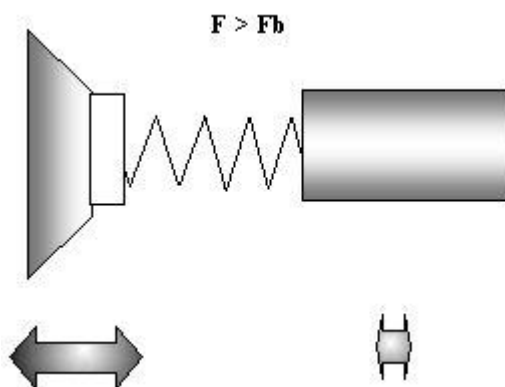


Фазоинвертор в отечественной литературе, bass reflex, ported box, vented box - в англоязычной - все это, по сути, звукотехническая реализация идеи резонатора Гельмгольца. Идея проста - замкнутый объем соединяется с окружающим пространством с помощью отверстия, содержащего некоторую массу воздуха. Вот именно существование этой массы - того самого столба воздуха, который, по утверждению Остапа Бендера, давит на любого трудящегося, и производит чудеса, когда резонатор Гельмгольца нанимают на работу в составе сабвуфера. Здесь мудреная вещь имени германского физика приобретает прозаическое имя тоннеля (по-буржуйски port или vent) .

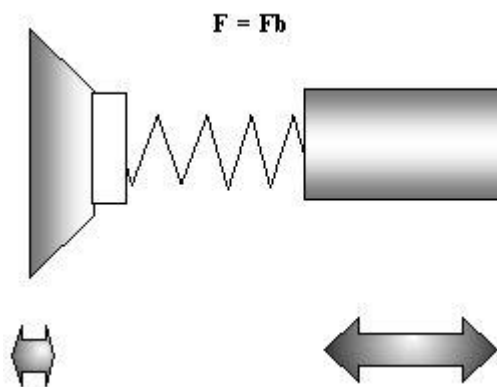
Как работает фазоинвертор? Почему вдруг наличие в корпусе громкоговорителя аккуратно выполненной дырки определенных размеров драматически сказывается на работе всего ансамбля? Как уже говорилось, вскользь, в предыдущих частях этого эпического полотна, тоннель фазоинвертора служит для того, чтобы, задержав на строго определенное время звуковую волну, возникающую *внутри* ящика громкоговорителя, выпустить ее наружу в той же фазе, что и создаваемая "лицевой" стороной динамика. Здесь, на воле, они объединят свои децибелы и дадут по ушам (при правильном расчете) так, что мало не покажется. Вот за это, собственно, фазоинвертор и любят - за повышенный, по сравнению с закрытым ящиком, к.п.д.

Но не только. Грубая сила - не аргумент, если она не подкрепляется точностью воспроизведения сигнала. Здесь имеется в виду другая, существенно менее тривиальная особенность фазоинвертора - его способность производить требуемое звуковое давление при существенно меньшей амплитуде колебаний диффузора. Это звучит несколько парадоксально. Все знают, что именно наличие позади диффузора закрытого объема сдерживает колебания диффузора, так почему же в "дырявом" корпусе они вдруг окажутся меньше? А из-за массы, как и было сказано. Отверстие в корпусе фазоинвертора потому и сделано как довольно протяженный тоннель - труба, проще говоря, чтобы держать внутри некоторую массу воздуха. На относительно высоких частотах, выше 200 Гц, инерция воздушной массы в тоннеле приводит к тому, что он акустически совершенно непрозрачен. Как будто закупорен совсем.



Ниже по частоте воздушная пробка в тоннеле начинает оживать и шевелиться, поскольку ее сзади толкает пульсирующее внутри ящика давление. Инерция воздушной массы приводит к тому, что она движется не в такт с действующей на нее волной, а с некоторым сдвигом. Этот сдвиг достигает 180 градусов по фазе, то есть начинает быть противофазен звуковой волне, исходящей от тыльной стороны диффузора на некоторой частоте, которая и называется частотой настройки

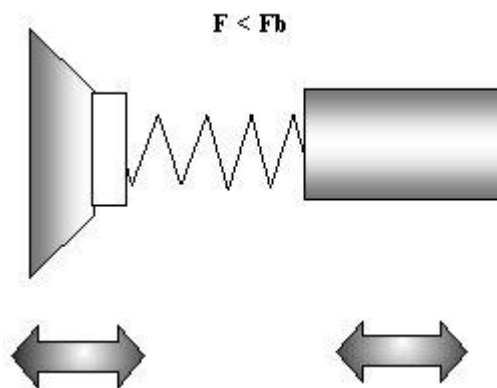
фазоинвертора.



Здесь почти все усилия динамика идут на раскачивание несговорчивой воздушной массы внутри тоннеля, так что на собственные колебания уже почти ничего не остается и амплитуда колебания диффузора минимальная. (А звук - идет, да еще какой! Просто на этой частоте он почти весь идет из тоннеля). А поскольку именно большие амплитуды колебаний диффузора и порождают заметные на слух искажения - обстановка в смысле звука наступает самая

благоприятная.

Еще ниже по частоте дела, правда, начинают меняться в худшую сторону. Для совсем медленных низкочастотных колебаний масса воздуха в тоннеле уже никакая не инерция и тыльная сторона диффузора качает ее туда-сюда как насос.



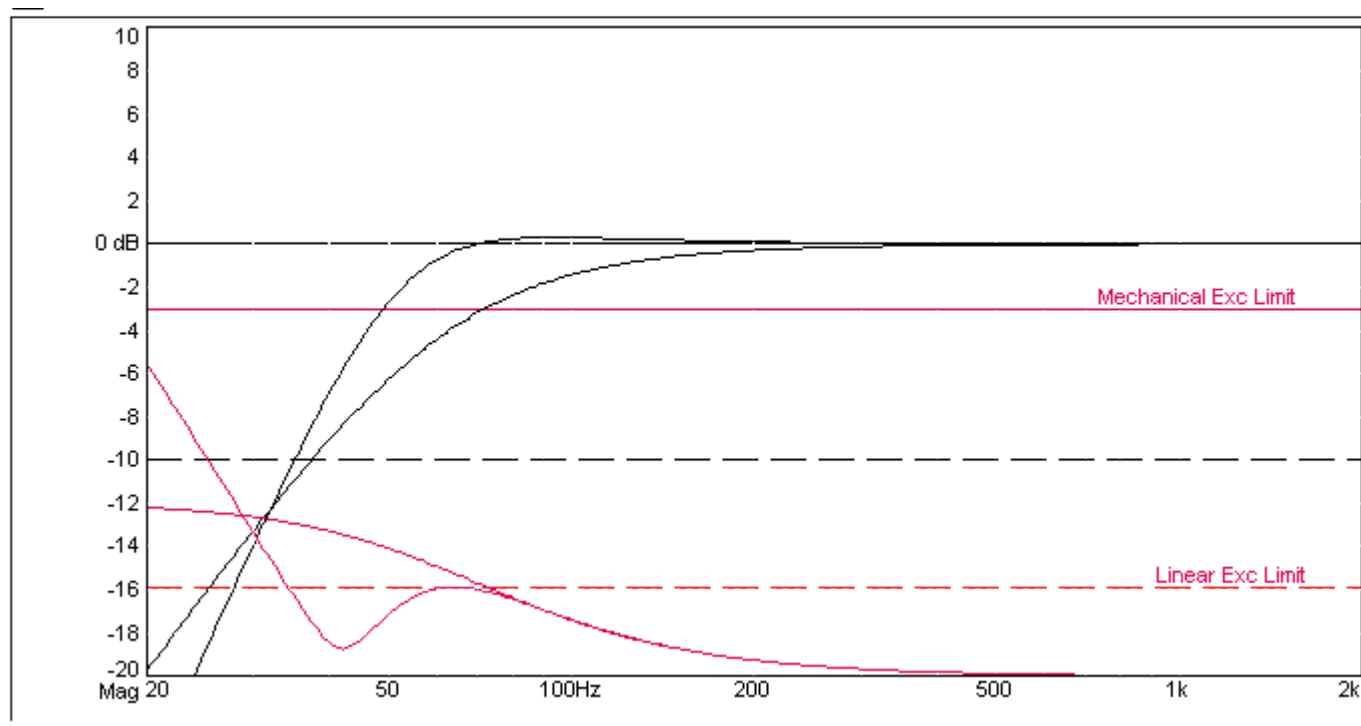
При этом возникает ситуация, как будто динамик вообще не установлен в корпус, то есть волны от тыльной стороны диффузора и от лицевой встречаются в противофазе и в значительной степени друг-другу съедают, как при нормальном акустическом коротком замыкании. Поэтому-то ниже частоты настройки отдача фазоинвертора и падает вдвое быстрее, чем у закрытого ящика. Хуже, однако, другое - диффузор уже ничего не тормозит и амплитуда его колебаний на совсем

низких частотах начинает расти просто катастрофически. Подтональные фильтры (subsonic filters), которыми снабжаются некоторые, обычно породистые, кроссоверы и усилители, сделаны почти исключительно для противодействия этой вредной привычке фазоинверторов.

Итак, что же мы конкретно поймеем, выбрав для своего проекта фазоинвертор как акустическое оформление?

Хочу сразу предупредить - расчет фазоинвертора без предназначенных для этого компьютерных программ - возможен и для него существуют расчетные формулы и номограммы. Однако на пороге третьего тысячелетия квалифицировать такие методы иначе как мазохизм, я не могу. Аннотированная подборка проверенных программ разной степени сложности и совершенства - [здесь](#).

Вот картинка, которая объясняет (почти) все. Взял 10-дюймовый динамик, по своим параметрам *подходящий* для установки в фазоинвертор и смоделированы характеристики, которые получатся при его установке в оптимальном для него фазоинверторе (20 л, настроен на 42 Гц) и таком же по объему закрытом ящике.

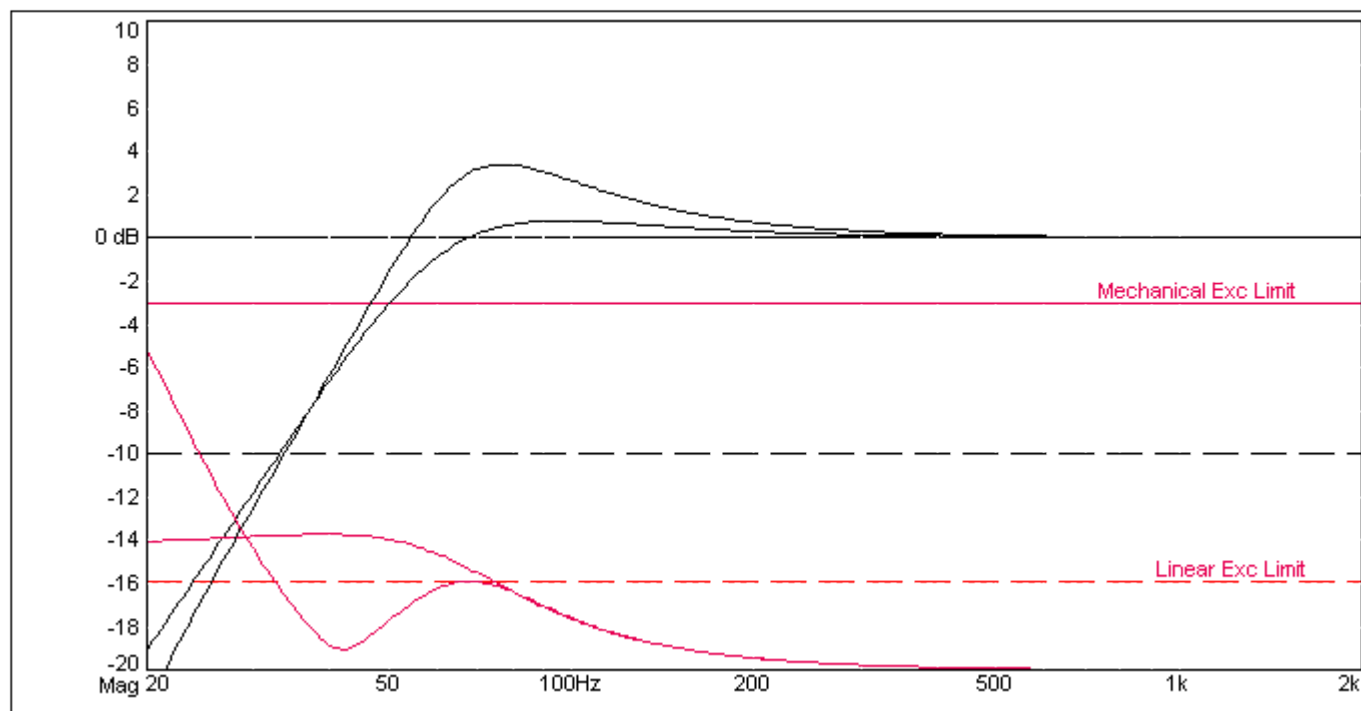


Верхняя из двух черных кривых, понятно, наша. По сравнению с закрытым ящиком, во всей полосе частот ниже примерно 150 Гц отдача существенно выше. Что значит "существенно"? Взгляните: на частоте, скажем, 60 Гц разница составляет около 4 дБ. А это равносильно повышению мощности усилителя в 2,5 раза. То есть со скромным 100-ваттным усилителем такой саб сыграет как будто к нему подведено 250 Вт. За те же деньги.

А вот из красных кривых, изображающих зависимость амплитуды колебаний диффузора от частоты, *наша* - нижняя. Как раз там, где сосредоточена большая часть басовой энергии - ниже 100 Гц, амплитуда начинает падать и остается намного ниже, чем у закрытого ящика, хотя создаваемое звуковое давление - вдвое больше!

У закрытого ящика при этом амплитуда колебаний растет неуклонно и при подведении мощности, указанной как максимальная, выходит за пределы рабочего диапазона (красный пунктир) уже к 70 Гц, а ниже - вообще беда. Там-то и будут порождены такие знакомые на слух хрипы, сопровождающие басовые ноты. У фазоинвертора благодать с амплитудами продолжается вплоть до примерно 30 Гц, а там амплитуда начинает расти неумолимо. Впрочем, там уже и звука-то никакого почти нет, так что прямой смысл "придушить" эту часть спектра подтональным фильтром (если есть) и наслаждаться ударной эффективностью при минимуме искажений в действительно **звуковом** диапазоне.

"Здорово!" - воскликнет нетерпеливый и охочий до децибел читатель, закроет эти страницы и отправится тотчас ладить прорехи в собственном сабвуфере. **Товарищ, стой!** Смотри, что может произойти дальше. Пусть, оставив все без изменения, мы вывернем из нашего 20-литрового ящика прежний динамик и установим другой - предназначенный для работы именно в закрытом корпусе.



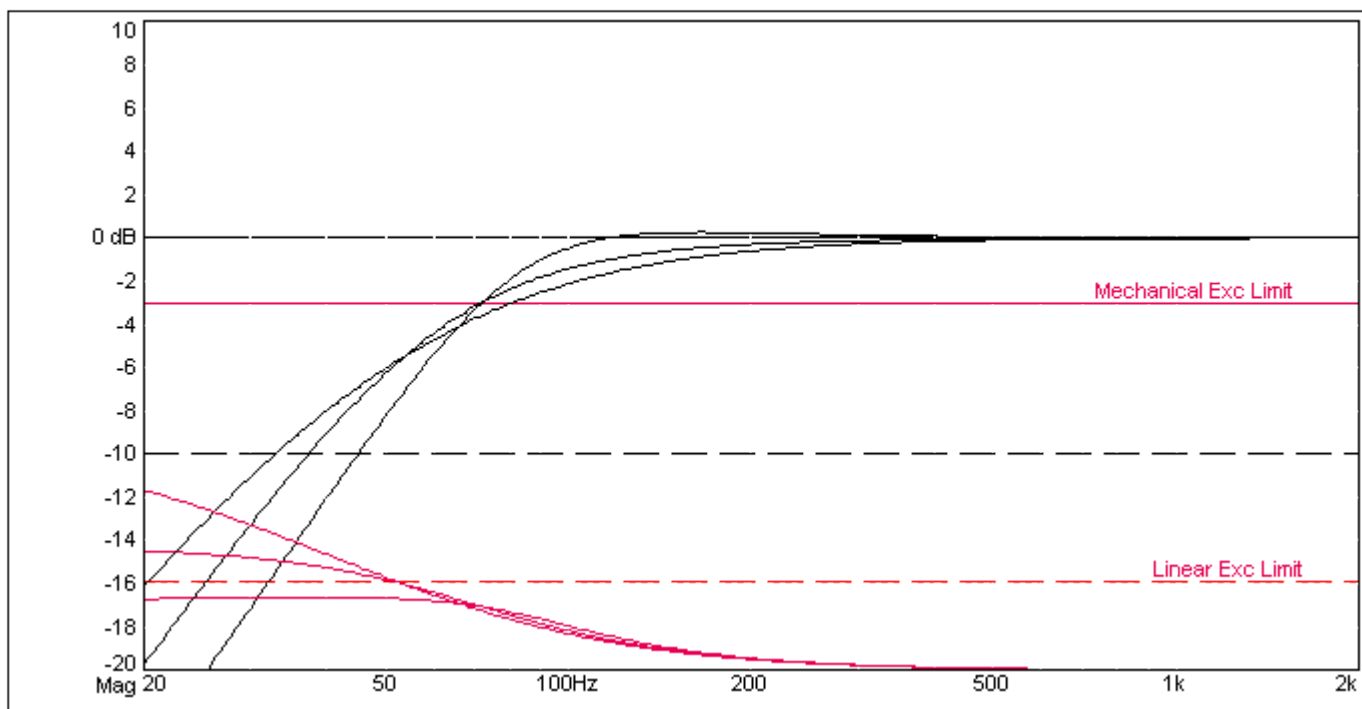
Его характеристика в закрытом, родном для него ящике - нижняя на графике - была очень даже славная. А после переделки в фазоинвертор она станет как верхняя, то есть даст ярко выраженный "хлопун" между 50 и 100 Гц. Именно в результате создания таких сочетаний фазоинверторы получили в свое время обидное прозвище boom-box ("бухало"), позже использованное, на этот раз вполне справедливо, для какой-то портативной магнитолы.

В чем же была разница между двумя динамиками? В двух параметрах, которые должны находиться в определенной гармонии для данного акустического оформления, иначе - оставить надежду всяк сюда звучащий, так сказать. Эти параметры - резонансная частота  $F_s$  и полная добротность  $Q_{ts}$ .

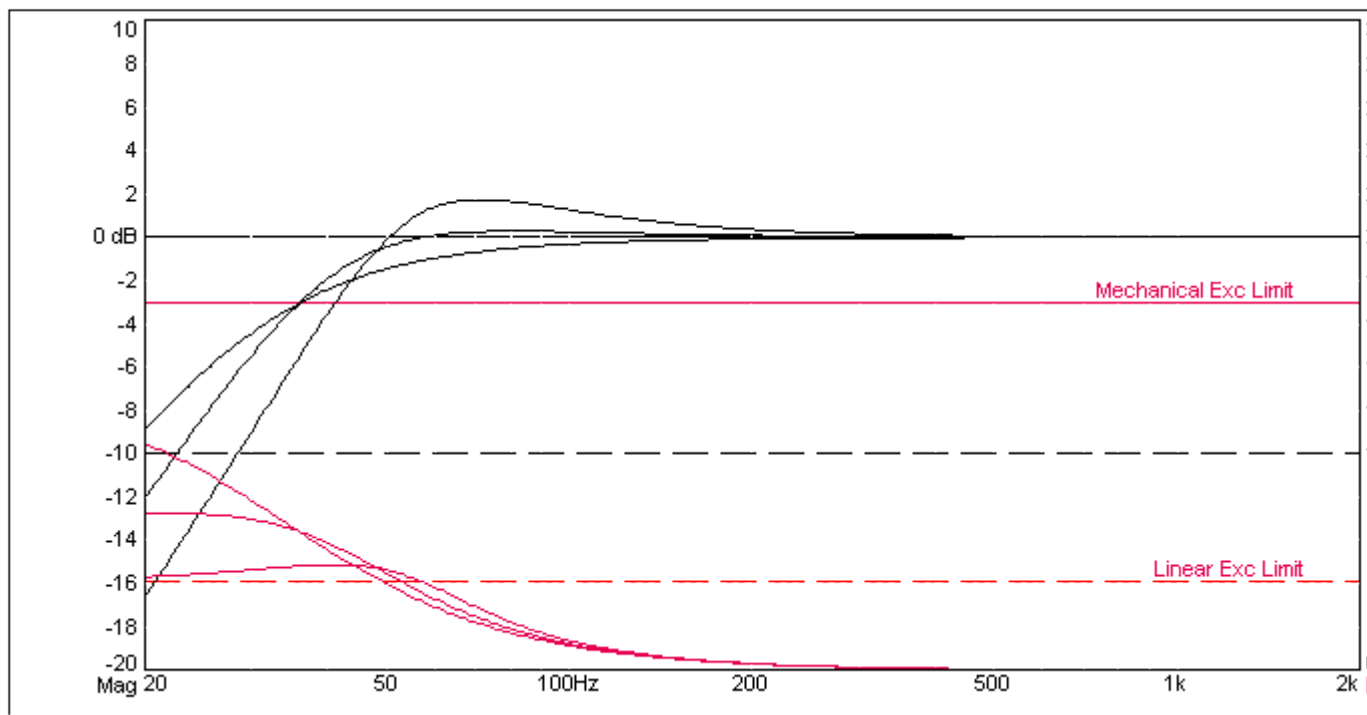
У "закрытого" динамика они были  $F_s=25$  Гц,  $Q_{ts}=0,4$ . А у "фазоинверторного" - 30 Гц и 0,3. Вроде не так велика разница, а результаты - существенно различны. Придуманный в свое время параметр *энергетической полосы пропускания*  $F_s/Q_{ts}$  сразу показывает кто есть кто: его значение для первого динамика 62,5, а для второго - 100. Правило простое - если  $F_s/Q_{ts}$  заметно меньше 100 - забудьте слово "фазоинвертор". Если близко или больше - снова вспоминайте, а забываете про закрытый ящик. В районе 90 - 100 - "сумеречная зона", где, с известными уступками, можно применять и одно и другое.

А что все-таки произойдет, если настоять на своем и втолкнуть динамик в несвойственное ему оформление? Давайте попробуем, благо пока драма разворачивается на бумаге и экране компьютера, то есть "малой кровью, на чужой территории".

Для начала ставим "фазоинверторный динамик" в закрытый ящик и пробуем варьировать тем единственным параметром, который имеем - объемом этого ящика.

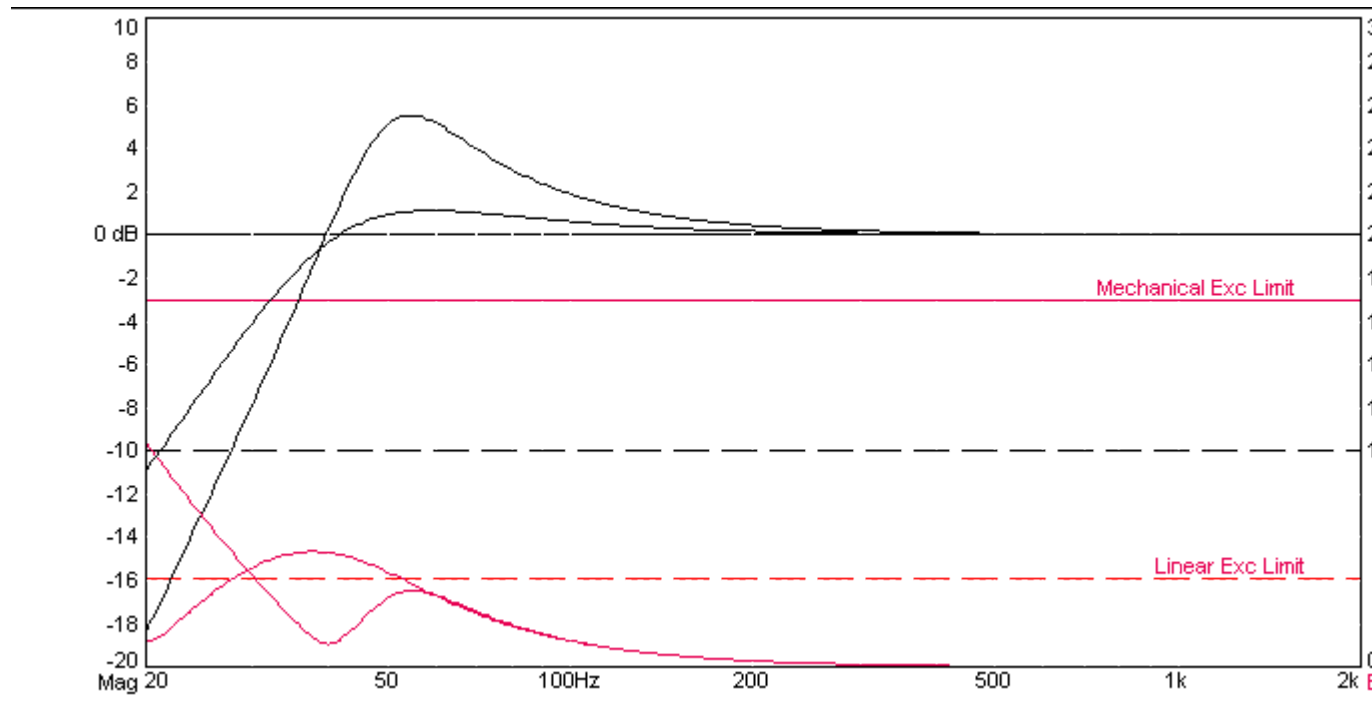


На графике - три кривые. Самая пологая - результат установки в ящик объемом 50 литров, самая круто спадающая ниже 100 Гц - при объеме ящика 10 л. А посередине - наша исходная характеристика в 20-литровом объеме. Видим: объем меняется от неприлично маленького до неприлично большого, а путной характеристики не выходит - она или начинает спадать слишком рано или спадает слишком быстро.



У динамика, рожденного для закрытого ящика, как видно из следующего графика, есть возможность или попасть в оптимум (средняя кривая) или же "накроить" на объеме, получив при этом довольно заметно "гукающую" характеристику (верхняя кривая, полученная в объеме 10 л).

А наоборот? Можно ли при установке "закрытого" динамика в фазоинвертор так его настроить, чтобы получить ровную АЧХ? Теоретически - да, благо у фазоинвертора можно при неизменном объеме перестраивать частоту, меняя диаметр и длину тоннеля (на практике - всегда длину, разумеется). Начинаем эксперимент с верхней, совершенно ужасно кривой (объем 20 л, частота настройки 50 Гц) и, постепенно, перестраивая фазоинвертор, вдруг, на частоте настройки 20 Гц, замечаем, что пришли к очень симпатичной кривой (нижняя на графике).



Опаньки, давайте сейчас вычислим, какой тоннель для этого нужен - и вперед! Через пол-секунды компьютерного времени получаем, что для того, чтобы настроить 20-литровый объем на частоту 20 Гц, нужен тоннель диаметром 75 мм и длиной 1 м 65 см. То есть - ростом с миниатюрную даму, а никак не с деталь компактного сабвуфера.

А вот зато "фазоинверторный" динамик позволит с минимальными хлопотами (вдвинуть трубу - выдвинуть трубу) перестраивать частотку не хуже чем эквалайзером. На графике - результаты такой деятельности в диапазоне частоты настройки тоннеля от 35 до 52 Гц, для чего понадобилась длина тоннеля от 190 до 400 мм - не бог весть что даже при наибольшем значении.