

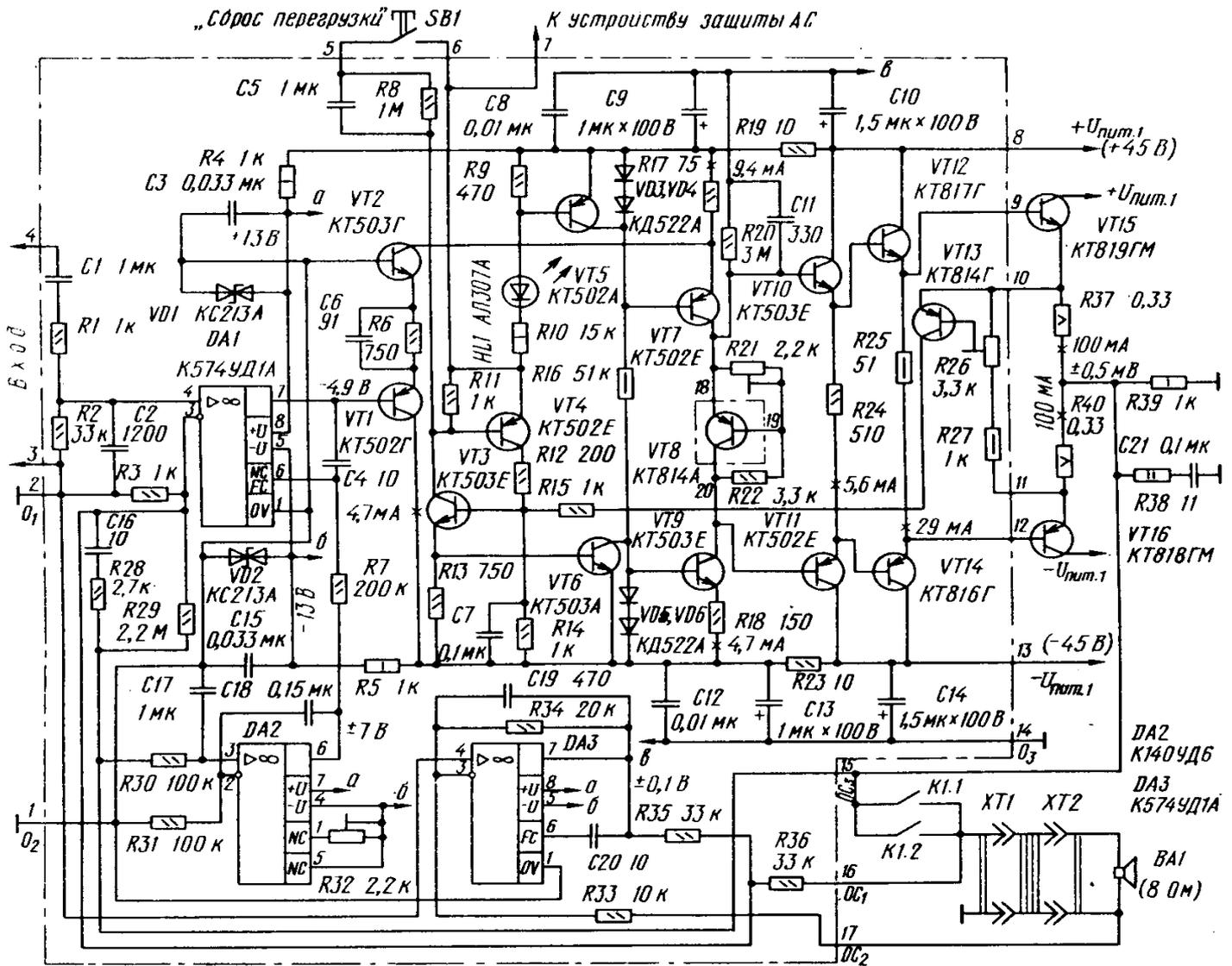
УМЗЧ высокой верности

Автор Н.СУХОВ Радио, 1989.

Технические данные усилителя:

Чувствительность, В	0.8
Выходное сопротивление, кОм	34
Номинальная выходная мощность на нагрузке 8 ом, Вт	100
Динамическая мощность, Вт на нагрузке 4 и 2 ома	200
Скорость изменения выходного напряжения(без цепи R1C2), В/мкс	18
Время установления(без цепи R1C2), мкс	4
Полоса эффективно усиливаемых частот, Гц, по уровню 0...-0.5 дБ	5...35 000
Коэффициент демпфирования в диапазоне частот 5..35 000 Гц, более	1000

Предлагаемый вниманию читателей УМЗЧ обладает настолько высокими параметрами, что может быть использован при экспертизе звучания звуковых программ, в том числе воспроизводимых проигрывателями компакт-дисков. О принципах построения таких усилителей рассказывалось в статье автора «К вопросу о природе нелинейных искажений УМЗЧ»



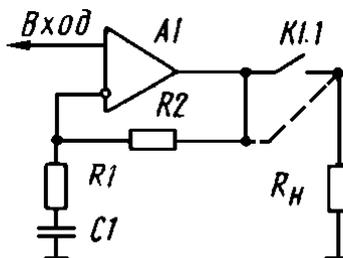
Принципиальная схема одного из каналов УМЗЧ приведена на рис. 1. При ее разработке использованы отдельные схемные решения усилителя мощности. Отличительная особенность УМЗЧ — отсутствие усилительных каскадов, выполненных по схеме с ОЭ, а также отсутствие оксидных конденсаторов в сигнальных цепях.

Входной сигнал, пройдя через пассивные ФВЧ С1R2 с частотой среза 5 Гц и ФНЧ R1C2 с частотой среза 130 кГц, поступает на ОУ DA1 с входным каскадом на полевых транзисторах. Усиленный сигнал с выхода ОУ через повторитель (VT1) и цепь коррекции на опережение R6C6, компенсирующую создаваемый выходным каскадом полюс АЧХ на частоте 2,3 МГц, поступает на каскады сдвига уровня (VT2) и усиления напряжения (VT7). Каскад усиления напряжения нагружен на генератор тока на транзисторе VT9 и три последовательно соединенных двухтактных эмиттерных повторителя на транзисторах VT10-VT12, VT14-VT16, выполняющих функции каскада усиления мощности. Размещенный на теплоотводе транзистора VT15 транзистор VT8 задает напряжение смещения на базе транзисторов выходного каскада в режиме АВ и обеспечивает его термостабилизацию.

На транзисторах VT3, VT4 собран триггер защиты УМЗЧ от токовых перегрузок. Он управляется импульсами коллекторного тока транзистора VT13, являющегося датчиком тока транзисторов выходного каскада. При срабатывании триггера открываются ключи на транзисторах VT5 и VT6, которые закрывают транзисторы каскада усиления напряжения (VT7) и генератора тока (VT9), вследствие чего оказываются закрытыми и транзисторы VT10—VT12, VT14—VT16. Индикацию аварийного состояния УМЗЧ обеспечивает светодиод HL1. Возврат УМЗЧ в рабочее состояние (сброс триггера) возможен только после устранения причин перегрузки выходного каскада. Для этого с помощью выведенной на переднюю панель УМЗЧ кнопки SB1 следует через цепь R8C5 соединить базу транзистора VT4 с его эмиттером.

На ОУ DA2 выполнено устройство поддержания нулевого потенциала по постоянному току на выходе усилителя. Работает оно следующим образом. Выходной сигнал усилителя через ФНЧ R30C17 с частотой среза 1,5 Гц поступает на активный интегратор С18 R31DA2, а затем через резистор R7 в виде управляющего напряжения в соответствующей полярности подается на вход коррекции нуля основного ОУ DA1. В результате постоянный потенциал на выходе УМЗЧ определяется лишь собственным дрейфом напряжения смещения ОУ DA2 и не превышает $\pm 0,5$ мВ при нагревании любого из элементов УМЗЧ до температуры 110 °С и асимметрии питающих напряжений в диапазоне от +7 В, —45 В до +45 В, —7 В. Кроме того, такое схемотехническое решение позволило избавиться от применения блокировочных и разделительных оксидных конденсаторов в цепи прохождения сигнала и цепи сигнальной ООС, а также разделить точки подключения ООС по постоянному и переменному токам.

Последнее обстоятельство нуждается в особом пояснении. Дело в том, что в УМЗЧ обычно используется совмещенная цепь общей ООС, которая замыкает ее петлю как по постоянному, так и по переменному току (рис. 2). При этом сигнал ООС снимают непосредственно с выхода

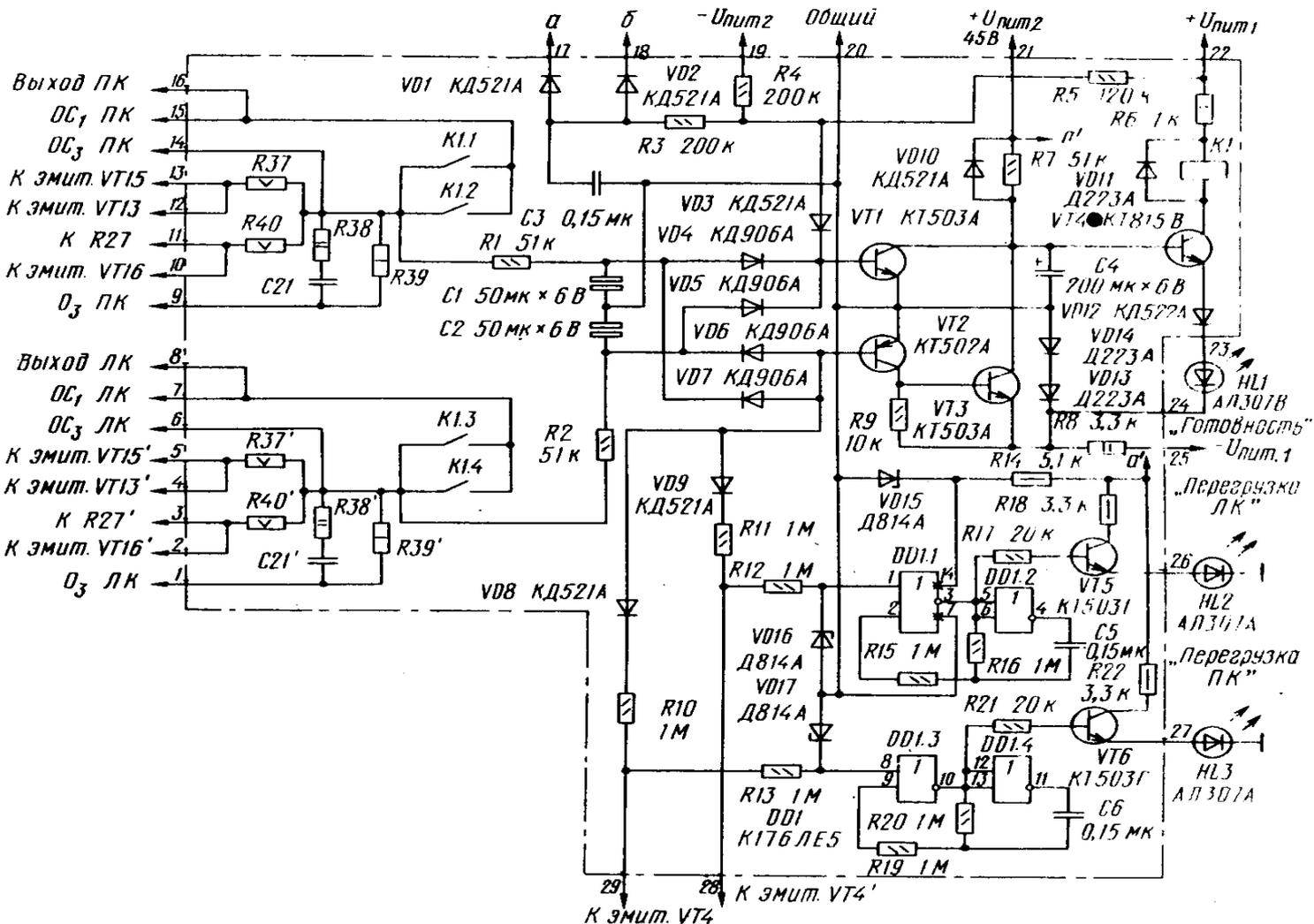


усилителя, в то время как нагрузка Rn подключена к нему через контактную группу K1.1 реле защиты АС от аномального потенциала на выходе УМЗЧ. То есть нелинейный элемент (контактная группа) оказывается вне петли ООС, в результате чего проявление его нелинейности максимально. Подключение петли ООС к общей точке контактной группы K1.1 и нагрузки (т. е. охват ее петлей ООС), как показано штриховой линией, в этом случае невозможно, так как в первый момент после включения УМЗЧ контакты K1.1 будут разомкнуты, цепь ООС по постоянному току не замкнута и усилитель не сможет войти в нормальный режим работы. В рассматриваемом УМЗЧ цепь ООС по постоянному току подключена непосредственно к его выходу, а по переменному (резистор R36) — после контактной группы K1.1. В результате нулевой потенциал на выходе УМЗЧ устанавливается независимо от положения контактов, а проявление нелинейности контактной группы K1.1 практически устранено петлей общей ООС по переменному току.

На ОУ DA3 выполнено устройство компенсации сопротивления проводов, соединяющих выход УМЗЧ с АС. Работает оно следующим образом. Протекающий по «земляному» соединительному проводу ток нагрузки создает на нем падение напряжения, которое отдельным тонким проводником подводится к инвертирующему входу удвоителя напряжения на ОУ DA3. При этом напряжение на выходе этого ОУ равно падению напряжения на обоих соединительных проводах (как «земляной», так и «горячий» провода имеют практически одно и то же сопротивление и по ним протекает один и тот же ток), но противоположно по фазе. Это напряжение через резистор дополнительной ООС R35 подается в цепь инвертирующего входа ОУ DA1, суммируясь с сигналом основной ООС, в результате чего напряжение на выходе усилителя увеличивается ровно на падение напряжения на обоих соединительных проводах, чем и обеспечивается компенсация их сопротивления. Такое устройство не нуждается в каком-либо налаживании при замене АС или соединительных проводов и компенсирует не только резистивную, но и реактивную составляющие их полного распределенного сопротивления.

Аналогичные схемные решения применены в ряде престижных УМЗЧ японских фирм «Toshiba» (так называемая «Clean Drive System»), «Kenwood» («Sigma Drive System»), «Akai» («Zero Drive System»).

С целью уменьшения низкочастотных межканальных помех и искажений каждый канал УМЗЧ питается от отдельного нестабилизированного источника. Питающие напряжения зависят от необходимой выходной мощности, сопротивления нагрузки и могут быть установлены без каких-либо изменений схемы в диапазоне от ± 25 до ± 45 В. Требуется только замена реле устройства защиты АС (см. ниже) на более низкоомное. Для выбора питающих напряжений можно воспользоваться формулой $U_{пит} = 5 + \sqrt{2 \cdot P_n \cdot R_n}$, где P_n - номинальная мощность в нагрузке, R_n — номинальное сопротивление АС. Емкость конденсаторов сглаживающего фильтра выпрямителей каждого канала должна быть не менее 2×10000 мкФ при $P_n > 40$ Вт и 2×6000 мкФ при $P_n < 40$ Вт.



На рис. 3 приведена принципиальная схема устройства защиты АС, обеспечивающего задержку подключения АС к выходу УМЗЧ при включении питания и отключение их при срабатывании триггеров защиты усилителя от токовых перегрузок, появлении на выходах аномального постоянного напряжения, снижения любого из четырех постоянных напряжений питания, а также при падении напряжения в сети переменного тока.

При включении питания подключение АС к выходу УМЗЧ задерживает (на 1...2 с) интегрирующая цепь $R7C4$ в цепи базы коммутирующего транзистора $VT4$. Нормальный режим индицирует зеленый светодиод $HL1$.

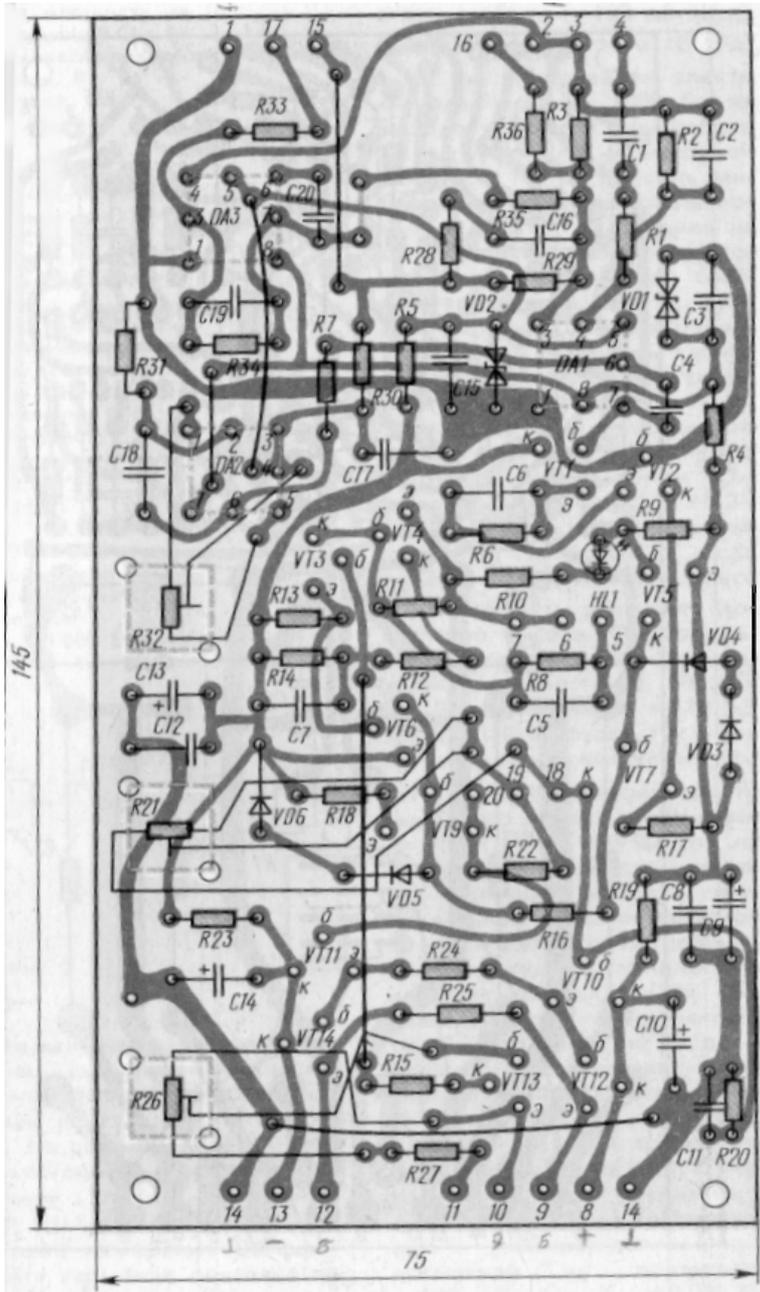
Появившееся на выходе любого канала УМЗЧ аномальное постоянное напряжение положительной полярности через развязывающие диоды $VD4$, $VD5$ поступает на базу транзистора $VT1$, а отрицательной через диоды $VD6$, $VD7$ и инвертор $VT2$ — на базу транзистора $VT3$. При этом соответствующий транзистор ($VT1$ или $VT3$) открывается и база коммутирующего транзистора $VT4$ оказывается соединенной с общим проводом. В результате последний транзистор закрывается и контакты $K1.1$ и $K1.2$ (рис. 1) реле $K1$ отключают АС от УМЗЧ.

При срабатывании триггеров токовой защиты УМЗЧ отрицательное напряжение с их выходов через цепи $R10VD8$ или $R11VD9$ и инвертор $VT2$ поступает на базу транзистора $VT3$, который открывается и соединяет базу коммутирующего транзистора $VT4$ с общим проводом, что, как и в предыдущем случае, влечет за собой срабатывание реле $K1$ и отключение АС от УМЗЧ.

Отрицательное напряжение с выходов триггеров поступает также и на мультивибраторы на микросхеме $DD1$, которые запускаются, обеспечивая прерывистое свечение светодиодов $HL2$ или $HL3$, подключенных к ним через транзисторы $VT5$, $VT6$, что и сигнализирует о срабатывании токовой защиты.

При уменьшении (по модулю) напряжения питания -Упит2 или напряжения сети (пропорциональное ему напряжение вторичной обмотки сетевого трансформатора, выпрямленное диодами VD1 и VD2) изменится (с отрицательного на положительный) потенциал точки соединения резисторов R3, R4, R5. В результате мгновенно откроется транзистор VT1, а вслед за ним закроется транзистор VT4 и реле K1 отключит АС от УМЗЧ. При уменьшении модулей напряжений -Упит1, и +Упит1 обесточивается непосредственно обмотка реле K1, по скольку оно питается от источников этих напряжений соответственно через резисторы R8 и R6. И наконец, при уменьшении напряжения +Упит2 отключение АС от УМЗЧ достигается за счет срабатывания реле K1 в результате падения ниже порогового значения тока базы коммутирующего транзистора VT4, протекающего через соединенную с этим источником питания цепь VD10R7.

Детали и конструкция



Каждый канал усилителя собран на отдельной печатной плате. Чертеж печатной платы одного канала УМЗЧ показан на рис. 4. Транзисторы VT12, VT13 установлены на теплоотводах из листового металла толщиной 0,5...1 мм (латунь, алюминий) площадью 6 см².

Для исключения «наведенных» искажений как дыи из общих выводов печатной платы O1, O2, O3 (рис 1), а также «земляной» провод нагрузки каждого канала необходимо соединить с общей точкой всех четырех конденсаторов сглаживающих фильтров выпрямителей отдельными проводниками, как показано на рис. 5

Резисторы R37 — R40 и конденсатор C21 (см рис. 1), смонтированы на печатной плате устройства защиты АС (рис 6).

Мощные выходные транзисторы VT15, VT16 должны быть установлены на теплоотводы с такой площадью, при которой температура их корпусов в наиболее термонапряженном режиме (или рассеиваемой на одном транзисторе мощности $P_{k \max} = U_{\text{пит}}^2 / (10 * R_n)$) не превышала бы +80 °С. Автор применил теплоотводы с тепловым сопротивлением 1,2 °С/Вт. Транзистор VT8, обеспечивающий термостабилизацию тока покоя, установлен через изолирующую прокладку на теплоотводе транзистора VT15.

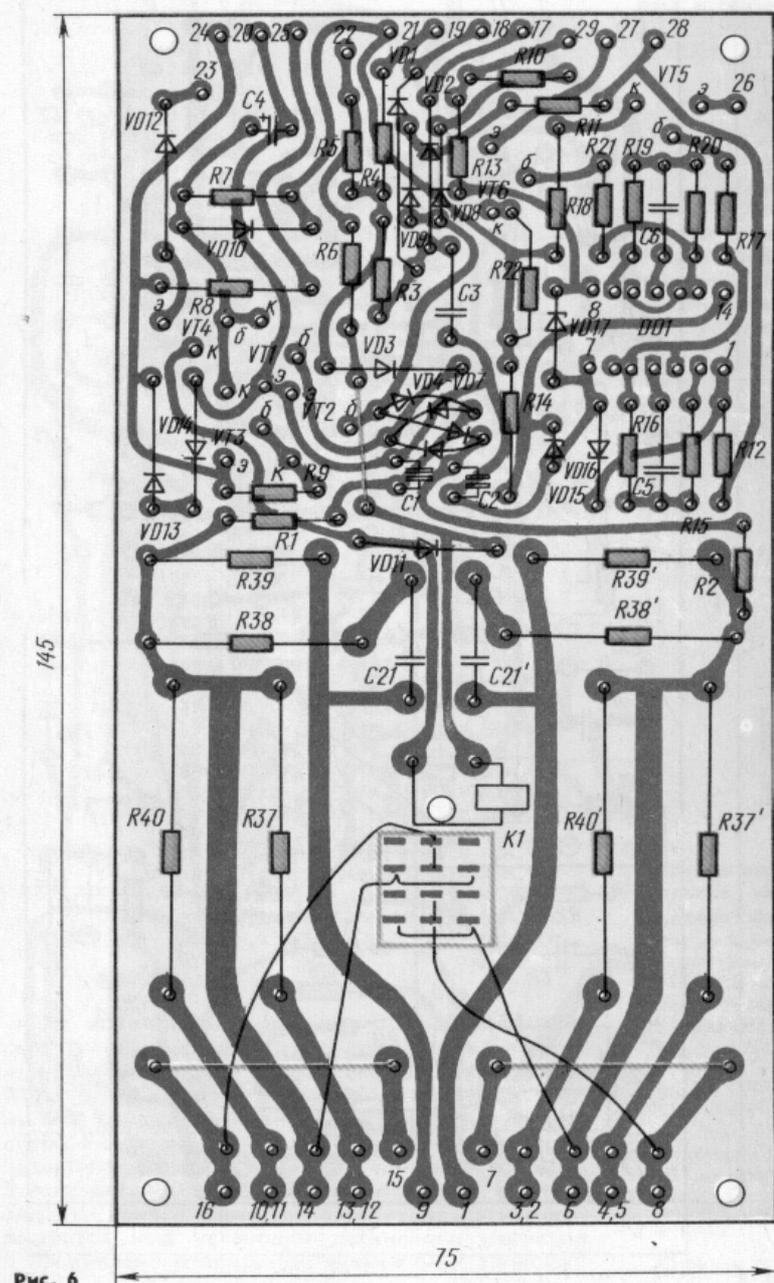


Рис. 6

Вторичные обмотки каждого из сетевых трансформаторов Т1, Т2 (рис 5) должны быть рассчитаны на средний ток $I = \sqrt{2 \cdot P_n \cdot R_n} / \rho$. Для уменьшения магнитных наводок на окружающую УМЗЧ аппаратуру (особенно магнитофоны) сетевые трансформаторы целесообразно выполнить на тороидальных магнитопроводах и расположить их один над другим, подключив первичные обмотки трансформаторов к сети противофазно.

Возможная замена элементов усилителя: ОУ DA2 — К140УД7, К140УД12, К140УД14, К140УД17; DA1 — К574УД1Б, DA3 — К544УД2, К544УД1. Стабилитроны VD1, VD2 — любые маломощные на напряжение 12...14 В. Диоды VD3-VD6 — любые кремниевые маломощные, диоды устройства защиты АС (рис. 3) — кремниевые маломощные с обратным напряжением не менее 50 В. Микросхему DD1 можно заменить на К561ЛЕ5, реле К1 (РЭС-22 РФ4.500.130) — РЭС-6, паспорт РФ0.452.110 или РФ0.452.100.

Отклонение номиналов резисторов R33—R36 УМЗЧ от указанных на схеме не должно превышать $\pm 1\%$, остальных $\pm 10\%$. Подстроечные резисторы R21, R26, R32 — СП5-3. Конденсаторы могут быть КМ-6, К73-9, К73-17. Автор применил К73-11. Отклонения номиналов конденсаторов C2, C4, C6, C16 и C18 от указанных на схеме не должно превышать $\pm 20\%$, остальных - $+80\% \dots -20\%$

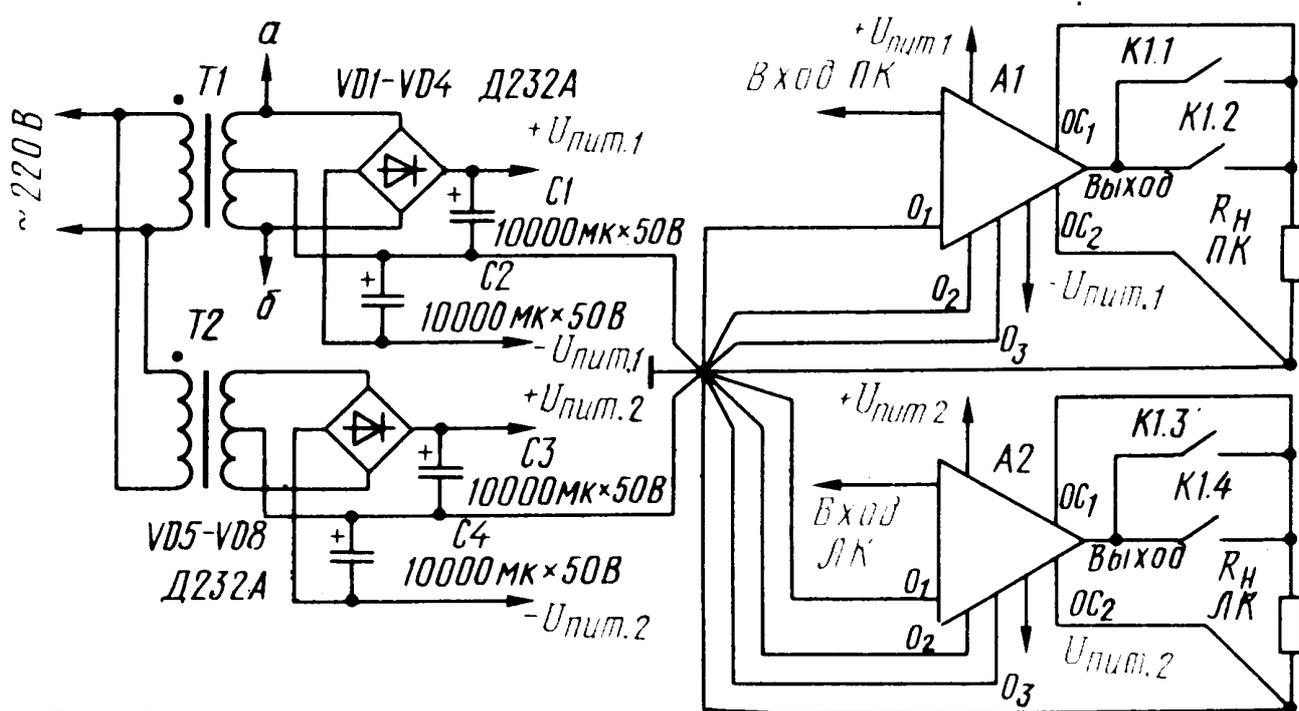


Рис. 5

НАЛАЖИВАНИЕ

Перед налаживанием усилителя отключают нагрузку и временно подключают резистор R36 (ООС по переменному току) к общей точке резисторов R37 и R40. Движок резистора R32 должен при этом находиться в среднем положении, R26 - в крайнем верхнем, R21 - в крайнем правом (по схеме). Вход устройства компенсации на ОУ DA3 (OC2, см. рис. 1) соединяют с общим проводом.

Подав на УМЗЧ питающие напряжения, резистором R21 по падению напряжения на резисторах R37, R40 (т. е. между эмиттерами VT15 и VT16), которое должно быть равным $0,1(R37+R40)$ В, т. е. 66 мВ, устанавливают начальный ток транзисторов выходного каскада равным 100 мА. После этого резистором R32 устанавливают постоянный потенциал на выходе УМЗЧ в пределах $\pm 0,5$ мВ. Если же достичь балансировки нуля резистором R32 не удается, необходимо заменить ОУ DA1 или соединить его выводы 2 и 8 резистором сопротивлением 150... 300 кОм.

В последнюю очередь устанавливают порог срабатывания токовой защиты. Для этого нагружают усилитель резистором сопротивлением 2 Ом, на вход подают синусоидальный сигнал частотой около 1 кГц и увеличивают его амплитуду до тех пор, пока средний потребляемый усилителем ток не достигнет 4,4 А. После этого резистором R26 добиваются срабатывания триггера защиты (о чем сигнализирует загорание светодиода HL1). Две последние операции во избежание перегрева мощных выходных транзисторов необходимо производить оперативно, не более 1 мин.

Устройство защиты АС налаживания не требует, необходимо лишь проверить его работоспособность, подавая поочередно напряжения ± 2 В на резисторы R1 или R2 и -Упит1 - на R10 и R11, а также снимая напряжения \pm Упит1 и \pm Упит2 и сетевое, что должно приводить к прекращению свечения светодиода HL1 и размыканию контактов реле K1. Кроме того, при подаче напряжения -Упит1 на резисторы R10 или R11 должны прерывисто светиться светодиоды HL2 или HL3.

Эксплуатация усилителя особенностей не имеет, за исключением устройства компенсации сопротивления проводов на ОУ DA3. Для ее нормальной работы как "горячий", так и "земляной" проводники, соединяющие УМЗЧ с АС, должны быть однотипными и равной длины, а вход устройства компенсации (OC2) должен быть подключен тонким проводником (например, ПЭДШО 0,12) к общей точке АС и "земляного" проводника непосредственно на зажиме АС. При необходимости устройство компенсации может быть отключено: для этого достаточно его вход оставить свободным или заземлить. В этом случае оно не будет оказывать на работу УМЗЧ никакого воздействия.

Параметры, полученные автором при испытаниях его экземпляра УМЗЧ при работе от источников питания напряжением Упит= ± 45 В, таковы:

Чувствительность, В	0,8
Входное сопротивление, кОм	34
Номинальная выходная мощность на нагрузке 8 Ом, Вт	100
Динамическая мощность, Вт, на нагрузке, Ом: 4; 2; 1	200; 200; 100
Скорость изменения выходного напряжения (без цепи R1C2), В/мкс	18
Время установления (без цепи R1C2), мкс	4
Полоса эффективно усиливаемых частот, Гц, по уровню 0...-0.5 дБ	5...35 000
Коэффициент демпфирования в диапазоне частот 5...35 000 Гц, более	1000

Все испытания, кроме измерения выходной мощности, проводились на эквивалент нагрузки по стандарту IHF (см. рис. 3 в статье автора "К вопросу об оценке нелинейных искажений УМЗЧ" в "Радио", 1989. No5, с. 54-57).

Схема измерения коэффициента гармоник показана на рис. 7. Коэффициент гармоник измерялся спектроанализатором СК4-56 (PS1), в качестве источника сигнала использовался генератор ГЗ-118 (G1). Для увеличения разрешающей способности измерений первая гармоника сигнала с выхода УМЗЧ подавлялась на 60...62 дБ режекторным фильтром EX2.067.075 (Z1), входящим в комплект поверки генератора ГЗ-118. Точность таких измерений определяется собственным коэффициентом гармоник генератора. У прибора, которым пользовался автор, уровень гармоник не превышал -110дБ(Кг<0,00032 %) на частоте 1 кГц и -100 дБ (Кг<0,001 %) на частоте 10 кГц.

На рис. 8 приведен спектр сигнала частотой 1000 Гц на выходе усилителя при работе на нагрузку IHF и выходной мощности 100 Вт. Уровень наиболее значимой второй гармоники с учетом подавления на 60 дБ первой гармоники

составляет -105 дБ, что соответствует $K_{г2}=0,00056$ %. Уровень гармоник высших порядков сравним с уровнем гармоник генератора. Спектр сигнала, показанный на рис. 9, соответствует тем же условиям, но при работе на резистивную нагрузку сопротивлением 1 Ом при выходной мощности УМЗЧ 50 Вт. В этом случае уровень второй гармоники выше -92 дБ ($K_{г2}= 0,0025$ %). но все же линейность усилителя достаточно высока. Относительный уровень гармоник при выходной мощности 30, 10, 1 и 0,1 Вт лежит ниже -110 дБ как для ИНФ нагрузки, так и для нагрузки сопротивлением 1 Ом.

На рис. 10 показан спектр выходного сигнала УМЗЧ вблизи 10 кГц при его работе на нагрузку ИНФ и входном сигнале, состоящем из двух синусоидальных сигналов частотой 10 кГц и 250 Гц с соотношением амплитуд 1:4. Мощность в нагрузке составляет 100 Вт, спектральная составляющая 10 кГц подавлена на 62 дБ, а ближайшие составляющие интермодуляционных искажений (9750 и 10250 Гц) подавлены из-за неидеальной кривой режекции фильтра на 9 дБ. С учетом этого легко убедиться в том, что уровень составляющих интермодуляционных искажений не превышает -100 дБ, или $K_{им}<0,001$ %, т. е. совпадает с уровнем искажений генератора ГЗ-118 на частоте 10 кГц.

На рис. 11 а, б и в приведены осциллограммы сигнала на входе (верхние осциллограммы) и выходе усилителя при частотах повторения напряжения прямоугольной формы соответственно 20 кГц, 1 кГц и 50 Гц. Первая из них свидетельствует о апериодической ("гладкой") переходной характеристике усилителя, а последняя - незначительном (<5 %) спаде вершины низкочастотного импульса.

Осциллограммы, показанные на рис. 12 и 13, иллюстрируют форму напряжения на зажимах АС (нижние части осциллограмм) сопротивлением соответственно 8 и 4 Ом при входном сигнале прямоугольной формы частотой повторения 50 Гц (верхние осциллограммы). Для имитации нагрузки 8 Ом использовались АС SB-3170 японской фирмы "Technics", а для имитации нагрузки 4 Ом - эти же АС, включенные параллельно. УМЗЧ соединен с АС проводниками сечением 0,5 мм², длиной 20 м. Устройство компенсации сопротивления проводов отключено (ОС, на рис. 1).

Для сравнения на рис. 14 изображена осциллограмма сигнала в тех же условиях, но с включенным устройством компенсации. В последнем случае форма напряжения на зажимах АС практически не отличается от изображенного на рис. 11 в, что свидетельствует о высокой эффективности компенсации.

Дополнения и изменения

О предварительном усилителе для совместной работы с УМЗЧ.

В качестве предварительного усилителя автор использует электронные регуляторы громкости и тембра, описанные в книге Сухова Н. Н., Колосова В. В. и Чупакова А. Г. "Техника высококачественного звуковоспроизведения" (Киев, "Тэхника", 1985).

Об относительном уровне шумов УМЗЧ.

Относительный уровень шумов УМЗЧ, измеренный с взвешивающим фильтром МЭК-А, не превышает -112 дБ.

Необходим ли теплоотвод транзистору VT14?

Да, необходим. На теплоотводе площадью около 6 см² установлены транзисторы VT12 и VT14 (а не VT12 и VT13, как сказано в статье).

Надо ли подбирать транзисторы для работы в УМЗЧ?

Нет, не надо. Приведенные в статье характеристики УМЗЧ обеспечены схемотехнически. Единственное требование к транзисторам (как, впрочем, и ко всем другим элементам) - соответствие параметров нормам технических условий.

Замена транзисторов при пониженном напряжении питания.

При напряжении питания +30 и -30 В в УМЗЧ можно использовать транзисторы КТ502А (VT1), КТ503А (VT2), КТ502Д (VT4, VT7, VT11), КТ503Д (VT3, VT9, VT10), КТ817В (VT12), КТ814В (VT13), КТ816В (VT14), КТ819ВМ (VT15) и КТ818ВМ (VT16).

Замена неполярных оксидных конденсаторов в устройстве защиты.

Каждый из неполярных конденсаторов С1, С2 можно заменить двумя полярными оксидными конденсаторами любого типа емкостью 68...150 мкФ (номинальное напряжение - не менее 15 В). Конденсаторы включают последовательно, соединив друг с другом выводы положительных или отрицательных обкладок. Для создания поляризирующего напряжения объединенные выводы конденсаторов через резистор сопротивлением 1 МОм соединяют в первом случае с цепью питания ОУ +13 В (точка а), во втором - с цепью -13В (точка б).

Замена стабилитрона.

Вместо двуханодного стабилитрона КС213Б можно использовать практически любой одноанодный маломощный стабилитрон с напряжением стабилизации в пределах 11...14 В.

Допускаемое отклонение сопротивления резисторов R37, R40.

Сопротивление резисторов R37, R40 может быть любым в пределах 0,27...0,39 Ом. Автор применил резисторы С5-16МВ-5 Вт. При отсутствии таковых можно изготовить резисторы из провода с высоким удельным сопротивлением (например, константа) диаметром 0,45...0,5 мм.

Чем обусловлено применение в источнике питания УМЗЧ двух сетевых трансформаторов?

Применение двух (для каждого канала УМЗЧ своего) сетевых трансформаторов позволило предотвратить межканальные интермодуляционные искажения на низших частотах, ослабить (за счет взаимной компенсации полей рассеивания) наводки на чувствительные цепи бытовой радиоаппаратуры, расположенной поблизости от УМЗЧ. Кроме того, два относительно небольших трансформатора проще разместить в корпусе усилителя, чем один больших размеров.

Использовать вместо двух трансформаторов один (более мощный) можно, однако это потребует введения в источник питания мощных стабилизаторов напряжения.

Намоточные данные сетевых трансформаторов.

Каждый из сетевых трансформаторов намотан на тороидальном магнитопроводе внешним диаметром 116, внутренним 60 и высотой 20 мм из стальной (Э350) ленты толщиной 0,1 мм. Первичная обмотка содержит 2100 витков провода ПЭЛШО 0,47, вторичная - 2х350 витков ПЭЛШО 1,25 (для обеспечения симметрии по напряжению и сопротивлению намотана в два провода; средний вывод получен соединением вывода начала одной половины обмотки с выводом конца другой).

При использовании других магнитопроводов необходимо учесть, что напряжение холостого хода вторичной обмотки должно быть равно 2х35 В, а сопротивление постоянному току - не более 1,2 Ом (допустимое различие сопротивлений половин обмотки - не более 0,01 Ом). Номинальный ток нагрузки - 1,6 А.

О замене транзисторов серий КТ502 и КТ503.

При напряжениях питания УМЗЧ +45 и -45 В вместо транзисторов серий КТ502 и КТ503 можно применить другие кремниевые транзисторы с максимально допустимыми напряжением $U_{кэ} >> 90$ В, током коллектора $I_{к} >> 30$ мА и рассеиваемой мощностью $P_{к} >> 300$ мВт. Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ должен быть в пределах 40... 120, емкость коллекторного перехода $S_{к} << 20$ пф, граничная частота $f_{гр} >> 5$ МГц. Такими параметрами обладают, например, транзисторы 2Т504А, 2Т505А. В крайнем случае возможно применение транзисторов КТ814Г и КТ815Г, отобранных по параметру $h_{21э} >> 40$.

При напряжениях питания +25 и -25 В вместо КТ502Е и КТ503Е можно использовать транзисторы этих серий с индексами В-Д.

Замена ОУ в устройстве компенсации сопротивления проводов.

Кроме указанных на схеме и в тексте статьи, в устройстве компенсации сопротивления проводов, соединяющих УМЗЧ с АС, можно применить ОУ К140УД8А, а также (с изменениями в печатной плате) К574УД2А.

Возможно ли снижение питающих напряжений до +20 и -20 В ?

Возможно. В этом случае сопротивление резисторов R4 и R5 УМЗЧ целесообразно уменьшить до 510 Ом, резистора R6 - до 470 Ом, резистора R16 - до 22 кОм. Резистор R6 в устройстве защиты следует исключить, а сопротивление резисторов R8, R18 и R22 снизить до 1,5 кОм.

Можно ли использовать в выходном каскаде транзисторы серий КТ825 и КТ827 ?

По сравнению с КТ816 - КТ819 транзисторы серий КТ825 и КТ827 обладают худшими частотными свойствами, поэтому применять их в УМЗЧ высокой верности нельзя.

О компоновке и монтаже УМЗЧ.

Благодаря блокировочным элементам в цепях питания и устройству компенсации сопротивления проводов на ОУ DA3, УМЗЧ не критичен к взаимному расположению узлов и длине соединяющих их проводов. Необходимо только выполнить рекомендации, приведенные в разделе "Детали и конструкция" ("Радио", 1989, №7, с. 57. 58), особенно в части схемы соединений, изображенной на рис. 5 в статье. Недопустимо объединение нескольких соединительных проводов, каждую из обозначенных на схеме цепей необходимо соединить с определенной (какой конкретно - неважно, но обязательно одной и той же) точкой своим отдельным проводом.

О питании УМЗЧ от импульсного источника.

УМЗЧ можно питать как от традиционного, так и от импульсного источника, например, описанного в статье В.

Жучкова, О. Зубова и И. Радутного "Блок питания УМЗЧ" ("Радио, 1987, №1. с. 35--37), соответствующим образом изменив намоточные данные обмотки 3-4-5 его трансформатора ТЗ (для стереоусилителя потребуются два таких блока). Необходимо иметь в виду, что хотя средний ток и не превышает 1,6 А, импульсный блок питания должен быть способен кратковременно отдавать в нагрузку ток до 12 А, поэтому емкость оксидных конденсаторов С11, С13 сглаживающих фильтров должна быть не менее 10000 мкФ.

Об использовании устройств поддержания нулевого потенциала на выходе и компенсации сопротивления проводов в других УМЗЧ.

Из-за особенностей регулирования смещения "нуля" ОУ серии К574УД1 (КР574УД1) устройство поддержания нулевого потенциала на выходе можно применить только в УМЗЧ, входной каскад которого выполнен на одном из этих ОУ. Практически для этого достаточно перенести в УМЗЧ каскад на ОУ DA2 (см. рис. 1 в статье) вместе с резистором R7. Устройство компенсации сопротивления проводов, соединяющих УМЗЧ с АС, можно использовать в любом неинвертирующем УМЗЧ. Для этого в него достаточно встроить каскад на ОУ DA3 и подключить резистор R35 к инвертирующему входу входного ОУ или дифференциального каскада, на который (вход) подается сигнал основной ООС по переменному току (см. функциональную схему на рис). Сопротивление резистора R35 не должно отличаться от сопротивления резистора R_{оос2} более чем на $\pm 1\%$.

О трансформаторах питания на стандартизированных магнитопроводах.

Из стандартизированных магнитопроводов для трансформаторов питания можно использовать кольцевой магнитопровод ОЛ50/80-50. В этом случае первичная (сетевая) обмотка должна содержать 1020 витков провода ПЭВ-2 0,4, а вторичная - 2x160 витков ПЭВ-2 1,1.

Как устранить самовозбуждение каскада на ОУ DA3?

Самовозбуждение каскада на ОУ DA3 можно устранить включением безындукционных керамических конденсаторов емкостью 0,033...0,047 мкФ между выводами питания (5 и 8) и печатным проводником общего провода или исключением конденсатора С 19.

Какова допустимая емкость нагрузки?

УМЗЧ устойчиво работает при емкости нагрузки до 0,15 мкФ (емкость АС обычно на порядок меньше). Если же емкость нагрузки превышает указанное значение, между АС и выходом УМЗЧ необходимо включить дроссель с индуктивностью 3...5 мкГн.

Об оксидных конденсаторах, примененных в УМЗЧ.

Конденсаторы С9, С13 - К50-20; С10, С14-К52-11; С1, С2 в устройстве защиты - К50-6 (неполярные).

Замена диодной матрицы КД906А.

Диодную матрицу КД906А можно заменить диодами КД522А.

Температурный режим микросхем DA1 и DA3.

В нормально работающем УМЗЧ каждый из ОУ К574УД1А (DA1, DA3) рассеивает мощность около 250 мВт, поэтому температура их корпусов может достигать +45... 50 °С.

Об увеличении входного сопротивления УМЗЧ.

Входное сопротивление (R_{вх}) усилителя можно повысить увеличением (до нужного значения R_{вх}) сопротивления резистора R2. Однако, поскольку через этот резистор питается неинвертирующий вход ОУ DA1, увеличивать его свыше 220 кОм не следует, иначе может возрасти уровень собственных шумов УМЗЧ.

Как устранить выбросы колебательного характера, наблюдаемые на осциллограмме выходного напряжения при испытании УМЗЧ прямоугольными импульсами?

Подобная реакция УМЗЧ на прямоугольные импульсы может быть вызвана чрезмерно большой емкостью нагрузки или слишком большим петлевым усилением, которое, в свою очередь, может быть обусловлено недостаточной коррекцией ОУ DA1, применением более высокочастотных транзисторов или экземпляров с большим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$. Для устранения указанных искажений необходимо увеличить емкость конденсатора С 11 (см. рис. 1 в статье).

Литература

1. Wiederhold M. Neuarfige Konzeption fur einen Hi-Fi - Leistungsverstärker.- Radio Fernseh-elektronik, 1977, №14, S. 459- 462, 467.
2. Зуев П. Усилитель с многопетлевой ООС.-Радио, 1984, №11, с. 29-32.
3. Патент ФРГ №3107799, МКИ H04R 3/00, публ. 30.05.85.
4. Патент США №4441085, МКИ H03F 1/34, публ. 03.04.84.

upgrade: (из конференции на сайте журнала радио)

УМЗЧ ВВ: Wiederhold-Зуев-Сухов-Корзинин

Написал [Редакция](#) Friday, 20 August 1999, at 4:51 p.m., в ответ на [УМЗЧ ВВ г.Сухова и предложения г.Корзинина](#), написанное [tibra](#) Thursday, 19 August 1999, at 4:16 p.m.

История схемотехники усилителя, обычно именуемого УМЗЧ ВВ, началась в 1977 г., когда в журнале "Radio Fernsehen Elektronik" (№14, s. 459-462, 467) была опубликована статья за подписью М. Wiederhold (возможно, псевдоним). Схемные решения, описанные в этой статье, позднее были использованы многими конструкторами.

Следующий этап связан с публикацией в журнале "Радио" (1984, №11, с. 29-32) статьи П. Зуева "Усилитель с многопетлевой ООС".

В 1989 году, спустя 5 лет после публикации статьи Зуева и 12 лет спустя публикации статьи Видерхолда, "Радио" печатает статью Н. Сухова "УМЗЧ высокой верности" ("Радио", 1989, №6, с. 55-57 и №7, с. 57-61). В описанной конструкции в тракте усиления использованы и усовершенствованы схемные решения, предложенные Видерхолдом и Зуевым. Желающие могут сами сравнить принципиальные схемы упомянутых усилителей, сличить их структуру и схемотехнику, отметить сходство и различия. В УМЗЧ ВВ введен также каскад компенсации сопротивления проводов, соединяющих выход УМЗЧ и АС, схема которого позаимствована из патента ФРГ №3107799, МКИ H04R 3/00, публ. 30.05.85. Компенсатор сопротивления проводов (как, например, и УМЗЧ с отрицательным выходным сопротивлением) в дальнейшем не нашел широкого распространения ни в СССР, ни за рубежом. Высокие заявленные характеристики и положительные субъективные оценки снискали УМЗЧ ВВ заслуженную популярность.

В конце 1995 г. ("Радио" №11 и №12) и в начале 1996 г. ("Радио", 1996, №1, с. 22-24) появилась обзорная статья радиолюбителя из Магнитогорска М. Корзинина "Схемотехника усилителей мощности звуковой частоты высокой верности", в которой изложен взгляд автора на схемотехнику УМЗЧ и его предложения по их совершенствованию. Среди прочего М. Корзинин внес предложения по совершенствованию УМЗЧ ВВ, которые сводились, в основном, к разгрузке ОУ (за счет замены каскада на биполярных транзисторах каскадом на мощном МОП транзисторе) и использованию в выходном и предвыходном каскадах более совершенных транзисторов. Применение МОП транзистора не все считают удачным, решая одни проблемы такой каскад порождает другие. Кроме того, его включение описано в статье не очень подробно, у недостаточно опытных радиолюбителей возникали проблемы, сомнения в работоспособности каскада. Пожалуй, наиболее интересны предложенные Корзининым замены транзисторов: КТ864 и КТ865 в выходном каскаде (вместо КТ818 и КТ819) и КТ850 и КТ851 в предвыходном (вместо КТ816 и КТ817) с исключением цепи коррекции С6R6.

Отметим, что анонсированная Н. Суховым модернизация УМЗЧ ВВ включает в себя (если судить по его заявлениям) именно такую замену транзисторов.

Уместно упомянуть, что анализ существующих течений в технике звуковоспроизведения позволяет предположить необходимость более радикальных перемен и в схемотехнике, и в принципиальных подходах. Это подтвердили и последние выставки "Российский Hi-End".

Те, кого интересуют подробности, или накопились вопросы и предложения по затронутым проблемам, могут обратиться в отдел звукозаписи редакции по адресу audio@radio.ru, мы постараемся ответить каждому индивидуально.

Редакция.