проигрывания создается примерно постоянный момент, значение и направление которого могут регулироваться постоянным током, протекающим через катушку. Регулирующим элементом является потенциометр, который можно устанавливать в желаемое положение во время проигрывания. Особое достоинство данного метода заключается в том, что конструкция не содержит деталей, к допускам при обработке которых предъявляются повышенные требования. Конструкция позволяет подавать напряжение на катушку только после касания иглы пластинки, поэтому при спуске на пластинку на тонарм не действуют отклоняющие силы и он движется строго по вертикали, устанавливая иглу в нужную канавку.

4.3. ТОНАРМЫ НОВЫХ СИСТЕМ

При описании геометрических размеров тонармов указывалось, что горизонтальная угловая погрешность уменьшается при увеличении длины тонарма. Это снижение имеет не линейный, а скорее, экспоненциальный характер, при котором даже значительное увеличение длины тонарма сверх 250 мм мало уменьшает угловую погрешность. В то же время длинные тонармы имеют большую инерцию. Традиционные тонармы удовлетворяют этим двум требованиям только ценой компромисса.

Проблему снижения угловой погрешности можно решить и другим путем, но при этом утрачиваются преимущества простого, поворачивающегося вокруг оси тонарма (опыт производства, удобство в работе и так далее). Можно представить множество способов смещать головку звукоснимателя в направлении к центру по тому же пути, как и в рекордере, чтобы продольная ось головки располагалась по касательной к немодулированной канавке (тангенциально). Таким образом искажения, обусловленные горизонтальной угловой погрешностью, в действительности уменьшаются.

Конечно, может возникнуть вопрос, как изменятся искажения, если из-за коробления пластинки возникнет вертикальная угловая погрешность. Для ответа на этот вопрос сравним искажения, вызываемые горизонтальным и вертикальным углами погрешности. Горизонтальный угол погрешности α_h , измеренный на канавке с радиусом $R=65$ мм, у тонарма хорошего качества не превышает 1%. Этому углу при колебательной скорости $v=8$ см/с соответствуют искажения по второй гармонике $K=0,6\%$. Коробление в 0,5 мм при безинерционном тонарме длиной в 220 мм вызывает увеличение вертикальной угловой погрешности на

$$\alpha_v = \arcsin \frac{0,5}{220} = 0,13^\circ$$

При проигрывании коробленных пластинок инерционные свойства тонарма вызывают прогиб иглодержателя, вследствие чего изменяется вертикальный угол воспроизведения (обычно на $0,6^\circ$). Это означает, что искажения от тангенциального тонарма с горизонтальным углом погрешности $0,02\text{—}0,1^\circ$ значительно не снижаются

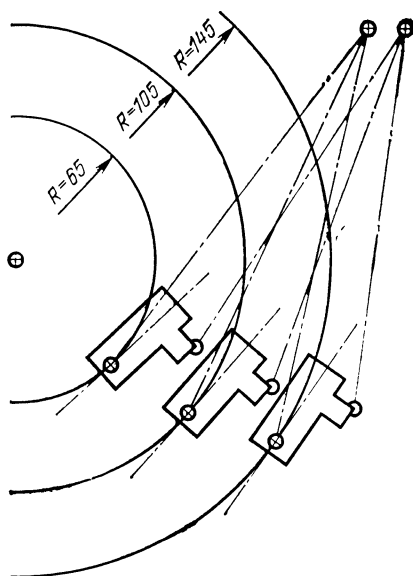


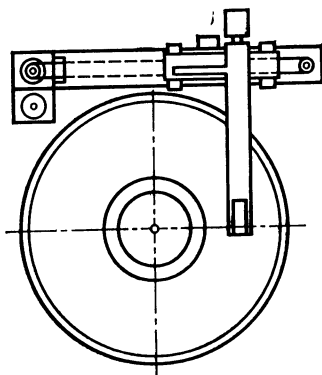
Рис. 4.24. Квазитангенциальный тонаrm с двумя центрами вращения на трех радиусах пластинки («Гарард Зиро 100»)

из-за вертикальной угловой погрешности. Но главное достоинство тангенциальных тонаrmов заключается именно в том, что их можно изготовить в укороченном виде, а инерция снижается пропорционально квадрату длины. Таким образом, улучшенные динамические свойства тангенциальных тонаrmов обуславливают уменьшение изменения вертикальной угловой погрешности от коробления пластинки.

Квазитангенциальный тонаrm. Квазитангенциальный тонаrm является видоизменением традиционного, вращающегося вокруг оси тонарма, у которого дополнительными деталями горизонтальная угловая погрешность снижена до погрешности тангенциального тонарма. Впервые такой тонаrm был разработан в Англии на фирме «Гарард» и применен в проигрывателе «Зиро 100».

Принцип действия тонарма поясняется на рис. 4.24. Угол коррекции головки звукоснимателя может изменяться поворотом держателя головки подшипника, расположенного точно над иглой. Поворот регулируется с помощью управляющего рычага, идущего параллельно главному тонарму. Все геометрические расчеты тонарма проводились на ЭВМ. Основную трудность в производстве вызвало изготовление подшипников без трения. В этом тонарме держатель головки звукоснимателя покоится на двух подшипниках, поэтому малейшее дрожание подшипников передается непосредственно головке. Прецизионные шарикоподшипники были изготовлены фирмой, специализирующейся на производстве подшипников для ручных часов.

Рис. 4.25. Тангенциальный
тонарм («Рабко SL-8»)



Измерения угловой погрешности у этого тонарма показали, что максимальное отклонение от касательной к немодулированной канавке составляет $90''$ по сравнению с $2,5^\circ$, полученными при измерениях на внешней канавке в случае традиционного тонарма. Это ровно в 100 раз больше ($1^\circ = 3600''$). Эффективная длина тонарма равна 191 мм, заход иглы, как это логически вытекает из самой идеи, равен нулю. Так как продольная ось головки звукоснимателя не пересекает центра вращения тонарма, то скатывающая сила возникает точно так же, как и при тонармах обычной конструкции. Ее компенсация осуществляется при помощи сил отталкивания между двумя круглыми магнитами, один из которых движется вместе с тонармом, а второй закреплен неподвижно. Компенсирующая сила изменяется шунтирующим действием железной пластинки, которую можно вдвигать между этими двумя магнитами.

За разработку тонарма «Зиро 100» фирма «Гарард» в 1971 г. получила премию Берлинера. Эта премия присуждается за технические результаты, достигнутые в области звукотехники, и до сих пор вручалась очень редко.

Тангенциальный тонарм. Принцип работы тангенциального тонарма SL-8E фирмы «Рабко» показан на рис. 4.25. Конец тонарма, противоположный головке звукоснимателя, продвигается параллельно радиусу пластинки. Таким образом, головка звукоснимателя касается каждой канавки под прямым углом. Из-за переменного шага записи тонарм смещается неравномерно. Если головка звукоснимателя на несколько десятых миллиметра продвигается к центру, то замыкаются расположенные на тонарме контакты, которые включают серводвигатель. Последний через трансмиссию, снижающую частоту вращения в отношении 500:1, вновь возвращает тонарм в перпендикулярное положение. Наибольший горизонтальный угол погрешности, обусловленный прерывистым режимом работы, равен $1/60$. Тангенциальные тонармы обладают двумя положительными свойствами. С одной стороны, тонарм можно сделать очень коротким (примерно 175 мм) и использовать, таким образом, просто головку звукоснимателя с большой гибкостью. С другой стороны, ось головки звукоснимателя пересекает точку вращения тонарма, поэтому эффекта скатывания не возникает. Еще одна особенность тангенциальных тонармов заключается в том, что на отыскание

определенных частей программы, записанной на пластинке, затрачивается несколько больше времени, чем при традиционном тоне, но это обстоятельство не является решающим.

Тангенциальный тонарм «Београм 4000» фирмы «Банг энд Олуфсен» имеет длину 155 мм; при оптимальном регулировании горизонтальный угол погрешности не превышает $0,04^\circ$. Движение этого тонарма сходно с описанным выше, но датчик положения не имеет контактов. Тонарм двигает заслонку, прикрывающую путь свету от лампы накаливания. Луч света попадает на фотоэлемент, оценка сигнала ошибки и включение исполнительного элемента осуществляется устройством, состоящим из нескольких десятков транзисторов. Как правило, в держатель этого тонарма можно монтировать только головки звукоснимателей типа SP15 этой же фирмы из-за проблем, связанных с динамической балансировкой.

4.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ТОНАРМОВ

Мы подробно проанализировали, каким образом тонарм ведет головку звукоснимателя по пластинке, а теперь рассмотрим электронные устройства, связанные с работой тонарма. Предварительно следует остановиться на выводе сигнала, возникающего в преобразующей системе головки звукоснимателя. На принципиальных схемах вывод сигнала обозначается просто изображением экранированных проводов. На практике надо следить за тем, чтобы эти провода были гибкими и не мешали движению тонарма. Для получения требуемой гибкости необходимо применять, разумеется, исключительно тонкие провода. Однако при небольшом диаметре жилы экран и провода, по которым передается сигнал звуковых частот, располагаются чрезвычайно близко один к другому. Из-за этого увеличивается собственная емкость вывода, которая шунтирует полезный сигнал на верхних частотах. Возникающие таким образом потери в тонармах хорошего качества не превышают 1 дБ на частоте 20 кГц. Такими потерями при прослушивании двухканальных стереофонических пластинок можно пренебречь.

Стереофонические тонармы среднего качества для проигрывания дискретных четырехканальных пластинок (CD-4) пригодны уже в меньшей степени из-за сильного затухания, вносимого на частотах около 50 кГц. В этом случае следует использовать только тонармы, у которых изоляция выводящих проводов изготовлена из материала, обладающего особенно малой диэлектрической постоянной.

Рассматривая вопрос о выходных проводах, следует упомянуть еще одно часто используемое решение. На некоторых проигрывателях выводы тонарма замыкаются накоротко контактами переключателя, срабатывающего от механического усилия или электрического сигнала. Такое замыкание применяется в автоматических проигрывателях, чтобы заглушить неприятный шум, возникающий при срабатывании механизма перемещения тонарма. В положении покоя при накоротко замкнутом звукоснимателе очень осторожно производится очистка иглы. Если выводы не замкнуть, то при этой операции может показаться, что мы слишком грубо обращаемся с чрезвычайно нежным иглодержателем.

Некоторые предварительные усилители, рассчитанные на подключение к выходному сопротивлению звукоснимателя, передают помеху при коротком замыкании их входа. В таких случаях следует

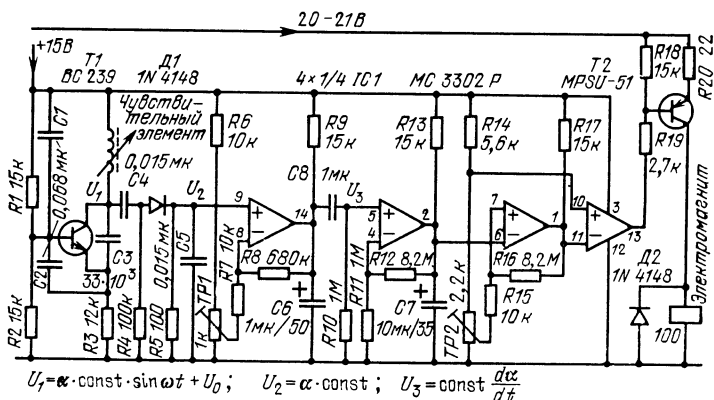


Рис. 4.26. Схема электронного устройства автостопа, чувствительного к угловой скорости («Ленко L85 IC»)

заменить предварительный усилитель или замыкающий накоротко переключатель.

Но провода тонарма и переключатели не являются электронными устройствами тонарма. К таким устройствам относятся разнообразные вспомогательные приспособления, как, например, сигнализация окончания или автостоп.

В проигрывателе высшего класса типа S600 фирмы «Телефункен» применена интересная новинка. Рядом с операционными органами на хорошо заметном месте расположено небольшое светящееся окошко. Когда тонарма снимается с подставки, световая точка гаснет и вновь загорается только после окончания воспроизведения при следовании иглы по выводным канавкам пластинки. Эта оптическая сигнализация окончания воспроизведения работает без механических контактов. К шасси проигрывателя прикреплена лампа накаливания, перед которой движется соединенная с тонармом маска. Прошедший через маску свет по светопроводу из световолокон подводится к окошку индикатора. Так как сигнализация окончания воспроизведения повышает удобство проигрывания пластинок, то можно ожидать, что в будущем получат распространение такие же простые или другие электронные индикаторы.

В проекте международного стандарта на пластинки определены диаметры последней модулированной канавки и заключительной канавки, а также шаг выводной канавки. Так как эти данные не одинаковы для пластинок диаметром 175 и 300 мм, то нельзя изготовить устройство для автоматического выключения двигателя, основываясь только на данных о диаметре. Поэтому в качестве параметра, вызывающего срабатывание автостопа, лучше брать изменение угловой скорости тонарма, происходящее при его движении по выводным канавкам. Для срабатывания традиционных механических автостопов необходимо значительное боковое усилие, которое не могут обеспечить современные головки звукоснимателей, обладающие большой гибкостью.

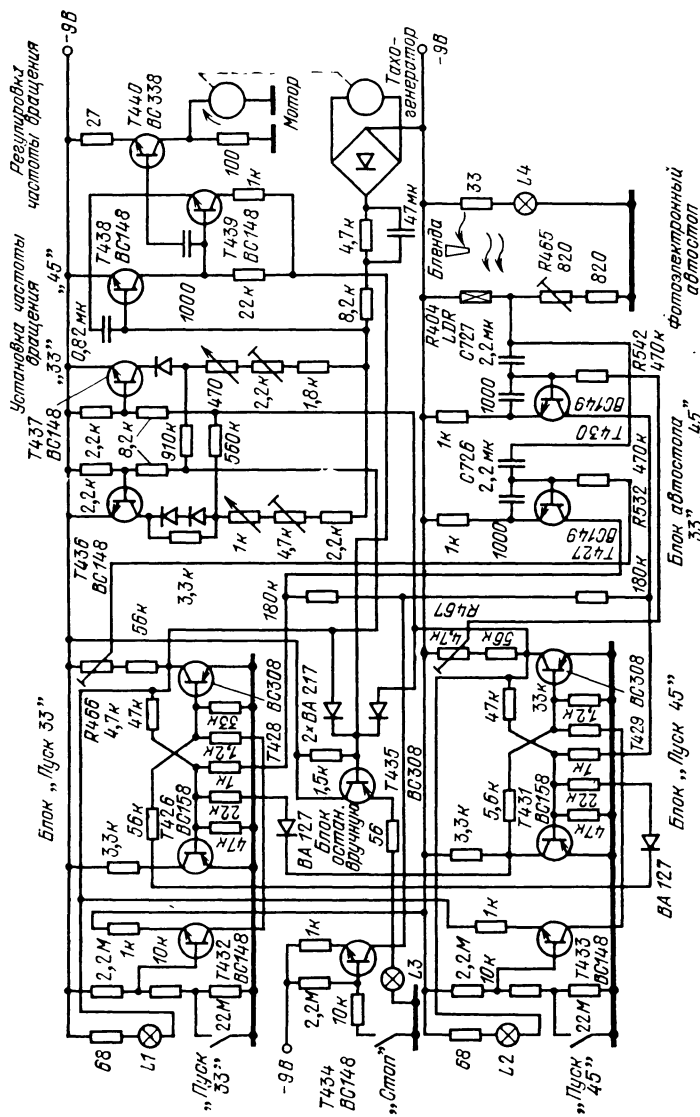


Рис. 4.27. Принципиальная схема регулятора частоты вращения двигателя постоянного тока и контактного переключателя частот вращения («Филипс 212»)

В торговую сеть Венгрии поступали проигрыватели L851C фирмы «Ленко» с автостопами индуктивной системы. Рассмотрим принцип действия такого автостопа.

В качестве датчика положения использован осциллятор Колпитца, генерирующий колебания частотой 80 кГц (рис. 4.26), состоящий из расположенной вплотную к тонарму индуктивности, конденсатора $C3$ и транзистора $T1$. При повороте тонарма смещается ферритовый элемент, расположенный над неподвижной катушкой, и ее индуктивность изменяется. Пропорционально увеличению угловой скорости возрастает высокочастотное напряжение. После выпрямления ($D1$) сигнал поступает на первый компаратор напряжения, опорный уровень для которого устанавливается триммером. Этот уровень исключает срабатывание электронного выключателя на канавках больше диаметра $140 \pm_{3,2}^{5,4}$. Но если игла звуко-снимателя приблизится к центру пластинки на меньшее расстояние, то компаратор пропустит сигнал на дифференцирующее звено $C8-R10$, сигнал с которого после усиления во второй части интегральной микросхемы поступает на третью ее часть, работающую также в качестве компаратора. Триммер $TP2$ устанавливает порог срабатывания четвертой, усилительной части интегральной микросхемы. Сигнал на нее поступает только тогда, когда скорость движения тонарма к центру превысит определенное значение (1,6 мм/канавка). При большей скорости сигнал усилительной части интегральной микросхемы через согласующий транзистор приводит в действие микролифт и вызывает срабатывание реле, выключающего проигрыватель.

Автостоп, реагирующий на угловую скорость, может быть построен и на оптических приборах. Такое решение, например, использовано в проигрывателе «Филипс 212» (рис. 4.27).

В зависимости от положения бленды, укрепленной на тонарме, часть светового потока от лампы накаливания, питающейся от стабилизированного источника питания, попадает на фоторезистор, изготовленный на основе сульфида кадмия (LDR). Если игла находится в начале зоны записи, свет беспрепятственно проходит на фоторезистор, но при приближении ее к центру пластинки световой поток уменьшается, благодаря чему сопротивление, а вместе с ним и падающее на нем напряжение увеличиваются. При следовании иглы по канавкам зоны записи напряжение изменяется равномерно и медленно, поэтому протекающий через два разделительных конденсатора зарядный ток не влияет на потенциал базы транзисторов. Но в выводной канавке бленда перекрывает световой поток уже быстрее, чем это допускается постоянной времени двух переходных конденсаторов и сопротивлений $R532$, $R466$ или $R542$ и $R467$, и поэтому на базы транзисторов поступает короткий положительный импульс, открывающий один из них и перебрасывающий запускающую схему в исходное положение. У этого проигрывателя при автоматическом отключении прекращается только вращение диска, но тонарм не поднимает иглу с пластинки.

Кроме индуктивного и фотоэлектрического автостопа, можно отметить еще один, построенный на современном твердотельном приборе — датчике Холла. Он не содержит ни чувствительных к настройке генераторов, ни ламп накаливания, обладающих ограниченным сроком службы. Его конструкция состоит из одного неподвижно закрепленного элемента Холла и постоянного магнита, который смещается вместе с тонармом. Через одну пару зажимов элемента

Холла протекает постоянный ток, а со второй пары зажимов можно снимать сигнал, зависящий от напряженности магнитного поля. Этот сигнал усиливается высококачественным усилителем с дифференциальным входом. Изменение сигнала воспринимается дифференцирующей схемой на полевых транзисторах, затем следует триггер Шмидта и переключающий каскад. Автостоп на элементе Холла применен в проигрывателе типа PL12S фирмы «Пионер».

При малой прижимной силе и очень низком трении в подшипниках тонара необходимо определенное умение при установке головки звукоснимателя на пластинку. В современных звукоснимателях эта трудность устраняется с помощью микролифта. Микролифт — это, собственно говоря, привод, позволяющий плавно опустить головку звукоснимателя на пластинку. В простейших проигрывателях применяется прямой привод, а в более прецизионных устройствах — демпфированный гидравлический или пневматический привод, который медленно опускает тонарм вниз, независимо от скорости срабатывания органа управления. При правильном демпфировании головка звукоснимателя с высоты 10—15 мм опускается на пластинку за 5—6 с.

В гидравлических микролифтах применяется силиконовая смазка с большим внутренним трением, обеспечивающая независимость времени спуска от температуры.

Важно, чтобы тонарм при спуске двигался строго вертикально, без поперечного смещения, так как на современных пластинках на каждом миллиметре радиуса расположены 10—12 канавок. Вертикальный спуск может быть обеспечен в том случае, когда тонарм до момента касания иглы с пластинкой опирается на резиновое покрытие рычага микролифта.

Надежность управления проигрывателем может быть повышена в еще большей степени, если применен автоматический микролифт. Подходящим примером может служить студийный проигрыватель ЕМТ950, в котором подъем и спуск тонарма производится бесшумным двигателем небольшого размера, работающим независимо от движущего механизма. Этот двигатель сначала перемещает тонарм с постоянным ускорением, затем с постоянной скоростью, а в конце цикла — с постоянным замедлением. Весь цикл заканчивается за 0,2 с, намного быстрее, чем при ручном обслуживании, но с большей безопасностью.

В проигрывателе «Филипс 209» имеются три двигателя, один из которых осуществляет вращение диска, а второй — подъем тонарма способом, сходным с описанным выше, а третий обеспечивает только поперечное движение тонарма. Для автоматического управления, естественно, применяется устройство определения диаметра пластинки. В проигрывателе «Филипс» для этой цели служат механические контакты, расположенные на поверхности диска.

Уникальным по конструкции является автоматический датчик диаметра пластинки, примененный в проигрывателе «Београм 4000». На светлом диске проигрывателя выполнены 24 узкие черные резиновые полосы, ориентированные по радиусу. Проигрыватель, кроме тангенциального тонарма, имеет вспомогательный тонарм, несущий лампу накаливания и фотоэлемент. При вращении диска смена светлых и темных полос формирует в фотоэлементе серию электрических импульсов. При включении проигрывателя оба тонарма продвигаются к центру. Серия импульсов прекращается только при достижении диаметра пластинки, которую желают прослушать, и тогда тонарм опускается на пластинку. Целесообразно спроектиро-

ванные логические схемы исключают спуск тонарма на неподвижную пластинку или на диск, вращающийся без пластинки.

В заключение отметим электронный проигрыватель, демонстрировавшийся фирмой «Сайентелек» на XVI Парижской международной акустической выставке. Диск этого проигрывателя вращается в вертикальной плоскости, а тонарм закреплен неподвижно. За каждый оборот диск смещается вдоль прямой линии на шаг записи. Его можно было бы назвать тангенциальным диском. Устройство предназначалось не для продажи, а только для демонстрации возможностей электроники и точной механики.

5. ДВИЖУЩИЙ МЕХАНИЗМ

Широко распространенный «принцип сборной конструкции» получил распространение и в области проигрывателей. Отдельно можно купить не только различного качества головки звукоснимателей и прецизионные тонармы, но также и движущие механизмы, состоящие из диска и более или менее сложного механизма вращения. Наиболее часто их монтируют в корпус проигрывателя на заводе. В этой главе рассматриваются движущий механизм и монтаж проигрывателя. Обе темы разделены для удобства.

5.1. ТРЕБОВАНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Задача движущего механизма в первый момент кажется чрезвычайно простой: вращение диска проигрывателя с постоянной скоростью. А трудности возникают именно при удовлетворении этого требования. Постоянную частоту вращения необходимо обеспечить и при колебаниях сетевого напряжения, и при изменении тормозящего действия пластинки, и при увеличении температуры среды, окружающей проигрыватель. Вращение диска должно быть равномерным, ибо все отклонения передаются непосредственно пластинке и вызывают вредную модуляцию. Желательно, чтобы двигатель обладал достаточно большим моментом для компенсации изменений нагрузки и быстрее достижения диском проигрывателя номинальной частоты вращения. Двигатель не должен создавать магнитных полей рассеяния, так как они могут индуцировать шумовое напряжение в головках звукоснимателей магнитной системы. Все перечисленные требования должны обеспечиваться при многочасовой, а в студийных условиях при круглосуточной работе.

Основные требования, предъявляемые к движущему механизму, сформулированы в стандарте DIN45500. Согласно этим требованиям значения частот вращения $33\frac{1}{3}$ и 45 мин^{-1} не должны выходить из границ допуска $+1,5$ и -1% . Отклонение, равное половине оборота диска в минуту по отношению к частоте $33\frac{1}{3} \text{ мин}^{-1}$, составляет ровно $1,5\%$. При таком отклонении частота 1000 Гц повысится на 15 Гц , что составляет одну восьмую октавы. Это повышение неслучайно для слуха человека.

Намного чувствительнее слух реагирует на кратковременные колебания высоты звука, проявляющиеся в частотной модуляции полезного сигнала. Если звук фортепьяно частотой 1000 Гц 4 раза

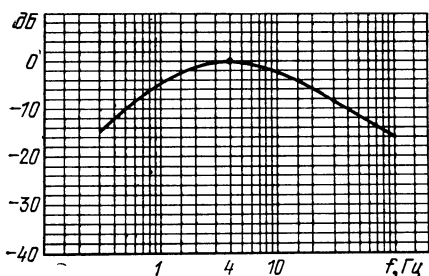


Рис. 5.1. Частотная характеристика взвешивающего фильтра для измерений коэффициента детонации

(одна восьмая оборота граммпластинки), поэтому кратковременные изменения тональности звука, вызываемые движущим механизмом, измеряются со взвешивающим фильтром, частотная характеристика которого показана на рис. 5.1. Пиковое значение измеренного отклонения является более строгим параметром. Сообщая результаты измерений в эффективных значениях, фирмы-изготовители представляют движущий механизм в более выгодном свете.

Стандарт DIN45500 раньше допускал предельное значение коэффициента детонации 0,2%, а в 1970 г. эта норма была сделана более строгой, равной 0,15%. У первоклассных проигрывателей коэффициент детонации не должен превышать 0,1%.

Это довольно строгое требование, ибо эксцентриситет центрального отверстия пластинки согласно стандарту может быть равен 0,2 мм, что в канавке на радиусе 100 мм вызывает колебания тональности на 0,2% с частотой 0,55 Гц и после учета кривой взвешивающего фильтра равнозначно коэффициенту детонации 0,078%.

Для измерений коэффициента детонации следует использовать измерительные пластинки, изготовленные, например, по стандарту DIN45545. На этих пластинках имеется концентрическая замкнутая канавка, с помощью которой пластинка должна быть отцентрирована на диске проигрывателя. Коэффициент детонации измеряется при помощи звукочастотного измерителя фазовой модуляции (например, ЕМТ 424). В США колебания высоты звука в полосе 0,5—200 Гц измерялись без взвешивания, но с 1972 г. был введен коэффициент взвешивания.

Следующий качественный параметр — рокот — представляет собой низкочастотную помеху, вызванную вращающимися деталями движущего механизма. Эта помеха воспринимается головкой звукоснимателя через тонарм или диск. Уровень рокота выражается отношением напряжений помехи и сигнала, записанного с номинальной колебательной скоростью. Существует несколько способов измерения уровня рокота. По одному из них низкочастотная помеха измеряется по линейной характеристике, а по другому оценивается с помощью взвешивающего фильтра, учитывающего физиологические особенности слуха. Сначала рассмотрим предписания стандарта, а затем требования, обусловленные особенностями слуха.

в секунду изменяется на 1,5 Гц, т. е. на 0,15 %, то эти изменения становятся уже ощутимыми. Медленные колебания с частотами от 0,5 до 5 Гц вызывают неприятное плавание звука, а более частые колебания с частотами от 4 до 100 Гц прослушиваются как дробление звука. Искажения звука, вызванные частотной модуляцией полезного сигнала, называются детонацией и оцениваются коэффициентом детонации. Слух человека наиболее чувствителен к колебаниям около 4 Гц

Измерение рокота проигрывателя по линейной характеристике согласно стандартам NAB, DIN и МЭК следует производить в диапазоне 10—500 Гц. Помехи с частотами ниже 10 Гц, вызванные короблением пластины, ослабляются фильтром с крутизной 6 дБ/октава, а с частотами выше 500 Гц ослабляются фильтром с крутизной 12 дБ/октава. Такая характеристика не является взвешивающей, это просто ограничение диапазона измерений. Венгерский стандарт на обеих граничных частотах предписывает фильтры с крутизной 12 дБ/октава. Полученный таким образом результат измерений есть невзвешенный уровень рокота.

Уровень рокота с учетом свойств слуха измеряется с помощью взвешивающего фильтра, показанного на рис. 5.2. Результат измерений — так называемый взвешенный уровень рокота. Вследствие взвешивания результат измерений не содержит самых низких составляющих помехи, и, таким образом, числовое значение благоприятнее, чем при линейных измерениях. Согласно предписаниям стандарта DIN45500 невзвешенный уровень рокота не должен превышать —35 дБ, а взвешенный —55 дБ. Заметим, что кроме двух описанных измерений уровня рокота измеряются относительный уровень рокота и слышимый уровень рокота, при которых взвешивание производится при помощи различных кривых, но отличия эти незначительны.

Сигналы, по отношению к которым проводятся измерения в упомянутых стандартах, различны (табл. 5.1), соответственно различаются и измерительные пластинки.

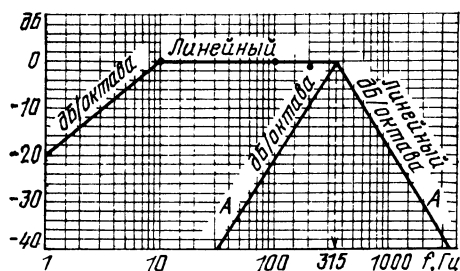


Рис. 5.2. Частотная характеристика линейного и взвешивающего (А) фильтров для измерений уровня рокота проигрывателя

Таблица 5.1

Частоты сигналов и колебательные скорости, принятые для измерения по различным стандартам

Стандарт	Частота, Гц	Колебательная скорость, см/с	Режим измерений
NAB	100	1,4	Моно
DIN	315 или 1000	5,42 или 10	Сtereo
МЭК ¹	315 или 1000	3,83 или 7	Сtereo
MSZ (BHP)	100	2,28	Моно

¹ В 1978 г. МЭК принял решение измерять уровень рокота относительно сигнала частотой 315 Гц, записанного с амплитудой колебательной скорости 5,4 см/с. В Советском Союзе измерения производят согласно этой последней рекомендации МЭК.

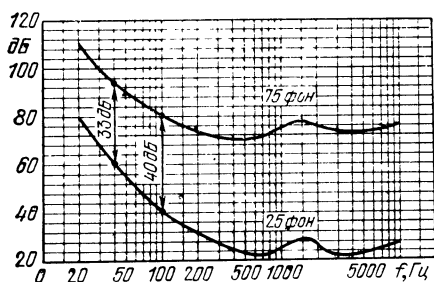


Рис. 5.3. Требования физиологической акустики к рокоту проигрывателя

мость между низкочастотной частью будет однозначной.

Теперь исследуем независимо от различных требований стандартов допустимый уровень рокота с точки зрения особенностей нашего слуха. На пластинке хорошего качества может быть достигнут динамический диапазон в 50 дБ, который можно реализовать в помещении для прослушивания с шумом в 25 фон, установив максимальную силу звука в 75 фон. Измеряя разность кривых равной громкости в 25 и 75 фон, представленных на рис. 5.3, получаем, что на частоте 100 Гц диапазон примерно равен 40 дБ, а на частоте 40 Гц около 33 дБ. Следовательно, человеческий слух для диапазона 50 дБ требует, чтобы отношение сигнал/рокот без взвешивания было равно 40 дБ или со взвешиванием 60 дБ. Проигрыватели хорошего качества удовлетворяют этому требованию.

В связи с приведенным рисунком интересно отметить, что при данном уровне прослушивания сигналы частотой 100 Гц поднимаются на 5—6 дБ, а частотой 40 Гц примерно на 16—18 дБ. Если сделать подъем на низких частотах чрезмерно большим, то и у проигрывателя хорошего качества рокот может прослушиваться, но это уже не будет недостатком проигрывателя.

Тщательное изучение пластинки DIN45544, предназначенной для измерения рокота, показало, что требование к отношению сигнал/рокот 60 дБ без взвешивания или 75 дБ со взвешиванием, предъявляемое к пластинкам и проигрывателям, представляет собой физическую границу. Ибо следует помнить, что по отношению к сигналу частотой 1000 Гц, записанному с колебательной скоростью 10 см/с, амплитуда помехи, уменьшенной на 40 дБ, составляет на частотах 25—30 Гц около 1 мкВ.

5.2. СИСТЕМЫ ПРИВОДА

Фрикционная передача. Чрезвычайно распространенным и надежным способом приведения диска во вращение является фрикционная передача. Она применяется как в самых дешевых проигрывателях, так и в студийных устройствах больших радиостанций.

При фрикционной передаче связь между двигателем и диском проигрывателя осуществляется с помощью резинового ролика

Уровень шума стереофонического проигрывателя, измеренный по стандарту NAB, будет равен —35 дБ, по стандарту DIN — 42 дБ, по МЭК — 39 дБ и по стандарту VNR — 37 дБ. Для проведения измерений в одинаковых условиях амплитудно-частотную характеристику предварительных усилителей, по всей вероятности, следует дополнить новой низкочастотной точкой перелома и принять следующие постоянные времени: 75/318/3180/5300 мкс. Благодаря этому зависимость характеристики и усилением

(рис. 5.4), который называется промежуточным. Этот ролик касается быстро вращающегося вала двигателя, имеющего небольшой радиус, и медленно вращающегося диска с большим радиусом. Если смотреть сверху, то при расположении промежуточного ролика внутри диска направление вращения двигателя противоположно направлению вращения диска, а при расположении его вне диска направления вращений вала двигателя и диска совпадают.

Фрикционная передача наиболее часто используется с быстроходными асинхронными или синхронными двигателями. Число синхронных оборотов при сети частотой 50 Гц в зависимости от числа полюсов (2—4) равно 3000 или 1500 в минуту. Так как при частоте вращения $33\frac{1}{3}\text{ мин}^{-1}$ внутренний край диска проигрывателя с диаметром 300 мм проходит за минуту 31 415 мм, вал двигателя при частоте вращения 1500 мин^{-1} должен иметь диаметр 6,67 мм, а при частоте вращения 3000 мин^{-1} — 3,33 мм. Заслуживает внимания, что при этом расчете диаметр промежуточного ролика не имеет значения.

Однако частота вращения этого ролика не является базисной. При диаметре ролика 40 мм она составляет около 250 мин^{-1} , что при пересчете на секунды дает частоту 4,1 Гц. Можно напомнить, что слух обладает наибольшей чувствительностью к колебаниям тональности именно с такой частотой. Следовательно, необходимо следить за тем, чтобы промежуточный ролик при вращении постоянно касался вала двигателя и диска. Для этого резиновое покрытие ролика должно быть абсолютно равномерным. Передача усилия промежуточным роликом приводит к стиранию резиновой поверхности, поэтому эти ролики, по мере возможности, изготов-

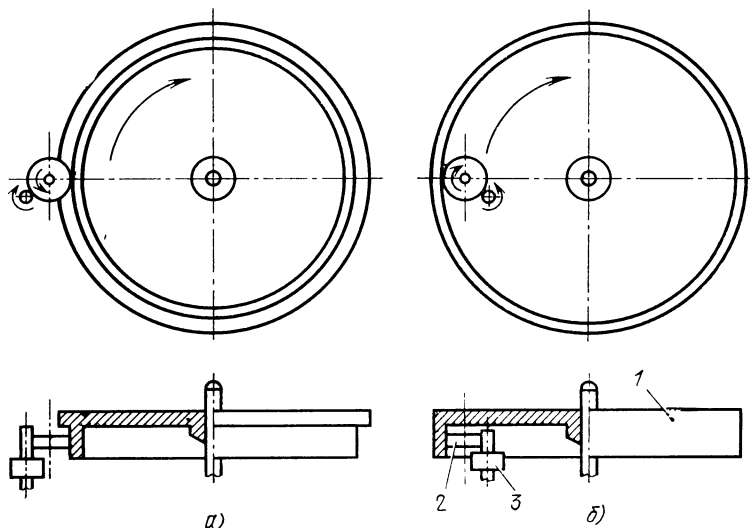


Рис. 5.4. Фрикционная передача с приводом по внешнему (а) и внутреннему (б) борту диска:

1 — диск проигрывателя; 2 — промежуточный ролик; 3 — двигатель

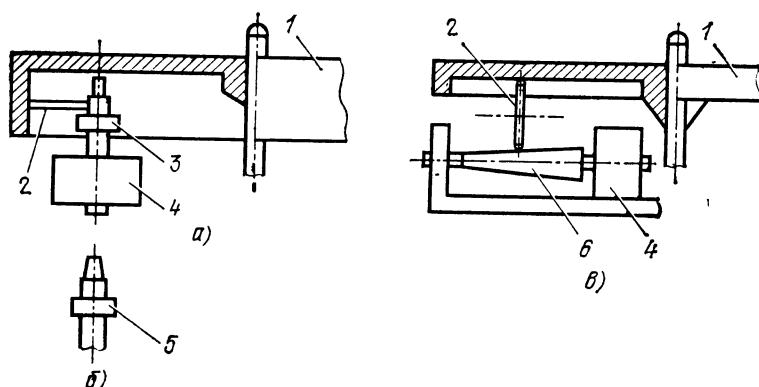


Рис. 5.5. Изменение частоты вращения с помощью промежуточного ролика (а); регулятор подстройки частоты вращения (б); подстройка частоты вращения с помощью конусообразного вала (в):

1 — диск проигрывателя; 2 — промежуточный валик; 3 — ступенчатая насадка; 4 — двигатель; 5 — конусообразная насадка; 6 — конусообразный вал

ляются из твердой резины. Однако при этом колебания вала двигателя передаются диску проигрывателя почти без демпфирования.

При остановке резиновый ролик не должен прижиматься к валу двигателя, так как, касаясь его нагретшейся поверхности одной точкой, он может необратимо деформироваться. Поэтому целесообразно иметь в запасе еще один резиновый ролик и по мере возможности держать его изолированным от воздуха. Интересно отметить, что неровности поверхности в 25 мкм резинового ролика диаметром 50 мм вызывают колебания высоты звука на 0,1%, а изготовлять резиновые детали с большей точностью едва ли возможно.

Характерным недостатком фрикционной передачи с промежуточными роликами являются колебания тональности воспроизводимого звука с частотой 4—100 Гц, а также рокот. Для передачи этого типа необходимы тихоходные двигатели, как правило, с малыми размерами. Пусковой момент двигателя должен быть относительно большим, чтобы диск проигрывателя быстро набирал номинальную частоту вращения.

Изменение частоты вращения диска достигается относительно просто. Наиболее часто применяемая конструкция — вал двигателя ступенчатой формы. Участки с различными диаметрами соответствуют требуемым частотам вращения. Точность частоты вращения зависит от диаметра вала двигателя. Если выполнить вал конической формы и изменять высоту касания промежуточного ролика, можно простым способом осуществлять точную регулировку частоты вращения. Этим способом можно осуществить также и преднамеренное изменение номинального числа оборотов. Необходимость в этом возникает в том случае, если проигрывание музыкального произведения сопровождается игрой на каком-либо музыкальном инструменте. Если, например, фортепьяно исполнитель настроено на полтона ниже эталонной частоты 440 Гц, что случается часто, то частоту вращения проигрывателя следует снизить на 6%. Уникально решен механизм изменения частоты вращения в проигрывателе типа

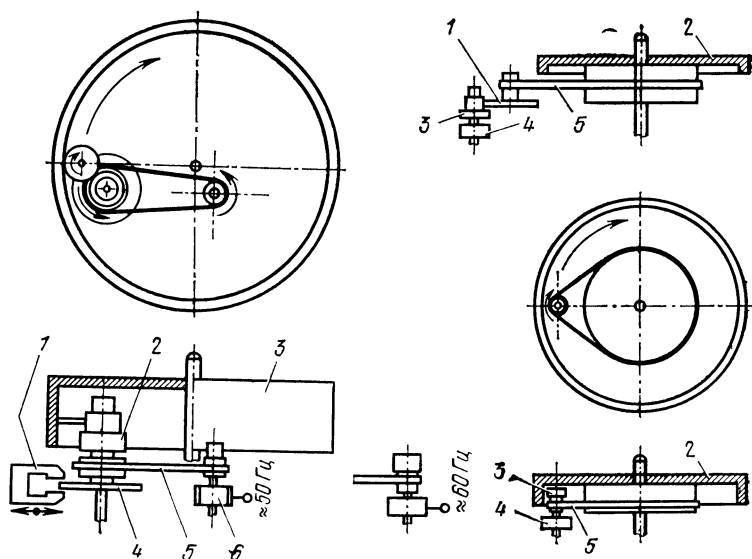


Рис. 5.6. Улучшенный вариант фрикционной передачи:

1 — постоянный магнит; 2 — ступенчатый ролик; 3 — диск проигрывателя; 4 — алюминиевая или медная шайба; 5 — пассив; 6 — двигатель

Рис. 5.7. Двухступенчатая передача с ременным приводом (вверху) и прямая ременная передача (внизу):

1 — промежуточный ролик; 2 — диск проигрывателя; 3 — ступенчатая насадка; 4 — двигатель; 5 — ремень

L75 фирмы «Ленко» (рис. 5.5, в). Четырехполюсный асинхронный двигатель с горизонтально расположенным валом соединен с коническим валом, на обоих концах которого имеются подшипники. Промежуточный ролик касается этого вала. Сдвигая промежуточный ролик в продольном направлении вдоль конического вала, частоту вращения диска можно плавно изменять в интервалах 15—18 и 30—86 мин⁻¹. Рычаг выбора частоты вращения может быть в любой момент установлен на точно определенное место, соответствующее одной из стандартных частот вращения: 16²/₃, 33¹/₃, 45 и 78 мин⁻¹.

В меньшей степени распространена улучшенная фрикционная передача, обладающая хорошими показателями. Из проигрывателей с такой передачей наиболее известен TD124 фирмы «Торенс». В нем стремились сохранить преимущества и устранить недостатки фрикционной передачи. Источником ошибок при обычной фрикционной передаче является одноступенчатая жесткая связь между быстроходным двигателем и диском. Из-за этой связи вал двигателя приходится изготавливать с малым диаметром, что определяет достаточно жесткие требования к механическим воздействиям и допускам в процессе производства. Улучшенная фрикционная передача (рис. 5.6) работает с двухступенчатой связью. Вал двигателя через

резиновый пассив вращает шкив, частота вращения которого составляет несколько сот раз в минуту. Установленная на нем ступенчатая насадка вращает промежуточный ролик без опасности его деформации. Вибрация двигателя через резиновый пассив на диск не передается. При перевороте насадки двигателя на 180° привод может работать при частоте сети 60 Гц.

Так как из-за колебания напряжения питания и изменения нагрузки следует использовать асинхронные двигатели большой мощности, то проблема точной регулировки (подстройки) частоты вращения решается путем торможения. Естественно, можно использовать только торможение без трения. По такому принципу работает тормоз с использованием токов Фуко. На ступенчатом шкиве укреплен медный (или алюминиевый) диск большого диаметра, обладающий хорошей проводимостью. Вокруг диска располагаются постоянные магниты. Изменением положения магнита или шунтированием магнитной цепи регулируется эффект торможения от вихревых токов. Применяя этот способ, частоту вращения асинхронного двигателя можно изменять в небольших пределах. Для равномерности торможения диск, в котором возникают токи Фуко, не должен содержать ферромагнитных включений.

Ременная передача. Заветной мечтой большинства любителей грамзаписи — собрать в домашних условиях или приобрести проигрыватель с ременной передачей какой-либо известной фирмы. Прямую ременную передачу между быстроходным двигателем и диском проигрывателя без проскальзывания изготовить трудно. Поэтому на ведущей стороне частота вращения вала двигателя не должна превышать 375 мин^{-1} . До внедрения двигателей с такой небольшой частотой вращения получили применение двухступенчатые передачи, в которых высокая частота вращения вала асинхронного двигателя снижалась до требуемого значения с помощью промежуточного ролика. Такую передачу можно встретить, например, в проигрывателе «Београм 1202» (рис. 5.7).

В настоящее время выпуск тихоходных двигателей уже не является проблемой и они получили широкое распространение в современных проигрывателях. В современных конструкциях ремень огибает вал двигателя и внешний край диска. В других вариантах ремень ведет внутренний шкив, имеющий меньший диаметр, чем диск проигрывателя.

Ремень изготавливается из резины или более современного материала — полиуретана. Последний теплостоек, влагостоек и маслоостоек. Поперечное сечение ремня может быть прямоугольным, плоским, реже оно бывает круглым. Гибкость таких ремней существенно выше, чем у промежуточных роликов, и, таким образом, вибрации двигателя передаются на диск со значительно большим затуханием. Поэтому ремень между двигателем и диском должен идти свободно и огибать как можно больший участок.

Передача, снижающая число оборотов двигателя, на основе соотношений диаметров ведущего и ведомого вала может быть рассчитана только приближенно. Это объясняется тем, что ремень ведет диск не поверхностью внутреннего радиуса, а по нейтральной линии с большим диаметром, положение которой зависит от гибкости ремня.

Изменение частоты вращения диска наиболее часто осуществляется методом перемещения ремня на больший или меньший диаметр вала двигателя. Гибкий ремень легко выдерживает смену диаметров, но его перемещение следует проводить только при вращаю-

щемся двигателе, иначе на небольшом отрезке ремня длительное время может сохраняться растянутое состояние, что может послужить причиной увеличения детонации.

Такие ременные передачи применены в проигрывателях «Дюал 601», «TD160» фирмы «Торенс». Идеальным решением было бы изменение частоты вращения не при помощи диаметра вала двигателя, по которому движется ремень, а изменением числа оборотов двигателя электронным путем. Схема такого регулятора подробно будет рассмотрена позже.

Характерным свойством ременной передачи является относительно ограниченный коэффициент передачи усилия. Это ограничение, как правило, проявляется в длительном разгоне диска. При работе малый коэффициент передачи усилия несомненно желателен, ибо в этом случае кинетическая энергия диска позволяет обеспечить равномерность вращения. Каждая ременная передача, в зависимости от передаваемого усилия и состояния ведущей поверхности, более или менее склонна к проскальзыванию. При дисках с небольшой инерцией это может вызвать детонацию. Поэтому поверхность ремня ни в коем случае нельзя трогать пальцами. Возможные отпечатки пальцев необходимо стереть ватой, смоченной спиртом. Более сильными очищающими средствами следует пользоваться осторожно, чтобы не растворить материал ремня. Со временем ремни теряют гибкость, поэтому их следует менять по мере использования.

Проигрыватели с ременной передачей обладают малым рокотом, например венгерский проигрыватель «СВО-21» Будапештского электроакустического завода, проигрыватели «NC440» фирмы «Тесла», «CA308» фирмы «Филипс», «L851C» фирмы «Ленко», «TD125» и «TD160» фирмы «Торенс» и т. д.

Однако вернемся к небольшому коэффициенту передачи усилия при ременном приводе. Это обстоятельство затрудняет применение ременного привода в полуавтоматах или проигрывателях со сменой пластинок. Поскольку среди американских покупателей автоматические устройства всегда пользовались спросом, родился комбинированный вариант проигрывателя повышенного класса с ременной передачей (типа PC830 фирмы «Элак»). В нем увеличение усилия, необходимое на время разгона диска, срабатывания механизма смены пластинок или движения тонарма обеспечивается фрикционной передачей по краю диска. При прослушивании пластинок фрикционный ролик не касается диска. В это время работает только ременная передача.

Особую конструкцию имеет привод студийного проигрывателя ЕМТ928, диск которого вращается двумя параллельными ремнями с одинаковыми размерами. Такое удвоение снижает проскальзывание ремня (меньше детонация звука) и повышает надежность работы, так как проигрыватель не останавливается при обрыве одного ремня.

Прямой привод. Логичным представляется вывод, что рокот проигрывателя тогда будет наименьшим, когда в устройстве отсутствуют детали, вращающиеся быстрее диска. Поэтому любители часто пытались изготовить проигрыватель, приводимый в движение силой пружины или земного притяжения, а также используемый энергию воздуха или воды. Сегодня все эти попытки ушли в прошлое, так как с помощью современной электроники удалось создать двигатели с частотой вращения $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹. Конструкция привода проигрывателя с таким двигателем очень проста: диск помещается на вал двигателя и это все.

На валу двигателя также укрепляется датчик частоты вращения. Постоянная обратная связь обеспечивает постоянство частоты вращения независимо от нагрузки. Изменение частоты вращения может осуществляться простым переключением в электронном устройстве управления, смонтированном в корпус двигателя.

Перечислим качественные показатели прямого привода. Детонация звука практически отсутствует, так как электронное устройство реагирует даже на небольшие изменения частоты. Измерить детонацию звука у проигрывателей с прямым приводом можно только с использованием измерительной пластинки, тщательно отцентрированной под микроскопом. Но у прямого привода есть и присущие ему недостатки. Диск, расположенный непосредственно на двигателе, воспринимает все его вибрации. Последние возникают из-за указанной выше мгновенной реакции управляющего устройства на любые изменения частоты вращения. Можно ожидать, что колебания частоты вращающейся массы двигатель компенсирует только при относительно больших импульсах тока, но они вызывают механические толчки. Поэтому рокот проигрывателей с прямым приводом в диапазоне 8—22 Гц может быть значительным. При двигателях с большим числом полюсов он заметен и на более высоких частотах. Теоретически этот дефект полностью устраним только при безынерционном диске.

Не подлежит сомнению, что в прямом приводе отсутствуют стирающие со временем резиновые детали и качество привода не изменяется без систематического обслуживания. Можно ожидать все более широкого распространения этого типа привода как в самых простых, так и в более сложных устройствах.

5.3. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДВИГАТЕЛЯ

Типы двигателей. При описании отдельных видов передач упоминались типы двигателей, с которыми они работают наиболее эффективно. Самой старой является фрикционная передача, работающая с быстроходными синхронными или асинхронными двигателями.

Якоря асинхронных (или индукционных) двигателей состоят из большого числа отрезков медных проводов, концы которых соединены друг с другом. Поэтому такие двигатели называются двигателями с короткозамкнутым ротором. Якорь располагается между полюсами статора. Магнитная цепь статора снаружи окружена обмоткой, в которую подается ток, возбуждающий в статоре вращающееся магнитное поле, приводящее якорь во вращение. Для запуска двигателя симметрия магнитного поля нарушается с помощью короткозамкнутого витка из меди (двигатель с экранированными полюсами) или пускового конденсатора. Число оборотов якоря всегда меньше числа оборотов магнитного поля, т. е. синхронизм отсутствует. При синхронных оборотах ток в витках якоря не индуцируется и момент двигателя равен нулю. Так как трение в подшипниках якоря создает определенный тормозящий момент, число оборотов двигателя на холостом ходу остается ниже числа синхронных оборотов. Номинальное значение частоты вращения зависит от значения питающего напряжения и от сопротивления нагрузки. Следовательно, постоянное число оборотов может быть достигнуто только при достаточно большом моменте вращения, т. е. при двигателе с увеличенными размерами.

Основные параметры асинхронного двигателя, применяемого для проигрывателей (фирма «Филипс», тип 9904 122 05 311), следующие:

Пусковой момент ($n=150 \text{ мин}^{-1}$), Н·м	20·10 ⁻⁴
Максимальный момент, Н·м	30·10 ⁻⁴
Частота вращения при максимальном моменте, мин ⁻¹	2000
Максимальная механическая мощность, Вт	0,6
Частота вращения при максимальной мощности, мин ⁻¹	2200
Частота вращения на холостом ходу, мин ⁻¹	2850
Потребляемая без нагрузки электрическая мощность, Вт	0,6

По своей конструкции синхронные двигатели существенно отличаются от асинхронных. Якорем в них служит постоянный магнит, а магнитное поле пульсирует в статоре синхронно с частотой сети. Это магнитное поле можно представить в виде равнодействующего двух магнитных полей, вращающихся по кругу. Якорь синхронного двигателя может вращаться в обоих направлениях. Требуемое направление вращения обеспечивается или механической блокировкой или электрическим путем. При одной паре полюсов (двух полюсах) якорь делает оборот за один период переменного тока. Частота вращения двигателя

$$n = 60 f = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ мин}^{-1}.$$

Частота вращения не зависит ни от напряжения сети, ни от нагрузки. Если число пар полюсов якоря равно p , то за период он поворачивается на угол $360^\circ/p$, и, таким образом, число оборотов четырехполюсного двигателя ($p=2$)

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ мин}^{-1}.$$

Колебания частоты синхронного двигателя, как правило, меньше, чем у асинхронного, хотя из-за имеющегося в якоре постоянного магнита наблюдаются скачки при переходе от полюса к полюсу. Их мешающее действие может быть значительно снижено увеличением числа полюсов: например, частота вращения 24-полюсного синхронного двигателя $n=250 \text{ мин}^{-1}$ и частота соответствующих им колебаний около 4 Гц. Наиболее выгодно эти тихоходные синхронные двигатели могут использоваться при ременной передаче.

Колебания вала двигателя могут быть снижены, если два синхронных двигателя посадить на один общий вал так, чтобы их полюса точно совпадали (рис. 5.8), а обмотки питались токами, сдвинутыми по фазе на 90° по отношению один к другому. В этом случае мощность на валу

$$P = \frac{(U \sin \omega t)^2}{Z} + \frac{(U \cos \omega t)^2}{Z} = \frac{U^2}{Z} (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t),$$

и значение это в каждый момент времени постоянно, так как

$$\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t = 1.$$

Сдвиг по фазе наиболее просто осуществляется с помощью конденсатора. Основные данные сдвоенного синхронного двигателя, примененного в проигрывателе «Филипс 9904 111 04311», следующие:

Частота вращения, мин ⁻¹	 250
Пусковой момент, Н·м	 $100 \cdot 10^{-4}$
Рабочий момент, Н·м	 $100 \cdot 10^{-4}$
	(90—110) · 10 ⁻⁴
Напряжение сети, В	 110 (200—120)
Потребление тока, мА	 18
Потребляемая электрическая мощность, Вт	. 1,8

В проигрывателях фирмы «Гарард» часто применяется особый синхронный двигатель, в котором на одном валу друг над другом расположены асинхронный и синхронный двигатели. Асинхронный двигатель имеет большие размеры, достаточный пусковой момент и обеспечивает работу автоматического устройства для смены пластинок. Синхронный двигатель небольших размеров поддерживает при проигрывании постоянную частоту вращения, не зависящую от колебаний напряжения сети и нагрузки.

Следующую большую группу составляют двигатели постоянного тока. Якорь традиционного двигателя постоянного тока представляет собой постоянный магнит, а ток в обмотку статора подается через щетки. Последние каждые пол-оборота изменяют направление тока, протекающего через обмотку, поэтому двигатели такого типа называют еще и коллекторными двигателями постоянного тока. Возникающее при коммутации искрение может быть снижено подключением к щеткам сопротивлений, зависящих от напряжения. Таким образом можно значительно увеличить срок службы щеток. Момент этих двигателей возрастает пропорционально потребляемому току, но число оборотов в большой степени зависит от напряжения. Поэтому для эффективного применения в проигрывателях двигатель, как правило, дополняется электронным блоком, который независимо от питающего напряжения и температуры окружающей среды подает на него постоянное напряжение.

Параметры двигателя постоянного тока, примененного в проигрывателе «Филипс 9904 120 0152» со схемой регулирования напряжения типа 9904 132 01 006, следующие:

Пусковой момент, Н·м	 $50 \cdot 10^{-4}$
Рабочий момент, Н·м	 $10 \cdot 10^{-4}$
Номинальное напряжение, В	 4,5
Частота вращения при номинальной нагрузке, мин ⁻¹	2000
Частота вращения на холостом ходу, мин ⁻¹	. 2650
Потребление тока при номинальной нагрузке, А	. 0,11

В новейших устройствах используют бесконтактные двигатели постоянного тока с электронными коммутаторами. В таких двигателях, как правило, применяют блок регулирования числа оборотов.

Электронные регуляторы числа оборотов. Описываемые здесь электронные приводы по способу регулирования можно разделить на три группы. Простые регуляторы с достаточной точностью управляют частотой вращения двигателя, но на их работу не влияет частота вращения ни двигателя, ни диска. Эти регуляторы выгодно применять в двигателях, в которых частота вращения не зависит от нагрузки, например в синхронных (L85 фирмы «Ленко», TD125 фирмы «Торенс»). В других регуляторах (для чувствительных к нагрузке двигателей) сигнал обратной связи, пропорциональный действительной частоте вращения вала двигателя, подается на регули-

рующий блок, который определяет частоту вращения («Браун PS600», «Филипс 212» и так далее). В третьей, наиболее эффективной группе регуляторов сигнал ошибки пропорционален частоте вращения не вала двигателя, а диска проигрывателя. В особых случаях два последних варианта могут совпадать, например при прямом приводе частота вращения двигателя и диска проигрывателя одинаковы.

Упомянутый в первой группе проигрыватель типа TD125 фирмы «Торенс» выпускается с 1968 г. Это один из самых старых проигрывателей с электронным приводом. Необходимую для вращения диска энергию обеспечивает многополюсный двойной синхронный двигатель. На его валу имеется переключатель момента, внешнюю сторону которого охватывает плоский ремень длиной 540 мм. Этот переключатель, с одной стороны, снижает время разгона диска до номинальной частоты вращения, с другой стороны, при остановке диска рукой во время вращения двигателя препятствует деформации ремня. Различий в механике проигрывателей типов «TD125» и «TD125 Mk11» нет. Двигатель первой модели питается от транзисторного генератора, а второй — от генератора на интегральных микросхемах (рис. 5.9).

Генератор на мостике Вина, обладающий большой стабильностью по амплитуде и частоте и чувствительный к колебаниям температуры, вырабатывает неискаженные синусоидальный и косинусоидальный сигналы частотой 50 Гц, при которых частота вращения вала синхронного двигателя равна 375 мин^{-1} . С помощью ременной передачи частота вращения диска становится равной 45 мин^{-1} . Частота вращения изменяется электронным способом без перебрасывания ремня на разные диаметры шкива, а частота напряжения, питающего двигатель, снижается при этом до 37 или 18,5 Гц. Частоту вращения можно изменить примерно на $\pm 3 \%$

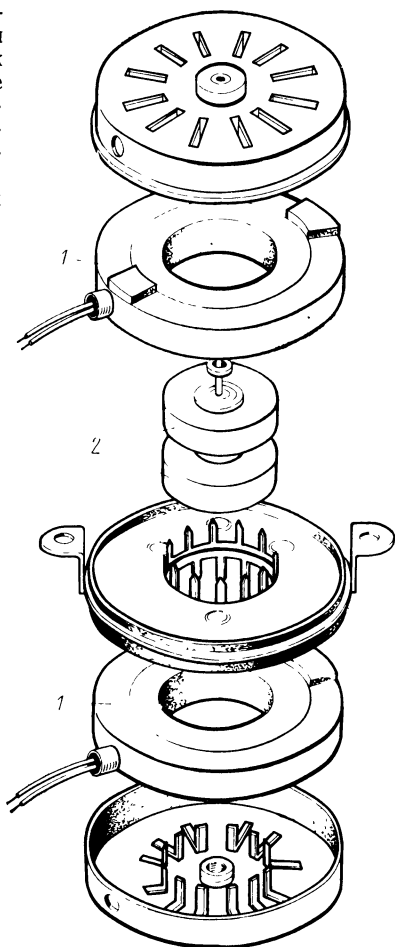


Рис. 5.8. Конструкция двойного синхронного двигателя «Валво AU5050»:

1 — обмотка; 2 — двойной якорь

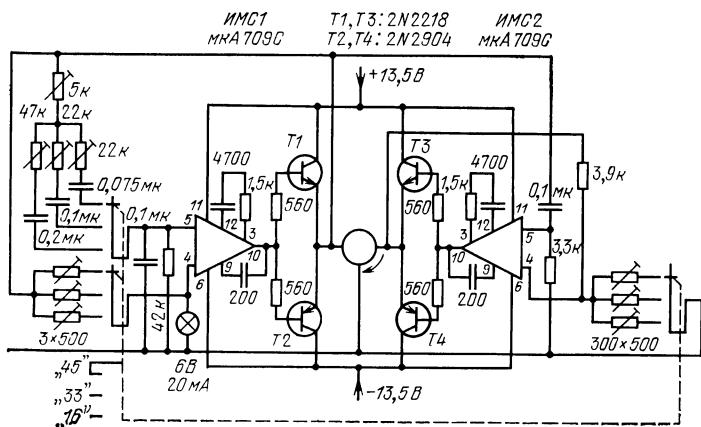


Рис. 5.9. Схема генератора синусоидальных и косинусоидальных колебаний на мостике Вина для привода с двойным синхронным двигателем («Торенс TD125 MkII»)

с помощью потенциометра 5 кОм, ручка которого расположена среди органов управления проигрывателя.

Собственно генератор состоит из одной интегральной микросхемы (ИМС1), на неинвертирующий вход которой (вывод 5) подается положительная обратная связь через параллельно-последовательную RC-цепочку, задающую частоту. Дополнительный эмиттерный повторитель без усиления по напряжению обеспечивает согласование между интегральной микросхемой и двигателем. Амплитуда выходного сигнала устанавливается потенциометром, регулирующим лампу накаливания, подключенную к инвертирующему входу интегральной микросхемы (вывод 4). При начальной установке на дви-

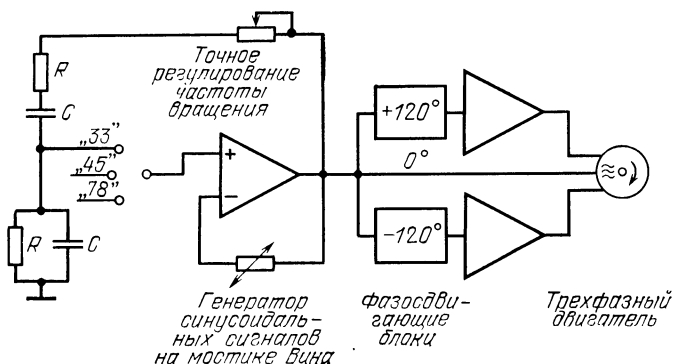


Рис. 5.10. Структурная схема электронного устройства для вращения диска с трехфазным двигателем (ЕМТ 928)

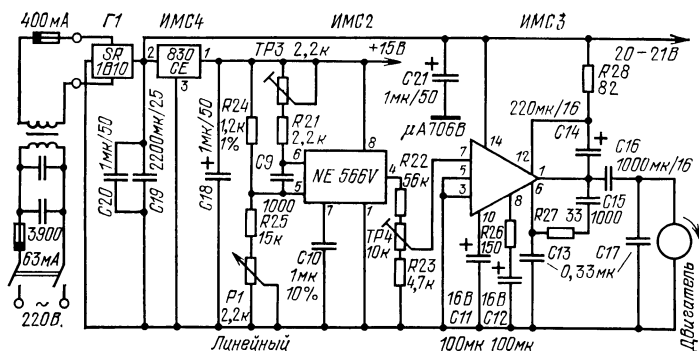


Рис. 5.11. Схема электронного устройства для вращения диска с генератором треугольных сигналов («Ленко L851С»)

гатель подается напряжение 9 В. У двоянных синхронных двигателей колебания вала, обусловленные возбуждением, не наблюдаются, если на две отдельные обмотки напряжение подается со сдвигом по фазе на 90° . С этой целью на вход интегральной микросхемы ИМС2 через RC-цепочку с постоянной времени 0,33 мкс подаются сигналы трех частот генератора всегда с приблизительно одинаковым сдвигом по фазе в 90° . Усиленный сигнал может быть установлен так же, как и в прямой ветви (при помощи отрицательной обратной связи). Обе интегральные микросхемы представляют собой операционные усилители типа $\mu A709C$.

Электронный генератор с относящимися к нему выпрямителями и емкостным фильтром располагается на одной печатной плате. Очевидно, что работающие на выпрямленном напряжении, полученном с сетевого блока питания, электронные генераторы могут одинаково использоваться как при частоте сети 50 Гц, так и при частоте 60 Гц. Кроме того, возможна работа и от аккумулятора. Соответственно применив в приведенной выше схеме сдвиги по фазе $+120^\circ$: -120° , можно изготовить электронный трехфазный генератор, имеющий в каждый момент времени одинаковую мощность, приводящую во вращение вал двигателя. Такое электронное устройство, обладающее большой надежностью, разработано для двойной ременной передачи студийного проигрывателя типа ЕМТ928. Структурная схема трехфазного электронного генератора представлена на рис. 5.10.

В венгерских специализированных магазинах первым представителем проигрывателей с электронным приводом был L851C фирмы «Ленко».

Построенный на двух интегральных микросхемах генератор питает шестнадцатиполосный синхронный двигатель, установленный на упругой подвеске внутри закрытого корпуса. Интегральная микросхема (NE566V фирмы «Сигнетикс» или 1M566CN фирмы «Нейшнл Семикондактз») вырабатывает треугольные или прямоугольные сигналы. Используется только вывод 4, с которого снимается треугольный сигнал (рис. 5.11). Частоту определяют конденсатор C10, резисторы R21, R24, R25, установочный потенциометр TP3 и потенциометр регулировки числа оборотов P1, вынесенный



Рис. 5.12. Внешний вид проигрывателя «Филипс 212»

на панель органов управления. Повернув этот потенциометр от положения максимума в обратном направлении на 180° , потенциометром *ТРЗ* можно грубо установить частоту 50 Гц. После этого потенциометром точной настройки частота может изменяться между 48,5 и 53,5 Гц, что означает -3 и $+7\%$. Очень важна симметрия треугольного сигнала, поэтому выбранная после тщательного отбора интегральная микросхема генерирует импульсный сигнал с симметрией не ниже $2,5\%$. При идеальной форме сигнала можно добиться минимальных колебаний вала, сравнимых только с колебаниями вала двойного симметричного синхронного двигателя.

Так как схема генератора имеет небольшую выходную мощность (для возбуждения двигателя она недостаточна), выходной сигнал усиливается по мощности интегральной микросхемой *ИМСЗ* ($\mu A706$ ВРС, ТВА641В11). Установочный потенциометр между двумя интегральными микросхемами позволяет установить пиковое напряжение на зажимах двигателя, равное 14 В, предписанное инструкцией.

Типичным проигрывателем с электронным приводом, относящимся ко второй группе, является проигрыватель «Филипс 212» (см. рис. 5.12). Простая, в принципе, электронная схема стабилизации обеспечивает постоянную частоту вращения диска, точную подстройку этой частоты и ее изменение при наличии сигнала, зависящего от фактической частоты вращения, а не от зависимости напряже-

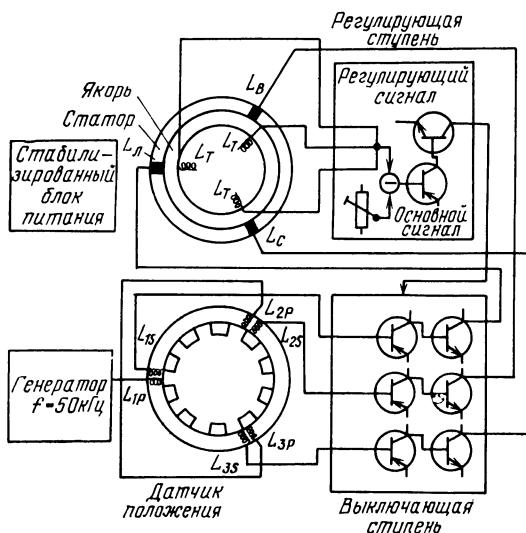


Рис. 5.13. Принципиальная схема прямого привода, работающего с высокочастотным генератором SP-10

ние — частота вращения двигателя постоянного тока и от ее разброса. Этот сигнал образуется тахогенератором, укрепленным на валу двигателя постоянного тока с позолоченным коллектором.

Тахогенератор вырабатывает сигнал, пропорциональный частоте вращения двигателя, который после выпрямления и сглаживания сравнивается с напряжением опорного сигнала, определяющего номинальную частоту вращения (см. рис. 4.27, база транзистора *T438*). Затем сигнал сравнения подается на трехкаскадный транзисторный усилитель с гальваническими связями, регулирующий напряжение на двигателе. Например, при номинальной частоте вращения $33\frac{1}{3}$ мин⁻¹ это напряжение равно —2 В. При этом частота вращения двигателя составляет примерно 1000 мин⁻¹; при частоте 45 мин⁻¹ частота вращения двигателя равна 1360 мин⁻¹. Большой пусковой момент двигателя постоянного тока делает возможным быстрое раскручивание относительно легкого диска. Если во время работы частота вращения диска снизилась, например, из-за применения устройства для очистки пластинки, то тахогенератор выдает сигнал с меньшим напряжением. При этом потенциал на базе транзистора *T438*, а также ток его коллектора уменьшаются. Вследствие этого потенциал на базе транзистора *T439* увеличится, ток эмиттера, являющийся и током базы выходного транзистора *T440*, возрастает и таким образом двигатель из-за увеличения тока через оконечный транзистор вновь вращает диск с частотой, не выходящей из рамок заданного допуска 0,2%. Естественно, такое регулирование компенсирует также и кратковременные изменения числа оборотов диска, поэтому они не влияют на восприятие звука.

Опорное напряжение в зависимости от выбранной частоты вращения диска определяется током, протекающим через транзистор

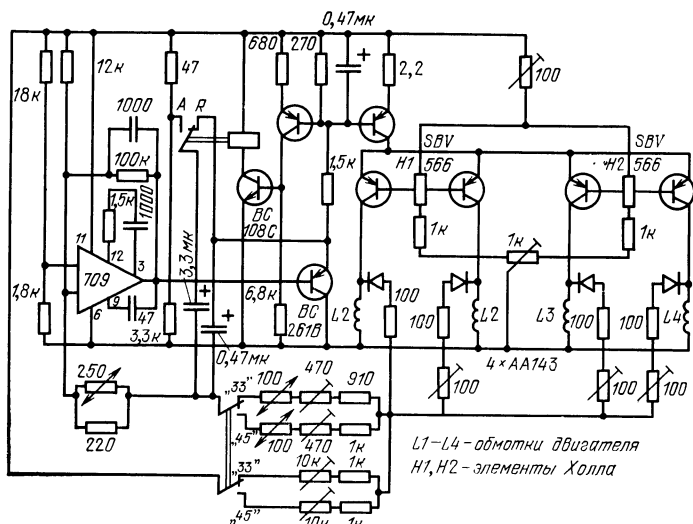


Рис. 5.14. Принципиальная схема прямого привода, изготовленного с датчиком на элементах Холла («Дюал 701»)

T436 или транзистор T437. Германиевые диоды предназначены для температурной компенсации.

К этой группе относится и фрикционный привод проигрывателя PS600 фирмы «Браун», но его двигатель постоянного тока имеет электронный коммутатор.

Из регуляторов, принадлежащих к третьей группе, рассмотрим три устройства с прямым приводом. Во всех трех случаях вращение двигателя обеспечивает электронная коммутация (высокочастотный вариант или генератор на датчике Холла), а регулирующая цепь, использующая сигнал, пропорциональный частоте вращения двигателя, поддерживает постоянство частоты вращения.

Японская фирма «Мацушита» одна из первых изготовила двигатель с очень низким числом оборотов для использования в проигрывателях (1970 г.). Двигатель типа SP-10 состоит из трех серийных обмоток L_A, L_B, L_C (рис. 5.13) и двадцатиполусного якоря. На якоре укреплен десятиполосный диск, зубья которого подключают сигнал высокочастотного генератора, работающего примерно на частоте 50 кГц, к обмоткам импульсного датчика положений. В соответствии с датчиком высокочастотный сигнал, после выпрямления диодом D , открывает транзистор переключающего блока, ток которого, протекая через обмотку L_T , притягивает магнитное кольцо якоря и вращает двигатель дальше. Высокочастотный импульсный датчик положения осуществляет только коммутацию двигателя, поэтому частота вращения включенного двигателя возрастает быстро. Двигатель и диск набирают частоту вращения $33\frac{1}{33}$ мин⁻¹ примерно за 1 с. В этот момент в катушках датчика частоты вращения статора десятиполосная магнитная цепь якоря индуцирует сигнал частотой примерно 5 Гц, значение которого пропорционально частоте

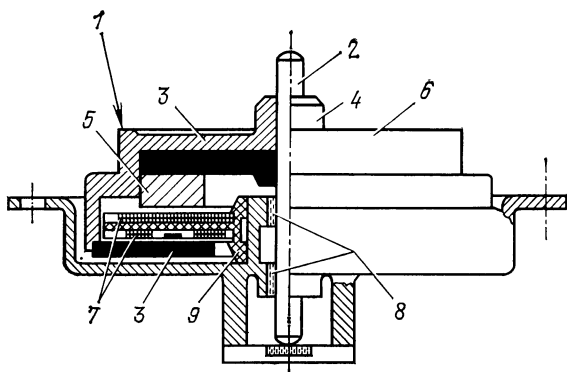


Рис. 5.15. Разрез двигателя для прямого привода «Дюал 701»):
 1 — посадочная поверхность диска; 2 — шпиндель для центрирования пластинки; 3 — металлическая пластинка; 4 — вал, центрирующий диск; 5 — кольцевой магнит; 6 — якорь; 7 — обмотки; 8 — подшипник скольжения; 9 — каркас обмотки

те вращения. Вычитая после выпрямления этот сигнал из напряжения опорного сигнала, получают сигнал ошибки, пропорциональный отклонению частоты вращения от номинального значения. Этот сигнал после усиления ограничивает ток транзисторов переключающей схемы, т. е. регулирует частоту вращения. Двигатель работает при напряжении питания 15 В, потребление тока 50 мА.

Изменение частоты вращения может быть осуществлено также и путем регулирования напряжения опорного сигнала или его переключением. В этих устройствах колебания частоты вращения, согласно данным завода-изготовителя, не превышает 0,04%.

Электрическая схема двигателя типа EDS1000 проигрывателя с прямым приводом «Дюал 701» представлена на рис. 5.14, а разрез двигателя — на рис. 5.15. Двигатель работает на постоянном токе, напряжение питания 15 В, необходимую для вращения коммутацию осуществляют два датчика на элементах Холла. Эти датчики в зависимости от положения якоря, открывают коммутирующие транзисторы, которые по очереди пропускают ток на четыре статорные обмотки двигателя. Сформировавшееся над системой обмоток вращающееся магнитное поле поворачивает имеющийся на якоре вольмпольный кольцевой магнит. Поле этого кольцевого магнита не только управляет датчиком положения на элементе Холла и обеспечивает магнитное силовое воздействие, необходимое для вращения двигателя, но и одновременно может использоваться для индикации частоты вращения. Ибо в тех обмотках, по которым в данный момент ток не протекает, индуцируется напряжение, пропорциональное числу вращения. Сравнивая его с отдельно полученным опорным напряжением, получается сигнал ошибки, который после усиления операционным усилителем, регулирует ток ключевых транзисторов. В результате регулирования кратковременные колебания частоты вращения двигателя не превышают 0,025%.

Первый студийный проигрыватель с прямым приводом был разработан фирмой «ЕМТ» в 1976 г. Структурная схема привода устройства типа ЕМТ950 представлена на рис. 5.16. Коммутацией

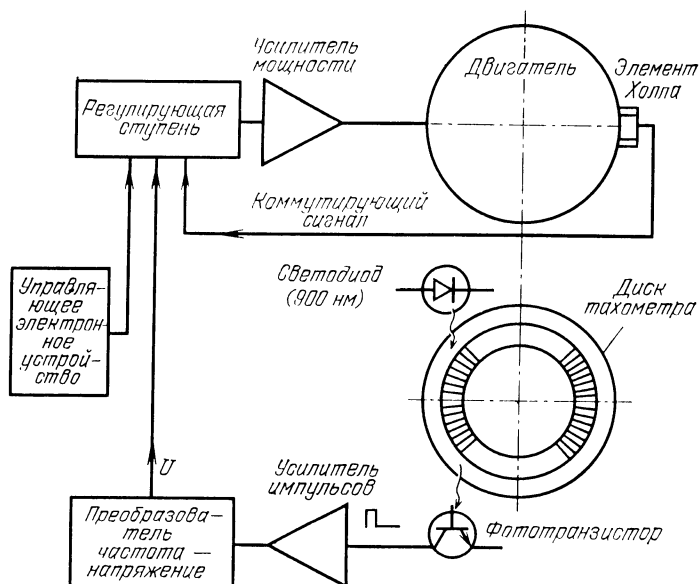


Рис. 5.16. Структурная схема прямого привода, работающего с оптическим измерителем частоты вращения диска (ЕМТ950)

управляют датчики на генераторах Холла, а последовательность импульсов с частотой, пропорциональной частоте вращения, выдают щели тахометрического диска, вращающегося между светодиодом, излучающим инфракрасный свет с длиной волны 900 нм, и фототранзистором. После преобразования частоты в напряжение из последовательности импульсов получается сигнал, необходимый для работы блока электронной регулировки. В этом проигрывателе инерция диска имитируется исключительно электронным устройством, так как сам он изготовлен из эпоксидной смолы, усиленной стеклянными нитями. Этот диск с чрезвычайно малой массой позволяет решить вопрос мгновенного запуска студийного проигрывателя без использования вспомогательного диска. Диск в проигрывателе может вращаться и в обратную сторону, т. е. против часовой стрелки.

5.4. ДИСК ПРОИГРЫВАТЕЛЯ

Момент инерции диска. При рассмотрении систем привода можно было обнаружить мнимое противоречие: с физической точки зрения от системы с быстроходными двигателями можно ожидать меньшую детонацию звука. Однако вибрации таких двигателей трудно изолировать, поэтому для уменьшения рокота более желательны тихоходные двигатели, а равномерное вращение диска должно обеспечиваться его большой инерцией. Однако увеличение массы

диска увеличивает нагрузку на подшипники и ускоряет их износ, поэтому рокот появляется со временем в процессе эксплуатации. Получается замкнутый круг. Наилучший результат может быть найден оптимальным подбором размера диска, его массы и качества используемых материалов.

Среди минимальных требований, предъявляемых к эксплуатируемому в домашних условиях проигрывателям, стандарт DIN45500 содержит условие, чтобы диаметр диска был не менее 250 мм. Пусть масса такого диска равна 1 кг. Предположим, что эта масса распределена только по периметру диска, т. е. сосредоточена на окружности радиусом 125 мм. В таком случае можно просто подсчитать момент инерции диска, который будет равен: $1 \text{ кг} \times (125 \text{ мм})^2 = 15\,625$, или округленно $15 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2$. Из этого следует, что точно такой же кинетической энергией обладает в 2 раза меньший диск с массой в 4 кг или диск с массой 0,7 кг, но диаметром 300 мм. Следовательно, в действительности важна не масса диска, а его момент инерции. Наименьшее его значение уже упоминалось, а диски проигрывателей хорошего качества обладают, как правило, моментом инерции, равным $(50-60) \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2$.

Диск с большой кинетической энергией может еще долго вращаться после отключения движущего механизма. Снять пластинку с вращающегося диска без опасности повредить ее очень трудно. Поэтому диски с большой кинетической энергией после отключения останавливают с помощью встроенного тормоза.

В студийных проигрывателях используются двойные диски (изобретение Вильгельма Франца). В этой конструкции постоянно вращается диск, обладающий большой массой. На него через фетровую прокладку укладывается легкий диск с расположенной сверху пластинкой. Диск начинает мгновенно вращаться при отпускании электромагнитного тормоза, и сигнал, несущий звуковую информацию, поступает на выходную линию с задержкой в 0,1 с. За это время пластинка набирает номинальную частоту вращения, поэтому поступающий в линию сигнал не будет иметь искажений типа запыла звука. Такие проигрыватели делают возможным начать воспроизведение с любого места зоны записи пластинки, что является большим преимуществом при использовании проигрывателя в радиовещании, кино и телевидении (например, при монтаже программы).

Конструкции диска и подшипников. Диски некоторых проигрывателей изготавливают из синтетических материалов. Из этих материалов на установке для литья под давлением можно выпускать большими сериями дешевые диски для проигрывателей, к которым не предъявляются слишком высокие требования по качеству. Для проигрывателей среднего класса диски обрабатываются более тщательно. Из стальной пластины способом глубокой вытяжки или при помощи клепки отдельных частей формируется диск требуемой формы. Такие диски позволяют получить достаточно равномерное вращение, без заметных колебаний. Магнитные звукосниматели с сильными магнитами притягиваются к диску из стальных пластин. Это притяжение влияет на способность следования звукоснимателя и размер искажений. Если диаметр стального диска меньше диаметра пластинки, то эти изменения происходят во время проигрывания.

Дорогостоящие студийные проигрыватели венгерского производства имеют диски с массой 1—4 кг, изготовленные из металлов, не обладающих магнитными свойствами, например из сплавов алюминия или цинка. Большая плотность цинка ($7,14 \text{ г/см}^3$) благоприятна

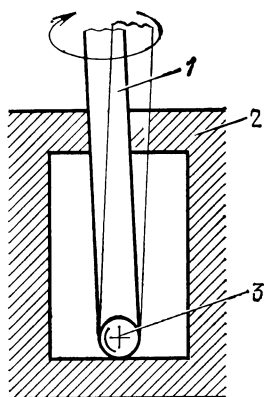


Рис. 5.17. Паразитное движение вала диска проигрывателя в подшипнике:

1 — вал; 2 — подшипник; 3 — шарик

для увеличения массы или инерции диска. Следующим достоинством является относительно простой процесс машинного прессования, при помощи которого из находящегося в расплавленном состоянии металла изготавливают диски для проигрывателей. Край отливки обтачивается, покрывается прозрачным лаком, который после обжига придает диску привлекательный вид и защищает против коррозии. Диск тщательно балансируется на станке для динамической балансировки путем высверливания отверстий глубиной 2—3 мм и диаметром 10 мм.

На диск обычно укладывается резиновая накладка, которую легко можно очистить. Упругость резины накладки способствует дополнительному затуханию механических колебаний. Для дальнейшего снижения передачи механических вибраций поверхность накладки обычно имеет такую форму, при которой пластинки стандартного размера опираются на нее только своим краем. На ди-

сках некоторых проигрывателей фирмы «Банг энд Олуфсен» резиновая накладка отсутствует и пластинка покоится своим краем на нескольких резиновых кольцах.

Конечно, диск для проигрывателя можно изготовить не только в форме правильного круга. В некоторых изысканных проигрывателях, например «Сатурн и Референс» фирмы «Транскриптор», на плоском основании вращаются пять или шесть блоков из красной меди, создающие инерциальную массу. Еще дальше пошли в снижении отношения собственной массы к моменту инерции конструкторы фирмы «Сайентелек», которые обычный диск заменили тремя массивными кольцами, укрепленными на трех лапках.

Положение пластинки на диске определяется центрирующим шпинделем. Его стандартные размеры: $7,2_{-0,09}^{+0}$ мм¹. Так как рокот передается на пластинку через вращающийся вал диска, то при проектировании следует стремиться к тому, чтобы в проигрывателе было как можно меньше вращающихся деталей. Даже при прямом приводе нельзя отказаться от подшипников, которые вызывают шум из-за имеющегося в них трения. Шум от трения тем сильнее, чем больше неровностей на поверхности вала. В результате изменения трения при вращении вала диск проигрывателя на короткие промежутки времени тормозится или ускоряется, а в результате отступлений от кругового сечения валы совершают небольшие паразитные движения, вызывающие толчки. В подшипниках, смазываемых маслом, пленка масла из-за неравномерного движения местами застывает, затем все более затвердевает и в конце концов прорывается.

¹ В Советском Союзе согласно ГОСТ 18631-73 шпиндель имеет диаметр $7,24_{-0,055}^{-0,015}$ мм. — Прим. ред.

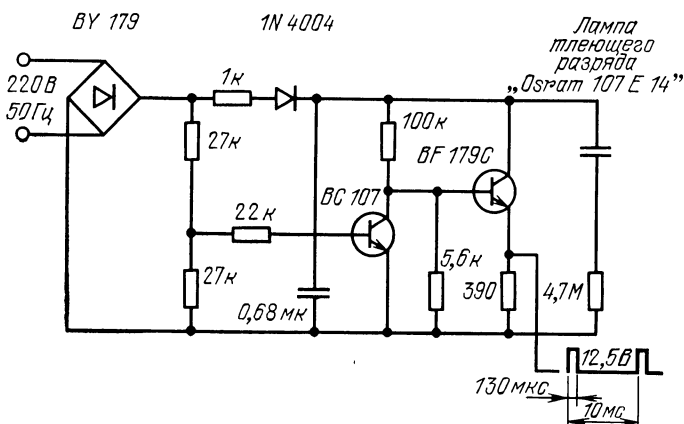


Рис. 5.18. Принципиальная схема стробоскопа с импульсным источником на лампе тлеющего разряда (EMT930)

Интересно отметить, что нижний опорный подшипник, обычно представляющий собой один шарик, не вызывает значительного рокота, если шарик чист и опорные поверхности обеспечивают валу определенное положение (рис. 5.17). Если на нижней части вала отсутствуют паразитные движения, то рокот можно несколько снизить, уменьшив трение в верхней части подшипника. Измерения, проведенные с помощью прибора для определения неровностей, показали, что на специально обработанных валах шероховатость равна 0,1 мкм. В настоящее время это граница для механических методов обработки.

В качестве материала для подшипников хорошо зарекомендовали себя сталь и бронза. В проигрывателях высшего класса в последнее время стали применять подшипники из нейлона и тефлона. Тефлон обладает наименьшим, из всех известных материалов, коэффициентом трения.

В проигрывателях с автоматической сменой пластинок опорный подшипник с одним шариком не может быть использован, так как в отверстие, проходящее внутри шпинделя, вставляется вал механизма для смены пластинок. В них опорные подшипники покоятся на трех или более шариках. Как следствие этого возрастает рокот. Следует учитывать также, что шпиндель автоматических проигрывателей неподвижен и при вращении поверхность центрального отверстия пластинки трется о шпиндель. Этот дефект в устройствах высокого класса с автоматической сменой пластинок снижается применением так называемого совмещенного вала.

Стробоскоп. Наиболее просто частоту вращения пластинки можно определить, поместив на край диска небольшой кусочек бумаги и подсчитав число оборотов за минуту. Проигрывателям, оборудованным регулятором частоты вращения, как правило, придается стробоскопический диск, при помощи которого в любой момент времени можно с достаточной точностью определить частоту вращения диска. Этот бумажный или металлический диск следует поместить

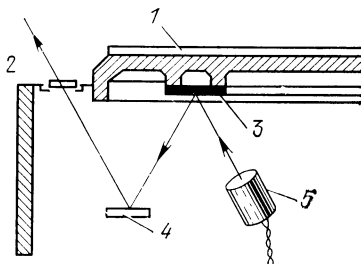


Рис. 5.19. Стробоскоп, расположенный под диском проигрывателя «Гарард Зиро 100»):

1 — диск проигрывателя; 2 — окошко для наблюдений; 3 — диск стробоскопа; 4 — зеркало; 5 — лампа тлеющего разряда

на пластинку, а частоту вращения регулировать тогда, когда звуко-сниматель установлен на внешнюю канавку пластинки. По этой причине стробоскопические метки, нанесенные на верхней стороне диска, только делают более привлекательным внешний вид проигрывателя. Более правильно наносить стробоскопические метки на внешний край диска или, используя для наблюдения зеркальное устройство, помещать их на нижнюю поверхность диска.

На стробоскопическом диске имеются черно-белые метки, число которых выбрано таким образом, что при освещении лампой, дающей световые импульсы частоты 100 Гц, они кажутся неподвижными.

При номинальной частоте вращения. Если частота вращения отличается от номинальной, стробоскопические метки перемещаются. При быстро вращающемся диске направление перемещения метки совпадает с направлением вращения диска. При медленном вращении метки смещаются в противоположном направлении.

Число стробоскопических меток можно подсчитать по формуле

$$Z = \frac{2f_{\text{сети}} \cdot 60}{n_{\text{диска}}},$$

где $f_{\text{сети}}$ — частота сети, Гц; $n_{\text{диска}}$ — частота вращения диска, мин⁻¹. Из этой формулы следует, что при частоте вращения 33 $\frac{1}{3}$ мин⁻¹ диск должен иметь 180 меток, а при частоте вращения 45 мин⁻¹ — 133 метки, и т. д.

Приведенная выше зависимость предполагает, что диск за 10 мс смещается на ширину одной метки стробоскопа, т. е. каждую секунду поворачивается на сто меток. Следовательно, если метки за секунду перемещаются на одно деление, частота вращения отклонилась от номинального значения на 1%.

Для освещения меток стробоскопа может быть использован только безынерционный источник света. Хорошо оправдали себя лампы тлеющего разряда и миниатюрные неоновые трубки (рис. 5.18 и 5.19).

При использовании стробоскопа, освещаемого источником света, питающегося от сети, точность установки одинакова с точностью, с которой поддерживается частота сети. В Западной Европе и Венгрии отклонение частоты сети от номинального значения не должно превышать $\pm 0,2\%$. Следует отметить, что в проигрывателях с электронным приводом видимые колебания меток стробоскопа, из-за добротности привода, показывают кратковременные изменения частоты сети.

5.5. ПАНЕЛЬ, КОРПУС И ПЫЛЕЗАЩИТНАЯ КРЫШКА

До сих пор рассматривались части движущего механизма: двигатель, система передачи, диск и подшипники. Чтобы проигрыватель

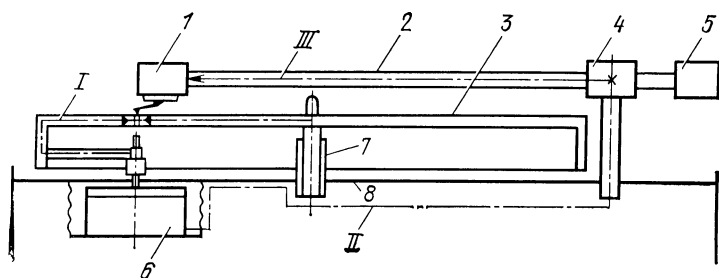


Рис. 5.20. Три пути распространения вибраций от движущего механизма:

1 — голловка звуконосителя; 2 — тонарм; 3 — диск; 4 — подшипник; 5 — противовес; 6 — двигатель; 7 — подшипник; 8 — панель

мог работать, все эти узлы соединяются при помощи панели и корпуса.

На рис. 5.20 показаны три пути, по которым рокот достигает иглы звуконосителя. По первому пути вибрации двигателя передаются диску через промежуточный ролик или пассик, по второму — через подвеску двигателя, панель и опорный подшипник и, наконец, по третьему — через подвеску двигателя, панель, тонарм и голловку звуконосителя. Во всех трех случаях важно, чтобы между двигателем и подшипником диска имелись упругие звенья. Наиболее часто это достигается подвеской двигателя на амортизаторах из мягкой резины или пружинных амортизаторах. Существуют конструкции, в которых двигатель жестко крепят к корпусу, а диск и тонарм располагают на промежуточном шасси с гибкой подвеской. Последнее решение имеет много преимуществ, ибо в этом случае при движении органов управления проигрывателя, например при срабатывании микролифта, на звуконоситель передаются ослабленные толчки.

При упругом закреплении панели следует заботиться о том, чтобы ее масса и упругость подвески не образовали систему, частота собственных колебаний которой попадает в упоминавшийся ранее диапазон. У проигрывателя TD125 фирмы «Горенс» частота собственных вертикальных колебаний равна 4 Гц, а горизонтальных 2,4 Гц. Поэтому внутри пружины подвески целесообразно поместить какой-либо гасящий колебания материал, например губку. При упругой подвеске крепление следует располагать над центром тяжести панели.

Панель с большой массой особенно нечувствительна к акустической обратной связи. Тяжелая панель может быть изготовлена из многих материалов, например бронзы, мрамора или бетона. В домашних условиях наиболее просто набить песком деревянный ящик с двойными стенками, имеющий соответствующие размеры. Достоинством такой конструкции является то, что из-за зернистой структуры песка попадающие извне колебания передаются очень слабо.

Основные органы управления проигрывателя (тумблер включения — выключения, переключатель частоты вращения и микролифт) следует, по возможности, изолировать от системы диск — тонарм с

помощью упругих элементов. Для этой цели обычно применяют гибкие муфты и гибкие провода.

Собственно корпус представляет собой деревянный ящик, в котором укрепляют панель проигрывателя. В некоторых оригинальных конструкциях (консоль «Дюал СК20») лицевая панель корпуса откидывается вниз и в открывающемся пространстве можно содержать различные детали, как например, центрирующую шайбу, сменный вал, запасную головку звукоснимателя, кисточку для очистки иглы и т. д. В корпусе заводских проигрывателей часто предусматривается пространство, в котором можно расположить предварительный усилитель магнитного звукоснимателя.

Во всем мире большое внимание уделяется защите проигрывателей от пыли. Все новейшие проигрыватели покрываются прозрачной или слабоокрашенной крышкой из плексиглаза. Большие крышки относительно дороги, поэтому на более дешевых проигрывателях устанавливаются небольшого размера плексиглазовые крышки, которые нельзя закрыть при проигрывании пластинки. Крышку из плексиглаза не рекомендуется протирать сухой тряпкой, так как при этом она получает статический заряд, к ней прилипает пыль и при последующих протирках мягкий синтетический материал может поцарапать крышку.

Существуют пылезащитные крышки специального исполнения, открывающиеся не более чем на 30° и фиксирующиеся в этом положении каким-либо упругим механизмом или механизмом, работающим на трении. Такие крышки ускоряют смену пластинок и делают ее более безопасной. В современных квартирах удобно, если провода и конструкция крышки из плексиглаза позволяют расположить проигрыватель вплотную к стене.

Если пылезащитная крышка приподнимается, вращаясь вокруг шарнира, при ее открывании и закрывании в проигрыватель всегда всасывается порция воздуха, пыль из которого затем оседает на пластинку. Поэтому в последнее время отдельные пылезащитные крышки уже имеют конструкцию, при которой передняя панель может открываться отдельно («Дюал СН21»). Новейшими решениями являются конструкции с раздвижными дверцами или дверцами типа жалюзи.

6. ПРОИГРЫВАНИЕ ПЛАСТИНОК

Комплект оборудования для домашней студии нигде строго не определен. Во всяком случае она должна содержать источник звука, усилители и один или несколько акустических агрегатов. Источником звука может быть проигрыватель, радиоприемник или магнитофон. Многие любители ограничиваются только проигрывателем и радиоприемником, но в действительности полный комплект предполагает наличие магнитофона.

Для домашнего звуковоспроизводящего устройства лучше всего приобрести проигрыватель высокого качества. Со временем усилитель и акустические излучатели можно заменить устройствами лучшего качества. Но не так просто совместить совершенный проигрыватель с коллекцией пластинок, уже испорченных проигрывателем

низкого качества. Следовательно, первым шагом должен быть выбор проигрывателя.

6.1. ВЫБОР ПРОИГРЫВАТЕЛЯ

При выборе проигрывателя можно использовать различные принципы. На первое место, как правило, ставятся качественные параметры. После них следуют показатели, связанные с удобством обслуживания.

В отношении качественных параметров в Венгрии действует стандарт MSZ11134-71¹. Поступающие в продажу установки, согласно этому стандарту, включаются в одну из трех категорий, лучшая из которых имеет обозначение 1. Так как эта классификация покупателям, как правило, неизвестна, в табл. 6.1 для информации приводятся основные параметры. Интересно сравнить их с соответствующими параметрами известного стандарта DIN45500, принимаемого в качестве международного для систем высшего класса качества. Предписания этих стандартов могут помочь при оценке качества многочисленных типов проигрывающих устройств.

Об удобстве обслуживания уже говорилось при рассмотрении тонармов движущего механизма. В США для обычных пластинок давно выпускаются автоматические проигрыватели, первая модель которых имела массу 40 кг. В этом отношении в настоящее время проигрыватели можно разбить на три группы. К первой относятся проигрыватели с ручным управлением. У них тонармы устанавливаются над вводной или переходной канавкой вручную, опускание головки на пластинку может быть осуществлено микролифтом, но звукосниматель, дойдя до последней замкнутой канавки, будет проигрывать ее до тех пор, пока его не поднимут вручную (в немодулированной канавке игла изнашивается мало).

Ко второй группе относятся полуавтоматические устройства, в которых тонарм автоматически устанавливается на вводные канавки пластинок данного диаметра, а после проигрывания поднимается вверх и возвращается в исходное положение. К таким устройствам предъявляются все более жесткие требования, так как для их обслуживания не нужны специальные навыки.

К третьей группе относятся полностью автоматические проигрыватели, которые помимо вышеуказанных операций осуществляют также смену пластинок. Обычно они позволяют непрерывно проигрывать шесть—восемь пластинок с одинаковыми, а иногда и разными диаметрами. В таких проигрывателях-автоматах применяется, как правило, сложная механическая передача, а в последних моделях можно встретить и электронные блоки управления. Необходимо, однако, отметить, что ценную пластинку хорошего качества нельзя проигрывать на устройствах для автоматической смены пластинок. При срабатывании механизма этого устройства хранящиеся на упорах шпинделя пластинки сбрасываются на вращающийся диск или лежащую на нем пластинку и прилипшие частички

¹ В Советском Союзе электропроигрывающие устройства (ЭПУ) выпускаются по ГОСТ 18631-73, в котором все ЭПУ по качественным показателям разделены на четыре класса. Нормы на ЭПУ высшего класса по некоторым параметрам лучше норм, предусмотренных стандартом MSZ11134-71. — *Прим. ред.*

Таблица 6.1

**Параметры стереофонических проигрывателей
по стандартам DIN45000 и MSZ11134-71**

Название параметров, единицы измерений	DIN 45000	MSZ 11 134-71		
		I	II	III
Максимальное отклонение от номинальной частоты вращения, %	+1,5; -1	±1,2	±2,2	±2,2
Коэффициент детонации, %, не более	±0,15	±0,15	±0,2	±0,3
Несбалансированное отношение сигнал/ропот, дБ, не менее	35	39	34	31
Взвешенное отношение сигнал/ропот, дБ, не менее	55	—	—	—
Рабочий диапазон частот, Гц	40—12 500	31,5—16,000	50—12 500	50—10 000
Допустимые отклонения, дБ	±3	±5	±5	±5
Разбаланс каналов, дБ, не более	2	2	3	4
Разделение, дБ, не менее	—	20	15	12
Максимальные нелинейные искажения, %	1	2	5	10
Прижимная сила, мН, не более	50	30	50	70
Гибкость, м/Н, не менее	$4 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
Радиус закругления иглы, мкм	15±3	15±2,5	15±2,5	15±2,5
Эффективная масса, приведенная к игле, мг, не более	2	—	—	—
Выходное напряжение, измеренное при колебательной скорости 10 см/с, мВ	8—20	—	—	—

пыли неминуемо втираются в канавки. Невозможность применения очистителя в проигрывателях с автоматической сменой пластинок (его можно укрепить только на головке звукоснимателя) неизбежно приводит к постепенному увеличению уровня шума.

Следует также отметить, что внешний вид проигрывателя должен, по возможности, гармонизировать с другим электроакустическим оборудованием. Эта проблема не возникает, если проигрыватель с усилителем и, может быть, с акустическими системами составляет единый блок или эти устройства изготовлены на одном заводе. В Венгрии из трех крупнейших предприятий, выпускающих электроакустическое оборудование в настоящее время только на одном изготавливаются проигрыватели и их форма не согласуется даже с формой усилителей, выпускаемых на этом же заводе.

Помимо подбора по внешнему виду устройств отечественного и зарубежного производства, трудности могут возникнуть и при соединении проводами с разъемами, изготовленными по различным

Проигрыватели с пьезоэлектрическими звукоснимателями

Фирма-изготовитель	Тип	Тип головки звукоснимателя	Частотная характеристика, Гц (± 6 дБ)	Прижимная сила, мН	Частота вращения, мин ⁻¹	Отклонение частоты вращения, %	Коэффициент детонации, %	Отношение сигнал/решетка, дБ, без взвешивания	Примечание
«Супрафон»	GC070	VK4302 VK4302	20—20·10 ³	50 45—60	33; 45 16; 33; 45 16; 33; 45	1,5 1,6—3,4 2	0,26 0,11 0,28	27 33 30	
	HC12								
	HC13								
«RFT»	HC140	■ «Perfekt 006» «Manacor»	35—13,5·10 ³ — 26—15·10 ³		16; 33; 45; 78 16; 33; 45	1,1—2 0,23—0,9	0,3—0,4 0,12—0,18	25 25—29	
	10 25S								
«Гарард»			25—16·10 ³		16; 33; 45; 78	0,13—1,2	0,15	24—36	Смена пластинок
«Ленко»	L725	«Ронет» 107		35—50	33; 45; 78		0,2	36	Ременный привод
«Филипс»	GC004	GP300 GP300			16; 33; 45; 78				Смена пластинок
	GC035								
	GA205 GA247		20—15·10 ³	40	33; 45; 78	1,7—3	0,08— —0,09	35	Смена пластинок

Таблица 6.3

Прогриватели с головками звукоснимателя высшего класса

Фирма-изготовитель	Тип	Привод	Частота вращения, мин ⁻¹	Коэффициент детонации, %	Отношение сигнал/шум, дБ, без взвешивания	Примечание
«BEAG»	CBO-21	A	33; 45	0,1	38	Асинхронный двигатель с электронным регулированием
«Банг энд Олуфсен»	1000	A	33; 45; 78	0,15	35	
	1200	A	33; 45	0,15		
	1800	A	33; 45	0,15		
	1900		33; 45	0,07		
	4000	B	33; 45	0,05		
6000	B	33; 45	0,05	45		
«Браун»	PS430	BA	16; 33; 45; 78	0,12	42	Регулировка частоты вращения ±3%
	PS500	BA	16; 33; 45; 78	0,1	45	Регулировка частоты вращения ±2,5%
	PS600	A	33; 45; 78	0,07	45	Регулировка частоты вращения ±3,5%
	PS1000	B	16; 33; 45; 78	0,15	—	
«BSR»	C139	A	16; 33; 45; 78			
	MP60	A	16; 33; 45; 78			
	MP128	A	16; 33; 45; 78			
	P144	A	16; 33; 45; 78	0,2	35	
«Дюал»	1214	A	33; 45; 78	0,15	35	
	1216	A	33; 45; 78	0,12	38	
	1219	A	33; 45; 78	0,06	42	
	1225	A	33; 45	0,15	37	
	1226	A	33; 45	0,12	38	
	1228	A	33; 45	0,09	39	
	1229	A	33; 45; 78	0,06	42	
	601	B				
	701	D	33; 45	0,03	50	
	927	A	33; 45; 78	0,05	42	
«EMT»	928	B	33; 45; 78	0,08	50	Привод с двумя пассивками
	930	A	33; 45; 78	0,075	40	
	950	D	33; 45; 78			
«Гарард»	401	A	33; 45; 78	0,08		Без тонарма
	SP25	A	33; 45; 78	0,14		
	Мк III					
	Zero 100	A	33; 45	0,03		Квазитангенциальный тонарм

Фирма-изготовитель	Тип	Привод	Частота вращения, мин ⁻¹	Коэффициент детонации, %	Отношение сигнал/шум, дБ, без взвешивания	Примечание
«Харман-Кардон»		В	33; 45	0,09	58	С тангенциальным тонаром «Rabco ST7»
«Ленко»	B55	А	16—78	0,12	40	Бесступенчатый регулятор частоты вращения
	L65	В	33; 45	0,12	38	
	L75	А	16—78	0,06	43	
	L82	В	33; 45	0,08		
	L84	В	33; 45	0,08		
	L85	В	33; 45	0,08	45	Синхронный двигатель с электронным приводом
«Перпетуум-Эбнер»	L90	В	33; 45	0,08	45	
	2001	А	16; 33; 45; 78	0,2	37	
	2010	А	16; 33; 45; 78	0,17	37	
	2014	А	33; 45; 78	0,17	38	
	2016	А	33; 45; 78	0,15	38	
	2018	А	33; 45; 78	0,15	38	
	2020	А	33; 45; 78	0,1	43	
	3060	А	33; 45; 78	0,08	43	
«Филипс»	317	А	33; 45	0,2	35	
	308	В	33; 45	0,2	38	
	408	В	33; 45	0,2	38	
	427	В	33; 45	0,2		
	202	В	33; 45; 78	0,13	40	Двигатель постоянного тока с электронным приводом
	212	В	33; 45	0,1	42	С тремя двигателями
	209	В	33; 45	0,08	43	
«RFT»	Granat 216	В	33; 45	0,15	38	
	Opal 216	В	33	0,15	38	
«Телефункен»	W248	А	33; 45	0,15	37	
	W268	А	33; 45	0,12	40	
	S500	В	33; 45	0,08	45	Двигатель постоянного тока с электронным приводом
	S600	В	33; 45	0,08	45	
«Горенс»	TD124	АВ	16; 33; 45; 78	0,1		
	TD150	В	33; 45	0,09	43	Сдвоенный синхронный двигатель с электронным приводом
	TD125	В	16; 33; 45; 78	0,06	48	

Фирма-изготовитель	Тип	Привод	Частота вращения, мин ⁻¹	Коэффициент детонации, %	Отношение сигнала/шум, дБ, без взвешивания	Примечание
«Тесла»	TD145	В	33; 45	0,06	45	Электронный автостоп
	TD160	В	33; 45	0,06	43	
	TD 165	В	33; 45	0,06	43	
	NC410		33; 45	0,09—	40	
	NC440	В	33; 45	—0,1 0,11	40	

Примечания: 1. А — фрикционная передача; АВ — улучшенная фрикционная передача, В — ременная передача; ВА — не прямая ременная передача; Д — прямой привод.

2. У проигрывателей фирмы «Биг» отклонение частоты вращения составляет 0,8%, а у проигрывателей типа NC410 и NC440 (фирма «Тесла») 0,2—0,5 и 0,5% соответственно.

стандартам. Но эта проблема, при наличии некоторого навыка, решается довольно просто.

При проектировании домашней студии всегда следует помнить старую поговорку, согласно которой прочность всякой цепочки определяется прочностью ее самого слабого звена. Нет смысла к усилителю высшего класса подключать акустические системы среднего качества или в высококачественный проигрыватель ставить дешевую головку звукоснимателя. Следовательно, целесообразно придерживаться принципа равновесия качественных параметров.

В табл. 6.2 представлены основные показатели проигрывателей, поступивших в различные годы в торговую сеть Венгрии. Некоторые технические данные зарубежных головок звукоснимателей, получивших распространение в последнее время, представлены в табл. 6.3. Эти головки могут работать с различными усилителями. Об устройствах со встроенными усилителями и громкоговорителями в последнее время в специальных журналах появилось несколько подробных сообщений.

6.2. ПОКУПКА ПРОИГРЫВАТЕЛЯ И ВВОД ЕГО В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Читатель, по всей вероятности, ожидает советов о том, на что следует в первую очередь обратить внимание при покупке проигрывателя. Возможно, мы разочаруем его, посоветовав проверить только внешний вид устройства и убедиться, что на нем нет повреждений. Объяснить это можно очень просто. В большинстве венгерских специализированных магазинов сегодня еще нет условий для основательной проверки проигрывателя при его покупке. Какой смысл в проверке, при которой рядом с проигрывателем на полной громкости опробуются переносной радиоприемник или даже пылесос.

С другой стороны, может случиться, что признанный хорошим при опробовании образец непрофессионально упакован после осмотра, например не закреплены двигатель и тонарм или не снят диск

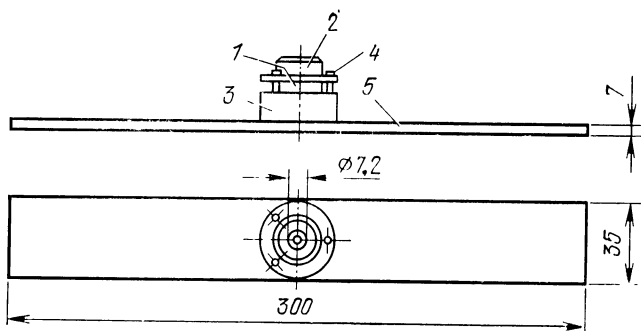


Рис. 6.1. Индикатор уровня для диска проигрывателя:
1 — резиновая прокладка; 2 — измеритель уровня; 3 — диск из оргстекла;
4 — юстировочный винт; 5 — основа из оргстекла

с подшипника. Качество устройства не улучшится от того, что при доставке домой игла звукозаписывающего устройства несколько раз стукнется о шасси проигрывателя или вал двигателя согнет какую-нибудь деталь. А все это уже происходило не один раз.

Поэтому лучше купить проигрыватель в неповрежденной заводской упаковке, а после доставки домой осторожно вскрыть ее и в спокойных условиях проверить основные параметры устройства. При наладке лучше всего воспользоваться советами, инструментом и приборами знакомого специалиста или владельца проигрывателя, обладающего опытом и специальными знаниями.

Сначала определяют постоянное место для проигрывателя. По возможности оно не должно находиться в углу комнаты, потому что при этом возникает наибольшая опасность акустического возбуждения. Проигрыватель помещается на полку на такой высоте, чтобы его не мог достать ребенок, но при этом было бы удобно обслуживать. Самое лучшее, когда плоскость пластинки располагается ниже уровня глаз на достаточном расстоянии (примерно 30 см). Следует проверить по описанию устройства, имеются ли винты, которые на время транспортировки закрепляют двигатель, диск или тонаrm. Перед вводом в эксплуатацию их следует отвернуть. Необходимо проверить, действует ли привод без диска и насколько тихо он работает. Проверяют, не препятствуют ли какие-либо детали свободному вращению диска и движению тонаrma, например, устройство автостопа. На тонаrm устанавливают противовес и головку звукозаписывающего устройства, приблизительно выставляют прижимную силу. На неподвижный диск помещают пластинку, опускают звукозаписывающее устройство и закрывают прозрачную пылезащитную крышку. В таком положении устройство выставляют горизонтально так, чтобы при медленном повороте диска на 60—90° индикатор уровня не показывал большого отклонения.

Индикатор уровня, изготовленный в домашних условиях, представлен на рис. 6.1. Установить проигрыватель горизонтально можно и при помощи плоской пластинки и небольшого шарика. В специализированных магазинах многих стран можно приобрести специально сконструированный для этой цели индикатор горизонтального уровня.

После выравнивания по горизонтали повторяют регулировку прижимной силы. На этот раз устанавливают точно предписанное значение, которое проверяют измерителем прижимной силы. Такие измерители бывают или пружинной системы («Коррекс», «Хаг Стрейот», Берн), или работают по принципу весов (SFG-2, фирмы «Шур», «Транскриптор»). К недостаткам пружинной системы относится измерение прижимной силы в нерабочем положении иглы а также снижение точности измерений при старении материала пружины. Измеритель силы производства «Шур» поится на подшипники на лезвиях, обладающем малым трением. Определение положения равновесия стрелки облегчается зеркальной подставкой. Весы имеют два диапазона измерений: 5—15 и 10—30 мН, точность ± 1 мН.

Измеритель прижимной силы фирмы «Транскриптор» представляет собой настоящие миниатюрные весы с жидкостным индикатором уровня и крохотными гирьками. В крошечную чашечку весов кладут гирьки, соответствующие прижимной силе, которую желают установить. Точной установкой противовеса, имеющегося на другом плече весов, уровень выравнивается. Затем, ставя на резиновое покрытие чашки иглу звукоснимателя, имеющимися на тонарме средствами регулировки прижимной силы вновь следует выставить уровень горизонтально. Согласно данным завода-изготовителя измеритель работает в интервале 0,5—50 мН, с точностью 0,2 мН.

После этого регулируется противоскатывающее устройство способом, данным в описании проигрывателя. Следует иметь в виду что при влажном проигрывании скатывающая сила уменьшается. Проверяется перпендикулярность иглы к пластинке при рассмотрении спереди, а если смотреть на головку сбоку, то иглодержатель должен образовывать с плоскостью пластинки угол около 15°.

После этого проигрыватель включают. По меткам стробоскопа проверяют соответствие частоты вращения установленному значению и влияние устройства протирки пластинки на затормаживание диска. Проигрыватель подключают к усилителю и при помощи установочной стереофонической пластинки проверяют правильность калалов и разделение между ними.

Детонацию проигрывателя проверяют по колебаниям высоты тона рояля. Для этой цели можно предложить, например, концерт для фортепьяно Ми-бемоль-мажор Бетховена, который можно найти на пластинках многих выпусков. Из них следует выбрать экземпляр с возможно меньшим эксцентриситетом центрального отверстия. Если при освобождении от упаковки на поверхности движущего механизма были оставлены отпечатки пальцев, их удаляют ваткой смоченной спиртом; такие отпечатки могут послужить причиной неприятных колебаний высоты звука.

Затем проверяют частотную характеристику проигрывателя. Первое впечатление можно получить при прослушивании пластинки с записью различных частот (или провести с ее помощью измерения). Для проверки звучания на низких тонах выбирают пластинку с записью органной музыки (например, Пахельбель, «Прелюдия Ре-бемоль»), трубы или контрабаса. Звучание на средних частотах проверяют по женскому голосу, а на самых высоких частотах — при воспроизведении скрипки, «треугольника» и рояля (например Чайковский «Итальянское каприччио»). Для любителей легкой музыки предлагаются записи, свободные от электронных искажений.

Искажения головки звукоснимателя проверяют при проигрывании записи оркестра с большим динамическим диапазоном. Особенно хороши для этой цели произведения Берлиоза и Вагнера, на-

пример IV и V части «Фантастической симфонии», «Реквием» и др. Для проверки переходной характеристики прослушивают сонату для двух фортепьяно и ударных инструментов.

После воспроизведения музыкального отрывка для проверки искажений следует проверить, не прослушиваются ли через громкоговорители щелчки при включении или выключении двигателя, а также фон при приближении головки звукоснимателя к двигателю.

Следует проверить, не снизится ли фон, если сетевую вилку проигрывателя (или усилителя) вставить в гнездо розетки, повернув на 180°. Точно так же проверяют, не вызывают ли сигнальные провода проигрывателя паразитного высокочастотного приема или возбуждения усилителя. Это явление особенно проявляется в вечерние часы, когда без пластинки при выведении ручки громкости усилителя могут прослушиваться одна или несколько радиостанций. Устранение такого дефекта, как правило, вызывает большие трудности. Надежная защита может быть осуществлена многократным заземлением или соответствующими конденсаторами и ферритовыми сердечниками. Наконец, с большой осторожностью производят эксперимент, относящийся к динамическим свойствам тонарма (см. § 4.1). С помощью измерительной пластинки проверяют способность следования звукоснимателя по канавке.

6.3. УСИЛИТЕЛИ

Согласование пьезоэлектрических звукоснимателей. Частотная характеристика пьезоэлектрических звукоснимателей задается с допуском ± 6 дБ. Этот качественный параметр, а также гибкость подвижной системы и связанная с ней чувствительность кристаллического звукоснимателя, как правило, сохраняются приблизительно в течение года. Поэтому запасную головку в заводской упаковке с пьезоэлементом из сегнетовой соли, входящую иногда в комплект аппаратуры, следует вскрывать непосредственно перед установкой в держатель тонарма.

Работу кристаллического звукоснимателя можно объяснить, рассматривая его как чувствительный к амплитуде генератор тока звуковых частот. Ток, возникающий в кристалле благодаря движению иглы, чрезвычайно мал (0,2—0,5 мкА). Поэтому при подключении головки звукоснимателя с большим собственным внутренним сопротивлением, например к усилителю с входным сопротивлением 0,5—1 МОм, можно получить напряжение 0,1—0,5 В. Подъем высоких частот, обусловленный характеристикой записи на лаковый диск, компенсируется собственным внутренним сопротивлением кристалла, имеющим емкостной характер. Однако результаты компенсации получаются различными из-за сильной зависимости собственного сопротивления кристалла от температуры, влажности и частоты (рис. 6.2).

На основе представлений о генераторах тока кристаллические звукосниматели целесообразно подключать к нагрузке со значительно меньшим сопротивлением, чем их собственное внутреннее сопротивление (предполагая внутреннее сопротивление 160 кОм и собственную емкость 100 пФ на частоте 1 кГц). При сопротивлении нагрузки в 5 кОм звукосниматель уверенно воспроизводит сигналы до наивысшей частоты 13 кГц. Правда, теперь его выходное напряжение составляет только 2,5 мВ, но зато оно не зависит от изменения перечисленных выше факторов. Естественно, при такой на-

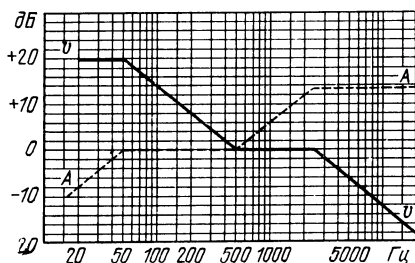


Рис. 6. 2. Теоретическая частотная характеристика предварительного усилителя для звуко- снимателей, чувстви- тельных к скорости V и амплитуде A

грузке внутреннее сопротивление кристалла не может скомпенсировать характеристику записи с постоянными времени в точках перегиба 75, 318 и 3180 мкс. Поэтому в этом случае, так же как и при магнитных звуко-снимателях, следует использовать специальные частотозависимые звенья. Их можно применить в предварительном усилителе, который должен примерно в 100 раз усиливать напряжение, сниженное до 2,5 мВ¹.

Напряжение с керамических звуко-снимателей, как правило меньше напряжения, получаемого с кристаллических, но оно практически не зависит от температуры и влажности. Однако и в этом случае на выходе звуко-снимателя целесообразно поставить корректор и предварительный усилитель, так как при последующем переоборудовании проигрывателя и установке в него магнитного звуко-снимателя вся переделка сведется к выпаиванию двух нагрузочных сопротивлений.

Предварительный усилитель для магнитного звуко-снимателя. Предварительный усилитель для головки звуко-снимателя с подвижным магнитом должен иметь малый уровень шумов, большую чувствительность и большой запас по модуляции при малых искажениях. Оптимальное значение входного сопротивления обычно указывается в паспорте, прилагаемом к головке звуко-снимателя. Например, для головки GP400 фирмы «Филипс», поступающей в продажу и в виде отдельного блока, предписывается сопротивление нагрузки на каждый канал по 47 кОм при максимальной емкости кабеля 250 пФ. Входное сопротивление усилителя не должно отличаться от заданного больше чем на 10%. Для увеличения отношения сигнал/шум предварительный усилитель помещается в экранирующий от магнитных полей металлический корпус (алюминий и медь для этой цели не годятся). Усилитель, для снижения емкости кабеля, монтируют в корпусе проигрывателя как можно ближе к звуко-снимателю. Следует обратить внимание на то, чтобы после подпайки соединительных проводников не образовалась замкнутая заземляющая петля. Уровень сетевых помех можно снизить, выбрав подходящее место для усилителя внутри корпуса проигрывателя.

Для питания усилителя целесообразно использовать батарею плоских элементов. Из-за малого потребления тока срок службы одной батареи составляет в среднем 2—3 месяца. Можно также применить дистанционное питание предварительного усилителя,

¹ В Советском Союзе в настоящее время не выпускаются кристаллические головки звуко-снимателей. — *Прим. ред.*

встроенного в проигрыватель, использовать для этой цели экраны сигнальных проводов правого и левого каналов, соединяющих проигрыватель и усилитель.

Неприятностей, возникающих из-за ошибочной перестановки разъемов, можно избежать, если напряжение от стабилизированного блока питания подавать на экран через последовательно подключенное сопротивление, а в усилителе требуемое напряжение устанавливать стабилитроном (диодом Зенера). Если при сетевом блоке питания с большим внутренним сопротивлением из-за значительного подъема на низких частотах в предварительном усилителе при выведенном потенциометре регулятора громкости возникают биения, целесообразно предварительный усилитель запитать от собственного сетевого блока питания. Рационально подавать переменное напряжение на сетевой трансформатор предварительного усилителя одновременно с включением двигателя проигрывателя. Размеры этого трансформатора должны быть такими, чтобы при напряжении в сети $220 \text{ В} \pm 10\%$ не было перенасыщения. Фон с частотой 50 Гц из-за неизбежного рассеяния можно ослабить, применив замкнутый медный виток (медную фольгу), окружающий трансформатор снаружи.

Схемы предварительных усилителей на транзисторах и на интегральных микросхемах представлены на рис. 6.3. Транзистор *T1* (BC109C) работает в режиме с наименьшим шумом, соответствующим сопротивлению генератора 1 кОм.

Цепь *RC* обратной связи вместе с сопротивлением в цепи эмиттера транзистора *T1* формирует характеристику, обратную характеристике записи. Если значения этих пяти элементов подобрать с допуском 1%, частотная характеристика предварительного усилителя будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к усилителю. Если на выход транзистора *T2* подключить эмиттерные повторители, которые в одном из каналов нагружаются делителем на сопротивлениях, снижающим напряжение на 2 дБ, а в другом канале установочным потенциометром с пределами регулирования ± 2 дБ, то можно выровнять каналы звукоусилителя на одной частоте. Эта регулировка осуществляется при воспроизведении сигнала 1000 Гц с амплитудой колебательной скорости 10 см/с и точно установленной противоскачывающей силой.

Оконечные усилители. С выхода предварительного усилителя снимается сигнал с относительно высоким уровнем и линейной частотной характеристикой. Этот сигнал может быть использован для записи на магнитофон. Далее он усиливается по мощности оконечным усилителем до уровня, необходимого для работы акустических систем. Однако идеальные акустические системы и безупречные по акустике жилые помещения на практике не встречаются, поэтому до оконечного усилителя устанавливаются разнообразные схемы регулирования уровня звука и его тембра (рис. 6.4). Регуляторами тембра можно снизить или увеличить усиление на низких или высоких частотах по сравнению со средними (800—1000 Гц). В отдельных усилителях имеются так называемые фильтры рокота и шума пластинок. Но они ни рокот, ни шум пластинок не устраняют, а лишь ослабляют усиление на нижнем и верхнем участках полосы звуковых частот. При этом также ослабляются и полезные сигналы, несущие информацию о программе, записанной на пластинке. Поэтому лучше устранить первопричину, например рокот, чем использовать эти фильтры. Иногда можно встретить и регулятор со зна-

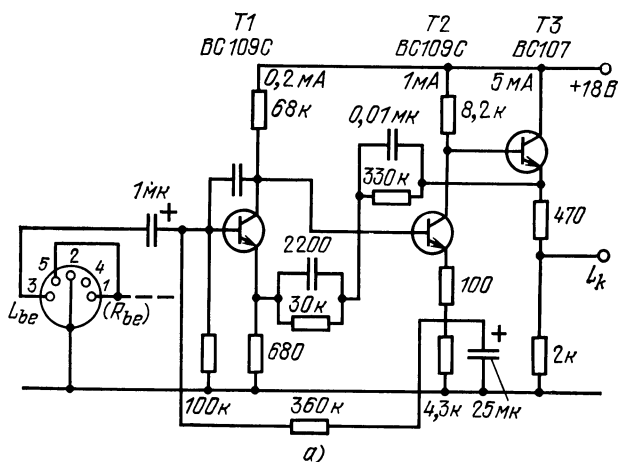


Рис. 6.3. Принципиальные схемы предварительных усилителей на транзисторах (а) и интегральных микросхемах (б). Цифры в скобках означают выводы правого канала

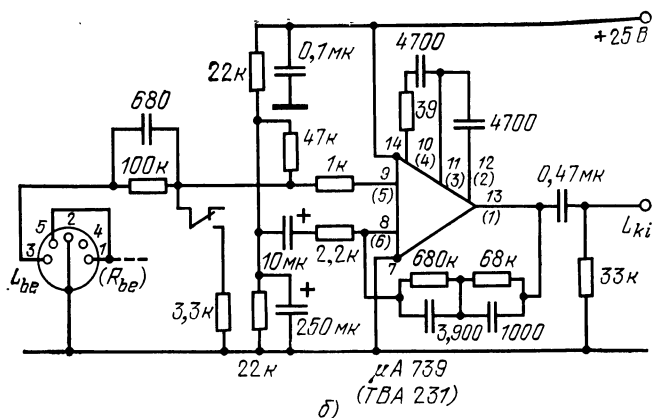
ком «presence» (эффект присутствия), при помощи которого можно вызвать подъем на несколько децибел на частотах 1,5; 2,2; 3 или 4 кГц. Благодаря этому голос певца или некоторые солирующие инструменты будут звучать чище и ближе, что вызывает впечатление присутствия.

Правильная слуховая (так называемая физиологическая) регулировка громкости, как правило, может включаться и выключаться по усмотрению слушателя. При ее выключении сигналы на всех частотах усиливаются одинаково при всех значениях громкости. Но наш слух при меньшей громкости сильнее ощущает снижение низких звуков, поэтому при регулировке усилителя по правильному слуховому восприятию эта особенность слуха компенсируется автоматическим подъемом низких частот в размерах, зависящих от уровня громкости. Громкость двух каналов стереофонического усилителя можно сделать одинаковой при помощи балансного регулятора. Если на усилителе имеется переключатель стерео-моно, при прослушивании пластинок его всегда следует устанавливать в соответствующее положение.

Современные транзисторные усилители не выходят из строя при отсутствии нагрузки на выходе, но быстро повреждаются, если выходные зажимы закорачиваются или к усилителю подключаются громкоговорители с сопротивлением много меньше номинального. Полупроводниковые усилители необходимо защищать и от случайного перегрева.

При размещении усилителя следует обратить внимание на то, чтобы его выходной трансформатор не оказался слишком близко от магнитного звукоснимателя.

При выборе усилителя основным параметром всегда является его выходная мощность. Однако этот параметр сам по себе еще ни о чем не говорит. Ибо мощность усилителя зависит от сопротивле-



ния громкоговорителя, и эта зависимость нелинейна, например усилитель с мощностью 22 Вт при нагрузке 4 Ом обеспечивает мощность 16 Вт при нагрузке 8 Ом и 19 Вт при нагрузке 16 Ом. Если используются громкоговорители с полным сопротивлением меньше номинального, то выброс по току, возникающий при включении усилителя, и его рабочий ток перегружают выходной каскад; в то же время такие громкоговорители меньше демпфируются внутренним сопротивлением усилителя и поэтому нагрузка на них будет большей.

Мощность при синусоидальном сигнале измеряется на частоте 1 кГц. При этой мощности измеряются также нелинейные искажения сигнала. Помимо синусоидальной мощности, задается и так называемая музыкальная мощность усилителя. Так как музыкальный сигнал состоит из составляющих с различными амплитудами, то его спектральная мощность в данной полосе больше, чем мощность, измеренная на одной частоте, таким образом ее значение в цифровом выражении получается больше, чем синусоидальная мощность, и поэтому лучше соответствует целям рекламы. При сравнении качеств усилителей более характерна синусоидальная мощность. Понятие музыкальной мощности сформулировать трудно. Однако есть определенный смысл и в этих данных, ибо они дают значение пиковой мощности, которую усилитель способен обеспечить только кратковременно. Но для каждой мощности всегда необходимо задавать нагрузочное сопротивление.

Следующим после мощности важным параметром усилителя является его амплитудно-частотная характеристика. Она указывает наивысшую и наименьшую частоты при выходной мощности 1 Вт и отклонения на границах полосы по отношению к ее центру. Показатель мощности — ширина полосы измеряется тогда, когда усилитель выдает по крайней мере половину номинальной мощности.

Важными качественными параметрами являются гармонические и интермодуляционные искажения. Первые из них оценивают количество высших гармоник отдельных тонов, а вторые — количество составляющих, образовавшихся от двух тонов различных частот. Гармонические и интермодуляционные искажения усилителя должны быть меньше, чем у звукоснимателя. Для современных усилите-

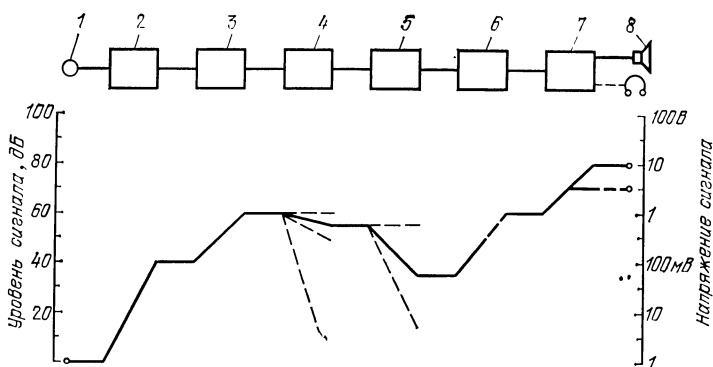


Рис. 6.4. Структурная схема и диаграмма уровней звукопроизводящих устройств после проигрывателя:

1 — головка звукоснимателя; 2 — предварительный усилитель для звукоснимателей, чувствительных к колебательной скорости; 3 — линейный согласующий каскад; 4 — усилитель и балансный регулятор (линейный или учитывающий особенности слуха); 5 — регулятор тембра по низким и высоким частотам, фильтры присутствия, шума пластинки и рокота; 6 — линейный согласующий каскад; 7 — линейный оконечный усилитель; 8 — громкоговоритель

лей это требование вполне выполнимо. Логично распространить это положение и на отношение сигнал/шум усилителя и звукоснимателя.

В последнее время все больше внимания обращается на второй основной электроакустический параметр усилителей — их фазовую характеристику. При линейной фазовой характеристике сигналы различных частот проходят через усилитель за одинаковое время. Если при прямолинейной амплитудно-частотной характеристике выполяется и это условие, то поданный на усилитель прямоугольный сигнал звуковой частоты с крутыми фронтами не будет иметь выбросов и искажений горизонтальной части, а также не вызовет самовозбуждения усилителя.

Суммируя перечисленное, можно сказать, что усилитель является наименее уязвимой частью всей стереосистемы.

6.4. АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Акустическая система является последним звеном в цепи передачи звука. Если в качестве излучателя применяются головные телефоны, то они практически являются окончанием звуковоспроизводящей цепочки. Если излучателем служит громкоговоритель, встроенный в корпус, то цепь передачи звука дополняется еще одним звеном — акустикой помещения, где происходит прослушивание. В действительности мы всегда слышим звуки не только из громкоговорителя, но и звуки, которые получаются в результате взаимодействия излучателя и помещения.

Часто упоминаемый стандарт DIN45500 предписывает для качественного стереофонического воспроизводящего оборудования наличие усилителя с выходной мощностью не менее 2×6 Вт. Но в последнее время на несколько децибел возрос не только динамический

диапазон на пластинках, но и шум в помещении прослушивания. Таким образом, предполагая КПД громкоговорителя неизменным, законно возникает требование увеличения мощности. Но какой она должна быть?

Как правило, считается, что мощность устройства, выраженная в ваттах, должна в 2 раза превышать площадь помещения в квадратных метрах. Согласно этому правилу для комнаты площадью 4×5 м требуется усилитель с мощностью 2×20 Вт. При этом два громкоговорителя с КПД, равным 1%, разовьют акустическую мощность $P_a = 2 \times 0,2$ Вт. Если объем помещения $V = 60$ м³ и время реверберации 1 с, то получаемая интенсивность звука:

$$I = \frac{P_a T}{0,16 V} = \frac{0,4 \cdot 1}{0,16 \cdot 60} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2.$$

По отношению к уровню 10^{-12} Вт/м², принимаемого за ноль, это значение означает интенсивность звука 106 дБ. При этом громкоговорители должны обеспечивать длительное время мощность 20 Вт и не повреждаться при перегрузках. Соединительные провода громкоговорителя должны иметь сечение не менее $2 \times 0,75$ мм², в противном случае малое внутреннее сопротивление усилителя не будет достаточно демпфировать колебания диффузора громкоговорителя.

Место для акустических систем должно выбираться так же тщательно, как и для проигрывателя. Для стереофонического звуковоспроизведения две акустические системы, по возможности, устанавливаются на расстоянии 3—4 м одна от другой (рис. 6.5). Стереофонический эффект лучше всего воспринимается на расстоянии 3—4 м от акустических систем. Необходимо также иметь в виду, что при расположении акустических систем у стены излучение на низких частотах увеличится на 6 дБ, а вблизи угла — на 9 дБ по сравнению с акустическими системами, расположенными вдали от стен. Второе правило — не располагать акустические системы высоко, так как из-за отражения звука от пола может возникнуть неприятное ослабление отдельных низких тонов при взаимодействии прямых и отраженных звуковых волн. Например, при расположении акустической системы на высоте 1,5 м и прослушивании с расстояния в 4 м отраженная от пола звуковая волна проходит путь в 5 м. Из-за разницы в 1 м звуковые волны частотой 170 Гц взаимно компенсируют одна другую.

Следует сказать и о трудности получения равномерного звукового поля на высоких частотах. Эта проблема может быть решена применением нескольких головок громкоговорителей или одной головки с выпуклой мембраной специальной формы. Излучение высокочастотных звуков в сторону стены может быть рекомендовано в меньшей степени из-за частотозависимого коэффициента поглощения стен и ухудшающих амплитудно-частотную характеристику отражений. Выгодно,

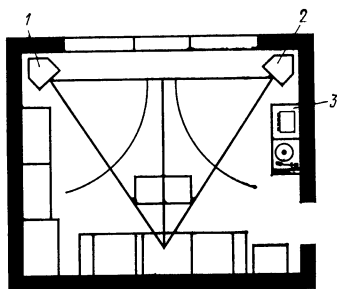
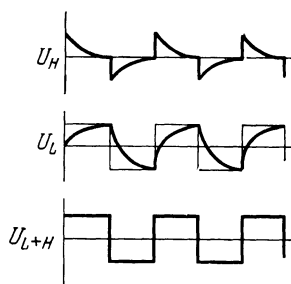
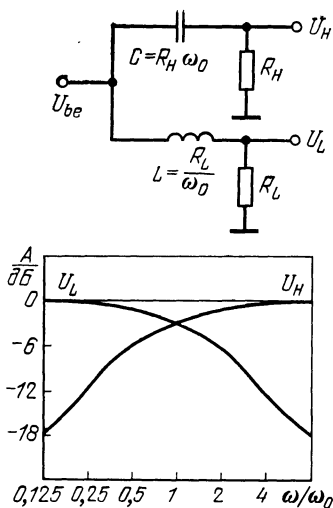
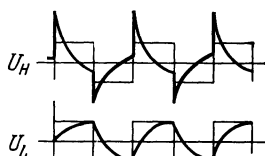
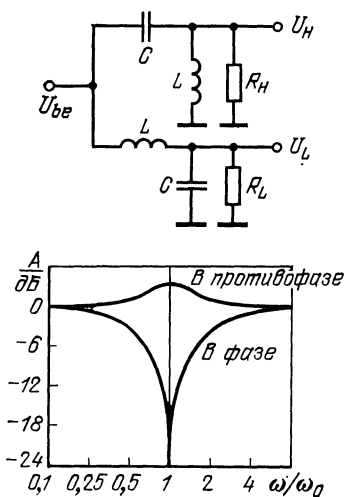


Рис. 6.5. Целесообразное размещение акустических систем в помещении:

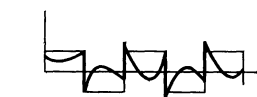
- 1 — левая акустическая система;
2 — правая акустическая система;
3 — проигрыватель, усилитель



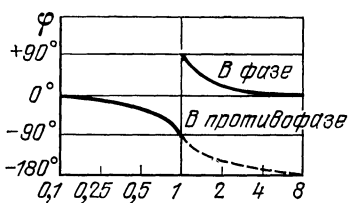
а)



При сложении
сигналов в фазе:
 $U_{ki} = U_L + U_H$



При сложении сигналов
в противофазе
 $U_{ki} = U_L - U_H$



б)

Рис. 6.6. Принципиальные схемы, частотные характеристики и форма импульсных сигналов разделительных фильтров с крутизной 6 дБ/октава (а) и 12 дБ/октава (б). Фазовая характеристика фильтра с крутизной 6 дБ/октава горизонтальная

если средне- и высокочастотные головки громкоговорителей находятся на высоте головы слушателя.

Конструкции головок громкоговорителей могут быть различными. Полную полосу звуковых частот может излучать одна широкополосная головка высокого качества. Чаше полосу звуковых частот разделяют электрическими фильтрами на две-три (иногда и больше) полосы, и сигналы каждой полосы излучаются отдельными головками громкоговорителей (или их группами). В последнем случае будет меньше модуляционных искажений, обусловленных движением диффузора, но трудно обеспечить равномерную амплитудно-частотную характеристику. Трудность состоит в том, что различные низкочастотные и высокочастотные головки обладают различными КПД. Если принимать во внимание еще и акустику комнаты, то в многополосных акустических системах необходимо, чтобы уровень громкости в каждой полосе регулировался отдельно. Существуют предварительные усилители, разбивающие диапазон звуковых частот на 16—24 полосы (например, «Саунд-Крафтсмен»). С такими устройствами, без сомнения, можно осуществить воспроизведение звука с оптимальной амплитудно-частотной характеристикой.

Однако амплитудно-частотная характеристика не является единственным параметром, который следует учитывать для получения высококачественного воспроизведения звука. Разделение звукового сигнала на несколько полос связано с определенными трудностями. Главная из них — наличие индуктивных и емкостных элементов в делителях частоты, обладающих большой селективностью (12 дБ/октава). Эти элементы ухудшают фазовую и переходную характеристики акустической системы. Идеальным решением представляется делитель с крутизной 6 дБ/октава (рис. 6.6). Для сохранения равномерной фазовой характеристики необходимо, чтобы диффузоры головок громкоговорителей, относящихся к различным полосам, находились в одной плоскости (рис. 6.7).

Вернемся к амплитудно-частотной характеристике акустической системы. Ее можно проконтролировать с помощью измерительного микрофона, но на громкоговорители нельзя подавать синусоидальные сигналы, потому что сформировавшиеся в помещении стоячие волны искажат результаты измерения. Очень просто можно провести объективное измерение полного электроакустического комплекса с помощью измерительной пластинки «Брюэль и Кьер QR2011». На этой пластинке в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц записан розовый шум шириной в одну треть октавы. Амплитуда его равномерно снижается с повышением частоты, поэтому содержание энергии на полосе треть октавы одинаково. Экспериментально подтверждено, что при наиболее благоприятном распределении звуковой энергии уровень розового шума постепенно падает к высоким частотам. Падение начинается примерно от частоты 200 Гц и равно около 3 дБ на декаду, т. е. на частоте 2 кГц оно составляет 3 дБ, на частоте 20 кГц — 6 дБ.

Помимо рассмотренных до сих пор требований акустическим системам присущи также свойства, определяющие качество звучания, но их нельзя оценить путем инструментальных измерений. К ним относятся полнота звучания, четкость звука, ощущение присутствия и, может быть, самое важное свойство — окраска звука. Несомненно, лучшими акустическими системами являются те, которые не окрашивают звук, поэтому их звучание трудно отличить от звучания естественной музыки.

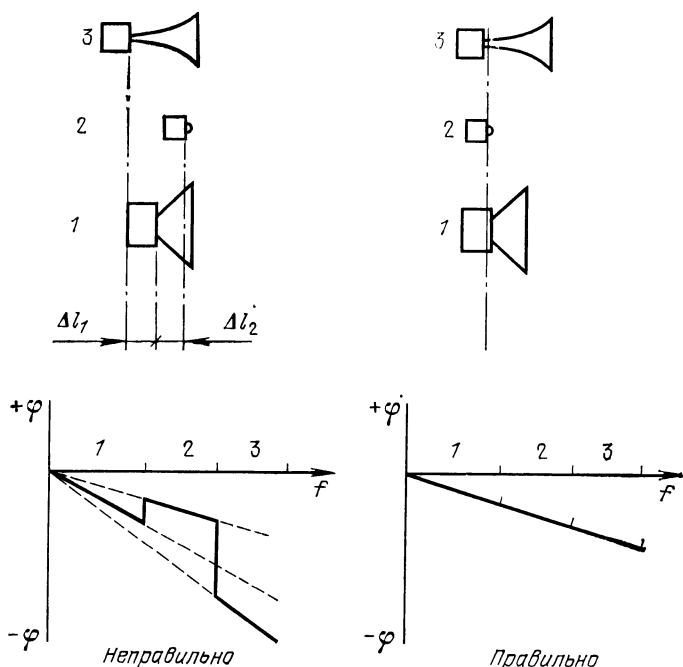


Рис. 6.7. Равномерность акустической фазовой характеристики в зависимости от расположения головок громкоговорителей

Акустическим системам посвящено уже очень много специальных исследований, но еще пока не найдена система, совершенная со всех точек зрения, простая и дешевая в производстве, надежная и обладающая большим сроком службы.

Наибольшее распространение получили закрытые акустические корпуса, основным достоинством которых являются малые размеры и отсутствие необходимости подстройки при изготовлении, но их КПД очень мал, всего 1%. Правда, преувеличением было бы ожидать от этого углового корпуса с объемом в несколько кубических дециметров одинаково красивого воспроизведения звучания органа, рояля, скрипки или трубы, так как у этих инструментов в процессе их совершенствования сформировалось единство материала и формы и выработался характерный тембр.

В области закрытых акустических систем каждый год появляются новинки, как, например, система с симметричным приводом («Скандина»), в которой не образуются четные гармоники, или акустические системы с подвижной обратной связью («Филипс МЕВ»), которая корректирует движение диффузора на низких частотах. При помощи специальных делителей можно получить акустические системы с линейной фазовой характеристикой («Банг энд Олуфсен»).

И в будущем останутся сторонники компрессированных акустических систем с хорошим КПД, размеры которых при незначительных изменениях в электронной части могут быть значительно снижены (фильтры Баттерфорта шестой степени). Хороших результатов можно ожидать и от систем, демпфированных акустической трубой, создающей на обратной стороне излучающей головки чисто омическое сопротивление.

Основная трудность электроакустического излучения звука состоит в изготовлении излучателя на большое акустическое сопротивление, т. е. малый сдвиг большой поверхности лучше сочетается со свойствами воздуха, чем движение маленькой мембраны с большим ходом. Эта трудность в настоящее время лучше всего решена в двухтактных конденсаторных громкоговорителях. Однако для большой площади это обходится очень дорого.

Эта трудность может быть решена и при помощи акустического трансформатора. В этом случае перед обычной головкой, закрытой с обратной стороны, помещается рупор, расширяющийся по экспоненциальному закону. Коэффициент полезного действия преобразования получается достаточно высоким и достигает 30%. Это означает, что при электрической мощности в 1—2 Вт можно получить силу звука, приближающуюся к порогу болевого ощущения слуха. Из этого следует, что средней громкости соответствуют очень малое значение усиления мощности и малые смещения мембраны. По этой причине малы и искажения. Единственный недостаток состоит в том, что для излучения звуков частотой 30 Гц необходим рупор длиной около 5 м, а его большой диаметр превышает 3,5 м.

Но существует и другая возможность для получения хорошего качества звучания. Используя современные головные телефоны, можно получить во многих отношениях лучшее воспроизведение звука, чем через громкоговорители, имеющие ту же цену. В настоящее время головные телефоны еще привязывают слушателя к одному месту, но уже недалеко время, когда работающие на инфразвуке или инфракрасном излучении приборы смогут с отличным качеством и без проводов осуществлять стереопередачу между усилителями и головными телефонами.

После многочасового использования легких современных открытых до половины головных телефонов (например, «Сенхейзер 414» или «Сенхейзер 424») или открытых полностью (например, «Жеклин-Флоат») усталость не ощущается. Известен дефект, возникающий при использовании головных телефонов, когда расположенный посередине источник звука ощущается как бы внутри головы. При помощи современных электронных устройств («Ревокс А720») этот недостаток может быть устранен и источник звука, как и при прослушивании с громкоговорителями, кажется расположенным перед слушателем.

6.5. ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЕ ПРОСЛУШИВАНИЕ ПЛАСТИНОК

Еще во вступлении было сказано, что значение понятий стереофония и высокая верность, характеризующих качество воспроизведения звука, не совпадают одно с другим. Технический прогресс развивался таким образом, что более или менее одновременно с разработкой устройств, обеспечивающих высокое качество звуко-

воспроизведения, происходили и первые шаги в области пространственной передачи звука.

В настоящее время многие любители грамзаписи имеют электроакустические устройства высшего класса качества. В зависимости от размера помещения такие устройства устанавливают на легкодоступное, хорошо обозримое место или, по возможности, располагают внутри мебели (скрыты). Блочный принцип комплектования высококачественной аппаратуры позволяет не только проявить технические возможности, а и наиболее просто подобрать оборудование для помещений с различной площадью и различной мебелью.

Эхо в комнате должно отсутствовать. Для этого лучше всего покрыть большую часть пола ковром и по крайней мере на двух противоположных стенах повесить настенные ковры или гардины, обладающие звукопоглощающими свойствами. Если затухание звука в помещении недостаточное, то акустические системы наклоняют или поворачивают в сторону элементов, обладающих большим коэффициентом поглощения. Нет смысла снижать уровень шума и искажения звуковоспроизводящей аппаратуры до самых малых значений, если в помещении декоративно-художественные изделия или оконные стекла создают дребезжание, сопровождающее звучание. Такие предметы на время прослушивания необходимо удалять из комнаты.

Несколько слов о громкости. Бесспорно, что на установке высшего качества доставляет удовольствие прослушивание хорошего музыкального произведения с большой громкостью. Не опасно ли это? Прослушивание музыки в течение нескольких часов в неделю или месяц способствует движению рецепторов уха и благодаря этому замедляется процесс окостенения, т. е. в этом никакого вреда нет. Меньшая громкость более неприятна, если звуковоспроизведение искажено. Но соседи, по всей вероятности, не оценят того, что мешающий им спать звук почти полностью лишен искажений. И если после 10 час. вечера в будний день у Вас возникает сильное желание прослушать при уровне в 95 дБ «Песню о земле» Густава Малера, используйте полноправную часть Вашего оборудования — высококачественные головные телефоны.

После небольшой практики в области звукотехники может возникнуть вопрос: есть ли вообще смысл в борьбе за идеальное звуковоспроизведение? Несомненно, на оборудовании более высокого качества можно услышать не только звук трубы, но и срабатывание клапанов на ней, хотя нельзя сказать, что эти призвуки относятся к музыке. Но что мы скажем, если из наших акустических систем будет, как живой, слышен скрип стула пианиста или шум мотоциклов, проносящихся перед зданием студии. Тренированный слух может заметить отдельные менее качественно сделанные склейки фонограммы или гул лампового усилителя станка записи на лаковый диск, шум устройства для удаления стружки, дефекты гальванизации и прессования, опережающее и отстающее эхо. Естественно, во всем мире разрабатывается звуковоспроизводящее оборудование отличного качества. Студийное оборудование и средства проверки и контроля всегда должны быть на шаг впереди. Но главная задача — чтобы в звуковоспроизведении с пластинок мы видели не только технический интерес, а в первую очередь слушали и наслаждались звучащей музыкой.

7. КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ ПЛАСТИНОК И УХОД ЗА НИМИ

7.1. ВЫБОР, ПОКУПКА И ДОСТАВКА ПЛАСТИНОК ДОМОЙ

Начиная собирать коллекцию, каждый владелец проигрывателя бывает счастлив, достав какую-либо хорошую пластинку с записью классической или эстрадной музыки. Если хранить рядом множество собранных таким образом пластинок, то назвать это коллекцией еще нельзя. Но попытайтесь однажды расставить пластинки по жанрам, исполнителям, композиторам, инструментам или по любому другому признаку. Если они выбирались соответствующим образом, определено одна из групп будет больше любой другой. Не трудно понять, что именно эти пластинки могут стать основой для систематически подбираемой коллекции. Попробуйте сделать свою коллекцию полной.

Собирая коллекцию пластинок с серьезной музыкой, ценные советы можно почерпнуть из рекомендаций, встречающихся в отдельных научно-популярных книгах. В них перечисляются 50, 100 и даже больше грамзаписей, относящихся к основам музыкальной культуры. Такой сборник несколько лет тому назад был выпущен Венгерским предприятием по производству пластинок под названием «Основы коллекции грампластинок». В руках более опытного коллекционера полезным вспомогательным средством может явиться каталог Бильфельдена или Шванна, который можно найти у товарищей-коллекционеров или в крупных магазинах пластинок, а также купить в специализированных магазинах за границей.

Коллекционировать пластинки с записями легкой музыки или джаза сложнее. Общий каталог таких записей едва ли издавался. Отдельные фирмы грампластинок время от времени издают списки новинок. Собирая все такие выпуски, можно следить за расширением предложения, но для приобретения выпущенных ранее записей случай представляется крайне редко. Тема коллекционирования должна быть как можно уже. Чем более специализированна коллекция, тем она ценнее и тем больше шансов сделать ее полной. Лучше заниматься двумя узкими областями, чем собирать все без разбора. Когда Вы решите, записи каких музыкальных произведений будут пополнять Вашу коллекцию, приступайте к покупке пластинок. Часто искомое произведение можно получить только на одной пластинке, но бывают случаи, когда трудно сделать выбор из множества записей.

Критические заметки о новых грамзаписях систематически печатаются в венгерских журналах «Ханглемез» и «Уй Тьюкор», немецких «Хай-фи Стереофони» и «Фоно-форум», английских «Хай-фи Ньюс», «Рекорд энд рекординг», а также «Граммофон». Из них можно узнать о присуждении международных премий отдельным выдающимся записям¹.

¹ В Советском Союзе Всесоюзная фирма грамзаписи «Мелодия» выпускает каталог-бюллетень «Мелодия» (Москва, изд-во «Музыка»), в котором публикуется полный каталог выпускаемых пластинок, а также очерки на актуальные музыкальные темы. — *Прим. ред.*

При покупке пластинок необходимо следить за тем, чтобы она не была покоробленной и звукосниматель не имел бы большого поперечного смещения, обусловленного эксцентриситетом канавок. Шпиндель диска проигрывателя, как правило, оставляет след на бумажной этикетке, поэтому, осмотрев ее, можно определить, много ли раз уже проигрывалась данная пластинка. Опытные продавцы всегда предлагают для прослушивания пластинку, стоящую на левом краю полки, а при покупке упаковывают нетронутую пластинку с правого края. Покупатель всегда получает самую лучшую.

После этого покупку нужно доставить домой. Купив одну пластинку, это не сложно сделать, если она упакована в бумажный или полиэтиленовый пакет с рекламной надписью. Однако после успешной заграничной поездки случается, что гордый турист возвращается домой с «добычей» в двадцать штук — максимумом, допускаемым таможенными правилами. Но при доставке такого богатства помимо гордости, безусловно, необходимо и внимание. Конечно, сумка для переноски пластинок может быть полезной не только в дальних поездках, но и при покупке пластинок в родном городе или во время встреч с другими коллекционерами. Готовую сумку подходящих размеров купить трудно, лучше изготовить ее самому. Материалом может послужить клееная фанера, покрытая снаружи черной искусственной кожей, а изнутри зеленым сукном. В ней пластинки будут доставлены домой в целости и сохранности.

7.2. ХРАНИЕНИЕ ПЛАСТИНОК

При хранении пластинок следует остерегаться воздействия трех факторов: колебаний температуры, пыли и влияния нагрузок. Так как пластинки изготовляют из синтетического материала, размягчающегося при нагревании, они особенно чувствительны к тепловому воздействию. Поэтому их даже на короткое время не рекомендуется оставлять в багажнике автомобиля, а место полки для пластинок следует выбрать вдали от окна, печки или батареи.

Пластинки необходимо хранить так, чтобы при изменении температуры в помещении они не покоробились. Для этого они не должны подвергаться воздействию нагрузок, т. е. располагаться точно вертикально или горизонтально. В принципе оба способа выглядят равнозначными, но для доказательства этого положения в Венгрии были проведены исследования, которые дали отрицательные результаты. Несколько сотен совершенно плоских пластинок, изготовленных при одинаковых условиях, были помещены на хранение в течение нескольких месяцев в вертикальном положении и такое же количество — в горизонтальном. Из 100 пластинок, хранившихся вертикально, 15 были признаны покоробившимися, в то время как из 100 пластинок, хранившихся горизонтально, только 15 остались плоскими. Это можно объяснить тем, что стандартные пластинки в центре несколько толще, поверхность пакета не плоская из-за склейки и эти дефекты при помещении пластинок одна на другую суммируются, т. е. при горизонтальном хранении нет положения, когда на них не действовали бы нагрузки.

В настоящем архиве пластинки стоят вертикально рядом одна с другой, как книги. Целесообразно на стеллаже для пластинок на расстоянии 15—20 см ставить разделительные стенки, чтобы в заполненных возможно только до половины отсеках пластинки не стояли слишком наклонно. На дно полки можно положить доску

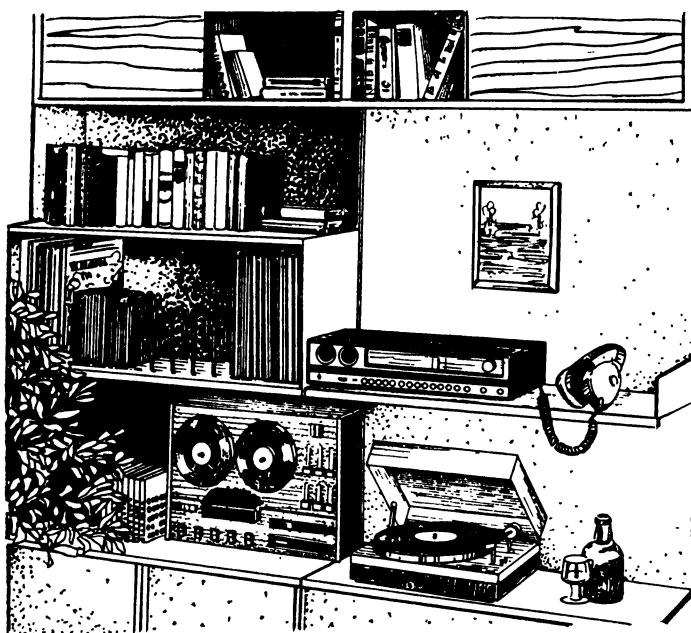


Рис. 7.1. Расположение металлических распорок

соответствующих размеров, в отверстия которой вставлены металлические распорки, обеспечивающие хранение пластинок в строго вертикальном положении (рис. 7.1). Если ячейки полки заполнены только до половины, то пластинки можно подпереть одной-двумя книгами соответствующей толщины. Любую пластинку, хранящуюся в вертикальном положении, легко достать с полки. Согласно действующему в Венгрии стандарту специализированным магазинам предписывается хранить пластинки в вертикальном положении.

При хранении пластинок в горизонтальном положении дно полки должно иметь плоскую поверхность. Хорошим материалом для этой цели является стеклянный лист толщиной в три или более миллиметра. Целесообразно придерживаться правила не класть одну на другую более десяти пластинок. При большем их количестве в стопке нижнюю пластинку трудно достать.

Во многих странах в специализированных магазинах продаются ящики для хранения пластинок (дискобоксы), изготовленные из прозрачного или окрашенного в оранжевый, красный или синий цвет ударостойкого полистирола или другого синтетического материала. В них, как правило, помещается 15—18 больших пластинок. В последнее время ящики выпускаются в таком исполнении, что их можно составлять по номерам или комплектовать в любом другом порядке. Ящик для хранения пластинок, который можно изготовить в домашних условиях, показан на рис. 7.2.

Постоянным источником опасности является пыть. Из-за нее пластинки, по возможности, следует хранить в закрывающихся шка-

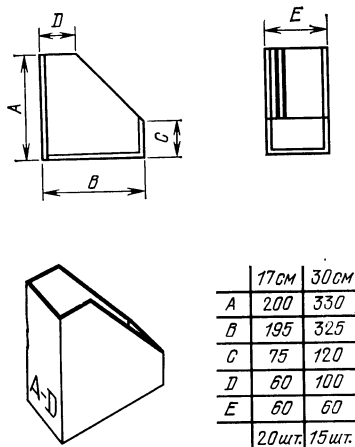


Рис. 7.2. Размеры ящика для хранения пластинок

пластинок. Масса сотни пластинок равна примерно 30 кг.

«Пожалуйста слушайте, но руками не трогайте» — девиз коллекционеров, которые не любят когда гости, в поисках отдельных записей, перебирают всю коллекцию от начала до конца. Купи первую пластинку, следует завести тетрадь, в которую записывать все последующие приобретения. Ценность коллекции намного увеличится, если помимо перечисления пластинок составить алфавитный указатель по именам авторов и исполнителей или по заглавия произведений. Для этой цели лучше всего подходят картотеки, хорошо зарекомендовавшие себя в библиотеках.

7.3. УХОД ЗА ПЛАСТИНКАМИ

Механические повреждения и статический заряд. Если пластинки хранятся правильно, можно начать борьбу с тресками. Они возникают по нескольким причинам.

Во-первых, поливинилхлорид, обладающий отличными свойствами прессования, не имеет высокой стойкости против механических воздействий, как некоторые другие синтетические материалы. Поверхность пластинок очень чувствительна к повреждениям. Даже при слабом касании ногтем возникает царапина, которая прослуживает в виде одного щелчка за один оборот. Исправить такое повреждение уже невозможно. Чтобы избежать подобных повреждений пылезащитный пакет осторожно приоткрывают левой рукой. Пластинку следует брать правой рукой, касаясь ее поверхности только двумя пальцами: средним пальцем придерживая в зоне этикетки, а большим обхватывая край пластинки. При этом нужно быть предельно осторожным.

Другой причиной, вызывающей трески, является пыль. Она представляет опасность и при правильном хранении, так как мат-

фах. Может быть излишне напоминать об этом, но пластинки всегда должны находиться в своих наружных и внутренних конвертах и вынимать их следует только на время проигрывания. Для хранения пластинок хорошо использовать шкафчики содвигающимися дверцами или дверцами в виде жалюзи. Обыкновенные дверцы при закрывании всегда «вталкивают» внутрь новую массу воздуха, пыль из которой в конце концов оседает на содержимое шкафчика. Пыль является фактором, препятствующим хранению пластинок в горизонтальном положении, так как дополнительная масса, действующая на нижние пластинки, вдавливая острые пылинки в звуковые канавки и повреждает их. При проектировании полки необходимо предусмотреть не только правильные размеры, но и учесть массу

риал пластинки получает электростатический заряд даже если ее слегка потереть. Этот заряд может возникнуть и при быстром вынимании пластинки из конверта, изготовленного из синтетического материала. Поэтому из внутреннего конверта пластинку всегда следует вынимать медленно или, если возможно, использовать пылезащитный конверт из бумаги. Однако и это не устраняет опасности возникновения электростатического заряда, так как поверхность вращающейся в сухом воздухе пластинки все равно заряжается от трения о воздух. Из-за этого нельзя даже просто сдувать пыль с пластинки.

Накопление на поверхности пластинки зарядов влечет за собой два явления. Во-первых, между поверхностью пластинки и металлическим иглодержателем проскакивают крохотные искорки, различимые в темноте невооруженным глазом. Они прослушиваются через громкоговоритель в виде потрескивания, но, к счастью, при повторном прослушивании пластинки разряды на тех же местах, как правило, не возникают. Во-вторых, вследствие заряда поверхность пластинки притягивает к себе пыль. Анализ этой пыли под микроскопом показывает, что основную ее часть составляют тонкие волоски от текстильных материалов и большое число твердых частиц разнообразной формы из разного материала. Среди последних имеются и песчинки, т. е. кусочки кристаллов кварца.

Отдельные волоски, попадая под иглу, на короткое время нарушают ее контакт со стенкой канавки. При проигрывании это проявляется в искажении звука. Другие волоски как «борода» прилипают к кончику иглы и это рано или поздно делает невозможным следование иглы по канавке. Искажения такого рода в первую очередь проявляются при звучании солирующих инструментов. Наиболее сильно этот дефект проявляется при прослушивании записи рояля.

Очистка иглы. Для очистки иглы используется кисть из очень тонких волосков (например, кисть из меха кунницы). Кисть всегда следует двигать от задней части иглы к передней, как это происходит при проигрывании пластинки. При движении в противоположном или поперечном направлениях легко повредить прецизионный зажим иглы. Существуют и полуавтоматические иглоочистители, удаляющие пыль с иглы в положении покоя звукоснимателя, но в Венгрии таких устройств пока еще нет в продаже (рис. 7.3).

Категорически запрещается очищать иглу пальцами, так как при этом на ее кончике остается слой жира, к которому легко прилипает пыль. Если иглу трогали пальцами, ее следует очистить кисточкой, смоченной в спирте.

Вернемся к кусочкам кварца. Наиболее опасные последствия может повлечь за собой их электростатический заряд. Более крупные песчинки являются причиной тресков, в то время как более мелкие увеличивают шум. Возникшие потрескивания остаются на все время, потому что кончик иглы легко вдавливает в мягкие стенки канавки частички, как правило, имеющие острые грани. Вследствие этого не только увеличивается шум пластинки, но и повреждается игла, так как крошечные песчинки стачивают ее как точильным камнем. Таким образом, в основе всех методов борьбы с тресками лежит недопущение появления на пластинке статического заряда. Для проигрывателей, встроенных в шкаф или оборудованных закрывающимися при проигрывании крышками, большую помощь против накопления зарядов может оказать помешенная

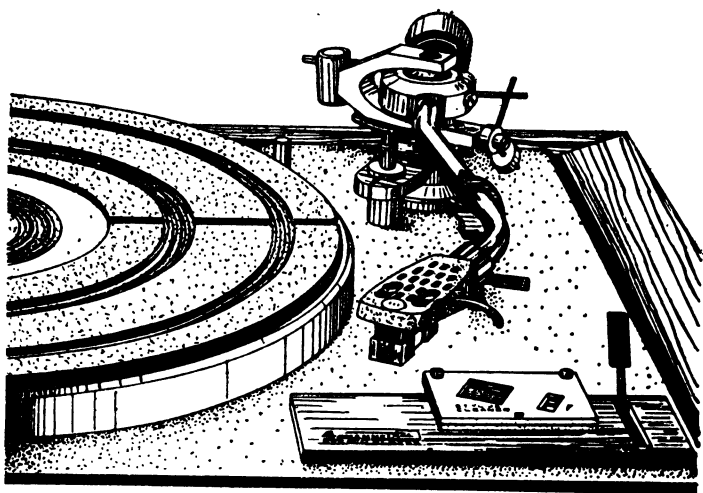


Рис. 7.3. Полуавтоматическое устройство для очистки иглы звукоснимателя

вблизи пластинки увлажненная губка, увлажняющая воздух вокруг проигрывателя.

Ручные средства для очистки пластинок. Очевидным представляется нанесение на поверхность пластинки веществ, обладающих гигроскопическими свойствами (например, глицерина или этиленгликоля). Эти вещества поглощают влагу из воздуха и благодаря этому снижается склонность к накоплению зарядов.

Этими веществами пропитываются салфетки для очистки пластинок, изготовленные из тканей с как можно менее выраженной волокнистостью. Салфетки всегда следует держать в хорошо закрывающемся нейлоновом пакете и после протирки сотни пластинок заменять (стирать их нельзя, так как при этом утрачивается химическая пропитка). В специализированных магазинах за границей можно найти аэрозольный препарат для антистатической пропитки салфеток, но его нельзя наносить на поверхность пластинок! Салфетками без антистатической пропитки (например, чистым носовым платком) протирать пластинку нельзя, потому что после электролизации трением на пластинку притянется больше пыли, чем ее было перед протиркой. Салфетки для протирки пластинок в первую очередь целесообразно использовать при прижимной силе выше 30 мН.

В Венгрии наиболее часто можно приобрести антистатические салфетки производства предприятий Чехословакии, ГДР и Голландии. При пользовании салфеткой следует следить за тем, чтобы она касалась пластинки вдоль кромки и двигалась только по направлению вращения. Если салфетку двигать вдоль радиуса пластинки, химические вещества могут намазаться на стенку канавки, на них налипнет пыль и из-за этого увеличивается шум с пластинки. Известен очиститель для пластинок («Принер»), который надевается на рычаг и протирает пластинку в направлении вдоль канавки.



Рис. 7.4. Устройство фирмы «Пикеринг» для очистки пластинок

Важно запомнить, что сложные движущие механизмы с электронной стабилизацией не выдерживают торможения от очистителя, лежащего на вращающейся пластинке.

Автоматические очистители пластинок. Представляются два решения: закрепить очиститель на том же тонарме, что и головка звукоснимателя, или на отдельном рычаге, расположенном на панели. Примером первого решения могут послужить несколько вариантов головок звукоснимателей фирмы «Пикеринг». Здесь на головке звукоснимателя закрепляют небольшую щеточку, легко сдвигаемую в вертикальном направлении, но при подъеме тонарма она не проваливается под иглу (рис. 7.4). Щеточка предназначена для удаления пыли с поверхности пластинки. Она применяется, главным образом, в устройствах с автоматической сменой пластинок, работающих при относительно большой прижимной силе (20—40 мН). Щеточка находится на головке звукоснимателя и при уравнивании тонарма она существенно не влияет на значение прижимной силы, хотя при проигрывании часть массы щетки распределяется между точками ее закрепления и иглой. Подобно действующей на иглу скатывающей силе, на щетку также действует сила, направленная к центру пластинки. Эта сила нагружает тонарм, если он не уравновешивается противовесом. Подобные очистители передают колебания канавки непосредственно на головку звукоснимателя, поэтому они прослушиваются в виде неприятного призвука типа страженного звука. Основное преимущество такого очистителя заключается в том, что его очень просто можно снять с головки звукоснимателя.

Очиститель «Даст Баг» создает меньше трудностей и поэтому более популярен среди любителей. Его можно применять при прижимной силе 15—30 мН. Сесиль Е. Ваттс создал этот очиститель еще в 1958 г., после чего он был изготовлен в миллионах экземплярах и оправдал себя на практике. В сущности, он представляет

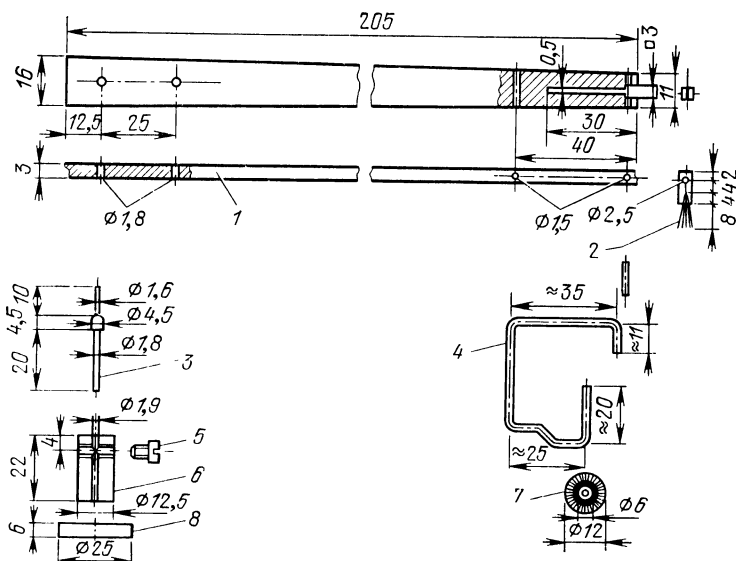


Рис. 7.5. Чертежи деталей устройства для очистки пластинок:

1 — рычаг из оргстекла; 2 — ведущая щетка; 3 — вал из красной меди; 4 — проволочки из красной меди; $\varnothing$ 1; 5 — винт М3; 6 — цилиндр из оргстекла; 7 — щетка или войлочный валик $\varnothing$ 12×20; 8 — магнитная шайба

собой коромысло из оргстекла, на котором закреплены щетка с относительно жесткими волосками и валик, обтянутый материалом с тонкими нитями (диаметр примерно 10 мкм), похожим на бархат. Валик при очистке не вращается, но после нескольких проигрываний его следует немного повернуть. Валик устанавливается на пластинку так, чтобы одна из составляющих его оси совпадала с радиусом пластинки (рис. 7.5 и 7.6). На другом конце коромысла выполнены отверстия, с помощью которых очиститель можно посадить на вал, укрепленный на панели проигрывателя. Место очистителя на панели предварительно определяется экспериментальным путем так, чтобы установленный на начало пластинки стирающий валик к концу проигрывания дошел до концентрической замкнутой канавки или несколько зашел на этикетку. Таким образом очиститель при его подъеме не оставляет в последней канавке пыль, собранную с поверхности пластинки.

Одним из недостатков очистителя «Даст Баг» является то, что рычаг своей массой нагружает ведущую щетку и через нее диск проигрывателя. В новейших конструкциях, по примеру тонарма, применяется противовес, который уменьшает торможение диска. С другой стороны, установив ось стирающего валика под определенным углом, подобно головке звукоснимателя, можно добиться равномерного продвижения очистителя к центру пластинки. Обе вышеперечисленные модификации уже устанавливаются на устройствах типа «Аудиотехника 6001» и «Эксель-клинэ ES500S».

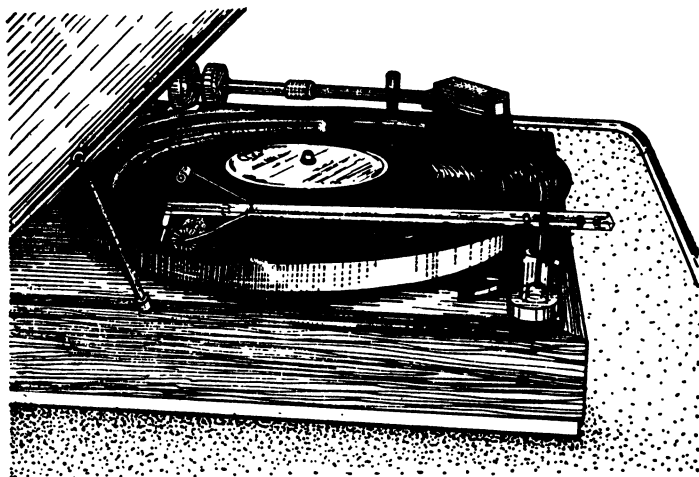


Рис. 7.6. Устройство для очистки пластинок, изготовленное в домашних условиях по чертежам рис. 7.5

В Венгрии предприятие «Равиль» выпустило в продажу очистители типа «Акос Даст Жокей», работающие на таком же принципе. Решен и вопрос его хранения. Наиболее целесообразно хранить очиститель на диске проигрывателя в перевернутом положении.

Хотя очиститель «Даст Баг» первоначально был изготовлен для сухой очистки пластинки, его валик следует немного смазать антистатической жидкостью. Обычно на вращающуюся пластинку капают десять — двадцать капель жидкости, которую валик растирает широкими полосами по всей поверхности.

Заземленное устройство для протирки пластинок. Радикально нейтрализует накопленные на пластинке статические заряды запатентованное устройство, получившее название «Дискостат». Принцип его действия заключается в непрерывном удалении во время проигрывания зарядов, возникших на поверхности пластинки. Внешне устройство очень напоминает описанный выше очиститель, но щетка, скользящая по поверхности пластинки, изготовлена из очень тонких медных проволочек. Неподвижной пластинки касается только плюшевый валик обычного очистителя. Во время движения диска медные проволочки приходят в соприкосновение с пластинкой под тупым углом, поэтому они не давят сверху на канавку. К медным проволочкам щетки припаян гибкий провод, который через разъем, находящийся около ножки очистителя, соединен с земляным проводом сети или земляным зажимом усилителя. Таким способом можно непрерывно отводить статические заряды с поверхности пластинки. При правильной балансировке металлические нити прижимаются к пластинке с очень малой силой. Фотографии канавок под микроскопом подтвердили, что они при работе очистителя не повреждаются.

Специальной принадлежностью этого очистителя является небольшая салфетка, на поверхность которой тонким слоем напылен металл. При извлечении пластинки из конверта с помощью такой

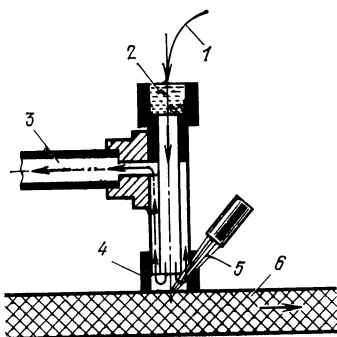


Рис. 7.7 Разрез вакуумной головки для очистки пластинок:
1 — поток воздуха; 2 — фильтр-вкладыш; 3 — всасывающая трубка; 4 — гибкая «юбка»; 5 — нейлоновая щетка; 6 — пластинка

салфетки заряды на ее сторонах распределяются равномерно, что также благоприятно сказывается на работе очистителя.

Вакуумная очистка пластинок.

Английская фирма «R. I. Audio» разработала устройство для очистки пластинок под названием «Грувак», работающее с вакуумом. Принцип работы устройства немногим отличается от работы обычного пылесоса. Всасывающая трубка находится в тонкой щетке, которая с потоком воздуха удаляет пыль из самых глубоких мест звуковой канавки. Во время проигрывания правильно отрегулированная очищающая головка давит на пластинку с силой около 6 мН. Работающий на таком принципе очиститель еще раньше был изготовлен Перси

Вильсоном, главным конструктором фирмы «Граммофон». Разрез использованной им очищающей головки представлен на рис. 7.7.

Влажная очистка пластинок. Процесс влажной очистки, помимо снижения способности к накоплению статических зарядов, оправдывается еще и тем, что в значительной степени уменьшает разогрев иглы, вызываемый ее трением о стенки канавки вращающейся пластинки. Нагретая игла вызывает остаточную деформацию в стенках канавки, чувствительных к повышению температуры. В результате деформации стираются мелкие отклонения канавки, которые любители высококачественного воспроизведения звука стремятся сохранить как можно дольше. Мысль охлаждать трущиеся поверхности и снижать трение при помощи смазки не нова. Действительно, можно только удивляться тому, что механическая запись звука получила повсеместное распространение без применения смазки. И не удивительно та качественная разница, ощущаемая при прослушивании увлажненной пластинки. Процесс увлажнения пластинки не сложен. С новым очистителем «Ленкоклин» он осуществляется легко и надежно (рис. 7.8).

Сам очиститель состоит из щетки с короткими волосками, прикрепленной к трубке из прозрачного синтетического материала. Эта трубка заполнена химически нейтральной очищающей жидкостью. Одного заряда очистителя хватает примерно на 6—8, у новой модели на 15—20 сторон пластинок. Своим вторым концом трубка вращается на игольчатом подшипнике, находящемся на расстоянии 170—185 мм от оси диска. Высота подвески устанавливается таким образом, чтобы трубка располагалась почти горизонтально. Очищающая жидкость через щетку попадает на пластинку и при правильной дозировке оставляет за собой влажную полосу шириной около 1 см. Интенсивность истечения жидкости может устанавливаться с помощью простого вентиля, имеющегося на трубке. Во время движения иглы по смоченной канавке существенно снижается ее трение, поэтому противоскаptyвающую силу соответственно следует снизить до 70—80% первоначального значения.

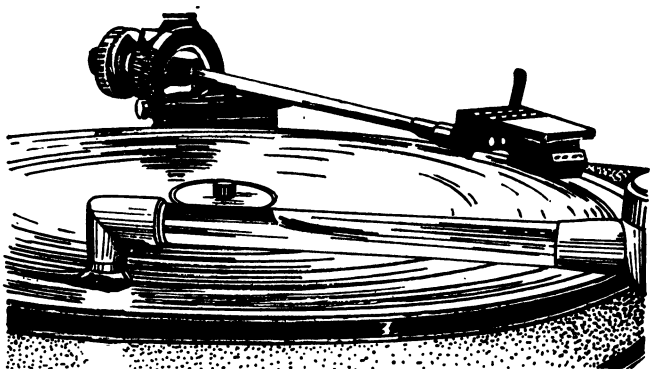


Рис. 7.8. Устройство для жидкостной очистки пластинок «Лен-коклин»

Поверхность контакта иглы и пластинки эффективно охлаждается жидкостью и одновременно снижается возможность накопления статических зарядов. При проигрывании увлажненной пластинки искажения становятся пренебрежимо малыми и может быть достигнут наименьший уровень поверхностного шума, т. е. возрастает динамический диапазон. Эти преимущества особенно заметны на записях, содержащих много высоких звуков (например, при воспроизведении джазовой музыки).

Увеличение динамического диапазона проявляется не только при первых проигрываниях с использованием увлажнения, оно сохраняется и после многократных проигрываний пластинки. Самое ценное преимущество влажного проигрывания заключается в том, что срок службы дорогой алмазной иглы вследствие меньшего трения и лучшего охлаждения как минимум удваивается. Эти благоприятные свойства, проявляющиеся при прижимной силе 5—20 мН, безусловно, стоят дополнительных затрат труда, связанных с процессом увлажненного проигрывания. Они выражаются в том, что оставшуюся на поверхности пластинки жидкость необходимо стереть бумажной салфеткой, не имеющей волокон, и после кратковременной выдержки полностью сухую пластинку следует поместить в пылезащитный конверт, по возможности, бумажный. Так как остатки высохших капель жидкости при проигрывании сухой пластинки могут вызвать повышение поверхностного шума, целесообразно протереть один раз жидкостью пластинки и в дальнейшем всегда очищать только этим способом.

Однако придаваемая к очистительному устройству жидкость рано или поздно кончается. Ее можно приготовить по следующему рецепту: к одной части чистого (96%) этилового $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ или изопропилового $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ спирта прибавляется семь частей дважды дистиллированной воды. Дистиллированная один раз вода оставляет след на пластинке, а использовать воду из-под крана категорически запрещается! После проигрывания одной стороны пластинки щеточку следует тщательно очистить, иначе собранная пыль попадет на следующую пластинку. Если щеточку вытирать бумажной салфеткой, можно заметить, сколько грязи она собирает во

время двух-трех первых прослушиваний новых, только что выпущенных с завода пластинок. После использования очиститель должен храниться в положении, не позволяющем жидкости вытекать из сосуда через щетку.

Два проигрывателя высшего класса качества, которые можно приобрести в венгерских специализированных магазинах, выпускаются уже пригодными для установки жидкостных очистителей. Это проигрыватель «Ленко L75», на который можно устанавливать очиститель «Ленкоклин», и проигрыватель «Ленко L85», предназначенный для установки очистителя «Ленкоклин L».

Важно помнить, что старые шеллачные пластинки, рассчитанные на частоту вращения 78 мин^{-1} , очищаются только чистой дистиллированной водой. Очищающая жидкость может их повредить.

Следует сказать еще о двух особенностях, присущих полуавтоматическому способу очистки пластинок. Во-первых, применение этих очистителей логически препятствует использованию устройств автоматической смены пластинок. Во-вторых, практический опыт показал, что если диаметр диска проигрывателя меньше диаметра вращающейся на нем пластинки, то очиститель, установленный над неподдерживаемой частью пластинки, может легко получить вибрации, которые прослушиваются в виде очень неприятного грохота.

Промывка грампластинок. Тем, кто до сих пор свою коллекцию пластинок еще не подвергал чистке и желает перейти к использованию одного из перечисленных методов очистки, предлагаем прежде всего тщательно промыть пластинки. Сильно запачканные пластинки, если они не повреждены, заслуживают чудесного возрождения при помощи относительно несложного процесса мойки.

Мойка производится в сосуде высотой примерно в половину диаметра пластинки. На три четверти сосуд заполняют чистой теплой водой с небольшой добавкой жидкого моющего средства. Пластинку помещают в моющий раствор и сначала одну, а затем и другую стороны промывают ватным тампоном без сильного надавливания, ведя его по концентрическим окружностям от центра к краю. По возможности проводится споласкивание в дистиллированной воде. После этого пластинки по одной просушивают между двух кухонных полотенец из материала, не дающего нитей. Полотенца осторожно сжимаются, но поверхность пластинки ни в коем случае не протирается. Затем проводится окончательная сушка в течение примерно четверти часа в помещении, где нет пыли, например в ванной. Безусловно, необходимо внимательно следить за тем, чтобы в течение всего процесса не коснуться пальцами частей пластинки, содержащих канавки.

В специализированных магазинах грампластинок с большим оборотом (или на радиостанциях) может быть рентабельной установка автоматов для промывки пластинок. Сначала на пластинку наносится специальная моющая жидкость, растворяющая все загрязнения, затем во втором рабочем цикле жидкость вместе с растворенными загрязнениями удаляется вакуумным отсосом. Весь процесс занимает около полутора минут, после чего пластинку упаковывают в новый чистый антистатический внутренний пылезащитный конверт.

Другие виды ухода за пластинками. Даже самая заботливая очистка пластинок не даст результатов, если конверт и диск проигрывателя не являются стерильно чистыми.

Еще при рассмотрении образования статического заряда упоминалась опасность быстрого извлечения пластинки из конверта. Од-

нако в этом случае заряжается не только пластинка, но и сам конверт, и при вложении пластинки часть пыли притягивается на его поверхность. Собственно говоря, конверт наполняется пылью, что подтверждается множеством параллельных царапин, возникающих при вынимании и вложении пластинок. Отрицательные последствия этого могут быть уменьшены, если конверт надрезать по одной из сторон рядом с отверстием, сделанным при изготовлении. Этот надрез облегчит извлечение пластинки, а также позволит протереть конверт увлажненной салфеткой.

Очень важно всегда закрывать проигрыватель после окончания прослушивания, чтобы пыль не оседала на диск и не могла с него попасть на пластинку. Если по какой-либо причине проигрыватель нежелательно держать закрытым, необходимо периодически, по крайней мере раз в две недели, протирать диск влажной тряпкой. Можно сделать вывод: всякий любитель, который после получасового прослушивания потратит на уход хотя бы полминуты, может быть уверен, что качество пластинок его коллекции не ухудшится спустя десятилетия и прослушивание магического черного диска будет приносить всем не раздражение, а истинное эстетическое наслаждение.

7.4. СРОК СЛУЖБЫ ИГЛЫ И ЗВУКОВОЙ КАНАВКИ

Ценные данные о сроках службы пластинок собраны на некоторых заводах, выпускающих звукосниматели. Ибо здесь для контроля качества серийных звукоснимателей отдельные измерительные пластинки проигрываются многократно. Согласно этим данным при прижимной силе выше 30 мН снижение полезного сигнала при повторных проигрываниях не наблюдается, а наоборот, его уровень возрастает. Это утверждение было подтверждено серией измерений, проведенных на полусотне головок звукоснимателей. Измерения показали, что при прижимной силе 50 мН уровень сигналов на частотах 10 и 12,5 кГц увеличился от +1 до +1,5 дБ, а на частоте 14 кГц — до +4 дБ. Эта же головка при прижимной силе 20 мН вызвала на частоте 14 кГц повышение уровня только на +1 дБ. Увеличение уровня наблюдается на частоте резонанса между звукоснимателем и материалом пластинки. Этот резонанс при нагрузке звукоснимателя на оптимальное сопротивление проявляется очень слабо, но на холостом ходу он заметен более остро.

При появлении стереофонических пластинок были проведены систематические исследования на износ канавки для определения возможности проигрывания стереофонических пластинок монофоническими звукоснимателями. Согласно данным полутора тысяч измерений уровень нелинейных искажений сигналов с измерительных пластинок после шестидесяти проигрываний увеличивался независимо от типа головки звукоснимателя. Уровни второй и третьей гармоник возрастали в среднем на 2—3 дБ. Интересным оказалось то, что в некоторых случаях третья гармоника после первых двадцати проигрываний становилась меньше, чем перед испытаниями. Предположительно это можно объяснить тем, что фаза третьей гармоники сигнала, возникающей из-за изнашивания канавки, противоположна фазе третьей гармоники сигнала, записанного на лаковом диске. Согласно этим исследованиям проникание сигналов при многократном проигрывании только увеличивается.

Все эти исследования проводились при сухом проигрывании. Для сравнения изнашивания иглы звукоснимателя и пластинки при сухом и влажном проигрывании также была проведена серия экспериментов. Измерения проводились при прижимной силе 10—15 мН и 2500-кратном проигрывании одной стороны пластинки. На проигранной всухую пластинке можно было обнаружить увеличение искажений, ухудшение отношения сигнал/шум и ощутимое снижение уровня высоких звуков, в то время как звучание увлажненных пластинок при проигрывании после испытания новой иглой было чистым. Состояние звуковых канавок контролировалось и фотографированием под электронным микроскопом.

Точно так же при помощи фотографирования под электронным микроскопом проверялось и состояние иглы звукоснимателя. Измерения проводились со звукоснимателем типа M91 фирмы «Шур», со сферической и эллиптической иглами, при прижимной силе 25 мН вместо номинальной силы 7,5—15 мН. Под действием такой нагрузки после сухого проигрывания в течение 1500 ч на игле можно было наблюдать сильный износ, в то время как влажное проигрывание вызвало едва заметное истирание кончика иглы.

На фотографиях, сделанных под электронным микроскопом, на эллиптической алмазной игле головки звукоснимателя V15-11, работающей при номинальной прижимной силе 15 мН, после шести лет использования с применением влажного проигрывания не было заметно никакого износа. Поэтому д-р Франк Х. Хирш в одной из своих статей в журнале «Функшау» сделал вывод, что при прижимной силе 15 мН, применяемой в современных проигрывателях, алмазные иглы при влажном проигрывании практически не изнашиваются, а скорее полируются и смена их необходима исключительно из-за механических повреждений, вызванных невнимательностью.

7.5. ПРОВЕРКА ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ

Качество каждой головки звукоснимателя необходимо систематически проверять. Осмотр алмазной иглы следует проводить через каждую тысячу часов. Открытым остается вопрос, когда приходит это время? На новейших проигрывателях уже можно встретить счетчик часов работы (например, на проигрывателе «Миракорд 7704» фирмы «Элак»). Он работает как бесшумный электронный кулонметр. В тонкой стеклянной трубке между разорванной пополам нитью ртути имеется узкая токопроводящая зона. Ее положение пропорционально количеству зарядов, прошедшему через трубочку, т. е. произведению силы тока на время. При пропускании через стеклянную трубочку с заданным сечением постоянного тока в несколько микроампер сдвиг щели будет зависеть уже только от времени. Габаритные размеры электронного счетчика часов работы производства фирмы «Куртис» $48 \times 10 \times 10$ мм, длина шкалы — 25 мм, что делает возможным измерение временного промежутка в 1000 ч с точностью 1%. Перевернув после тысячи часов трубочку на 180°, счетчик вновь можно установить на ноль.

Однако для контроля качественных параметров необходимы измерительные приборы, которыми располагают только крупные лаборатории. Поэтому большое значение имеют все начинания, открывающие наиболее взыскательным коллекционерам возможность для быстрой проверки звукоснимателя и проигрывателя. Основные тре-

бования к такому оборудованию: для объективных измерений должно использоваться как можно меньше приборов. Вторым ограничением является то, что контролю должны подвергаться проигрыватели, работающие при прижимной силе меньше 30 мН, так как при большем ее значении измерительные пластинки преждевременно приходят в негодность.

Для процесса проверки звукоосцилляторов, разработанного фирмой «Шур», помимо проигрывателя, необходимы: линейный усилитель, простой (с чувствительностью 100 мВ/см) переносной осциллограф, микроскоп со 100- или 300-кратным увеличением и три измерительные пластинки (TTR102, TTR103, TTR107). Для акустического контроля необходимо добавить еще стереофонический усилитель и две акустические системы.

Проверяемую иглу звукоосциллятора очищают кисточкой, смоченной в спирте, затем исследуют под микроскопом. Если игла оказывается очень изношенной, ее следует исключить из дальнейших испытаний, иначе неминуемо повреждение измерительных пластинок. На следующем этапе с помощью стробоскопа проверяется частота вращения проигрывателя, взятого для исследований, и устанавливается рекомендованная для звукоосциллятора прижимная сила. После этого по осциллографу проверяется правильность фазирования звукоосциллятора: сигнал с левого канала подается на вертикально отклоняющие пластины, с правого — на горизонтально отклоняющие. Значения двух сигналов показывают разность чувствительностей каналов звукоосциллятора. При проигрывании стереофонической канавки при сфазированном звукоосцилляторе на экране осциллографа можно видеть наклоненную вправо на 45° прямую (фигура Лиссажу). В случае несфазированного звукоосциллятора прямая линия наклонена влево. Можно проконтролировать и разделение сигналов на частоте 1000 Гц.

По осциллографу просто можно проверить точность компенсации скатывающей силы. Стереофонический сигнал частотой 100 Гц с уровнем 0 дБ должен образовать на экране осциллографа прямую линию с наклоном в 45° или симметричное отклонение от осей. Наконец, проверяется способность следования звукоосциллятора в трех диапазонах. В низком диапазоне на частотах 400 и 4000 Гц, в среднем на частотах 1000 и 1500 Гц, а на высоких частотах способность следования проверяется по пакету звуковых импульсов с частотой 10,8 кГц.

Весь описанный выше цикл измерений требует времени не более десяти минут. В 1973 г. на выставке радиоаппаратуры в Амстердаме измерительная лаборатория ежедневно обслуживала по две сотни любителей. На каждую головку звукоосциллятора выдавалось свидетельство.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ВАЖНЕЙШИЕ СТАНДАРТЫ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ В ТЕКСТЕ

MSZ21381-71 — Грампластинки (технические требования, испытания). Hanglemez (Műszaki Követelmények, Vizsgálat).

MSZ11134-71 — Проигрыватели. Lemezjátszó.

ICE publ 98/1963. — Processed Disc Records and Reproducing Equipment (Международные рекомендации).

DIN45500, Blatt 3 — Mindestanforderungen an Schallplatten — Abspielgeräte.

2. ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ НА ПРАКТИКЕ ЕДИНИЦЫ, НЕ ОТНОСЯЩИЕСЯ К СИСТЕМЕ СИ

Единицы длины:

1" (дюйм) = 25,40005 мм

1 фут = 12" = 304,8 мм

1 мил = 1/1000" = 25,4 мкм

Единицы силы:

1 дин = $10^{-5} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = 10^{-5} \text{ Н}$

1 г = 9,81 мН

Единицы массы:

1 кар = 0,2 г

Единицы давления:

1 ат = 1 кг/см² = 9,81 Н/см² = 98,1 кН/м²

Магнитные единицы:

1 мМкс = $10^{-11} \text{ В} \cdot \text{с} = 10 \text{ пВб}$

1 Гс = $10^{-4} \text{ В} \cdot \text{с/м}^2 = 10^{-4} \text{ Т}$

1 Э = $10^3/4\pi \text{ А/м} = 79,577 \text{ А/м}$

Единицы температуры:

$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ} \text{ F} - 32)$

3. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ НЕКОТОРЫХ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы мкм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					Максимальная	Минимальная	Рекомендованная	
«Аудио Дайнемик Корпорейшн» (США)	10E	IM	5×20	35·10 ⁻³	5	10	7	Для смены пластинок
	10E MkII	IM	7×17	40·10 ⁻³	5	15		
	10E MkIV	IM	7×18	35·10 ⁻³	5	15		
	22XE	IM	15	25·10 ⁻³				
	25	IM	7×18	50·10 ⁻³	5	15	6	
	26	IM	7×18	50·10 ⁻³	5	15		
	27	IM	7×18	40·10 ⁻³	5	15		
	220	IM	17	20·10 ⁻³	5	2		
	220X	IM	17	20·10 ⁻³	20	50		
	220XE	IM	7×18	20·10 ⁻³	15	25		
	550XE	IM	7×18	35·10 ⁻³	7,6	15		
	990XE	IM	7×18	25·10 ⁻³	15	30		
	Q30	IM		25·10 ⁻³	10	20		
	Q32	IM		25·10 ⁻³	10	20		
	Q36	IM		30·10 ⁻³	10	15		
	VLM	IM	7×18	35·10 ⁻³	7,5	15	10	
	XLM	IM	7×18	50·10 ⁻³	40	10	6	
	XLM Super	IM	5×50					
			«Сибата»					
	660E	IM	5×20	20·10 ⁻³	15	30		
	660	IM	12	20·10 ⁻³	15	40		

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы, мкм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					Минимальная	Максимальная	Рекомендованная	
«Акустише унд кино герете» (Австрия)	PU2R		15	12·10 ⁻³	15	30		Для устройства со сменной пластинок; вертикальный угол 22°
	PU3E		8×18	18·10 ⁻³	12,5	25		
	PU4E		8×18	26·10 ⁻³	7,2	20		
«Банг энд Олуфсен» (Дания)	SP9	MMC	5×17	15·10 ⁻³	15	20		CD-4
	SP10	MMC	15	25·10 ⁻³	10	15		
	SP12	MMC	5×17	25·10 ⁻³	10	15		
	SP14	MMC	15	25·10 ⁻³	15	25		
	SP15	MMC	5×17	30·10 ⁻³	7	15	10	
	MMC3000	MMC	15	25·10 ⁻³			12	
	MMC4000	MMC	5×17	30·10 ⁻³			10	
	MMC5000	MMC	7×70	25·10 ⁻³			15	
	MMC6000	MMC	«Сибага» 7×50	30·10 ⁻³			10	
	4RC		«Праманик» 12×17		30	35		
«Декка» (Англия)	STS244-17	MM	17		15	30		Двойной переменный шунт
	STS344-17	MM	17		10	20		
«Элак» (США)	STS444-12	MM	12		7,5	15		Вертикальный угол 20°
	STS444-E	MM	5×22,5		7,5	15		
	STS555-12	MM	12	45·10 ⁻³	5	10		
	STS555-E	MM	6×18	45·10 ⁻³	5	10		
	STS655-D4	MM	«Сибага»	40·10 ⁻³	7,5	15		

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы, мкм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					Минимальная	Максимальная	Рекомендованная	
«Эмпайр» (США)	999PE/X	MM	7×17		7,5	20		
	999SE/X	MM	7×17		5	15		
	999TE/X	MM	5×17		5	15		
	999VE/X	MM	5×17		5	15		
	1000ZE/X	MM	5×17		2,5	12,5		
«Электроместехник» (ФРГ)	4000D	MM					50	
	OFD25	MC	25	5·10 ⁻³			50	} Сапфир Вертикальный угол 15°±2°
	OFD65	MC	65*	5·10 ⁻³				
	TSD15	MC	15	12·10 ⁻³	20	30		
	TMD25	MC	25	12·10 ⁻³	20	30		
	TND65	MC	65*	12·10 ⁻³	20	30		
«Эуфоникс» (Япония)	CK15P	SC	12	15·10 ⁻³	15	20		
	CK15LS	SC	5×23	25·10 ⁻³	12	15		
	4MD-20X	MM	«Сибата»	35·10 ⁻³	15	20		CD-4
	EPG450C	SC	«Сибата»		13	25		CD-4
	F15E	VMS	8×18	25·10 ⁻³	10	20	15	
«Ортофон» (Дания)	F15	VMS	15	25·10 ⁻³	10	20	15	
	FF15E	VMS	8×18	20·10 ⁻³	10	30	20	
	FF15	VMS	15	20·10 ⁻³	10	30	20	
	FF15/BC	VMS	15	8·10 ⁻³	60	80	60	
	FF15/78	VMS	65	20·10 ⁻³	10	30	20	Для 78 мин ⁻¹
	M15E	VMS	8±1×18±2	25·10 ⁻³	7,5	20		

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы, мм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					минимальная	максимальная	рекомендованная	
«Филипс» (Голландия)	M15	VMS	15±2	25·10 ⁻³	7,5	20		
	M15E Super 4	VMS	8×18	50·10 ⁻³	7,5	15	10	
	M15 Super	VMS	15	50·10 ⁻³	7,5	15	10	
	MF15E	VMS	8+2·18+4 -1-2	25·10 ⁻³	10	30		
	MF15	VMS	15+5 -2	25·10 ⁻³	10	30		
	M20E	VMS	6×18	40·10 ⁻³	5	12	10	
	SL15E	MC	8×18	25·10 ⁻³	7,5	15		
	SL15	MC	15±2	25·10 ⁻³	7,5	15		
	SL15E MkII	MC	8×18	25·10 ⁻³	15	20		
	SL15 MkII	MC	15	25·10 ⁻³	15	20		
	SL15Q	MC	Бизеллипти- ческая	25·10 ⁻³	15	20		CD-4
	VMS20E	VMS	8×18	40·10 ⁻³	7,5	15	10	
	VMS20S	MM	15	40·10 ⁻³	7,5	15	10	
	GP410	MM	15	10·10 ⁻³	20	40		
	GP411	MM	15	10·10 ⁻³	20	40		
	GP400	MM	15	20·10 ⁻³	15	30	20	
	GP401	MM	7×18	20·10 ⁻³	15	30	15	
	GP412	MM	7×18	25·10 ⁻³	7,5	15	12	
	GP412VE	MM	7×18					
	GP422	MM	7×18	40·10 ⁻³	7,5	12		CD-4

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы, мм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					минимальная	максимальная	рекомендованная	
«Пикеринг» (США)	XV—15/350	ММ	18		20	30		DUSMATIC —>—
	XV—15/400E	ММ	Эллиптическая		15	20		
	XV—15/750E	ММ	Эллиптическая		15	20		
«Шур» (США)	V—15AM III	ММ	17		20	30		—>— —>— —>— —>—
	V—15AM IVE	ММ	17 × 22		15	20		
	M31E	ММ	5 × 17,8	15 · 10 ⁻³	10	20		
	M32E	ММ	10 × 17,8	10 · 10 ⁻³	25	50		
	M44,5	ММ	12,5		7,5	15		
	M44,6	ММ	15		7,5	15		
	M44,7	ММ	17,8		15	30		
	M44-C	ММ	17,8		30	50		
	M44E	ММ	10 × 17,8	15 · 10 ⁻³	17,5	40		
	M55E	ММ	5 × 17,8	20 · 10 ⁻³	7,5	20		
	M75D	ММ	15	20 · 10 ⁻³	20	30		
	M75G	ММ	15		7,5	15	10	
	M75E	ММ	5 × 17,8		7,5	15	10	
	M75EJ	ММ	10 × 17,8		15	30	20	
	M75B	ММ	15		15	30	20	
	M75-6	ММ	15		15	30	20	
	M91MG	ММ	15	35 · 10 ⁻³	7,5	15	10	
	M91E	ММ	5 × 17	35 · 10 ⁻³	7,5	15	10	
	M93E	ММ	Эллиптическая		15	30	10	

Фирма (страна)	Тип	Метод преобразования	Радиус иглы, мм	Гибкость, м/Н	Прижимная сила, мН			Примечание
					минимальная	максимальная	рекомендованная	
«Стэнтон» (США)	M95V15	ММ	17		7,5	15		Для 78 мин-1 эллиптическая
	MkIC							
	V15MkIIE	ММ	5×17		7,5	15		
	V15MkIIIG	ММ	15		2,5	12,5		
	V15MkIIII	ММ	5×18		2,5	12,5		
	SC35C	ММ			40	50		
	SC78E	ММ	Эллиптическая					
	500A		18		10	30		
	500AA		13		10	25		
	500E		10×20		10	20		
«Тосба» (Япония) «RFT» (ГДР) «Тесла» (Чехословакия)	681A		18		15	30		
	681EE		4×20		7,5	15		
	681SE		Эллиптическая		20	40		
	C100P	РН	7,8×20,3	30·10 ⁻³	10	20**	12—17	
	C401S	ЕС	7×20		10	25		
	MS15SD	VMS	15 ... 3	4·10 ⁻³	30	50		
	MS16SD	VMS		(6—10)·10 ⁻³	20	30		
	VN2101	ММ		5·10 ⁻³	20	30		
	VN2102			8·10 ⁻³	20	25		

Примечание. Обозначения головок звукоусилителей: МС — с подвижной катушкой; ММ — с подвижным магнитом; ММС — с подвижным микрокредом; VMS — переменное магнитное сопротивление; ГМ — с индуцированным магнитом; ЕС — емкостная; SC — полупроводниковая; РН — фотоэлектрическая.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие к русскому изданию	3
Предисловие к венгерскому изданию	4
1. Краткая история развития грамзаписи	5
1.1. Путь к записи звука	5
1.2. Шарль Кро и Том Эдисон	6
1.3. Фонограф	7
1.4. Граммофон Эмиля Берлинера	8
1.5. Переход к электрической записи звука	10
1.6. Долгоиграющие пластинки	13
2. Современная техника производства пластинок	15
2.1. Запись звука	15
2.2. Перезапись на лаковый диск	15
2.3. Гальванический процесс	22
2.4. Тиражирование пластинок	24
2.5. Пластинка как средство хранения информации	26
2.6. Четырехканальные пластинки	32
3. Головки звукооснимателей и иглы	35
3.1. Классификация головок звукооснимателей	35
3.2. Параметры головок звукооснимателей	36
3.3. Контакт иглы со звуковой канавкой	41
3.4. Пьезоэлектрические головки звукооснимателей	56
3.5. Магнитные головки звукооснимателей	59
3.6. Электронные головки звукооснимателей	66
4. Тонармы	73
4.1. Требования к тонармам	73
4.2. Тонармы обычной системы (тонармы, вращающиеся вокруг одной точки)	91
4.3. Тонармы новых систем	97
4.4. Электронные устройства тонармов	100
5. Движущий механизм	105
5.1. Требования и качественные параметры	105
5.2. Системы привода	108
5.3. Электронные устройства двигателя	114
5.4. Диск проигрывателя	124
5.5. Панель, корпус и пылезащитная крышка	128
6. Проигрывание пластинок	130
6.1. Выбор проигрывателя	131
6.2. Покупка проигрывателя и ввод его в эксплуатацию	136
6.3. Усилители	139
6.4. Акустические системы	144
6.5. Высококачественное прослушивание пластинок	149

7. Коллекционирование пластинок и уход за ними . . .	151
7.1. Выбор, покупка и доставка пластинок домой . . .	151
7.2. Хранение пластинок	152
7.3. Уход за пластинками	154
7.4. Срок службы иглы и звуковой канавки	163
7.5. Проверка головки звукоснимателя	164
Приложения	166
1. Важнейшие стандарты, встречающиеся в тексте . . .	166
2. Встречающиеся на практике единицы, не относящиеся к системе СИ	166
3. Основные данные некоторых звукоснимателей . . .	167

Ласло Дегрелл

Проигрыватели и грампластинки

Редактор *Н. В. Ефимова*
Художественный редактор *Н. С. Шейн*
Технический редактор *Т. Н. Зыкина*
Корректор *Л. А. Буданцева*

ИБ № 93

Сдано в набор 09.02.1982 г.	Подписано в печать 04.06.1982 г.
Формат 84×108 ¹ / ₃₂	Бумага кн.-журн.
Усл. печ. л. 9,24	Усл. кр.-отт. 9,66
Изд. № 19251	Заказ № 1123
Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693	Цена 60 к.
	Тираж 50 000 экз.

Набрано в типографии издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693
Отпечатано Подольским филиалом производственного объединения «Периодика»
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
г. Подольск, ул. Кирова, д 25

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

В 1982 г. в издательстве «Радио и связь» в серии «Кибернетика» выйдет в свет книга

Ч а к а н ь А. **Что умеет карманная ЭВМ!:** Пер. с венгер. — 10 л.

Дан обзор развития и современного состояния карманных электронно-вычислительных машин. В популярной форме изложены принцип действия и устройство программируемых и непрограммируемых карманных ЭВМ, рассмотрены основные их характеристики и технические возможности. Показана возможность использования карманных ЭВМ в качестве игровых средств. Приведены полезные рекомендации и советы, необходимые для выбора, покупки и эксплуатации карманных ЭВМ.

Для широкого круга читателей. Может быть полезна учащимся, инженерно-техническим работникам, экономистам, бухгалтерам и всем лицам, кто в процессе учебы, работы или в быту использует карманные ЭВМ.

Приобрести эту книгу Вы можете в книжных магазинах, распространяющих литературу по данной тематике.

60 к.

РАДИО И СВЯЗЬ