

## МЕХАНИКА ЭМОЦИЙ. Часть 7. Немного обратной связи

Автор: Вадим КАРЕЛЬСКИЙ ([https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/author/v\\_karelsky](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/author/v_karelsky))  
Когда: 2 Апр 2008

Не в электроакустическом смысле, а в журналистском (я же теперь тоже в каком-то смысле «из этих»).

Вообще-то я собирался начать этот эпизод по-другому. Прикинув, что апрельский номер, хоть и выйдет из печати в середине марта, сохранит актуальность и к первому апреля, заготовил нечто насчёт изобретения, разработки и скорого внедрения в массовое производство нового типа электроакустического преобразователя для высококачественного воспроизведения музыкальных программ. Который при размерах с советскую пятикопеечную монету в состоянии создать звуковое давление 130 дБ в полосе частот 20 — 20000 Гц при полном отсутствии всех искажений, работая прямо от головного аппарата, ну и так далее, с техническими подробностями. А дальше, подурковав власть, перейти к поведению громкоговорителя в салоне автомобиля.



Обе части плана пришлось скорректировать. Первую — после того, как я прочёл в №3 про волшебную длину провода и косинусы на калькуляторе, такое мне не придумать, в общем, сдался без боя. Вторая же, не шутейная часть материала была несколько отложена, и вот почему. В наш век печатные СМИ с их относительно тихой технологией оказываются снабжены быстродействующей обратной связью в виде Интернета. И, как я обнаружил, некоторые высказанные мной положения подверглись не только энергичному обсуждению (что хорошо), но и не совсем верному пониманию. Так что реагирую на сигнал обратной связи по инвертирующему входу (чтобы не самовозбуждаться) и конкретизирую некоторые уже высказанные положения, а заодно и изложу наше видение физики поведения громкоговорителя в реальных условиях, чтобы совсем уж не топтаться на месте.

Оживленную дискуссию вызвал ни в чём не повинный параметр  $Q_{ms}$ , и произошли попытки приписать нам утверждение, что это — лекарство от всех недугов громкоговорителя и что именно  $Q_{ms}$  определяет всё и всегда. Для тех, кто не понял: это не так. А как? Вот как...

Использованные в примере два одинаковых громкоговорителя, в данном случае — винтажные Telefunken, отличались только по этому параметру, что означает совпадение всего остального: железа, материала диффузора, катушки и т.д. Естественно, что с изменением  $Q_{ms}$  в сторону увеличения  $Q_{ts}$  приближается к  $Q_{es}$ , а это, с нашей точки зрения, уже любопытно, поскольку говорит о том, что вязкие потери все меньше и меньше оказывают влияние на движение диффузора, т.е. не тормозят его, родимого. Здесь на помощь в трактовке уже, казалось бы, понятного пришёл главный редактор издания, публикующего мои заметки (за что — спасибо), подтвердив, что именно величина  $R_{ms}$ , характеризующая вязкие потери, является ключевой.

А кто же, в отсутствие, точнее — при малой доле вязких потерь, тормозит движение диффузора, когда это требуется «по партитуре» воспроизводимого сигнала? Да усилитель, больше никому. Но только если это действительно усилитель, а не устройство, оскорбляющее гордое имя. В этом месте у читателя возникает естественный вопрос: почему мы рассматриваем громкоговоритель и его работу в отрыве от остальных элементов звукового тракта? Да просто потому, что остальные звенья уже соответствуют уровню проводимых исследований.

35 лет работы с электроакустическим оборудованием от конструирования до эксплуатации позволили автору этих строк не только найти для проведения изысканий достойное оборудование, но и соорудить из него такой тракт, на котором исследуемые факторы отчётливо определяются и, главное, устойчиво повторяются. Здесь важно заметить, что подобные эксперименты необходимо проводить не только на самих себе, но и на живых людях. Опыт показал, человек, не страдающий патологией слуха, совершенно отчётливо слышит разницу в характере звучания при

РЕКЛАМА - MTS

### НОВОСТИ



Prology + Лёша Джей  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/04/prology-lyosha-dzhej.htm>)  
14 Apr 2023

[p1ai/az/2023/04/prology-lyosha-dzhej.htm](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/04/prology-lyosha-dzhej.htm)



«Мотовесна 2023» и Motorsport Expo  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/03/motovesna-2023-i-motorsport-expo.htm>)  
19 Mar 2023



BLAM для BMW  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/blam-dlya-bmw.htm>)  
18 Фев 2023

[p1ai/az/2023/02/blam-dlya-bmw.htm](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/blam-dlya-bmw.htm)



Головные устройства Prology MPA  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-mpa.htm>)  
8 Фев 2023

[p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-mpa.htm](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-mpa.htm)



Новые возможности Audison Forza  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/novye-vozmozhnosti-audison-forza.htm>)  
8 Фев 2023

[p1ai/az/2023/02/novye-vozmozhnosti-audison-forza.htm](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/novye-vozmozhnosti-audison-forza.htm)



Головные устройства Prology серии GT  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-serii-gt.htm>)  
7 Фев 2023

[p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-serii-gt.htm](https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2023/02/golovnye-ustrojstva-prology-serii-gt.htm)



замене любого из элементов грамотно построенного звукового тракта. Однако если в погоне за производительностью исследовательского труда изменить сразу два устройства, то полезность экспериментов падает до нуля. Строго и сразу.

То же самое происходит и в процессе разработки и производства громкоговорителя. Замена конструкции, формы или материала любого из элементов головки может проводиться только на контрольной паре или, если исследуется влияние на параметры стереосигнала, на двух контрольных парах. При этом важно установить всю цепочку: изменение — связь с объективными параметрами — слуховые ощущения, и вся цепочка должна устойчиво заканчиваться одинаковыми результатами, только тогда изменения в материалах и конструкции приводят к осмысленным действиям, а не к пресловутой смене модельного ряда путем замены цвета центрального колпака на диффузоре. Вопрос на эту тему одному западному представителю на дилерской конференции поверг его в злобное уныние, и после глубокой задумчивости он все свалил на проклятых маркетологов, дескать, это они дают ему, разработчику, указания по этому поводу.

Однако вернемся к нашему процессу торможения, поскольку нас там ждёт ещё один участник — воздушная среда. Именно она активно сопротивляется движению диффузора, по крайней мере должна, именно волна сжатия и разряжения доносит информацию до нашего уха. Резонно спросить, в чем это выражается, от чего это зависит и как это измерить.

Посмотрим на рис. 1 — здесь приведены кривые импеданса тех самых многорадиальных образцов №1 (красная кривая) и №2 (синяя кривая), которые подвергались пыткам в предыдущих опытах. В этот раз нас интересует зона электромеханического резонанса (120 — 300 Гц), а точнее — самая нижняя точка на кривой, где входное сопротивление громкоговорителя имеет чисто активный характер и можно рассмотреть его составляющие. Состоит это сопротивление из  $R_e$ , активных потерь в подвижной системе и внесенной части активной составляющей сопротивления излучения. Вычислить сумму двух последних составляющих можно, если вычесть  $R_e$  из  $R_{min}$  (в нашем примере — на частоте 300 Гц). На этой частоте у обоих образцов  $R_{min}$  практически равны: у №1 — 4,65 Ом, у №2 — 4,88 Ом. При этом внесенное сопротивление для №1 составляет 1,45 Ом, для образца №2 — 1,52 Ом.

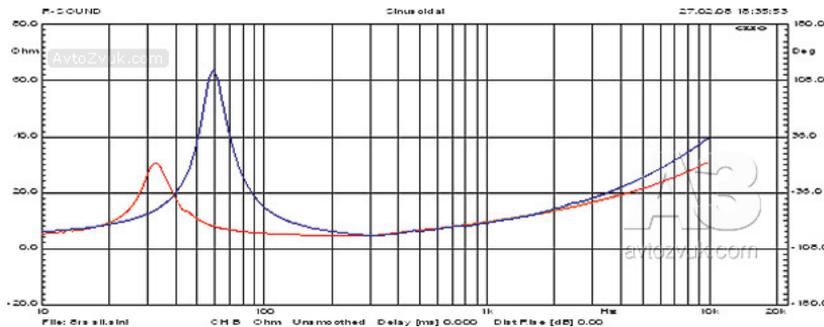


Рис. 1. Кривые импедансов образцов №1 и №2

Теперь попробуем отделить мух от котлет, в данном случае они более схожи, чем герои популярного высказывания, поскольку обе составляющие внесенного сопротивления носят активный характер и влияют на кривую импеданса одинаково. Вот только распределены-то они по-разному. У образца №1 преобладают активные потери в подвижной системе, а у №2 — активное излучение (в воздушную среду).

Откуда такая уверенность? А вот откуда: первый признак (косвенный) — разница в  $Q_{ms}$  (или Rms, как вам больше нравится), второй — в падении звукового давления при переходе измерения АЧХ с ближней зоны в дальнюю.

Посмотрим на рис. 2. При измерениях уровни звукового давления были уравнены в ближнем поле по входному напряжению. Синяя и зеленая кривые относятся к образцу №1, это звуковое давление на расстоянии 5 мм и 1 м от диффузора соответственно. Красная и фиолетовая кривые — то же, но для образца №2.



Открытие мотосезона на выставке «Мотовесна 2023» (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2023/02/otkrytie-motosezona-na-vystavke-motovesna-2023.htm>)  
5 Фев 2023

## КОММЕНТАРИИ



Айрат (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2017/06/processor-usilitel-amp-da-806dsp-panacea.htm#comment-1254>) от 14 Apr

Статья: Процессор-усилитель AMP DA-80.6DSP PANACEA (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2017/06/processor-usilitel-amp-da-806dsp-panacea.htm#comment-1254>)  
V4, что входит в комплект? Пульт есть? ...



СЕРГЕЙ (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2020/07/test-aktivnogo-sabvufera-ural-as-d12a-dual-hurricane.htm#comment-1253>) от 13 Apr

Статья: Тест активного сабвуфера URAL AS-D12A DUAL HURRICANE (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2020/07/test-aktivnogo-sabvufera-ural-as-d12a-dual-hurricane.htm#comment-1253>)  
спорьте не спорьте но для повседневного прослушивания он реально валит ...



андрей (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2021/07/audiosistema-na-gidrocikle-brp-rxp300.htm#comment-1251>) от 28 Mar

Статья: Аудиосистема на гидроцикле BRP RXP300 (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2021/07/audiosistema-na-gidrocikle-brp-rxp300.htm#comment-1251>)  
заправьте сколько будет стоить установить такую музыку на RXT-300 ...



Стэтхам (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2018/11/usiliteli-jbl-stage-a6002-a9004.htm#comment-1250>) от 24 Mar

Статья: Усилители JBL Stage A6002 и A9004 (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--80aeatqv1al.p1ai/az/2018/11/usiliteli-jbl-stage-a6002-a9004.htm#comment-1250>)  
давайте. Есть усилки JBL stage A6002 (подключаю к блинам 6X9), хо ...

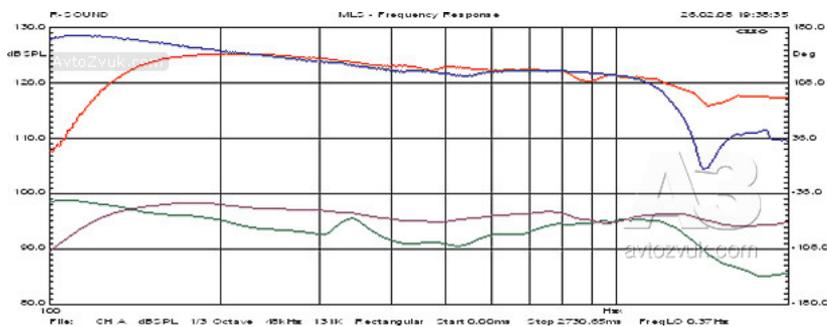


Рис. 2. Разница в звуковом давлении для образцов №1 и №2 при измерении АЧХ в ближнем и дальнем поле

Как видим, на частоте 300 Гц разница в звуковом давлении для образца №1 составляет 30,4 дБ, а для №2 — только 25,3 дБ. Это говорит не о чём ином, как о том, что образец №2 излучает звуковую энергию, в терминах мощности, почти в три раза эффективнее, чем образец №1. Что и требовалось доказать. Нужно заметить, что на большем расстоянии разница будет еще больше.

Хотелось бы отметить: вообще-то, образец громкоговорителя №2 — отнюдь не верх достижений с точки зрения характеристик элементов, таких как масса диффузора, BL, активные потери в ПС и т.п., можно сделать и лучше, но и так разница с образцом №1 весьма существенна, и главное — стабильно измеряема.

Логичный вопрос: я что, один про это знаю? Почему основная масса производителей разрабатывает громкоговорители с заранее заложенными в конструкцию большими внутренними потерями в подвижной системе? Причин несколько: первая — стремление погасить окружные резонансы в подвесе, которые приводят к повышенным нелинейным искажениям и призвукам; вторая — недостаточная мощность мотора, которая сама не в состоянии управлять тяжелой подвижной системой; третья — желание погасить резонансы края диффузора дополнительным демпфирующим элементом. При этом нужно отметить, что почти все эти умонапряжения касаются в основном верхнего подвеса, не затрагивая характеристики центрирующей шайбы.

Здесь, таким образом, возникает дилемма: потерять микроструктуру сигнала или устранять выше указанные проблемы путем поиска других технических решений, путем проведения экспериментов с конструкциями и материалами. Второй путь — намного дороже, хотя бы оттого, что (в отличие от первого) является трудом умственным.

Продукция большинства современных производителей громкоговорителей свидетельствует о том, какой путь выбран, увы...

Вторая острая дискуссия возникла на тему массы подвижной системы и ее важности как для мидбаса и СЧ, так и для НЧ-звена, причем в ходе обсуждения (как это обычно бывает) на удивление быстро сформировались два лагеря: одни считают, что масса подвижной системы не играет особой роли, лишь бы усилитель был достойный и справлялся с поставленной задачей управления движением подвижной системы, другие придерживаются позиции, что громкоговоритель с легкой подвижкой и мощным мотором предпочтительнее. Здесь мы не будем выяснять, кто прав, а кто виноват, а просто изложим свою точку зрения, а вам решать, оставаться в своём лагере или переходить в другой.

Наша позиция такова: все части и детали громкоговорителя, кроме витков звуковой катушки, находящиеся в магнитном поле, являются паразитной массой, которую мы вынуждены двигать, для того чтобы создать колебания в воздушной среде. Существуют, как известно, другие принципы для подобного преобразования электрической энергии в энергию звуковых колебаний в воздушной среде, это и ионофоны, и плазмотроны, и электростатические преобразователи. Их все объединяет то, что при одном достоинстве — безынерционности — все остальные характеристики это сплошные недостатки. У кого — недолгий срок службы, у кого — очень сложные технологии производства, у кого — и то и другое. Скажу о том, что хорошо знаю, 14 лет своей жизни посвятил разработке, исследованию и серийному производству электростатических акустических систем. (Это, тьфу-тьфу, не для надгробной речи, но может и там пригодиться в своё время). Звучание безынерционной системы мне хорошо знакомо, тем более — это система открытого типа, своего рода аналог free air. Масса колеблющейся пленки (единственного подвижного элемента) в такой системе существенно меньше, чем масса



(<https://www.salonav.com>)



соколеблющегося воздуха, т.е. паразитных масс, по существу, нет. Однако и сила, приложенная к пленке — с гулькин клюв, отсюда и максимальное звуковое давление не больше 103 дБ.

Тогда самое время сказать два слова о громкости. Многочисленные прослушивания навели на следующее: пока уровень громкости не достигает того, что характерен для воспроизводимого звука в жизни, ухо, как Станиславский, возглашает: «Не верю!». Как в жизни — это, к примеру, для камерного квартета 95 — 100 дБ, для малого состава филармонического оркестра 100 — 110 дБ, для большого до 115 дБ, для рокеров 120 — 125 дБ, а то и вообще... так что устойчивой альтернативы динамическим головкам пока, увы, нет, к ним и вернёмся.

В идеале масса подвижной системы должна быть существенно меньше соколеблющейся массы воздуха, и тогда логично спросить: а какова она, соколеблющаяся-то? Та, что заведена в программы по расчету параметров  $T - C$ , как богом данная? Эксперименты показали, что для двух головок одного размера она отличается до 30% и более (в одной из следующих статей мы приведем результаты прямых измерений по этому вопросу), а это для всей традиционной теории громкоговорителя уже не шутки и имеет далеко идущие последствия.

Предположения о зависимости соколеблющейся массы от колебательной скорости подвижной системы полностью подтвердились, и здесь на первый план выходит соотношение  $Mmd/BL$ , которое уже упоминалось в материалах по девиации параметров  $T - C$  в зависимости от скорости прохождения измерительного сигнала. Поиски информации в компетентных источниках показали: тема совершенно не исследованная, однако даже относительно несложный опыт подтверждает рабочую гипотезу. Речь вновь идёт об измерении зависимости падения звукового давления в ближнем и дальнем поле. Теперь мы возьмём две головки с разными значениями  $Mmd/BL$ , у одной это 2,8 г/Тм, у второй — 5,9. В точно таких же условиях, что в прошлом опыте, разница в звуковом давлении при удалении микрофона из ближнего поля (5 мм от диффузора) в дальнее (на 1 м) составила 17 дБ у первой головки и 20 — у второй.

При этом опыте выяснились еще два любопытных аспекта измерений АЧХ двух предыдущих образцов №1 и №2, в ближнем поле и на 1 м, но уже в экране. Это — рис. 3, а меню такое:

Красная кривая — АЧХ образца №1 в ближнем поле, синяя — на 1 м. Зеленая кривая — образец №2 в ближнем поле, жёлтая — он же на 1 м. Для анализа возьмем две контрольные точки: 200 Гц и 1000 Гц. Для образца №1 в ближнем поле разница в звуковом давлении на этих частотах составляет 3,2 дБ, для №2 — 2,1 дБ. На расстоянии 1 м эти же показатели составляют соответственно 1,1 дБ и 2 дБ. Это говорит о том, что у образца №1 за счет недостаточной колебательной скорости соотношение реактивной и активной составляющих сопротивления излучения в ближнем поле иное, чем у образца №2. Т.е. относительно тяжелая подвижная система не излучает звуковую энергию в воздушную среду, а лишь медленно расталкивает перед собой и, естественно, даже на метре недостает примерно 2 дБ относительно того, что должно быть. Для образца №2 перепад уровня около 2 дБ сохранился, а это означает, что вся энергия была излучена в виде звуковой волны в среду.

А теперь возьмем крайний случай — 15-дюймовый сабвуфер Ground Zero, у которого подвижная система весит 520 г или около того. Что надо сделать, какие Теслы и метры понадобятся, чтобы получить параметр  $Mmd/BL$  хотя бы на уровне худшего из протестированных образцов?

Второй любопытный момент на рис. 3 — это область 500 — 600 Гц, где можно наблюдать резонансные явления, связанные с конечными размерами экрана: провал у образца №2 уже и менее глубокий, это говорит о том, что громкоговоритель с большей величиной  $Mmd/BL$  больше подвержен влиянию окружающей акустической обстановки. Иными словами, чем выше чувствительность, тем меньше влияние акустики помещения или салона авто.

Рис. 3. Падение звукового давления при измерении АЧХ в ближнем и дальнем поле в условиях акустического экрана

Наконец, предвосхищая вопросы относительно сочетания высокой чувствительности громкоговорителя и низкой величины полной добротности Qts, скажем, что способы получения правильного тембрального баланса в НЧ-области от такого «эмоционально корректного» громкоговорителя сильно отличаются от традиционных, да и физика процесса тоже, но этому вопросу мы посвятим отдельный материал. И вообще, в следующих частях мы без отступлений в область пройденного вернемся к животрепещущим темам электроакустики, если только вы не будете сбивать с выбранной логики изложения...

РЕКЛАМА - MTS

⋮

## СВЕЖИЕ СТАТЬИ РУБРИКИ

(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2022/07/rol-kondensatora-v-audiosisteme.htm>)  
Роль конденсатора в аудиосистеме  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2022/07/rol-kondensatora-v-audiosisteme.htm>)  
15 Июл 2022

(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2019/08/v-kakix-avtomobilyax-segodnya-est-apple-carplay.htm>)  
В каких автомобилях сегодня есть Apple CarPlay? (<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2019/08/v-kakix-avtomobilyax-segodnya-est-apple-carplay.htm>)  
22 Авг 2019

(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2019/07/head-unit-vsemu-golova.htm>)  
Head unit — всему голова  
(<https://www.xn--80aeatqv1al.xn--p1ai/az/2019/07/head-unit-vsemu-golova.htm>)  
18 Июл 2019

