



Андрей Маркитанов, г. Таганрог, "MARKAN".

**Все, что вы хотели знать о цифровом звуке,
но не у кого было спросить.**

F.A.Q. - 2005

Наиболее часто задаваемые вопросы, касающиеся цифровой техники звуковоспроизведения.

(с изменениями и дополнениями, изменено 4.12.2005г.)

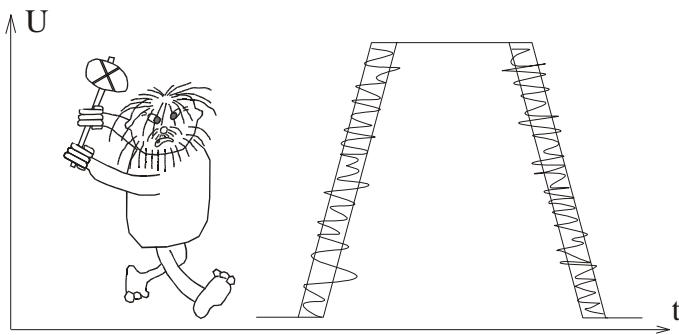
Данный документ представляет подборку наиболее интересных вопросов, поступивших в адрес автора от потребителей продукции "MARKAN" и читателей его публикаций. Материал следует рассматривать как теоретическое дополнение к циклу статей "ЦАП начального уровня" в журнале "Практика" (приложение к журналу "Салон AV"). Наряду с доступным рассмотрением теоретических вопросов, служащих для повышения уровня эрудиции читателей, сборник содержит ряд малоизвестных практических рекомендаций, способных практически без затрат поднять уровень звучания Вашего цифрового источника на новую высоту. Некоторые теоретические положения рассматриваются автором по собственной инициативе и для сохранения общего стиля так же приводятся в виде вопросов и ответов. Вся предоставленная информация должна рассматриваться исключительно как личное мнение автора по затронутым вопросам. Автор никак не ограничивает дальнейшее использование изложенной информации при сохранении ссылок на данный документ.

Для избежания путаницы в терминологии, в тексте приняты следующие сокращения:

DAC – конструктивно законченный компонент, входящий в звуковоспроизводящий комплекс, включаемый между транспортом CD (или другим источником цифровых звукоданных) и блоком предварительного усиления, так же входящим в этот звуковой комплекс. DAC преобразует цифровые данные, поступающие с транспорта CD, в аналоговый сигнал, который затем поступает в следующие блоки тракта для усиления.

ЦАП – микросхема, практически в обязательном порядке входящая в состав **DAC**'а и любого полного проигрывателя CD или другого цифрового источника, имеющего аналоговый выход. Данная микросхема выполняет самую важную задачу – непосредственно цифро-аналоговое преобразование.

Вопрос: Везде много пишут про, так называемый, *джиттер*, который влияет на качество звука при воспроизведении CD и подобных устройств. Я действительно слышу огромную разницу в звуке при замене транспорта в моем двухблочном цифровом источнике (имеется в виду комплект транспорт + внешний DAC). В тоже время я никак не могу понять: цифровой сигнал – это же просто последовательность нулей и единиц, т.е. или есть напряжение или его нет. Об этом сегодня знает каждый старшеклассник. При передаче цифровых сигналов нужны какие-то очень грубые проблемы, чтобы произошел сбой, например, разрыв кабеля. Каких-либо ошибок здесь быть не может и, видимо, их нет – об этом сигнализирует соответствующий светодиод на передней панели DAC'а. А разница в звучании разных транспортов просто огромна. Попытка переписать на компьютере хороший диск также приводит к сильной деградации звучания, хотя все работает нормально. Неужели это все-таки джиттер? Можно ли от него избавиться или хотя бы как-то его определить?



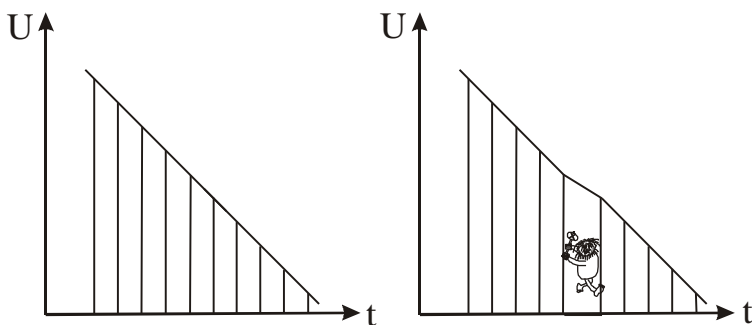
Ответ: Да, действительно, за все проблемы со звуком, находящимся в цифровой форме, именно джиттер несет полную ответственность. Джиттер многолик, беспощаден и неуловим (если только вы не являетесь профессиональным охотником за приведениями). О нем ходит много легенд и леденящих кровь историй. Кое-кто когда-то кое-где кое-что о нем уже, конечно, читал, но практически

никому не удавалось столкнуться с ним лицом к лицу, чтобы сполна спросить с него за все его злодеяния. Даже самым настойчивым исследователям и разработчикам всегда приходится иметь дело только с продуктами его жизнедеятельности, которые он щедро и дерзко оставляет в электронных дебрях звуковых устройств и которые с готовностью излучаются акустическими системами. Автору случайно посчастливилось застать джиттер на месте преступления и зафиксировать этот факт. Теперь у любого желающего появилась возможность взглянуть злодею-джиттеру прямо в лицо:

Тот бородач, который изо всех сил колошматит своей кувалдой по нашему цифровому импульсу, стараясь сбить его со шкалы времени, и есть ДЖИТТЕР. Он прячется внутри каждого цифрового аппарата и полностью изгнать его оттуда не представляется возможным. Уменьшение его свирепости и есть главная задача разработчика аппаратуры.

Наш бедный цифровой импульс дребезжит как главный соборный колокол. Если представить такой импульс в качестве стойки для аппаратуры, мало найдется желающих разместить на ней свой CD проигрыватель. Информацию о том, что такие импульсы вовсе разгуливают внутри наших аппаратов также нельзя назвать хорошими новостями. Однако в нашей суровой реальности всё обстоит именно так.

Итак, постараемся сформулировать более четко определение джиттера. Джиттер – это отклонение в реальном масштабе времени основных параметров цифровых сигналов относительно строго определённых ожидаемых значений, приводящее к деградации получаемого в итоге аналогового сигнала. Любое цифровое устройство имеет свой масштаб времени, формируемый задающими импульсами. Если последовательность этих импульсов неравномерна, ось времени, в котором живет данное цифровое устройство, также становится неравномерной. Другими словами, искажения оси времени, обусловленные джиттером, во время пребывания аналогового сигнала в цифровой форме, приводят в итоге к искажению формы этого сигнала после цифро-аналогового преобразования:



Очень хорошо видно, что для правильного восстановления формы аналогового сигнала абсолютно недостаточно иметь в своем распоряжении только правильные значения цифровых отсчетов сигнала, необходимо еще суметь их применить в нужное время.

История утверждает, что проблема джиттера была хорошо известна жителям древней Руси, о чем красноречиво свидетельствует, дошедшая практически в неизменном виде до наших дней, передаваемая из уст в уста сквозь поколения, народная мудрость: "Дорога ложка к обеду".

Следует отметить, что джиттер проявляет себя только в процессах, протекающих в реальном масштабе времени, к которым, в первую очередь, относятся процессы записи на конечный цифровой носитель (наглядно заметен при сравнении хорошо записанного CD и его пиратского собрата) и воспроизведения с него. Джиттер не оказывает влияния на информацию при промежуточных процессах её обработки, т.е. копировании, хранении, записи на промежуточные носители и т.д.

Технические вопросы, касающиеся борьбы с джиттером, были рассмотрены в цикле статей "ЦАП начального уровня". В устройствах "MARKAN" этому вопросу уделяется внимания несоизмеримо больше, чем в любом буржуйском коммерческом изделии, в чем очень легко убедиться при прослушивании.

Вопрос: У меня есть старый проигрыватель CD, на котором хорошо записанные диски звучат просто великолепно. Недавно приобрел разрекламированный аппарат нового формата. На нем эти же диски звучат просто отвратительно. Как же так? Ведь 24 бита должны быть явно лучше, чем 16 бит?

Ответ: Увеличение влияния джиттера при увеличении количества обрабатываемых разрядов мы еще рассмотрим позднее. Коротко ответ на этот вопрос звучит так – на современном уровне развития техники невозможно достичь потенциала 16-битового формата при воспроизведении реальной музыки. Все остальное от лукавого. Для наглядности, немного расчетов.

Стандартная амплитуда аналогового сигнала на выходе проигрывателя CD составляет 2В. Немного упростив, предположим, что в выходном каскаде проигрывателя этот сигнал подвергается усилению в 10 раз, т.е. амплитуда сигнала на входе этого каскада будет 0,2В (200мВ). Пока, вроде, никакого обмана. При 16-битовом квантовании каждый отчет представляется как число 2 в степени 16 (т.е. 65536) возможными уровнями сигнала. Нас интересует конкретная величина самого маленького уровня. Для этого мы наши 0,2В делим на наши 65536 и получаем наши кровные 3 микровольта. Т.е. это минимальная амплитуда сигнала, с которой нашему выходному каскаду приходится работать. Разрешающая способность системы оценивается как половина младшего разряда (т.е. эту амплитуду делим пополам), а строгая математика со своими громоздкими формулами еще больше запутывает дело и, в конце концов, говорит о том, что выходной каскад должен уметь работать с еще более низкими значениями напряжения для обеспечения нашей точности. Итого, в результате имеем, что выходной каскад, для обеспечения заявленной точности на проигрыватель 16 бит, должен с приборной точностью обрабатывать изменения входного напряжения на величину порядка 1микровольта. Дорогими и сложными приборами такие изменения еще можно как-то измерить с достаточной точностью, но только в статическом режиме, т.е. при отсутствии каких-либо мешающих нашим измерениям изменений сигнала. А что творится в реальном музыкальном сигнале – вы сами представляете. Выходной операционный усилитель, который даже очень издалека совсем не похож на сложный измерительный прибор, вынужден пытаться отработать эти 1микровольт на фоне основного сигнала в 0,2В. Да у него помехи по питанию будут иметь в сотни раз большую величину!

Все расчеты мы производили исходя из предположений, что стоящая перед этим операционным усилителем микросхема ЦАП выдает нужные нам сигналы с космической точностью, не внося своего вклада в суммарную погрешность. На самом деле, там все еще значительно хуже...

Остается надеяться, что в этом месиве мы сможем услышать хоть какие-либо изменения при изменении младшего разряда, плевать уже на математическую точность. Могу Вас обрадовать – конечно, сможем! Но только в недалеком будущем. Сейчас же нашему уху пока недоступны изменения, по крайней мере, 2-3 младших разрядов в 16 –разрядной системе. Хотя практика показывает, что этого вполне достаточно для хорошей передачи не только непосредственно звуковой информации, но и тех звуковых данных, которые уже не воспринимаются сознанием как звуки и

напрямую проходят в подсознание, формируя там такие образы, как глубина звуковой сцены, огромное пространство концертного зала, настроение исполнителя, его мастерство и т.д. Эти тонкие нюансы напрочь отсутствуют в многобитовых системах, и вообще, чего Вы ожидали услышать при 24 битах, если никак не удастся добраться до конца этих 16-ти?

Мы лишь слегка коснулись только одного аспекта, явно указывающего на бессмысленность любых попыток перескочить рубеж в 16 бит. Некоторые другие проблемы были рассмотрены в упомянутом цикле статей, еще несколько интересных недоразумений мы еще рассмотрим чуть ниже.

Вопрос: На моем DVD проигрывателе, достаточно высокого класса, диски CD воспроизводятся просто отвратительно. Диски DVD звучат значительно лучше, чем CD. Это ведь напрямую указывает на явное преимущество формата DVD перед CD? К тому же, если на компьютере преобразовать диск CD в формат DVD, он начинает звучать значительно лучше! Правда, на проигрывателе DVD я музыку все равно не слушаю – для этого у меня служит старый добрый проигрыватель CD, только там получается нормальное качество. Но, все-таки интересно: DVD ведь явно лучше, чем CD!

Ответ: Прекрасный вопрос! Ответ на него связан именно с коварством джиттера, умудрившимся направить по ложному пути развития всю мировую звукоиндустрию. Настоятельно рекомендую ознакомиться с основными положениями, изложенными в упомянутом цикле статей, необходимыми для полного понимания рассматриваемого вопроса. Но, продолжим.

Действительно, каждая микросхема ЦАП оптимизирована для принятия определенного формата цифрового слова (общепринятый термин) на своем входе. Очевидно, что это будет максимальный по рабочим параметрам формат, в данном случае 24/96. В этом случае преобразование осуществляется максимально гладко и красиво. Любой другой формат цифрового слова на входе требует вовлечения дополнительных ресурсов микросхемы ЦАП, обеспечивающих подгонку поступившей информации под свою внутреннюю архитектуру, нормально воспринимающую только формат 24/96. А так как этот процесс происходит в режиме реального времени, то наряду с приличной грубостью всего этого процесса, возникает недопустимо большой джиттер. В реальных аппаратах, из-за больших безобразий в звуке, возникающих в этом процессе, данный режим практически никогда не используется (уж не думаете ли Вы, что оставленная "на всякий случай" такая возможность не способна немного загрязнить звук?).

Более корректно данный процесс происходит в цифровом фильтре (ЦФ), где и так вся поступившая информация полностью "перемальывается" и может быть подана на выход ЦФ в любом удобном для потребителя (т.е. для ЦАП) формате. При этом смена форматов на входе ЦФ практически приводит к значительно меньшей потере в конечном звуке, т.к. ЦФ специально "заточен" для выполнения подобных задач и обладает изрядной "вычислительной" мощностью, хватающей и для выполнения смежных с рассматриваемым процессом вычислений. Общий термин для процессов, происходящих в ЦФ- OVERSAMPLING. При этом непосредственно ЦАП может свободно вздохнуть и заняться своими прямыми обязанностями, т.к. ЦФ уже преподнесет все для него "на блюде". Следует отметить, что именно ЦФ в настоящее время рассматривается как наиболее слабое звено в цифровом тракте звуковоспроизведения и существует наметившаяся тенденция к его удалению.

Похожий по конечному результату механизм, но имеющий в своей основе совершенно другой принцип, применяется в современных цифровых приемниках: CS8420, 8415, 8427, какие-то от BB и AD и т.д., которые являются обязательным атрибутом внешних DAC'ов и могут входить так же в состав полных проигрывателей. Именно процесс, имеющий место в подобных цифровых приемниках и носит название UPSAMPLING. При этом сигнал подвергается минимальной цифровой обработке при пересчете форматов, провозглашается даже, что при этом устраняется джиттер входного сигнала

(реальное же прослушивание говорит об увеличении величины джиттера на музыкальном цифровом сигнале). В этом случае уже и ЦФ работает в более оптимальном для звука режиме, ему не приходится заниматься сразу несколькими задачами, каждая из которых щедро подкармливает джиттер. Именно рациональное перераспределение задач в мультимедийных цифровых системах способно удерживать звук хоть на каком-то приемлемом уровне.

Итак, подводим предварительные итоги. Видно, что без искусственного преобразования цифрового сигнала в мультимедийных системах не обойтись. Чем ближе к источнику сигнала происходит такое преобразование, тем лучше для звука. Подача на вход цифрового тракта оптимального для него цифрового сигнала следует рассматривать как наиболее предпочтительный вариант, тем более что в рассматриваемом случае все преобразования происходят на компьютере вне режима реального времени и с привлечением гораздо более серьезных вычислительных ресурсов непосредственно компьютера.

Диски CD, в свете рассмотренных нюансов, всегда будут звучать лучше на проигрывателях CD.

Вопрос: У меня двухблочный цифровой источник (т.е. транспорт и DAC). Передача цифрового сигнала между блоками в моем комплекте может осуществляться в последовательном формате S/PDIF и параллельном I2S. Долгое время я, как все, использовал вход S/PDIF, изготовив цифровой кабель из посеребренного коаксиального кабеля с фторопластовой изоляцией, который я купил на радиорынке. Недавно я попробовал перейти на вход I2S, изготовив все необходимые соединители из этого же кабеля. Звук при использовании входа I2S стал немного лучше! Это ведь и логично: шина I2S используется внутри любого транспорта и любого DAC'a, зачем же ее лишней раз переводить в формат S/PDIF и обратно, при этом неизбежна деградация звука. К сожалению, ни у одного из моих знакомых нет аппарата с внешней шиной I2S, поэтому я никому не могу продемонстрировать ее преимущества. Это что, очередные происки буржуйских производителей?

Ответ: Эта шина не получила распространения, вероятно из-за отсутствия реальных преимуществ. Видимо, дело тут в следующем. Полностью проблема джиттера такими методами не решается. Для достижения какого-то среднего результата исключение лишних звеньев из тракта передачи данных действительно вполне оправдано. Однако, при постановке цели достижения максимального качества звука, на первый план выходят уже совершенно другие проблемы.

Шина I2S разработана для передачи сигналов по коротким проводникам на небольшие расстояния. В шине I2S по проводникам передаются совершенно разные сигналы, которые из-за различия своих параметров по-разному претерпевают неизбежные искажения при прохождении через соединительные кабели и на приемном конце принимаются с разным запаздыванием. Линии передачи при этом работают в меняющихся условиях, в зависимости от передаваемого кода, т.е. мощности передаваемого сигнала, которая меняется вместе с кодом сигнала (т.е. где-то больше нулей, где-то больше единиц). Если передается больше единиц (передается больше мощности в сигнале), проводник нагревается, его физические параметры меняются, сигнал также из-за этого претерпевает изменения. Токи потребления передатчика и приемника так же напрямую будут зависеть от передаваемого кода. Существует несколько разновидностей джиттера, самая неприятная из которых - именно кодовозависимый джиттер, что как раз и имеет место здесь.

Формат передачи данных S/PDIF (т.е. обычный бытовой цифровой интерфейс) как раз разрабатывался с учетом всех этих проблем. В нем применена фазовая модуляция передаваемого сигнала, что полностью исключает изменения мощности передаваемого потока в зависимости от передаваемого кода. Т.е. линия передачи работает практически в идеальных условиях, проблемы накапливаются в блоках кодирования-декодирования. Добавим сюда, что даже при этом мы

отчетливо отмечаем огромное влияние на звук именно качества линии передачи, т.е. цифрового кабеля, т.е. непосредственно самого проводника, его разъемов, пайки и т.д. В шине I2S нам нужно три таких линии передачи, при этом вышеуказанные проблемы, в лучшем случае, суммируются. Видимо, передача данных в простом коде предъявляет более повышенные требования и к качеству самих кабелей при прочих равных условиях.

Блоку кодирования - декодирования формата S/PDIF разработчик может создать максимально идеальные условия, что снижает степень проблем, связанных с этим форматом, по крайней мере, эти проблемы находятся в контролируемой области, в то время как проблемы, связанные с линией передачи данных полностью лежат на плечах потребителя и только в минимальной степени могут подвергаться контролю со стороны разработчика аппарата.

Чем меньше линий передачи данных, тем меньше проблем, которые практически не решаются.

В вопросе описан случай, в котором речь может идти лишь о сравнительных характеристиках "что хуже", вместо "что лучше", т.к. используемые для передачи цифрового потока кабели не позволяют говорить о каком-то качестве звука.

Здесь, наверное, было бы уместно сделать небольшое отступление и на основе рассмотренных физических процессов поговорить еще раз о ЦАПах, имеющих повышенную разрядность. Очевидно, что внутренняя температура микросхемы также будет зависеть от кода сигнала, который в данный момент обрабатывает ЦАП. От этой температуры, в свою очередь, будут зависеть параметры всех активных и пассивных элементов, входящих в микросхему. Даже в 16 битовых ЦАПах с помощью резисторов матрицы R2R задаются не все биты. Самые младшие биты задаются формированием разной площади базового перехода переключающих ток транзисторов (для тех, кто понимает, о чем речь), т.к. подгонка резисторов даже лазером затруднительна (по крайней мере, в те времена). Это для того, чтобы было понятно, что речь идет об очень тонких вещах. Температурная модуляция вносит полнейший хаос в режимы работы всех элементов. О битах, превышающих 16, здесь никакой речи быть не может. Производители прекрасно знают об этих проблемах и отдельно указывают, что в именно их чипах они полностью решены – все равно никто проверять не будет. Единственным разумным решением подобных проблем является используемый в прецизионной измерительной технике метод термостатирования подобных узлов. Для этого ЦАП необходимо поместить в термостат, поддерживающий высокую температуру, скажем, градусов 80, чтобы любые возмущающие воздействия были на фоне этой температуры не так сильны. Но, как Вы уже догадываетесь, это никому из производителей не нужно, что делает их 24-битовые разработки ненужными и для потребителей. Повседневный житейский опыт так же говорит о том, что "прогретая" аппаратура звучит значительно лучше, чем "холодная".

Вопрос: В буржуйской периодической литературе иногда приводятся результаты замеров джиттера различных цифровых аппаратов. Я обратил внимание, что опять-таки в буржуйской (да и в отечественной) периодике, субъективные тесты прослушивания этих же аппаратов иногда выделяют победителя, который, чаще всего, не был победителем в приборных численных замерах по джиттеру. Причем, это относится не только к полным проигрывателям, но и к транспортам CD, полностью лишенных аналоговых цепей. В чем же дело? Могу ли я измерить величину джиттера своих аппаратов с помощью каких-либо доступных приборов или с помощью популярной компьютерной измерительной лаборатории?

Ответ: Измерить, или хотя бы оценить, величину джиттера можно, только делать это надо в цифровой форме, а не в аналоговой. Для этого необходимо самостоятельно изготовить прецизионный управляемый генератор (на частоту исследуемого цифрового потока) с ФАПЧ, которая имеет большую

постоянную времени. На выходе фазового дискриминатора мы как раз и сможем оценить мгновенное значение джиттера.

Следует иметь в виду, что абсолютное значение джиттера мало что говорит о звуковых характеристиках устройства, которое мы исследуем. Существует много разновидностей джиттера, которые субъективно воспринимаются совершенно по-разному. Некоторые фирмы в былые времена специально зашумляли цепи питания задающего генератора, бывали даже конструкции с не полностью отфильтрованными сетевыми пульсациями. Таким образом, буржуйские дельцы придавали некоторые характерные оттенки звучанию своих недорогих аппаратов. Это становилось возможным благодаря тому, что джиттер, искусственно вводимый таким образом, не оказывает на слух раздражающего влияния, при этом производя, согласно терминологии г-на Лихницкого "рандомизацию" звукового сигнала. Правильная и разумная организация процесса "рандомизации" каким-либо методом рассматривается г-ном Лихницким едва ли не обязательным условием "благозвучности" всей системы.

Наиболее неприятным для слуха считается джиттер, коррелированный с кодовой последовательностью цифровых сигналов. Для того чтобы понять, о чем речь, можно в схеме описываемого в упомянутых статьях DAC'a заменить логические микросхемы серии КМОП на TTL. Попробуем разобраться, что может при этом измениться в нашем устройстве.

Микросхемы КМОП практически ничего не потребляют по цепям питания в статическом режиме. Импульсное потребление тока происходит только в момент смены логического состояния. Другое дело TTL. Потребление тока зависит от логического состояния микросхемы и, в условиях динамической работы, изменение потребления тока по цепям питания полностью совпадает с изменением логического кода, который данная микросхема обрабатывает. Ну, а по цепям питания эти изменения уже расползаются по известному нашим читателям сценарию по всему устройству. Замена КМОП на TTL приводит к тому, что звук сразу сильно грубеет, тяжелеет, из него уходит воздух и жизнь. Этот пример можно рассматривать как наглядную иллюстрацию коррелированного с сигналом джиттера.

Описанное выше устройство для оценки джиттера не позволяет дифференцировать его характер, а только оценить его суммарную величину. Все известные промышленные приборы, работающие с задачами из этой области, делают то же самое.

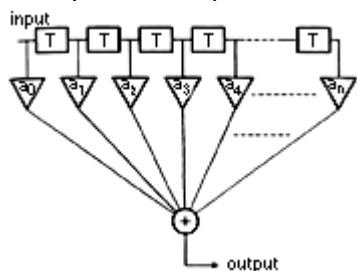
Как всегда, подтверждается известный постулат, что измерительный прибор - опасная вещь в руках аудиоэнтузиаста. Он, вроде бы, *никогда не обманывает, но никогда и не говорит всей правды.*

Подводя итог, можно сказать, что если в результатах значения замеренного джиттера отличаются на значительную величину – лучшим будет аппарат с минимальным его значением. Если замеренные у разных аппаратов величины джиттера отличаются лишь на несколько процентов друг от друга – данные показатели никак не могут служить рекомендацией для выбора конкретного аппарата.

Вопрос: DAC'и "MARKAN" не имеют в своем составе цифрового фильтра. Я заметил, что некоторые буржуйские производители, в основном топовых моделей, так же придерживаются этого принципа. Что это дает? Можно ли это рассматривать как наметившуюся устойчивую тенденцию?

Ответ: Действительно, в DAC'ах "MARKAN" принципиально не используются цифровые фильтры (ЦФ), которые большинством зарубежных разработчиков рассматриваются как обязательная составляющая цифрового тракта. ЦФ значительно облегчает жизнь разработчику, упрощая требования к выходному аналоговому фильтру и производя ряд дополнительных, удобных для построения цифрового тракта, манипуляций с цифровым сигналом. Проходит ли это безболезненно для этого сигнала? Однозначный ответ – нет! В ЦФ сигнал претерпевает существенные изменения, дробится на части и на выходе ЦФ собирается вновь. В логику его работы мы вдаваться не будем, это удел

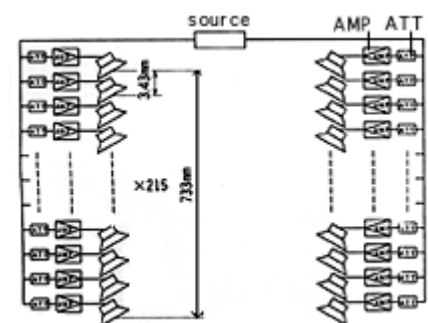
теоретических математиков за кружкой пива. Упрощенная структурная схема ЦФ выглядит примерно следующим образом:



Здесь прямоугольники – линии задержки, треугольники – масштабирующие усилители, кружок со знаком (+) – сумматор, складывающий масштабированные задержанные значения сигнала. Очевидно, что такая манипуляция таит в себе какие-то неприятные для звука последствия, т.к. известно, что нельзя разбить хрустальную вазу, а затем склеить ее так, чтобы не было заметно... Попробуем взглянуть на этот процесс с другого ракурса:

Здесь линии задержки заменены различным расстоянием расположения излучателей звука от слушателя. Задержка осуществляется за счет задержки распространения звука в воздухе при прохождении от динамика к слушателю. Суммирование осуществляется непосредственно в пространстве. Очевидно, что производители ЦФ пытаются нас явно надуть, т.к. приличного звука из такой системы не получишь! Только зачем они это делают? Исключительно из благих побуждений! Каждый коммерческий аппарат обязан иметь прекрасные технические характеристики, которые периодически должны подтверждаться лабораторными замерами на испытательных стендах популярных периодических изданий. Дело в том, что без ЦФ хороших приборных параметров не получить. Попробуем рассмотреть этот вопрос немного подробнее.

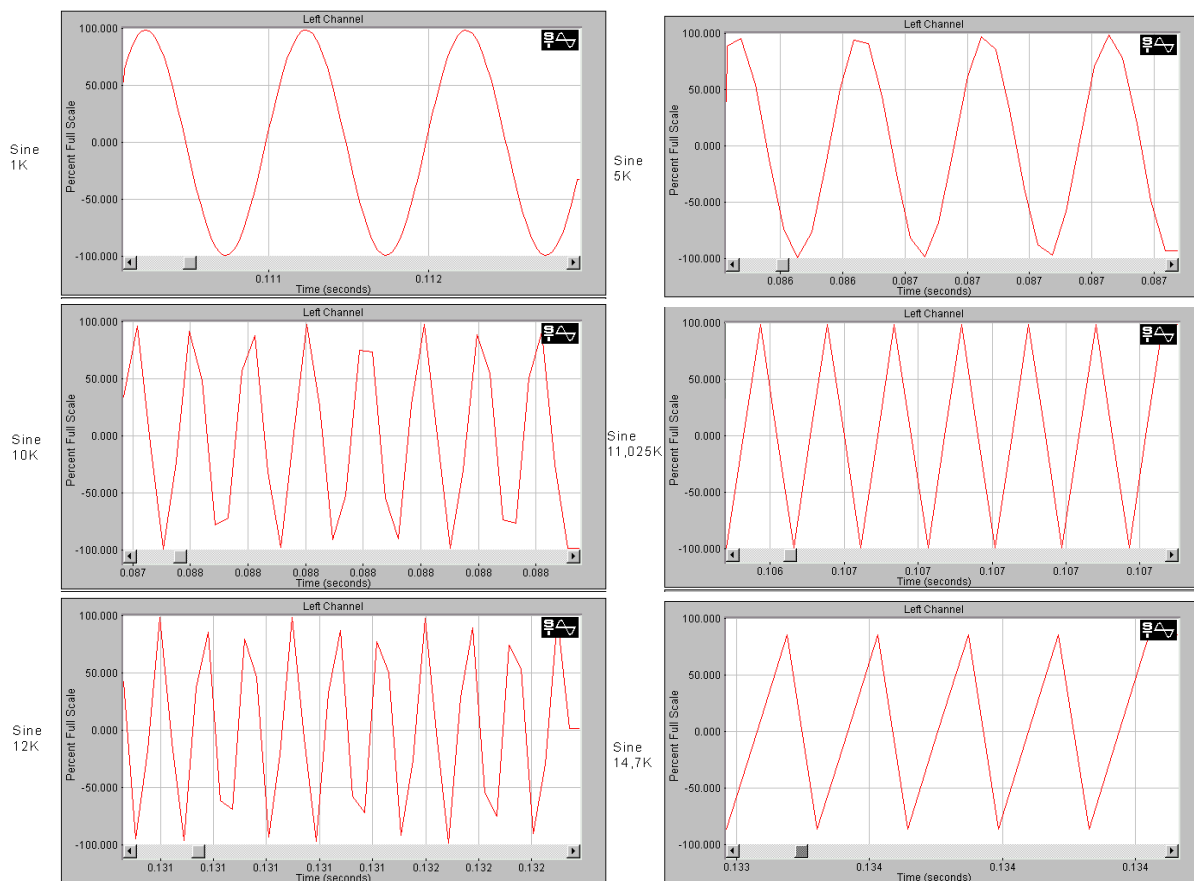
На следующих диаграммах приведены формы **синусоидальных** сигналов различных частот на выходе DAC'a **без цифрового фильтра**:

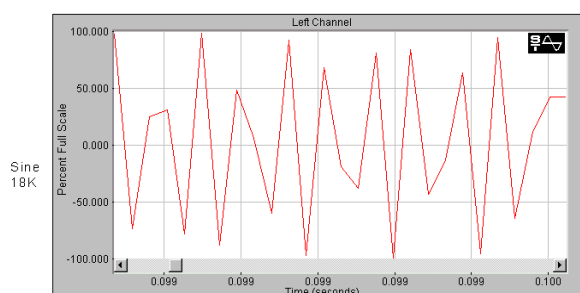
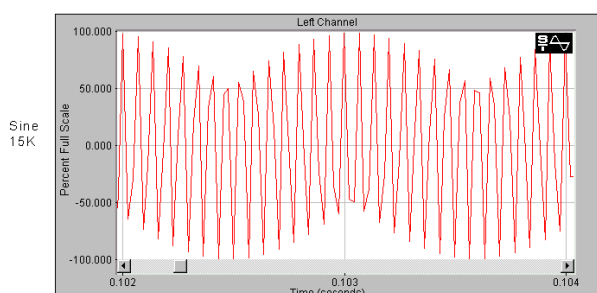
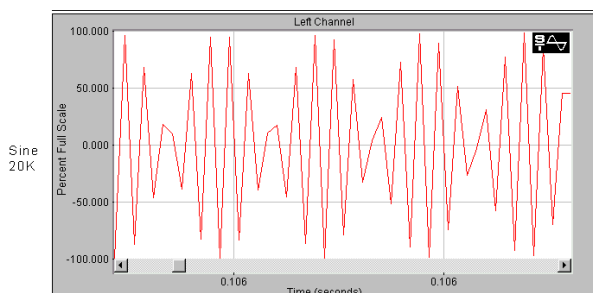


На следующих диаграммах приведены формы **синусоидальных** сигналов различных частот на выходе DAC'a **без цифрового фильтра**:

подробнее.

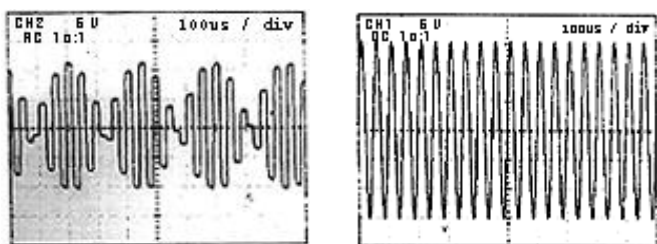
На следующих диаграммах приведены формы **синусоидальных** сигналов различных частот на выходе DAC'a **без цифрового фильтра**:





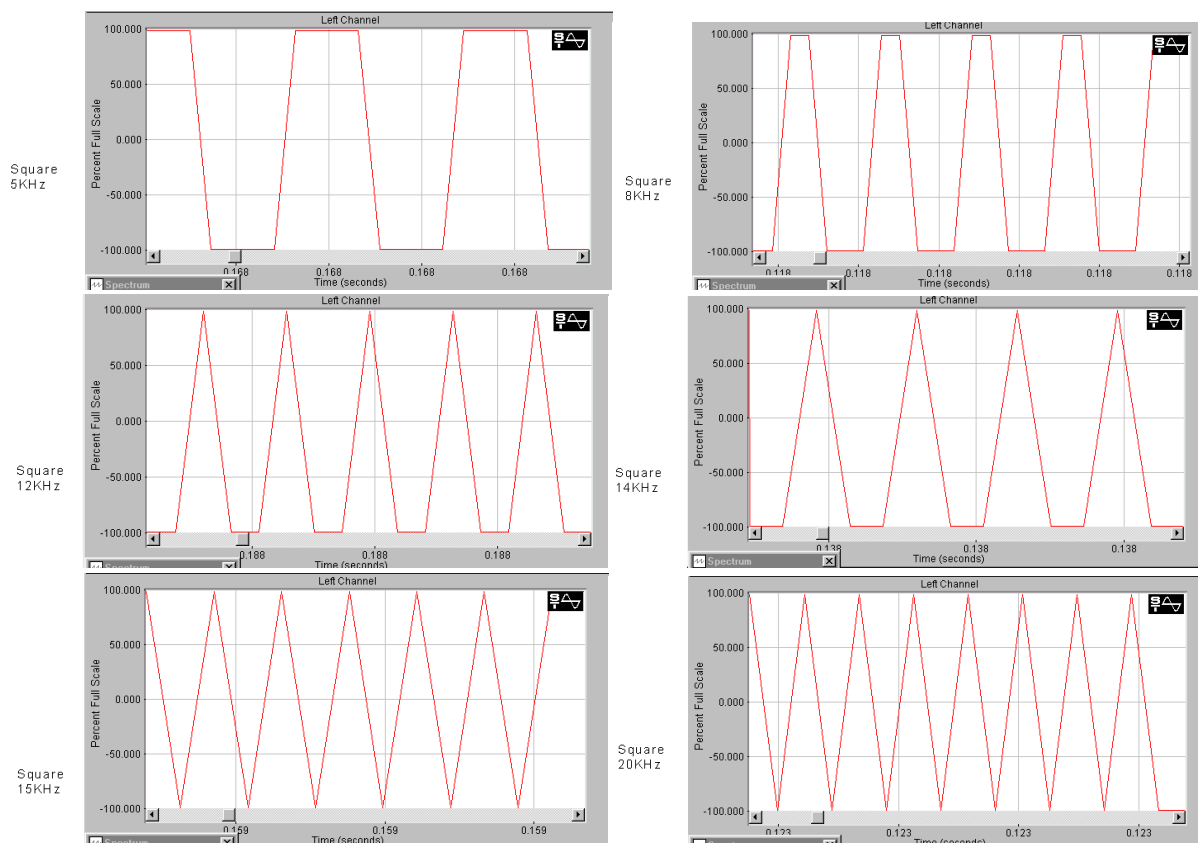
Очень наглядно видно, что, начиная примерно, с 5КГц синусоидальный сигнал претерпевает значительные изменения своей формы и ближе к верхнему краю частотного диапазона становится уже не узнаваемым. При применении цифрового фильтра этого не наблюдается, и на выходе мы имеем красивый синусоидальный сигнал без видимых неприятностей.

Еще раз рассмотрим сигнал 20 КГц/0дБ:



Слева у нас сигнал на выходе DAC'a без ЦФ, справа - на выходе обычного DAC'a (с ЦФ). В первом случае на выходе мы вместо нашего сигнала 20КГц видим прямоугольный сигнал с частотой 22КГц модулированный по амплитуде сигналом примерно 4КГц и никаких следов 20КГц.

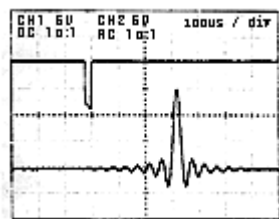
Рассмотрим также поведение тестовых сигналов различной частоты **прямоугольной** формы на выходе DAC'a без цифрового фильтра:



Та же самая картина – сигнал неузнаваем, хотя на выходе обычного коммерческого аппарата он будет иметь нормальный вид.

Так что же, без ЦФ нам никак не обойтись? Если мы хотим наблюдать красивые сигналы на осциллографе, а не слушать музыку – действительно так. Если мы все же решим довериться нашему слуху – все поворачивается совсем иначе. ЦФ имеет всего один недостаток – он сильно портит звук. Именно начиная с 5КГц, где необработанный в цифровой форме сигнал начинает терять свой праздничный вид, в дело вступает ЦФ. Именно начиная с этих частот и до верхнего края частотного диапазона, ЦФ начинает перемалывать наш сигнал, крутить ему фазу и вообще, обращаться с ним просто отвратительно. В этом случае на слух мы воспринимаем результаты этого процесса как ядовитую синтетику в музыкальном сигнале, плюс явные нарушения во временных и фазовых его характеристиках, приводящих к кашеобразности и размазанности звука. Звук приобретает хорошо узнаваемые неприятные оттенки, за которые он и получил обидное прозвище "цифровой".

В аппаратах без ЦФ этого не происходит и, не очень красивые на приборах сигналы, воспринимаются человеческим ухом на удивление легко, красиво и естественно. Звучание максимально близко приближается к аналоговым источникам и не имеет ни малейших раздражающих факторов. Объяснение этого явления находится в компетенции психоакустики и выходит за рамки нашего обзора.



Следует отметить, что и приборные результаты так же могут отметить негативное влияние ЦФ на сигнал. Для этого рассмотрим отклик на импульсное воздействие наших аппаратов:

Верхний график демонстрирует нам прекрасный импульсный отклик аппарата без ЦФ, нижний график иллюстрирует большие проблемы на этом тесте у аппарата с ЦФ. Несомненно, данный характер поведения ЦФ не замедлит негативно сказаться и на динамических показателях устройства.

В инструкции по эксплуатации на DAC "MARKAN" особым пунктом указывается на бесполезность всяких попыток наблюдения выходного сигнала на осциллографе, т.к. это не скажет об аппарате абсолютно ничего.

При попытке разработчика избавиться от ЦФ ему приходится особое внимание уделять выходному аналоговому фильтру, частотную характеристику которого приходится формировать с ювелирной точностью. Только в этом случае возможна реализация всех преимуществ звучания отказа от ЦФ. Именно этот факт определяет то обстоятельство, что подобная идеология построения цифровых источников реализуется только в аппаратах высокого класса.

Мало кто из производителей может отважиться на такой отчаянный шаг как отказ от ЦФ. Для этого необходимо остальную часть цифрового тракта довести до уровня, обеспечивающего уверенное и безоговорочное преимущество данной идеологии в звуке перед стандартными цифровыми источниками, чтобы у потребителя не было ни малейшего повода обращаться к приборам.

Вряд ли данный подход можно считать наметившейся тенденцией в цифровом звуке. Наоборот, засилье новых цифровых форматов уводит потребителя глубже в технократические дебри цифрового звука, не оставляя выбора и возможности сравнения. Данное направление – удел истинных аудиоэнтузиастов, стремящихся к действительно Высокому Качеству Воспроизведения Звука.

В отечественной периодике так же иногда раздаются голоса в поддержку данного направления. Можно отметить труды небезызвестного Папы Кирлы, в известном аудио магазине призывающего своих деток обзавестись поленом, перочинным ножиком и кредитной карточкой. С помощью этих нехитрых приспособлений, используя рекомендации Папы, можно настрогать несколько разновидностей DAC'ов без ЦФ и самостоятельно проверить приведенные в данном сборнике результаты. А можно просто послушать DAC "MARKAN" .

Но, вернемся опять к ЦФ. Мы еще не рассмотрели вопросы, связанные с джиттером. Для оценки максимальной величины джиттера, которая становится заметной для конкретно выбранного цифрового формата, обычно принимают допущение, что искажения формы выходного сигнала не должны превышать величины половины младшего бита квантования. Математически это выражается простой формулой:

$T_{max} = 1/F_s / (2^N / 2)$, где T_{max} – максимально допустимая величина джиттера, превышение которой уже не обеспечивает заявленную точность цифрового формата; F_s – частота дискретизации; N – разрядность системы (количество бит).

Для формата CD, при отсутствии ЦФ имеем:

$T_{max} = 1/44.1 \text{ КГц} / (2^{16} / 2) = 173 \text{ пС}$ (пикосекунды). Вполне реальная (по приборам) величина. Стоит лишь отметить, что в жизни она все равно не достижима в цифровом тракте на музыкальном сигнале – иначе смена транспорта или цифрового кабеля были бы незаметны на слух, а они влияют только лишь на показатели джиттера.

Для ЦФ с 8-кратной передискретизацией и 20-битовым цифровым словом на своем выходе мы имеем $T_{max} = 1.35 \text{ пС}$. Что это за величина, с чем ее можно сравнить? Это нормированное значение **внутреннего джиттера** для топовых модификаций микросхем эмиттерно-связанной логики малой степени интеграции, являющихся, в настоящее время, эталоном по всем показателям для промышленных цифровых устройств и способных работать на гигагерцах. Наш ЦФ на фоне этих дюжих молодцев выглядит как Киса Воробьянинов в профессиональном боксе и способен обеспечить свой **внутренний** джиттер в тысячи раз превышающий данную величину заметности.

В качестве домашнего задания предлагается самостоятельный расчет максимально допустимой величины джиттера для современного формата 24 бит / 96 КГц и более продвинутых форматов.

Более того, внутренняя обработка цифрового сигнала, даже в достаточно старых ЦФ (про современные у меня нет сведений) производилась в 32 –битовом формате, которые опять преобразовывались в выходной 20-битовый формат. Независимо от разрядности выходного слова,

процесс передискретизации требует подобной многобитовой внутренней архитектуры, неизбежно накапливающей ошибку.

Видим, что ЦФ ни при каких условиях не способен обеспечить точность в процессе передискретизации. Передискретизация, сама по себе, несмотря на повышение рабочей частоты и разрядности слова, не способна повысить количество полезной информации, т.к. просто пересчитывается формат 44,1/16 в другой формат (откуда взяться дополнительной полезной информацией?). Т.к. этот пересчет из-за джиттера происходит с огрублением (т.е. теряются младшие биты), то можно говорить о том, что разрешающая способность системы при этом падает по отношению к формату 44,1/16 т.к. в расширенном формате старые 16-битовые отчеты могут быть представлены с достаточной точностью только полноразмерной новой шкалой.

Всегда следует помнить, что первоначально ЦФ разрабатывался исключительно для облегчения конструкции аналогового фильтра, и только потом ему начали навешивать дополнительные функции, такие как повышение разрядности цифрового слова на выходе, которые всегда имеют отрицательную потребительскую ценность.

Вопрос: Я недавно попробовал выбрать себе проигрыватель SACD и не смог ничего подобрать. Все продавцы демонстрировали аппараты на каких-то тестовых дисках, где преобладали инструменты с высокочастотными составляющими. Там действительно все звенело вполне впечатляюще. Однако, при прослушивании моих любимых и, поэтому, хорошо мне знакомых, дисков, я был очень сильно разочарован. Продавцы пытаются убедить меня, что мои диски просто плохо записаны. Это еще больше выводит меня из себя, так как у меня дома они звучат просто прекрасно, тем более что аппаратура у меня достаточно высокого класса. Стоит ли мне продолжать подобные поиски?

Ответ: Видимо, эти поиски можно прекратить. Если бы существовал какой-либо проигрыватель SACD, способный хорошо воспроизводить обычные CD диски, то весь мир уже об этом знал бы, его тесты и описания не сходили бы со страниц аудиофильской прессы и все покупали бы только его. Вполне понятно нормальное потребительское желание самостоятельно отыскать на прилавках какое-нибудь "секретное" изделие, которое за нормальные деньги могло бы "обыграть" всех более дорогостоящих конкурентов и о котором бы никто еще не знал. Ради исполнения подобного желания вполне можно позволить себе приключения в стиле Индианы Джонса в пределах крупного аудио магазина – обойдется дешевле, чем за свои деньги пытаться найти подобный аппарат.

К рассмотренным ранее серьезным проблемам в многобитовых системах, стоящим здесь в полный рост, можно огульно добавить столько же неизбежных проблем, связанных с мультиформатностью аппаратов. Отдельно рассмотрим проблемы, касающиеся непосредственно формата SACD.

Как известно, формат SACD является прямым потомком однобитовых технологий воспроизведения CD. В те недалекие времена, когда CD и близкие к нему разновидности цифровых форматов были единственными перед острым взором (и ухом) потребителя, его вниманию предлагалось бесконечное множество аппаратов для высококачественного их воспроизведения. Вся эта армия цифровой техники работала (и продолжает успешно работать!) на двух базовых принципах цифро-аналогового преобразования: мультибитового и однобитового. Не вдаваясь в подробные рассмотрения этих принципов, отметим, что их всего два, они кардинально отличаются друг от друга, все рекламные их разновидности – просто спекуляция.

Та категория потребителей, которая при выборе своей техники руководствуется известным всем из школьного курса электротехники правилом правой руки (т.е. правой рукой закрывается на ценнике аппарата непосредственно цена и выбор делается на основе остальной информации и личного опыта

при прослушивании), в конце концов, покупали аппарат достаточно высокой ценовой категории, практически в обязательном порядке, построенном на классическом, имеющем длинную почетную историю за пределами цифрового звука, **мультибитовом** ЦАПе. Потребители, использующие правило левой руки (т.е. на ценнике аппарата левой рукой закрывается вся информация кроме цены, стоящей справа; выбор делается среди минимальных значений этой оставшейся информации), неизбежно получали в свое распоряжение дешевую технику с **однобитовой** технологией ЦАПа. Как же так? Всегда однобитовые ЦАПы были уделом дешевой аппаратуры, а теперь р-р-раз! И нам уже их преподносят как новейшее лекарство от всех бед! Видимо, основной упор делается на категорию потребителей, до этого активно использующих эффективное правило "буравчика": подошел → почитал, посмотрел, послушал → развернулся и ушел. В настоящее время правило правой руки, также как и левой, потеряли всякий смысл – даже за большие деньги предлагается сомнительный звук, обвешанный всевозможными кнопками, функциями, играми и покмонами. Просто за **большие** деньги их и предлагается больше. Звуковые цепи построены на одинаковой элементной базе. Видимо, это уже грань, когда в звуке перестают работать базовые школьные законы физика – любой рукой хоть закрывай, хоть открывай... - ты так и знай!

Чтобы не дать повода обвинить автора в предвзятости, однобокости, однорукости или одноухости взглядов, как всегда немного математики. Будем рассматривать однобитовую технологию в старом добром формате CD, т.к. здесь все проблемы еще как-то укладываются в голове...

В мультибитовых ЦАПах каждый разряд переключается отдельным аналоговым ключом в процессе работы. В этом случае нам нужно все ключи переключать одновременно с частотой 44,1КГц. Хорошие аналоговые ключи составляют львиную долю в стоимости хороших (дорогих) мультибитовых ЦАПов. В однобитовых ЦАПах такой ключ всего один, он должен успевать переключать все (2 в степени 16) значения (т.е.65536) каждого отчета, следующих с той же частотой 44,1КГц. Просто перемножим эти цифры и получим значение частоты, с которой должен работать этот ключ – 2890 МГц или 2,89 ГГц. Ха-ха-ха, да кто же на такой частоте будет работать!? Здесь на помощь разработчикам приходит уже известный нам ЦФ, который является неотъемлемой частью однобитового ЦАПа и составляет с ним одно конструктивное целое. С помощью ловких математических трюков (замешивание шумового сигнала специальной формы и т.д.) удастся снизить эту частоту до 33,8 МГц и даже значительно ниже, вплоть до 11МГц. Что после этого остается от нашего звука - можете сами догадаться. Плюс ко всему этому чудовищные помехи по питанию. К тому же, на ультразвуковых частотах требования к аналоговому фильтру значительно возрастают, не доверяя конечным разработчикам, производители ЦАПов сами их встраивают в свои изделия – это уже устоявшаяся практика, вариантов нет. Кроме того, современные однобитовые ЦАПы практически в обязательном порядке имеют буферные аналоговые звенья, представляющие собой начинку от дешевых готовых операционных усилителей, перенесенных в корпус ЦАПа. Каждый этап здесь представляет прокрустово ложе для звука – результат весьма нагляден. Однобитовый ЦАП выдает звук с сильным синтетическим окрасом, напоминающий густой сладковатый сироп. Tutti больших составов проходят незамеченными, как будто их и не было. Достаточно грубые звуковые категории – глубина звуковой сцены просто нулевая, между акустическими системами стоит доска из звука. Очевидно, что здесь просто неоткуда взяться хоть какой-нибудь разнице в звучании между моделями разных ценовых категорий – однобитовые ЦАПы всех производителей звучат практически одинаково и между собой разнятся по цене на несколько центов.

Все еще хуже обстоит в формате SACD, по крайней мере, с точки зрения математики и здравого смысла. Природу обмануть нельзя, покупателя – можно.

На этом фоне более разумным выглядит направление DVD Audio, базирующееся на мультитбитовой технологии. Но и здесь никуда не деться от рассмотренных выше проблем.

Добавив сюда отвратительные звуковые качества современной индустриальной элементной базы, становится просто неприличной любая попытка заговорить о передаче музыки такими аппаратами, достаточно вспомнить о телевизионной рекламе современной домашней звуковой техники – сплошные выстрелы и взрывы, это все, на что они могут быть способны.

Вопрос: Я использую проигрыватель SACD в качестве транспорта для внешнего DAC'a при прослушивании CD, т.к., с моей точки зрения, это единственный способ достижения хорошего звучания моей обширной CD коллекции. Действительно ли это оптимальный выход?

Ответ: Следует четко всегда осознавать, что реализация совместимости различных звуковых цифровых форматов обязательно подразумевает их дополнительную цифровую обработку различными узлами мультимформатных аппаратов. На цифровом выходе (который используется для подключения внешнего DAC'a) специализированного проигрывателя CD будет присутствовать именно тот сигнал, который записан на диске CD. На цифровом выходе же проигрывателя SACD будет присутствовать сигнал, лишь в той или иной мере похожий на записанный на диске CD, т.к. он будет "перемолот" внутренними цифровыми мясорубками. Степень "похожести" сигналов будет определяться алгоритмом их работы и в каждом конкретном аппарате будет различна. Т.е. разработчики этих алгоритмов с самыми добрыми намерениями стараются подправить, подтолкнуть под локоток дирижерскую палочку Караяна или смычок Хейфеца и в этом самом стремлении наперебой предлагают нам свои услуги, от которых в мультимформатных аппаратах невозможно отказаться по желанию потребителя.

Неумолимые кармические законы, пронизывающие насквозь все бытие с момента сотворения мира, могут дать возможность проследить реинкарнацию духовных и разумных причинно-следственных эволюций отдельно взятых разработчиков алгоритмов работы цифровых процессоров мультимформатных аппаратов. С большой долей вероятности можно предположить, что большинство из них в своих прошлых жизнях были активными охотниками на доисторическую живность и в бесконечных схватках с природой нередко получали характерную профессиональную травму, которая в переводе с современных терминов судмедэкспертизы на понятный древнерусский аудиофильский язык, звучит "Медведь на ухо наступил". По каким-то неведомым, скрытым от человеческого разума законам, все эти охотники в современных воплощениях выбирают работу поспокойнее, чаще всего математиков в аудиоиндустрии.

Далее, сам процесс считывания информации с диска вовлекает в работу множество узлов с автоматической подстройкой рабочих параметров. При необходимости воспроизведения только CD, рассматриваемые узлы с автоподстройкой в значительной степени оптимизируются именно с учетом борьбы с джиттером. В мультимформатных устройствах, когда скорости вращения диска, размеры информационных дорожек на диске, глубина резкости лазера, траектория его движения и т.д. сильно меняются от формата к формату, говорить о какой-то оптимизации с точки зрения звука просто не приходится – все усилия разработчиков направлены на обеспечение просто работоспособности "монстра".

Было бы нелишним отметить некоторые особенности приводов дисков в дорогих проигрывателях CD. В последнее время в некоторых аудиожурналах появился дополнительный раздел тестов таких аппаратов, демонстрирующих способность проигрывателей справляться с дефектами на поверхности дисков. Довольно часто, в дорогих аппаратах, рассматриваемые узлы автоматических регулировок считывающих устройств оптимизируются именно на максимально возможное качество воспроизведения звука, что напрямую идет вразрез с надежностью воспроизведения дефектных

дисков. Можно привести множество примеров, когда дорогие транспорты очень медленно переходят с дорожки на дорожку, отказываются воспринимать пиратские диски, в то время как компьютерные приводы "крутят усё" с космической скоростью.

Резюмируя, в качестве транспорта для дисков CD всегда лучше использовать именно CD проигрыватель или транспорт. Современные мультимедийные проигрыватели даже в этом качестве сильно уступают им по звуку.

Вопрос: В ряду очередных преимуществ форматов DVD и SACD над CD указываются новые алгоритмы кодировки информации при записи на диск, которые призваны обеспечить более надежное их считывание и, как следствие, более высокое качество воспроизведения. Так ли это на самом деле? При копировании CD на компьютере моя программа – копировщик часто указывает на наличие некоторых нестабильных участков, как это влияет на конечный звук?

Ответ: Джиттер можно считать основным врагом цифрового аудио, на его фоне меркнут остальные известные и еще неизвестные проблемы. Формат CD является весьма продуманным даже по современным меркам, методы кодирования информации и ее коэффициент избыточности обеспечивают вполне уверенное считывание с диска даже в тяжелых условиях (отвратительно изготовленные пиратские диски, потрескавшаяся линза лазерной головки, заядлый курильщик в качестве слушателя - толстый слой пепла на дисках и лазере). О действительно грубых ошибках считывания всегда сигнализирует светодиод на передней панели практически любого внешнего DAC'a - поверьте, на "фирменных" дисках этого практически не случается.

Если вооружиться лабораторным микроскопом с увеличением в 300 раз, то при таком увеличении питы на диске выглядят как уколы острой иглой, при увеличении до 200 раз вообще не видны спиральные дорожки треков. Так этот микроскоп - довольно серьезный оптический прибор, как с этой задачей справляется пластмассовая линза лазерной головки? Существуют старые аппараты, где оптический узел лазера представляет так же достаточно серьезный оптический прибор. Видимо, потом выяснилось, что надежности формата CD вполне хватает для использования здесь копеечных пластмассовых линз, чем абсолютно все производители подобных узлов и не преминули воспользоваться. Если бы в свое время в формат CD были заложены еще большая избыточность информации или применен другой алгоритм кодировки, мы бы могли увидеть оптические узлы на основе линз из фанеры или глины, так же обеспечивающих пограничную с проблемной надежностью считывания с диска. Добросовестность производителей лазерных головок не имеет ничего общего со спецификацией цифрового формата.

В любом случае, проигрывание отвратительно отштампованных пиратских дисков на аппаратах, лазер которых вот-вот сдохнет, при этом сигнал ошибки на передней панели внешнего DAC'a практически не гаснет из-за их обилия - на хорошем DAC'e реальные потери в звуке практически минимальны, в то время, как смена того же сетевого кабеля оказывает на звук чудовищно большее влияние. Т.е. реальная жизнь показывает, что надежность этого формата выше всяких похвал.

Формат DVD, в смысле надежности, как раз очень проблематичен. По этому вопросу Вы можете получить много нецензурной, но интересной информации от владельцев пунктов проката дисков DVD Video. Формат Blue Ray уже несколько лет не может поднять свою голову на потребительском рынке, видимо, опять-таки из-за очевидных чудовищных проблем с надежностью, чем бы там не прикрывались его разработчики.

Вопрос: Вся предоставленная информация достаточно любопытна и убедительна, но я могу до конца поверить Вашим доводам только самостоятельно "пощупав" какие-либо убедительные

результаты. Могу ли я собственноручно получить хоть какие-либо данные, объективно характеризующие мою аппаратуру?

Ответ: Конечно, можете! Придерживаясь стиля "демонстрации на пальцах" попробуем организовать несложный "домашний практикум". Для протоколирования результатов нам понадобится любой осциллограф с входом внешней синхронизации. Опытные энтузиасты могут легко проверить полученные данные.

Нам понадобится так же какой-нибудь широкодоступный диск CD с фонограммами достаточно высокого качества. Я предлагаю воспользоваться диском "Аудиодоктор FSQ" прилагаемым к журналам "Салон AV" и "Автозвук" №3/2005. При тираже этого уважаемого журнала в 50000 экземпляров можно надеяться, что данный диск окажется доступным любому заинтересовавшемуся нашими экспериментами энтузиасту.

Содержание диска представляет собой подборку высококачественных фонограмм для быстрой субъективной оценки качества аудиосистем. Составителем диска является глубокоуважаемый в серьезных аудиофильских кругах заведующий кафедрой акустики МТУСИ Д.Г.Свобода. Материал подобран очень грамотно, этот диск должен быть в коллекции любого уважающего себя аудиоэнтузиаста, т.к. позволяет легко и изящно обнаружить и локализовать большинство проблем со звуком в аудиотракте. Составитель диска поделился информацией, что к нему поступает большое количество отзывов по диску, когда владелец аудиосистемы, доселе гордившийся ею, после столь беспристрастного теста готов ее просто выбросить на свалку. Мы же воспользуемся этим диском именно для получения объективных результатов по поводу наших цифровых источников.

Итак, не мудрствуя лукаво, переходим к количественным оценкам. Опытные энтузиасты открывают крышки своих цифровых источников, подключают основной вход своих осциллографов на ножку с сигналом DATA своих микросхем ЦАП, вход внешней синхронизации – на ножку FSYNC (терминология обозначения ног различных микросхем в технической информации может быть иной, приведены наиболее популярные термины. Автор обещает помочь с правильным подключением осциллографа к конкретным микросхемам ЦАП), включаем на осциллографе режим внешней синхронизации, включаем воспроизведение на проигрывателе CD и развертку осциллографа устанавливаем в положение, при котором у нас на экране будут уместиться все разряды одного цифрового отсчета. Если ЦАП у нас 16-ти разрядный, то этих отсчетов будет 16. В остальных случаях у нас может быть 18, 20 или 24 разряда. Автор приводит данные для 16-битового ЦАПа без ЦФ. В подавляющем большинстве случаев, слева на экране у нас будет самый старший бит, справа – самый младший. Свое внимание мы уделим воспроизведению именно младших битов, поэтому считать "столбики" мы будем справа налево.

Запускаем трек 10 с этого диска, на котором при показаниях счетчика времени 1'06 мин записан реальный музыкальный сигнал очень слабого уровня, описываемый составителем диска как случайное задевание локтем музыканта медной тарелочки. Акцентирование именно на этот сигнал связано с тем, что он записан с уровнем, находящимся на границе возможностей воспроизведения большинства аудиосистем. Забегая вперед, следует отметить, что этот сигнал все-таки представляет собой задуманную часть музыкального действия, а не случайную оплошность музыканта, что наглядно слышно при использовании цифровых источников очень высокого качества, когда безо всякого напряжения со стороны слушателя этот звук гармонично вплетается в незамысловатую структуру искусно исполняемого фрагмента. Так или иначе, сначала нужно попробовать услышать этот звук, а потом взглянуть в этот момент на экран осциллографа. Что же мы там видим? При воспроизведении этого звука самые младшие 4 бита "стоят колом", т.е. заполнены информацией до отказа, меняется только 5-

й младший бит. Т.е. звуки, находящиеся на пределе разрешающей способности большинства аудиосистем, используют только 11-12 бит из доступных 16-ти.

Можно самостоятельно проверить информацию на любом другом высококачественном диске CD, имеющем однозначно опознаваемые ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ УХОМ звуки музыкальных инструментов предельно малого уровня. Аналоговый шум (шум мастер-ленты, фон при записи и т.д.), которые практически всегда присутствуют в самом начале цифровых треков перед появлением основного сигнала, имеют примерно такую же заполненность цифровой шкалы, т.е. говорить о присутствии какой-то музыкальной информации в районе последних бит в 16-битной системе не приходится.

Еще раз, забегая вперед, отметим, что автору не удалось найти диск, где самый младший разряд хоть на мгновение бы "погас", демонстрируя приближение 16-битовой системы к своему теоретическому пределу возможностей – такое наблюдается только в промежутке между треками. На этом же диске можно наблюдать изменения сигнала в пределах 15-го бита на участках полнейшей тишины в записи, например, между сериями ударов барабана. Эта информация нам понадобится при рассмотрении следующего вопроса.

Еще раз особо отметим, что эти данные получены в полностью 16-битовом DAC'e без ЦФ. Наличие ЦФ, скорее всего, сделает эти данные еще более удручающими. Было бы очень познавательно получить данные от владельцев 24-битовых цифровых источников.

Как всегда, немного отвлечемся от конкретных аспектов и уделим немного внимания соприкасающимся с рассматриваемой информацией вопросам воспроизведения именно музыки, а не звуков. Уже становится очевидным, что та тонкая энергия, которая из набора отдельных звуков формирует именно музыку, а не просто мешок звуков, не имеет никакого отношения к разрядности используемой цифровой шкалы. Практически всегда смещение усилий разработчика к концу цифровой шкалы приводит к потерям музыкальной целостности сигнала. Именно это мы можем наблюдать как раз на рассматриваемом диске, когда при формальной безупречности выполненных записей говорить о какой-либо их музыкальности просто не приходится – все звучит бездушно, выхолощено. Повышение разрешающей способности всех элементов как записывающего, так и воспроизводящего трактов должно производиться очень продуманно и осторожно. Только тогда повышение разрешающей способности может характеризоваться как реальное, выводящее степень действительно эмоционального воздействия музыки на слушателя совершенно на другой уровень.

Вопрос: Многие современные диски CD записываются по современным 24-битовым технологиям, о чем особо указывается на их обложках. Есть ли смысл таких усилий при звукозаписи, если на CD музыка все равно представлена в 16-битовом формате?

Ответ: Именно по такой технологии записан рассматриваемый выше тестовый диск. Повышение разрядности цифровой шкалы при записи не может являться гарантией ее качества. Просто неизбежный прогресс в аппаратуре и технологиях записи сам по себе способствует заметному улучшению конечного результата, ДАЖЕ, НЕСМОТРЯ НА ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЯДНОСТИ ЦИФРОВОЙ ШКАЛЫ, которое, как мы уже с Вами знаем, является как раз тормозом в вопросах повышения музыкальности воспроизводимой музыки.

Переход с 24 бит сразу на 16 бит не может быть осуществлен просто путем отбрасывания младших разрядов, сразу становится слышна "урезанность" подобных записей. Для этого применяют специальные технологии подмешивания случайного шума (ох! Опять эти математические штучки в музыке...) в младшие разряды, начиная с 15-го бита (в общем случае). После этого лишние биты уже отбрасываются и считается, что конец 16-разрядной шкалы приобретает особую "округленность" и даже "благородство" в зависимости от темперамента математика-разработчика алгоритма

подмешивания шума. Практически всегда декларируется, что реальная разрешающая способность при этом превышает имеющиеся в наличии 16 бит и доходит аж до 18-битовых показателей! Наблюдаемые нами какие-то процессы на осциллографе в районе 15-16 битов на нашем тестовом диске как раз демонстрируют этот подмешанный шум, который скрывает от нашего глаза и уха самое интересное, а реальная разрешающая способность, оказывается, повышается! Нам предлагают не верить глазам и ушам своим. При этом тут же приводятся данные психофизических исследований, утверждающих, что именно данный характер подмешанного шума абсолютно не воспринимается слушателями.

Конечно же, специально подмешанный шум не может быть похож на естественный аналоговый шум. В трактах с действительно высоким разрешением шум в 15-16 битах воспринимается как мерзкий раздражающий недостаток записи, в то время как случайные аналоговые шумы, преобразованные в цифровую форму в процессе записи, воспринимаются легко и спокойно и не отвлекают от музыки.

Степень этой мерзости также может быть различна в различных трактах. Понятие реальной разрешающей способности аудиосистемы неразрывно связано с понятием реального воспроизводимого динамического диапазона и не имеет никакого отношения к способности воспроизведения самых тихих звуков. Это очень важное определение. Тот звук, который мы вылавливали при рассмотрении предыдущего вопроса, всегда воспроизводится так или иначе в любой системе, и только от правильности передачи динамического диапазона будет зависеть, легко ли узнаваема именно медная тарелка или он напоминает звук от раздавливаемого шарика от пинг-понга. Расширение передаваемого динамического диапазона приводит к тому, что тихие звуки становятся еще более тихими, а громкие-еще более громкими. Сужение динамического диапазона – когда тихие звуки начинают выпирать на передний план, навязываться слушателю, отвлекать внимание. Именно эти особенности подачи звука присущи ЦАПам, реализованным по 1-битовой технологии, что декларируется как их особая линейность при работе с малыми сигналами. Только мультибитовые ЦАПы (и только при внимательном отношении разработчика) способны сохранить баланс уровней разных сигналов, обеспечив правильную передачу динамического диапазона.

Вопрос: Я использую множество специальных аксессуаров известных фирм для улучшения звучания своей звуковой системы. Существуют ли какие-нибудь "народные" доступные методы, позволяющие поднять ее уровень звуковоспроизведения?

Ответ: Действительно, такие методы существуют. Так как мы рассматриваем в данном обзоре исключительно цифровые источники звука, рассмотрим методы улучшения звучания, касающиеся непосредственно этих источников.

Итак, для одноблочных (т.е. полных) проигрывателей цифровых дисков можно рекомендовать:

- Стандартный сетевой кабель, поставляемый с проигрывателем в комплекте, нужно выкинуть и заменить специализированным для звука сетевым кабелем.
- Если Ваш проигрыватель позволяет отключить свой цифровой выход (с пульта или передней панели, см. инструкцию на проигрыватель) – цифровой выход должен быть отключен.
- Если Ваш проигрыватель позволяет отключать дисплей во время воспроизведения – дисплей должен быть отключен.
- В цифровой коаксиальный выход проигрывателя необходимо вставить заглушку в виде ответной части разъема с резистором 75 Ом.

Для двухблочных цифровых источников (т.е. транспорт + DAC) уместны рекомендации:

- Стандартные сетевые кабели обоих блоков нужно выкинуть и заменить специализированными для звука сетевыми кабелями.

- Если Ваш проигрыватель позволяет отключить аналоговый выход при использовании его в режиме транспорта – аналоговый выход должен быть отключен.
- Если Ваш транспорт (проигрыватель) позволяет отключать дисплей в режиме воспроизведения – дисплей должен быть отключен.
- Лучше использовать оптический цифровой интерфейс между блоками. Цифровой коаксиальный вход DAC'a при этом необходимо закоротить внешним штекером с перемычкой. В гнездо коаксиального цифрового выхода транспорта можно установить штекер с резистором 75 Ом (не всегда приводит к улучшению звучания, но часто).
- Если есть возможность подвести к системе трехфазную сеть, транспорт, DAC и остальной аналоговый тракт лучше запитывать от разных сетевых фаз.
- Если используются сетевые кондиционеры (фильтры), транспорт, DAC и остальной аналоговый тракт лучше подключать к сети через разные кондиционеры.
- Если хватает смелости – можно открыть крышку DAC'a. Если цифровые и аналоговые цепи питаются от отдельных сетевых трансформаторов, можно сделать для них отдельные сетевые кабели и использовать отдельные сетевые фильтры.

Итак, можно уже подвести некоторые промежуточные итоги, которые уж очень похожи на окончательные выводы, хотя изо всех сил хочется надеяться, что это не так:

1. На современном уровне инженерного подхода к обработке и воспроизведению цифрового звука невозможно превзойти разрешающую способность цифрового тракта в 13-14 бит. Очевидно, что все усилия в этом направлении могут только приблизить результат к 16-битовой отметке, которая никогда не сможет быть преодолена и может рассматриваться только как ориентир. Прорыв барьера очевидности нам не грозит, ни с какой стороны.

2. Разрешающая способность современных цифровых форматов звука недопустимо низкая для его качественного воспроизведения и не может добраться до достигнутого в формате CD уровня, ни при каких условиях. Возможные кажущиеся успехи в этих форматах можно объяснить нарочито усердным старанием при записях первых демонстрационных релизов и неизбежным прогрессом в аналоговых студийных трактах. Новые цифровые форматы могут быть использованы только для иных бытовых целей, не ставящих функцию воспроизведения звука на первое место.

3. Направление усилий производителей подобной техники выбрано неправильно, если главной целью рассматривать качество звуковоспроизведения. Это своевременно отметил и тактично пожурил еще пару столетий назад наш известный соотечественник И.Крылов, помните его "Здесь надобно уменье. И уши, Ваших понежней...".

4. Современные методы измерений и исследований количественных величин ни в коей мере не могут и не должны быть применены к цифровому звуку. Разработка новых приборов и методик еще больше запутывает ситуацию и уводит технический прогресс от конечной цели (там же: "А вы, друзья, как не садитесь..."). В настоящий момент этот процесс принял хаотичный характер. Возможность появления в этих условиях цифрового аппарата с хорошим звуком не превышает вероятности того, что пронесшийся над радиорынком в Митино сильный вихрь случайно соберет такой аппарат из разбросанных деталей. Необходим новый, метасистемный, взгляд на старые (оказывается) проблемы, базирующийся на "звуковой" (не путать с музыкальной!) культуре и интуиции разработчиков.

5. Оставшиеся до физического предела несколько бит крайне важны и могут стать решающим фактором в битве форматов. Добыча их возможна только при экстенсивном использовании нестандартных схемотехнических и конструктивных решений, основанных на современной элементной базе и схемотехнике, не имеющим никакого отношения к цифровому звуку. Результат может быть достигнут только в формате CD, имеющем недостижимый, с технической точки зрения, потенциал.

Следует особо отметить, что это совсем не означает "выживание" самых тихих звуков – это означает переход звука на совершенно иной качественный уровень, способный произвести смещение существующих точек отсчета для оценки его качественных показателей.

Попутно отметим, что цифровой формат CD имеет звуковой потенциал, превышающий любой аналоговый формат. Просто мы еще не добрались до дна этого потенциала. Любой аналоговый формат имеет значительно больше подводных камней, лежащих вне компетенции конкретных разработчиков, которые, к тому же, должны иметь "нежные уши". Скажем, в виниловом формате эти проблемы практически полностью лежат в области физической механики и не поддаются логическому или иному осмыслению на достаточном уровне, не говоря уже об их решении. Ограничивающие факторы лежат практически на поверхности грампластинки. Попробуйте сегодняшнему отличнику-студенту, никогда не слышавшему виниловый формат, рассказать, что два канала звуковоспроизведения можно слить в одну канаву, прошу прощения – канавку, на поверхности пластмассового круга, а потом извлечь их оттуда с помощью одной - таки (!) иглы – он Вам ни за что не поверит! Слишком абсурдно все это выглядит со стороны, если отбросить наш жизненный опыт.

В цифровом звуковом формате все проблемы носят, можно сказать, электрический характер. Они более легко поддаются логическому осмыслению, больше направлений и возможностей движения. Просто этим еще никто глубоко не занимался. Винилу потребовался почти век, чтобы достигнуть современных высот. Цифровой формат еще просто не "вызрел".

Вы можете задать автору любые интересующие Вас вопросы по электронной почте или телефону. Связь по электронной почте является приоритетной.

himarkan@hotmail.com

(8634) 623-525

Интересные вопросы, поступившие от Вас, обязательно попадут на страницы очередного подобного сборника.

ПРИЯТНОЙ МУЗЫКИ ВАМ!!!