**"Транзисторные", "ламповые" и "цифровые" искажения звука: легенды и реальность**

Легенды о нерегистрируемых никакими приборами специфических цифровых искажениях, убивающих звук, столь же абсурдны, как и телепатия или "транзисторный" звук. Как ни странно, в среде аудиофилов до сих пор ходит байка о некоем "бездуховном" начале в транзисторных усилителях (в отличие от ламповых) и "транзисторных" искажениях, не регистрируемых измерительными приборами. Однако еще в конце семидесятых годов это явление было всесторонне исследовано и подробно объяснено в многочисленных статьях, в том числе и в общедоступном радиолюбительском журнале "Радио". Сущность "транзисторного" звука заключается в различной скорости спада амплитуды гармоник нелинейных искажений и весьма малом относительном количестве четных гармоник у транзисторных усилителей. Для ламповых усилителей характерно экспоненциальное (гораздо более быстрое), а для транзисторных усилителей обратно пропорциональное (медленное) убывание амплитуд гармоник с ростом частоты. При этом в ламповых усилителях наблюдается психоакустическое явление (кстати, положенное в основу стандарта звуковой компрессии MPEG) маскирования несколькими первыми гармониками почти всех гармоник с большей частотой. Таким образом, субъективно к сигналу в ламповом усилителе добавляется всего несколько первых четных и нечетных гармоник, причем их уровень должен быть довольно значительным. Обычно ламповый усилитель класса hi-end имеет коэффициент нелинейных искажений от 0,5% до 3,0% (например, усилитель "Первый" за 900 долларов, упомянутый в обзоре hi-end-усилителей в журнале "Салон Audio-Video", #6, стр 61). Следует отметить, что по тому же принципу работают студийные эффект-процессоры обработки звука - эксайтеры. В некотором роде ламповый усилитель и есть эксайтер. Именно поэтому ламповые усилители с очень малыми нелинейными искажениями не пользуются популярностью в среде аудиофилов, характеризующих их звук как отстраненный, неэмоциональный, не добавляющий яркости сигналу, близкий к звуку транзисторного усилителя с очень малыми нелинейными искажениями. В транзисторных усилителях эффект маскирования проявляется значительно слабее, благодаря чему эффект эксайтинга выливается в добавление звуковой "грязи" и "песка". Поэтому для получения звучания, хотя бы немного приближающегося к "ламповому", требуется на порядок уменьшить коэффициент нелинейных искажений. Это сложная техническая задача, и ее решение современными методами не всегда экономически оправданно. Проще говоря, ламповый усилитель, произведенный в Юго-Восточной Азии, может стоить значительно дешевле транзисторного hi-end-усилителя американского или европейского производства при субъективно одинаковом качестве звука. Что на самом деле и привело к кризису и разорению в начале 1998 года многих небольших американских фирм, работавших на рынке hi-end (см. журнал "Class A", март 1998). Для дешевых АЦП и ЦАП характерно отсутствие уменьшения амплитуд гармоник с ростом частоты. Проведенные мною измерения на звуковых картах в ценовом диапазоне от 10 до 60 долларов показали, что для этих карт все гармоники вплоть до частоты дискретизации, деленной на два, могут иметь одинаковую амплитуду. Это очень тяжелая с точки зрения психоакустики ситуация. Такие АЦП/ЦАП, несмотря на довольно низкий коэффициент гармоник (обычно 0,02-0,04%), имеют как бы утрированное транзисторное звучание и очень хорошо "убивают" звук. В более дорогих моделях АЦП/ЦАП, где спад амплитуд гармоник подчиняется обратно пропорциональному закону, звук имеет уже обычную "транзисторную" окраску. Однако сейчас появились 22-24-битные АЦП/ЦАП производства фирмы Analog Devices с очень низким (до 0,002%) коэффициентом гармоник. Они, например, используются в цифровом процессоре эффектов Boss GX700, имеющем, по отзывам многих знаменитых западных музыкантов, даже более "ламповое" звучание, чем многие истинно ламповые hi-fi-усилители. К сожалению, в продаже почему-то до сих пор нет дешевых массовых звуковых карт на основе этих последних наиболее совершенных и недорогих (всего 75 долларов) моделей АЦП от фирмы Analog Devices. Интересно, что в Петербурге сразу несколько небольших фирм предлагают заказные многоканальные студийные оцифровщики на основе этих АЦП. Конечно, их цена больше 75 долларов.

**Некоторые методы борьбы с "цифровыми" искажениями** Иногда ламповые усилители используются для "оживления звука" при окончательной подготовке фонограммы. На некоторых российских и зарубежных фирмах полностью записанная и сведенная в "цифре" фонограмма переводится в аналог, пропускается через несколько ламповых эквалайзеров (например, TL Audio G400) или усилителей, снова оцифровывается и записывается на CD-R или магнитооптический диск. Конечно, какой-то положительный эффект от этой процедуры будет, но, по-видимому, только при прослушивании записи через транзисторный усилитель. В случае же использования лампового усилителя двойное прохождение сигнала через лампы (на стадии записи и воспроизведения) может окончательно "убить" звук. Предпринимались попытки цифрового моделирования лампового усилителя. Однако RedValve (plug-in для WaveLab) не впечатлил меня, хотя некоторое сходство со звуком недорогого лампового усилителя, несомненно, ощущается. И потом, ламповые усилители воспроизводят высокие частоты (8-20 кГц) не столь уж и хорошо. Рекомендую проделать простой опыт. Отфильтровать цифровым (аналоговый вносит фазовые искажения) фильтром в фонограмме диапазон 8-20 кГц и воспроизвести его через ламповый и транзисторный усилитель с обычными параметрами АЧХ от 20 Гц до 30 кГц и нелинейными искажениями на уровне 0,01% (такой стоит не более 100 долларов). (Строгие математические определения АЧХ и коэффициента нелинейных искажений можно найти в "Компьютерре" #243.) В этих условиях в моих экспериментах эксперты не отдавали никакого предпочтения ламповому усилителю. Многим экспертам не понравилось некоторое смягчение атаки лампами при воспроизведении звуков тарелочек и недостаточно "глубокое" воспроизведение самых низких частот из-за "врожденных" ограничений трансформаторных усилителей. Так что преимущество "лампового" звука, по-видимому, проявляется только при воспроизведении средних частот (200-8000 Гц). С точки зрения имитации "живого" звука чисто цифровыми методами очень интересен процессор Boss GX700. Он полностью "в цифре" в реальном масштабе времени создает типизированную виртуальную студию звукозаписи. Сначала входной сигнал (с электрогитары и др.) поступает на 20-битный высококачественный АЦП. Далее оцифрованный сигнал обрабатывается имитатором лампового усилителя и эквалайзера. Причем можно выбрать тип устройства из большого списка реально продающихся на рынке аналоговых усилителей. Затем сигнал поступает на speaker simulator, симулятор звуковых колонок, играющий очень важную роль при "оживлении" звука. Тип виртуальных "цифровых колонок" можно выбрать из обширного списка реально существующих на аудиорынке. После "цифровых колонок" сигнал поступает на ревербератор, имитирующий акустические свойства помещений студий звукозаписи. Размеры помещений и величину коэффициента затухания процессов реверберации можно выбрать из списка и подрегулировать вручную. Кроме ревербератора на этой стадии можно подключить звуковые эффекты флэнжер, хорус, фэйзер, гармонайзер, питч-шифтер, дилэй. Далее сигнал поступает на имитатор микрофона, тип которого, конечно же, можно выбрать из большого списка. Можно также выбрать местоположение микрофона в виртуальной студии. Затем сигнал поступает на имитатор лампового микрофонного предусилителя и, наконец, подается на выход процессора обработки звука Boss GX700. И все это работает в реальном времени! К сожалению, чисто программной реализации подобного устройства для персонального компьютера мне найти не удалось. Поэтому сейчас я по мере сил пытаюсь запрограммировать нечто, хотя бы приближающееся по функциональным возможностям к Boss GX700. На обычных музыкальных компакт-дисках сигнал записан с частотой дискретизации 44,1 кГц. Таким образом, теоретически максимально возможная частота записи будет равна 22,05 кГц. На практике большинство современных ЦАП среднего ценового диапазона при данной частоте дискретизации позволяет без заметных искажений воспроизводить частоты до 18-19 кГц. На более высоких частотах становится заметным влияние цифрового и аналогового интерполирующих фильтров, подавляющих частоты около 22 кГц до 40-50 и более децибел и вносящих, к сожалению, некоторые линейные, нелинейные и интермодуляционные искажения. Выбор частоты среза высоких частот на уровне 18-19 кГц, а не, например, выше 21 кГц, обусловлен в основном экономическими причинами. Сложность цифрового интерполирующего фильтра, а значит, и его цена, резко возрастают по мере приближения частоты среза к половине частоты дискретизации при заданном подавлении (40-50 дБ) вблизи половины частоты дискретизации. Если предположить, что музыкальный компакт-диск записан с применением оверсэмплинга и высококачественного цифрового фильтра с частотой среза около 21 кГц, а в вашем проигрывателе компакт-дисков или звуковой карте (если вы прослушиваете музыку на персональном компьютере) используется дешевый ЦАП со слабеньким цифровым фильтром с частотой среза 18 кГц, то, очевидно, при воспроизведении качество звука на самых высоких частотах заметно ухудшится. Можно легко убедиться в наличии этого эффекта и даже несколько уменьшить его проявление следующим образом. Многие даже очень дешевые звуковые карты (Opti-931, Acer S23) поддерживают частоту дискретизации 48 кГц. При ее использовании включается частота среза цифрового фильтра не 18-19 кГц, как для частоты дискретизации 44,1 кГц, а 20-21 кГц (так как 48 кГц > 44,1 кГц), то есть как у более дорогих ЦАП. Это можно использовать для получения более качественного звука на высоких частотах. Сначала надо импортировать в цифровом виде (без ЦАП/АЦП-преобразований) в wav-файл дорожку (трек) с музыкального компакт-диска на жесткий диск с помощью программ WaveLab 1.6 или WinDac32. Затем, используя программы WaveLab, CoolEdit или EDS TOOLS, произвести передискретизацию цифрового сигнала со стандартной частоты дискретизации 44,1 кГц на 48 кГц. В этих пакетах программно реализованы высококачественные 32-битные цифровые фильтры с характеристиками самых дорогих студийных устройств. Полученный wav-файл можно воспроизвести стандартным мультимедиа-проигрывателем Windows 95 или программой WaveLab. Я проделал такие операции для звуковых карт Opti-931, Yamaha SA700, Monster Sound 3D, Ensoniq Soundscape Elite, Acer S23 и во всех случаях получил довольно заметное улучшение воспроизведения самых высоких частот. Очень жаль, что пока не удалось обнаружить программу, проделывающую все эти операции в реальном времени без обращения к жесткому диску персонального компьютера.