

## Методика создания акустических систем.

А. Клячин

редакция 2003 г.

Все любители и специалисты, заинтересованные в высококачественном воспроизведении звука, знают, что без хороших акустических систем (АС) не обойтись. Поэтому особенно озадачивают противоречия между различными взглядами на критерии качества АС. Еще менее ясно, какие методы создания АС надежнее и приводят к приемлемым результатам.

Даже начального опыта прослушивания достаточно, чтобы заметить очень большую разницу между воспроизведением одной и той же музыки разными моделями АС. При этом основной параметр - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) почти всегда близок к идеалу, если верить данным фирм-производителей.

Большинство потребителей не может самостоятельно померить АЧХ и приходит к выводу - проблема АЧХ практически решена, качество воспроизведения звука зависит от конструкции и материалов динамиков, корпусов, кроссоверов. Например: катушка без сердечника - хорошо, с сердечником - хуже. Или: корпус весом в 40 килограмм лучше, чем 20-ти килограммовый при тех же габаритах и т.д. Оспаривать влияние динамиков, корпусов, элементов кроссовера, кабелей внутренней разводки, звукопоглотителей и прочих составляющих было бы ошибкой.

Но, все ли в порядке с АЧХ? Независимые измерения, например, в хорошо оснащенных лабораториях авторитетных зарубежных и отечественных аудио журналов не подтверждают оптимистических параметров, заявленных производителями. Каждая модель АС имеет реально свою кривую АЧХ, разительно отличающуюся от кривых характеристик других разновидностей колонок. Это относится к АС любых ценовых групп. Наблюдаемая разница многократно превосходит порог заметности, известный из психоакустики. Эту разницу просто невозможно не заметить. И слушатели ее, конечно, замечают в виде различного тембрального баланса при воспроизведении одной и той же музыки разными АС. Идентифицировать искажения тембра с проблемами равномерности АЧХ не легко, ведь перед глазами - ровные как будто по линейке нарисованные характеристики от производителей.

Не факт, что эти изумительно ровные АЧХ - обман. Просто для рекламы измерения производятся по методикам, обеспечивающим "благообразный" вид характеристик. Например, при повышенной скорости сканирования рабочего диапазона частот в сочетании с высокой инерционностью, то есть усреднением пиков и провалов в процессе регистрации частотной зависимости звукового давления. Бог с ними, производителями. По правде говоря, все мы хотим выглядеть несколько лучше, чем на самом деле и, поэтому причесываемся, умываемся и т.д. перед ответственными встречами.

Гораздо интереснее другое: почему одна "кривая" (по АЧХ) модель АС звучит хорошо, а другая, может быть, обладающая менее "безобразной" характеристикой, воспроизводит музыку гораздо хуже? Независимые, более "честные" измерения обращают наше внимание на несовершенство передачи тембрального баланса, на АЧХ в оценке качества АС, но не помогают научиться интерпретировать, расшифровать смысл "перегибов" и дисбалансов характеристик, не помогают раскрыть связь АЧХ с конкретными особенностями звучания АС.

Позвольте образное сравнение: кардиограмма ничего не говорит обычному человеку, тогда как кардиолог по ней ясно видит состояние сердца пациента. Одна из задач этой статьи - поделиться с опытом анализа АЧХ. Начнем с самого общего вопроса. Почему, обладая всем необходимым, разработчики не создают идеальных, похоже звучащих АС? Ведь идеал, эталон - только один! Поэтому, очевидно, что все АС, близкие к эталону, будут звучать почти одинаково. Существует ряд общепризнанных методик обеспечения "ровной" АЧХ. Одна из основных - настройка АС в заглушенной, безэховой камере. Есть и другие, вроде бы, логичные и адекватные методы, например, настройка по импульсным сигналам. Работая по одинаковым алгоритмам, специалисты каждый раз получают разный результат. Вспомните откровения авторитетных зарубежных специалистов, опубликованные в аудио прессе: "...обеспечив идеальную АЧХ в звукомерной камере, мы потом полгода "портим" эту характеристику для обеспечения приемлемого звучания...".

Не пора ли прекратить "молиться" на равномерность АЧХ с точки зрения некой общеизвестной методики измерения? Дело в том, что любой способ измерения в науке и технике неизбежно дает целый комплекс разноразных ошибок. В нашем случае самые вредные ошибки - методические, то есть, связанные с несовершенством самого метода измерений. Например, где располагать микрофон относительно АС в звуковой камере? На акустической оси? А где эта ось? Перед ВЧ динамиком? А если он воспроизводит, начиная с 8 кГц? Тогда, видимо, точнее мерить на оси СЧ динамика? А если сместить микрофон на 5 см. выше? Получим совсем другую АЧХ. На какую

ориентироваться? И почему мы думаем, что слушатель поместит ухо туда, где мы мерили АЧХ микрофоном?

Кроме того, на НЧ и нижней середине АС активно взаимодействует с полом, влияние которого в безэховой камере отсутствует. Об интегральном взаимодействии излучения АС с помещением прослушивания в данный момент даже не будем начинать разговора. Это взаимодействие очень сильно влияет на звучание, но его конкретные проявления бесконечно разнообразны, поэтому не уместаются в "ложе" какой-либо математической модели с достаточной точностью необходимой для действительно высокого качества воспроизведения.

Еще интересный факт: в реальном помещении суммарная АЧХ двух АС стереопары, даже при сильном усреднении сильно отличается от АЧХ одной АС. Традиционные методики настройки АС не учитывают этого важного обстоятельства. Это - недопустимо, так как главные персоны в музыке - солисты, чаще всего локализуются в центре звуковой сцены, то есть воспроизводятся обеими АС стереопары. Можно сделать вывод - при таком обилии методических ошибок, обычные способы контроля АЧХ дают "кривую" характеристику для реально достаточно "ровных" АС (например, AUDIO - NOTE, MAGNEPAN и т.д.). С другой стороны, крайне подозрительно выглядят полученные по ненадежным методикам слишком гладкие АЧХ. В этом случае ошибки измерений, скомпенсированные специально сформированной характеристикой, которую разработчик обеспечивает, слепо доверяя не оправдавшим себя на практике способам измерений.

Меньше всего мне хотелось бы заменять веру в одни несовершенные принципы верой в другие, мои методы. Они тоже далеко не идеальны, в них присутствуют заметные методические ошибки, только менее грубые. Залог прогресса - понимание временности роли достигнутых знаний и умений, готовность воспринимать, в процессе практической работы и исследований, новые знания. Надо уметь пересматривать подходы к достижению лучших результатов, если количественный рост позволяет совершить качественный "скачок". Результат работы зависит от методов и от развития личности создателя АС. Известны превосходные изделия, созданные в рамках традиционных подходов, при условии высочайшего класса и опыта разработчиков.

Моя цель - вооружать желающих достаточно эффективной методикой создания приемлемых по звучанию АС. Длинное вступление необходимо для того, чтобы обратить ваше внимание на факторы, мешающие развивать искусство настройки АС. Мне бы хотелось без промедления передать свой опыт, не тратя на это непомерных "писательских" усилий. Поэтому буду рассказывать только о добытых на практике фактах и о методах работы, без обоснований и теоретических объяснений. Мой принцип - уверенно излагать свое мнение можно, если имеется аудиосистема, хорошим звучанием, подтверждающая рекомендации автора.

Уже много лет я, по мере сил организую демонстрацию таких систем, в том числе на выставках, что позволяет мне отвечать за свои слова. В других публикациях, если будет необходимо, расскажу несколько подробнее о смысле и обосновании моих методов работы. Для доступности расчеты и приемы настройки максимально упрощены, без существенного вреда для результата.

### **Урок первый. Корпус**

В первую очередь ограничим необъятную тему. Рассмотрим разработку и настройку двух полосных АС с фазоинвертором (ФИ). Такой тип легче "поддается" новичкам. Договоримся, что озвучиваем жилую комнату 10-20 м<sup>2</sup>. Это определяет выбор диаметра НЧ - СЧ динамика. В этом случае оптимальный диаметр диффузора - от 10 до 20 см (примерно). Паспортная мощность (100 часов разового шума без повреждения громкоговорителя) - от 20 до 60 Вт. Чувствительность - от 86 до 90 дБ/Вт/м. Резонансная частота (вне корпуса) - не выше 60 Гц. Если Вас устроит нижняя граничная частота (готовой АС) - 100 Гц, можно брать динамик с резонансом 80-100 Гц.

Кстати, если АС без завала воспроизводит хотя бы от 100 Гц, звучание вполне фундаментально и "весомо", только иногда исчезают некоторые необязательные, но очень желательные в звуковой картине звуки. Их можно восстановить сабвуфером. Чтобы при этом не испортить звук, надо набраться опыта согласования сателлитов и сабвуфера.

Не обольщайтесь паспортными данными о воспроизведении доступными моделями АС низких частот от 30-40 Гц. Реально участвуют в формировании звуковой картины только те низкие ноты, которые воспроизводятся без "завала". Все что воспроизводится с "завалом" хотя бы на 4-5 дБ, маскируется "верхним басом" (80-160 Гц), поэтому воспринимаемый диапазон начинается "снизу" от 50-80 Гц для большинства АС. Такое звучание мы привычно воспринимаем как воспроизведение от 30-40 Гц, ориентируясь на паспортные данные, соответствующие допустимому отклонению от -8 до -16 дБ. Повнимательнее посмотрите в аудиопрессе реальные частотные характеристики.

Отмерьте, в соответствии с приведенным масштабом, уровень -3 дБ от среднего уровня. Вы увидите, что даже крупные напольные АС эффективно работают примерно от 50 Гц. Если диаметр диффузора 10-12 см, чувствительность 86-88 дБ/Вт/м, а мощность 20-30 Вт (типичные параметры недорогого динамика), то о "дискотеке" дома придется забыть.

С другой стороны, громкоговорители минимального диаметра нередко имеют более равномерную АЧХ, чем большие динамики. "Малыши" лучше по ширине и равномерности диаграммы направленности. Интересно, что одна из лучших по качеству АС фирма SYSTEM AUDIO принципиально использует только маленькие НЧ-СЧ динамики.

Полная добротность современных небольших НЧ динамиков обычно составляет 0,2-0,5. Не надейтесь на расчеты низкочастотного оформления, практические результаты им соответствуют недостаточно хорошо. Опыт показывает, лучше выбрать динамики с добротностью больше 0,3-0,4, иначе, даже с фазоинвертором, трудно обеспечить приемлемый бас. Для таких громкоговорителей оправдано изготавливать корпуса объемом, примерно равным эквивалентному объему громкоговорителя. Очень ориентировочно, для рекомендуемых по параметрам динамиков эквивалентный объем соответствует диаметру:

10 см - ~18 литров  
16 см - ~26 литров  
20 см - ~50 литров

В качестве базисного варианта рассмотрим корпус с ФИ для громкоговорителя диаметром 16 см. Объем - 26 литров. Площадь сечения ФИ - 44 см<sup>2</sup>. Длина трубы ФИ - 20 см. Частота настройки - около 40 Гц. Площадь сечения ФИ должна составлять 20-25 % от площади диффузора S<sub>д</sub>.

$$S_d = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

где d - диаметр диффузора, ограниченный серединой подвеса (см. рис. 1.)



**Рис. 1.** Диаметр диффузора

Если необходимо пересчитать габариты трубы ФИ для другого "литража" (другой диаметр динамика), сохраняя частоту настройки, действуйте соответственно следующим примерам:

**1. Громкоговоритель d = 9 см,** Эквивалентный объем (V<sub>э</sub>) ≈ 8 л. 8 литров меньше 26 литров в 3,25 раза. Надо компенсировать разницу изменением длины (l) и площади (S<sub>фи</sub>) трубы ФИ, иначе частота резонанса ФИ резко повысится. Понижают частоту настройки F<sub>фи</sub> увеличением l<sub>фи</sub> и снижением S<sub>фи</sub>. Оптимальная S<sub>фи</sub> для динамика площадью:

$$S_d = \pi \cdot \left(\frac{9 \text{ см}}{2}\right)^2 \approx 3,14 \cdot (4,57 \text{ см}^2) \approx 63,6 \text{ см}^2$$

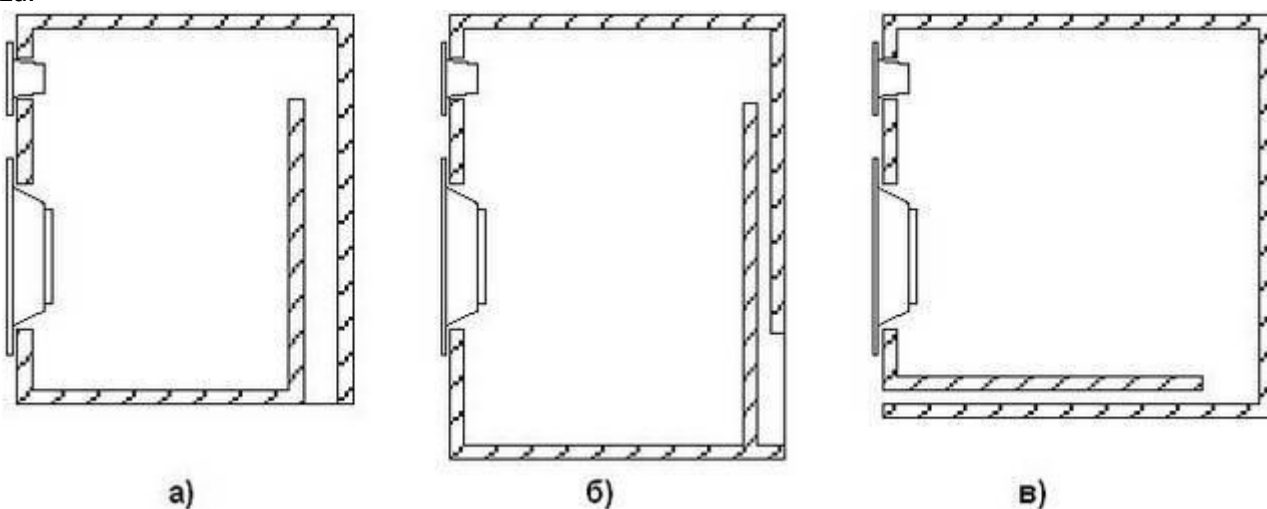
находится в диапазоне: S<sub>фи</sub> ≈ 63,6 см<sup>2</sup>/5...63,6 см<sup>2</sup>/4 = 13 см<sup>2</sup>..16 см<sup>2</sup>. В данном случае уменьшение S<sub>фи</sub> вносит вклад в понижение F<sub>фи</sub> в

$$\frac{44 \text{ см}^2}{13 \text{ см}^2 \dots 16 \text{ см}^2} \approx 2,75 \dots 3,38$$

что вполне компенсирует изменение объема АС в 3,25 раза.

Кстати, компенсировать снижение объема увеличением длины трубы ФИ для маленького корпуса (V = 8 литров) - невозможно. Тем более, что от внутреннего среза трубы ФИ до

ближайшего препятствия (до стенки корпуса АС) должно быть свободное расстояние не менее 8 см (в крайнем случае - 5 см). То есть один из габаритов корпуса (параллельный оси трубы ФИ) должен быть равен  $l_{\text{фи}} (20 \text{ см}) + 8 \text{ см}$  (свободное пространство) + примерно 3 см (толщина двух стенок корпуса) = 31 см. Для 8-и литрового корпуса такой большой размер может быть только высотой. Возможная конструкция щелевого ФИ с прямоугольным сечением трубы показана на Рис. 2а.



**Рис. 2.** Варианты исполнения фазоинвертора

Это очень непрактичная конструкция, так как потребуются установка специальной подставки, не загораживающей выход ФИ. Если сделать выход ФИ вверх, установка АС упростится, но вид сверху ухудшится, кроме того, ФИ превратится в отличную ловушку для пыли, соринок и мелких предметов.

Очень удобна конструкция, показанная на Рис. 2б. Однако, она требует увеличить высоту до  $31 \text{ см} + 8 \text{ см} = 39 \text{ см}$ . Это не всегда допустимо.

Можно изготовить корпус в виде глубокой "буханочки", с наибольшим размером - в глубину рис. 2в. Если не удастся обеспечить нужную длину трубы ФИ, можно:

1. выбрать минимальную

$$S_{\text{фи}} = \frac{S_{\text{д}}}{6}$$

$$S_{\text{фи}} = \frac{63,6 \text{ см}^2}{6} \approx 10,6 \text{ см}^2$$

2. несколько уменьшить  $l_{\text{фи}}$  (~ на 30 %), пожертвовав повышением  $F_{\text{фи}}$  до ~50-60 Гц. Уменьшение  $S_{\text{фи}}$  до  $10,6 \text{ см}^2$  снизит эффективность ФИ и, соответственно, увеличит "завал" отдачи в диапазоне 40-60 Гц. Рост  $F_{\text{фи}}$  при уменьшении  $l_{\text{фи}}$  допустим, так как резонансная частота динамика диаметром 10 см выше, чем у громкоговорителя 16 см. Это значит, что ФИ с резонансом в 55 Гц не просуммирует свой подъем НЧ с резонансом динамика в ящике (70...90 Гц в данном случае) и не будет вредного для звучания подъема на НЧ в области 50-100 Гц, который мог бы возникнуть, например, при укорочении ФИ для корпуса с динамиком 16 см.

Итак, для 8-и литрового ящика и громкоговорителя диаметром 10 см вполне нормально выбрать  $l_{\text{фи}} = 14 \text{ см}$ ,  $S_{\text{фи}} = 13 \text{ см}^2$ .

**2. Громкоговоритель  $d = 18 \text{ см}$** , эквивалентный объем ( $V_{\text{э}}$ )  $\approx 50 \text{ л}$ . 50 литров больше, чем 26 литров в 1,92 раза. Оптимальная  $S_{\text{фи}}$  для динамика площадью:

$$S_{\text{д}} \approx 3,14 \cdot \left( \frac{18 \text{ см}}{6} \right)^2 \approx 254,3 \text{ см}^2$$

находится в диапазоне  $S_{\text{фи}} \approx 254,3 \text{ см}^2 / 5 \dots 254,3 \text{ см}^2 / 4 \approx 51 \text{ см}^2 \dots 64 \text{ см}^2$ . Увеличение  $V_{\text{э}}$  в 1,92 раза сильнее влияет, чем увеличение  $S_{\text{фи}}$  в 1,45 раза. В целом  $F_{\text{фи}}$  понижается, ориентировочно, до 35 Гц. Так как резонансная частота динамика ( $F_{\text{д}}$ ), диаметром 20 см ниже, чем  $F_{\text{д}}$  диаметром 16 см, то снижение  $F_{\text{фи}}$  - положительный фактор. Не стоит компенсировать это уменьшением  $l_{\text{фи}}$ .

Опытные профессионалы способны точно настраивать параметры фазоинверсного акустического оформления, добиваясь максимально плоской АЧХ в диапазоне от нижней граничной частоты АС до 125-200 Гц. Любителю или новичку не стоит тратить сверх усилий на эту работу. В дальнейшем я поясню, как проконтролировать полученную АЧХ на НЧ и как устранить

недопустимые отклонения, если таковые обнаружатся. Кроме того, влияние на звучание неидеальности характеристики в области НЧ сильно зависит от соотношения уровня воспроизведения баса по сравнению со средними частотами. Нельзя забывать, что из-за взаимодействия АС с реальным помещением, АЧХ в нижнем регистре в любом случае будет очень неравномерной.

Главные усилия необходимо сосредоточить на настройке желаемой АЧХ в области СЧ и балансировке между НЧ, СЧ и ВЧ. На первом этапе создания АС - при разработке корпуса, достаточно учесть мои рекомендации.

Корпус должен "молчать". В идеале воспроизводят звук только громкоговорители. Реально корпус откликается на работу динамиков. Переизлучение звука стенками корпуса вносит искажения. Один из простейших способов улучшения виброзащиты корпуса - увеличение толщины стенок. Здесь следует знать меру, прослушивание показывает, что увеличение толщины стенок, начиная с некоторого значения дает незначительное улучшение звучания. Для полочных АС достаточная толщина стенок обеспечивается при использовании 16-и или 18-и миллиметровых листов ДСП или ДВП. Выгодно укреплять корпус изнутри ребрами жесткости.

Вариант практического использования ребер жесткости показан в моей статье "Повторение возможно" в приложении к журналу "Салон AV" #7/2002 (Практика, #2(4)/2002 июль). Там же достаточно подробно изложены рекомендации по следующим вопросам: размещение звукопоглощающих материалов внутри корпуса; особенности изготовления фильтров; как самостоятельно изготовить кабели внутренней разводки очень высокого качества; требования к герметизации корпуса; минимальные сведения, необходимые для выбора типа конденсаторов.

В статье "Повторение возможно" так же рассмотрены вопросы выбора динамиков и затронуты некоторые другие проблемы. Имеет смысл рассматривать эту статью, как часть изложения моих методов работы, поэтому подробно повторять темы статьи не требуется. Разумеется, существует много методов виброзащиты корпуса АС. Они рассмотрены, например, в книге "Высококачественные Акустические Системы и Излучатели" (И.А. Алдошина, А.Г. Войшвилло. - М.: Радио и Связь, 1985.).

Практика показывает, что 16-и миллиметровые стенки, укрепленные ребрами жесткости обеспечивают нормальную виброзащиту. Абсолютных истин нет. У результативной концепции акустически мертвых корпусов есть альтернатива - использование массива различных пород дерева. Это - трудный путь с технологическими и творческими проблемами. Без специальных мер детали из массива деформируются со временем. Однако, иногда удается создать превосходные АС с использованием массива. Этот путь - не для новичков, требуется: высшая квалификация в области деревообработки, тонкое восприятие музыки, упорство в поиске приемлемых вариантов исполнения корпуса.

## **Урок второй. Фильтры**

Если вы думаете, что фильтры это просто кроссоверы, разделяющие сигнал на частотные полосы для соответствующих громкоговорителей, то вынужден буду разочаровать Вас. Все гораздо сложнее. "Просто кроссовер" нужен для идеальных динамиков с ровной АЧХ по звуковому давлению. Идеальных громкоговорителей не существует. В лучшем случае, некоторые типы динамиков позволяют обеспечивать приблизительно приемлемую балансировку АЧХ при "лобовом" использовании кроссоверов.

Положение усложняется из-за сложного взаимодействия громкоговорителей в полосе передачи "эстафеты" от более низкочастотного к более высокочастотному. Например, имеем замечательно ровные в своих полосах СЧ и ВЧ динамики с аккуратными спадами АЧХ вне полос. При совместной работе получаем "кривейшую" АЧХ.

Особенно проблематично для новичка состыковать НЧ и СЧ динамики. Приемы такой стыковки - тема отдельной статьи. Для начала необходимо набраться опыта, настраивая двухполосную АС. Даже самые простые фильтры - мощный инструмент в умелых руках, позволяющий приблизить АЧХ реальной АС к желаемому идеалу.

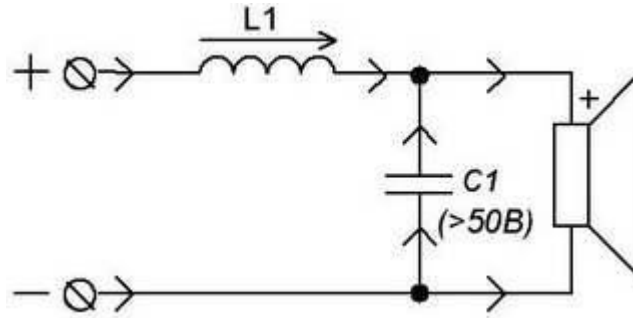
Начнем с разделительных фильтров. Для НЧ-СЧ головок фильтры первого порядка (катушка индуктивности, включенная последовательно с динамиком) чаще всего не подходят. Эти фильтры недопустимо деформируют АЧХ в полосе пропускания, "заваливают" середину, делая звучание тусклым, неритмичным, "муторно" гудящим. В некоторых случаях такой фильтр позволяет чуть скорректировать АЧХ в верхней части диапазона воспроизводимого НЧ-СЧ головкой. При этом частота среза такого фильтра близка верхней частоте, воспроизводимой динамиком.

Редкие разновидности динамиков имеют рост отдачи, пропорциональный повышению частоты сигнала на протяжении нескольких октав. Сбалансировать АЧХ в этих случаях можно попробовать



подбором значения индуктивности фильтра первого порядка. Обычно приемлемы фильтры второго порядка. Они позволяют исключить сильные искажения АЧХ в полосе пропускания.

Подбором сочетаний величины емкости и индуктивности фильтра второго порядка можно обеспечить в полосе около частоты среза спад или подъем АЧХ, действуя фильтром, как эквалайзером. Это - один из методов оптимизации АЧХ. На Рис. 3 показан фильтр второго порядка.



**Рис. 3.** НЧ фильтр второго порядка

Емкость включена параллельно динамику.

Первое приближение. Рассчитаем значения  $L_1$  и  $C_1$  для фильтра без подъема или спада на частоте среза. Поверим значению импеданса, приведенному производителем. Если бумажек нет, померяйте сопротивление по постоянному току и умножьте результат на 1,25. Обозначим полученное значение  $|Z|$ , или если не строить из себя больших ученых - просто  $R$ ,  $F_c$  - частота среза.

$$L_1 = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot F_c}$$

$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_c)^2 \cdot L_1}$$

Например:  $R=4$  Ом,  $F_c = 1,6$  кГц.

$$L_1 = \frac{4}{6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 0,398 \text{ мН} = 398 \text{ мкН}$$

$$C_1 = \frac{1}{(6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 3,98 \cdot 10^{-4}} = 2,49 \cdot 10^{-5} \text{ F} = 24,9 \text{ мкФ}$$

Для справки:

$$F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

В этом случае модули (величины без учета фазы) сопротивления  $L_1$  и  $C_1$  на частоте  $F_c$  равны  $R$ , то есть 4 Ом. Кстати, на частоте среза модули сопротивления  $L_1$  и  $C_1$  всегда равны.

Если выравнивание АЧХ требует подъема на  $F_c$ , скажем, на 1 дБ, то есть примерно, на 10%, необходимо снизить модули сопротивления  $L_1(|Z_{L1}|)$  и  $C_1(|Z_{C1}|)$  примерно на 10% по сравнению с  $R=4$  Ом, то есть до  $4 \text{ Ом} \cdot 0,9 = 3,6$  Ом.

$$L_1 = \frac{3,6}{6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3} = 3,58 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 0,358 \text{ мН} = 358 \text{ мкН}$$

$$C_1 = \frac{1}{(6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 3,58 \cdot 10^{-4}} = 2,77 \cdot 10^{-5} \text{ F} = 27,7 \text{ мкФ}$$

Частота среза остается прежней, но на  $F_c$  на головку подается ~110% сигнала за счет повышенного потребления тока от усилителя и преобразования его "звонящим" фильтром с добротностью больше единицы в форсированный сигнал на головке. Если надо "завалить" область около  $F_c$  на 1 дБ, то нужно пересчитать фильтр, как будто его нагрузка - сопротивление динамика примерно  $1,1 \cdot 4 \text{ Ом} = 4,4 \text{ Ом}$ . Проще получить нужные значения, увеличив  $L_1$  и уменьшив  $C_1$ . Тогда  $F_c$  не изменится, а  $|Z_L|$  и  $|Z_C|$  будут равны 4,4 Ом.  $L_1 = 398 \text{ мкН} \cdot 1,1 = 438 \text{ мкН}$ ;  $C_1 = 24,9 \text{ мкФ} / 1,1 = 22,64 \text{ мкФ}$ .

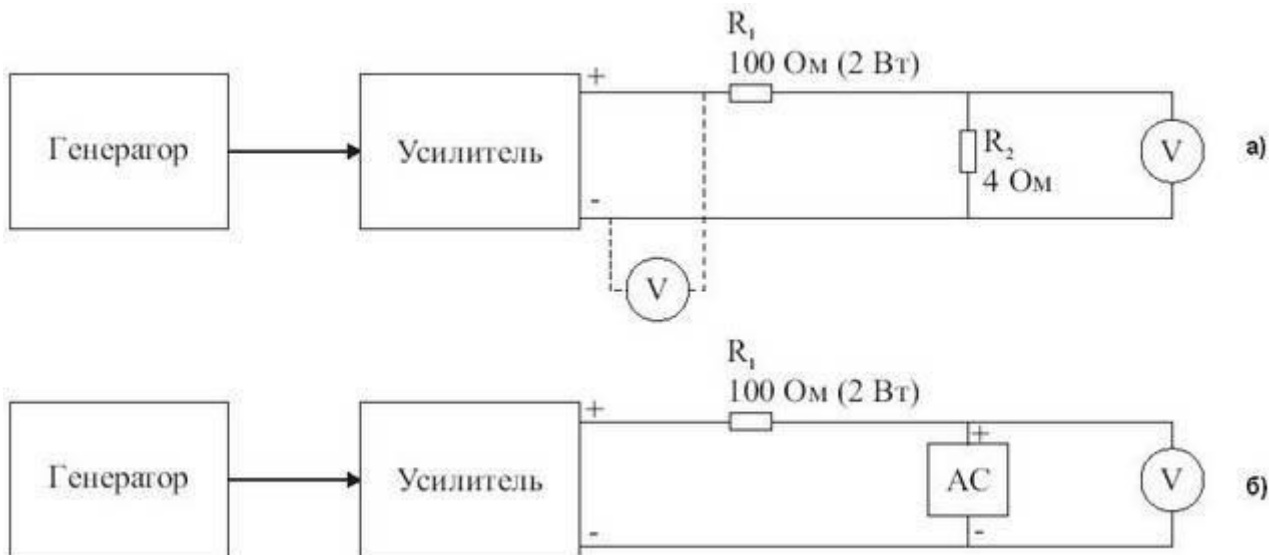
Для справки:

$$|Z_{L1}| = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L$$

$$|Z_{C1}| = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot C_1}$$

Учтите, что при необходимости увеличения отдачи в области около  $F_c$ , придется смириться с падением импеданса АС в этой же области. Падение импеданса необходимо контролировать. Попробуйте следующий простой способ:

**1 этап.** Подключите к выходу Вашего усилителя цепь, показанную на Рис. 4а. На этом рисунке значок "+" соответствует красной клемме, а "-" - черной. На результаты измерений перемена полярностей не влияет. Подайте на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой 1 кГц от генератора. Регулятором громкости усилителя и регулятором выходного уровня генератора установите на выходных клеммах усилителя  $\sim 1\text{В}$  действующего напряжения. Для этого Вам понадобится вольтметр, способный измерять действующее значение напряжения в области звуковых частот. Переключите вольтметр для измерения напряжения на выходах резистора  $R_2$ . Прибор покажет  $\sim 38,5\text{ мВ}$ . Подрегулируйте уровень сигнала до показаний вольтметра  $\sim 40\text{ мВ}$ .



**Рис. 4.** Схема измерения импеданса динамической головки

**2 этап.** Подключите Вашу АС вместо  $R_2$  (Рис. 4б). Плавно изменяйте частоту сигнала на выходе генератора. Вы увидите, что показания вольтметра изменяются. Эти изменения пропорциональны частотно-зависимому значению импеданса Ваших АС. Можно зарисовать измеряемую характеристику. По горизонтальной оси нарисуйте шкалу частоты. По вертикальной оси - шкала уровня напряжения. Шкалы частоты и уровня выполняются в логарифмическом масштабе. Пример пустого бланка - на Рис. 5.



**Рис. 5.** Бланк

Особенно внимательно ищите минимумы напряжения, плавно меняя частоту. Эти точки на характеристике соответствуют минимумам импеданса АС. С достаточной точностью можно считать, что значение импеданса  $|Z_{AC}|$  равны показаниям вольтметра, деленным на 10. Например, 40 мВ соответствует 4 Ом, 30 мВ - 3 Ом. Если у Вас нет чувствительного вольтметра, то поможет хороший тестер. В режиме измерения переменного напряжения тестер является вольтметром. Верить его

показаниям можно до 2...5 кГц. Выше может быть существенная погрешность. Сверьтесь с паспортом тестера.

Не все модели тестеров позволяют измерять с хорошей точностью сигналы, величиной десятки милливольт. Можно, в этом случае, установить на клеммах усилителя выходной сигнал не 1, а 10В. В режиме наших измерений усилитель нагружен на сопротивление более 100 Ом. Такая высокоомная нагрузка позволяет развить 10В действующего напряжения даже большинству маломощных усилителей, причем, без перегрева усилителя.

К сожалению, при 10 Вольтах на выходе есть опасность сжечь резистор цепи, обеспечивающей устойчивость, который присутствует в схемах многих усилителей. Поэтому не стоит проводить измерения на частотах выше 3 кГц.

Понятно, что в режиме "10 вольт" на пробном резисторе R2 надо установить не 40 мВ, а 400 мВ. Соответственно, шкала напряжения на Рис. 5 будет проградуирована от 125 мВ до 6000 мВ (6 Вольт). При этом показания вольтметра делим на 100 и получаем величину импеданса АС. Например, 400 мВ соответствует 4 Ом.

Если Вы обнаружите минимумы импеданса около 3 Ом, не расстраивайтесь. Некоторые модели АС известных фирм имеют минимум до 2,6 Ом. Одна - две модели даже 2 Ом! С другой стороны, ничего хорошего в таких "провалах" импеданса нет. Усилители перегреваются, работая на такую нагрузку, если Вы слушаете музыку громко. Растут искажения усилителя в области минимумов сопротивления АС. Для ламповых триодных усилителей особенно опасны минимумы в области низких и средне-низких частот. При этом если импеданс падает ниже 3 Ом, возможен выход из строя выходных ламп. Выходные пентоды в таких случаях не ломаются.

Важно помнить, что выходное сопротивление усилителя участвует в настройке фильтра АС. Например, если обеспечить форсаж на 1 дБ области Fc, настраивая АС с транзисторным усилителем, у которого почти нулевое выходное сопротивление, то при подключении этих АС к ламповому усилителю (типовое выходное сопротивление ~2 Ом) от форсажа не останется и следа. АЧХ будет другой. Для повторения характеристики, достигнутой с транзисторным усилителем, в случае работы с ламповым аппаратом, придется создать другой фильтр.

Слушатель, способный к развитию собственной личности, со временем приходит к пониманию ценности хороших ламповых усилителей. По этой причине я обычно настраиваю АС с ламповым усилителем, а при подключении к транзисторному усилителю последовательно с АС ставлю 10-и Ваттный малоиндукционный (не более 4-8 нН) резистор сопротивлением 2 Ом.

Если Вы обладаете транзисторным усилителем, но не исключаете возможность приобретения в будущем ламповой техники, то подключайте при настройке и последующей эксплуатации Ваши АС к выходу усилителя через вышеуказанные резисторы. Тогда, при переходе на ламповый усилитель, не потребуется настраивать АС заново, достаточно подключиться к нему напрямую, без резисторов.

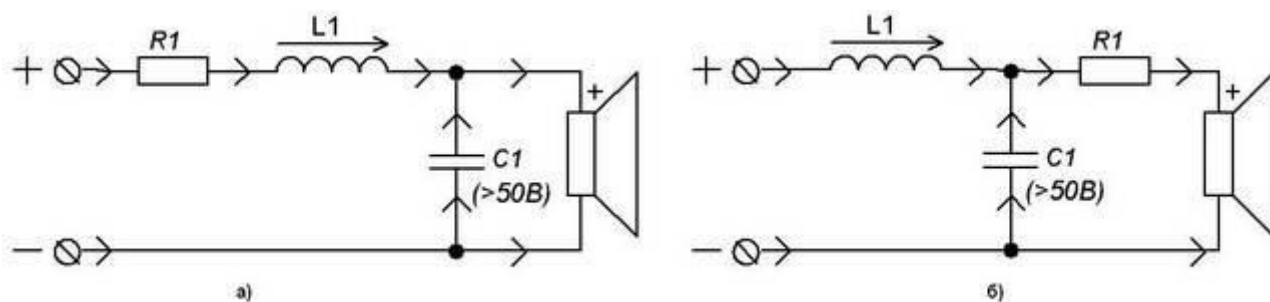
Для тех, кто не может раздобыть генератор, рекомендую найти тестовый CD с дорожками, содержащими испытательные сигналы для оценки АЧХ. При этом Вы не сможете плавно менять частоту испытательного сигнала и пропустите точку самого глубокого падения импеданса в области его спада. Тем не менее, даже приблизительная оценка частотной характеристики импеданса будет полезна. Для ориентировочной оценки псевдошумовые сигналы в треть-октавных полосах даже удобнее, чем синусоидальные. Такие сигналы есть на тестовом CD журнала "Салон AV" (#07 от 2002 года).

В крайнем случае, можно обойтись без измерений импеданса, если ограничить форсаж отдачи на частоте среза фильтра величиной 1 дБ. При этом условии импеданс вряд ли упадет сильнее, чем на 20%. Например, для 4-х Омной АС это соответствует минимуму в 3,2 Ом, что допустимо.

Учтите, что "поймать" параметры элементов фильтра, нужные для желаемой коррекции АЧХ, Вам придется самостоятельно. Предварительный расчет пробных фильтров нужен чтобы изначально не промахнуться "на километр".

В простой фильтр НЧ-СЧ головки можно добавлять резисторы для некоторых манипуляций с АЧХ, которые могут потребоваться при настройке Ваших АС. Если средний уровень звукового давления этого динамика выше соответствующего параметра ВЧ головки, необходимо включить последовательно с динамиком резистор. Варианты включения - на Рис. 6а и 6б.





**Рис. 6.** НЧ фильтр второго порядка с добавочным резистором R1

Величину необходимого снижения отдачи НЧ-СЧ головки, выраженную в дБ обозначим символом N. Среднее значение импеданса динамика обозначим R<sub>д</sub>, тогда:

$$R_1 = R_{\text{д}} \cdot (10^{\frac{N}{20}} - 1)$$

Можете вместо расчетов воспользоваться следующей информацией:

**Таблица 1.**

Изменение уровня, в дБ	Изменение уровня, (прирост) в процентах	Относительное изменение уровня (Δ).
1 дБ	10%	1,10
2 дБ	25%	1,25
3 дБ	40%	1,40
4 дБ	60%	1,60
5 дБ	80%	1,80
6 дБ	100%	2,00
7 дБ	120%	2,20
8 дБ	150%	2,50
9 дБ	180%	2,80
10 дБ	216%	3,16
11 дБ	255%	3,55
12 дБ	300%	4,00

$$N = 20 \cdot \lg \frac{V_{\text{ус}}}{V_{\text{д}}}$$

где V<sub>ус</sub> - действующее значение напряжения на выходе усилителя. V<sub>д</sub> - то же на динамике. V<sub>д</sub> меньше, чем V<sub>с</sub>, благодаря ослаблению сигнала резистором R1. Кроме того, N = N<sub>вч</sub> - N<sub>нч</sub>, где N<sub>нч</sub> и N<sub>вч</sub> уровень звукового давления развиваемый, соответственно, НЧ и ВЧ головками. Эти уровни - усредненные по полосам воспроизводимым НЧ и ВЧ головками. Естественно, N<sub>нч</sub> и N<sub>вч</sub> измеряются в дБ.

Пример быстрой оценки необходимой величины R1:

Для N = 1 дБ;  $R1 = R_d (1,1 - 1) = 0,1 R_d$ .

Для N = 2 дБ;  $R1 = R_d (1,25 - 1) = 0,25 R_d$ .

...

Для N = 6 дБ;  $R1 = R_d (2 - 1) = R_d$ .

Более конкретный пример:

$R_d = 8 \text{ Ом}$ , N = 4 дБ.  $R1 = 8 \text{ Ом} (1,6 - 1) = 4,8 \text{ Ом}$ .

Как рассчитать мощность R1? Пусть  $R_d$  - паспортная мощность НЧ-СЧ громкоговорителя,  $P_{R1}$  - допустимая мощность, рассеиваемая R1.

Тогда:

$$P_{R1} = P_d \cdot \frac{R_1}{R_d}$$

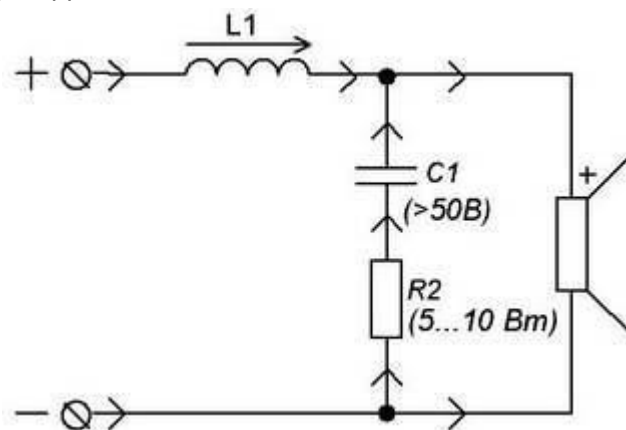
Не следует затруднять отвод тепла от R1, то есть не надо обматывать его изолентой, заливать термоклеем и т. п.

Особенности предварительного расчета фильтра с R1:

Для схемы на Рис. 6б значения L1 и C1 рассчитываются на воображаемый динамик, суммарное сопротивление которого  $R_{\Sigma} = R1 + R_d$ . При этом L1 получается больше, а C1 - меньше, чем у фильтра без R1. Для схемы на Рис. 6а - все наоборот: введение в схему R1 требует уменьшения L1 и увеличения C1. Проще рассчитывать фильтр по схеме Рис 6б. Пользуйтесь именно этой схемой.

Дополнительная коррекция АЧХ при помощи резистора:

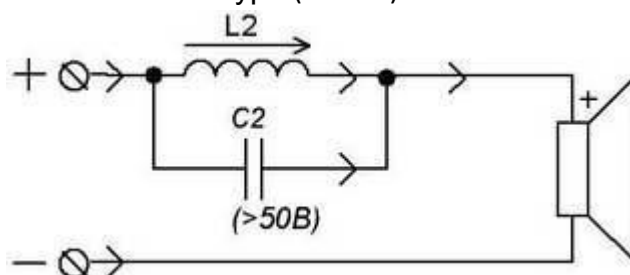
Если, для улучшения равномерности АЧХ, необходимо уменьшить подавление фильтром сигналов выше частоты среза, можно применить схему, приведенную на Рис. 7. Применение R2 в этом случае приводит к уменьшению отдачи в  $f_c$ . Выше  $f_c$  отдача, напротив, растет по сравнению с фильтром без R2. Если необходимо восстановить близкую к исходной АЧХ (измеренной без R2), следует уменьшить L1 и увеличить C1 в одинаковой пропорции. На практике диапазон R2 находится в пределах:  $R2 \approx (0,1-1) \cdot R_d$ .



**Рис. 7.** НЧ фильтр второго порядка с добавочным резистором R2

Коррекция АЧХ:

Простейший случай: на достаточно равномерной характеристике имеется зона завышенной отдачи ("презенс") в области средних частот. Можно применить корректор в виде резонансного контура (Рис. 8).



**Рис. 8.** Резонансный контур

На частоте резонанса

$$F_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_2}}$$

Контур имеет некоторое значение импеданса, в соответствии с величиной которого сигнал на динамике ослабляется. Вне частоты резонанса ослабление уменьшается, таким образом, контур может избирательно подавлять "презенс". Ориентировочно рассчитать, значения  $L_2$  и  $C_2$  в зависимости от  $F_p$  и степени подавления  $N_2$  (в дБ) можно так:

$$L_1 = \frac{R_{\pi} \cdot (10^{\frac{N}{20}} - 1)}{2 \cdot \pi \cdot F_p}$$

$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_p)^2 \cdot L_1}$$

Удобно воспользоваться таблицей 1:

$$L_1 = \frac{R_{\pi} \cdot (\Delta - 1)}{2 \cdot \pi \cdot F_p}$$

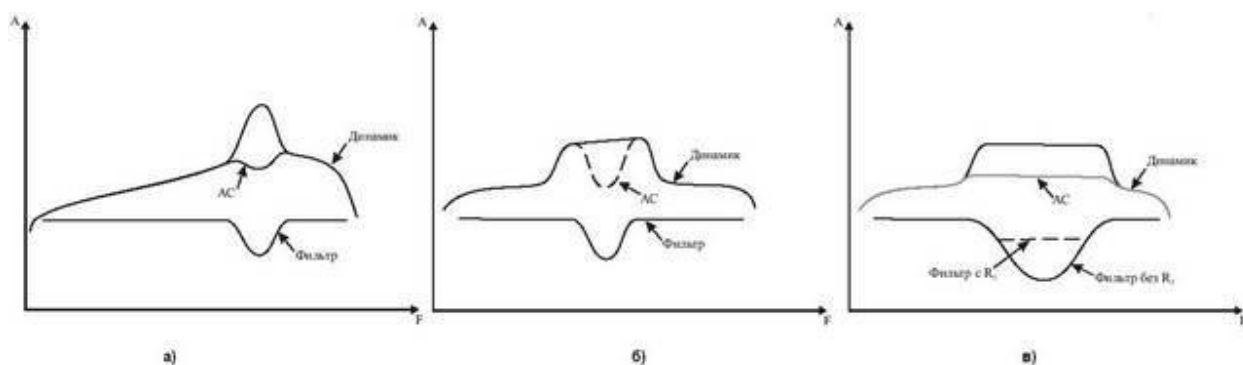
$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_p)^2 \cdot L_1}$$

Пример. Необходимо подавить "презенс" с центральной частотой 1600 Гц. Импеданс громкоговорителя - 8 Ом. Степень подавления: 4 дБ.

$$L_1 = \frac{8 \cdot (1,6 - 1)}{6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3} = 4,78 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 0,478 \text{ mH} = 478 \mu\text{H}.$$

$$C_1 = \frac{1}{(6,28 \cdot 1,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 4,78 \cdot 10^{-4}} = 2,07 \cdot 10^{-5} \text{ F} = 20,7 \mu\text{F}$$

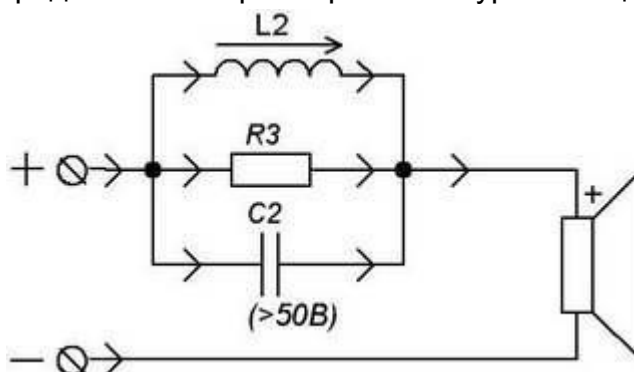
Конкретная форма АЧХ громкоговорителя может потребовать более сложной коррекции. Примеры на Рис. 9.



**Рис. 9.** Примеры неравномерности АЧХ и способы их коррекций

Случай на Рис. 9а - самый простой. Легко подобрать параметры корректирующего контура, так как "презенс" имеет форму "зеркальную" возможной характеристике фильтра.

На Рис. 9б показан другой возможный вариант. Видно, что простейший контур позволяет "разменять" один большой "горб" на два маленьких с небольшим провалом АЧХ в придачу. В таких случаях нужно сначала увеличить  $L2$  и уменьшить  $C2$ . Это расширит полосу подавления до нужных пределов. Затем следует зашунтировать контур резистором  $R3$ , как показано на Рис. 10. Величина  $R3$  выбирается исходя из необходимой степени подавления сигнала, подаваемого на динамик в полосе, определяемой параметрами контура.  $R3 = R_d (\Delta - 1)$

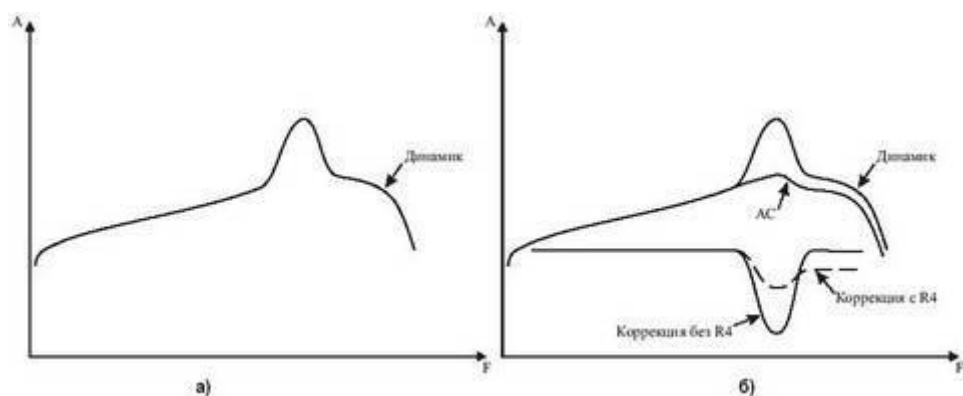


**Рис. 10.** Резонансный контур, зашунтированный резистором  $R3$

Пример: Надо подавить сигнал на 2 дБ. Динамик - 8 Ом. Обращаться к Таблице 1.  
 $R3 = 8 \text{ Ом} (1,25 - 1) = 2 \text{ Ом}$ .

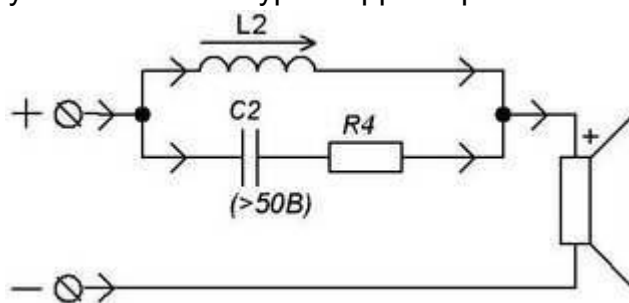
Как в этом случае происходит коррекция, показано на Рис. 9в.

Для современных громкоговорителей довольно характерно сочетание двух проблем: "презенс" в области 1000-2000 Гц и некоторый избыток верхней середины. Возможный вид АЧХ показан на Рис. 11а.



**Рис. 11.** Пример неравномерности АЧХ и способ ее коррекции

Наиболее свободный от вредных "побочных" эффектов способ коррекции требует небольшого усложнения контура. Корректор показан на Рис. 12.

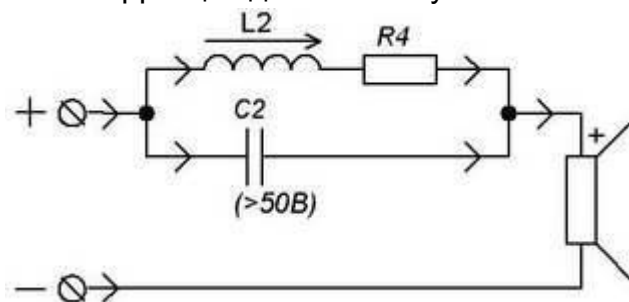


**Рис. 12.** Резонансный контур, с корректирующим резистором R4 в цепи C2

Резонанс контура L2, C2 нужен, как обычно, для подавления "презенса". Ниже  $F_p$  сигнал почти без потерь проходит на динамик через L2. Выше  $F_p$  сигнал идет через C2 и ослабляется резистором R4.

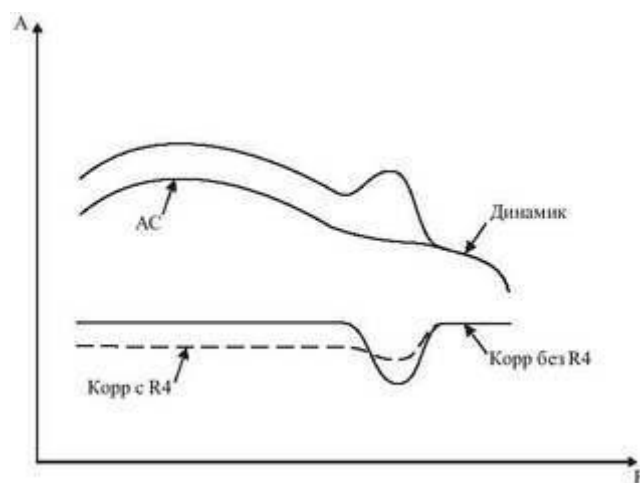
Оптимизируется корректор в несколько этапов. Так как введение R4 ослабляет резонанс контура L2, C2, то изначально следует выбрать L2 больше, а C2 меньше. Это обеспечит избыточное подавление на  $F_p$ , которое нормализуется после введения R4.  $R_3 = R_d (\Delta - 1)$ , где " $\Delta$ " - величина подавления сигналов выше  $F_p$ . " $\Delta$ " выбирается в соответствии с избытком верхней середины, сверяясь с таблицей 1. Этапы коррекции условно проиллюстрированы на Рис. 11б.

В редких случаях требуется обратное воздействие на наклон АЧХ при помощи корректирующей цепи. Ясно, что для этого R4 должен переместиться в цепь L2 (Рис. 13.) Проблемная АЧХ и ее коррекция для этого случая показана на Рис. 14.



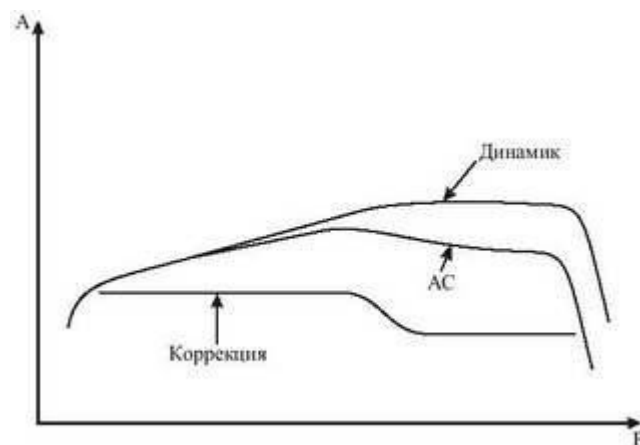
**Рис. 13.** Резонансный контур, с корректирующим резистором R4 в цепи L2





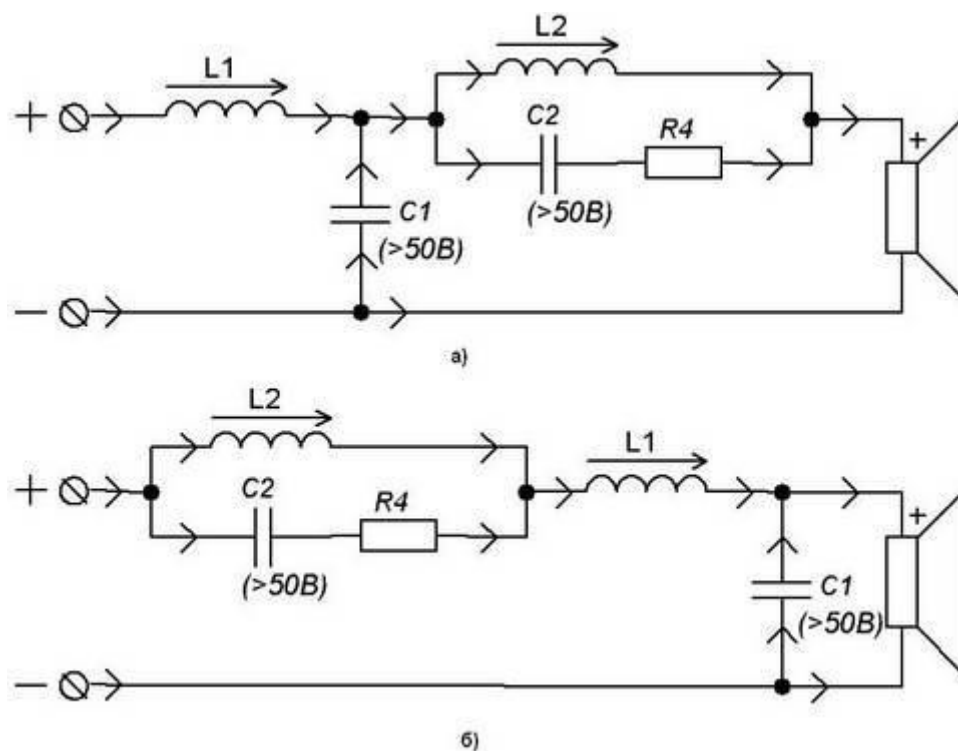
**Рис. 14.** Пример неравномерности АЧХ и способ ее коррекции

При определенном сочетании величин  $L2$ ,  $C2$  и  $R4$  корректор может не иметь особенного подавления на  $F_p$ . Пример, когда необходимо именно такая коррекция, показан на Рис. 15.



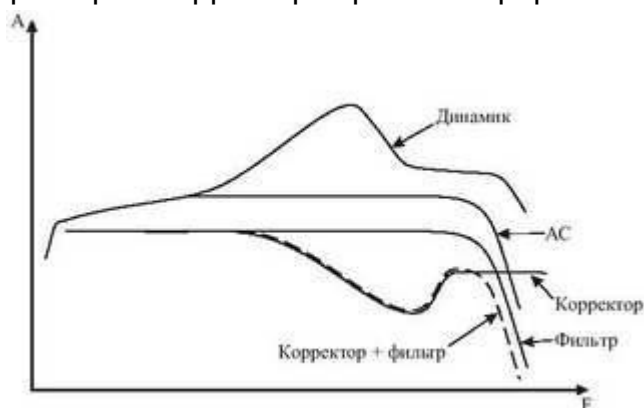
**Рис. 15.** Пример неравномерности АЧХ и способ ее коррекции

При необходимости можно использовать фильтр второго порядка и корректирующий контур совместно. Варианты включения - на Рис. 16.



**Рис. 16.** НЧ фильтр второго порядка совместно с резонансным контуром

При одинаковых номиналах элементов вариант а) обеспечивает большую отдачу на средних частотах и на частоте среза. В принципе, подбором значений элементов можно почти уравнивать АЧХ АС для обоих вариантов фильтра. По некоторым причинам, о которых долго говорить, советую чаще применять вариант а). Иногда очень выраженный "презент" требует применения варианта б). Совместная работа фильтра и корректора проиллюстрирована на Рис. 17.

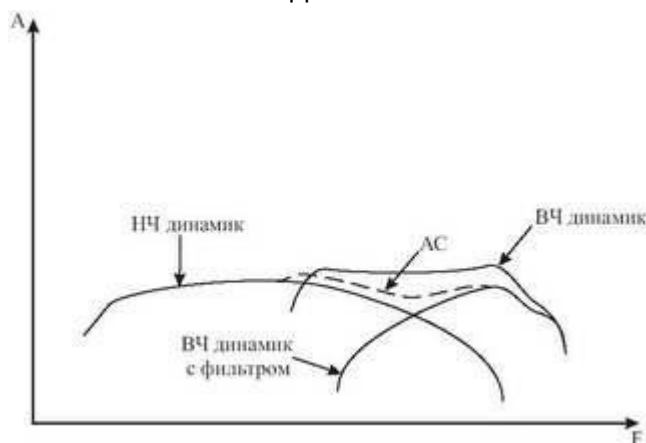


**Рис. 17.** Пример неравномерности АЧХ и способ ее коррекции

### Рассмотрим фильтры для ВЧ динамиков.

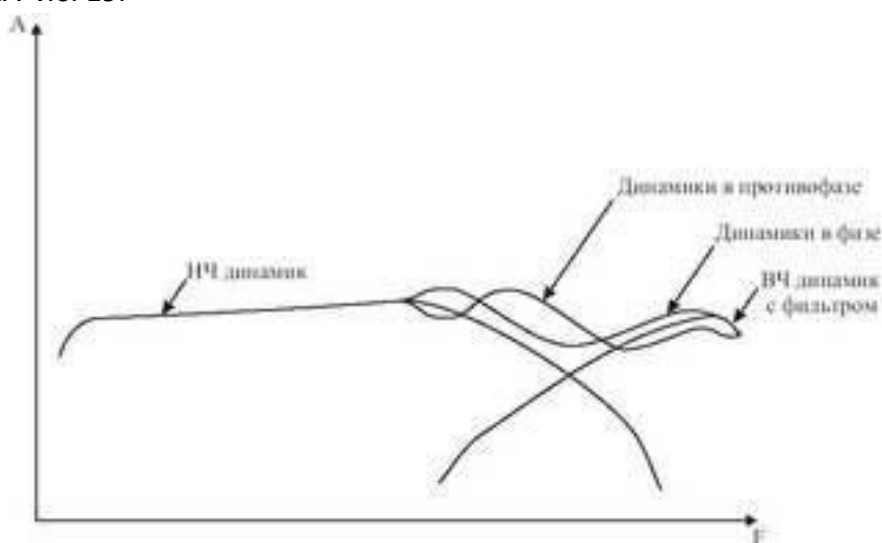
Для ВЧ головок гораздо чаще, чем для НЧ динамиков, применим фильтр первого порядка, то есть просто конденсатор, включенный последовательно с громкоговорителем. То, что такой простой фильтр вносит ощутимый наклон в АЧХ динамика, не так пагубно влияет на звучание, как в случае НЧ динамика. Во-первых, нередко этот наклон частично компенсируется плавным комплементарным (взаимодополняющим) наклоном АЧХ НЧ динамика в той же частотной области.

Во-вторых, некоторый "провал" в области нижнего верха (3-6 кГц) вполне допустим по результатам субъективных экспертиз. Возможный ход АЧХ ВЧ динамика без фильтра, с фильтром и совместно с НЧ динамиком показан на Рис. 18.



**Рис. 18.** Пример АЧХ при стыковке НЧ и ВЧ динамиков

Не следует бояться экспериментов с подключением ВЧ динамика в противофазе с НЧ громкоговорителем. Иногда это один из немногих способов добиться хорошего звучания. Наиболее вероятные результаты перемены полярности ВЧ головки показаны на Рис. 19.



**Рис. 19.** Изменение АЧХ при изменении полярности ВЧ динамика

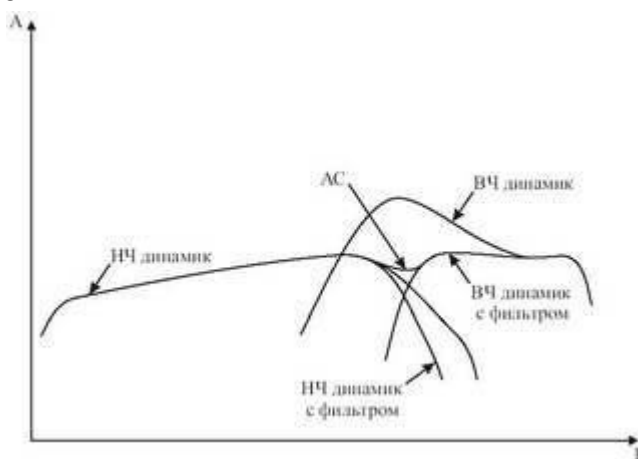
В 1993 году я пытался оценить роль фазовой характеристики АС. Для этого изготовил фазовый корректор с глубокой регулировкой фазочастотных характеристик в звуковом диапазоне частот. Кроме того, несколько моделей АС настроил по критерию максимально точной формы сигнала, вплоть до хорошей передачи разнообразных импульсных испытательных сигналов. Пожалуй, при помощи этих АС можно было передавать данные в цифровой форме через канал АС - измерительный микрофон. Те эксперименты и вся последующая практика показали, что равномерность АЧХ на порядок важнее для верности воспроизведения, чем соблюдение фазовых соотношений. Разумеется, фазочастотные характеристики (ФЧХ) АС стереопары должны быть идентичны, но не обязательно линейны.

Если фазовая линейность противоречит линейности АЧХ, однозначно игнорируйте ФЧХ, иначе плачевный результат гарантирован. Человек очень чувствителен к моментам атаки звуковых сигналов. Но дело в том, что для слуха атака - это не фронт первой полуволны сигнала, а "пачка" (серия колебаний) в течение времени перехода от начала возбуждения струны или столба воздуха в духовом инструменте, до начала установившихся колебаний с частотой, соответствующей извлекаемой музыкантом из инструмента ноты. Поэтому для слуха важнее АЧХ, чем ФЧХ даже во время атаки.

Тем не менее, неистребимые инстинкты правоверного аудиофила заставляют меня, при прочих равных условиях, включать все динамики в фазе.

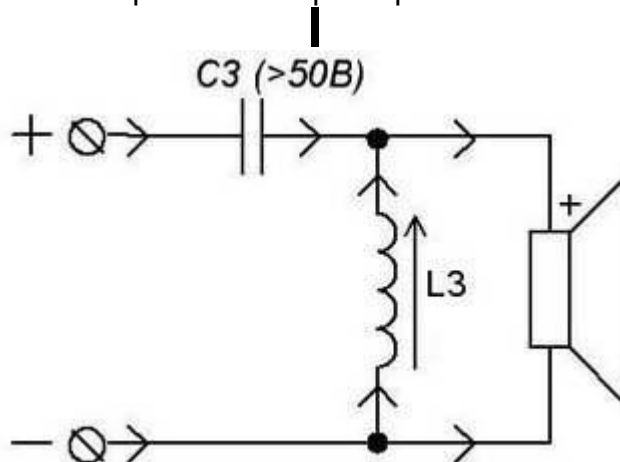
### Фильтры второго порядка для ВЧ громкоговорителей.

Именно такие фильтры чаще позволяют добиться приемлемого звучания. Особенно хорошо, если полоса воспроизведения НЧ динамика ограничена таким же фильтром. Получается красивое решение проблемы совместной работы НЧ и ВЧ секций: - четкая передача эстафеты на частоте раздела. Возможные АЧХ приведены на Рис. 20.



**Рис. 20.** Пример АЧХ при стыковке НЧ и ВЧ динамиков

Фильтр второго порядка, как и в случае НЧ динамика позволяет сильно влиять на АЧХ звукового давления. Простейший фильтр — на Рис.21.



**Рис. 21.** ВЧ фильтр второго порядка

Необычное изображение схемы фильтра частично расшифровано в моей статье "Повторение возможно" (Приложение к журналу "Салон AV" #7, 2002 г., "Практика" #2(4), 2002 г., июль).

Выбор направленности кабелей и элементов определяется тем, что от источника (усилителя) к потребителю (АС) движется не ток, или электроны, а информация, то есть источник "знает" соотношение элементов музыки во времени по амплитуде и по спектру раньше, чем потребитель. Поэтому "край" цепи, подключенный к источнику, является "оперением" стрелы, а "край", подключенный к потребителю соответствует "острию" стрелы. А электроны и переменный ток никуда не идут, а только колеблются в ритме переменного тока.

В первом приближении элементы фильтра рассчитываются так же, как для НЧ секции,  $F_{св}$  - частота среза фильтра:

$$L_3 = \frac{R_{\text{д}}}{2 \cdot \pi \cdot F_{св}}$$

$$C_3 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_{св})^2 \cdot L_3}$$

Интересно, что  $F_{св}$  для ВЧ секции не обязательно совпадают со значением  $F_{сн}$  НЧ секции. Главное, чтобы результирующие АЧХ звукового давления НЧ и ВЧ динамиков суммировались в максимально равномерную АЧХ АС. Способы форсажа и подавления отдачи в области  $F_{св}$  - такие же, как для НЧ секции. Их надо творчески использовать для достижения наилучшего звучания.

Некоторые очень "музыкальные" ВЧ громкоговорители имеют недостаток: - "презенс" на частоте резонанса их подвижной системы (обычно от 1 до 2 кГц). Вредный подъем АЧХ может достигать 12-20 дБ! Не стоит отказываться от таких динамиков, если они отличаются натуральностью звучания выше частоты резонанса.

Есть простой и эффективный способ нормализации АЧХ. Надо ввести в цепь  $L_3$  конденсатор  $C_4$ , образующий с  $L_3$  резонансный контур, настроенный на частоту "презенса". Контур  $L_3C_4$  имеет низкое сопротивление на частоте резонанса. Он поглощает сигнал в области "презенса", так как включен параллельно ВЧ динамику, то есть шунтирует его на частоте резонанса.

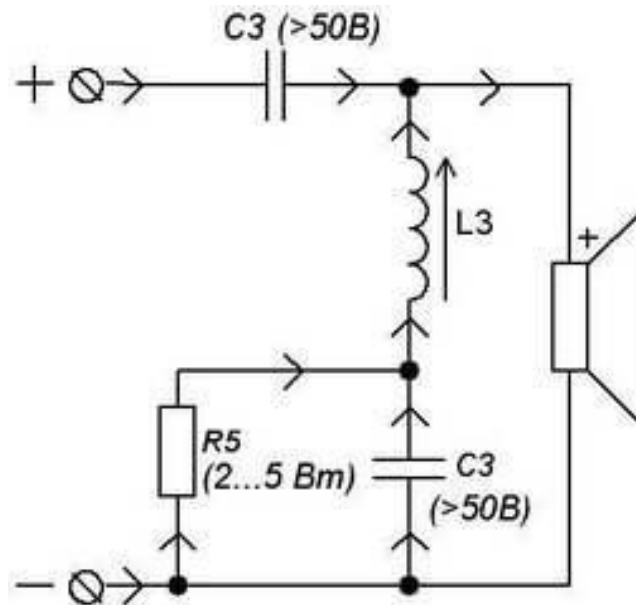
$$F_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_3 \cdot C_4}}$$

Расчет величины  $C_4$ :

$$C_4 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_p)^2 \cdot L_3}$$

Если подавление отдачи избыточно, можно включить параллельно  $C_4$  резистор  $R_5$ , который уменьшит добротность (способность к резонансу) контура  $L_3C_4$  и, таким образом, уменьшит поглощение на  $F_p$ . Можно добиться того же, включая  $R_5$  последовательно с  $L_3$  и  $C_4$ . По ряду причин, предпочтительно параллельное включение  $C_4$  и  $R_5$ . Соответствующая схема – на Рис. 22.



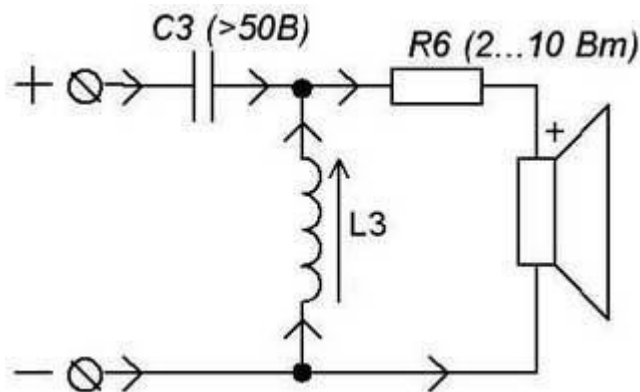


**Рис. 22.** ВЧ фильтр второго порядка с контуром настроенным на резонансную частоту ВЧ динамика

Значение  $R5$  придется подобрать экспериментально. Вероятный диапазон значений:  $R5 = (1-10) R_d$ . Реально значение  $R5$  может оказаться вне этого диапазона. Если отдача ВЧ динамика выше, чем у НЧ громкоговорителя, придется подавить ее резистором  $R6$ . При необходимой степени подавления, соответствующей некоторому значению " $\Delta$ " (см. таблицу 1), значение  $R6$  рассчитывается по уже знакомому алгоритму:  $R6 = R_d (\Delta - 1)$ .

Пример: ВЧ динамик "громче", чем НЧ на 5 дБ, импеданс ВЧ головки - 4 Ом.  $R6 = 4 \text{ Ом} (1,8 - 1) = 3,2 \text{ Ом}$ .

Рекомендуемая схема включения  $R6$  - на Рис. 23.



**Рис. 23.** ВЧ фильтр второго порядка с добавочным резистором  $R6$

Расчет значений  $C3$  и  $L3$ :

В качестве  $R_{d\Sigma}$  используется сумма  $R6$  и  $R_d$ .  $R_{d\Sigma} = R6 + R_d$ . Соответственно:

$$L_3 = \frac{R_{d\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot F_{св}}$$

$$C_3 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot F_{св})^2 \cdot L_3}$$

Помните, расчет нужен для грамотного начала поиска оптимальных параметров фильтра! Упорно подбирайте параметры и конфигурацию фильтров, экспериментируйте с полярностью ВЧ динамика.

На первом этапе надо обеспечить приемлемую АЧХ. На втором этапе - найти вариант настройки, соответствующий наилучшему звучанию.

Требования к качеству формируются в процессе познания музыки. Для большинства слушателей изначально интуитивно ясно, что такое "хорошее звучание", так как музыка создается для воздействия на эмоциональную сферу и при адекватном воспроизведении не оставляет человека равнодушным. Наиболее склонны к ошибкам в оценке качества звучания люди, обладающие частичным опытом, находящиеся в процессе знакомства с аудиотехникой. Интуиция, природное "чутье" уже заблокированы потоком информации и впечатлений из мира аудиотехники, а исчерпывающего опыта еще нет. Если человек способен к развитию, то со временем все встанет на свои места. В данном случае лишний раз подтверждается известная истина: "полузнание - хуже, чем незнание". Так, что лучшие эксперты - люди, далекие от аудиотехники и те, кто прошел весь возможный путь познания.

Что касается профессионалов (звукорежиссеров, музыкантов), то здесь тоже присутствует деление по типам восприятия. Музыканты - солисты и дирижеры превосходно понимают смысл и скрытые "пружины" музыкального искусства. У них есть чему поучиться создателям аудиотехники. Музыкантов-статистов дирижер превращает своим диктатом в бездумные, послушные "клавиши" огромного музыкального инструмента - оркестра. Среди этих музыкантов встречаются люди, равнодушные к ритму (ритм задает дирижер), глухие к эмоциональному содержанию музыки. Главной своей задачей они считают игру по нотам, без формальной фальши. Они испытывают зависть к солистам, не понимая причин их привилегированного положения. Поэтому не все музыканты - статисты могут помочь в субъективной экспертизе.

Звукорежиссер, в классическом понимании, - музыковед и специалист по аудиотехнике в одном лице. Так было примерно до 60-х годов XX века. Сегодня многие звукооператоры называют себя звукорежиссерами. Круг познаний звукооператора - аудиотехника. Они умеют грамотно, с технической точки зрения, эксплуатировать оборудование звуковой студии. Одна из главных задач - не допустить "клиппинга" (перегрузки) при записи. Понимание музыки для звукооператора - необязательно. Многие из них не в состоянии понять творчество музыкантов, записанных по старым технологиям, так как "не видят за деревьями леса", не слышат за звуками - музыку. В данном случае, основная причина эмоциональной глухоты - привычная для звукооператора концентрация внимания на чистоте звучания. Психологическое состояние - "сторож", не пропускающий искажения. Тут не до музыки. В этом смысле восприятие звукооператора смыкается с мышлением музыканта-статиста.

К счастью, звукооператоры в роли звукорежиссеров, не могут принести музыке большого вреда, так как последнее слово - за продюсером. Задача продюсера - продать записи. Покупают только зажигательную музыку, поэтому продюсер выбирает не по критерию чистоты записи. Предпочтение - самым эмоциональным дублям, даже если не удалось избежать технических погрешностей. Реальные жизненные ситуации, конечно, отличаются от изложенной мною схематичной картины. Тем не менее, благодаря большому опыту, я обрисовал основные типы слушателей довольно точно. По жанровым пристрастиям меломанов

селектировать не стоит. В музыке нет высоких и низких жанров. Есть талантливые, артистичные исполнители, а есть - не очень.

Позвольте образный пример: интереснее слушать анекдоты, которые рассказывает хороший артист, чем смотреть классическую пьесу в исполнении новичков из самодеятельности.

Как человек воспринимает музыку? Текст состоит из букв, музыка из звуков. Но буквы - еще не текст, звуки не музыка. По этой причине хорошая передача звука не гарантирует адекватного воспроизведения музыки. Психоакустика уже ответила на ряд вопросов из области слухового восприятия. Известно, что человек анализирует верность воспроизведения не так, как мог бы это делать простейший измерительный прибор, сверяющий идентичность звуковых колебаний при исполнении музыки с колебаниями, воспроизводимыми аудиосистемой. Иногда приходится слышать наивные советы о необходимости точного восстановления исходного звукового поля. Эти рекомендации имеют такую же практическую ценность, как рецепт по искусственному созданию человека путем сборки точного аналога из соответствующих молекул. На первый взгляд, слух легко обмануть, воспроизводя только часть звуковой информации. С другой стороны, секреты слухового анализа до сих пор не раскрыты. Например: лучшие компьютерные системы анализа речи уверенно "понимают" голос только одного человека. "Правильный" механизм анализа звуков, несущих информацию, пока неизвестен.

Что известно на сегодняшний день о способах передачи эмоций при помощи музыки? Например, то, что ритмический рисунок важнее мелодии. Интересно, так же, что исполнение, богатое динамическими и эмоциональными контрастами, создает впечатление большей широты и "мощи", чем "плоское", но реально более громкое звукоизвлечение или пение. Очень важный факт - анализ амплитудно-частотного спектра голосов вокалистов, показывает систематическую разницу при исполнении произведений с разными эмоциональным содержанием! Один спектр для "минора", совершенно другой - для "мажора" и т.д. Это явление имеет место не только для вокала, но и для звучания музыкальных инструментов.

Итак, установлено: тембр - одно из важнейших средств передачи художественного образа, который исполнитель обязан создать в соответствии с содержанием музыкального произведения. Точность передачи тембра зависит от равномерности АЧХ аудиосистемы. Основной "вредитель", нарушающий идеальность АЧХ - акустическая система. Поэтому именно АС определяют адекватность воссоздания художественного образа, без которого музыка - не более чем набор звуков. В поисках новых знаний приходится экспериментировать. Важно не торопиться с выводами, один, два ... десять экспериментов могут привести к неправильным представлениям. Пытаясь выявить влияние одного фактора, исследователь невольно меняет некоторые другие, часто не замечая этого. Излишняя самоуверенность, желание найти подтверждение своим старым знаниям заставляют вступить на ложный путь, сойти с которого очень нелегко. Поэтому мне пришлось проводить тысячи экспериментов, по крупицам добывая новые знания. Я буду учиться у жизни, уточнять свои методы, пока смогу слышать, чувствовать, думать.

**С точки зрения настройки АС мне, на сегодняшний день, удалось понять следующее:**

1. Самое главное - ювелирная настройка АЧХ в области средних частот, примерно от 300 Гц до 3 кГц. Незначительное нарушение тембрального баланса в этой области исключает полноценное воспроизведение музыки.
2. В большинстве помещений прослушивания невозможно обеспечить равномерную АЧХ на низких частотах и на нижней середине. Причина - стоячие волны в помещении. Тем не менее, баланс между уровнями воспроизведения низких и средних частот надо соблюдать и дело это довольно "тонкое". Точности измерений АЧХ здесь недостаточно, да и интерпретировать результаты измерений непросто. Вот некоторые любопытные следствия нарушения баланса между НЧ и СЧ: а) если НЧ хотя бы немного преобладают, возникает неприятная иллюзия замедления темпа исполнения, "гулкие" звуки маскируют тонкую передачу интонаций солистов на средних частотах, бас теряет артикуляцию; б) если СЧ преобладают, то звучание теряет фундаментальность, масштаб, страдает ритмичность, особенно для танцевальной музыки.
3. Точность настройки АЧХ на высоких частотах позволяет добиться улучшения естественности, красоты и "магии" звучания. С другой стороны, некоторые неидеальности формы АЧХ в этой области - приемлемы. Здесь нет таких суровых требований, как для средних частот.

Дисбаланс ВЧ со средними частотами не так заметен, как дисбаланс между НЧ и СЧ. Хуже, когда ВЧ преобладают. При этом подчеркиваются ритмические рисунки, связанные с ВЧ звуками. Это удары медиатора по струнам, ритм "хай-хета" и т.п. Прimitивный ритм, выражаемый ВЧ звуками, маскирует главный, более тонкий ритмический рисунок, передаваемый солистами в области средних частот. Кроме того, избыток ВЧ придает звучанию синтетический оттенок. В некоторых случаях такое воспроизведение может раздражать. Недостаток ВЧ может скрадывать индивидуальность исполнителей и ухудшить детальность, прозрачность, передачу звуковой атмосферы ("воздуха").

Интересно, что при определенной форме АЧХ в области высоких частот возможна хорошая передача деталей, ясность звучания, несмотря на нехватку отдачи на ВЧ. Так настроен, например, TANNoy EDINBURG. При этом сдержанность подачи высоких частот способствует натуральности, теплоте и цельности звучания. Итак: ювелирная точность СЧ в сочетании с хорошим балансом между НЧ, СЧ и ВЧ.

## **Измерения АЧХ**

Нужен измеритель звукового давления АЧХ которого либо идеальна, либо известна. Близкие к идеалу во всем звуковом диапазоне измерители дороги и малодоступны. Достаточно приобрести прибор с достоверными данными об отклонениях АЧХ от линейной. При этом необходимо фиксировать результаты измерений, учитывая поправки согласно таблице вносимых Вашим измерителем отклонений.

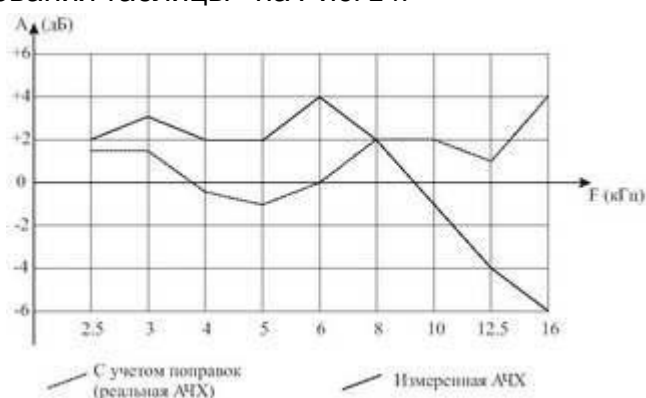
Обратите внимание на сопроводительный текст к тестовому диску журнала "Салон AV" #7, 2002 год. На стр. 111 упомянуты подходящие устройства.

Мне хорошо знаком Radio Shack 33-2050. Я проверил информацию производителя о АЧХ этого шумомера, сравнивая его показания с аппаратурой высокой точности (не хуже  $\pm 1$  дБ в диапазоне 20 Гц-20 кГц). В таблице 2 приведены отклонения АЧХ от идеала для этого прибора и равные им по величине компенсирующие поправки.

### **Таблица 2.**

Частота, кГц	Отклонение АЧХ от линейной, дБ	Компенсирующая поправка, дБ
2,5	+ 0,5	– 0,5
3,0	+ 1,5	– 1,5
4,0	+ 2,5	– 2,5
5,0	+ 3,0	– 3,0
6,0	+ 4,0	– 4,0
8,0	0	0
10,0	– 3,0	+ 3,0
12,5	– 5,0	+ 5,0
16,0	– 10,0	+ 10,0

Пример использования таблицы - на Рис. 24.



**Рис. 24.** АЧХ с учетом поправок шумомера

Выше 16 кГц точность измерений недостаточна из-за сильного падения чувствительности шумомера. Для приблизительной оценки отдачи на частоте 20 кГц можно внести компенсирующую поправку +15 дБ.

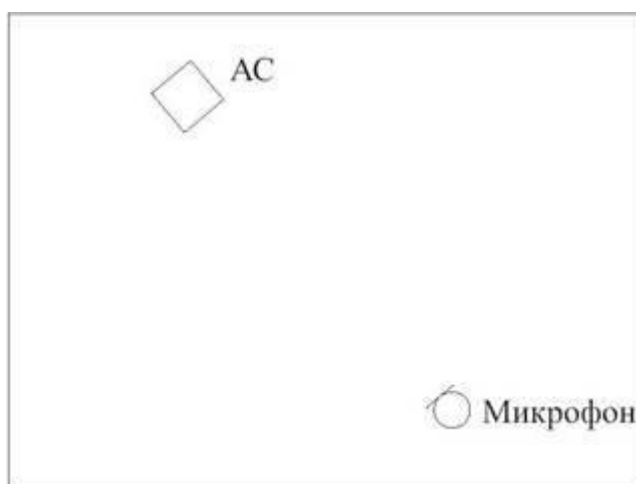
Пусть Вас не смущает ограничение надежно измеряемой полосы частот 16-ю килоГерцами. Если Вам хватит настойчивости в поиске правильного баланса на средних частотах, то Вы будете удивлены существенным улучшением качества звучания при каждом небольшом уточнении баланса. Станет ясно, чем определяется класс АС. Особенности АЧХ выше 16 кГц станут неинтересны. Как говорится: "Тапочки штанов не заменяют". Даже идеальное воспроизведение сигналов выше 16 кГц не заменит совершенства в среднечастотном диапазоне. Интересно, что такие серьезные изделия, как напольные акустические системы авторитетнейшей фирмы АТС имеют рабочий диапазон частот от 63 Гц до 12,5 кГц. В данном случае производитель не гонится за красивыми цифрами, а сообщает реальные параметры.

В первую очередь расскажу об основных условиях измерения АЧХ. Для того чтобы Ваши АС с большой вероятностью нормально звучали в жилых помещениях, предпочтительно производить настройку в комнате с капитальными стенами, высотой потолка 2,6-3 метра и площадью 12-20 м<sup>2</sup>. В этом помещении должен быть ощутимый фонд звукопоглощения: мягкая мебель (хотя бы один диван или пара кресел), шторы на окне, ковер на полу. Нежелательно чтобы в комнате было больше одного крупного шкафа или серванта.



Как я уже говорил, стереопара имеет другую АЧХ, чем одна АС. Настраивать стереопару - правильный, но слишком трудоемкий путь, поэтому буду излагать требования к настройке одиночной АС с учетом изменений АЧХ при последующем подключении второй АС. Это значит, что одна колонка будет специально настраиваться с некоторым необходимым отклонением от линейности АЧХ.

Разместите настраиваемую АС на расстоянии 40-80 см от стены позади нее и 1-2 м от боковой стены. Расположитесь с измерителем звукового давления на расстоянии 1,5-2 м от АС. Измеритель не следует располагать к стене ближе, чем на 60-70 см. Понятно, что при этих условиях измеряемая АС и вы с шумомером будете находиться недалеко от углов комнаты, расположенных по диагонали, например, так, как изображено на Рис. 25.



**Рис. 25.** Расположение АС и микрофона в комнате

В качестве измерительного сигнала не следует использовать синусоидальный. Из-за стоячих волн в помещении измерения с помощью чистого тона дадут плохо поддающуюся расшифровке, неинформативную характеристику.

Используйте шумовые сигналы в третьоктавных полосах, записанные на тестовом CD. Перечислю некоторые подходящие CD: *АУДИО МАГАЗИН ТЕСТ - CD*; *LET'S TEST! (Приложение к журналу "Салон AV", №7 за 2002 год)*; *The test - CD/AUDIO STAX (Тестовый диск фирмы STAX)*.

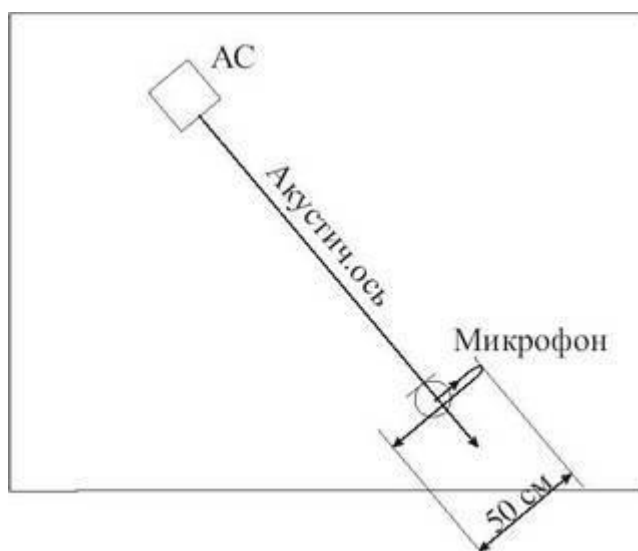
Измерения микрофоном, расположенным в одной точке, дают результаты, неадекватные слуховому восприятию, так как даже псевдошумовые сигналы не полностью устраняют влияние стоячих волн в помещении. Чтобы результаты измерений были сопоставимы с реальным звучанием АС, необходимо непрерывно перемещать микрофон. Это известный метод "качающегося микрофона", применяемый, например, фирмой "Брюль и Кьер".

В нашем случае этот метод реализуется следующим образом:

1. Плавно перемещайте микрофон перпендикулярно акустической оси измеряемой АС, сохраняя постоянной высоту шумомера от пола, равную 1 м;
2. Акустическую ось микрофона направляйте на АС (небольшая погрешность - допустима);
3. Скорость движения должна быть не слишком медленной, колебания плавными, но довольно частыми. Это требуется для эффективного усреднения колебаний показаний прибора из-за стоячих волн в помещении.

С другой стороны, движение вызывает помехи из-за ветрового задувания микрофона. Попробуйте определить максимально допустимую скорость колебаний,

двигая шумомер в тишине. Стрелка прибора не должна отклоняться от минимальной отметки шкалы при выбранном Вами диапазоне измерений. Шумомер позволяет, переключая пределы измерений, присвоить отметке шкалы "0dB" значения от 60-и до 120 дБ звукового давления. Понятно, что в режиме "60dB" движения микрофона должны быть самыми плавными и медленными. В режиме "120dB" движения могут быть очень интенсивными. Оптимально присвоить нулевой отметке значение "80dB", так как при этом на АС приходится подавать мощность в диапазоне  $\sim 0,1-0,5$  Вт (в зависимости от чувствительности динамиков). Это безопасно даже при длительных измерениях ВЧ громкоговорителей. С другой стороны, громкость около 80дБ достаточно велика, чтобы обычный шумовой фон жилого помещения не вносил существенной погрешности в измерения. Оптимальная периодичность качания микрофона в этом случае - одно движение "от себя - к себе" в течении 0,8-1,1 секунды (период - чуть короче секунды). Амплитуда движений - примерно 50 см. Колебания микрофона проиллюстрированы на Рис. 26.



**Рис. 26.** Колебания микрофона

Не забывайте соблюдать высоту от пола ( $\sim 1$  м)! Сначала Вам будет трудно правильно и стабильно раскачивать рукой микрофон, соблюдая направление его оси на АС и высоту плоскости качания от пола. При этом еще надо наблюдать за стрелкой движущегося прибора! Удобнее измерители с выносным микрофоном, соединенным кабелем с неподвижным блоком обработки и индикации, но такие приборы стоят не менее 300-500 у.е. и труднодоступны. Уверяю Вас, через некоторое время выработается необходимый автоматизм.

Установите переключатели режимов измерения на шумомере в положение "С" (WEIGHTING) и SLOW (RESPONSE). Положение SLOW соответствует лучшему усреднению и меньшим колебанием стрелки. Тем не менее, полностью устранить эти колебания нельзя. Придется вычислять среднее значение звукового давления "в уме". Это легко сделать, когда стрелка равномерно отклоняется, то налево, то направо, относительно среднего значения.

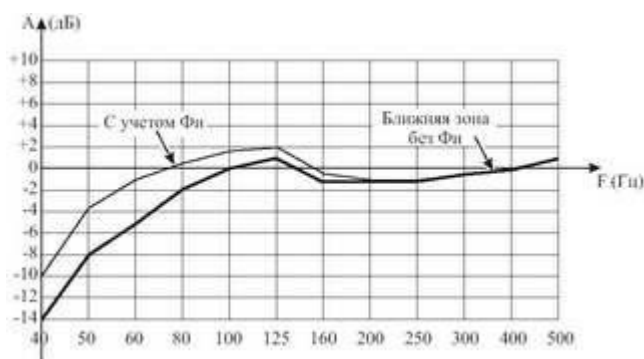
Бывает, что стрелка совершает довольно сложные движения, например, надолго зависает у отметки "-2dB", затем делает короткий бросок к отметке "+4dB" и так в течении всего измерения. В таких случаях точнее усреднит показания прибора исследователь, знакомый с понятием численного интегрирования. Для остальных

подсказка: чем дальше стрелка находится в районе определенной отметки на шкале, тем больше надо учитывать значение этой отметки при усреднении, делая небольшую поправку в сторону кратковременных, но значительных отклонений стрелки.

## Настройка АЧХ

**Этап 1.** Начнем настройку с самого простого. Изучаем область низких частот. Здесь для двухполосной АС с ФИ проблем не будет. Естественно, измеряем полностью собранную, со звукопоглотителем внутри, прилично загерметизированную "колонку" с выведенными и помеченными кабелями отдельно от ВЧ и НЧ головок. Рекомендую проложить их наружу на время измерения через щелевой ФИ, изготовив эти кабели достаточно длинными. Разумеется, полочная АС установлена по критерию: 100 см от пола до центра ВЧ динамика.

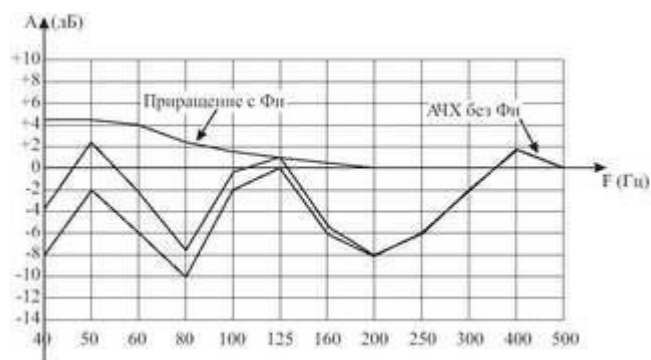
Для начала измерьте АЧХ в ближней зоне (микрофон в нескольких сантиметрах от диффузора НЧ динамика). При этом ФИ надо превратить в закрытый ящик. Для этого туго забейте его выход синтепоном или ватином (осторожно, не оборвите провода от громкоговорителей!). Зарисуйте полученную характеристику. Пример на Рис. 27.



**Рис. 27.** АЧХ в области НЧ (ближнее поле), работа фазоинвертора

В процессе измерений сохраняйте неизменным расстояние между диффузором и микрофоном.

**Этап 2.** Измерьте АЧХ на расстоянии 1,5-2 м качающимся микрофоном по изложенной методике. Затем освободите ФИ от заглушающих материалов и повторите измерения. Определите приращение отдачи по НЧ, связанное с работой ФИ и зарисуйте АЧХ этого приращения. Результаты Ваших измерений могут выглядеть так, как изображено на Рис. 28.



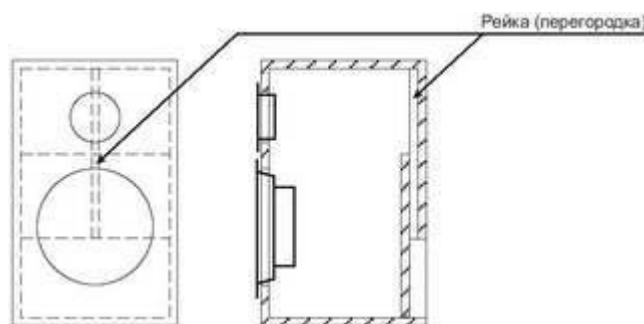
**Рис. 28.** АЧХ в области НЧ, работа фазоинвертора

Изобразите на Рис. 27 ход АЧХ с учетом действия ФИ, добавляя к измеренным значениям приращения, известные для каждого значения частоты сигнала, сверяясь с Рис. 28. Теперь вы можете увидеть АЧХ вашей АС на низких частотах так же достоверно, как при измерениях в безэховой камере. Эта информация позволяет принять необходимые меры, если НЧ воспроизводятся слишком неравномерно.

Например, подъем, возможный в области 80-160 Гц с максимумом в районе 100-125 Гц чаще всего связан с излишней высокой добротностью громкоговорителя в конкретном акустическом оформлении. Если подъем превышает +2дБ в диапазоне шире одной третьоктавной полосы (допустим: на 100 Гц - +3 дБ и на 125 Гц - +2 дБ), то имеет смысл оснастить динамик "панелью акустического сопротивления" (ПАС).

Наиболее эффективный способ создания ПАС - заклеивание окон диффузородержателя двумя слоями синтепона. Трение воздуха в порах материала снизит добротность АС и уменьшит отдачу на НЧ, особенно в области резонанса громкоговорителя, что и требуется в данном случае. Заклеивать окна громкоговорителя - нелегко. Нужно постараться надежно приклеить "заплатки" по периметру окон и не облить клеем движущиеся части динамика.

Рекомендую на этапе сборки корпуса разделить трубу ФИ на две равные части продольной перегородкой по всей длине этой трубы. Места соприкосновения этой перегородки с деталями корпуса, образующим ФИ, нужно проклеить ПВА для герметизации и исключения дребезга от вибраций корпуса. ФИ из двух труб позволит, при необходимости, заблокировать одну трубу туго забив ее звукопоглотителем. Это понадобится, если область и величина подъема НЧ при помощи ФИ окажется слишком велики. "Половинный" ФИ настроен ниже по частоте и поднимает "бас" в меньшей степени. Кстати, перегородка в ФИ несколько улучшает жесткость корпуса. Поэтому, для укрепления задней стенки, перегородку стоит сделать длиннее трубы ФИ и "дотянуть" до верхней крышки АС (если ФИ выходит назад и вниз). Разумеется, рейка перегородки должна на всем протяжении быть прочно склеена с деталями корпуса АС. Эскиз ФИ с перегородкой - на Рис. 29.



**Рис. 29.** Перегородка в фазоинверторе

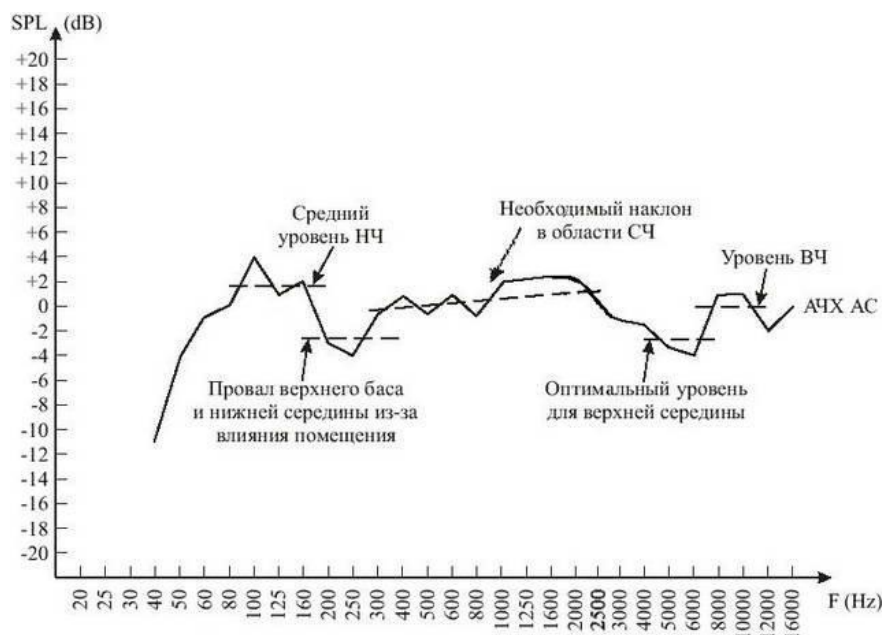
Признаком избыточной эффективности ФИ является подъем более +2дБ на протяжении хотя бы 2-х третьоктавных полос в диапазоне от 40 до 100 Гц. Наиболее вероятен максимум в области 50-80 Гц. Для выравнивания хода АЧХ на НЧ следует использовать результаты измерений в ближней зоне, с учетом поправок, учитывающих действие ФИ. Если избыток отдачи наблюдается только в пределах одной третьоктавной полосы. Но величина подъема превышает +3дБ - имеет смысл принять перечисленные выше меры по выравниванию АЧХ.

**Этап 3.** Теперь приступим к измерению АЧХ Ваших АС в широком диапазоне частот. В процессе настройки нет смысла охватывать диапазон шире, чем 40 Гц - 16 кГц. Маловероятно, что полочная АС будет "страдать" избытком отдачи при воспроизведении сигналов ниже 40 Гц. Если же АС почти не излучает звук ниже 40 Гц - ничего страшного. Даже напольные АС редко эффективны в диапазоне 20-30 Гц. Расширение полосы вниз от 80 Гц до 40 Гц очень заметно. Расширение полосы от 40 до 20 Гц - гораздо менее заметно.

Замеры в избыточно широкой полосе напрасно расходуют Ваше время, силы, ресурс аппаратуры, в том числе шумомера. Быстрее всего у шумомера изнашивается переключатель чувствительности, который, по совместительству, является выключателем питания. В процессе работы приходится часто пользоваться этим переключателем. Берегите оборудование и свои силы, которые пригодятся для выполнения трудной задачи по выравниванию АЧХ в основном диапазоне частот. В процессе уточняющей настройки разумно дополнительно сузить контролируемый диапазон до 100 Гц-10 кГц, в отдельных случаях - даже до 125-8000 Гц.

Предположим, что Вы измеряете АЧХ уже хорошо настроенной АС. Скорее всего, результат будет выглядеть так, как показано на Рис. 30. Не похоже на привычные, почти идеальные характеристики приводимые производителями? Одна из причин кажущейся "кривизны" - сильно растянутая шкала уровня звукового давления (2 дБ на "клетку"). Все отклонения видны, как под увеличительным стеклом. Кроме того, эта реальная АЧХ гораздо информативнее обычных "показушных" графиков, ничего не говорящих о звучании. Стереопара АС будет иметь ровную АЧХ на СЧ, если обеспечить показанный на Рис. 30 наклон характеристик в этой области звукового спектра при настройке одиночной АС.





**Рис. 30.** АЧХ настроенной АС

Крутизна наклона соответствует приращению среднего уровня примерно на 1 дБ с ростом частоты от 300 Гц до 2-2,5 кГц. Необходимо научиться примерно усреднять ход АЧХ, научиться видеть среднюю линию, относительно которой строится реальная характеристика, отклоняющаяся в разных третьоктавных полосах "вверх" и "вниз".

Чем точнее проведена средняя линия, тем меньше, в среднем, величина отклонений от нее реальной АЧХ. Чем шире анализируемый отрезок в частотной области, тем грубее аппроксимация прямой линией. Точнее отражает ситуацию изображение среднего уровня в виде плавно изгибающейся кривой. Эта кривая хорошо согласуется со слуховым восприятием особенностей тембрального баланса АС. При оценке тембра звучания слух игнорирует локальные неравномерности АЧХ. Тем не менее, следует, по возможности, уменьшать локальные неравномерности. При этом улучшается натуральность звучания, звук становится чище и "красивее".

На определенном этапе борьбы с локальными неравномерностями возникнет соблазн пожертвовать правильностью тембрального баланса, определяемого усредненным ходом АЧХ. Важно вовремя остановиться. Не "разглаживайте" характеристику в ущерб балансу тембра. Отдельные звуки станут чище, но в целом воспроизведение музыки станет неадекватным. Как уже говорилось, для сохранения конкретных художественных образов, сознательно создаваемых исполнителем музыки, необходимо обеспечить правильную передачу тембрального баланса в целом и, особенно, в области средних частот.

Нередко при попытках провести экспертное прослушивание, совершается следующая ошибка: в качестве тестового материала используются короткие фрагменты звучания разных музыкальных инструментов (как, например, на тестовом диске фирмы STAX) или неудачные аудиофильские CD с красиво записанными малыми составами музыкантов, создающими невыразительные, малосодержательные художественные образы. На таком материале возникает соблазн пожертвовать тембральным балансом в пользу локальной гладкости АЧХ.

Полноценная музыка при такой настройке "разваливается" на отдельные, не связанные художественным образом звуки. Слушать музыку становится неинтересно, поэтому обладатели "колонок", настроенных таким образом, слушают небольшое количество аудиофильских дисков ради созерцания красивых звуков.

Это похоже на выбор книг неграмотным человеком: интерес вызывают только книжки с картинками. Для слушателя, понимающего язык музыки, круг интересных звукозаписей чрезвычайно широк и разнообразен. Довольно удобно при тестировании использовать диски с качественно записанной музыкой в сочетании с художественной ценностью этой музыки. Обратите внимание, например, на диски, издаваемые фирмами *Deutsche Grammophon*, *Decca*, *Мелодия*. Существенная доля дисков, записанных под эгидой перечисленных фирм, соответствует этой рекомендации.

Интересно, что в США и Германии диски отечественной фирмы "*Мелодия*" вдвое дороже других дисков с теми же музыкальными произведениями. Речь идет о классической музыке, записанной хорошими оркестрами под руководством выдающихся дирижеров в период от 60-х до 80-х годов.

Среди тестового материала обязательно, должны быть записи вокала, фортепиано, различная трудновоспроизводимая из-за насыщенного, некомфортного тембра музыка. Отдавайте предпочтение записям, в которых исполнителями созданы интересные и понятные Вам художественные образы.

Приведу примеры эффективного использования некоторых отрывков с "*АУДО МАГАЗИН ТЕСТ - CD1*":

Трек #1 (сопрано, оркестр) - голос певицы с первых тактов "взлетает к небесам" в следующие моменты вокалистка удивляет тонкой игрой интонационных оттенков;

Трек #2 - виолончель ведет мелодию как бы с "томным надрывом". Становится понятно, почему некоторые великие певцы учились интонациям у виолончели;

Трек #3 - пианист в "агрессивной" манере показывает звучание инструмента;

При хорошей настройке АС должны быть сбалансированы все звуки фортепиано - короткие удары по клавишам, яркие звуки только что возбужденных молоточками струн, размашистые призывы поющих аккордов. Музыкант "пробегаёт" по клавиатуре сначала вниз, потом вверх. Если АЧХ хорошо сбалансирована, то при такой пробежке громкость звуков разной высоты должна быть примерно одинаковой.

Трек #8 - при плохой АЧХ чарующая, ритмичная, "переливающаяся" музыка местами будет напоминать "какофонию";

Трек #11 - если настройка АС не точна, во время пиццикато возникает ощущение, что музыкант запутался в струнах;

Трек #16 - "огненный" голос Карузо, временами "взлетающий", временами отчаянно тоскующий;

Если баланс СЧ нарушен в пользу нижнего края середины, то возникнет ощущение, что Карузо создает образ старого, вялого человека, поющего в замедленном темпе. Если же баланс СЧ "перекошен" в пользу верхнего края середины, то возникает образ очень молодого суетливого человека, который торопится быстрее пропеть свою партию и убежать со сцены.

Трек #17 - выдающийся тенор Джильи создает яркий и мужественный образ;

Если баланс с преобладанием нижнего края СЧ, то "взлетность" голоса исчезает. В пении прорезываются такие оттенки... Как бы сказать так, чтобы никого не обидеть? Попробуйте вспомнить, с какими интонациями говорит киноартист, если играет гомосексуалиста. Когда баланс наклонен в пользу верхнего края

средних частот, голос Джиллы становится "металлическим", чем необходимо. Исчезают тонкие интонационные ходы. Ухудшается "телесность" и натуральность звучания. Трек #17 позволяет сбалансировать АЧХ на средних частотах, точнее чем измерения при помощи микрофона.

Вернемся к Рис. 30. В комнате 12-20 м<sup>2</sup> с высотой потолка 2,6-3 м имеет место следующий неприятный эффект: при высоте НЧ динамика примерно 60-90 см от пола возникает "провал" отдачи в диапазоне примерно от 160 до 300 Гц. В зависимости от конкретной АС и комнаты зона провала может охватывать различные диапазоны, например от 80 до 250 Гц, или от 200 до 300 Гц. Вариантов может быть много. Глубина "провала" от 2-3 дБ до 6-10 дБ (в среднем).

В излучении АС этого провала нет (при правильной настройке). Это беда - следствие взаимодействия "колонки" и помещения. Особенно сильный вклад вносит взаимодействие с полом, поэтому, даже в комнатах больше 30 м<sup>2</sup> и с высотой потолка более 3м, этот провал полностью не исчезает.

Не следует пытаться ликвидировать эту неравномерность настройкой АС или при помощи эквалайзера. Дело в том, что картина стоячих волн устанавливается в помещении не сразу. Время до установления соизмеримо со временем необходимым для слухового анализа атак звукоизвлечения. По атакам человек идентифицирует музыкальные инструменты, их нельзя искажать. Речь идет о длительностях от 3-5 до 200-300 миллисекунд.

Если Вы не пытаетесь исправить рассматриваемый "провал" АЧХ, то сохраняется естественность звучания. Но это не значит, что подобная "кривизна" характеристики совершенна безвредна. Она проявляется в уменьшении масштабности звучания, в "мельчании" звуковых образов по сравнению с натуральными. Может пострадать ритмическая основа танцевальной музыки.

Для двухполосных АС с расположением НЧ динамика на высоте 60-90 см эта проблема - неразрешима, поэтому не обращайтесь на нее внимание. В безэховой камере этот эффект не обнаруживается. Для трехполосных АС и двухполосных с дополнительным НЧ-СЧ динамиком, расположенным ниже основного, ситуация несколько меняется. Среднее положение эквивалентного излучателя низких частот - 30-70 см от пола. Глубина "провала" несколько, уменьшается, но он все равно остается!

Не надо для борьбы с "провалом" размещать НЧ динамик низко, если этот громкоговоритель излучает и на средних частотах. Звук станет гораздо хуже. Начнется "гудение", вертикальная локализация будет безобразной.

В 1995 году мне удалось создать конструкцию АС лишенную обсуждаемого недостатка. В этих АС область ниже 100 Гц излучается на высоте ~10 см от пола, диапазон 125-250 Гц воспроизводится отверстием на высоте 50 см от пола, а участок выше 300 Гц - громкоговорителями, расположенными на высоте ~85 см. Такая конструкция исключительно трудно настраивается. Я совершенствовал балансировку АЧХ с 1995 до 2001 года. Получившаяся пара АС создает полноразмерные звуковые образы. Но я не хочу создавать новые АС такого типа. Они очень сложные и поэтому, дорогие. Настраивая их можно лишиться здоровья.

Опять обратимся к Рис. 30. Оптимальный уровень отдачи в области 3-6 кГц - примерно - 2 дБ. Если обеспечить равенство этой области и средних частот, то звучание приобретает "шершавый", "металлический", "скворчащий", сухой оттенок. Шипящие и свистящие звуки речи будут излишне подчеркнуты. С другой стороны, если уровень воспроизведения этой области упадет ниже -3...-4 дБ, звучание упростится, пропадут детали, ухудшится передача индивидуальности

исполнителей. Будут хуже передаваться тонкие лирические оттенки художественных образов. Так же ухудшится передача "воздуха".

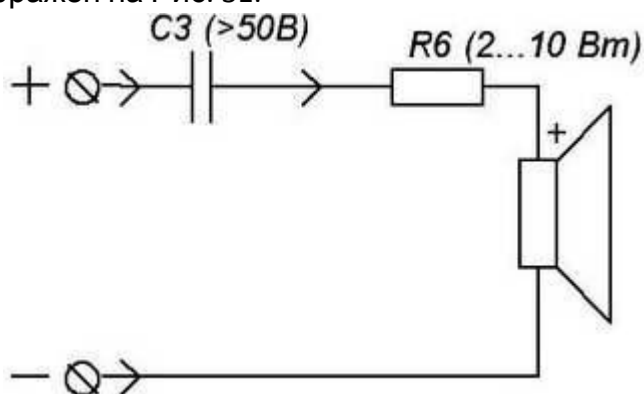
Область 8-10 кГц желательно воспроизводить в точном балансе со СЧ. Если форсировать 8-10 кГц, то перкуссии начнут солировать, что неестественно. При этом шипящие и свистящие звуки речи, удары медиатора по струнам и прочие ВЧ звуки будут так подчеркнуты, что начнут навязывать свой примитивный ритм, маскируя тонкие ритмические ходы солистов, выражаемые при помощи средних частот. Если 8-10кГц будут "провалены", то звучание струн, "хай-хета" и прочих инструментов с интенсивными ВЧ составляющими спектра потеряют красоту, станет грубым. Металлические тарелки станут "бумажными".

Интересно, что завал на 2 дБ в области 3-6 кГц подчеркивает красоту и утонченность звуков выше 8 кГц.

Уровень воспроизведения зоны 12,5-16 кГц в идеале равен уровню 8-10 кГц или несколько меньше, до -4 дБ (усредняя между 12,5 и 16 кГц). Терпимо, если 12,5 кГц не превышает +2 дБ относительно 8-10 кГц.

Для 16 кГц допустимый диапазон - от +5 до -8 дБ.

Подозрительно, если пики отдачи на низких частотах превышают максимумы отдачи на средних частотах. Например, на Рис. 30 обращает на себя внимание пик в +1,5 дБ на частоте 100 Гц относительно максимума уровня средних частот на 1,6 кГц. В таких случаях следует провести дополнительную субъективную экспертизу. Если уровень НЧ реально завышен - бас недостаточно артикулирован, темп музыки кажется несколько замедленным. Басовый аккомпанемент может солировать, что совершенно неестественно. Избыточный бас маскирует тонкие интонационные оттенки на средних частотах. Звучание становится примитивным, грубым, тяжелым, "давящим". Большая удача, если НЧ динамик в выбранном Вами акустическом оформлении "подарит" приемлемый тембральный баланс. Если он при этом чуть-чуть отличается от желаемого, "простите" это. Не факт, что Вы найдете лучший баланс при помощи фильтров. В этом случае не исключено, что при помощи простейшего фильтра для ВЧ головки удастся получить хорошую АЧХ акустической системы в целом. Простейший фильтр тоже дает некоторую гибкость в настройке. Он изображен на Рис. 31.



**Рис. 31.** ВЧ фильтр первого порядка

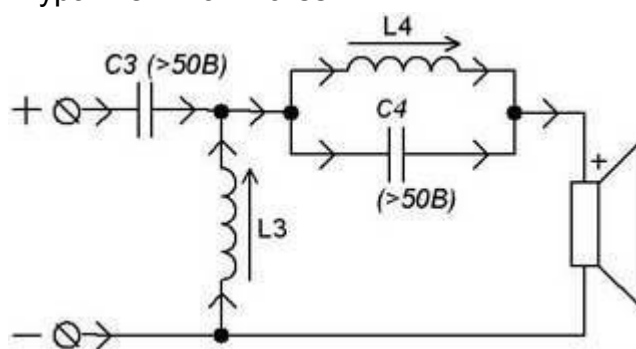
Подбирая величину С3 можно менять наклон АЧХ. Если необходимо, при помощи введения R6 нужного номинала можно обеспечить баланс области 6-16 кГц (ориентировочно) со средними частотами. Пробуйте подбирать элементы фильтра

как для синфазного включения НЧ и ВЧ динамиков, так и противофазного. Выберите лучший вариант, отдавая предпочтение субъективной экспертизе.

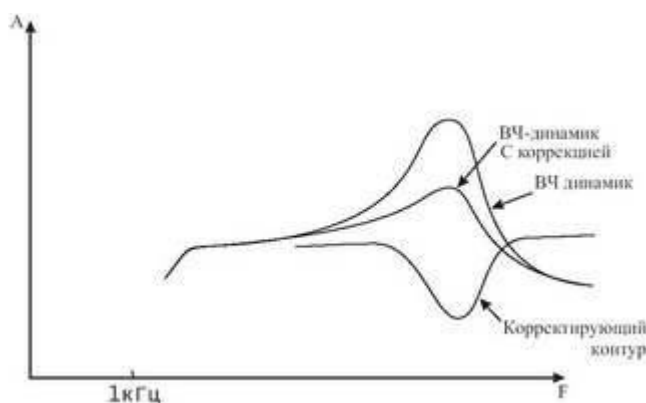
В одной из последующих публикаций я расскажу о созданной мной модели АС без фильтра на НЧ и с простейшим фильтром на ВЧ. В этих АС установлены динамики фирмы *SEAS* и *VIFA*.

Самый сложный из рассмотренных вариантов - фильтры второго порядка для НЧ и ВЧ динамиков. Настраивать такую АС трудно для новичка, но этот вариант дает наибольшую гибкость настройки лучшую равномерность озвучивания помещения за счет расширенной диаграммы направленности.

В некоторых случаях потребуется усложнить ВЧ фильтр. Если ВЧ динамик имеет АЧХ с чрезмерным подъемом в какой либо области, то можно нормализовать ситуацию введением резонансного контура, соблюдая правила, изложенные для НЧ фильтров, изображенных на рисунке 8, 10, 12, 13, 16. Один из возможных вариантов такого ВЧ фильтра показан на Рис. 32. Пример действия корректирующего контура L4C4 - на Рис. 33.



**Рис. 32.** Вариант ВЧ фильтра



**Рис. 33.** Пример неравномерности АЧХ и способ ее коррекции

На данный момент я не располагаю временем на более подробное изложение, поэтому вынужден передать минимально необходимую часть моего опыта, которая позволяет, при наличии желания и настойчивости, самостоятельно создавать двухполосные акустические системы.