

Новые подходы к измерению звуковых параметров Или почему одни измерения продуктивны, а другие – нет

Введение и общие сведения

На состоявшейся в конце сентября британской выставке Hi-Fi Show в отеле Whittlebury Hall и неделей позже на Rocky Mountain Audio Fest в США для посетителей и представителей аудиоиндустрии была устроена необычная презентация. Включая в себя демонстрацию аппаратуры и результатов замеров, это мероприятие продемонстрировало результаты недавно осуществленного исследовательского проекта по нахождению нового, более целесообразного подхода к измерению звуковых характеристик. Но было еще кое-что, что сделало данное событие уникальным: представленные результаты явились плодом совместных усилий двух конкурирующих компаний-производителей аудиотехники и третьей стороны в лице независимой научно-исследовательской фирмы, занимающейся передовыми технологиями обработки сигналов применительно к оборонным проектам. В этой необычной истории примечательно понимание ее центральными участниками всей важности конкретного вклада каждого из них для оценки результатов измерений, то, как эти результаты были получены, и их значимость в широком смысле. И, как и во множестве других историй, конечный итог начальных устремлений оказался совершенно неожиданным.

Предыстория и подготовительный этап

Эта история началась на двух выставках, одна из которых прошла в Манчестере, а другая – в Денвере. Как редактор журнала «Hi-Fi +», я проводил серию публичных презентаций, призванных показать, насколько кабели и стойки важны для характеристик высококлассных аудиосистем. Каждая презентация включала в себя три идентичных набора источников сигнала, приводивших в действие одни и те же колонки; системы различались лишь силовыми и сигнальными кабелями, опорами под оборудование и наличием или отсутствием сетевого фильтра Quantum Qx4. Кабели для третьей, самой лучшей по звучанию системы предоставил выполнявший функции ассистента Стив Элфорд из Vertex AQ. Однако, сколь бы впечатляющими ни были эти презентации, подлинный момент озарения, важность которого мы тогда просто не осознавали в полной мере, наступал в конце того или иного выставочного дня. Сидя и обдумывая события, произошедшие за день (и при этом отдыхая – проведение подобных презентаций бывает довольно утомительным), мы всякий раз упирались в тот факт, что при всей масштабности, очевидности и музыкальной значимости демонстрируемых нами различий никому пока не удалось их достоверно измерить – вопиющий недочет текущего состояния аудиоизмерений, учитывая их конечную цель.

Такого рода наблюдения обычно ограничиваются последующими фантазиями и бесплодными умопостроениями из разряда «А что, если...», однако на сей раз они попали на благодатную почву, ибо Стив Элфорд – не только руководитель аудиоподразделения компании Vertex AQ, но и бывший офицер технической службы британских ВВС в должности военного консультанта. Несколько месяцев спустя, работая над одним оборонным проектом, он пересекся по служебным делам с Гаретом Хамфрис-Джонсом из Acuity Products – доктором прикладной математики и специалистом по алгоритмам обработки сигналов в высокоэффективных гидролокационных и радарных системах.

В то время Хамфрис-Джонс бился над проблемой несоответствия характеристик разрабатываемой им системы техническим требованиям. В связи с этим Стив рассказал об эксплуатационных преимуществах качественных кабелей и опор. И хотя Гарет отнесся к услышанному скептически, он согласился посетить предстоящую презентацию. Ее результаты были для Гарета столь очевидны, что подогрели его интерес; и тогда наши досужие домыслы, все эти «А что, если...» вдруг обрели почву под ногами, взрастив целый ряд академически и профессионально безупречных исследователей, уже обладавших значительным опытом и полноценным инструментарием передовых технологий в смежной области. Тем временем я ушел из журнала и устроился в Nordost на должность менеджера по маркетингу. То, что все упомянутые факторы слились воедино, явилось уникальным стечением благоприятных обстоятельств: помимо того, что в игру вступили не одна, а две компании-производителя аудиотехники, заинтересованные в разработке основы протокола измерений, способного отражать ранее неизмеряемые эффекты, мы получили отдельную независимую организацию с собственной заинтересованностью в сотрудничестве такого рода и, что самое необычное, взаимосвязь между участниками процесса.

Первые шаги

Мы с самого начала хотели, чтобы компания Acuity проводила независимые исследования, не скованная предубеждениями, довлеющими в hi-fi-индустрии. Исходя из этого, мы просто предоставили сотрудникам Acuity начальный комплект испытательного оборудования, предположительно позволявший изучить явления, с которыми Гаррет уже столкнулся в ходе посещенной им презентации. В этот комплект вошли:

CD-проигрыватель (одна старая британская модель, продававшаяся примерно за 4000 фунтов)

Трёхполочная стойка Quadraspire

Кабель питания Vertex AQ Roirama

Кабель питания Nordost Vishnu

Опорная платформа Vertex AQ Kinibalu

Сетевой фильтр Quantum Qx4

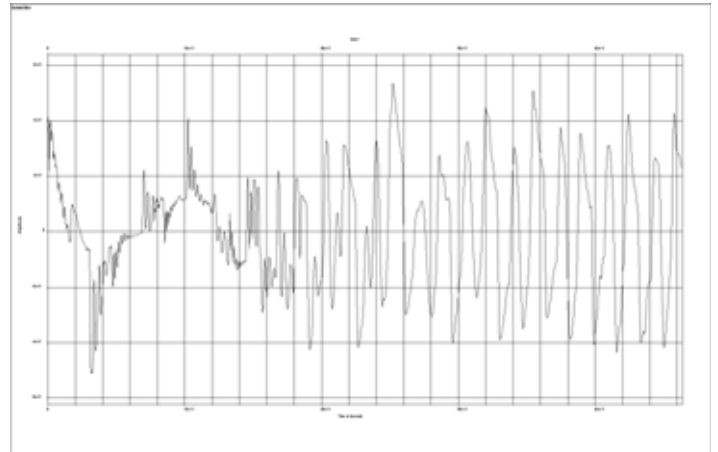
Кроме того, для подключения CD-проигрывателя к Qx4 мы предоставили второй силовой кабель Vertex (без звукопоглощающих свойств) и еще один Nordost Vishnu.

Вначале исследователи из Acuity попытались выяснить, есть ли какая-то измеримая разница между характеристиками проигрывателя, просто помещенного в стойку Quadraspire, и вариантом с применением аудиофильского шнура питания, сетевого фильтра и опорной платформы. Не стесняемые никакими ограничениями, они подошли к проблеме весьма обстоятельно, как если бы имели дело с гидролокационной системой, но с одним существенным отличием: использование CD-проигрывателя и возможность копирования содержимого диска с точностью до бита обеспечивали доступ к тому, что в Acuity называют «достоверными данными» – к известному входному сигналу, а не целому океану звуков.

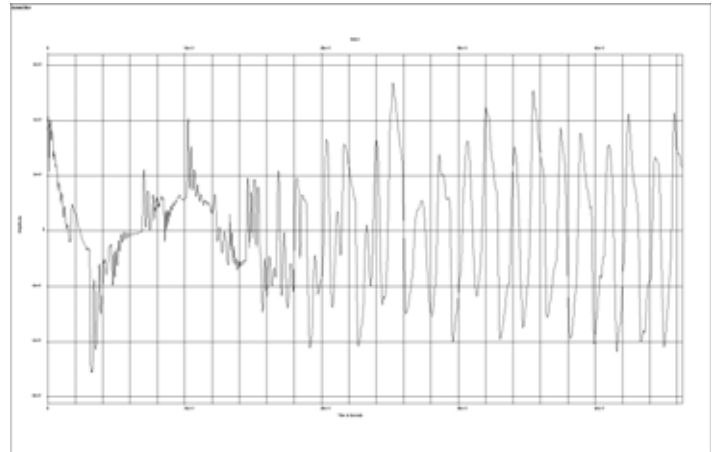
Первоначальный подход, подразумевавший, по сути, обычное сложение и вычитание, был обманчиво прост, однако, не базируясь на предубеждениях, свойственных производителям аудиоаппаратуры, позволил взглянуть на проблему под принципиально иным углом. Традиционные подходы к измерению звуковых параметров ориентированы на частотную область с применением алгоритма БПФ и тестовых тональных сигналов устойчивого состояния, на которых оно основано. Сотрудники же Ascity, поднатеревшие в сфере обработки сложных сигналов, обратились непосредственно к временной области, наиболее информативной для тех систем, с которыми они обычно работают. Более того, с учетом упомянутого статуса достоверных данных, далекого от пугающей неизвестности, использование реальных музыкальных сигналов в качестве тестового материала расценивалось как существенное упрощение решения проблемы.

В комплект тестового оборудования входил CD-проигрыватель, установленный на самую верхнюю полку стойки Quadraspire, и шнур питания стандарта IEC. На ПК была создана побитовая копия особенно энергичного музыкального фрагмента материала, записанного на диске (на базе сигнала как раз того типа, который доставляет hi-fi-системам больше всего проблем), после чего при воспроизведении диска CD-проигрывателем тот же фрагмент был загружен с аналоговых выходов проигрывателя обратно в ПК через высококачественную звуковую карту, чтобы его можно было сравнить с первоначальными данными. Исследователи исходили из того, что возможность сравнения двух наборов данных на компьютере позволит наглядно оценить характеристики проигрывателя. Предполагалось, что путем наложения одного сигнала на другой и сопоставления различий можно выявить любое вызванное процессом воспроизведения отклонение от оригинала в виде остаточной погрешности. Звучит просто, но на практике точное совмещение таких сигналов и оценка разницы между ними требуют изрядной профессиональной компетенции – и именно в данной области у Ascity есть обширные наработки и инструментарий.

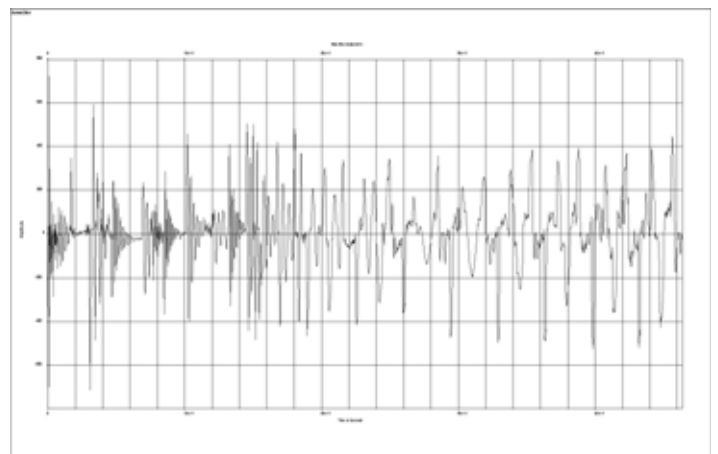
Далее представлены копии двух графиков, один из которых сгенерирован первоначальными данными (компьютерной копией), а другой – тем же треком, воспроизведенным на CD-проигрывателе. Поначалу они выглядят очень похоже, чего и следовало ожидать. Однако после взаимного наложения, представленного на третьем графике, видимые различия довольно существенны. Этот график приведен в увеличенном масштабе, позволяющем нагляднее оценить происходящее (в числовом выражении пиковые уровни погрешности составляют около 10%). Неудивительно, что наши аудиосистемы звучат не совсем так, как музыка, исполняемая живую!



Исходный трек в формате wav



Сигнал с аналоговых выходов тестового проигрывателя



**График фактических различий:
wav-сигнал минус необработанный сигнал проигрывателя**

Потом исследователи поместили проигрыватель на платформу Vertex и подключали его к электросети аудиофильскими шнурами питания через сетевой фильтр Quantum Qx4, чтобы выяснить, повлияет ли это на выходной сигнал. В результате повтора вышеописанной процедуры был получен новый график погрешности, представленный ниже. Сравнив его с первоначальным выходным сигналом, нетрудно заметить снижение суммарной погрешности почти на 50%! Очевидно, что указанные элементы апгрейда существенно влияют на характеристики CD-проигрывателя. Повторное тестирование развеяло последние остатки сомнений в правильности выбранного курса.

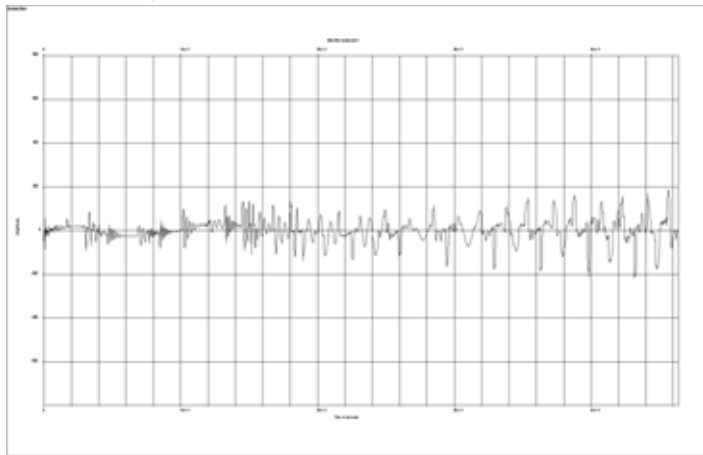


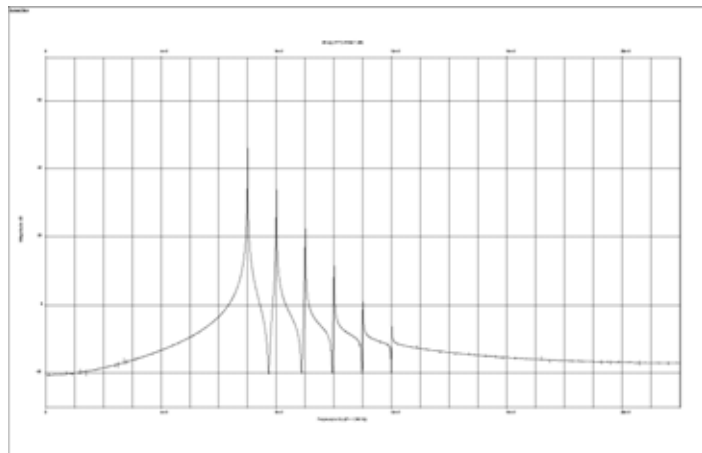
График фактических различий: wav-сигнал минус сигнал проигрывателя при использовании платформы, сетевого фильтра и более качественного шнура питания

Вместе с тем значимость результатов, полученных на данном этапе, не стоило переоценивать: с одной стороны, разбиение тестирования на отдельные стадии позволило получить первые неоспоримые данные, демонстрирующие положительное влияние качественных шнуров питания, опорной платформы и технологии Quantum QRT; а с другой, факт наличия подобных различий – еще не стопроцентное доказательство их важности для потенциального покупателя. Исследования явно требовали продолжения даже с учетом того, что уже само по себе проявление измеримого эффекта от применения опорного приспособления и более качественных силовых кабелей, не являющихся элементами сигнального тракта, стало существенным шагом вперед.

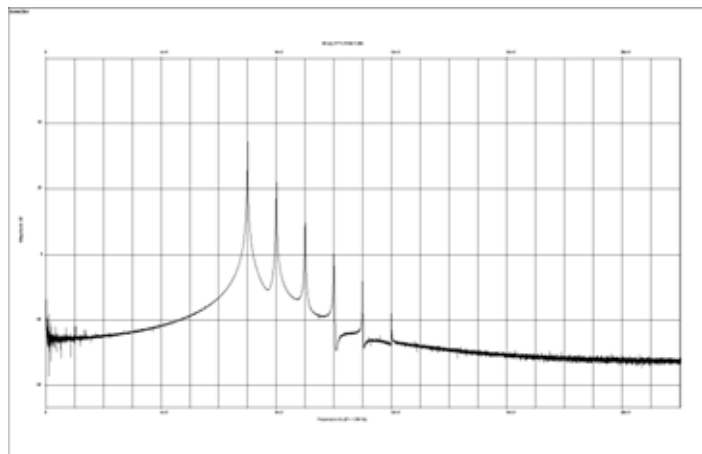
Повторное изучение частотной области

Несмотря на то, что сотрудники Acuity были уверены, что наиболее плодотворным полем для исследований станет временная область, игнорировать частотную область они не собирались. Намереваясь изучить конкретные слышимые эффекты, они были уверены в достижимости значимых полезных результатов. Одним из аспектов, которые мы с ними предварительно обсудили в контексте индикаторов системной эффективности, была способность лучших систем поддерживать низкочастотную детализацию в пассажах типа негромких перкуссионных мотивов на таком уровне, при котором она не заглушается остальными инструментами.

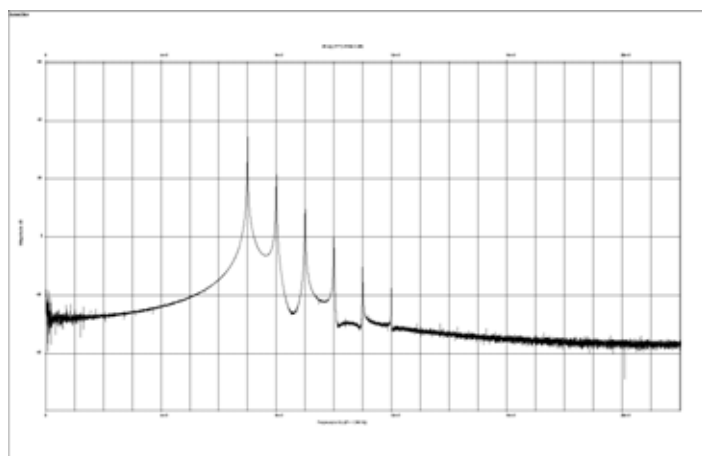
Имея это в виду, Гарет генерировал слабый синтетический сигнал, состоявший из пика в 12 кГц и серии «гармоник» с интервалами в 1 кГц, последовательно нисходящих по уровню. Повторение программы испытаний, но уже с прицелом на результаты синтетического «дзиньканья» в частотной области, выявило явные различия характеристик проигрывателя при использовании и неиспользовании упомянутых аксессуаров.



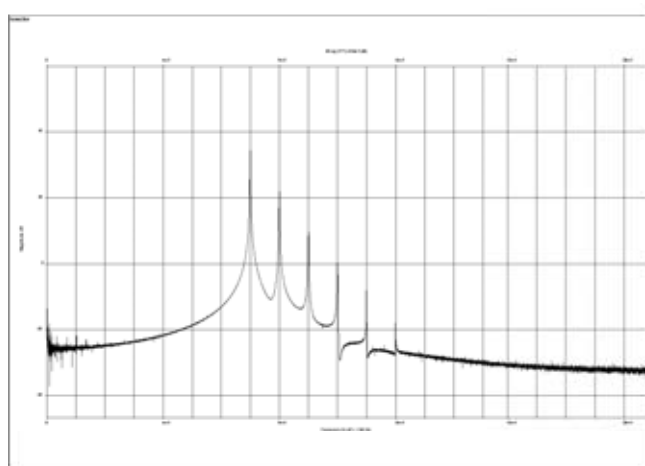
Тестовый wav-файл



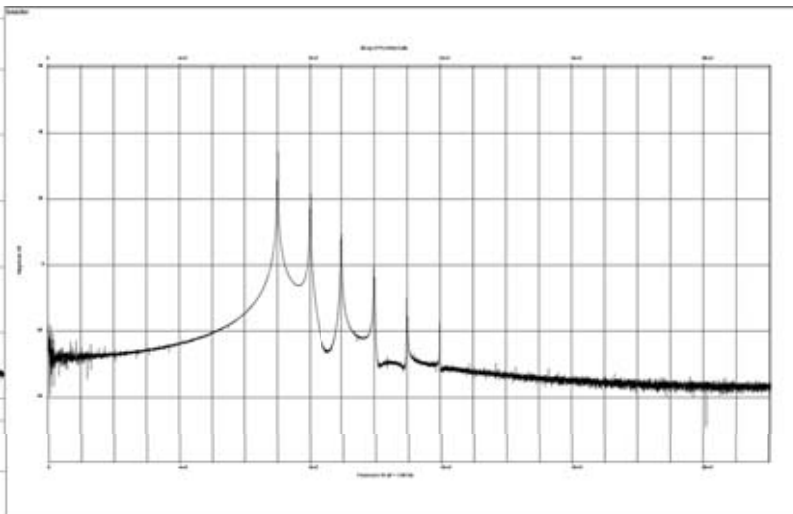
Необработанный выходной сигнал проигрывателя



Выходной сигнал при использовании платформы, сетевого фильтра Qx4 и более качественного кабеля питания



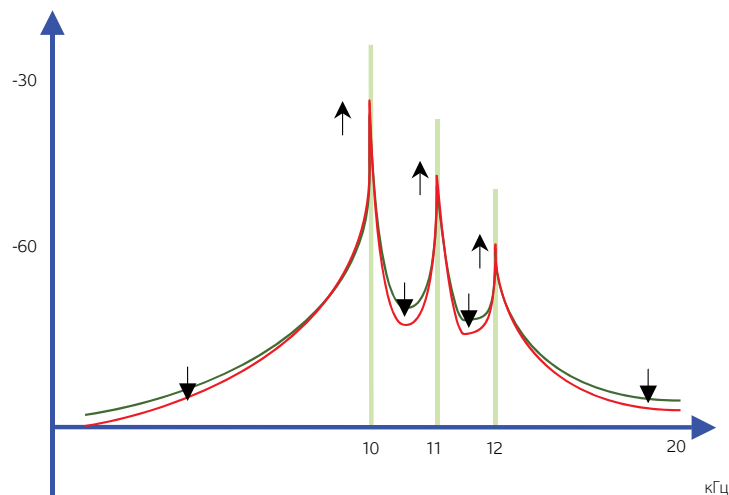
Необработанный выходной сигнал проигрывателя



Выходной сигнал при использовании платформы, сетевого фильтра Qx4 и более качественного кабеля питания

В частности, в той области, которая ниже уровня тестового тонального сигнала, и особенно в той, которая выше, существенно снизился уровень собственных шумов; при этом стали ниже «провисания» между пиками. Менее очевидным является небольшое, но немаловажное возрастание самих пиковых значений. Эти изменения в упрощенном виде представлены на иллюстрации.

Также следует отметить, что площадь зоны под графиком не изменилась, тогда как энергия, которую она отражает, стала более сфокусированной в пиках и исходный сигнал отслеживается гораздо точнее. Из сопутствующей таблицы, где эти явления разобраны по пунктам, видно, что точные измерения, представленные в виде графиков, отражают спад уровня собственных шумов в области ниже уровня тестового тонального сигнала на 2,5 дБ, спад на 5 дБ в области его превышения и прирост пиковых значений примерно на 0.5 дБ (не так уж мало, если учесть, что измерения выполнялись по логарифмической шкале). Однако еще интереснее то, насколько близко эти результаты отражают слышимые эффекты от использования упомянутых аксессуаров. При наличии последних CD-проигрыватель обеспечивает более сфокусированный и четкий вокал, больший динамический диапазон, меньший уровень собственных шумов, ощущение большего пространства вокруг инструментов и между ними плюс улучшение разрешения и детализации на низких частотах – и всё это безупречно согласуется с результатами измерений. Как показали наши недавние семинары на британской и американской выставках, столь тесная корреляция крайне необычна для измерений звуковых параметров, но ее легко продемонстрировать. И мы, разумеется, опять же показываем людям, что более совершенные силовые кабели, дополнительные опоры под оборудование и более качественное электропитание оказывают на аудиохарактеристики слышимое и измеримое влияние.



Конфигурация	Типовое снижение шума в области ниже уровня тестового тонального сигнала (дБ)	Типовое снижение шума в области выше уровня тестового тонального сигнала (дБ)	Типовое увеличение пиковых значений (дБ)
Настроенный на средние значения параметров проигрыватель с платформой	-1.1	-2.2	+0.3
Настроенный на средние значения параметров проигрыватель с более качественным кабелем питания	-0.9	-1.8	+0.2
Настроенный на средние значения параметров проигрыватель с QX2	-0.5	-1.5	+0.2
Настроенный на средние значения параметров проигрыватель с платформой, более качественным кабелем питания и сетевым фильтром Qx2	-2.5	-5.0	+0.4

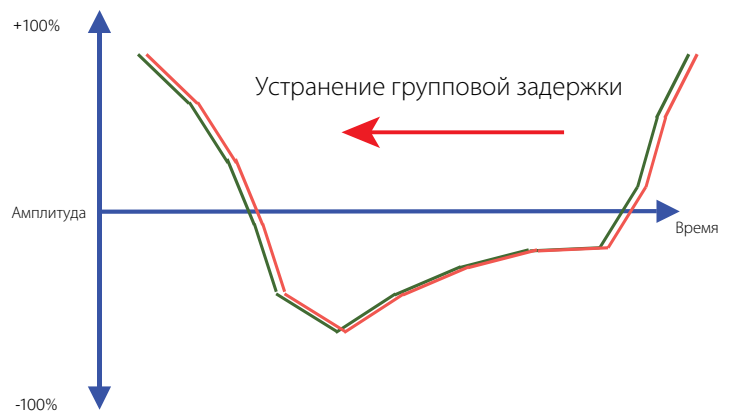
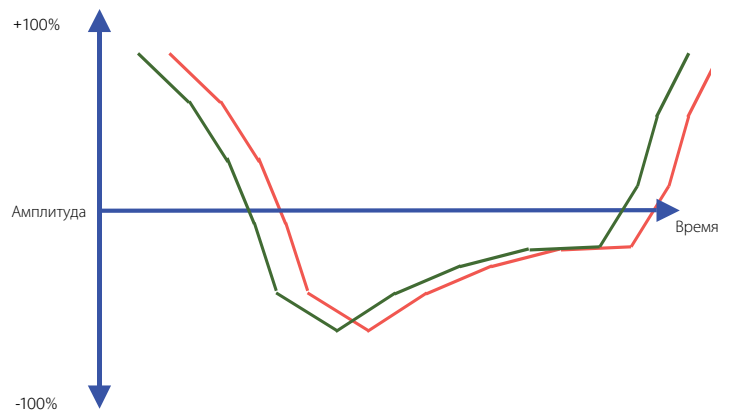
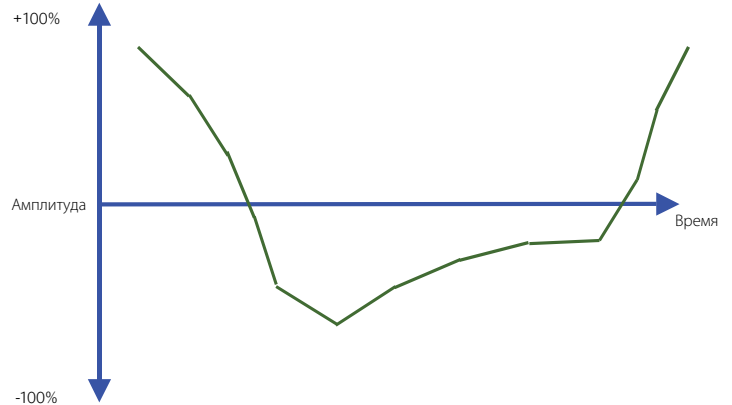
Новый поворот, или Обратно во временную область

но не проливали свет на причины происходящего. Столкнувшись с этой головоломкой, специалисты Acuity опробовали различные подходы, стремясь ее распутать, но это не удавалось им до тех пор, пока они не вернулись во временную область, на сей раз на базе последовательного выборочного оценивания, и не начали получать реальный прогресс. Сравнивая тестовый сигнал с сигналом погрешности, вполне можно ожидать, что пиковые значения погрешности совпадут с пиковыми уровнями исходного сигнала – но они не совпадают. Да, взаимозависимость тут прослеживается, но связана она со скоростью изменения сигнала.

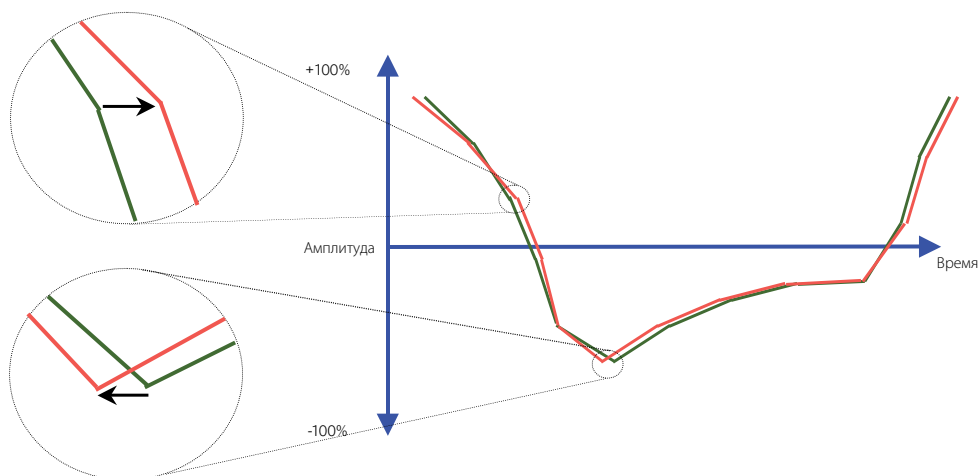
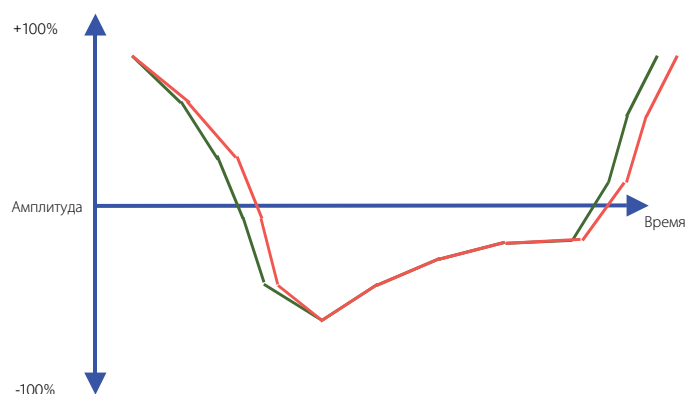
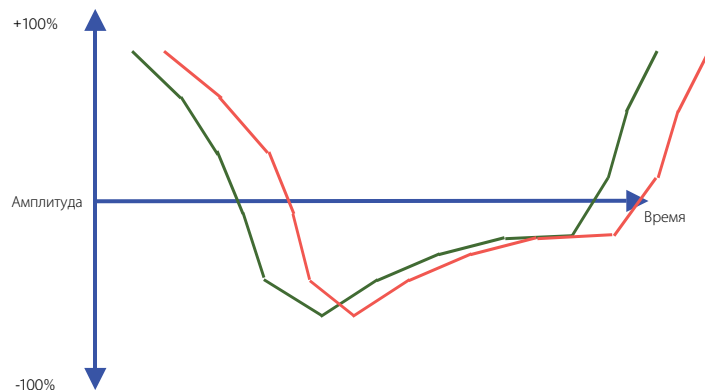
Если взять какой-то отдельный пик или провал на распечатке временной области первоначального сигнала, увеличенной настолько, чтобы можно разглядеть все замеры по отдельности (каждый «уголок» на графике), то картина будет примерно следующая:

В данном примере представлены 12 замеров со стандартным интервалом в 22 микросекунды, сделанные при воспроизведении компакт-диска обычного формата.

Результат снятия сигнала с аналоговых выходов проигрывателя и наложения на первоначальный сигнал представляет собой идеальную копию, немного смещенную вправо по времени на тот промежуток, который потребовался сигналу для прохождения через проигрыватель. Если же устранить эту групповую задержку (тем самым «перетаскив» график обратно влево), то первоначальный сигнал и выходной сигнал проигрывателя накладываются друг на друга почти без зазора.

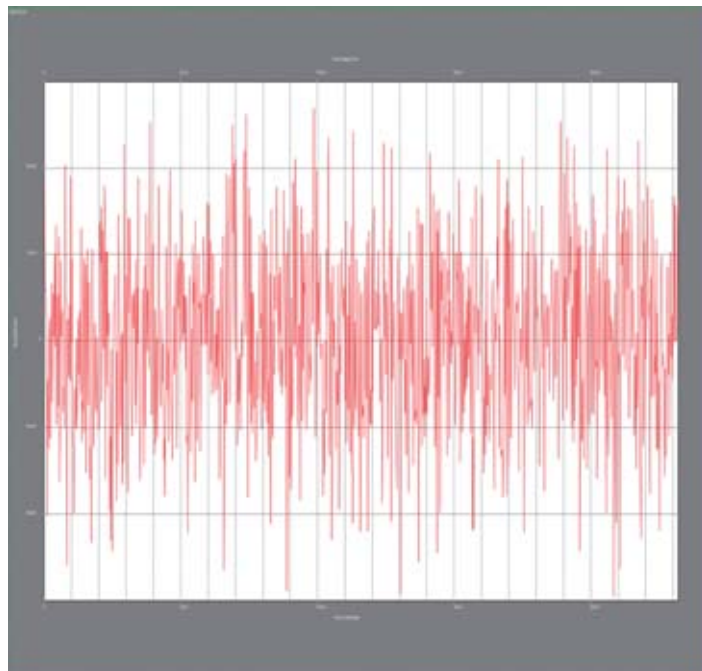


Рассмотрим реальный пример, где, на первый взгляд, две кривые очень похожи. Однако специалисты Acuity составили сложный алгоритм, позволяющий точно синхронизировать отдельные замеры в потоке данных (что, как уже отмечалось, является одной из областей их профессиональной компетенции). После совмещения двух графиков становится понятно, что выходной сигнал проигрывателя довольно существенно отличается от первоначального сигнала, выбиваясь вперед в одних точках и отставая в других. Также очевидно, что, когда скорость изменения сигнала мала (пологие участки графика), две кривые очень хорошо согласуются друг с другом. Когда же углы наклона увеличиваются, растет и погрешность.



Запуск второго алгоритма позволил Acuity измерить положительную и отрицательную составляющие этой погрешности по отношению к времени, в результате чего была зарегистрирована картина, представленная справа.

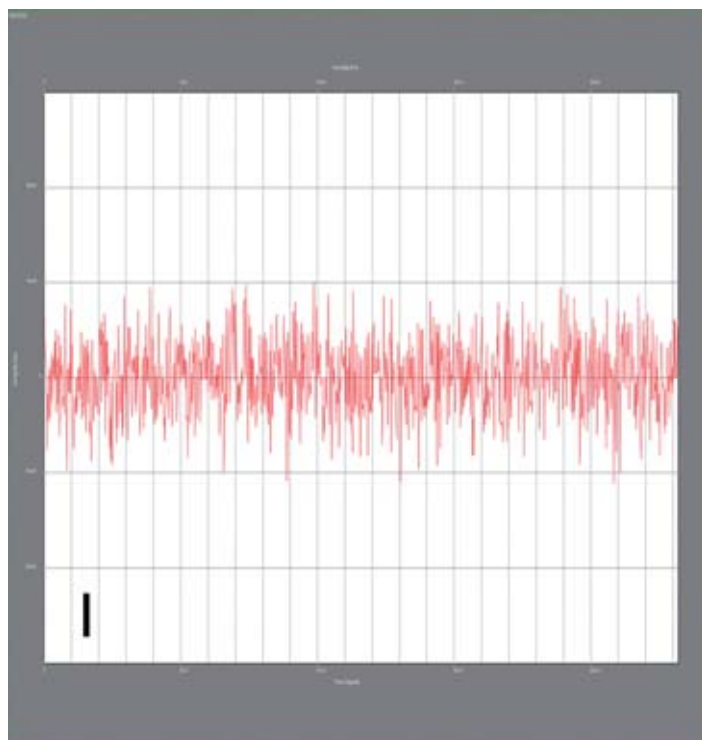
Здесь каждая красная линия представляет собой погрешность, которая тем больше, чем длиннее линия. Результат совмещения выходного сигнала проигрывателя с входным теоретически представляет собой одну горизонтальную линию, но, как видно из иллюстрации, в случае нашего тестового проигрывателя имеют место существенные отклонения. Насколько существенные? Что ж, вертикальные деления на графике составляют 10 микросекунд каждое, и нетрудно заметить множество участков с амплитудной погрешностью свыше 40 микросекунд (два полных периода)!



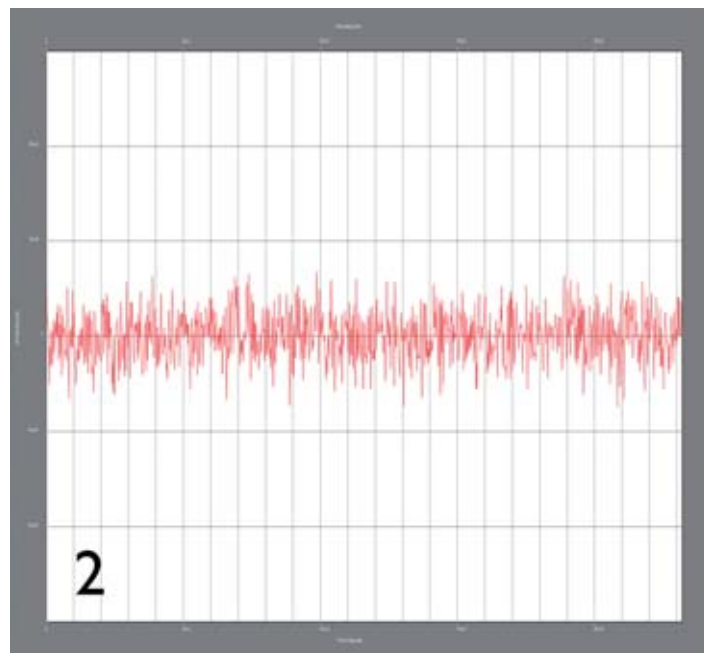
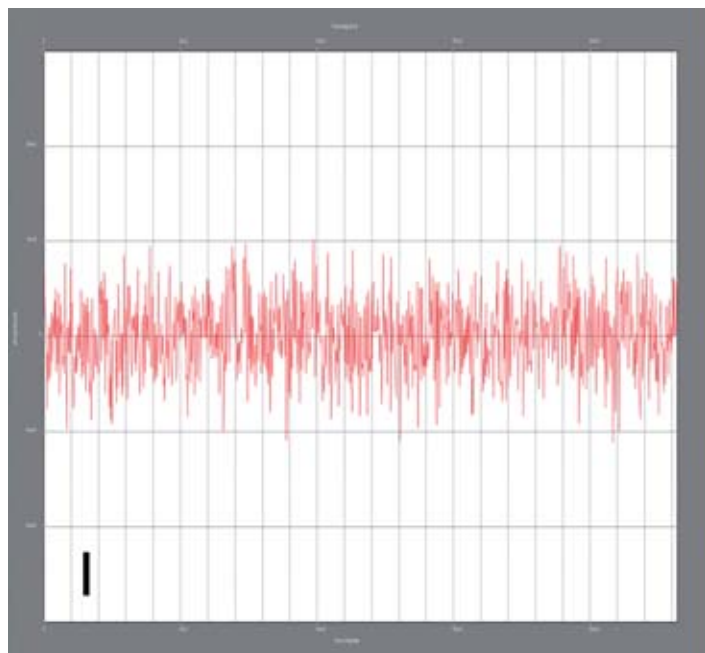
Слышимые результаты измерений

Обновленный набор цифровых измерительных средств позволяет пристальнее рассмотреть то, что происходило с характеристиками проигрывателя при замене компонентов тестового оборудования. На сегодняшний день результаты достаточно очевидны для того, чтобы демонстрировать их публично, и впервые это было сделано на выставке аудиоаппаратуры в отеле Whittlebury Hall в Великобритании в конце сентября 2009 г. (на открывшейся неделей позже выставке RMAF в Денвере это было сделано снова, хотя в этом случае курьерская служба UPS не смогла доставить запланированный тестовый плеер, из-за чего нам пришлось использовать аппарат-заменитель). Время, требующееся для прогона аналитических алгоритмов, делает анализ в режиме реального времени невозможным, но для того чтобы продемонстрировать посетителям потенциал нового подхода к аудиоизмерениям, мы разработали процедуру презентации, описанную ниже.

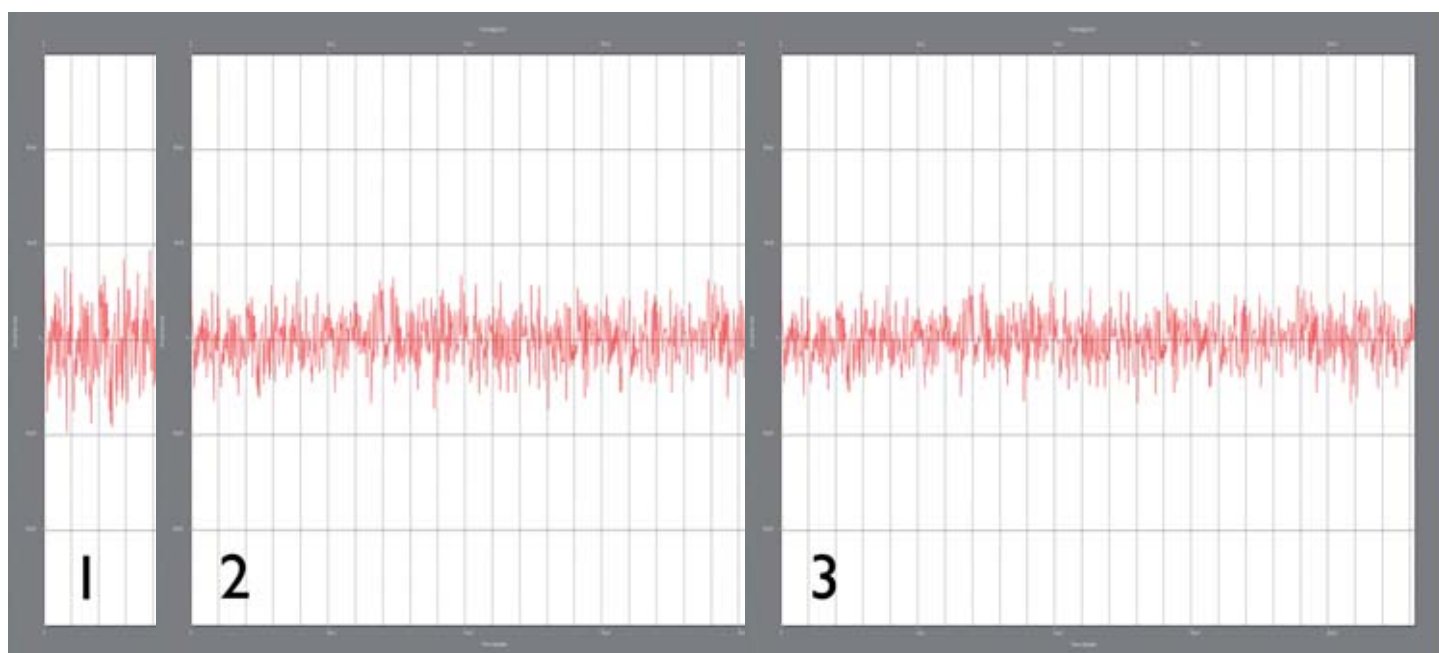
Во-первых, мы на время позаимствовали очень качественный аппарат и протестировали его уже описанным способом. Благодарим фирму dCS за предоставление в длительную аренду проигрывателя серии Russini, продаваемого в Великобритании по цене немногим менее 10 000 фунтов. На графике справа показаны результаты измерения его параметров – видно, что даже при использовании прилагаемого шнура питания и собственных опор результаты уже значительно лучше, чем у первоначального тестового проигрывателя (амплитудная погрешность в большинстве случаев намного ниже 20 микросекунд).



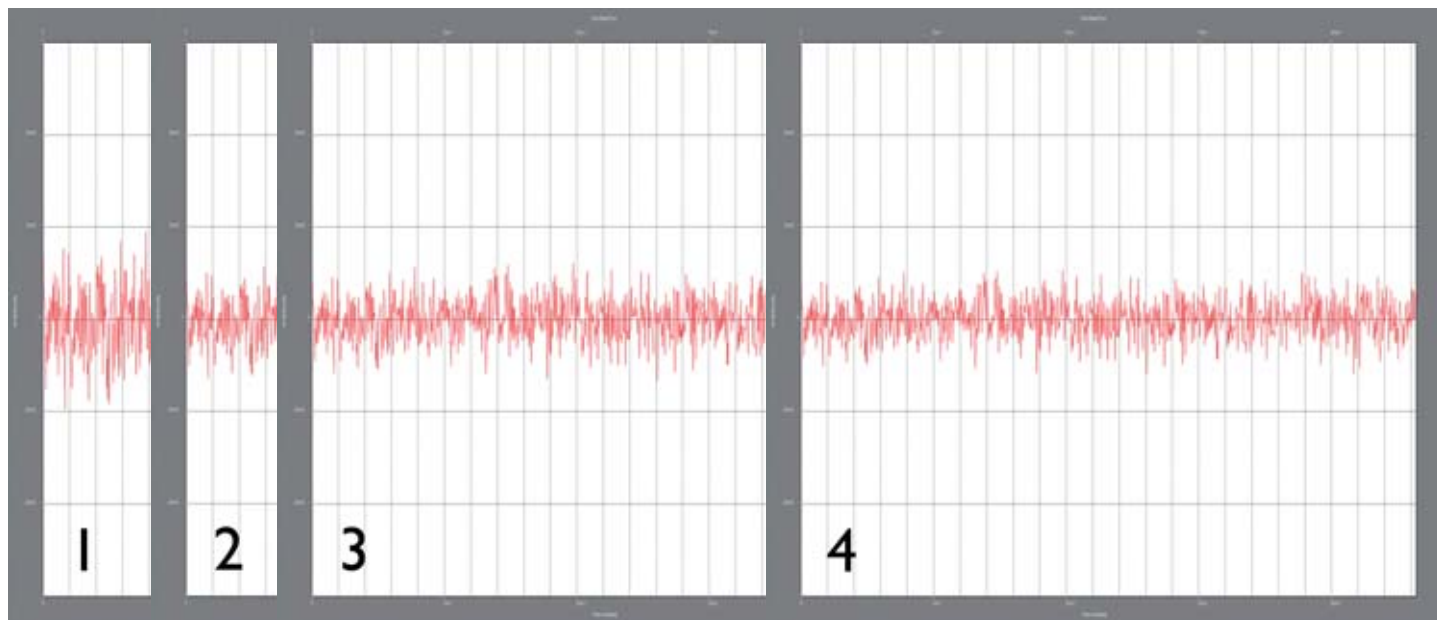
Далее мы последовательно добавляли собственный шнур питания, платформу и сетевой фильтр, в каждом случае измеряя производимый эффект. И мы не просто показывали людям распечатки, а, принеся на выставку тот же самый проигрыватель, те же тестовые кабели, платформу Kinibalu и фильтр Quantum, подключали их к аудиосистеме. Таким образом, когда мы, скажем, использовали другой шнур питания, посетители сами слышали то, что происходило со звуком, и мы одновременно демонстрировали результаты в виде графиков, проецируемых на экран. Добавление более совершенного шнура питания существенно уменьшало общую погрешность:



Фактически снижение измеряемой погрешности составляло 36%. Повторение процедуры с платформой Kinibalu снижало погрешность еще на 15%, хотя следует учитывать, что это накопленный результат: задача, стоявшая перед платформой, упрощалась в силу того, что параметры уже были улучшены добавленным шнуром питания.



И наконец, мы подключаем сетевой фильтр Quantum и опять же были в состоянии измерить дальнейшее уменьшение погрешности – на этот раз еще 11%, получая в итоге всех трех апгрейдов общее снижение погрешности синхронизации в 52%.

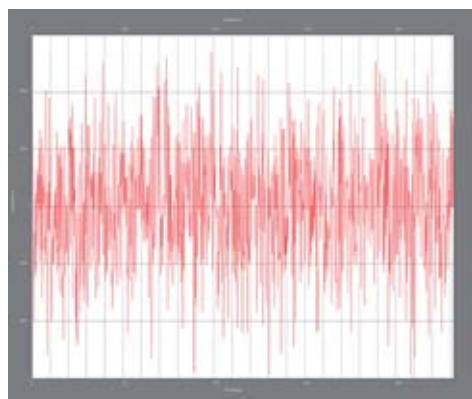


Разумеется, «соль» подобной презентации не в том, чтобы просто рассказывать людям о том, что происходит с аудиосигналом: мы показывали им, насколько демонстрируемые ею изменения важны в музыкальном отношении. И вполне естественно, что, полностью пройдя путь вверх по лестнице усовершенствований, по шагу за один раз, мы затем вернулись прямо в отправную точку – одним махом, что было довольно отрезвляюще. Изменения звучания, достигнутые на каждой стадии процесса, были музыкально значимыми и безупречно очевидными.

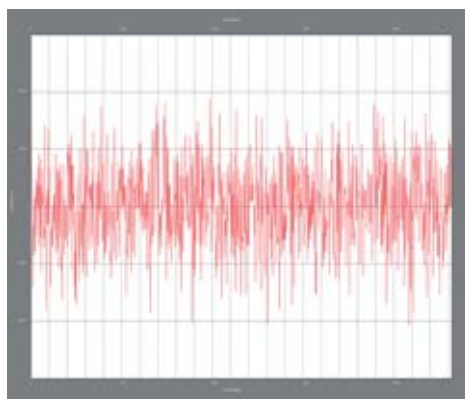
Общие выводы

До сих пор такого рода тестирование и сопутствующие исследования проводились исключительно в области воспроизведения CD. Мы не уделяли внимания аудионосителям высокого разрешения, средствам воспроизведения аналогового сигнала или системам в целом, включая усилители и колонки. На следующем этапе в комплект испытательного оборудования будут включены усилители и сигнальные кабели (межблочные и акустические), хотя каждая такая переменная делает процесс тестирования намного сложнее. Тем не менее определенные немаловажные выводы по результатам проделанной работы можно сделать уже сейчас.

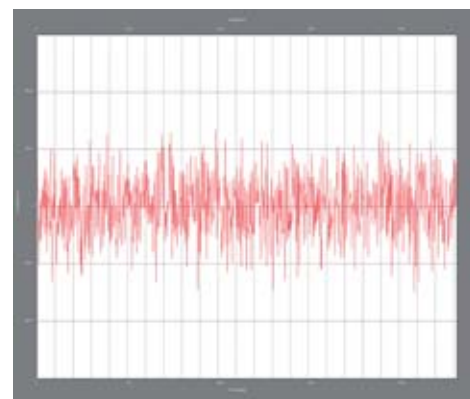
Разумеется, любой подобный режим тестирования может стать и поводом для сравнения, в связи с чем мы протестировали третий аппарат в составе базового комплекта оборудования со стандартным кабелем питания.



Старый британский проигрыватель за £4000



Современный японский проигрыватель за £250



Проигрыватель dCS Puccini за £9500

MAKING THE CONNECTION

Графики погрешности для этих трех аппаратов представляют интерес. Левый относится к старенькому проигрывателю британского производства, отвечающему всем требованиям аудиофилов по части солидности корпуса и блока питания, правый – к dCS Puccini, а центральный – к современной японской модели базового уровня в хлипком изогнутом металлическом корпусе. И последняя, кстати, не только показывает более воодушевляющие результаты по сравнению с левым графиком, но и лучше звучит. Что уже само по себе наводит на мысль, что значимость, которую мы приписываем определенным аспектам конструктивного и электротехнического исполнения, нуждается в переосмыслении. Важность корпусов и источников питания несомненна, но вот подход к их реализации на физическом уровне определенно достоин стать предметом дискуссии. Потенциально же еще интереснее то, что произошло бы с графиком погрешности для проигрывателя за £250, будь тот снабжен достойным шнуром питания, платформой и фильтром Quantum. В Acuity над этим уже работают, и вскоре мы получим результаты.

Однако еще важнее вторая взаимосвязь, обнаруженная в погрешностях отклонений по времени. На рисунке показан увеличенный участок показаний погрешности сигнала тестового проигрывателя, представленный в виде синего графика.

Красный график представляет собой тот же участок сигнала после добавления другого шнура питания, платформы и фильтра Quantum. Этот результат примечателен степенью согласованности двух кривых. При том что они не накладываются одна на другую и не отслеживают друг друга с высокой точностью, пики согласуются между собой. Более того, данный результат является повторяемым: один и тот же музыкальный фрагмент, воспроизводимый одним и тем же проигрывателем при одних и тех же рабочих параметрах, дает идентичные результаты при каждом тестировании независимо от географического положения, даже если тесты разделены месяцами.

Это означает, что механизм возникновения погрешностей не может быть случайным, если удалить из уравнения различные формы джиттера. На этом необходимо сделать упор, потому что как только речь заходит о погрешностях синхронизации, все сразу вспоминают про джиттер. Измеряемые нами погрешности нельзя относить за счет джиттера, поскольку они не случайны, а джиттер случаен! На самом деле они относятся к нагрузке, прикладываемой к системе, к динамическим потребностям, налагаемым музыкальным сигналом. И это означает, что любой режим тестирования, основанный на применении тестовых тональных, а не музыкальных сигналов, подобных погрешностей не выявит. Да, синусоидальный сигнал изменчив, но это не имеет ничего общего со сложностью динамического или частотного представления реальной музыки – а значит, мы имеем дело с серьезным механизмом появления искажений, выявить который существующие методики измерений практически не в состоянии.

Как мы и предполагали, мы далеко не единственные, кто работает в данной области, и после наших презентаций представители целого ряда компаний сообщили нам, что наши результаты переключаются с их собственными, достигнутыми путем использования других подходов. При том что многие из нас сознают, что способ воспроизведения музыки современными системами несет в себе структурные проблемы, а опыт прослушивания говорит нам о различиях ее воспроизведения разными устройствами, пусть и не объясняя причин этих различий, складывается впечатление, что намного больший упор на исследование временной области станет критически важным для прояснения того, как именно электроника и механика воздействуют на музыкальные возможности наших систем, равно как и того, в чем именно несостоятельность существующих методов измерений тормозит наш прогресс. Нам годами твердили, что если мы не в состоянии это измерить, то мы должны доискаться до причин мысленно. Настало время переформулировать данный постулат: если мы это слышим, но не в состоянии это измерить, то нам следует задуматься о том, как усовершенствовать измерения.

