

Верность и Достоверность звуковоспроизведения

Что я понимаю 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. Некоторое время спустя маркетологи придумали категорию «high-end», что позволило устранить предел цены на *бытовую* звуковоспроизводящую аппаратуру. В результате взаимосвязь между качеством звуковоспроизведения и ценой была утрачена. Поэтому изделия, причисляемые некоторыми продавцами к категории «high-end», не всегда удовлетворяют даже стандартам hi-fi и очень редко могут достоверно передать или воссоздать звуковой образ, запечатленный (recorded) каким-либо способом в процессе записи.

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, то есть вобравший в себя громадное число *наблюдений*, сформировал собственный эталон абсолютного звука. Тогда достоверность можно определить как степень приближения к этому внутреннему эталону. Более 40 лет я занимаюсь разработкой и изготовлением устройств для высококачественного воспроизведения звука. Почти всю сознательную жизнь я регулярно слушаю музыку, в основном, в Большом зале московской консерватории¹. Полагаю, мне удалось на основе субъективного опыта восприятия звука и объективных результатов научных исследований установить взаимосвязь между характеристиками звеньев современного тракта качественного звуковоспроизведения и достоверностью воссоздания звукового образа.

Как показали исследования, около 80% людей не соотносят звуковой образ со своим внутренним эталоном, поскольку не могут вспомнить его отчетливо. («Абсолютный» музыкальный слух, как правило, относится к точности воспроизведения внутреннего эталона высоты нот, но не к достоверности звучания музыкального инструмента.) Поэтому многие «золотоухие» эксперты начинают фантазировать, и слышат то, чего нет. Когда звучание тракта объясняют в терминах «музыкальный», «отстраненный», «торопливый» и т.п., – значит, вы попали на очередного фантазера. Такие люди, как правило, поддаются внушению со стороны продавцов и меняют аппаратуру как перчатки.

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.

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 я могу лишь, не покупая классику на компакт-дисках этой фирмы.

1 Нельзя сказать, что это — акустически идеальный зал. К сожалению, в нем имеет место слышимый (на форте и фортиссимо) дефект в виде короткой поперечной реверберации, который усугубился после недавнего капитального ремонта из-за удаления вентиляционных отдушин под оконными проёмами. Тем не менее, БЗК остаётся лучшим московским залом для прослушивания музыки.

Очевидно, что соотношение «фантазеров» и «технократов» среди разработчиков профессиональной аппаратуры, звукорежиссеров и продюсеров примерно такое же, как и среди потребителей их продукции. 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 слушателей: «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.

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

Если конструирование проигрывателя компакт-дисков (CD) является 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.

Звукосниматели

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 (МС) – 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 (ММ) обеспечивают менее «зернистый» звук (лучшую разрешающую способность) за счет *на порядок* более эффективной энергетики (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), мне понадобились годы прослушиваний, осмысления услышанного и применение результатов профессиональной деятельности в области электроники и измерительной техники. Без такого предусилителя-корректора я бы не сумел разобраться в нюансах работы различных звукоснимателей.

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.

Случается, что цифровая технология мигрирует в сторону аналоговой. Формат DSD (торговое название носителей Super Audio CD), хотя и расшифровывается как Direct Stream Digital, то есть прямой цифровой поток, по сути своей является дискретно-аналоговым, поскольку представляет собой разновидность преобразования напряжения в длительность импульсов. 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.

Компакт-диск

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 гармоники музыкального (то есть случайного, нестационарного) сигнала с частотами выше 8,8 кГц (1/5 частоты преобразования) восстанавливаются со статистически недостоверными (то есть не точно определенными) фазой и амплитудой. Не следует забывать, что теорема Котельникова справедлива 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 (в студии или концертном зале) до цифроаналогового преобразователя в проигрывателе, 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 (т.е. непрерывной) и обусловлена механическим или магнитным принципом записи. К этим неустраняемым погрешностям относятся, например, контактный и модуляционный шумы магнитной записи.

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 примеров являются грампластинки серии Living Stereo фирмы RCA VICTOR, многие записи DECCA и Deutsche Grammophon 1960-х и 1970-х годов, популярные среди аудиофилов даже в виде переизданий на компакт-дисках (иногда, оцифрованных с грампластинок). Переведенные в формат DSD опытными звукоинженерами и изданные на SACD, такие фонограммы наиболее точно передают звучание рабочих материалов и архивных мастер-лент.

Переходные процессы

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. Перемонтированные 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 высокого класса.

Усилители

Низкую мощность источника звукового сигнала – усилителя-корректора или проигрывателя компакт дисков – необходимо согласовать с «прожорливым» потребителем – электромеханическим преобразователем, то есть акустической системой. Функцию согласования выполняют усилители мощности низкой частоты (УМЗЧ). 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 КПД, но нестабильные частотную и амплитудную характеристики (как и усилители с токовым выходом).

Звучание ламповых усилителей традиционно считается «музыкальным» и нравится фантазерам: действительно, надо иметь большое воображение, чтобы представить 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-другой элементов и ламп в надежде высечь «искру Божью», хотя число вариантов ограничено. Простота реализации стандартного «ламповика» какое-то время привлекала в это старательское соревнование начинающих аудиофилов. Но жила давно выработана!

Причина лампового «ренессанса» в восьмидесятих 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 1940-1950-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 отрицательной обратной связи (ООС) для линеаризации и улучшения фазовой характеристики усилителя, что совершенно необходимо – во-вторых. Слушая современные ламповые усилители, я могу лишь сожалеть, что бесценный опыт оказался не востребованным.

Отрицательная обратная связь и достоверность

В 1998 году, просматривая серьезный аудиофильский журнал *Stereophile*, я наткнулся на большую статью под провокационным названием «Будущее без обратной связи?». В ней, после исторической справки и пояснения принципа ООС, известный британский обозреватель Мартин Колломс (www.colloms.com) анализировал звучание очередного лампового «чуда» ценою во 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 прояснение звуковой картины, но также появление «окрашивания». И делал вывод, что ООС вредна, немзыкальна, и надо, по возможности, избегать ее применения. Тенденциозность статьи меня возмутила; я написал письмо редактору журнала Джону Аткинсону (John Atkinson), который его опубликовал, изъяв, правда, наиболее острые моменты.

Но вернемся к «окрашиванию». Дело в том, что ламповый усилитель с 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-% ООС. Таким образом, все разновидности усилителей имеют ООС. (Заявления некоторых «разработчиков» об отсутствии в их изделиях какой-либо обратной связи могут вызывать только улыбку.)

Энциклопедия «Британника» (www.britannica.com) утверждает, что обратная связь является основой природы. Выживание человека как биологического вида является результатом его приспособления к окружающему миру, то есть 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 наделить она усилитель?

Изучение доступных источников, а также многолетний опыт в разработке аналоговых схем, позволяют мне утверждать, что никакие ухищрения не могут понизить и, главное, удерживать уровень нелинейных и интермодуляционных искажений в ламповых и транзисторных усилителях без общей ООС ниже –50 дБ (примерно 0,3%). Фантазеры считают такой результат достаточным. С этим трудно согласиться: никакие 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, то есть вывести их за порог заметности (на уровень случайной помехи). Однако для ламповых трансформаторных усилителей этот путь практически закрыт.

Выходное сопротивление мощного усилителя без ООС имеет ощутимое значение в несколько Ом. Параллельное включение множества 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, то есть 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 воссоздания 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 стало особенно актуальным с появлением источников звуковых сигналов действительно высокого разрешения – проигрывателей SACD и DVD-Audio, преимущества которых невозможно реализовать с усилителями, построенными на принципах и элементах 80-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, – я много раз имел возможность в этом убедиться. (Людам, как известно, свойственно бояться того, в чем они не разбираются.) 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 своей книге я постарался в доходчивой форме разъяснить принципы построения усилителей с ООС и развеять предубеждение к ней, хотя бы среди подрастающего поколения аудиофилов.

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 и УМЗЧ без общей ООС, реализованные под влиянием балансной паранойи, 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.

Что же в остатке? Полупроводниковый усилитель с глубокой ООС и разомкнутой АЧХ, оптимизированной для импульсных сигналов. Как оказалось, только он может обеспечить достоверность. Я разработал такой усилитель в 1984 году и позже, для публикации в 1988 году, назвал его УМВТ84 (усилитель мощности высокой точности, год разработки 1984). Прошедшие 30 лет подтвердили, что совершенство его структуры обеспечивает неприхотливость к элементной базе, большой запас по характеристикам и возможность модернизации. Я бы не смог даже подобраться к проблеме достоверности, если бы не имел возможности сравнивать другие усилители мощности с таким эталоном.

Кабели

Сплошная коммерция и грандиозное поле «деятельности» для фантазеров всех мастей, к сожалению. Сколько шарлатанства, невежества и спекуляций связаны с обычными соединительными проводами! Опубликовано множество научнообразных статей, полных скрытой рекламы. Серьезно 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 преимущества дорогих кабелей с уменьшенной погонной реактивностью, намеренно используются источники сигналов с большим выходным сопротивлением.

Поэтому безмерно 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 10-15 рублей за метр.

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 производят 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, то есть 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 Тили (James Edward Thiel (1947-2009), Thiel Audio), обращал внимание на фазовые характеристики. Коаксиальные громкоговорители Tannoy (Dual Concentric), KEF (Uni-Q) и Cabasse решили значительную часть проблемы когерентности излучения. Выровняв результирующую фазовую характеристику своих АС в пределах ± 5 градусов за счет высочайшего качества изготовления *оригинальных* электроакустических преобразователей и тщательной настройки кроссовера, Джим Тиль практически завершил решение этой проблемы для пассивных АС с электродинамическими головками. Высшей похвалой для акустики Тили является то, что фантазеры ругают её звук за «сухость» и «нейтральность», при любых рабочих уровнях звукового давления. Но легендарная фирма закончила свое существование в 2013 году, когда её приобрела «группа инвесторов» из другого штата. Представленные ими новые разработки под знаменитой маркой – это просто мебель.



Мои домашние акустические системы Thiel SCS4

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.

Книга

Под прецизионными усилителями я понимаю устройства, не вносящие паразитных спектральных составляющих, превышающих уровень случайного шума, в звуковом диапазоне частот. Термин «высококачественный» поистерся и потерял свой первоначальный блеск за много лет. К этой расплывчатой категории относят и «скрипучие» ламповые однотоки, и непритязательные музыкальные центры, и транзисторные усилители с безукоризненным звучанием.

Мне не известно другое издание, посвященное УМЗЧ, в котором рассматриваются особенности их схемотехники во взаимосвязи с механизмами возникновения самых «вредных» для звука искажений – интермодуляционных и дифференциально-фазовых. Даже в лучшей, за последние годы (2010), книге Боба Корделла (cordellaudio.com), этой взаимосвязи уделяется недостаточно внимания.

Я сожалею, что не сделал этот сайт раньше, вместе с книгой. У меня накопился интересный материал, часть которого вошла в серию публикаций в научно-технических изданиях. Но практический опыт, позволивший создать УМВТ79, УМВТ84 и другие звукоусилительные устройства, был известен лишь узкому кругу специалистов и друзей. Возможно, он будет интересен широкой аудитории.