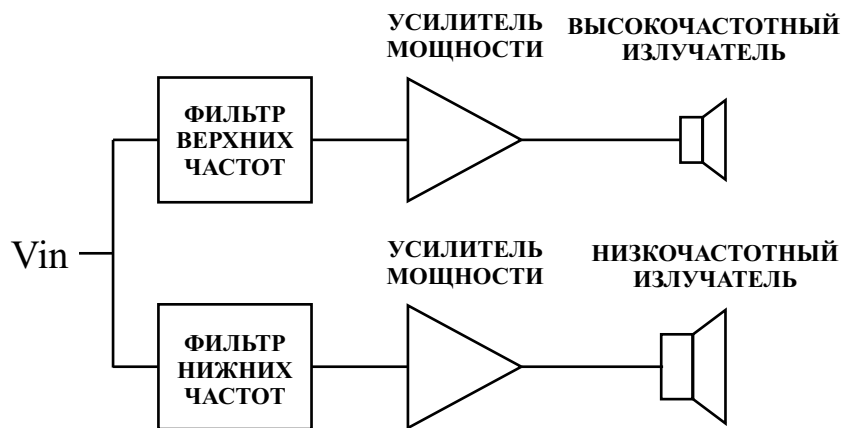


## Активный разделительный фильтр для акустических систем

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, что означает их высокую цену и габариты. Если же конденсаторы будут электролитическими, а катушки будут иметь ферромагнитные сердечники, они могут стать источниками значительных искажений. Тем более, многие характеристики фильтров, которые являются желательными, невозможно реализовать с помощью пассивной схемы, или это потребует внесения значительного ослабления, что непременно снизит 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 группы излучателей. Двухполосная система такого типа показана на рис. 1. Это лишь основная концепция, которая может быть распространена на любое количество частотных полос.



**Рис. 1. Блок-схема двухполосной акустической системы, использующей активные разделительные фильтры.**

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 порядка (один из них фильтр нижних частот, другой – верхних). Передаточная функция фильтров имеет вид:

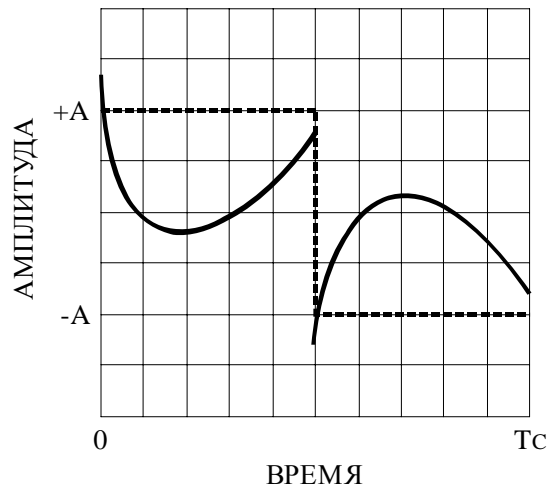
$$\frac{V_L(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$

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

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, а амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики фильтра показаны на рис. 3. Фильтры более высоких порядков будут давать такие же неудовлетворительные результаты, если использовать тот же подход.



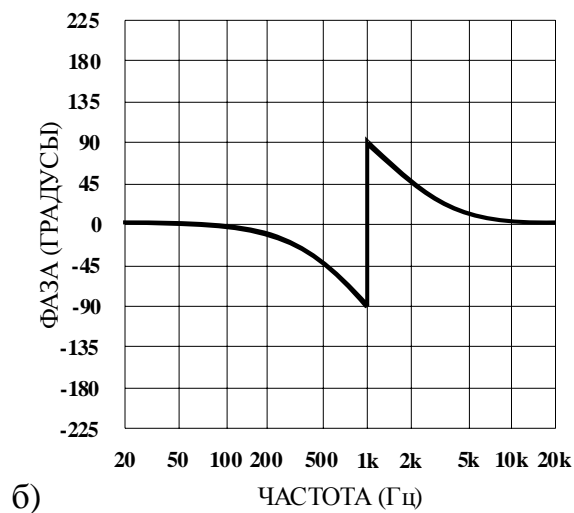
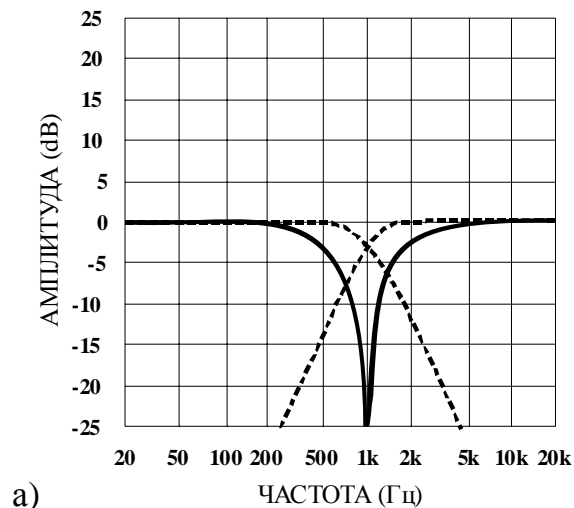
**Рис. 2. Отклик разделительного фильтра на основе фильтров Баттерворта 2-го порядка (выходные сигналы фильтров нижних и верхних частот просуммированы) на прямоугольный входной сигнал (штриховая линия) на частоте разделения. Период равен  $T_c=1/f_c$ .**

Существенное улучшение может быть получено при использовании фильтра с постоянным уровнем, как показано на 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 составляет 12 dB на октаву. Входное сопротивление равно  $R/2$ , или 12 Ком для схемы, приведенной на рис. 4. Операционные усилители LM833 хорошо подходят для применения в активных фильтрах, так как являются достаточно широкополосными. Передаточная функция этого фильтра имеет 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

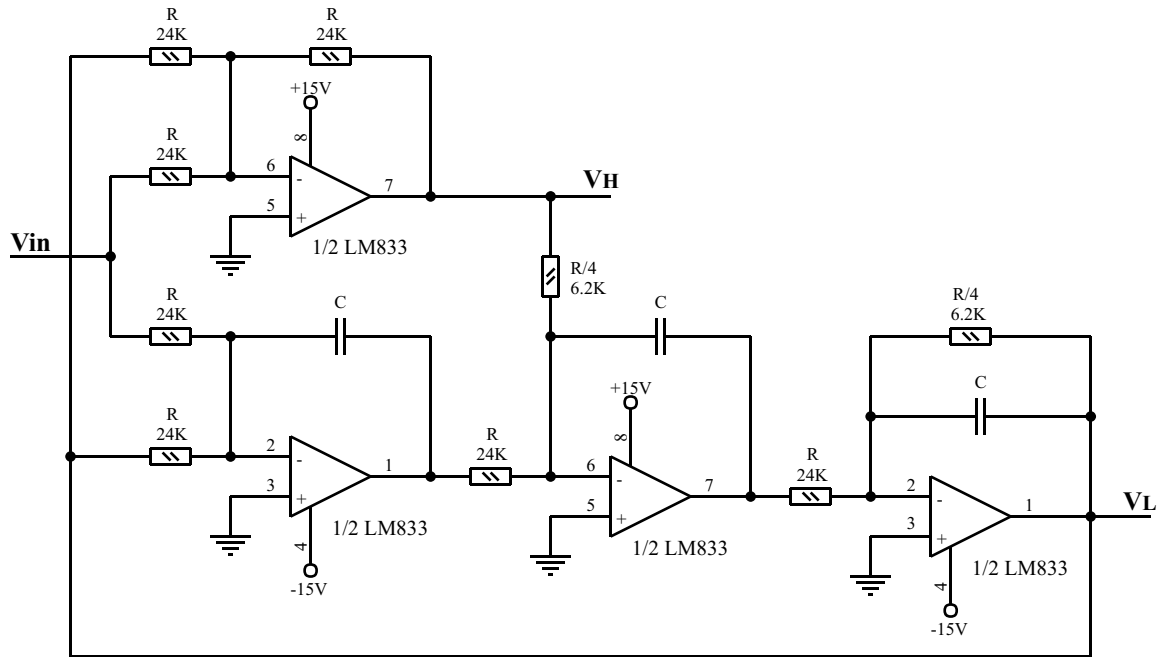
$$\frac{V_H(s)}{V_{in}(s)} = \frac{a_3 s^3 + a_2 s^2}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1}$$



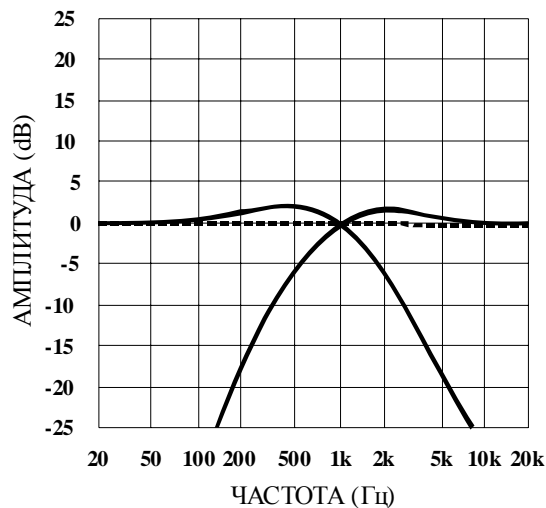
**Рис. 3. Амплитудно-частотная (а) и фазо-частотная (б) характеристики разделительного фильтра на основе фильтров Баттерворта 2-го порядка с частотой среза 1 КГц (выходные сигналы фильтров нижних и верхних частот просуммированы). Выходные сигналы двух фильтров показаны отдельно (штриховая линия).**

Выходные напряжения фильтров нижних и верхних частот для фильтра с постоянным уровнем показаны на рис. 5. Отклик на прямоугольный входной сигнал на суммарном выходном сигнале представляет собой тот же сигнал, только проинвертированный, а фазовый сдвиг практически равен  $0^\circ$  в полосе частот до 20 КГц.

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.



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



**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  $a_3=1$ . Заметьте, что суммарная характеристика (штриховая линия) совершенно плоская.**

По материалам фирмы **National Semiconductor**

Перевод Ридико Л. И.