

## Intro

В последнее время стало слышно очень много вопросов **про динамики и сабвуферы**. Подавляющее большинство ответов можно получить на первых трех страницах любой книги, написанной профессионалами. Материал адресован в первую очередь начинающим, ленивым и сельским самоделщикам, подготовлен на основе книг И.А.Алдошиной, В.К.Иоффе, отчасти Эфрусси, журнальных публикаций в Wireless Worrrld, Аудио Магази- не и (немного) личного опыта. НЕ использовалась информация из Интернета и ФИДОне- та. Материал никоим образом не претендует на полноту освещения проблемы, а представ- ляет собой попытку объяснить на пальцах азы акустики. Чаще всего вопрос звучит при- мерно так: "нашел динамик, что с ним делать?", или "Товарищ, а говорят такие сабвуфе- ры бывают:".

Здесь мы рассмотрим только один вариант решения этой проблемы: По имеющемуся ди- намику сделать ящик , с оптимальными параметрами на НЧ, насколько это возможно. Этот вариант сильно отличается от задачи заводского конструктора-натянуть нижнюю частоту системы до необходимой по ТУ величины.

## Содержание

- [1. Нашел по случаю большой динамик без опознавательных знаков. Как узнать, можно ли сделать из него сабвуфер?](#)
  - [2. Что такое T/S параметры?](#)
  - [3. Как измерить T/S параметры?](#)
  - [4. У меня теперь есть параметры динамика, что с ними делать?](#)
  - [5. Где почитать про открытое оформление?](#)
  - [6. Как рассчитать закрытый ящик?](#)
  - [7. В статьях про колонки часто встречаются слова типа "аппроксимация по Чебышеву, Бат- терворту " и т.п. Какое это имеет отношение к колонкам?](#)
  - [8. Какой вид аппроксимации выбрать для фазоинвертора?](#)
  - [9. Прога или/и доки по расчету сабвуфера](#)
- 

## **Нашел по случаю большой динамик без опознавательных знаков. Как узнать, можно ли сделать из него сабвуфер?**

Нужно измерить его T/S параметры. На основании этих данных принимать решение о ви- де НЧ оформления.

## **Что такое T/S параметры?**

Минимальный набор параметров для расчета НЧ оформления, предложенный Гиллем и Смоллом.

$F_s$  -резонансная частота динамика без оформления

$Q_{ts}$ - полная добротность динамика

$V_{as}$ - эквивалентный объем динамика.

## **Как измерить T/S параметры?**

Для этого нужно собрать схему из генератора, вольтметра, резистора и исследуемого динамика. Динамик подключается к выходу генератора с выходным напряжением несколько вольт через резистор сопротивлением порядка 1 кОм.

1. Снимаем  $V(F)=AЧХ$  сопротивления динамика в области резонанса. Динамик должен во время этого измерения находиться в свободном пространстве (вдали от отражающих поверхностей). Находим сопротивление динамика на постоянном токе (пригодится), записываем частоту резонанса в воздухе  $F_s$  (это та частота, на которой показания вольтметра максимальны :), показания вольтметра  $U_0$  на минимальной частоте (ну к примеру 10 Гц) и  $U_m$  на частоте резонанса  $F_s$ .

2. Находим частоты  $F_1$  и  $F_2$ , в которых кривая  $V(F)$  пересекается с уровнем  $V=SQRT(V_0*V_m)$ .

3. Находим  $Q_{ts}=SQRT(F_1 * F_2)*SQRT(U_0/U_m) / (F_2-F_1)$  это полная добротность динамика, можно сказать, важнейшая величина.

4. Для нахождения  $V_{as}$  нужно взять небольшой закрытый ящик объема  $V_c$ , с отверстием, немного меньшим диаметра диффузора. Плотно прислонить динамик к отверстию и повторить измерения. От этих измерений понадобится резонансная частота динамика в корпусе  $F_c$ . Находим  $V_{as}=V_c*((F_c/F_s)^2-1)$ . Эта методика написана в Аудио Магази́не #4 за 99 год. Я ее не проверял.. Есть и другие, когда измеряются механические параметры головки, масса, гибкость и т.п.

5. Мощность неизвестного динамика можно грубо оценить по падению сопротивления нагретой катушки. Для этого надо подать на динамик переменку 50 Гц от трансформатора. Через 10 минут обмотка нагреется. При нагреве на 50 градусов сопротивление катушки упадет на 20 %.

Обычно допустима температура катушки не более 95-100 градусов.

### **У меня теперь есть параметры динамика, что с ними делать?**

Каждый динамик при проектировании затачивается под определенный вид акустического оформления. Чтобы узнать, подо что именно, посмотрим на добротность.

$Q_{ts} 1,2$ -это головки для открытых ящиков, оптимально 2,4

$Q_{ts} < 0.8-1.0$  - головки для закрытых ящиков, оптимально 0,7

$Q_{ts} < 0.6$  - для фазоинверторов, оптимум - 0,39

$Q_{ts} < 0.4$  - для рупоров

Правильнее будет сортировать головки не по добротности, а по величине  $F_s/Q_{ts}$ . Приведу по памяти, неохота формулы просчитывать.

$F_s/Q_{ts} 30$  (?) экран и открытый корпус

$F_s/Q_{ts} 50$  закрытый корпус

$F_s/Q_{ts} 85$  фазоинверторы

$F_s/Q_{ts} 105$  Бандпассы (полосовые резонаторы)

Упругость, мясистость, сухость и др. подобные характеристики звука, издаваемого ч басовой колонкой, во многом определяются переходной характеристикой системы, образованной динамиком, нч оформлением и окружающей средой. Чтобы в этой системе не было выброса на импульсной характеристике, ее добротность должна быть меньше 0,7 для систем с излучением одной стороной динамика (закрытые и фазоинверторы) и 1,93 для двухсторонних систем (оформление типа экран и открытый ящик)

## Где почитать про открытое оформление?

Открытые ящики и экраны - простейший тип оформления. Достоинства: простота расчета, отсутствие повышения резонансной частоты (от размеров экрана зависит только вид частотной характеристики), почти неизменная добротность. Недостатки : большой размер передней панели. Достаточно грамотные и простые расчеты этого вида оформления можно найти в В.К. Иоффе, М.В.Лизунков. Бытовые акустические системы, М., Радио и связь, 1984.

Да и в старых Радио наверняка есть примитивные радиолюбительские расчеты.

## Как рассчитать закрытый ящик?

Оформление "закрытый ящик" бывает двух типов, бесконечный экран и компрессионный подвес. Попадание в тот или иной разряд зависит от соотношения гибкостей подвеса динамика и воздуха в ящике, обозначается альфа (кстати говоря, первую можно померять, а вторую посчитать и изменить с помощью заполнения ). Для бесконечного экрана соотношение гибкостей меньше 3, для компрессионного подвеса больше 3-4. Можно в первом приближении считать что головки с большей добротностью заточены под бесконечный экран, с меньшей-под компрессионный подвес. Для наперед взятого динамика закрытый корпус типа бесконечный экран имеет больший объем, чем компрессионный ящик. (Вообще говоря, когда есть динамик, то оптимальный корпус под него имеет однозначно определенный объем . Ошибки, возникшие при измерении параметров и расчетах, можно в небольших пределах поправить с помощью заполнения). Динамики для закрытых корпусов имеют мощные магниты и мягкие подвесы в отличие от головок для открытых ящиков.

Формула для резонансной частоты динамика в оформлении объемом V

$F_c = F_s \cdot \sqrt{1 + V_{as}/V}$ , а приближенная формула, связывающая резонансные частоты и добротности головки в корпусе (индекс "с") и в открытом пространстве (индекс "s")

$F_c/Q_{tc} = F_s/Q_{ts}$

Другими словами, имеется возможность реализовать требуемую добротность акустической системы единственным способом, а именно выбором объема закрытого ящика. Какую добротность выбрать? Люди, которые не слышали звучания натуральных музыкальных инструментов, обычно выбирают колонки с добротностью более 1,0. У колонок с такой добротностью (=1.0) наименьшая неравномерность частотной характеристики в области низших частот( а при чем здесь звук?), достигнутая ценой небольшого выброса на переходной характеристике. Максимально гладкая АЧХ получается при  $Q=0.7$ , а полностью аperiodичная импульсная характеристика при  $Q=0.5$ .

Номограммы для расчетов можно взять в вышеприведенной книге.

## В статьях про колонки часто встречаются слова типа "аппроксимация по Чебышеву, Баттерворту " и т.п. Какое это имеет отношение к колонкам?

Акустическая система представляет собой фильтр верхних частот. Фильтр может быть описан передаточной характеристикой. Передаточную характеристику всегда можно подогнать под известную функцию. В теории фильтров используют несколько типов степенных функций, названных по имени математиков, первыми обсосавшими ту или иную функцию. Функция определяется порядком (максимальным показателем степени, т.е.  $H(s) = a \cdot S^2 / (b_2 \cdot S^2 + b_1 \cdot S + b_0)$  имеет второй порядок) и набором коэффициентов а и b (от этих коэффициентов можно потом перейти к значениям реальных элементов электрического фильтра, или электромеханическим параметрам.)

Далее, когда речь будет идти об аппроксимации передаточной характеристики полиномом Баттерворта или Чебышева или еще чем-то другим, это надо понимать так, что сочетание

свойств динамика и корпуса (или емкостей и индуктивностей в электрическом фильтре) получилось таким, что с наибольшей точностью частотную и фазовую характеристики можно подогнать под тот или иной полином.

Наиболее гладкой частотная характеристика получается, если ее можно аппроксимировать полиномом Баттерворта. Чебышевская аппроксимация характеризуется волнообразной частотной характеристикой, и большей протяженностью рабочего участка (по Госту до -14 дБ) в область низших частот.

### **Какой вид аппроксимации выбрать для фазоинвертора?**

Итак перед постройкой простого фазоинвертора нужно знать объем ящика и частоту настройки фазоинвертора (трубы, отверстия, пассивного радиатора). Если в качестве критерия выбрать наиболее гладкую АЧХ (а это не единственно возможный критерий), то получится следующая табличка :

- А)  $Q_{ts} < 0,3$  -наиболее гладкой будет кривая квазитретьего порядка
- Б)  $Q_{ts} = 0,4$ - лучше описывается баттервортовскими кривыми
- В)  $Q_{ts} 0,5$ - придется допустить волны на АЧХ, по Чебышеву.

В случае А) фазоинвертор настраивается на 40-80% выше частоты резонанса

В случае Б)-на частоту резонанса,

В случае В) ниже частоты резонанса.

Кроме того в этих случаях будет и различный объем корпуса..

Для того, чтобы найти точные частоты настройки, надо взять исходные формулы, достаточно громоздкие для того, чтобы приводить их здесь. Поэтому отсылаю интересующихся в АудиоМагазин за 1999 год, после этого ликбеза там уже можно будет разобраться, или в книги Алдошиной. И даже статьи Эфрусси в Радио за 69 год сгодятся.

Coda

Если после прочтения всего этого у Вас еще осталось желание что-то склепать самому, то можно взять в Интернете какую-нибудь програмку типа WinspeakerZ :

<http://www.trueaudio.com/downloads/winspkse.exe> и рассчитать все это самому, памятуя о том, что из Г.. конфетку не сделать . Не следует увлекаться снижением частоты среза, ни в коем случае не нужно пытаться скомпенсировать спад АЧХ усилителем. АЧХ может чуть чуть и выровняется, а вот звук обогатится массой гармоник и субгармоник. Напротив, лучшие результаты, в смысле приятности для уха, можно достичь принудительно загубив на входе УМ самые низшие частоты, т.е. частоты ниже частоты среза НЧ колонки. Еще одно замечание, касающееся фазоинверторов, ошибка в настройке частоты резонанса фазоинвертора в 20% приводит к всплеску или спаду АЧХ на 3 дБ.

Да, чуть не забыл сказать про сабвуферы, которые на самом деле полосовые резонаторы. Добротность динамиков для них должна быть еще ниже. Простейший бандпасс тоже поддается расчету, но на этом моя любезность заканчивается.

Васильченко Евгений.

2:5049/102.6

НоуСпам конечно, надо удалить

[www.chat.ru/~charm1](http://www.chat.ru/~charm1)

А здесь лежит этот FAQ, а также материалы по выходным трансформаторам

---

Взято с сайта Caraudio

BLAUBOX - творение Блаупункта, как ясно из названия, - программа вполне и безусловно бесплатная. Несколько упрощенная и грубоватая графика вполне компенсируется тем, что программа работает, во-первых, быстро, во-вторых, может рассчитывать все три основных типа сабвуферов (закрытый ящик, фазоинвертор, полосовой сабвуфер), в-третьих - чрезвычайно проста в обращении, в-четвертых - может рисовать рабочие чертежи ящика по результатам расчета. Вот примеры выдаваемых результатов: АЧХ двух одновременно рассчитываемых сабвуферов и эскиз ящика.

Программа работает по DOS. Файл blau.exe -самораскрывающийся архив.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/blau.exe>

Boxplot 2 - предпродажная версия программы, в связи с чем часть функций не работает. Главное достоинство - программа очень поучительна, поскольку прямо на экране можно варьировать параметрами  $H = fb/fs$  (отношение частоты настройки фазоинвертора к резонансной частоте головки и  $ALPHA = V_{as}/V_b$  (отношение эквивалентного объема головки к объему ящика, в том числе и закрытого). Через пять минут работы с программой человек, никогда в жизни не читавший ничего по теории громкоговорителей уже знает наиболее важные зависимости. Для практических расчетов программа не очень удобна из-за урезанных функций, хотя при некотором навыке работать можно. Впрочем, если кто желает заплатить 25 долларов - там где-то сказано - куда....

Программа работает по DOS. Файл boxplt2.zip - ZIP- архив.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/boxplt2.zip>

Фирменная продукция компании JBL. Говорят, продается и стоит денег. Помещенная здесь копия найдена на одном украинском сервере, все вопросы, касающиеся авторских прав и прочего, просим адресовать дружественному украинскому народу.

Как эта программа попала на мой сервер - ума не приложу...

Программа работает под Windows. Файл jblspkshp.zip - ZIP- архив чудовищного размера.

После разархивирования и инсталляции дает два модуля: для расчета корпусов сабвуферов и для расчета пассивных кроссоверов.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/jblspkrshp.zip>

WinSpeakerz - правописание как в оригинале - работа некоего Джона Мерфи, компания TrueAudio.

Программа вполне коммерческая, стоит около 130 долларов, а бесплатно выдается демо-версия, без базы данных по динамикам и прочих прелестей (включая руководство на 150 страницах). Программа по-настоящему хороша, поскольку, кроме прочего, имеет специальную функцию для учета внутрисалонной акустики.

Среди активных профессиональных пользователей - студия БЛЮЗМОБИЛЬ, где программой очень довольны.

Программа работает по Windows. Файл winspeakerz.zip - ZIP- архив.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/winspkdm.zip>

Perfect Box 4.4 - предпродажная версия программы, при этом почти полностью укомплектована функциями и опциями. Внешне - грубоватая ДОС-овская вещь. На деле - лучшая, на мой взгляд программа, если наловчиться. Рассчитывает закрытые ящики и фазоин-

верторы.

В качестве приданного идет довольно большая база данных по динамикам, легко Вами пополняемая по мере возникновения надобности, а также вещь малополезная, но забавная - программа EQ2.EXE , с помощью которой можно рассчитать звено активной коррекции АЧХ. Программа завязана на основную по параметрам частоты и добротности корректирующего фильтра.

Программа работает по DOS. Файл perf.zip - ZIP- архив.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/perf.zip>

Power Port

Вот такую штуку придумал Мэтт Полк. Или Джордж Клопфер. Идея в том, чтобы снизить скорость на выходе тоннеля фазоинвертора и одновременно уменьшить его длину при сохранении настройки. Программа расчета устроена как файл Excel, я когда-то перетащил ее на родной язык. Чтобы вся эта штука не открывалась в браузере, она заархивирована в ZIP.

Джордж Клопфер - знаток русской словесности, так что я думаю, он не обидится, что некоторые его сочинения оказались переведены на русский. В январе в Лас -Вегасе на всякий случай спрошу. А пока - пользуйтесь, расскажите, что получится.

<http://www.caraudio.ru/infores/soft/powerport.zip>