



ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ - КОРРЕКТОР

Н. СУХОВ, В. БАЙЛО

Совершенствование техники механической записи звука и ее воспроизведения потребовало в последние годы более серьезного подхода к такому узлу электроакустических устройств, как предусилитель-корректор. Стало очевидным, что параметры, обеспечиваемые классическим двух-трехтранзисторным предусилителем, не могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к системам действительно высокого качества [1].

В чем же дело? Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к рис. 1, на котором изображена принципиальная схема типичного предусилителя-корректора на двух транзисторах с целью формирования АЧХ (R_a, C_a, R_b, C_b) в петле ООС. Коэффициент усиления K_u такого устройства при разомкнутой ООС не превышает 60...70 дБ (даже при использовании транзисторов с большими статическими коэффициентами передачи тока), а это делает

выбран, например, равным 30 дБ, то на частоте 30 Гц он должен составлять 48 дБ (+18 дБ по отношению к зна-

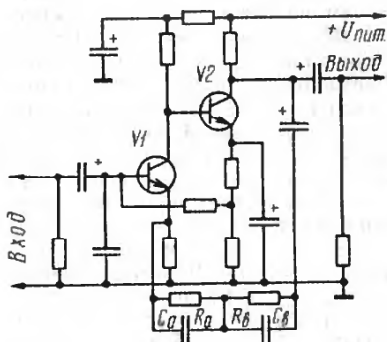


Рис. 1

и более, что, естественно, неприемлемо для высококачественных звуковоспроизводящих устройств. Небольшая глубина ООС (точнее, нарушение равенства $K_u \beta \gg 1$, где β — коэффициент передачи цепи ООС) приводит также к отклонению АЧХ устройства от требуемой — возникает спад на низких частотах.

Наконец, внутреннее сопротивление источника сигнала — магнитной головки звукоснимателя — имеет индуктивный характер и весьма далеко от оптимального для биполярных транзисторов в широком диапазоне частот. Это не позволяет получить отношение сигнал/шум более 65...70 дБ.

Применение в высококачественном предусилителе-корректоре ОУ общего применения (К140УД1, К153УД1, К553УД1 и т. п.) также нельзя признать целесообразным из-за больших низкочастотных шумов. Отношение сигнал/шум у таких устройств редко превышает 60 дБ [2,3].

Как показали исследования, существенного улучшения шумовых характеристик можно достичь применением во входных каскадах полевых транзисторов с *p-n* переходом. По сравнению с биполярными, их шумы имеют меньшую спектральную плотность в области частот до 1000 Гц (т. е. там, где от устройства требуется наибольшее усиление) и практически не зависят от сопротивления источника сигнала [4,5].

Принципиальная схема одного из каналов предусилителя-корректора с такими полевыми транзисторами во входном каскаде показана на рис. 2 (за основу взята схема предусилителя КА9100 японской фирмы «Кенвуд» [6]).

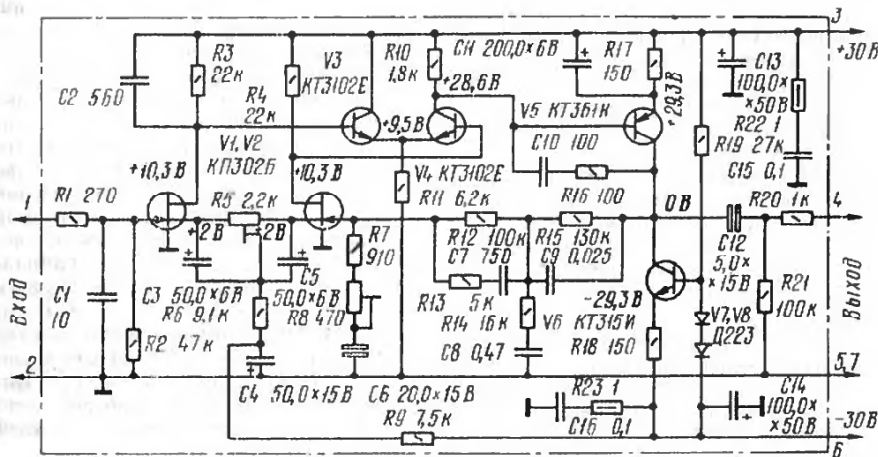


Рис. 2

практически невозможным получение малых нелинейных искажений на низких частотах рабочего диапазона. Действительно, если коэффициент усиления устройства на частоте 1 кГц

равен 60 дБ, то на частоте 30 Гц он должен составлять 48 дБ (+18 дБ по отношению к зна- чению на частоте 1 кГц). При исходном (без ООС) коэффициенте усиления $K_u = 60$ дБ глубина ООС на низких частотах уменьшается до 12 дБ, а коэффициент гармоник возрастает до 1%

Основные технические характеристики

Коэффициент усиления на частоте 1 кГц, дБ	42
Модуль полного входного сопротивления на частоте 1 кГц, кОм	48
Входная емкость, пФ	26

Отношение сигнал/шум, дБ (измерено при входном сигнале напряжением 5 мВ частотой 1 кГц со взвешивающим фильтром, имеющим АЧХ вида МЭК «А»)	82
Перегрузочная способность, дБ	30
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	5
Максимальная емкость нагрузки, пФ	2000

Как видно из схемы, описываемый предусилитель-корректор — трехкаскадный. Первые два каскада — дифференциальные, соответственно на транзисторах $V1$, $V2$ и $V3$, $V4$. Коэффициент усиления входного каскада — 25 дБ, следующего за ним — 30 дБ. Транзисторы второго каскада работают при сравнительно больших (около 1 мА) коллекторных токах, что необходимо для неискаженной передачи пиков уровня музыкального сигнала.

Выходной каскад ($V5$) обеспечивает усиление около 55 дБ. Применение в качестве его нагрузки источника тока на транзисторе $V6$ в сочетании с достоинствами дифференциальных каскадов обеспечило исключительно высокую линейность устройства — коэффициент гармоник при выходном напряжении 20 В (!) составляет всего 0,03%. При номинальном напряжении на выходе уровень гармоник и вовсе ничтожен — он лежит ниже уровня собственных шумов предусилителя.

Конденсатор $C2$ и цепь $R16C10$ предотвращают самовозбуждение устройства на высоких частотах, фильтр нижних частот $R1C1$ исключает проникание на его вход сигналов местных мощных радиостанций, наводимых на тонарм и соединительные провода. Цепи $R22C15$ и $R23C16$ компенсируют индуктивность проводов питания и собственную индуктивность электролитических конденсаторов $C13$, $C14$, что необходимо для улучшения переходной характеристики предусилителя в области малых времен и получения большого переходного затухания между каналами на высших частотах звукового диапазона.

Гальваническая связь между каскадами, а также непосредственное, без разделительного конденсатора, подключение головки к входу устройства (ток затвора полевого транзистора, как известно, меньше тока утечки электролитического конденсатора) позволили уменьшить фазовые и частотные искажения на низких и инфранизких частотах и тем самым несколько улучшить переходную характеристику в области больших времен, а также исключить броски выходного напряжения при включении и выключении питания.

Коэффициент усиления устройства при разомкнутой цепи ООС составляет 110 дБ. Однако, поскольку частота среза усилителя достаточно вы-

сока (примерно 3,1 кГц), а элементы частотнозависимой ООС $R12R13C7R14C8R15C9$, формирующей требуемую АЧХ, представляют собой ускоряющую цепь, динамические интермодуляционные искажения, характерные для усилителей с глубокой ООС, в данном случае не возникают.

Применение 100%-ной ООС по постоянному напряжению через резисторы $R12$, $R15$ жестко стабилизирует режимы работы транзисторов при изменении температуры и напряжений питания в широких пределах. (Кстати, усилитель можно питать и от двуполярного источника напряжением ± 10 В, однако перегрузочная способность в этом случае уменьшится до 15 дБ).

АЧХ описываемого устройства несколько отличается от обычной (например, формируемой в усилителе по схеме на рис. 1 цепью $R_2C_2R_3C_3$). Дело в том, что введенный еще в 1953 г. стандарт RIAA (по начальным буквам названия ассоциации «Record Industry Association of America») устанавливал нормы на АЧХ только в диапазоне частот 30...15 000 Гц (рис. 3, кривая 1). Появление магнитных головок звукоснимателей, позволяющих воспроизводить более широкий спектр частот, заставило нормировать АЧХ и за краями этого диапазона, экстраполируя стандартную характеристику в области низких и высших частот (рис. 3, кривая 2). Однако большое усиление на инфранизких частотах ведет к росту на выходе предусилителя уровня помех от вибраций движущего механизма ЭНУ, особенно если в последнем использован сверхтихоходный двигатель (максимум спектра вибраций таких двигателей лежит именно в области инфразвуковых частот). Для борьбы с этим явлением в усилителе мощности стали вводить фильтры верхних частот с частотой среза 20...30 Гц и крутизной спада АЧХ 12...18 дБ на октаву. И все же присутствие достаточно больших сигналов инфранизких частот на выходе предусилителя-корректора и на входе усилителя мощности приводит и в этом случае к значительным интермодуляционным искажениям, а иногда (например, при проигрывании корбленых грампластинок) и к перегрузке усилителя.

С целью устранения этого недостатка предусилителей-корректоров АЧХ RIAA была в 1978 г. пересмотрена. Результатом стало нормирование ее в диапазоне от 2 Гц до 25 кГц [7], причем, начиная с частоты 31 Гц, установлен вполне определенный спад АЧХ. Новая характеристика (рис. 3, кривая 3, и табл. 1), получившая название RIAA-78, формируется не тремя, как раньше, а четырьмя RC-цепями с постоянными времени $\tau_1 = 75$, $\tau_2 = 318$, $\tau_3 = 3180$ и $\tau_4 = 7950$ мкс. В описываемом предусилителе-корректоре эти постоян-

ные времена реализуются соответственно цепями $R12C7$, $R12R14C9$, $R15C9$ и $R14C8$.

Еще одна особенность устройства — способ формирования АЧХ системы головки — усилитель в области высших частот. Необходимость такой коррекции очевидна, поскольку индуктивность головки и входное сопротивление усилителя образуют фильтр нижних частот. Обычно АЧХ этой системы формируется контуром $L_1C_{вх}R_f(L_f$ и R_f — соответственно индуктивность и активное сопротивление головки, $C_{вх}$ — входная емкость усилителя и емкость соединительного кабеля). Большое различие в индуктивности (от 0,15 до 1,5 Г) и особенно в активном сопротивлении (от 400 до 3000 Ом) у головок разных типов, а также разброс емкости $C_{вх}$ затрудняет обеспечение оптимальных (для конкретной головки) резонансной частоты и добротности контура. В результате АЧХ системы в области частот 8...20 кГц оказывается существенно неравномерной. К тому же, как и любая колебательная система, контур $L_1C_{вх}R_f$ ухудшает переходную характеристику тракта в области малых времен — происходит как бы «затягивание» фронтов сигналов музыкальных инструментов, для которых характерны резко выраженные «жесткие» атаки и затухание звука, что проявляется в искажении тембра их звучания.

В рассматриваемом предусилителе-корректоре применена аperiodическая ВЧ коррекция. Ее создает цепь $R13C7$ с постоянной времени τ_5 , согласованной с постоянной времени $\tau_{вх} = L_1/R_{вх}$ ($R_{вх}$ — модуль полного входного сопротивления усилителя). Нежелательный резонанс во входной цепи благодаря малой емкости $C_{вх}$ — всего 26 пФ (результат применения дифференциального каскада на полевых транзисторах) — смещен в область сверхзвуковых частот и в рабочем диапазоне себя не проявляет. Поскольку АЧХ системы головки — усилителя, как уже говорилось, не зависит в данном случае от величины активного сопротивления обмоток звукоснимателя, то требуемой ее линейности можно добиться без использования измерительной грампластины. Достаточно лишь согласовать постоянные времени τ_5 и $\tau_{вх}$, или, что то же самое, выбрать сопротивление резистора $R13$ (в омах) из соотношения $R13 = L_1/R_{вх}C7 = 2,8 \cdot 10^4 L_1$. Индуктивность некоторых наиболее часто используемых головок звукоснимателей приведена в табл. 2.

Следует отметить, что неточное согласование указанных постоянных времени приводит к меньшей неравномерности АЧХ, чем при неточной настройке контура $L_1C_{вх}R_f$. Кроме того, применение аperiodической ВЧ коррекции позволяет (естественно, при использовании соответствующей головки

Таблица 1

Частота, Гц	Относительный уровень, дБ	
	RIAA	RIAA-78
25 000	(-21,45)*	-21,45
20 000	(-19,53)	-19,53
15 000	-17,07	-17,07
10 000	-13,65	-13,65
8000	-11,80	-11,80
4000	-6,52	-6,52
2000	-2,50	-2,50
1000	0	0
800	0,84	0,84
400	3,87	3,86
200	8,31	8,27
100	13,18	13,00
80	14,60	14,33
40	17,88	16,91
30	18,68	17,08
20	(19,36)	16,35
10	(19,83)	12,83
8	(19,89)	11,28
4	(19,97)	5,82
2	(19,99)	-0,06

* В скобках указаны экстраполированные значения относительного уровня.

и декодера) воспроизводит квадрафонические пластинки, записанные по системе CD-4.

Благодаря исключительно высокой перегрузочной способности (максимальный входной сигнал на частоте 1 кГц составляет 160 мВ) предусилитель-

«зрачности» звучания на пиковых уровнях сигнала.

Конструкция и детали. Оба канала предусилителя смонтированы на печатной плате размерами 150×110 мм

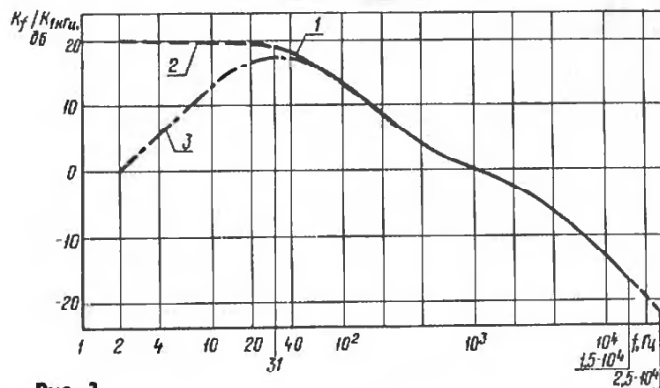


Рис. 3

Таблица 2

Головка звукоснимателя	Индуктивность, Г
ГЗМ-003, ГЗМ-103	0,74...0,78
ГЗМ-005, ГЗМ-105	0,48...0,55
ГЗМ-008 «Корвет»	0,5...0,55
ГЗУМ-73С	0,35...0,4
ADC QLM30	1,3...1,35
Empire 2000	0,25...0,28
Shure M44MB	0,67...0,72
Shure M95EJ	0,7...0,74
Shure V-15-IV	0,7...0,72
Tenorel MF-100	1,2...1,28

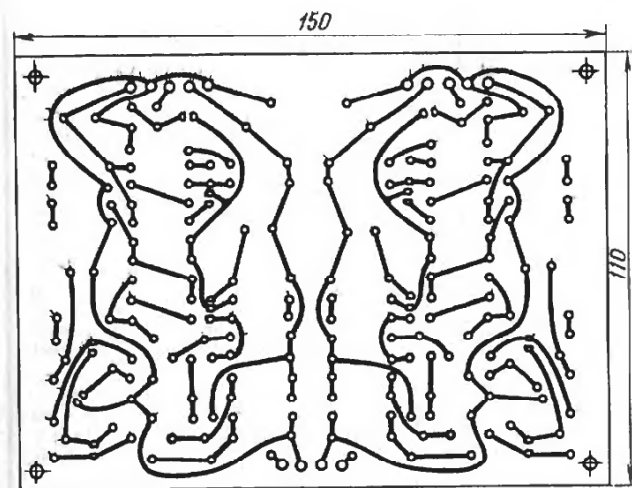
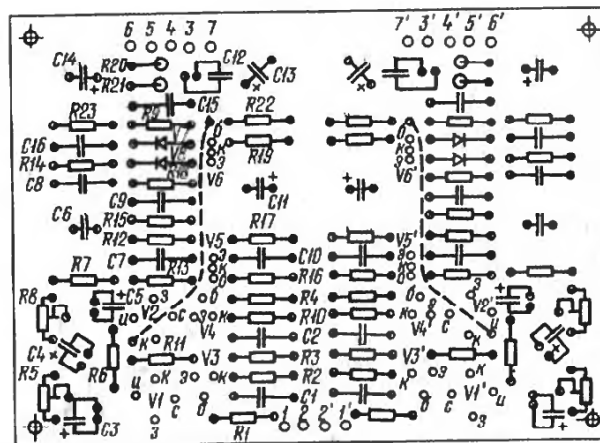


Рис. 4



корректор обеспечивает верную передачу пиковых уровней реального музыкального сигнала даже при использовании головок с повышенной чувствительностью (таких, как Shure M44MB, Empire 2000, ADC QLM30 и т. п.). Проявляется это в «про-

зрачности» звучания на пиковых уровнях сигнала. В устройстве применены подстроечные резисторы СПЗ-16, постоянные резисторы МОН-0,5 (R22, R23) и МЛТ (остальные). Использовать резисторы ВС и УЛМ нежелательно

и конденсаторов С7—С9 — не более ±5% (при этом отклонение АЧХ усилителя от стандартной и рассогласование АЧХ стереоканалов не превысят 0,8 дБ), электролитических конденсаторов —20...+80%, остальных элементов ±20%.

Полевые транзисторы $V1$ и $V2$ должны иметь близкие начальные токи стока и напряжения отсечки, иначе из-за асимметрии плеч дифференциального каскада снизится перегрузочная способность усилителя (или, что то же, возрастет коэффициент гармоник) и увеличится (из-за нарушения противофазности возбужденной дифференциального каскада) прощивание пульсаций напряжения питания на выход.

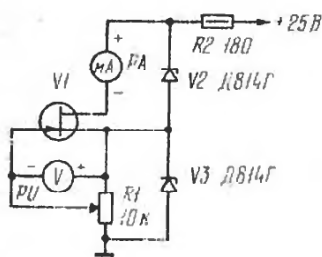


Рис. 5

Для отбора транзисторов удобно воспользоваться несложной схемой измерений, изображенной на рис. 5. Начальный ток стока измеряют микроамперметром PA , установив движок переменного резистора $R1$ в верхнее (по схеме) положение. Затем перемещают движок вниз до тех пор, пока ток стока не уменьшится до 10 мкА , и вольтметром PU измеряют напряжение отсечки. Для предусилителя пригодна пара транзисторов с напряжениями отсечки, отличающимися не более чем на $0,5 \text{ В}$, и начальными токами стока, различающимися не более чем на 25% .

Вместо указанных на схеме в первом каскаде вполне можно использовать другие транзисторы серии КП302, а также транзисторы КП303, КП307 с любыми буквенными индексами, во втором — транзисторы КТ342, КТ373 с индексами А, Б, Г, в третьем — КТ203А, КТ502Г — КТ502Е, КТ351В — КТ361Е ($V5$) и КТ601А, КТ503Г — КТ503Е, КТ315В — КТ315Е ($V6$). Следует, однако, учесть, что для надежной работы устройства напряжение питания при использовании транзисторов КТ361 и КТ315 с указанными индексами необходимо снизить до $\pm 20 \text{ В}$. Диоды $V7, V8$ могут быть любыми кремниевыми маломощными (например, серий Д219, Д220, Д223, КД503, КД514 и т. п.).

Смонтированную плату усилителя необходимо поместить в «заземленный» экран из листовой латуни или жести толщиной $0,5 \dots 1 \text{ мм}$ и разместить возможно ближе к поворотной точке тонарма. Для соединения с головкой можно использовать любой тонкий гиб-

кий провод (например, ЛЭШО). Чтобы не было наводок и перекрестных (из канала в канал) помех, общий провод, идущий от каждой секции головки, необходимо свить с соответствующим ему сигнальным проводом и соединить с общим проводом предусилителя на печатной плате. Кроме того, отдельным проводником необходимо соединить с общим проводом на плате и тонарм, не допуская, однако, электрического контакта с ним корпуса головки.

Для питания предусилителя-корректора пригоден двухполярный источник напряжением $\pm 25 \dots 30 \text{ В}$ при токе 15 мА . Пульсации напряжения питания не должны превышать 5 мВ .

Налаживание устройства начинают с установки на коллекторах транзисторов $V5, V6$ нулевого (по отношению к общему проводу) напряжения. Делают это подстроечным резистором $R5$, контролируя напряжение в точке соединения коллекторов вольтметром с относительным входным сопротивлением не менее 10 кОм/В . Все остальные режимы устанавливаются автоматически, и их необходимо только проверить на соответствие указанным на схеме (допускается отклонение напряжений на $\pm 15\%$).

Каналы предусилителя балансируют подстроечными резисторами $R8$ и $R8'$ (в другом канале), проигрывая измерительную или любую монофоническую грампластинку. На этом налаживание и заканчивается.

В заключение необходимо отметить, что для достижения действительно высокой верности звуковоспроизведения не только предусилитель-корректор, но и все остальные узлы тракта (ЭПУ, темброблок, усилитель мощности, громкоговорители) также должны быть высококачественными.

с. Киев

ЛИТЕРАТУРА

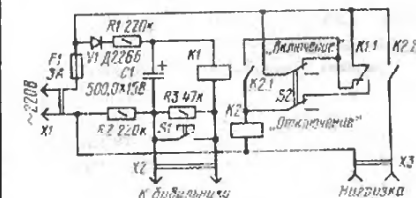
1. Meyer Daniel. Audio preamplifier using Operational Amplifier Techniques. «Wireless World», 1972, July, p. 309—312.
2. Кустов О. В., Дундзи В. З. Операционные усилители в линейных цепях. М., «Связь», 1978.
3. Воронцов А., Воронцов В. Арктур-001-стерео. — «Радио», 1977, № 1, с. 34—37.
4. Faulkner E. A. The Design of Low-noise Audio-Frequency Amplifiers. — «The Radio and Electronic Engineer», 1968, July, p. 17—30.
5. А. ван дер Зил Шумы при измерениях. М., «Мир», 1979.
6. L'Amplificateur KENWOOD KA9100. — «Le Haut Parleur», 1977, November, № 1628, p. 272—280.
7. Len Feldman. New RIAA Equalization For Records. — «Radio-Electronics», 1978, April, p. 52—58.

ОБМЕН ОПЫТОМ

«Слава» включает телевизор

Будильник «Слава» может включать не только транзисторный приемник с питанием от батарей («Радио», 1977, № 12, с. 52), но и сетевую радиоаппаратуру. Несложно приспособить его и для отключения этой аппаратуры и заданное время. Для этого надо собрать по приведенной здесь схеме дополнительное устройство — приставку к будильнику.

После подключения устройства к электросветильной сети начинает заряжаться конденсатор $C1$ до напряжения, которое определяется делителем, образованным резисторами $R1—R3$ и обмоткой электромагнитного реле $K1$. Через $30 \dots 40 \text{ с}$ устройство готово к работе.



При срабатывании механизма боя будильника или кратковременном замыкании контактов кнопки $S1$ конденсатор $C1$ разряжается через обмотку реле $K1$. Реле срабатывает и своими контактами $K1.1$ замыкает цепь питания другого реле — $K2$, которое своими контактами $K2.1$ самоблокируется, а контактами $K2.2$ подключает нагрузку.

После этого на будильнике можно установить время отключения радиоприемника для телевизора и переключатель $S2$ в положение «Отключение». При срабатывании механизма боя часов вновь включится реле $K1$ и своими контактами $K1.1$ разорвет цепь самоблокировки реле $K2$, которое отпустит и отключит нагрузку. Для ручного отключения нагрузки от сети достаточно вынуть из розетки или нажать кнопку $S1$ (переключатель $S2$ должен быть в положении «Отключение»).

Детали устройства: реле $K1$ — РЭС-10 (наспорт РС4.524.3121), $K2$ — МКУ-4 на напряжение сети 220 В (наспорт РА4.509.146), кнопка $S1$ — КМ.1, переключатель $S2$ — тумблер ПП1-2.

Устройство удобно выполнить в виде подставки к часам. Для уменьшения нагрева реле $K2$ надо предусмотреть вентиляционные отверстия. При подключении разъема $X2$ звонку будильника отключают.

А. АРКАНОВ

с. Пинигино
Тюменской обл.