

Рис. 3.4. Частотные зависимости амплитуды смещения диффузора

Советую читателю обратить внимание на следующий момент: при малых добротностях частоты настройки, отчетливо регистрируемые по выраженному минимуму амплитуды, различны. Ниже всех настроен **КБЗ** однако при дальнейшем снижении частоты он активнее **раздемпфируется**. При больших добротностях (**40**) не отмечается столь резко выраженного минимума на частоте настройки, что может служить хорошим тестом при анализе готовых АС. Левее частоты настройки амплитуда быстро достигает максимума и, в отличие от случая с малыми добротностями, дальше почти не растет.

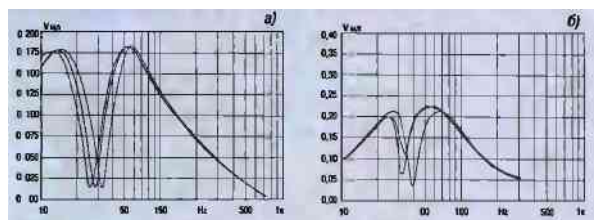


Рис. 3.5. Частотные зависимости скорости диффузора

Пожоие как в случае малых, так и в случае больших добротностей **кривульки**, поведение которых легко объясняется, если принять во внимание предыдущие графики. Ход кривых практически повторяет таковой для закрытого ящика, однако есть и особенности - провал на частоте настройки и большая (особенно при малых добротностях) скорость диффузора на низких частотах в связи с **раздемпфированием** (а).

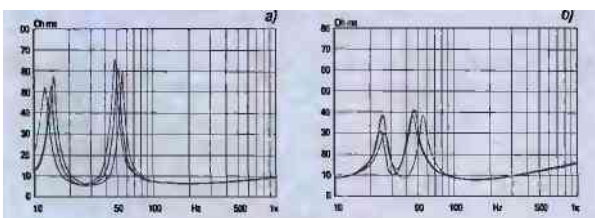


Рис. 3.6. Частотные зависимости модуля полного сопротивления

Пожоии на предыдущие графики: сопротивление зависит исключительно от скорости хода диффузора, однако зависимости значительно острее, чем графики скорости хода, и колебания сопротивления в общем заметнее, чем у закрытых систем.

F₃ совпадают. Более того — они совпадают с **F₁**!

Собачка. Мы это **видели**, когда говорили об аппроксимациях. Что ж, повторение, мать, мучение...

К. К. Как мы уже отмечали в "АМ" № 2 и 3 за 1999 год, "баттервортовская" точка находится вблизи $Q_{bs} = 0,39$, однако практическая реализация **истинно**

баттервортовских кривых **загруднителю** к связи с **дополнительным** влиянием, оказываемым потерями в ящике, то есть величиной Q_b .

Так, при малых Q_b ($Q_b = 2...3$) получаем необходимую для баттервортовской аппроксимации $Q_{bs} = 0,43-0,44$, что требует применения $V_b = 1,5V_w$; при больших же Q_b (12-25) необходимая доб-

ротность Q_{bs} снижается до **0,38-0,39**, при этом $V_b = 0,7-0,8V_w$.

Заметим, что, несмотря на **дож** **говерность** **изложенного**, попытки добиться чисто баттервортовской аппроксимации носят исключительно спортивный характер и **до** **сигпугный** успех на звуке никак не сказывается.

Собачка. Зато на колонках можно смело писать "**Pure Butterworth 4th** **чувств** глубокого удовлетворения, я хотела сказать **удовлетворения**, **накидывать** на **цепи** изделия 30%!

К. К. Однако еще одна точечная аппроксимация имеет и физический, и потребительский смысл. Речь **идет** о **бесселевском** случае, приводящем к лучшему **из** всех импульсному **отклику**. А к этому уже можно **стремиться**.

Луша. Сдается мне, что такую точку надо искать среди **бумбосков...**

Не устаю **удивляться**!

К. К. Это ты, подруга, верно **подметила**. Только не **среди**, а **около**.

Слушай внимательно. **Оказывается**, что для каждой добротности Q_{bs} находящейся в достаточно узкой "бесселевской" зоне 0,3-0,37, существует своя оптимальная добротность Q_b ; для **этих** нар добротностей могут быть подобраны расчетные параметры V_b и F_b , позволяющие получить **бесселевскую** характеристику, которая отличается минимальным скачком ГВЗ, да еще и полосе задержания и без **выброса**!

Бесселевские системы настраивают на 2-3% **ниже** F_{3c} , частота среза у них практически постоянна и раза к полтора превышает F_3 ($a_1 = 3,12394$, $a_2 = 4,39155$, $a_3 = 3,20108$). Понятно, **что** при проектировании подобных фазоинверторов большое число степеней свободы требует известной доли аккуратности, в противном случае заветной благозвучной комбинации не достичь.

Мы не случайно уделяем такое внимание **бесселевским фазоинверторам** тот, кто хоть раз слышал их звучание, никогда **не** скажет, что фазоинверторы бубнят или в чем-то уступают **закрытым** ящикам.

Для **аудиолюбителей-рукоделов** приведем вспомогательную табличку, позволяющую вести **бесселевский** расчет.

Q_b	Q_{bs}	F_b/F_3	V_b	F_3/F_3
2-4	0,35	0,97	0,7	1,5
5-7	0,33	0,97	0,55	1,5
12-15	0,32	0,97	0,48	1,5
25и более	0,31	0,97	0,44	1,5

Поделимся с читателями "АМ" своим **опытом**.

Если у нас есть АС на основе **низко** добротной головки с **бесселевской** характеристикой в закрытом ящике, то есть $Q_{bs} = 0,33$, $Q_{ws} = 0,57 = 1/\sqrt{3}$, $F_c =$

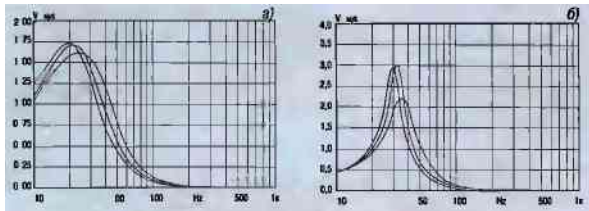


Рис. 3.7. Частотные зависимости скорости газового потока в трубе

Обратите внимание: скорость газового потока в системе с большой добротностью гапоки очень быстро возрастает при приближении слева к частоте настройки (б). Для систем с малой добротностью (а) это не характерно.

$=\sqrt{3F_s}$, $V_c = V_{ж}/2$, делополннее ее трубой, настроенной чуть ниже $F_{ж}$ — и лучший фазоинвертор у вас в кармане.

7. Немного об энергетических характеристиках фазоинвертора

Я отдаю себе отчет в том, что чтение популярной литературы должно приносить больше радости, чем пользы. С атих позиций отправлять читателя к ранее опубликованному негуманно. Однако и повторяться не стоит. Поэтому примем соломонино решение: сошлемся на мои статьи, в которых энергетика рассмотрена достаточно подробно (см. "АМ" № 4 (33) — 6 (35) 2000), а здесь приведем лишь общие соображения и достаточно показательный пример.

На тех частотах, где ЛЧХ ЛС сохраняет плоский характер, ни одно из акустических оформлений одной и той же головки не дает энергетических преимуществ. На языке акустиков это означает, что чувствительность АС раз и навсегда задается головкой (исключение составляет рупорное оформление).

Если говорят о том, что у фазоинвертора есть энергетические преимущества перед закрытым ящиком при применении одной и той же головки, имеют в виду следующее: его КПД выше на низких частотах, то есть там, где АЧХ закрытого ящика перестает быть плоской; КПД и, следовательно, чувствительность фазоинвертора выше, чем закрытого ящика, для всех частот, если в том и в другом случае использованы различные головки, максимизирующие КПД при равных объемах.

Огромного возрастания КПД фазоинвертора, в отличие от закрытого ящика, можно добиться, смилившись с неравномерностью АЧХ. Этот немаловажный факт иллюстрируется следующим примером, кстати, из любительской практики.

Один мой коллега задумал смастерить высококачественный сабвуфер. Коллега учен и рассуждал так: если в оркестре барабан звучит своей мембраной,

то, чтобы попытаться воспроизвести его трубой (фазоинверторной) — все равно, что черпать воду душлагом. Это трубу можно воспроизвести трубой...

Не скрою, чем-то мне его рассуждения симпатичны.

Для своего дитища он заказал на ЛОМО 15-дюймовую головку, вооружился 180-литровым ящиком, обеспечившим $F_3 = 28$ Гц, и... с горечью убедился, что этот монстр даже при немалом (22 мм) ходе диффузора обеспечивает на частоте среза всего 113,5 дБ звукового давления: для возбуждения более значительной громкости и сам диффузор, и величина его смещения должны быть побольше. А 50-литровый сабвуфер-фазоинвертор своей 12-дюймовой головкой на той же частоте создавал 122 дБ при всего лишь восьмимиллиметровом (1) смещении диффузора. Правда, звучала при этом труба, а не диффузор.

Вся хитрость состоит в том, что при использовании фазоинвертора в качестве сабвуфера, то есть при ограничении рабочей полосы одной-двумя октавами, оказывается возможным полностью смириться с неравномерностью АЧХ — какая же равномерность в узкополосном устройстве! В этих условиях объем воздуха, продуваемый трубой, может в десятки раз превышать объемное смещение диффузора на частоте настройки и в несколько раз его максимально допустимое объемное смещение, которое определяется конструкцией и ограничивает отдачу закрытого ящика. Не следует забывать об этой особенности фазоинвертора и всецело доверяться скромному обаянию закрытого ящика...

8. ВЫВОДЫ

Написана последняя формула, прочитана последняя строчка. Какие же выводы должен сделать читатель, требующий вознаграждения за прочтение статьи?

Во-первых, фазоинвертор — эффективнейший инструмент в руках разработчика акустических систем. Это аку-

стическое оформление позволяет решить две главные задачи: расширить АЧХ в низкочастотную область и снизить искажения на низких частотах.

Во-вторых, данные преимущества являются прерогативой исключительно фазоинверторов, в какой-то мере они могут достигаться применением других технических решений (корректирующих фильтров, использованием специальных головок, АС с пассивным излучателем, с трансмиссионной линией и т. п.). Однако надо иметь в виду, что ни фазоинвертор, ни его конкуренты не могут претендовать на звание лучшего по совокупности свойств — у каждого из них есть свои недостатки.

В-третьих, главными недостатками фазоинвертора являются:

- ухудшение импульсного отклика — по сравнению с закрытым ящиком и трансмиссионной линией — приводит к потере натуральности звучания тех инструментов, у которых ярко выражена атака на базах (скажем, барабан); потеря может быть умеренной при удачных расчетах и проектировании и безнадёжной — при неудачном;

- шум и свист трубы;
- раздмифирование при воспроизведении очень низких частот, что может привести к аварии;
- сложность в расчетах, а именно — вероятность возникновения ошибки при использовании неоправданно упрощенной модели.

Все недостатки в совокупности дают основания некоторым авторам (см., например, "АМ" № 1 (36) 2001, с. 183) сделать вывод о неперспективности фазоинвертора в системах высококачественного звуковоспроизведения. Я не сторонник крайних суждений, к тому же практика мирового акустикостроения свидетельствует об обратном — коммерческая победа фазоинвертора над закрытыми системами компрессионного типа очевидна. Однако, вне всякого сомнения, если у разработчика есть иные, свободные от грехов фазоинвертора, способы борьбы с недостатками закрытого ящика, если действуют иные, нежели в массовом коммерческом аудио, критерии, то на пути к достижению высокого качества звука должны приниматься взвешенные и обоснованные, беспристрастные и неконъюнктурные решения.

Дорогой читатель. Эта статья начинается целую серию работ, затрагивающих вопросы углубленного изучения основ электроакустики. Мнение читателя, его отзыв о понятности и полезности материала чрезвычайно важны автору. Поэтому я с соными помощниками жду ваших писем. ◀