

Активный разделительный фильтр для акустических систем

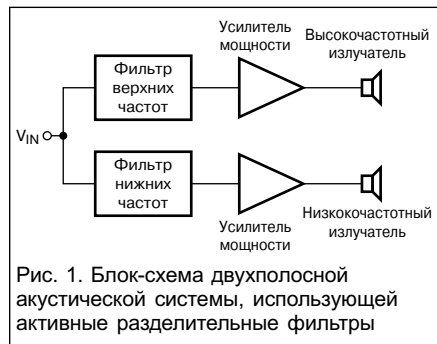
Обычно многополосные акустические системы имеют два или более излучателя, которые перекрывают разные участки звукового диапазона частот. Для разделения выходной мощности усилителя между этими излучателями чаще всего используются пассивные фильтры.

Поскольку схема пассивного фильтра должна работать на динамическую головку, которая имеет очень низкий импеданс, конденсаторы и индуктивности, используемые в фильтре, должны иметь большие номиналы, и, соответственно, высокую цену и габариты. Если же конденсаторы будут электролитическими, а катушки будут иметь ферромагнитные сердечники, они могут стать источниками значительных искажений. Тем более, многие ха-

рактеристики фильтров, которые являются желательными, невозможно реализовать с помощью пассивной схемы, либо они реализуются с внесением значительного ослабления, что снижает коэффициент полезного действия.

Альтернативным вариантом является использование для разделения частотных полос фильтров, работающих на малом уровне сигнала, за которыми следуют отдельные усилители мощности для каждого излучателя или груп-

пы излучателей. Двухполосная система фильтра такого типа показана на рис. 1. Это лишь основная концепция, которая может быть распространена на любое количество частотных полос. Для точного звуковоспроизведения сумма выходных сигналов фильтров должна быть равна входному сигналу (если излучатели являются идеальными). Несмотря на то, что это требование является очевидным, очень часто можно встретить коммерческие активные разделительные фильтры, где оно не выполняется. Рассмотрим активный разделительный фильтр, состоящий из двух фильтров Баттерворта 2-го поряд-



ка (один из них фильтр нижних частот, другой — верхних). Передаточные функции фильтров имеют вид:

$$\frac{V_L(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1};$$

$$\frac{V_H(s)}{V_{in}(s)} = \frac{s^2}{s^2 + \sqrt{2}s + 1},$$

а их сумма равна:

$$\frac{V_L(s)}{V_{in}(s)} + \frac{V_H(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1+s^2}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}.$$

Суммарное выходное напряжение никогда не будет равно входному (за исключением тривиального случая постоянного тока). На рис. 2 показан отклик этого фильтра на прямоугольный входной сигнал при периоде $T_c = 1/f_c$, а АЧХ и ФЧХ фильтра показаны на рис. 3. Фильтры более высоких порядков при использовании того же подхода будут давать такие же неудовлетворительные результаты.

Существенное улучшение может быть получено при использовании фильтра с постоянным уровнем, как показано на

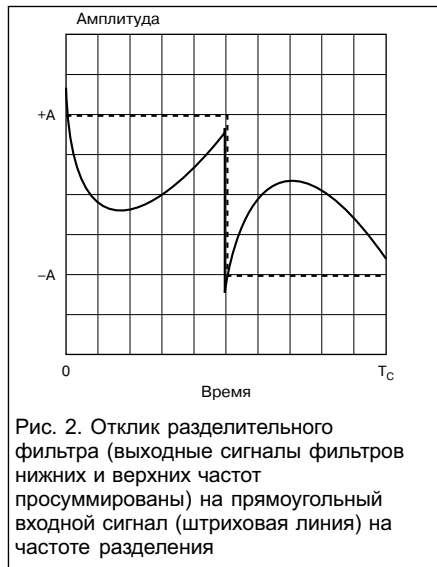


Рис. 2. Отклик разделительного фильтра (выходные сигналы фильтров нижних и верхних частот просуммированы) на прямоугольный входной сигнал (штриховая линия) на частоте разделения

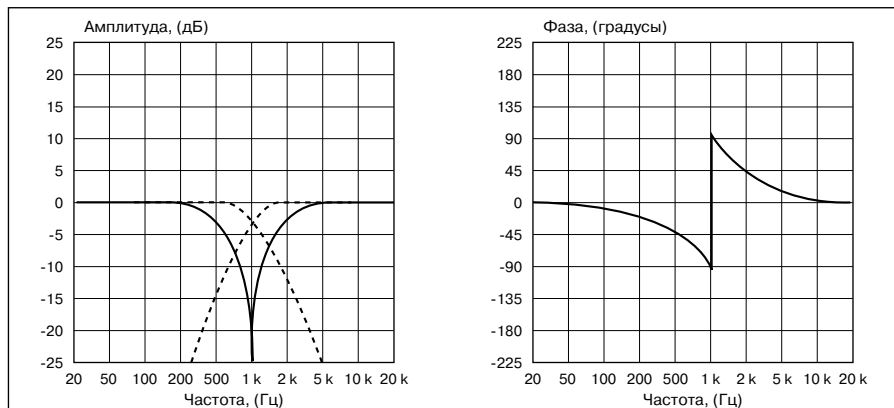


Рис. 3. Амплитудно-частотная (а) и фазо-частотная (б) характеристики разделительного фильтра на основе фильтров Баттерворта 2-го порядка с частотой среза 1 кГц (выходные сигналы фильтров нижних и верхних частот просуммированы). Выходные сигналы двух фильтров показаны отдельно (штриховая линия)

рис. 4. Понятие «фильтр с постоянным уровнем» означает, что при сложении выходных сигналов фильтров верхних и нижних частот получится точная копия входного сигнала. Крутизна спада АЧХ

ной сигнал на суммарном выходном сигнале представляет собой тот же сигнал, только проинвертированный, а фазовый сдвиг практически равен 0° в полосе частот до 20 кГц.

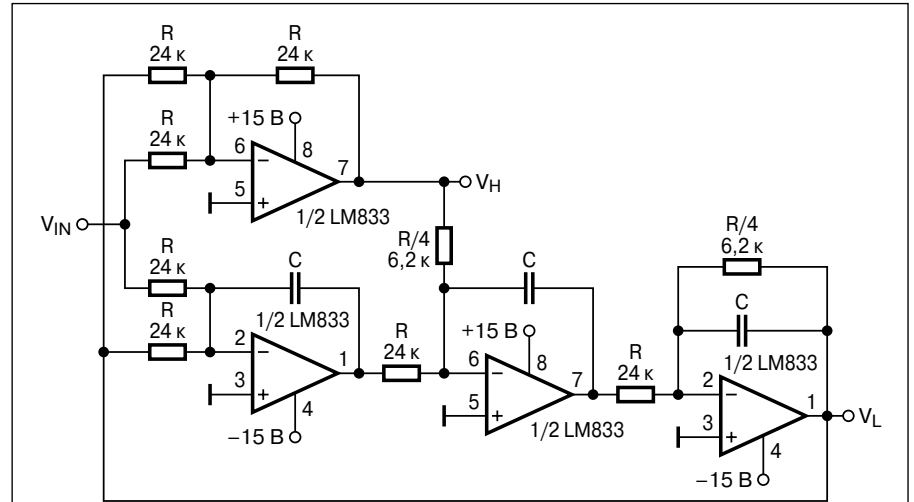


Рис. 4. Разделительный фильтр с постоянным уровнем и крутизной 12 дБ на октаву. Частота разделения равна $1/(2\pi RC)$

составляет 12 дБ на октаву. Входное сопротивление составляет $R/2=12$ кОм для схемы, приведенной на рис. 4. Для применения в активных фильтрах хорошо подходят операционные усилители LM833, т. к. они достаточно широкополосные. Передаточные функции этого фильтра имеют вид:

$$\frac{V_L(s)}{V_{in}(s)} = \frac{a_1 s + 1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1}$$

и

$$\frac{V_H(s)}{V_{in}(s)} = \frac{a_3 s^3 + a_2 s^2}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1}$$

Выходные напряжения фильтров нижних и верхних частот для фильтра с постоянным уровнем показаны на рис. 5. Отклик на прямоугольный вход-

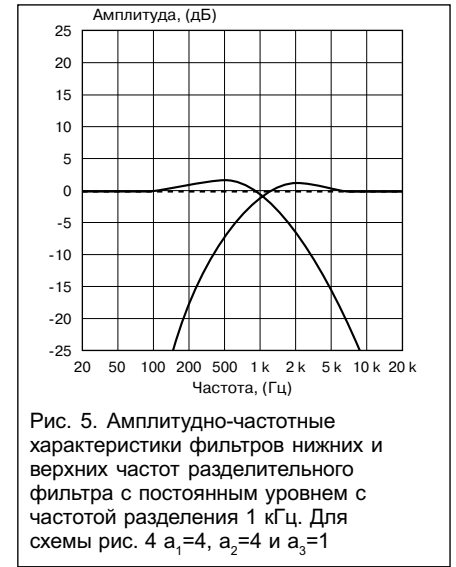


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики фильтров нижних и верхних частот разделительного фильтра с постоянным уровнем с частотой разделения 1 кГц. Для схемы рис. 4 $a_1=4$, $a_2=4$ и $a_3=1$

Нужно помнить, что передаточная функция фильтра с постоянным уровнем не гарантирует идеальную общую частотную характеристику системы, поскольку на общую характеристику влияют также передаточные функции излучателей. Это влияние может быть в какой-то мере минимизировано за счет применения излучателей, частотная характеристика которых является плоской как минимум на протяжении двух октав за частотой среза фильтра.

По материалам фирмы National Semiconductor
Перевод
Леонида Ридико
wubblick@yahoo.com