

# ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИНВЕРСНЫЙ eR1AA ФИЛЬТР

*Евгений Карпов*

Проверить или, тем более, настроить RIAA корректор с помощью генератора и вольтметра – довольно хлопотное дело. Кроме того, что это занимает довольно много времени, надо иметь хороший генератор и точный вольтметр с высокой чувствительностью. В большинстве случаев приборов, имеющих необходимую точность и чувствительность, под рукой нет, поэтому ограничиваются расчетными значениями параметров RIAA фильтра без учета (или с приблизительным учетом) реальных параметров каскадов, между которыми включен фильтр. Если корректор реализован на операционных усилителях (ОУ), это не приводит к появлению значительных погрешностей, так как параметры каскада на ОУ можно достаточно точно вычислить. А вот если используются дискретные компоненты или лампы, то такие вольности приводят к значительным отклонениям от необходимой частотной характеристики. Естественно, это отрицательно сказывается на звучании.

Простым и эффективным решением этой проблемы является использование инверсного фильтра. Если характеристика фильтра реализована точно, то подав на вход корректора сигнал с выхода фильтра, можно быстро и точно обнаружить отклонения от заданной частотной характеристики. В какой-то степени, использование инверсного фильтра снижает и требования к точности и чувствительности оборудования, используемого для настройки.

Когда я столкнулся с этой проблемой, то решил немного полениться и воспользоваться готовым решением. И с удивлением обнаружил, что все пытаются реализовать пассивный инверсный фильтр. На мой взгляд, основное преимущество такого решения – простота реализации, практически полностью перечеркивается присущими пассивному фильтру недостатками. Заметное влияние выходного сопротивления генератора на частотную характеристику фильтра и ограничения в выборе номиналов емкостей (соотношение величин емкостей должно находиться в определенных пределах), можно считать мелочью. Более существенной проблемой является взаимное влияние звеньев фильтра, что затрудняет получение нужной частотной характеристики с высокой точностью.

Все эти проблемы совершенно элементарно решаются, если воспользоваться операционными усилителями как буферным элементом, отделяющим звенья друг от друга и от генератора. Мне понятно, почему делали пассивные фильтры сорок лет назад, но сейчас, при наличии большого выбора широкополосных малошумящих ОУ, это немного удивительно. В результате (совсем побездельничать не получилось) появилась схема, показанная на рисунке 1.

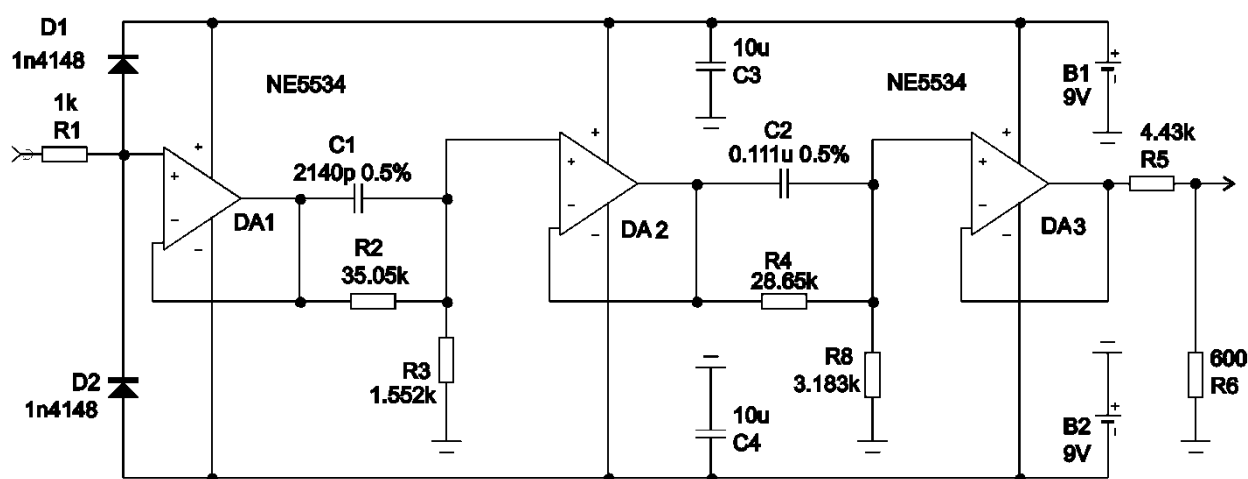


Рисунок 1

Два пассивных частотоформирующих звена (C1, R1, R3 и C2, R4, R8) отделены друг от друга, генератора и нагрузки буферными повторителями на ОУ. В рабочем диапазоне частот параметры повторителя близки к идеальным и частотоформирующие цепи работают почти в идеальных условиях.

Можно считать, что звено возбуждается от источника с нулевым выходным сопротивлением и имеет бесконечно большую нагрузку, соответственно, точность задания частотной характеристики фильтра будет зависеть исключительно от точности подбора элементов звеньев. Полная независимость звеньев друг от друга позволяет варьировать величины частото задающих емкостей (поиск которых представляет основную сложность) в широких пределах, и под имеющиеся емкости пересчитать величины резисторов по простейшим формулам. Звено на элементах C1, R1, R3 отвечает за формирование постоянных времени 75  $\mu$ s и 3.18  $\mu$ s, а звено на элементах C2, R4, R8 – формирует постоянные времени 3180  $\mu$ s и 318  $\mu$ s. Делиитель на выходе фильтра (R5, R6) приводит его коэффициент передачи на частоте 1 kHz к уровню -46dB (1V – 5mV), выходное сопротивление фильтра – 530 Ом. В принципе, изменяя соотношение этих резисторов, можно получить другое выходное сопротивление или другой коэффициент передачи.

На рисунке 2 показан график расчетных отклонений его АЧХ от идеальной (с учетом параметров ОУ). Реально измеренные значения отклонений, естественно, оказались больше, но не превысили величины 0.02dB.

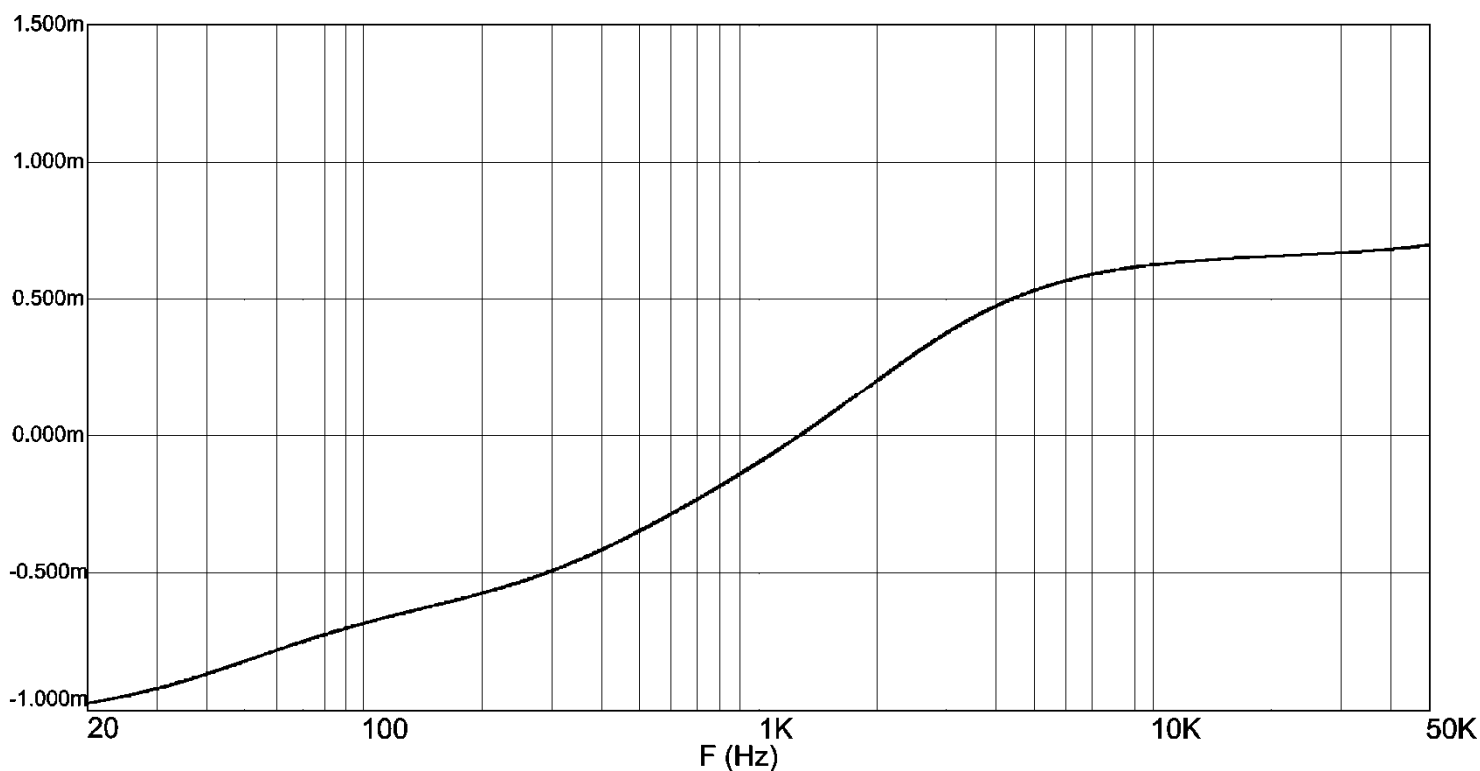


Рисунок 2

Чтобы уменьшить влияние внешних помех, фильтр питается от автономного источника (если его не забывать выключать, то энергии батареек хватит, чтобы настроить не один корректор) и помещен в хорошо экранированный корпус (использовалась подходящая по габаритам коробочка из толстой стали). На входе фильтра установлен стандартный приборный разъем СР-50, а на выходе – RCA коннектор. Монтаж схемы фильтра выполнен навесным способом на кусочке макетной платы. Внешний вид фильтра и вид на его монтаж, показан на рисунках 3 и 4.

Вернемся к наиболее животрепещущему вопросу: выбору компонентов частото задающих цепей. Наиболее сложно найти прецизионные емкости, поэтому целесообразно начать с их поиска. Величина емкости C1 может находиться в пределах 1000÷3300 pF, а емкости C2 – 0.068÷ 0.15  $\mu$ F. Подойдут емкости серий - K70, K71, СГ, СГМ. В крайнем случае, можно воспользоваться пленочными и слюдяными емкостями серий - K73, ПМ, КСО.

Если подыщите емкости с точность не хуже 1%, то можно считать, что их реальная емкость равна номинальной. Во всех остальных случаях (да и в первом желательно тоже), надо измерить величину емкости с максимально возможной точностью.



Рисунок 3



Рисунок 4

По измеренным значениям емкости, исходя из приведенных ниже соотношений, вычисляются номиналы резисторов. Соотношения одинаковы для обоих звеньев, и в них подставляются соответствующие пары постоянных времени. Соответственно, для второго звена подставляются величина емкости  $C2$ , а вычисляются резисторы –  $R4$ ,  $R8$ .

$$T1 = C1 * R2,$$

$$T2 = \frac{R3}{R2 + R3} * T1,$$

где:  $T1=75\mu\text{s}$  ( $3180\mu\text{s}$ ),  $T2=3.18\mu\text{s}$  ( $318\mu\text{s}$ ).

Необходимое значение сопротивления получают комбинацией из нескольких резисторов и дополнительным отбором из нескольких резисторов наиболее подходящего. Лучше использовать прецизионные резисторы (C2-29, C2-13, C2-14, БЛП) с точностью  $0.1\div 0.5\%$ , но можно применить и полупрецизионные резисторы типа C2-23. В общем, важна не столько их точность, сколько стабильность параметров (все равно придется подбирать нужный номинал). Особых затруднений при подборе резисторов не должно возникнуть, так как современные приличные мультиметры имеют погрешность измерения сопротивления на уровне  $0.5\%$  и меньше.

Фильтр имеет выключатель питания, полностью отключающий батарею, и индикатор включения на сверхярком светодиоде, имеющем достаточную яркость при токе  $0.2\div 0.4\text{ mA}$  (на схеме не показаны). При правильном монтаже никакой дополнительной настройки не требуется. Если есть возможность, то желательно проверить частотную характеристику и коэффициент передачи на частоте  $1\text{ kHz}$ .

В заключение, хочу сказать:

Первое: время, потраченное на изготовление фильтра, даже при изготовлении одного корректора, сторичей вернется на этапе настройки.

Второе: если приложить определенные усилия при подборе компонентов, то это простое устройство вполне может претендовать на звание образцового измерительного прибора.