

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 раздемпфирован. 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.

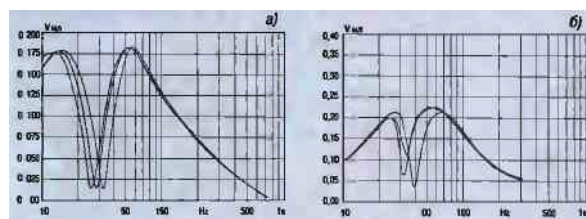


Рис. 3.5. Частотные зависимости скорости диффузора

Похожие как в случае малых, так и в случае больших добротностей кривые, 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).

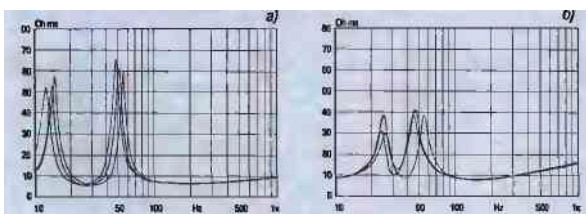


Рис. 3.6. Частотные зависимости модуля полного сопротивления

Похожие 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.

$F_3$  совпадают. Более того — они совпадают с  $F_1$ !

**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  $Q_{b1} = 0,39$ , однако практическая реализация истинно

баттервортовских кривых затруднительна в связи с дополнительным влиянием, оказываемым потерями в ящике, то есть величиной  $Q_{b1}$ .

Так, при малых  $Q_{b1}$  ( $Q_{b1} = 2...3$ ) получаем необходимую для баттервортовской аппроксимации  $Q_{b1} = 0,43-0,44$ , что требует применения  $V_{b1} = 1,5V_{ac}$ ; при больших же  $Q_{b1}$  (12-25) необходимая доб-

ротность  $Q_{b1}$  снижается до 0,38-0,39, при этом  $V_{b1} = 0,7-0,8V_{ac}$ .

Заметим, что, несмотря на досковерность изложенного, попытки добиться чисто баттервортовской аппроксимации носят исключительно спортивный характер и доскопитутый успех на звуке никак не сказывается.

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

К. К. Однако еще одна точечная аппроксимация имеет и физический, и погребительский 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 бумбосов...

Не устаю удивляться!

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

Слушай внимательно. Оказывается, что для каждой добротности  $Q_{b1}$  находящейся в достаточно узкой "бесселевской" зоне 0,3-0,37, существует своя оптимальная добротность  $Q_{b2}$ ; для этих пар добротностей могут быть подобраны расчетные параметры  $V_{b1}$  и  $F_{b1}$  позволяющие получить бесселевскую характеристику, которая отличается минимальным скачком ГВЗ, да еще и полосу задержания и без выброса!

Бесселевские системы настраивают на 2-3% ниже  $F_{b1}$ , частота среза у них практически постоянна и раза к полтора превышает  $F_c$  ( $a_1 = 3,12394$ ,  $a_2 = 4,39155$ ,  $a_3 \sim 3,20108$ ). 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-рукожестов приведем вспомогательную табличку, позволяющую вести бесселевский расчет.

$Q_{b1}$	$Q_{b2}$	$F_{b1}/F_c$	$V_{b1}$	$F_3/F_c$
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
25 и более	0,31	0,97	0,44	1,5

Поделится с читателями "АМ" своим опытом.

Если у вас есть АС на основе низкодобротной головки с бесселевской характеристикой в закрытом ящике, то есть  $Q_{b1} = 0,33$ ,  $Q_{b2} = 0,57 = 1/\sqrt{3}$ ,  $F_c =$

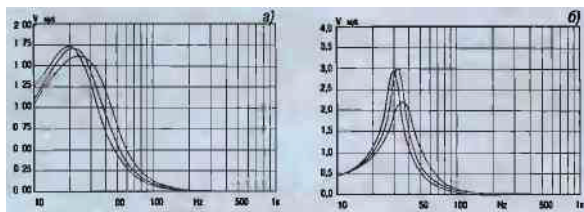


Рис. 3.7. Частотные зависимости скорости газового потока в трубе

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

$=\sqrt{3}F_v$ ,  $V_c = V_{ac}/2$ , дополните ее трубой, настроенной чуть ниже  $F_v$  — 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 соломоново 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 акустики 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 фазоинверта 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, смирившись 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 мембра-

ной, то 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 детища 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 восьми миллиметровой (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, процитана последняя строчка. Какие же выводы должен сделать читатель, гребущий 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 не 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 басах (скажем, барабан); потеря может быть умеренной при удачных расчетах и проектировании и безнадёжной — при неудачном;
- шум и свист трубы;
- раздмифрование 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 неприменимости 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 обдуманные, беспристрастные и неконъюнктурные решения.

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