

Жизненная аудиотехника

ВНУТРЕННИЕ ВРАГИ
HIGH END

НЕДОРОГОЙ
ПРОИГРЫВАТЕЛЬ
С ХОРОШИМ
ЗВУЧАНИЕМ

НАСТОЯЩИЙ
HIGH END ИЗ КАНАДЫ

НАУШНИКИ
ФИРМЫ SENNHEISER

КЛАССА

АПРЕЛЬ 1996

ПРИЗНАНИЕ САКСОФОНА

ОБЗОР
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ
КОМПАКТ-ДИСКОВ

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 72657

Внутренние враги HIGH END

Внутренними врагами элитной звукотехники можно назвать резонансы и перегревы. Причина первых - в резонансах компонентов и несущих конструкций, вторых - в низком энергетическом совершенстве (особенно ламповой) аппаратуры. Мы предполагаем посвятить несколько статей рассмотрению физической сущности этих явлений с необходимым минимумом инженерных расчетов. Начнем с резонансов.

Рем Варламов
д.т.н., профессор

Увлечения различными модными "верованиями" не могут не затронуть такую труднообъяснимую область как обеспечение натуральности звучания высококачественной аудиотехники. Не случайно в сентябре 1995 г. журнал "Hi-Fi & Music" в статье своего научного обозревателя "32 ступени в рай" пишет (но не объясняет) о влиянии дополнительных стоек и грузов на работу различных аппаратов, а "Stereo & Video" в январе 1996 года дает подборку статей семи авторов под общим заголовком "Не знаю почему, но это помогает..."

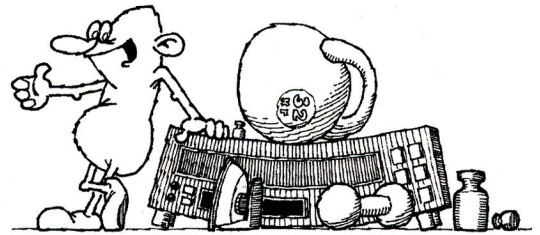
Смысл этих публикаций сводится к тому, что хотя непонятно почему, но "шаманство" со "столиками Мана", коническими шипами, гирями, дробью и сорботановыми прокладками дает эффект. Купите, попробуйте и убедитесь сами в этой "магии". В магии ли дело? Думается, что затруднения в оценке перечисленных в статьях эффектов возникают из-за отсутствия достаточных знаний у тех покупателей, которые экспериментируют, и из-за стремления скрыть основы своего "ноу-хау" производителями и продавцами. Вместе с тем проблеме внутренних резонансов посвящено достаточно много работ отечественных и зарубежных специалистов по виброшумам радиоаппаратуры.

Немаловажным фактором, затрудняющим понимание физического смысла упомянутых эффектов, является и то обстоятельство, что принципиальные схемы, конструкции электронных ком-

понентов, аппаратов и внешние воздействия на них рассматривают в виде упрощенных моделей (проводник не имеет сопротивления, конденсатор имеет только емкость, катушка - индуктивность, резистор - сопротивление; аппарат - одномассовая система, резонансная частота - только одна и т.д.). Не претендуя в рамках журнальной статьи на полноту изложения, хочу поделиться с читателями общими соображениями о тех факторах, которые необходимо учитывать при воздействии вибраций на аудиоаппаратуру. Каким же образом возникают вибрации в аппаратах и электронных компонентах? Существуют две схемы таких воздействий: путем приложения знакопеременной силы непосредственно к аппарату с упругими опорами, установленному на абсолютно жестком основании (силовое возмущение) и через вибрации основания, передающего вибрации аппарату (кинематическое возмущение).

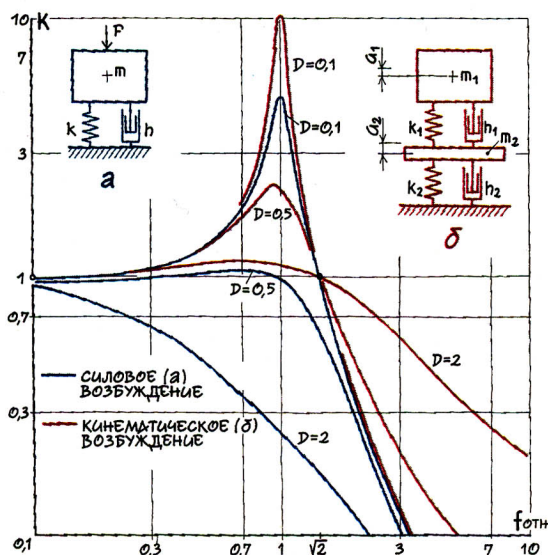
Схематически эти два вида возмущений (возбуждений механических колебаний) показаны на рисунках: силовое (а) и кинематическое (б). Возбуждающая сила F действует на аппарат с массой m , что вызывает его перемещение по вертикальной оси Z . Аппарат установлен на виброизоляторах (амортизаторах) с суммарной жесткостью k и вязкостью h . Так как масса является аналогом индуктивности, жесткость - емкости, а вязкость - сопротивления, то в случае (а) эквивалентную схему этой механической системы можно предста-

вить в виде одиночного колебательного контура. При кинематическом возбуждении причиной вибрации аппарата является перемещение основания O_2 , установленного на виброизоляторах и вызывающего перемещение аппарата с амплитудой A_1 . В этом случае эквивалентом системы будут два связанных контура. В первом случае система имеет как минимум одну, а во втором - две резонансные частоты. Однако аппарат может совершать колебательные движения вдоль трех независимых осей X, Y, Z (три линейных перемещения), а вокруг этих же осей возможны еще три вращательных перемещения. Поэтому на практике даже при наличии одной возмущающей силы возможны как минимум 6 различных резонансов при силовом и 12 - при кинематическом возбуждении. Это существенно усложняет анализ механических систем. Второй проблемой является необходимость рассмотрения резонансной кривой системы "аппарат + виброизолятор" в полном, а не упрощенном виде, как это обычно принято в радиотехнике. Эта кривая несимметрична и изменяет свою форму в зависимости от способа возбуждения колебаний и величины демпфирования. В нижней части рисунка приведены 6 резонансных кривых для обоих способов возбуждения. Коэффициент K показывает относительное изменение амплитуды колебаний при изменении относительной частоты $f_{отн}$ (отношения частоты возмущающей силы к резонансной частоте аппарата или компонента). Коэффициент кинематической вязкости D представляет собой величину, являющуюся обратным аналогом добротности контура (при малых значениях D добротность высокая, при больших значениях - низкая).



При силовом возбуждении только при малых величинах D возможно увеличение амплитуды возмущающих колебаний на резонансной частоте в 3...5 раз. При больших D резонансы выражены слабо или вообще отсутствуют. При кинематическом возбуждении при резонансе возможно увеличение амплитуды вынужденных колебаний в 10...20 раз. При $f_{отн} = 2$ она становится равной амплитуде возбуждения. При дальнейшем увеличении $f_{отн}$ амплитуда колебаний уменьшается, причем тем быстрее, чем выше механическая добротность системы. Оба вида возбуждения колебаний могут существовать одновременно, иметь стохастический характер с шириной спектра от единиц до десятков тысяч герц. Таким образом, корпус, приводные механизмы, печатные платы, установленные на платах компоненты и другие элементы конструкции аудиоаппаратуры при воздействии на них внешних и внутренних возбуждающих сил выступают в роли своеобразного "механического оркестра", партитура которого накладывается на сигналы в электрических цепях. Величина амплитуды этих колебаний составляет всего от 1 до 10 мкм и 10-100 мкм во время наступления резонанса. Она соизмерима и даже превышает размеры пита компакт-диска (0,1...0,6 мкм), штриха фонограммы на магнитной ленте (10 мкм), ширины канавки грампластинки (35 мкм). С учетом этого рассмотрим физическую сущность трех групп "странных" механических эффектов, с которыми авторы статей в некоторых журналах предлагают бороться методом "проб и ошибок".

Дополнительная масса. Возможны два варианта. Первый - увеличение массы аппарата, за счет чего его собственный резонанс переместится в область более низких частот. В этом случае система виброизоляции аппарата начнет эф-



фективно гасить и поможет устранить, например, вибрации транспорта проигрывателя компакт-дисков, которые раньше усиливались за счет резонансных явлений. Второй вариант заключается в установке на вибрирующую упругую крышку корпуса проигрывателя дополнительного груза или помещения под проигрывателем упругих прокладок. В этом случае создается система с двумя массами, в которой возможны как явления антирезонанса, когда на какой-то частоте не происходит увеличения амплитуды колебаний, так и сложные резонансные явления, которые оказывают отрицательное воздействие на работу аппарата.

Резонансы компонентов. Резонансные явления в электронных компонентах и элементах конструкции аппаратуры влияют не только на механические, но и весьма заметно воздействуют на электрические параметры. В отечественной литературе этот вид воздействий еще два десятилетия тому назад получил название “виброшумы радиоаппаратуры”. Коротко рассмотрим реакцию основных видов электронных компонентов на вибрации.

Резисторы. Диапазон резонансных частот от сотен до десятков тысяч герц зависит от массы и жесткости выводов. Из-за усталостных напряжений возможны изменения проводимости (особенно в объемных резисторах), увеличение уровня шумов, ненадежность контактов.

Конденсаторы. Резонансные частоты находятся в диапазоне 100...600 Гц. Особо чувствительны к резонансам электролитические конденсаторы (нестабильность переходного сопротивления между обкладками и выводами) и блоки конденсаторов переменной емкости, при изменении расстояния между пластинами которых возникают паразитная модуляция полезного сигнала и искажения звука.

Катушки индуктивности. Высокочастотные катушки индуктивности весьма малогабаритны и обладают достаточной виброустойчивостью. Низкочастотные катушки со стальными сердечниками могут быть источниками искажений и шумов за счет магнитострикционных эффектов.

Полупроводниковые и электровакуумные приборы. Резонансные частоты находятся в диапазоне от десятков до тысяч и от тысяч до десятков тысяч герц. При воздействии вибраций возникают микротрещины в материалах, хо-

лодные пайки, происходит изменение электрических параметров и увеличение шумов, что приводит к ухудшению качества электрического выходного сигнала. *Контакты в разьемах и реле.* Изменение переходного сопротивления в контактных парах в 10 и более раз вызывает паразитную модуляцию полезного сигнала.

Кабели. Электрические шумы в кабелях возникают за счет электростатических полей от трения изоляции о жилу кабеля и об экранирующую оплетку, из-за периодического нарушения переходного сопротивления между жилами оплетки.

Столики Мана. Первые публикации о заметном улучшении звучания акустических систем, установленных на стеклянные плиты, появились четверть века назад. Комбинация плит с коническими металлическими или упругими ножками может быть представлена в виде модели (а), в которой материал плиты эффективно поглощает энергию вибраций, что сводит к минимуму резонансные явления, а использование игольчатых опор позволяет обеспечить эффективную развязку плиты от пола помещения или от предыдущего “столика”, что уменьшает амплитуды вибраций в аппарате и улучшает его электрические характеристики. Использование этажерки из “столиков” эквивалентно многозвенному фильтру, который в зависимости от реальных механических характеристик может быть фильтром нижних или верхних частот, полосовым или режекторным. Именно этим объясняется выполнение таких “столиков” с плитой из металла, специальной ДСП или особых сортов дерева, а также из стекла толщиной до 70-100 мм. Использование упругих промежуточных опор позволяет получить многозвенную колебательную систему (б), в отдельных звеньях которой целесообразно использовать игольчатые опоры.

Таким образом, теория колебаний механических систем и анализ реакции электрических параметров компонентов на механические возмущения позволяет, в определенной мере, объяснить на первый взгляд странные приемы улучшения звучания и использовать вместо метода “проб и ошибок” проверенные и известные приемы изменения резонансных характеристик аппаратуры и применяемых в ней компонентов для получения желаемых результатов.

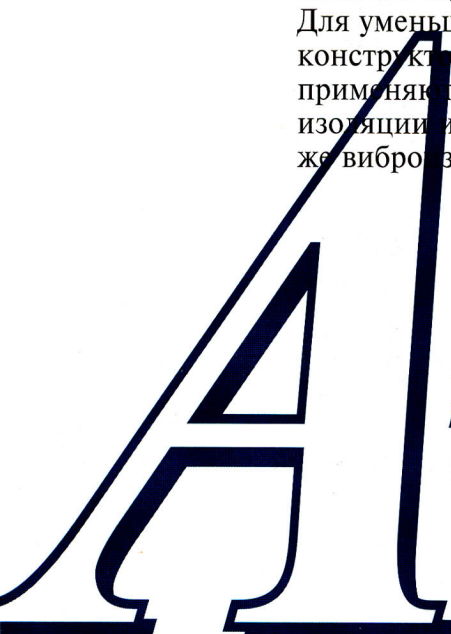
Корпус акустической системы помимо выполнения своей основной функции - формирования ее амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в области низких частот вносит значительные искажения в воспроизводимый сигнал из-за вибрации стенок и колебаний находящегося в нем воздуха. С уменьшением толщины стенок уменьшается величина звукового давления на низких частотах, увеличивается неравномерность АЧХ в области средних частот, возрастают уровень нелинейных искажений и длительность переходных процессов. Эти факторы вызывают так называемые "ящичные" призвуки, ухудшающие качество звучания. Поэтому конструированию корпусов в практике разработки высококачественных акустических систем уделяется самое серьезное внимание. Существуют два источника вибраций, вызывающих излучение звука стенками корпуса акустической системы:

- возбуждение колебаний находящегося в корпусе воздуха тыльной стороной диффузора установленной в нем головки громкоговорителя и передача колебаний через воздух стенкам корпуса;
- непосредственная передача вибраций от диффузородержателя головки передней стенке корпуса, а от нее боковым и задней стенкам.

Для уменьшения вибраций стенок конструкторы акустических систем применяют различные методы звукоизоляции и звукопоглощения, а также виброизоляции и вибропоглощения.

Один из широко применяемых способов звукопоглощения состоит в заполнении внутреннего объема корпуса минеральной ватой, специальным синтетическим волокном, шерстью, супертонким стекловолокном и другими материалами. Эффективность звукопоглощающих материалов оценивают коэффициентом звукопоглощения A , равным отношению величины поглощенной энергии $W_{\text{полгл}}$ к величине падающей энергии $W_{\text{пад}}$. Величина этого коэффициента зависит от частоты, толщины и плотности материала. Для увеличения величины коэффициента звукопоглощения на низких частотах увеличивают толщину звукопоглотителя, а также плотность заполнения им корпуса акустической системы. Однако наличие в корпусе чрезмерного количества звукопоглощающего материала приводит к снижению величины звукового давления на низших частотах и воспроизведению "сухого", невыразительного баса.

Звукоизоляция корпуса акустической системы определяется как количеством и физическими свойствами находящегося внутри него звукопоглощающего материала, так и звукоизолирующими свойствами его стенок. Задача разработчиков акустических систем состоит в том, чтобы максимально увеличить звукоизоляцию корпуса путем грамотного выбора его конструкции и материала стенок. Один из распространенных методов повышения звукоизоляции состоит в увеличении жесткости и массы стенок корпуса. Поэтому некоторые



**акустическая система —
ох, как это непросто!**

*Валерий Долуда
Владимир Шоров*

фирмы применяют для изготовления корпусов акустических систем мрамор, пенобетон и даже кирпич. Такие корпуса обеспечивают хорошую звукоизоляцию (до 30 дБ), однако имеют слишком большую массу. Более практичны корпуса, стенки которых изготовлены из двух слоев фанеры или древесностружечных плит с заполнением промежутка между ними песком, дробью или звукопоглощающим материалом. Для снижения амплитуды вибраций стенок корпуса используют вибропоглощающие покрытия в виде листовой резины, жесткой пластмассы, битумных мастик и т.п., наносимые на его внутренние поверхности.

Для уменьшения паразитного звукоизлучения корпуса в области средних и высоких частот применяют конструктивные меры, направленные на повышение собственных резонансных частот стенок корпуса. С этой целью увеличивают толщину стенок и применяют для их изготовления материалы с повышенной жесткостью и пониженной плотностью (к таким материалам относятся вспененные пластмассы, пенобетон с синтетическими наполнителями, древесностружечные плиты с наполнителем из латекса и др.), применяют стяжки или распорки между стенками, устанавливают ребра жесткости. Увеличение длины с одновременным уменьшением ширины стенок корпуса также способствует повышению его собственных резонансных частот. Именно это является одной из причин того, что большинство современных высококачественных акустических систем имеет корпус в виде колонны.

Для борьбы с прямой передачей вибраций от диффузородержателя головки передней стенки, а от нее и другим стенкам корпуса применяют сплошные резиновые прокладки, устанавливаемые между диффузородержателем и передней стенкой, локальные опорные виброизоляторы для крепежных винтов, амортизирующие прокладки между передней и боковыми стенками корпуса, развязку

диффузородержателя от передней стенки путем его опоры на дно корпуса и другие способы.

На качестве звучания сказывается и внешняя конфигурация корпуса (его форма, наличие отражающих звук выступов и впадин, величина радиуса скругления углов и т.д.), от которой зависит степень проявления дифракционных эффектов, вызывающих нарушение тембральной окраски и стереофонической звуковой картины. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что переход от прямоугольных корпусов с острыми углами к корпусам гладкой формы (например, в виде сферы) позволяет существенно уменьшить неравномерность АЧХ звукового давления в области средних и высших частот. Поэтому многие фирмы-изготовители высококачественных акустических систем устанавливают средние и высокочастотные головки громкоговорителей в блоки обтекаемой формы в виде сфер, цилиндров, кубоидов со скругленными углами, изолированные от акустического оформления низкочастотных головок.

Для уменьшения неравномерности АЧХ низкочастотного громкоговорителя переднюю стенку прямоугольного корпуса акустических систем выполняют как можно более узкой (насколько позволяют размеры низкочастотной головки). При этом частоты дифракционных пиков и провалов на его АЧХ расположены, как правило, выше частоты среза разделительного фильтра. Уменьшение ширины передней стенки корпуса способствует также расширению диаграммы направленности акустической системы. Глубина корпуса существенно влияет на величину “задержанных” резонансов, которые по-видимому и служат причиной давно установленного опытным путем факта, что акустические системы с плоским корпусом субъективно звучат хуже по сравнению с акустическими системами, имеющими достаточно глубокий корпус.

(Продолжение в следующем номере)