

Технология NXT

Когда маленький хаос полезен для тебя

by Henry Azima

Более сорока с лишним лет развитие громкоговорителей вращалась вокруг определения, понимания, а затем подавления резонансов диафрагмы, а также их результирующего окрашивания и «размазывания». Таким образом, новая технология излучателя, которая вместо того, чтобы пытаться устранить резонанс диафрагмы, поощряет и эксплуатирует ее, по-настоящему заслуживает термина «революционный».

Это именно то, что делает NXT. Эта технология разрушает свод правил громкоговорителя, каким мы его знаем.

Аудиофилы и аудио профессионалы по понятным причинам подозрительно относятся к идее, которая полностью меняет статус-кво. Но придержите недоверие к этой статье, и я объясню, почему такая сумасшедшая идея на самом деле может принести огромную пользу как пользователям акустических систем, так и разработчикам громкоговорителей - преимущества, которые уже побудили крупных игроков отрасли получить лицензии на использование этой технологии.

Первый вопрос, на который нужно ответить: зачем нам нужна новая парадигма громкоговорителей, когда на совершенствование современной технологии было потрачено столько академических и дизайнерских усилий? Чтобы ответить на этот вопрос, вам нужно вернуться к основным принципам работы обычных громкоговорителей и определить основные ограничения производительности, которые они налагают. Обычные громкоговорители, какой бы метод преобразования они не использовали (электромагнитный, электростатический, пьезоэлектрический и т. д.), нацелены на достижение поршневого движения диафрагмы, по крайней мере, в нижней части их рабочего диапазона. Под поршневым мы подразумеваем, что диафрагма движется как жесткое целое. В акустическом плане такие громкоговорители «контролируются массой» на большей части полосы пропускания. Двигатель обеспечивает постоянную с частотой силу, диафрагма сопротивляется массе (собственной движущейся массе плюс масса воздушной нагрузки), и, таким образом, по второму закону движения Ньютона диафрагма испытывает постоянное ускорение с частотой. Как следствие, её смещение уменьшается на 12 дБ на октаву с увеличением частоты (то есть на четверть с каждым удвоением частоты).

На низких частотах, где длина волны в воздухе велика по сравнению с размерами диафрагмы, это как раз то, что мы хотим. Реальная часть сопротивления излучающей диафрагмы (рис. 1), на которой динамик рассеивает акустическая мощность, увеличивается с частотой с той же скоростью, с которой уменьшается смещение диафрагмы, в результате чего выходная акустическая мощность постоянна.

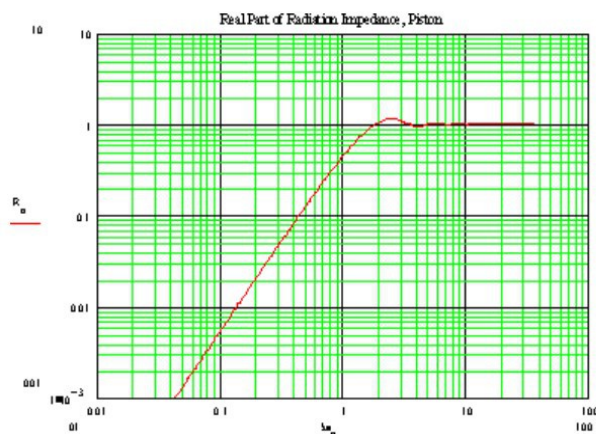


Figure 1. Real part of radiation resistance vs. normalized frequency

Однако когда частота продолжает расти, а длина волны в воздухе уменьшается до точки, где она становится сопоставимой с размерами диафрагмы, происходит значительное изменение.

Вместо того чтобы продолжать расти, действительная часть излучающего сопротивления достигает предельного значения и, по существу, становится постоянной для всех более высоких частот. Из-за этого акустическая мощность диафрагмы теперь начинает падать со скоростью 12 дБ на октаву. Это не означает, что отклик давления на оси уменьшается: обычно происходит так, что акустическая мощность диафрагмы ограничивается постепенно сужающимися телесными углами. Другими словами, она становится направленной и формирует луч. Изменение направленности в зависимости от частоты является одним из главных недостатков конструкции громкоговорителей. Если бы мы слушали воспроизводимый звук в безэховой среде, это не имело бы значения: мы услышали бы осевой выход диафрагмы и ничего больше. Но обычные комнаты для прослушивания далеки от безэховых, поэтому звучание динамика за пределами оси прослушивания оказывает существенное влияние на то, что мы слышим.

Из-за частотно-зависимой направленности прямые, отраженные и реверберирующие звуки в комнате имеют разные тональные балансы. Даже если бы обычный громкоговоритель имел абсолютно ровный отклик на оси и был полностью свободен от резонанса - высокий порядок - он все равно бы звучал окрашенно и из-за этого создавал бы абберрации звукового образа.

Очевидное решение состоит в том, чтобы использовать диафрагму, достаточно маленькую, чтобы «колесо» на кривой излучающего сопротивления находилось выше диапазона слышимых частот. Но такая диафрагма должна была бы подвергнуться огромным, непрактичным экскурсиям, чтобы произвести объемные смещения, необходимые на низких частотах. Поэтому разработчики громкоговорителей, как правило, вынуждены идти на компромисс и использовать несколько излучателей с постепенно уменьшающимся размером диафрагмы. Большие диафрагмы обеспечивают объемное смещение, необходимое для воспроизведения низких частот; малые диафрагмы вступают в действие на более высоких частотах, прежде чем более крупные «блоки» становятся слишком направленными. Несмотря на это, направленность динамика по-прежнему значительно меняется в зависимости от частоты, а использование кроссоверов для разделения частотного диапазона влечет за собой множество нежелательных побочных эффектов: искажение фазы, дальнейшее нарушение внеосевого выхода, большее количество реактивных элементов в нагрузке динамика, а также вопросы качества звука, связанные с характеристиками конденсаторов и характеристиками насыщения сердечников индуктивностей.

Излучатель полного диапазона, охватывающий весь диапазон слышимых частот с постоянной направленностью, устранит эти проблемы, но, по изложенным причинам, его просто невозможно создать, используя общепринятые взгляды.

NXT, ломая правила

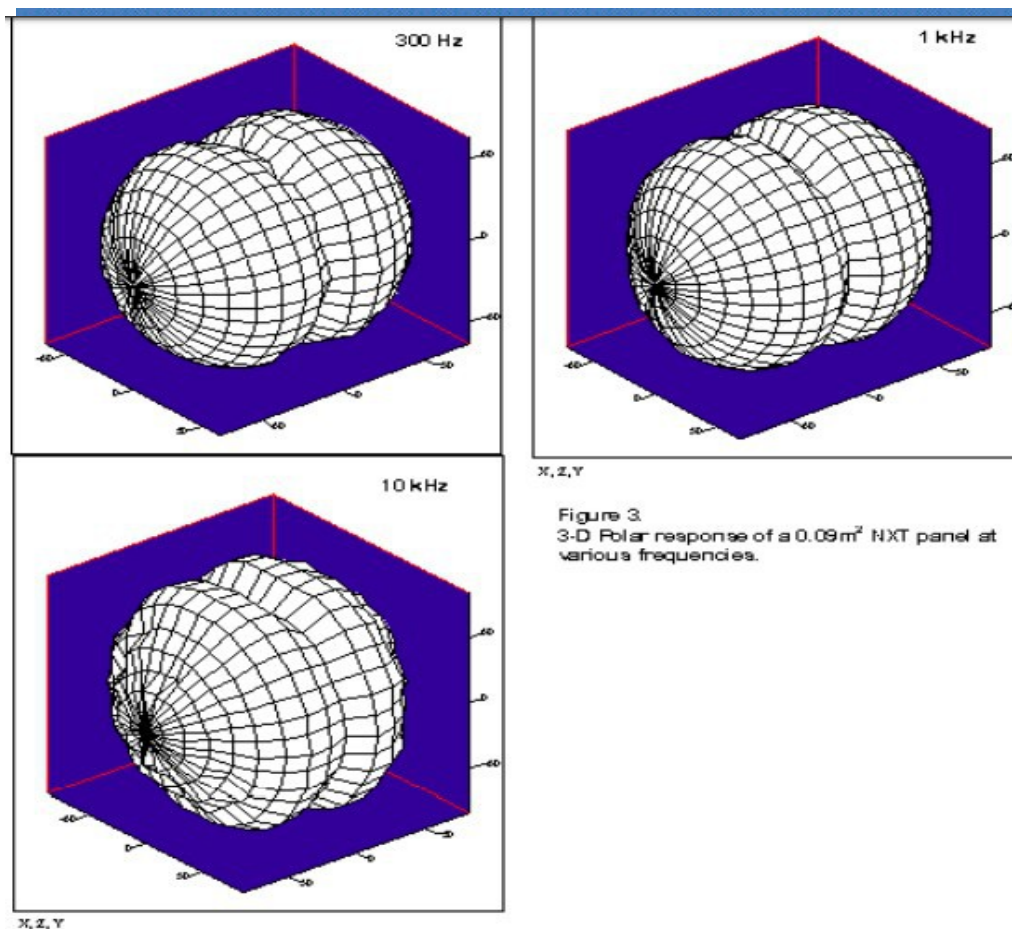
Похоже, мы зашли в тупик, но некоторые замечательные вещи случаются, если вы отказываетесь от концепции поршневого движения и вместо этого рассматриваете диафрагму, вибрирующую случайно по всей ее поверхности, а не когерентно. Каждая небольшая область панели, по сути, вибрирует независимо от соседней, а не в фиксированной, скоординированной манере поршневой диафрагмы. Думайте об этом как о массиве очень маленьких излучающих устройств, каждое из которых излучает различный некоррелированный сигнал, но суммируется для получения желаемого результата. Такая случайно вибрирующая диафрагма ведет себя совершенно иначе, потому что мощность подается на механическое сопротивление панели, которое постоянно с частотой. Сопротивление излучения теперь незначительно, потому что воздух рядом с панелью также перемещается случайным образом, уменьшая эффективную воздушную нагрузку. Это

означает, что размеры диафрагмы больше не контролируют направленность: вы можете сделать излучающую область настолько большой, насколько вам нужно, без эффекта ограничения высокочастотного сигнала телесным углом вдоль оси излучения.

Такое поведение диафрагмы явно открывает возможность полно-диапазонного излучателя, освобожденного от привычных ограничений и компромиссов. Отличный трюк, если вы сможете сделать это: но как заставить диафрагму вибрировать случайно?

В идеале это совершить невозможно, но вы можете быть очень близко к этому, используя то, что мы назвали режимом распределенных мод (DM), на котором основан NXT. По сути, это такое возбуждение диафрагмы, которое создает максимальное количество резонансов изгиба, равномерно распределенных по частоте.

Результирующая вибрация настолько сложна, что приближается к случайному движению - невозможно, например, определить точку (точки) возбуждения на снимке движения панели (рисунок 2) - тем самым обеспечивается свобода от проблем, связанных с направленностью, описанных выше, (См. 3-D полярные диаграммы на рисунке 3.)



NXT, как это работает

Диафрагма громкоговорителя с распределенным режимом (DML) вибрирует сложным образом по всей своей поверхности. Вблизи диафрагмы звуковое поле, создаваемое этим сложным паттерном вибрации, также является сложным, но на небольшом расстоянии оно принимает характеристики дальнего поля излучения DML. Это близко к направленности истинного точечного источника, то есть приближается ко всем направлениям, даже когда диафрагма достаточно велика относительно излучаемой длины волны.

Почему панель, которая вибрирует сложным псевдослучайным образом, может излучать звук равномерно во всех направлениях, без взаимного вычитания?

Рассмотрим две крайности распределения скорости по поверхности диафрагмы. В одном крайнем случае находится жесткая поверхность в поршневом движении, где величина и фаза движения постоянны по всей поверхности. В этом случае направленность зависит

только от длины пути между каждым небольшим элементом диафрагмы и точкой приема (рис. A1). На длинах излучаемых волн, которые малы по отношению к размерам диафрагмы, возникают помехи между излучением из разных областей диафрагмы, и это увеличивает помехи вне оси. Таким образом, характерная диаграмма излучения демонстрирует интенсивное возникновение направленности (рис. A2).

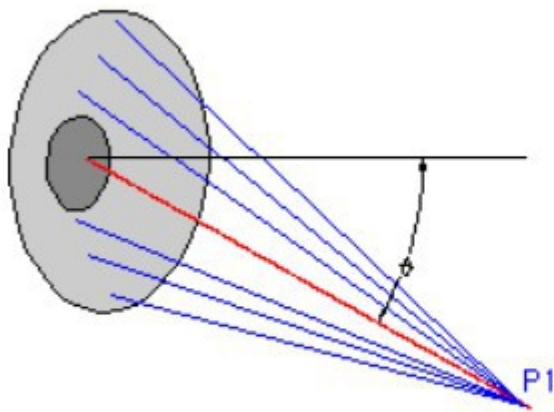


Figure A1. Specular direct radiator

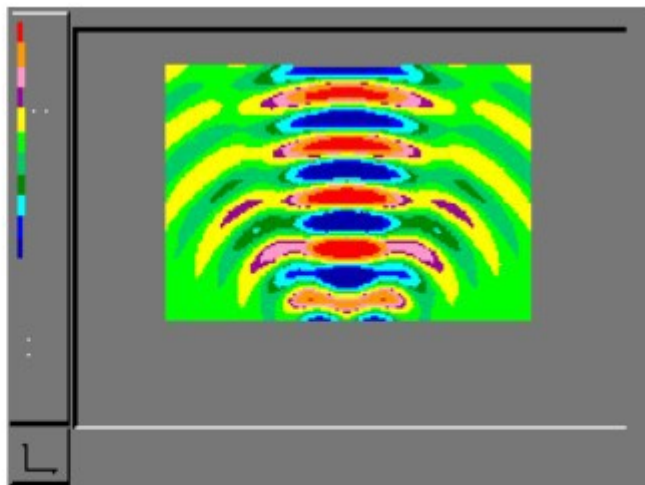


Figure A2. FE-simulated soundfield of an ideal piston of 160 cm² surface area

Figure A. An ideal piston.

С другой стороны, на панели со случайной вибрацией существует случайное распределение скорости диафрагмы по величине и фазе. Несоответствие длины пути между различными областями диафрагмы и приемной точки все еще присутствует, но поскольку в настоящее время нет корреляции между выходными сигналами исходных точек, не может быть глобальных помех (рисунок B1). Следовательно, излучаемый звук распределяется равномерно во всех направлениях. Диффузное излучение высокого порядка (рис. B2) становится ненаправленным в дальнем поле.

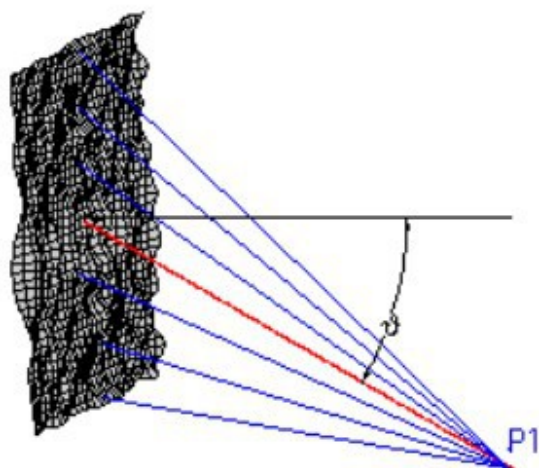


Figure B1. A Diffuse direct radiator

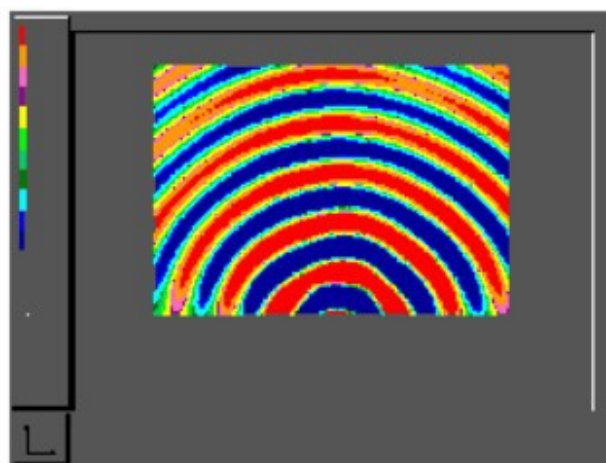


Figure B2. FE-simulated soundfield of a randomly vibrating panel of 120mm x 136mm.

Figure B. A randomly vibrating panel.

Панель NXT близка по свойствам к случайно колеблющейся диафрагме и ведет себя аналогично. Поэтому работа в распределенном режиме идеальна для громкоговорителя: она гарантирует постоянный выходной уровень и неискаженную временную характеристику во всех направлениях. Другими словами, вся излучаемая энергия возникает из одной точки. Несмотря на это, DML способен генерировать широкополосную акустическую мощность, поскольку его диафрагма не имеет ограничений по размеру. При движении поршневой диафрагмы эти характеристики являются взаимоисключающими.

NXT, Преимущества

У громкоговорителя DML есть и множество дополнительных преимуществ. Наряду с нечувствительностью к размеру диафрагмы, на акустическое поведение (кроме чувствительности) не влияет масса диафрагмы. В обычной диафрагме движущаяся масса определяет верхний предел частотной характеристики - еще одна причина, по которой твитеры должны быть небольшими. С панелью NXT нет аналогичных ограничений, поэтому технология действительно масштабируема: вы можете сделать панель большой без потери направленности или высоких частот. Фактически с увеличением панели улучшается её работа, потому что частота основного резонанса изгиба снижается, что не только расширяет басовые характеристики, но также увеличивает модальную плотность на средних и высоких частотах.

Другим важным преимуществом является то, что акустическая мощность панели с обеих сторон панели NXT полезна. В тех случаях, когда панель не должна помещаться в дефлектор, как, например, в хай энд громкоговорителях в свободном пространстве, мощность, излучаемая с задней стороны, конструктивно суммируется с излучаемой мощностью с передней стороны панели. Это связано со сложностью излучения распределенными модами и некоррелированной фазой отдельных излучающих элементов, если смотреть с точки зрения наблюдения в дальнем поле.

Такие термины, как биполярный или статистически биполярный, использовались в прошлом для объяснения такого сложного поведения; однако, они не описывают это уникальное свойство рассеянного прямого излучателя точно. Это, безусловно, очень положительный аспект динамиков NXT, так как нет потребности сдерживать заднее излучение путем переотражающих экранов или использования корпусов, которые имеют свои собственные резонансы, окраску и прибавку к стоимости.

Но сама панель, конечно же, работает полностью в резонансе, что является одной из особенностей NXT, которая больше всего касается аудио людей, которые воспринимают резонанс как анафему. Разве весь этот резонанс на панели не делает звук неприятным? Удивительный ответ - нет, это не так, из-за очень сложной природы вибрации панели. Импульсная характеристика панели NXT (рис. 4) отображает длинный резонансный «хвост», который мог бы проклясть любой обычный громкоговоритель, но на самом деле качество звука обладает необычайной четкостью и прозрачностью, что подтверждается ровной частотной характеристикой на замерах (рис. 5).

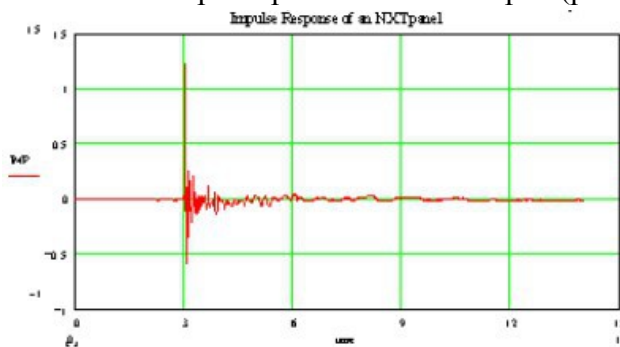


Figure 4. Typical impulse response of NXT panel

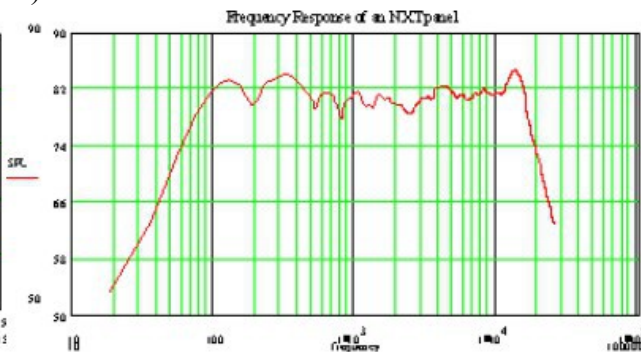


Figure 5. Frequency response of a typical NXT panel

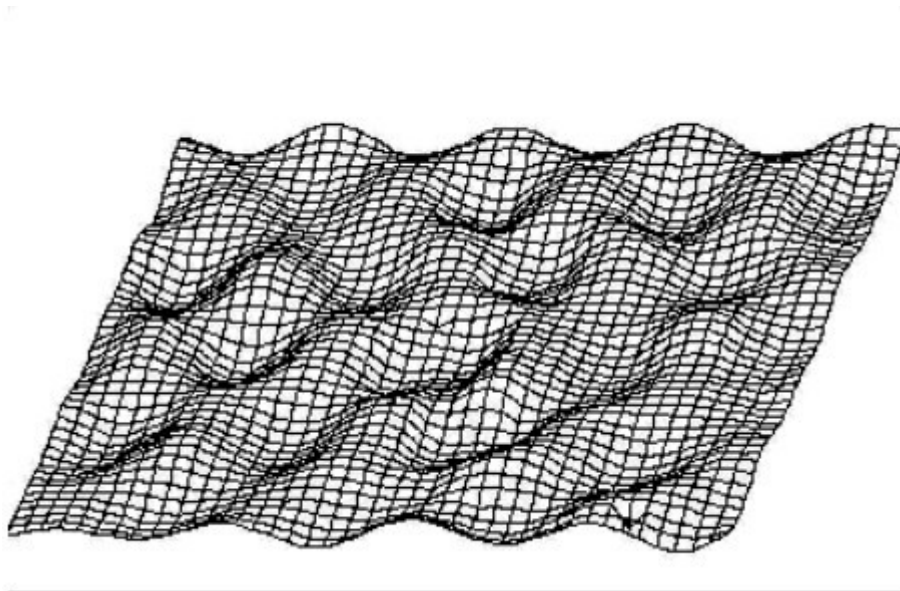


Figure 6. Bending waves in an NXT panel measured by Laser Interferometer Другое

распространенное мнение состоит в том, что панели NXT будут нормально функционировать только на высоких частотах, где резонансные моды очень плотно упакованы. Акустики, знакомые с требованиями к диффузности резонансов помещения, часто озвучивают эту проблему, но эти два случая не эквивалентны. Это в воздухе скорость звука не зависит от частоты, тогда как скорость изгибных волн в панели NXT зависит от частоты (то есть изгибающие волны являются дисперсионными). Это работает в нашу пользу, делая хорошо спроектированную панель NXT достаточно модальной для использования в качестве громкоговорителя с частотой, в два раза превышающей основной резонанс изгиба панели (Рисунок 6). Небольшие панели NXT по-прежнему необходимо комбинировать с обычным низкочастотным динамиком, чтобы покрыть самые низкие две или три октавы в высококачественных приложениях, но необходимый кроссовер далеко удален от наиболее чувствительной области уха около 3 кГц - именно там, где большинство обычных громкоговорителей вынуждены добавлять твитер.

Как насчет искажений? Опять же, наши кропотливые исследования показали, что панель NXT работает так же хорошо или лучше, чем обычные альтернативы (Рисунки 7). Это связано с тем, что в интересующем частотном диапазоне вибрации панели очень малы по амплитуде, что значительно снижает потребность в отклонении катушки, при этом панель остается в пределах своего линейного диапазона упругости.

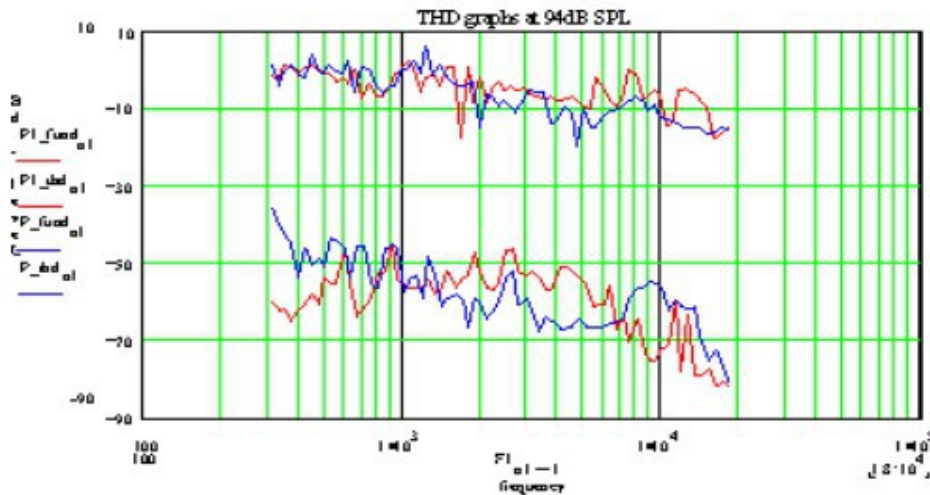


Figure 7 Total harmonic distortion, NXT panel versus a 6-inch cone loudspeaker at 94dB SPL, 1m.

Отличная адаптивность NXT привела к тому, что некоторые считают, что он лучше подходит для публичных выступлений, автомобильных и обычных аудиоприложений, чем для Hi-Fi, но это не так.

Еще одной распространенной проблемой является стерео-образ. Любой, кто слышал обычные широкополосные («всенаправленные») громкоговорители, знают, что они создают большое размытое стереоизображение, а не точную, четко определенную звуковую сцену, как при использовании «направленных» систем.

Опять же, панели NXT не соответствуют подобным опасениям, потому что, сохраняя широкую диаграмму направленности, их диффузионная способность помогает уменьшить разрушительные граничные взаимодействия (рис. 8). Наше исследование показало, что стереоизображение в типичной домашней обстановке, по меньшей мере, так же хорошо читаемо и стабильно, как и в случае с обычными направленными громкоговорителями, через которые стерео прослушивается из так называемого «сладкого места – sweet spot». За пределами этой небольшой области оптимального стерео, панель NXT значительно превосходит их благодаря лучшему поддержанию внеосевой производительности и уменьшенному взаимодействию с помещением.

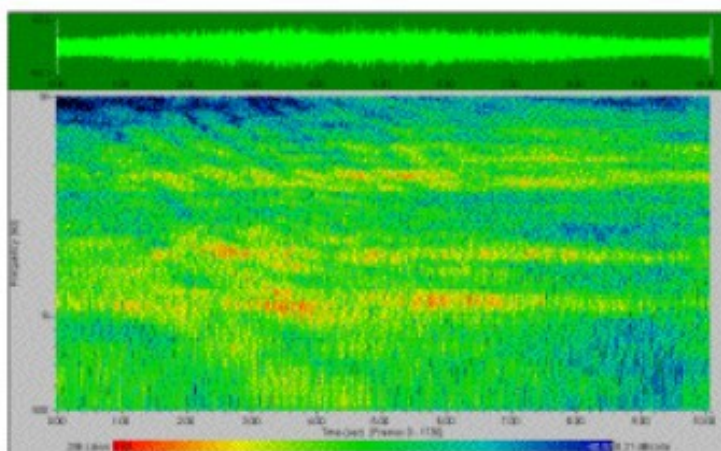
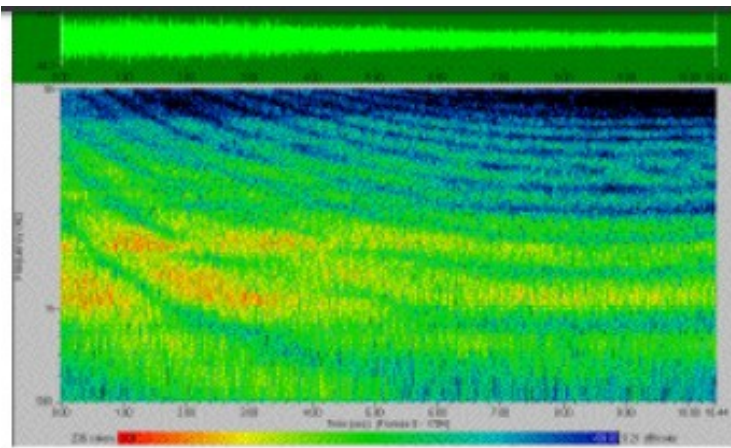


Figure 8. Anechoic interference pattern of a loudspeaker with a hard reflecting surface. Audible interference is seen in the form of deeply defined pattern of peaks and nulls.

С обычными громкоговорителями широкой направленности вы также, как правило, слышите намного больше комнаты: резонансы стоячих волн более выражены, поэтому тональный баланс значительно меняется при изменении положения прослушивания, а также ухудшается взаимодействие с границами комнаты, что делает размещение громкоговорителей более критичным. Панели NXT ведут себя совершенно иначе из-за рассеянного характера их излучения: их звук не исходит из фиксированной, четко определенной точки в пространстве. В результате распределение звука в комнате от панели NXT на самом деле намного более равномерное, чем с обычным громкоговорителем (рисунок 9): взаимодействие комнаты снижается.

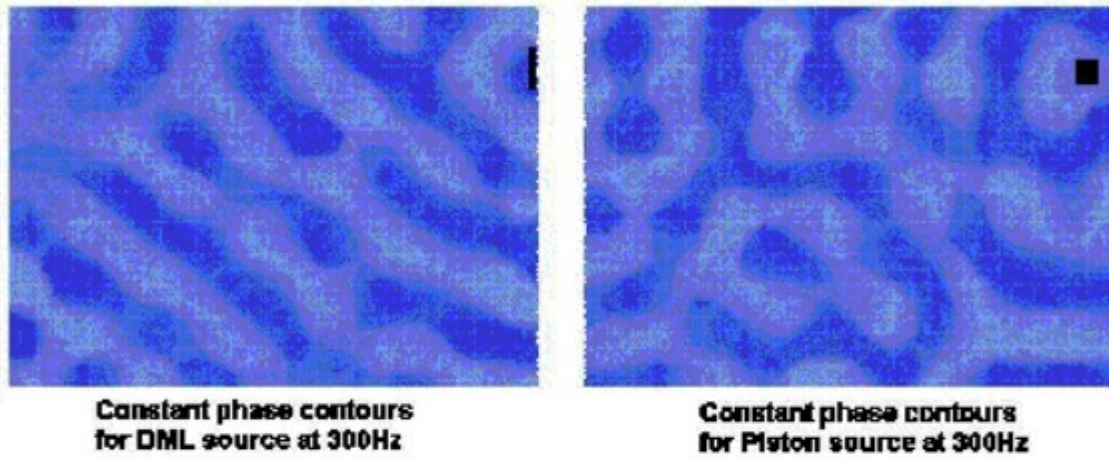


Figure 9. Finite Element simulation comparing in-room radiation of an NXT panel (Left), having essentially plane-wave radiation and a conventional loudspeaker (right), producing standing waves.

Выступая в качестве разработчика громкоговорителей с двадцатилетним опытом, я взволнован перспективой того, что процесс проектирования NXT является детерминированным по сравнению с обычным дизайном громкоговорителей. При условии, что вы знаете несколько ключевых параметров - размер и форму панели (она может быть изогнута в одной или нескольких плоскостях), положение возбуждателя (возбудителей) и жесткость при изгибе, поверхностную плотность и внутреннее демпфирование материала панели - можно прогнозировать акустические характеристики с высокой степенью точности. Чтобы облегчить этот процесс, мы разработали и продолжаем совершенствовать набор программного обеспечения под названием NXT Designer, который получают все лицензиаты, а также проводят обучение его использованию.

Различные технологии подходят для возбуждения панелей, включая пьезоэлектрические преобразователи, но на сегодняшний день наиболее предпочтительным вариантом является драйвер с подвижной катушкой (рисунок 10).

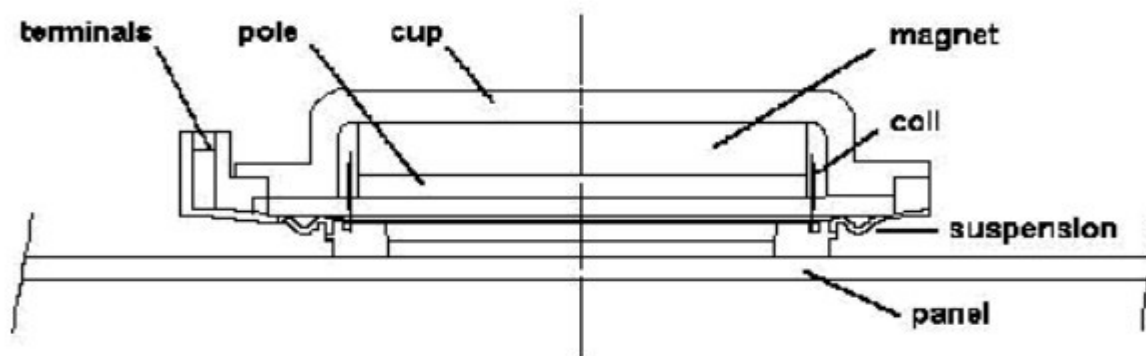


Figure 10. Cross-section of a typical moving coil NXT exciter.

Это дает три основных преимущества. Во-первых, это обеспечивает совместимость с обычными усилителями. Фактически, панели NXT с возбуждателями с подвижной катушкой представляют собой, в основном, «доброкачественную» нагрузку усилителю, будучи по существу резистивными на низких и средних частотах (рисунок 11). По мере увеличения частоты индуктивность звуковой катушки становится значительной, модуль импеданса увеличивается, и нагрузка становится реактивной. Вы нигде не встретите комбинации низкого модуля (импеданса) и высокого фазового угла. Во-вторых, это позволяет

использовать существующую производственную базу. В-третьих, этот драйвер позволяет использовать весь потенциал полосы пропускания панели NXT.

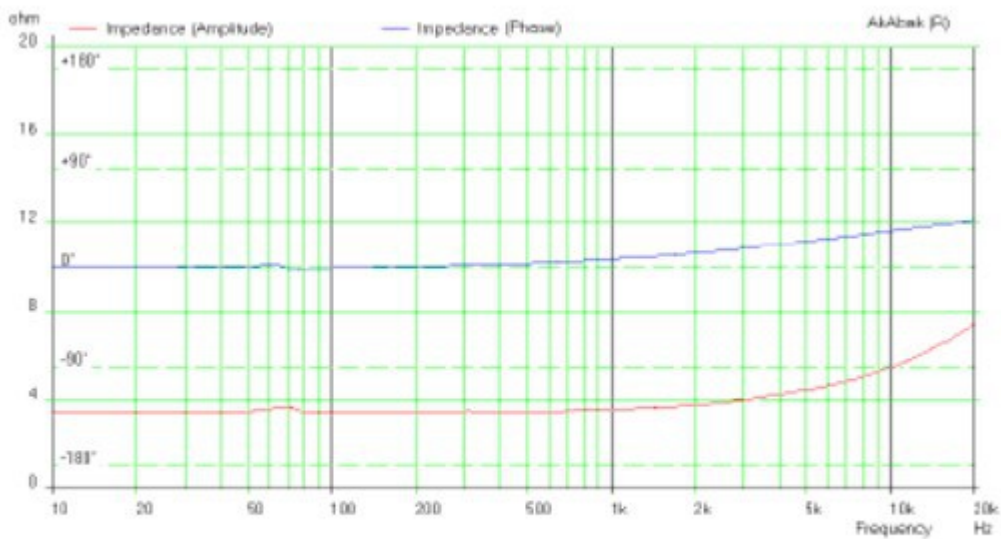


Figure 11. Magnitude and phase of the electrical impedance of a typical NXT panel.

Мы уже затронули многие преимущества NXT для конечного пользователя hi-fi.

- устранение слышимых последствий схем фильтров;
- широкая, по существу, частотно-независимая направленность, устраняющая источник окраски;
- несмотря на это, уменьшение взаимодействия с помещением, сохранение чёткого стереоизображения на большой площади прослушивания;
- панели NXT тонкие и могут использоваться как в свободном пространстве, так и на стене, поэтому их площадь и визуальное воздействие уменьшаются; резонансы кабинета больше не проблема, потому что в нём нет необходимости.

Уникальная способность панелей NXT заполнять комнату звуковым полем, которое очень мало изменяется, когда слушатель меняет положение, дополнительно усиливается за счет уменьшения падения уровня звукового давления с расстоянием по сравнению с обычным громкоговорителем (рисунок 12).

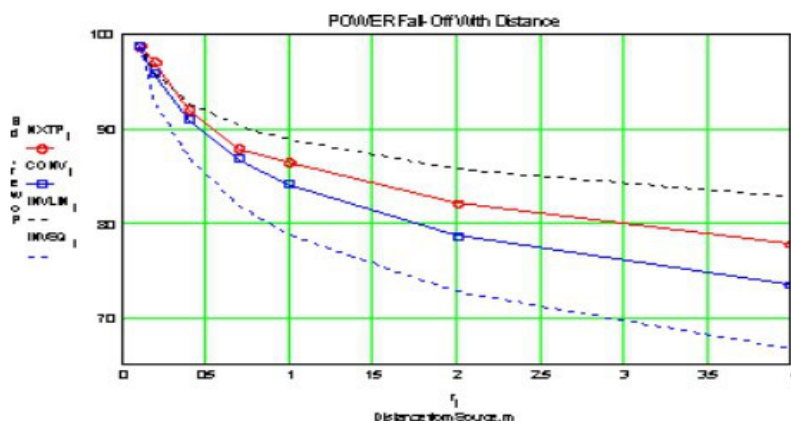


Figure 12. Power fall-off with distance, measured in a typical listening room, comparing NXT with a traditional 2-way loudspeaker

Эти атрибуты делают NXT захватывающим предложением в любой обычной двухканальной музыкальной системе, но в многоканальной установке домашнего кинотеатра преимущества еще выше.

В дополнение к их широкой зоне прослушивания и уменьшенному визуальному эффекту, панели NXT имеют и другие особые преимущества. Во-первых, по своей сути

рассеянный характер их звукового излучения обеспечивает необходимую диффузию объемного канала - при установке NXT вы не ощущаете тыловые колонки как отдельные объекты. Во-вторых, в проекционном телевизоре сам экран просмотра может представлять собой большую панель NXT, которая обеспечивает идеальную привязку голоса к изображению.

В целом эти функции являются весомым аргументом в пользу использования панелей NXT в высококачественных музыкальных и домашних кинотеатрах. Работа в распределенном режиме может резко отличаться от современного уровня техники, и, без сомнения, она имеет множество применений, включая и те, где требования к качеству звука менее строгие.

NXT, Резюме

Подводя итог, можно сказать, что целью проектирования обычного громкоговорителя являются компромиссы. Вы пытаетесь передать акустический сигнал в широкой полосе пропускания, но когда длина излучаемой волны становится меньше окружности диафрагмы, выходная мощность громкоговорителя начинает падать. В связи с этим и необходимостью обеспечить достаточную объемную скорость для воспроизведения частот на нижней границе его полосы пропускания, ширина полосы пропускания мощности обычного излучающего устройства обычно ограничена четырьмя-пятью октавами. Это физический факт, который остается ограничением для поршневых динамиков, даже если бы мы могли разработать и сделать идеальный поршневой радиатор.

Следовательно, традиционная конструкция излучающего устройства всегда воплощает компромиссы между полосой пропускания, направленностью и плавностью частотной характеристики. В лучших обычных громкоговорителях эти инженерные компромиссы искусно достигнуты, но они остаются компромиссами.

Ни что иное не сможет представить большую контрастность, как панели NXT. Модальный режим панели дает нам рассеянное поведение, а увеличение модальности панели обеспечивает широкую полосу пропускания более восьми октав. По мере уточнения материала панели, местоположения возбудителя, граничных условий и т. д., мы приближаемся к поведению идеальной случайно вибрирующей панели, выходная мощность которой в значительной степени не зависит от размера.

Независимость направленности от размеров панели освобождает нас от традиционных компромиссов, с которыми дизайнеры акустических систем сталкивались более 70 лет. Плавность, плотность модального режима обеспечивает предсказуемое, детерминированное, масштабируемое поведение NXT, которое до сих пор было несбыточной мечтой изобретателей громкоговорителей.