



АВТОРСЬКЕ КОНСТРУЮВАННЯ

ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ-КОРРЕКТОР С НИЗКИМ УРОВНЕМ ШУМОВ

Н.Е.Сухов

Описанный ниже пре-
дусилитель-корректор для
магнитного звукоснимателя ЭПУ
(далее - УК RIAA92) является
развитием УК, предложенного

подробно изложенные в гл.2
книги [3].

Основными принципами постро-
ения УК RIAA92 являются приме-
нение во входном каскаде полевого

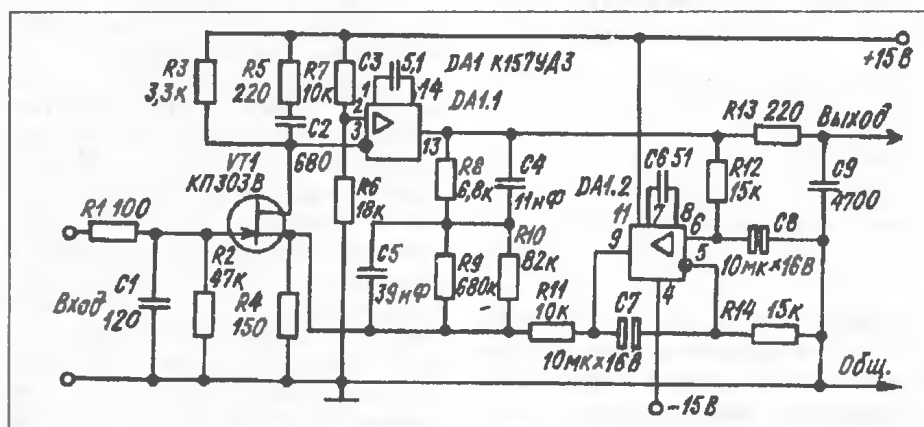


Рис.1

автором в статье [1]. При его
разработке учтены принципы
построения устройств высокой
верности, рассмотренные под-
робно в статье [2], а также
результаты исследований шу-
мовых свойств усилителей,

транзистора и исключение из це-
пей прохождения сигнала элект-
ролитических конденсаторов.

Принципиальная схема УК
приведена на рис.1 (показан
один канал усилителя). На
рис.2 изображен общий для

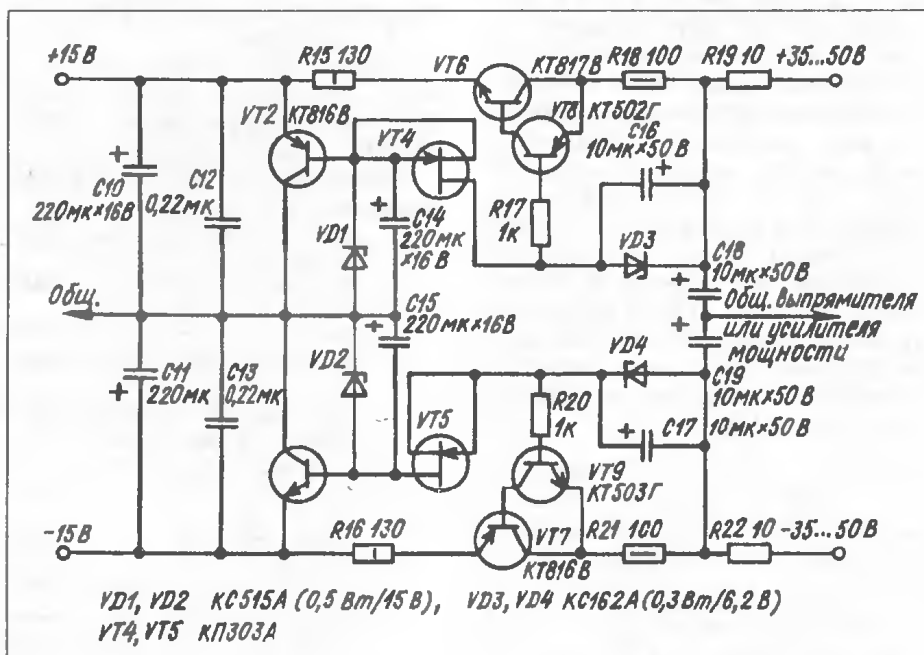


Рис.2

обоих каналов стабилизатор на-
пряжения.

Входной каскад выполнен на
полевом транзисторе VT1,
включенном по схеме с общим
исток и охваченном общей
ООС как по переменному, так
и по постоянному току. Вход-
ную цепь образуют головка
звукоснимателя, конденсатор
C1 и резистор R2. Как показал
опыт использования
апериодической ВЧ коррекции
[1], с ее помощью не всегда
удается получить максимально
плоскую АЧХ системы головка
звукоснимателя - УК, поскольку
такая коррекция не учитывает
механического резонанса, вы-
зываемого взаимодействием
подвижной системы головки
звукоснимателя и грам-
пластинки. Этот резонанс
приводит к увеличению
амплитуды колебания конца
иглы по сравнению с амплиту-
дой смещения канавки на часто-
тах вблизи резонансной

$$f_{\text{мех.рез}} = 1/(2\pi\sqrt{mC}),$$

где m - эффективная масса
подвижной системы, приведен-
ная к концу иглы, C - гибкость
материала пластинки. Типовые
значения $m=1,5$ мг и $C=5 \cdot 10^{-5}$
- м/Н дают резонанс на верхней
границе звукового диапазона.

В связи с этим в УК RIAA92
используется входная цепь, име-
ющая рекомендованное Междуна-
родной электротехнической
комиссией (МЭК) входное
сопротивление (47 кОм) и емкость,
несколько меньшую рекомендо-
ванной, но с учетом собственной
емкости соединительного кабеля,
равную рекомендованной изго-
товителями для большинства голо-
вок звукоснимателя. Как показыва-
ют измерения, такое согласование
обеспечивает более равномерную
АЧХ при работе с головками сред-
него качества, имеющими
значительную массу подвижной
системы.

Применение полевого
транзистора при источнике сиг-
нала с большой индуктивностью
(именно такими являются совре-
менные головки звукоснимателя)
обеспечивает, ввиду малости то-
ковых шумов затвора, предельно
низкий уровень собственных
шумов системы головки - УК.
Схемное решение УК RIAA92 со-
держит специальную схему
стабилизации режима по посто-
янному току, что обеспечивает
возможность отказа от приме-
нения во входном каскаде
дифференциального включения
двух транзисторов. Таким обра-

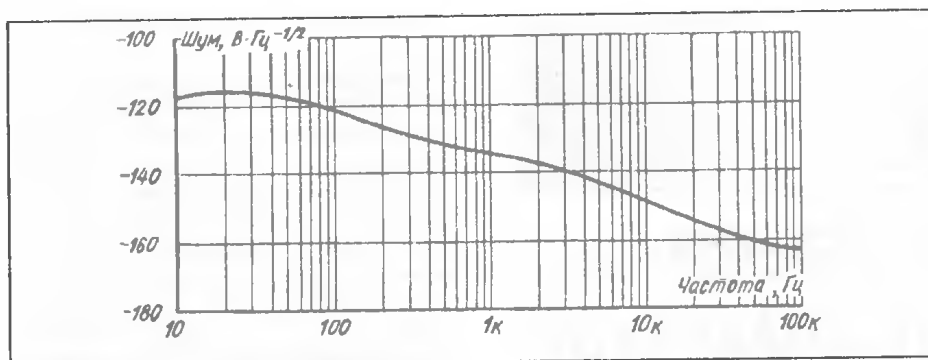


Рис.3

зом достигнуто улучшение шумовых свойств на 1,5...2 дБ при прочих равных условиях. Устранен и еще один схемный недостаток УК [1]: излишне большое сопротивление цепи ООС ($0.91...1.38 \text{ кОм} = R7 + R8$ в схеме [1, рис.2]), дающее вклад порядка 0,4 мкВ в общий уровень собственных шумов, уменьшено до пренебрежимо малого уровня 150 Ом.

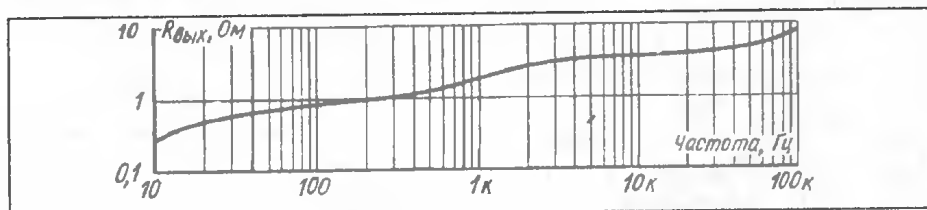


Рис.4

Режим VT1 по постоянному току устанавливается цепью ООС по постоянному току, охватывающей ОУ DA1.1 и DA1.2. Первый ОУ поддерживает на стоке VT1 постоянное напряжение, равное снимаемому с делителя R7R6, а второй ОУ обеспечивает собственно ООС по постоянному току, подавая управляющее напряжение на исток VT1 через резистор R11. Одновременно каскад на DA1.2 поддерживает нулевой потенциал на выходе УК. Вредное проявление эффекта Миллера полностью устранено ввиду постоянства напряжения на стоке VT1.

На рис.3 изображена спектральная плотность шумов на выходе УК в децибелном масштабе $0 \text{ дБВ} = 1 \text{ В}/\sqrt{\text{Гц}}$.

На частоте максимума чувствительности слуха 1...3 кГц спектральная плотность составляет -135 дБВ, что соответствует $0.178 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ на выходе, или, с учетом коэффициента пере-

дачи УК на частоте 1 кГц, равного 50...60, $3.56 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, приведенной ко входу. В эффективной ширине полосы взвешивающего фильтра МЭК-А, равной 12 кГц, это соответствует уровню собственных шумов, приведенных ко входу, равному 0,387 мкВ. По отношению к стандартному входному уровню УК 5 мВ/1 кГц такой уровень

составляет -82,2 дБА, что на 0,2 дБА лучше характеристики УК [1]. Сравнительно малый выигрыш обусловлен тем фактом, что основным источником шумов является уже не сам УК, а тепловые шумы обмотки и сердечника головки звукоснимателя. Без магнитной головки звукоснимателя относительный уровень шумов УК RIAA92 составляет, в зависимости от экземпляра транзистора, -85...-89 дБА, что на 2...2,5 дБ лучше УК [1]. Заметим, что при использовании головок с повышенной чувствительностью, например Shure M44MB, относительный уровень шумов системы головка-УК повышается на 4...6 дБ и достигает -86...-88 дБА, что на 15...18 дБА ниже приведенного уровня шумов немой канавки грампластины, выполненной по технологии Direct Metal Mastering. Таким образом, уровень шумов УК RIAA92 пренебрежимо мал и достигнут меньшими аппаратными затратами, чем в [1].

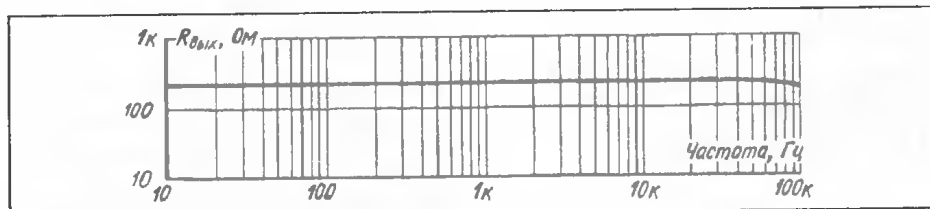


Рис.5

Основную усилительную функцию выполняет малошумящий высоколинейный ОУ типа K157УДЗ (DA1.1), являющийся совместимой технологической модификацией K157УД2. Цепь R8C4R9R10 C5 замыкает ООС по переменному току и формирует АЧХ УК. Цепь C2R5 корректирует петлевое усиление для обеспечения запаса устойчивости при замкнутой петле ООС, охватывающей VT1 и DA1.1. С выхода ОУ DA1.1 сигнал поступает на радиочастотный ФНЧ R13C9, одновременно обеспечивающий устойчивость при работе УК на нагрузку со значительной емкостью, и, через ФНЧ R12C8 - на вход ОУ DA1.2, выполняющего функции неинвертирующего компаратора-интегратора и замыкающего цепь ООС по постоянному току.

Питание УК осуществляется от нестабилизированного источника (например, непосредственно от выпрямителя усилителя мощности) через двухполярный стабилизатор напряжения, выполненный на транзисторах VT2-VT9. Транзисторы VT6, VT8 верхнего плеча (нижнее работает аналогично) образуют совместно с резистором R18 и стабилизатором VD3 генератор стабильного тока 55 мА, питающий параллельный параметрический стабилизатор напряжения, выполненный на транзисторе VT2 и стабилитроне VD1. Стабилитрон VD1, в свою очередь, питается генератором тока на полевом транзисторе VT4. Такое построение обеспечивает исключительно хорошую фильтрацию пульсаций без использования стабилизаторов с ООС, как правило, имеющих неудовлетворительную импульсную характеристику при скачках тока нагрузки.

Транзисторы VT6-VT7 стабилизатора рассеивают мощность порядка 2 Вт и должны быть установлены на теплоотвод с площадью не менее 10 см^2 .

Основные технические характеристики УК RIAA92

Коэффициент усиления на частоте 1 кГц, дБ	34
Входное сопротивление, кОм	47
Входная емкость, пФ	120
Выходное сопротивление, Ом	200
Уровень собственных шумов, приведенный ко входу совместно с головкой Shure M95E, дБА	82,2
Перегрузочная способность, дБ	32
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	2
Максимальная емкость нагрузки, пФ	7000

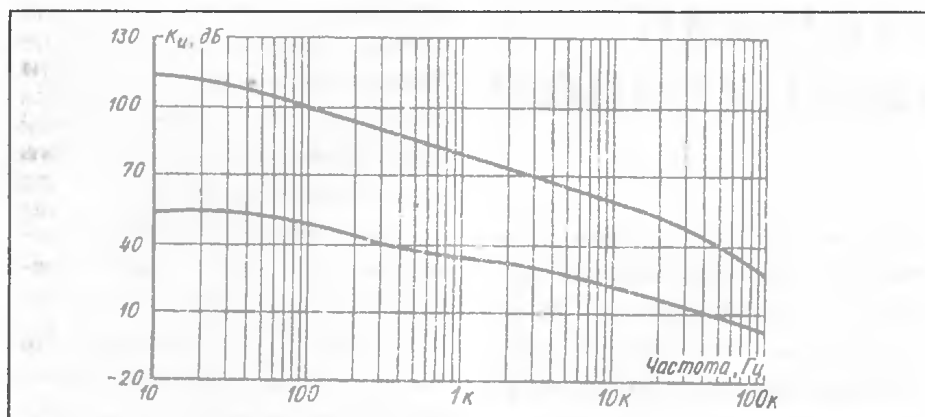


Рис.6

Высокие выходные параметры достигнуты благодаря применению специализированного ОУ, а также снижению номинального выходного напряжения до уровня 250 мВ. На рис.4 приведена частотная зависимость выходного сопротивления УК в точке выхода ОУ DA1.1, а на рис.5 - на выходе УК (после R13). Во втором

случае помехи от покоробленных грампластинок и формируется соответствующим выбором постоянных времени интегрирующих цепочек какада на ОУ DA1.2, что соответствует требованиям характеристики R1AA-78 [1].

В устройстве применены постоянные резисторы МЛТ-0,125 с допуском 5%, кроме R15 и R16 мощностью 1 Вт и R18, R21

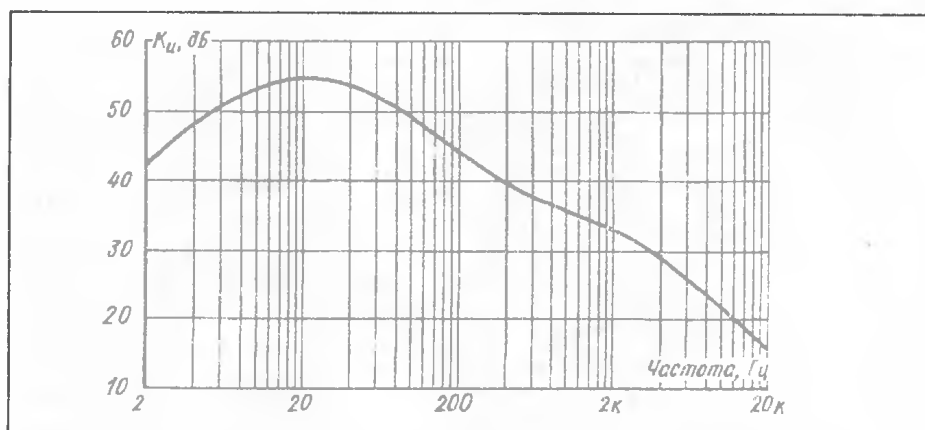


Рис.7

случае сопротивление частотно-независимо, что исключает возможное проявление в звуковом диапазоне т.н. интерфейсных искажений. Отсутствие ионных искажений обеспечено схемотехнически исключением электроролитических конденсаторов из цепи прохождения сигнала и цепи ООС по переменному току. На рис.6 представлена АЧХ УК с разомкнутой и замкнутой ООС, из сравнения которых видно, что глубина ООС в диапазоне 20 Гц - 20 кГц не уменьшается ниже 30 дБ, что обеспечивает минимальную нелинейность УК. В таблице приведены результаты спектрального анализа выходного сигнала УК при перегрузке +22 дБ, коэффициент гармоник в этом случае не превышает 0,1% (при уровне 0 дБ на два порядка ниже). На рис.7 приведена АЧХ УК. Спад АЧХ на частотах ниже 20 Гц эффективно подавляет инфразвуко-

мощностью 0,5 Вт. Неэлектроролитические конденсаторы типа КД, К73-11, К71-6 (С5), электроролитические - К50-35, К50-40 (С7, С8). Неполарные элект-

Уровни гармоник на выходе R1AA92 при перегрузке +22 дБ/1кГц (относительно 1 гармоник)

Номер гармоник	Относительный уровень, %	Амплитуда, В
1	100.000000	3,019973
2	0.035605	0,001075
3	0.046544	0,001405
4	0.010125	0,000305
5	0.031988	0,000966
6	0.015712	0,000474
7	0.026659	0,000805
8	0.017277	0,000521
9	0.023794	0,000718
10	0.017681	0,000533
11	0.021811	0,000658
12	0.017626	0,000532
13	0.020218	0,000610
14	0.017336	0,000523
15	0.018844	0,000569
16	0.016920	0,000510
Общий коэффициент гармоник, %		0,093979
Коэффициент нечетных гармоник, %		0,075539
Коэффициент четных гармоник, %		0,055909

ролитические конденсаторы С7, С8 можно заменить парой встречно включенных полярных конденсаторов удвоенной емкости. Конденсатор С4 - наборный, составлен из двух, емкостью 1 и 10 нФ. Единственный элемент УК, требующий предварительного отбора - полевой транзистор VT1. Пригодны к использованию транзисторы с напряжением отсечки от 1,5 до 2 В. При невозможности выбрать транзисторы с таким параметром необходимо откорректировать сопротивление резистора R3 таким образом, чтобы постоянное напряжение на выходе ОУ DA1.2 находилось в пределах от +2 до -5 В, или уменьшить сопротивление резистора R11 до 3 кОм. Емкость конденсатора С1 подбирают экспериментально, при воспроизведении конкретной головкой звукоснимателя измерительной грампластинки, по критерию минимальной неравномерности АЧХ системы головка - УК на высших частотах звукового диапазона. При подъеме АЧХ на частотах выше 12 кГц емкость следует увеличить, при завале - наоборот, уменьшить.

Литература

1. Сухов Н., Байло В. Высококачественный предусилитель-корректор. «Радио», 1981, N3, с.35-38.
2. Сухов Н. К вопросу о природе нелинейных искажений УМЗЧ. «Радио», 1989, N5, с.54-57.
3. Н.Е.Сухов, С.Д.Бель, В.В.Колосов, А.Г.Чупаков. Техника высококачественного воспроизведения, Киев, «Техника», 1985.

Примечание редакции

Редакция журнала располагает ограниченным количеством печатных плат описанного предусилителя. Для получения платы необходимо выслать заявку с конвертом, в котором Вам будут высланы условия приобретения печатной платы.