

## Введение

*В нем автор попытается на основе субъективного опыта восприятия звука и объективных результатов научных исследований предположить наличие взаимосвязи между некоторыми характеристиками звеньев современного тракта качественно-звуковоспроизведения и достоверностью воссоздания звукового образа.*

Что понимается под термином «достоверность» при воссоздании звукового образа?

Во-первых, следует отличать «достоверность» от «высокой верности» воспроизведения.

Много лет назад, когда создавался стандарт DIN 45500, немецкие инженеры смогли определить *минимальные* требования к техническим характеристикам тракта так называемой «высокой верности» (high fidelity) воспроизведения. С тех пор миллионы звучащих устройств обзавелись таинственной надписью «hi-fi», указывающей на принадлежность к некоей элитной группе. Что, естественно, подразумевало дополнительные затраты на их приобретение.

Но некоторое время спустя заносчивые и прагматичные американцы, в пике Европе, придумали суперэлитную категорию «high-end», чтобы подчеркнуть свою самостоятельность и устранить предел цены на бытовую (!) звуковоспроизводящую аппаратуру. Таким образом, взаимосвязь между качеством звуковоспроизведения, техническими характеристиками и ценой на такую аппаратуру была окончательно утрачена. Поэтому далеко не все изделия, причисляемые их разработчиками или продавцами к high-end, могут достоверно передать или воссоздать звуковой образ, запечатленный (recorded) каким-либо способом в процессе записи; это – во-вторых.

Редактор журнала *The Absolute Sound*, Гарри Пирсон (Harry Pearson), ввел термин «абсолютный звук», мудро определив его как «философский абсолют, который означает, что наши описания отклонений от этого абсолюта основаны не на субъективности, а скорее на наблюдении».

Каждый человек, *научившийся* слушать музыку, т. е. вобравший

в себя громадное число наблюдений, сформировал собственный эталон абсолютного звука. Тогда *достоверность* можно определить как *степень приближения* к этому внутреннему эталону. Однако многие люди не соотносят звуковой образ со своим эталоном, поскольку не могут *вспомнить* его отчетливо. Тогда вступает в свои права фантазия: «эксперты» начинают слышать то, чего нет, упуская подчас то, что звучит на самом деле. (Отмечу, что на основе этого коварного свойства человеческого слуха реализованы алгоритмы перцептуального кодирования звука MPEG-1 layer3 или MP3, ATRAC и т.д.). Когда звучание тракта объясняют в терминах «музыкальный», «отстраненный», «торопливый» и т.п., – значит, вы попали на очередного фантазера (ласковое название субъективиста).

Другую крайность воззрений на достоверность звукопередачи представляют так называемые «технократы», полагающие, что подробная сводка параметров аппарата вполне заменяет его прослушивание. При этом большинство «технократов» страдают тем же недугом, что и «фантазеры», но объясняют симптомы процентами, децибелами и килогерцами.

Бесспорно, фундамент достоверности закладывается на этапе записи музыкального произведения. Однако мы, потребители, можем «советовать» фирмам, что и как записывать только рублем, покупая или нет их продукцию. В этом смысле наше влияние на Concord, Telarc или EMI нельзя преувеличить. Мне, например, не нравится, как «лампово сладко» инженеры Chesky Records записали в Зальцбурге фортепианные концерты Моцарта, но выразить свое негативное отношение могу лишь, не покупая классику на компакт-дисках этой фирмы.

Почему *хочется* слушать фонограммы, выполненные Джорджем Мартином или С. В. Пазухиным?

Как получается, что многомикрофонная запись одного звукорежиссера передает пространство лучше, чем двухмикрофонная другого?

Отчего сочетание слов «digitally remastered» заставляет иногда поставить вожделенную пластинку обратно на полку магазина?

Только годы накопления *наблюдений* могут помочь пусть не ответить, но задуматься над этими и другими вопросами.

Автору практически не попадались критические обсуждения технологии записи и профессиональной аппаратуры для производства фонограмм в прессе. И это странно. Почему-то все, что делается на «той стороне», не подлежит обсуждению на «этой», хотя обратное имеет место. Очевидно, что соотношение «фантазеров» и «технократов» среди разработчиков профессиональной аппарату-

ры, звукорежиссеров и продюсеров примерно такое же, как и среди потребителей их продукции: люди есть люди. Далеко не все, что выходит из-под профессионального паяльника, отвертки и микшерского пульта удовлетворяет критерию достоверности, и это слышно «невооруженным ухом». Фантазер на студии звукозаписи – беда для аудиофилов: «замученный» обработками звук лишается жизненной силы и умирает при воспроизведении. Лишь немногие звукорежиссеры способны в процессе записи и сведения фонограммы обойтись без многочисленных устройств, призванных ускорить и «облегчить» технологический процесс, но, к сожалению, негативно влияющих на достоверность звукопередачи.

Профессиональная аппаратура, с которой автору приходилось иметь дело, редко представляла собой безукоризненные образцы схмотехнической реализации и бескомпромиссного звука. Когда весьма известная японская фирма заявляет в рекламном буклете, что некоторые из ее профессиональных наработок «украшают» старшие модели бытового модельного ряда, – вспоминается невыразительный звук проигрывателя компакт-дисков, используемого многими московскими радиостанциями.

Тем не менее профессиональная звуковая аппаратура разрабатывается и изготавливается, как правило, более грамотно, чем аппаратура условной категории high-end. Другое дело, что в ней иногда – в угоду сверхнадежности и производительности, – приносится в жертву сам звук.

Наконец продукт музыкальной индустрии – грампластинка или компакт-диск – появился в нашем доме. Возникает следующая, не менее сложная проблема: извлечь из него максимум достоверной информации.

Если конструирование проигрывателя компакт-дисков (CD) является, так сказать, задачей одномерной оптимизации, то построение *системы* для воспроизведения грампластинок (LP) – задача многомерная и более сложная: требуется состыковать стол, привод, тонарм и звукосниматель при изменяющихся входных параметрах. Каждый из этих узлов является сложной механической или электромеханической *нелинейной* системой высокого порядка; неоптимальная настройка системы в целом приводит к значительному увеличению паразитных спектральных составляющих в выходном сигнале, и даже к повышенному износу грампластинки.

Преобразователем скорости перемещения иглы в электрический сигнал является звукосниматель. Наиболее критичные динамические параметры звукоснимателя – приведенная (к кончику иглы) масса и способность следования (*tracking ability*), которые характеризует инерционные характеристики преобразователя для малых и

больших амплитуд записи, соответственно. Звукосниматели с подвижной катушкой – более «реактивные», жесткие, так как подчеркивают фронты сигналов за счет выбросов, обусловленных моментом инерции катушки; их пониженная податливость – следствие необходимого демпфирования крутильных колебаний. К сожалению, конструкция датчиков такого типа подразумевает (независимо от их цены) пропорциональность приведенной массы и чувствительности: например, при массе 0,25 мг выходное напряжение составляет всего 130 мкВ при амплитуде боковой колебательной скорости

5 см/с, тогда как для приведенной массы 0,4 мг выходное напряжение возрастает до 350 мкВ при той же скорости. В конструкцию звукоснимателя с подвижной катушкой заложено противоречие между эффективностью, которая определяется количеством витков и площадью рамки, и податливостью, поэтому, чем выше эффективность, тем меньше податливость и, соответственно, больше искажения. Звукосниматели с подвижным магнитом, на мой взгляд, обеспечивают лучшую разрешающую способность за счет на порядок более эффективной энергетике (при той же приведенной массе!), большей податливости и гладкой переходной характеристики.

Не менее важным звеном LP-системы является предварительный усилитель-корректор: чтобы разработать прибор, *прозрачный* для сигнала любого звукоснимателя при воспроизведении любой грампластинки (из попадавших в мое распоряжение), автору понадобились не один год прослушиваний, осмысления услышанного и применение результатов профессиональной деятельности в области электроники и измерительной техники. Без такого предусилителя-корректора автор не сумел бы разобраться в нюансах работы различных звукоснимателей, поскольку стимулом для исследований всегда являлся получаемый звук.

Оставляю в стороне бесполезный спор: что лучше, – грампластинка или компакт-диск, аналог или цифра? Они будут сосуществовать, пока мы будем их слушать. Но очевидно, что LP-технология не развивается, она вытеснена на обочину музыкальной индустрии, в нее почти не вкладываются средства. Что вполне естественно ввиду физически обусловленного тупика в развитии механической записи.

Но посмотрите, как, развиваясь, цифровая технология мигрирует в сторону аналоговой! Новый формат DSD (торговое название носителей Super Audio CD), хотя и расшифровывается как Direct Stream Digital, т. е. прямой цифровой поток, по сути своей является аналоговым, поскольку представляет собой разновидность преобразования напряжения во временной интервал. Круг замыкается на новом *физическом* уровне: ограниченная разрешающая

способность механической записи преодолена при помощи лазера и оптики, которые обеспечивают бесконтактную и, следовательно, *безынерционную* запись.

Достоверность воспроизведения LP-системы даже среднего класса определяется, как ни странно, именно механической природой технологии: система не вносит *неестественных* для человеческого слуха паразитных спектральных составляющих, но обеспечивает приемлемую динамику в диапазоне малых сигналов.

Для широко распространенного формата CD-audio (CD-DA, компакт-диск) дело обстоит гораздо хуже: паразитные спектральные составляющие, возникающие в реальном процессе преобразований аналог-цифра и цифра-аналог, чужды нашему восприятию, поскольку имеют немеханическую природу и не заложены в генетический слуховой опыт человека.

При стандартной частоте преобразования 44,1 кГц все гармоник музыкального (т. е. случайного, нестационарного) сигнала с частотами выше 8,8 кГц (1/5 частоты преобразования) восстанавливаются со статистически *недостовверными* (т. е. не точно определенными) фазой и амплитудой, поскольку теорема Котельникова или критерий Найквиста справедливы только для стационарного сигнала, например синусоиды. Компромисс стандарта CD-audio основан на том, что в спектре большинства акустических музыкальных инструментов и человеческого голоса средний уровень гармоник с частотами выше 8,8 кГц невелик. За счет возможности (не всегда реализуемой на практике) сохранения точных фазовых соотношений в области средних частот от микрофона до цифроаналогового преобразователя, компакт-диск способен обеспечить более детальную и стабильную звуковую картину, чем аналоговый носитель.

Погрешности аналогового тракта, изменяющие спектр исходного сигнала, имеют случайную составляющую, которая также является аналоговой (непрерывной) и обусловлена механическим или магнитным принципом записи. К этим погрешностям относятся, например, контактный и модуляционный шум.

При условии качественного изготовления электромеханических узлов, проигрыватель грампластинок и отпечатанные с соблюдением технологии виниловые диски еще долго будут являться источником вполне достоверной музыкальной информации. Одними из лучших являются издания серии *Living Stereo* фирмы RCA Victor, многие записи *DECCA* и *Deutsche Grammophon* 1960-х и 1970-х годов, которые по звучанию близки к хорошей мастер-ленте и популярны среди аудиофилов даже в виде переизданий на компакт-дисках (иногда, оцифрованных с грампластинок).

В стандартном цифровом тракте (CD-DA) исходный аналоговый

сигнал прореживается двумерным (амплитуда – время) гребнем дискретизации, а затем, при обратном преобразовании, то, что было пропущено, восстанавливается – в условиях неизбежной апертурной неопределенности – при помощи какой-либо интерполяции. Поэтому в выходном сигнале никак не удастся избавиться от «призрака» этого самого гребня, даже при помощи передискретизации и подмешивания псевдослучайного шума.

Искусство разработчика проигрывателя компакт-дисков и цифроаналогового преобразователя состоит в том, чтобы максимально подавить этот призрак, не потеряв те крохи малых гармоник, которые отвечают за достоверность воссоздания звуковой картины. Если это удастся, то погрешности компромиссного стандарта CD-audio перестают существенно влиять на музыкальное впечатление.

Известен следующий исторический факт. В конце 1930-х годов немецкие звукоинженеры, лидировавшие в то время в области техники магнитной записи звука, проделали любопытный эксперимент. Они записали отдельно некоторые инструменты симфонического оркестра, а затем вырезали из музыкальных фрагментов фазы атаки и затухания, оставив только стационарные звуки. Ремонтированные отрывки дали прослушать исполнителям. Результат был совершенно неожиданным: музыканты не узнавали звучание своих инструментов! Этот эксперимент впервые обратил внимание разработчиков на необходимость правильного воспроизведения переходных процессов всеми звеньями тракта записи-воспроизведения звука: оказалось, что именно нестационарные фазы определяют характер звучания большинства музыкальных инструментов. По известным причинам бесценный опыт на долгое время был забыт.

*Наиболее пагубным для достоверного воссоздания звукового образа оказывается нарушение амплитудно-фазовых соотношений в области высших звуковых частот и малых амплитуд, которые определяют точность пространственного восприятия и пропорций гармоник в нестационарных фазах звукового сигнала (атаки и затухания). Именно адекватная передача переходных процессов является одним из главных требований к аппаратуре высококачественного воспроизведения.*

Низкую мощность источника звукового сигнала – усилителя-корректора или проигрывателя компакт дисков – необходимо согласовать с «прожорливым» потребителем – электромеханическим преобразователем, т. е. акустической системой. Функцию согласования выполняют усилители мощности звуковой частоты (УМЗЧ), которым и посвящена большая часть этой книги.

Любой усилитель вносит частотные, нелинейные, интермодуляционные, фазовые и дифференциально-фазовые (девиация фазы от амплитуды сигнала) искажения, изменяющие спектральный состав исходного сигнала и соотношение амплитуд различных гармоник.

Усилители бывают ламповые, полупроводниковые, гибридные и дискретно-аналоговые (их почему-то называют цифровыми). Последние имеют высокий к.п.д., но нестабильные частотную и амплитудную характеристики (как и усилители с токовым выходом), поэтому автор не будет их рассматривать.<sup>1</sup>

Звучание ламповых усилителей традиционно считается «музыкальным» и нравится фантазерам: действительно, надо иметь большое воображение, чтобы представить В. Горовица, играющего на «Стейнвее», когда из громкоговорителя доносятся звуки «Лирики» или «Суры». Однако «приятность» не является мерой достоверности звука.

Долгие десятилетия конструкторы ламповых усилителей комбинируют десяток элементов и ламп в надежде высечь «искру Божью», хотя число вариантов ограничено. Простота реализации стандартного «ламповика» привлекает в это старательское соревнование толпы начинающих аудиофилов. Но жила давно выработана... Зато велики советские запасы электровакуумных приборов, – хватит на всех!

Причина лампового «ренессанса» в восьмидесятых годах ушедшего века проста: первые модели проигрывателей компакт-дисков с их 12-разрядными цифроаналоговыми преобразователями звучали столь жестко и дискретно, что требовали лампового смягчения и подслащения. В профессиональной звукозаписи иногда применяются специальные устройства – эксайтеры (от англ. excite – вызывать эмоции), которые вносят в сигнал специально подобранные нелинейные и фазовые искажения, призванные «оживить» стерильные, на вкус звукорежиссера, фонограммы. Ламповые усилители, на мой взгляд, используются именно в этом качестве. *Но к достоверности это не имеет никакого отношения.*

Возможно ли, в принципе, создать более-менее достоверно звучащий ламповый усилитель? Специалисты, разрабатывавшие в 1950-х годах ламповую технику для военных целей, утверждают, что возможно: во-первых, надо изготовить выходной трансформатор по канонам импульсной техники так, чтобы его полоса пропускания составляла не менее 100 кГц; тогда реально введение общей от-

---

<sup>1</sup> Обнаружено неприятное явление, выражающееся в компрессии музыкального сигнала при работе усилителей с токовым выходом на электродинамические громкоговорители.

рицательной обратной связи (ООС) для линеаризации и улучшения фазовой характеристики усилителя, что совершенно необходимо – во-вторых. Слушая современные изделия любителей «баллонов», можно лишь сожалеть, что бесценный опыт оказался не востребованным.

В 1998 году, просматривая серьезный аудиофильский журнал *Stereophile*, автор обнаружил большую статью под провокационным названием «Будущее без обратной связи?». В ней, после исторической справки и пояснения принципа ООС, известный британский обозреватель Мартин Колломс<sup>2</sup> с рвением молодого следователя, анализировал звучание очередного лампового «чуда» ценою в многие тысячи долларов США, в котором, для развлечения аудиофилов, был устроен регулятор глубины общей ООС в пределах 0 ... 10 дБ. При увеличении глубины ООС автор отмечал общее проявление звуковой картины, но также появление «окрашивания». И делал «неожиданный» вывод, что ООС вредна, немusыкальна, и надо, по возможности, избегать ее применения. Тенденциозность статьи меня возмутила; и было написано письмо редактору журнала Джону Аткинсону, который его опубликовал, изъяв, правда, наиболее острые моменты (рекламодателей отпугивать нельзя).

Но вернемся к «окрашиванию». Дело в том, что ламповый усилитель с обычным выходным трансформатором при введении ООС превращается в *гребенчатый фильтр* звуковых частот и начинает работать как многополосный эквалайзер, так как трансформатор представляет собой инерционный элемент с распределенными параметрами. Попытки линеаризовать узкополосную или резонансную систему при помощи ООС вообще не могут быть успешными, – гласит теория автоматического регулирования. А «окрашивание» – предвестник самовозбуждения, которое, в свою очередь, является результатом неустойчивости.

Главная проблема реальной системы с отрицательной обратной связью – *устойчивость*. Усилительный каскад с использованием любого активного элемента (лампы или транзистора) всегда имеет несколько цепей ООС, как внутренних, физически обусловленных, так и паразитных, а также цепь стабилизации рабочей точки. Любое последовательное сопротивление в цепи катода лампы, эмиттера транзистора или истока полевого транзистора порождает ООС. Катодный (эмиттерный, истоковый) повторитель является усилителем со 100%-ной ООС. Таким образом, все разновидности усилителей

---

<sup>2</sup> *Martin Colloms*, специалист по громкоговорителям и акустическим системам, его монография *High performance loudspeakers* (Высококачественные громкоговорители) за 20 лет выдержала 5 изданий.



имеют ООС. (По меньшей мере, удивляют громогласные заявления некоторых «разработчиков» об отсутствии в их изделиях какой-либо обратной связи.)

Энциклопедия «Британника» утверждает, что обратная связь является основой природы. Выживание человека как биологического вида является результатом его приспособления к окружающему миру, т. е. обратной связи. Повышение температуры воздуха вызывает выделение пота и, как результат, охлаждение тела человека, – пример работы отрицательной обратной связи. Так почему инженеры и конструкторы должны избегать использования обратной связи в своих разработках? На протяжении двух веков, начиная с регулятора Уатта в паровой машине (1768), и математического формулирования обратной связи Максвеллом (1868), ООС работает на пользу человечества во всех областях науки и промышленности.

Для чего необходима общая ООС? Какими *уникальными* свойствами может поделиться она усилитель?

Изучение доступных литературных и сетевых источников, а также 30-летний опыт в разработке аналоговых схем, позволяют автору утверждать, что никакие ухищрения не могут опустить и, главное, *удерживать* уровень нелинейных и интермодуляционных искажений в ламповых и транзисторных усилителях без общей ООС ниже  $-50$  дБ (примерно 0,3%). Пуристы от аудио считают такой результат вполне достаточным. С этим трудно согласиться: психо- и метафизические мотивации не могут оправдать наличие паразитных спектральных составляющих в выходном сигнале усилителя. *Грамотное* использование ООС позволяет в 100 и более раз снизить уровень таких искажений, т. е. вывести их за порог заметности (на уровень шума). Однако, как было отмечено выше, для ламповых трансформаторных усилителей этот путь практически закрыт, хотя, при соответствующей конструкции выходного трансформатора, теоретически возможен.

Выходное сопротивление мощного усилителя без ООС имеет ощутимое значение в несколько Ом. Параллельное включение активных элементов с целью снижения выходного сопротивления (и повышения надежности) приводит к размыванию импульсной характеристики усилителя и уменьшению его полосы пропускания. Это относится ко всем типам усилителей.

Использование ООС позволяет понизить выходное сопротивление до пределов, обусловленных конструктивным исполнением усилителя, т. е. контактного сопротивления разъемов.

И, наконец, *только общая ООС позволяет справиться с фазовыми и дифференциально-фазовыми искажениями*, которые присущи любому усилительному каскаду и влияют на достоверность вос-

создания звукового образа, затрудняя локализацию виртуальных источников звука, разрушая тонкие фазовые соотношения в *нестационарных* спектрах сигналов натуральных источников звуковых колебаний, а также в спектрах их отражений и переотражений.

Научно обоснованное, корректное использование ООС позволяет создавать усилители низкой частоты, обеспечивающие *высокоточную*, адекватную передачу звуковых сигналов. Это становится особенно актуальным с появлением новых источников звуковых сигналов действительно высокого разрешения – проигрывателей SACD и DVD-Audio, преимущества которых совершенно теряются при совместном использовании с усилителями, построенными

на принципах и элементах 70-летней давности.

Корни неприятия отрицательной обратной связи многими разработчиками усилителей лежат в *непонимании* принципов ее работы и *неумении* применять на практике основные элементы теории автоматического регулирования. Более того, с конца 1970-х годов ругать ООС стало модным занятием. Большинство журналистов, пишущих на аудиофильские темы, не перестают «лягать» ООС, хотя это также глупо, как сетовать на погоду. В этой книге автор старается в доходчивой форме разъяснить принципы построения усилителей с ООС и развеять предубеждение к ней, хотя бы среди подрастающего поколения.

В последние годы появляются гибридные и полупроводниковые усилители, являющиеся «кальками» бестрансформаторных ламповых схем. В них, в основном, применяются мощные полевые транзисторы. Однако использование «ламповых» и минималистских принципов при построении усилительных схем на таких специфически нелинейных приборах, как транзисторы, не свидетельствует об эрудиции разработчиков. Тупиковой ветвью являются балансные УМЗЧ без общей ООС, в которых скомпенсировано почти все, кроме нечетных гармоник и их комбинационных составляющих. Все эти усилители, как правило, отличаются повышенным уровнем интермодуляционных и дифференциально-фазовых искажений, поэтому им совершенно «не даются» оркестровые и хоровые произведения. Автор не рассматривает подобные схемы, поскольку считает, что это бессмысленное занятие с точки зрения обеспечения приемлемого качества звуковоспроизведения.

Что же в остатке? Полупроводниковый усилитель с глубокой ООС и разомкнутой АЧХ, оптимизированной для импульсных сигналов. Как оказалось, только он может обеспечить достоверность. Автор разработал такой усилитель в 1984 г. и позже в 1988 г. назвал его УМВТ84 (усилитель мощности высокой точности, год раз-

работки 1984). Прошедшие годы подтвердили, что совершенство его структуры обеспечивает неприхотливость к элементной базе, большой запас по характеристикам и возможность модернизации. Автор не смог бы даже подобраться к проблеме достоверности, не имея возможности сравнивать другие усилители мощности с таким эталоном.

Кабели – почти сплошная коммерция и грандиозное поле «деятельности» для фантазеров всех мастей, к сожалению. Сколько шарлатанства и спекуляций связаны с обычными соединительными проводами! Опубликовано множество наукообразных статей, полных скрытой рекламы. На полном серьезе обсуждаются изменения в звучании при замене материала диэлектрика оболочки звуковых (!) кабелей, увеличении чистоты меди его жил, изменении направления включения и т.п. Дело доходит до подлога, когда, при демонстрации дорогих кабелей с уменьшенной погонной реактивностью, намеренно используются источники сигналов или усилители с большим выходным сопротивлением.

Поэтому безмерным бывает удивление аудиофила, когда он обнаруживает, что на звучание системы никак не влияет замена межблочного кабеля ценою в 300 долл. США на отрезок компьютерной витой пары стоимостью 8 ... 10 рублей за метр<sup>3</sup>.

Меня радуют добротно сделанные кабели, но, за очень редким исключением, они не стоят и десятой части тех денег, которые за них просят. Если выходные цепи источника сигнала сделаны *грамотно*, разъемы обеспечивают надежный электрический контакт, а в соседней комнате не проводят электросварку, – можно спокойно подать сигнал на усилитель даже при помощи телефонной «лапши».

*Акустические системы* вероятно, самый капризный, сложный и ответственный элемент звукового тракта. Как и все мощные электромеханические преобразователи, они чрезвычайно индивидуальны. Возможно ли совместить достоверность и индивидуальность? Вряд ли, но успешные попытки время от времени отмечаются.

Какие свойства акустической системы (АС) особенно важны для достоверного воссоздания звуковой картины, т. е. минимизации тех погрешностей преобразования, которые были определены выше для электрического тракта?

Все те же: *линейность и стабильность фазовой характеристики*. Мало кто из разработчиков АС, кроме Джима Тиля (Thiel Audio), обращал внимание на фазовые характеристики. Коаксиальные громкоговорители *Tannoy* (Dual Concentric) и *KEF* (Uni-Q) решили

---

<sup>3</sup> Низкая цена обусловлена громадными объемами выпуска компьютерных кабелей.

значительную часть проблемы когерентности излучения. Выровняв результирующую фазовую характеристику своих АС в пределах  $\pm 5$  градусов за счет высочайшего качества изготовления электроакустических преобразователей и тщательной настройки кроссовера, Джим Тиль практически завершил решение этой проблемы для АС с электродинамическими головками. Высшей похвалой для акустики Тили является то, что фантазеры ругают ее звук за «сухость» и «нейтральность», при любых уровнях звукового давления.

К сожалению, выдающиеся переходные характеристики других, *неточечных* электроакустических преобразователей (ленточных, Хейла, электростатических, изодинамических и т.п.) не позволяют достичь столь же больших высот в воссоздании достоверных пространственных соотношений, хотя в монофоническом варианте они могут звучать великолепно.

*Теперь о самой книге.* Она предназначена для аудиофилов и любителей электроники, которые *хотят* разобраться в принципах построения современных усилителей звуковой частоты. Традиционные, типовые схемы УМЗЧ взяты из книг и статей Дугласа Селфа, Рэнди Слоуна, разнообразной технической документации, а также любезно предоставлены Георгием Крыловым. Некоторый, полезный на мой взгляд, материал почерпнут в Интернет. На этих примерах автор постарался критически осмыслить опыт зарубежных разработчиков, поскольку большинство популярных, на просторах бывшего СССР, схем УМЗЧ, опубликованных, например, в журнале «Радио» и популярных брошюрах, являются адаптацией зарубежных публикаций 1970-х и начала 1980-х годов.

Далеко не все усилители, описанные в книге, являются *прецизионными*, т. е. высокой точности. *Под прецизионными усилителями понимаются устройства, не вносящие паразитных спектральных составляющих, превышающих уровень шума в звуковом диапазоне частот.* Термин «высококачественный» поистерся и потерял свой первоначальный блеск за много лет. К этой расплывчатой категории относят и «скрипучие» ламповые одноканальные, и непритязательные музыкальные центры, и транзисторные усилители с безукоризненным звучанием.

Структура книги в целом является традиционной для изданий, посвященных усилительным схемам на полупроводниках, а неизбежные общие места, возможно, перекликаются с другими публикациями, предназначенными для широкого круга радиолюбителей и аудиофилов. Однако *трактовка* процессов в усилительных схемах, оказывающих влияние именно на достоверность звуковоспроизведения, является оригинальной; она базируется на многолетнем опыте разработки операционных, измерительных и спе-

циализированных усилителей, импульсных и нелинейных схем.

Автор предполагает, что читатель знаком с основами электроники и конструирования электронных устройств. Поэтому общие принципы и теория функционирования даются на минимально необходимом для корректного изложения уровне.

Эта книга – для увлеченных, интересующихся людей, которые, как резонно заметил Рэнди Слоун, обескуражены явным расколом между профессионалами звука и воинствующими дилетантами. В ней рассматриваются особенности схемотехники во взаимосвязи с механизмами возникновения самых «вредных» – интермодуляционных и дифференциально-фазовых искажений. Специалист в области усилительной техники вряд ли найдет в этой книге совершенно новые решения, но систематизация разнообразного материала, имеющего отношение именно к прецизионному звукоусилению, и другой ракурс при взгляде на известные схемы, возможно, будут полезны и для него.