

УМЗЧ с параллельным каналом и максимально глубокой ООС

А. ЛИТАВРИН, г. Березовский Кемеровской обл.

В этой статье автор описывает УМЗЧ, упрощенный по сравнению с его ранее опубликованным в журнале вариантом ("Радио", 2004, № 3, с. 18–20; № 4, с. 19–21, 32), в котором использованы принципы параллельных каналов в быстродействующих прецизионных усилителях с многопетлевой ООС. Усилитель мощностью 120 Вт выполнен с использованием мощных полевых транзисторов в выходном каскаде, где их параллельное включение способствует повышению эксплуатационной надежности.

"Совершенство достигается не тогда, когда нечего добавить, а когда нечего убрать."

Антуан де Сент-Экзюпери

Эта статья продолжает тему Многоканальных Усилительных Структур (МКУС) в усилителях мощности ЗЧ, поднятую в публикациях [1, 2]. Там же обоснованы минимальные требования, предъявляемые к УМЗЧ. Из них наиболее важные — это крайне малое время реакции* петли ООС (ВРП ООС) и глубокая (80...100 дБ) стопроцентная ООС на ВЧ за пределами полосы рабочих частот. Такие параметры обеспечивают прецизионность в широкой полосе частот и большой запас по фазе в петле ООС, высокие перегрузочные характеристики каскадов УМЗЧ (на ВЧ), отличное качество звукового сигнала. Реализовать их возможно только на основе МКУС.

В настоящей статье рассмотрены обоснования и целесообразность применения максимально упрощенных версий выходных каскадов УМЗЧ.

Для начала отметим, что ныне существует относительно много популярных статей, где обоснованы различные структуры и схемотехника УМЗЧ. Как правило, подобные публикации не содержат грубых ошибок, однако в целом чего-либо нового найти в них очень сложно. Поводом для негативной оценки автором таких публикаций служит весьма поверхностный анализ причин некорректной работы УМЗЧ.

Рассмотрим различие и сходство в действии общей и местной ООС. На первый взгляд, они имеют разные определения: общая ООС охватывает весь усилитель, а местная — каскад или группу каскадов. Однако ключевым фактором этих различий следует считать разное ВРП ООС. Именно крайне малым ВРП ООС и обусловлено высокое качество действия местной (нередко стопроцентной) ООС в отдельных усилительных каскадах, например, на транзисторах в схеме включения с общей базой (ОБ) или с общим коллектором (ОК); это всецело подтверждается практикой. Однако главный недостаток местной ООС — небольшой запас усиления внутри петли. У общей ООС этого недостатка нет, и основное требование к ней — минимизация ВРП ООС [1, 2].

* Обычно пользуются термином "время установления", характеризующим быстродействие усилителя. Время задержки зависит от комплексных проводимостей транзисторов и уровня сигнала (прим. ред.).

Какой из этого сравнения следует вывод? Необходимо максимально использовать каскады с местной (как правило, стопроцентной) ООС и причем охваченные глубокой (или крайне глубокой) общей стопроцентной ООС на ВЧ — вне полосы рабочих частот. Следует подчеркнуть, что каких-либо технических отличий общей и местной ООС не существует, если ВРП ООС крайне малое.

Весьма привлекательно здесь выглядит структура, где выходной каскад максимально упрощен. Улучшение относительно линейных характеристик подобных выходных каскадов следует обеспечивать посредством дополнительных усилителей (ОУ) и глубокой (крайне глубокой) ООС.

Сравним структуры каскадов распространенных схем УМЗЧ. Так, многим радиолюбителям известна структура УМЗЧ, где управление выходным каскадом осуществляется по цепям питания ОУ [3, 4]. Нужно отметить, что во времени публикации эти усилители отличались от прочих относительно небольшим ВРП ООС, близким ко времени задержки самого ОУ. Однако подобные усилители имеют ряд "врожденных" дефектов, из которых наиболее существенный связан с большим уровнем ВЧ пульсаций (искажений) в цепях питания ОУ. Безусловно, часть этих помех проникает и во входные цепи ОУ, которые могут не компенсироваться общей ООС.

Одна из наиболее популярных структур выходного каскада УМЗЧ содержит генератор тока, управляющий мощным (выходным) повторителем — эмиттерным или истоковым. Такая структура уже давно стала классикой схемотехники УМЗЧ и служит основой для многих УМЗЧ, описанных, например, в [1, 2, 5, 6]. Однако некоторые УМЗЧ [5, 6] (и их клоны) относительно сложны и имеют ряд недостатков, что связано с большим числом последовательных каскадов усиления, а также отсутствием стопроцентной ООС на ВЧ. Вариант УМЗЧ с МКУС [2] выгодно отличается от этих версий, так как обладает крайне малым ВРП ООС и глубокой стопроцентной ООС на ВЧ. Для высоких частот выходной каскад УМЗЧ реализован на одиночном полевом транзисторе со стопроцентной местной ООС.

Итак, данный усилитель [2] представляет собой оптимальную, причем

На общей плате устройства, собранного по схеме рис. 1, 2, вместо резисторов R3 и R5 установлены перемычки, так как их функции выполняет выходное сопротивление БУ, примерно равное 830 Ом. При этом сопротивления резисторов R4 и R6 уточняют по минимуму проникновения помех и наводок в УМЗЧ ААС.

Сопротивление резистора R9 уточняют по надежному срабатыванию реле К1, К2 при колебаниях напряжения питания на выходе выпрямителя.

При эксплуатации выносной двухканальный регулятор громкости, располагаемый в зоне прослушивания, оказывается достаточно удобным, немного уступая беспроводному регулированию усиления через ПДУ. Длину кабелей подключения к источникам сигнала лучше ограничить 1 м, а каждого из кабелей к ААС — 10...20 м. Для этой цели вполне пригодны кабели КММ2х0,12 или аналогичные импортные с малой погонной емкостью.

ЛИТЕРАТУРА

- Кулиш М. Линеаризация каскадов усиления напряжения без ООС. — Радио, 2005, № 12, с. 18–19.
- Конденсаторы. Справочник. — М.: Радио и связь, 1993.

Редактор — А. Соколов, графика — Ю. Андреев

МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Условия см. в "Радио", 2007, № 2, с. 11

Для Вас, радиолюбители!

РАДИОКОНСТРУКТОРЫ всех направлений. Корпусы для РЭА. Радиоэлементы, монтажный инструмент и материалы, литература, готовые изделия. IBM-комплектующие.

От Вас — оплаченный конверт для бесплатного каталога.

426072, г. Ижевск, а/я 1333 РТЦ "Прометей".
www.rtc-prometej.narod.ru.
Тел./факс **(3412) 36-04-86,**
тел. **22-60-07.**

* * *

ИЗГОТОВИТЕЛЬ ПРЕДЛАГАЕТ:

— трансляционные усилители серии РУШ;

— громкоговорители: настенные, потолочные, рупорные.

Подробности на **www.ruston.ru**

Тел. (495) 942-79-17.

E-mail: **sale@ruston.ru.**

* * *

Весь спектр радиолюбительских наборов!

Каталог формат А4, 104 стр. — 50 руб. без учета почтовых расходов.

По заявкам школьных, детских учреждений и библиотек — **БЕСПЛАТНО.**
107113, г. Москва, а/я 10 "Посылтор". Тел. (495) 304-72-31.

* * *

Набор резисторов: 168-номиналов по 20 шт. = 380 руб.

Доставка наложенным платежом — www.ekits.ru

максимально упрощенную классическую структуру УМЗЧ (генератор тока, управляющий мощным повторителем). Понятно, что такая оптимальность тесно связана с применением в выходном каскаде мощных полевых транзисторов, обладающих большим коэффициентом усиления по мощности, а также другими положительными свойствами [2].

Существует еще один аргумент в пользу полевых транзисторов. Так, если 5—10 лет назад комплементарные пары мощных полевых транзисторов были в дефиците, то теперь подобные транзисторы имеются в широкой продаже по доступным ценам.

Надо отметить, что для усилителя [2] (на рис. 1, а показана структура связи его транзисторных каскадов) необходим дополнительный двухполярный источник питания, что обусловлено большим входным напряжением выходного каскада — повторителя напряжения. В сущности, дополнительный источник питания —

функционально избыточный узел; попробуем его исключить. Для этого следует включить транзисторы выходного каскада по схеме общим истоком, дополнив его предвыходным каскадом, как показано на рис. 1, б. Однако такая модификация выходного каскада весьма нелинейна и нестабильна, что связано с отсутствием местной ООС. Как показано на рис. 1, в, введением местной ООС резисторами $R1$, $R2$ и петли частотно-зависимой ООС (через конденсаторы $C1$, $C2$), достигающей на ВЧ 100 %, можно улучшить параметры транзисторного каскада. Введение этой петли ООС приводит к тому, что на частотах выше 1 МГц при уменьшении усиления мощного каскада транзисторы предвыходного каскада приближаются к функции эмиттерного повторителя, достигаемой при условиях, когда напряжения и токи коллекторов этих транзисторов достаточно большие (25 В и 25 мА соответственно), а нагрузка в цепи коллекторов низкоомная.

Полученный вариант выходного каскада по ряду технических параметров может несколько проигрывать в сравнении с версией УМЗЧ [2], но только при равных токах покоя предвыходного каскада (25 мА против 5 мА в [2]) эти усилители по техническим характеристикам можно считать близкими. Несомненным плюсом полученного варианта УМЗЧ следует считать отсутствие дополнительного высоковольтного источника питания.

Итак, получен максимально упрощенный вариант УМЗЧ. Можно утверждать, что такой усилитель представляет золотую середину между многокаскадными УМЗЧ [5, 6] и ламповыми усилителями, ибо обладает их достоинствами при отсутствии недостатков.

Весь спектр требований, предъявляемых к современным высококачественным УМЗЧ, затруднительно обеспечить в относительно простых усилителях. Однако базовые требования, безусловно,

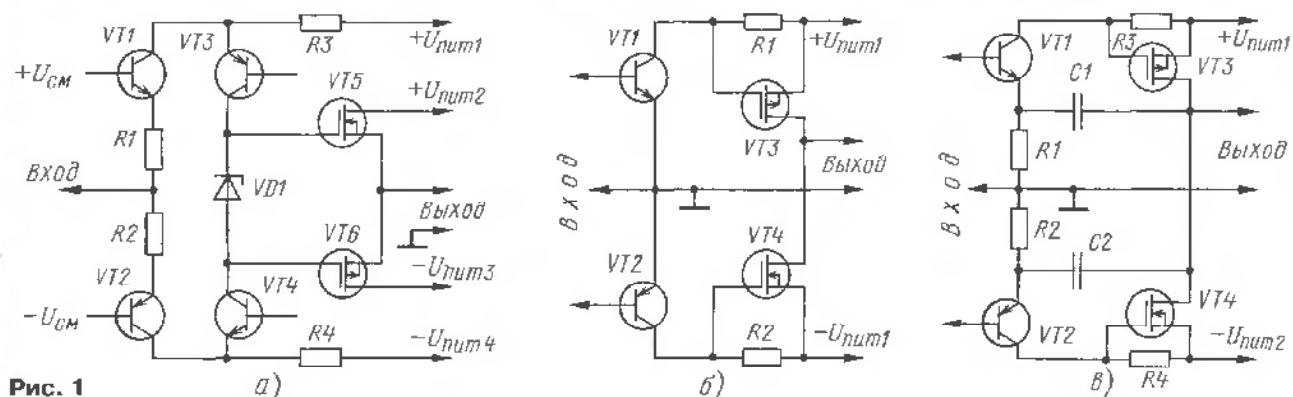


Рис. 1

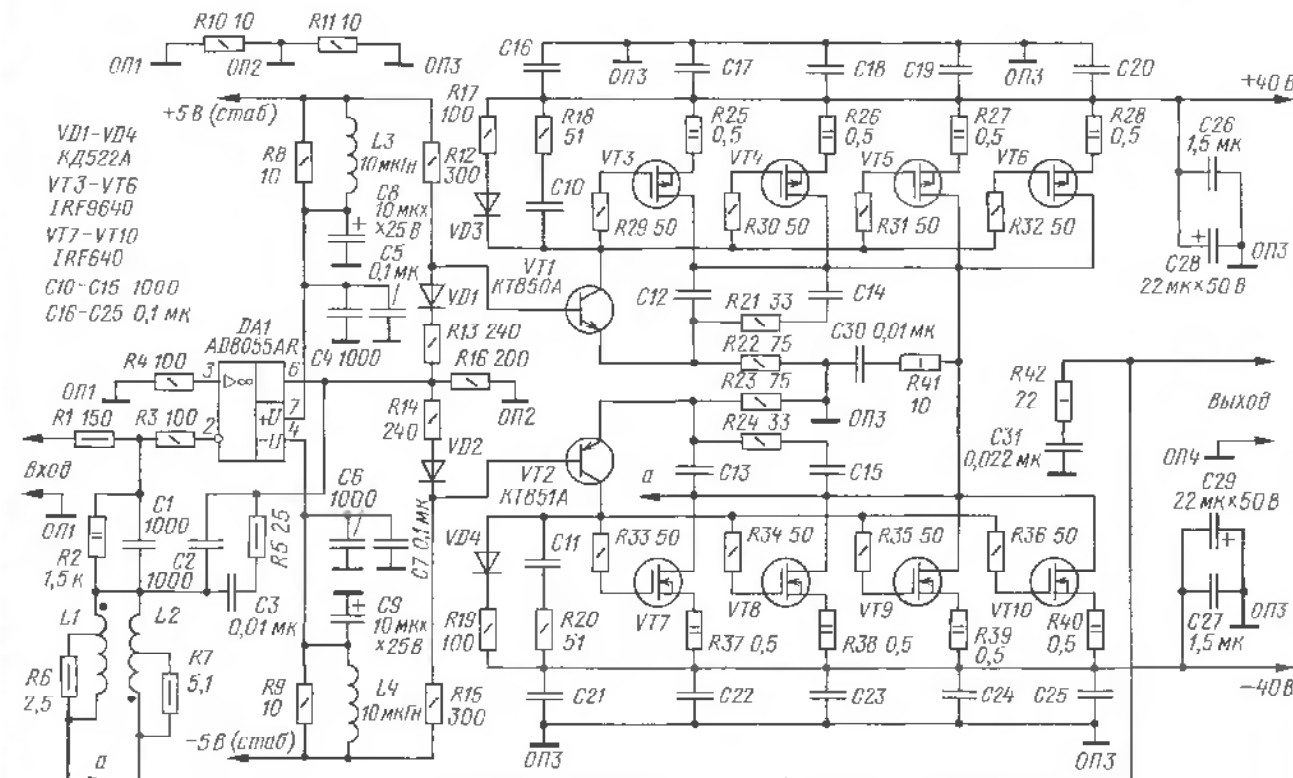


Рис. 2

должны быть учтены в любом УМЗЧ. Кратко повторим их: это крайне малое ВРП ООС и общая глубокая (до 80 дБ) стопроцентная ООС на ВЧ. Именно эти параметры играют ключевую роль в обеспечении высоких динамических характеристик каскадов усилителя. Конечно, эти требования реализовать можно и в УМЗЧ на дискретных элементах, но рациональнее использовать для этого радиочастотные ОУ, допускающие стопроцентную ООС, например AD8055AR [7].

Технические характеристики AD8055AR

Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	300
Частота единичного усиления, МГц	200
Усиление на частотах 40/100 кГц, дБ	70/60
Усиление на частоте 1 МГц, дБ	40
Скорость нарастания, В/мкс	1400
Время задержки (при большом сигнале), нс	2,5
Напряжение шума, нВ/√Гц	6
Напряжение питания, В	+5/-5
Выходное напряжение, В	±3
Максимальный выходной ток, мА	100

ОУ AD8055AR скорректирован до коэффициента усиления с ООС $K = 1$.

Подобные ОУ разработаны для видеосушителей. Как следствие, они обладают большой широкополосностью и высокой линейностью, при значительном уровне сигнала (около 1 В) как на входе, так и на выходе ОУ, малым временем задержки и установления выходного сигнала, высокой скоростью нарастания выходного напряжения и большим усилением, а также обеспечивают достаточный большой выходной ток. Использование радиочастотных ОУ особенно актуально при их применении в УМЗЧ для обеспечения высоких перегрузочных характеристик по выходу.

На основании перечисленных выше доводов и аргументов [1, 2] был разработан вариант усилителя, представленный на рис. 2. Фактически этот усилитель представляет собой вариант УМЗЧ [2] с переработанным (видоизмененным) выходным каскадом; как видно из рис. 3, этот упрощенный УМЗЧ и УМЗЧ из [2] имеют одинаковую структуру

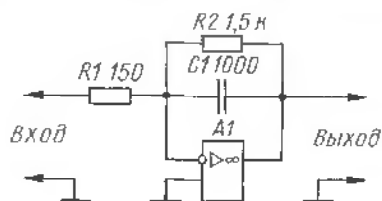


Рис. 3

и типы общей ООС. Вследствие этого подобия оба они имеют близкие параметры: широкую полосу действия ООС (200 МГц), невысокую скорость нарастания выходного напряжения, низкую частоту среза петлеи ООС (узкую полосу пропускания по уровню -3 дБ), а также сходные АЧХ и ФЧХ.

В качестве главного канала УМЗЧ применен представленный ранее радиочастотный ОУ AD8055AR (DA1). Именно главный канал обладает приоритетом на замыкание петли ООС [1] и обеспечивает минимальное ВРП ООС, равное времени задержки этим ОУ. В целом УМЗЧ охвачен на ВЧ глубокой общей стопроцентной ООС через элементы C1, R2.

Выходной каскад УМЗЧ выполнен на мощных полевых транзисторах. Как уже отмечалось в [2], полевые транзисторы относительно нелинейные. То есть каскады, собранные на их основе, создают значительные гармонические искажения, особенно в двухтактном режиме при большой выходной мощности. Это происходит оттого, что напряжение на входе выходного каскада ($U_{вх}$) весьма большое и, как следствие, линейность относительно низкая. Но при малом уровне сигнала, даже если он широкополосный, линейность выходного каскада на полевых транзисторах будет очень высокой. Выходной каскад, построенный по структуре ОЗ—ОИ включения транзисторов, охвачен местной стопроцентной ООС на ВЧ через конденсаторы C12, C13.

В данном УМЗЧ время задержки сигнала выходным каскадом фактически равно времени задержки в предвыходном каскаде, выполненном на транзисторах VT1, VT2; как отмечено выше, на ВЧ эти транзисторы с эмиттеров передают сигнал в выходную цепь непосредственно по параллельному каналу через элементы C12—C15, R21, R24. Этим свойством обеспечиваются небольшое время задержки транзисторными каскадами и достаточно низкие уровни интермодуляции высоких порядков и шумоподобной интермодуляции, что, в свою очередь, при общей глубокой стопроцентной на ВЧ ООС обеспечивает достойные технические характеристики УМЗЧ и высокое качество звуковоспроизведения.

Следует отметить, что выходной каскад этого УМЗЧ (см. рис. 2) создает большее время задержки, чем выходной каскад усилителя—прототипа из [2], так как реализован на биполярных транзисторах (VT1, VT2).

Технические характеристики УМЗЧ

Выходная мощность для $R_{н} = 4 \text{ Ом}$, Вт	120
Коэффициент гармоник для частоты 20 кГц при $U_{вх \text{ ном}} = 20 \text{ В}$, %	0,01
Коэффициент интермодуляции (19/20 кГц) при $U_{вх \text{ ном}} = 20 \text{ В}$, %	0,005
Усиление на частоте 20 кГц (без ООС), дБ	100
Усиление на частоте 1 кГц (без ООС), дБ	100
Коэффициент усиления, дБ	20
Полоса пропускания по уровню -3 дБ (частота среза петлеи ООС), кГц	100
Частота единичного усиления (F_1), МГц	1
ВРП ООС не более, нс	2,5

Рассмотрим свойства каскадов усилителя в разных частотных полосах. На высоких частотах (здесь и далее ВЧ — выше 1 МГц) сигнал, пришедший на вход

УМЗЧ (на резистор R1), поступает через ограничительный резистор R3 на вход ОУ DA1. С выхода ОУ сигнал через согласующее устройство (элементы C2, C3, R5) приходит на выход УМЗЧ (точка соединения L1 и L2); далее через цепь ООС (элементы C1, R2) он возвращается к входу усилителя, замыкая петлю ООС в точке соединения резисторов R1, R2, R3. Также с выхода ОУ сигнал ВЧ поступает и на базы транзисторов (VT1, VT2) комплементарного эмиттерного повторителя. С выхода повторителя сигнал ВЧ через конденсаторы C12, C13 и цепи R21, C14, R24, C15 приходит на выход мощного усилительного каскада, в точку соединения стоков транзисторов VT3—VT10, и далее через катушку L1 приходит на выход УМЗЧ. Индуктивность L1 пропускает низкочастотные сигналы и не пропускает ВЧ сигналы на выход УМЗЧ, чем обеспечивается приоритет главного канала (ОУ DA1) на замыкание петли ООС посредством элементов C2, C3, R5. Катушка индуктивности L1 имеет весьма низкую добротность, что предотвращает колебательные процессы в согласующем устройстве. На низких частотах сигнал дополнительно усиливается каскадами на транзисторах VT3—VT10, включенных по схеме с ОИ. RC-цепи R18C10, R20C11 дополнительно уменьшают уровень ВЧ сигнала на входе мощных выходных транзисторов (VT3—VT10), подчеркивая приоритет главного канала.

Выход мощного усилительного каскада (точка соединения стоков VT3—VT10) на ВЧ относительно высокоомный, что связано с небольшим запасом усиления внутри петли местной ООС. Это приводит к тому, что конденсаторы C12, C13 фактически становятся частью колебательного контура, образованного элементами L1 и C2, C3, R5 согласующего устройства. Для подавления колебательных процессов добротность C12, C13 снижена RC-цепями R21C14, R24C15.

Индуктивность L2 «отсекает» паразитные емкости, а также препятствует проникновению ВЧ помех в выходные каскады УМЗЧ и элементы ООС. Добротность катушки индуктивности L2 понижена шунтом.

Резистивные делители напряжения R12—R15 ослабляют (уменьшают) сигнал на входе выходного каскада, чем увеличивается приоритет главного канала, а также создается необходимое напряжение смещения на базах транзисторов VT1, VT2. Для обеспечения стабильного смещения и соответственно тока покоя выходных транзисторов качество стабилизации напряжения питания ОУ DA1 (2x5 В) должно быть высоким. Сопротивления резисторов в эмиттерах транзисторов VT1, VT2 равны и задают токи коллекторов примерно равными 25...30 мА. Этим током обеспечиваются и напряжения смещения затвор—исток транзисторов VT3—VT10 около 3,4 В, и, соответственно, ток покоя выходного каскада примерно 100 мА. Диоды VD1—VD4 выполняют функции терморезисторов, чем улучшают термостабильность тока покоя выходного каскада.

Результаты измерений

Как сказано выше, структура и номиналы элементов цепи ООС данного УМЗЧ соответствуют эквивалентной схеме усилителя на рис. 3. Соответственно УМЗЧ обладает аналогичными АЧХ и ФЧХ, которые представлены графиками на рис. 4.

На фото рис. 5 представлены осциллограммы на выходе главного канала (на DA1) и на выходе УМЗЧ (измерение в точке соединения L1 и L2) при испытании его синусоидальным или импульсным (меандр) сигналами. Сигнал на выходе DA1 представляет собой усиленную на 70 дБ ошибку внутри петли ООС. На рис. 5,а представлен режим работы (режим большого сигнала) при синусоидальном входном сигнале ($U_{вх} = 2 \text{ В}$, 20 кГц) и соответственно выходном напряжении УМЗЧ 20 В (амплитуда 29 В) без нагрузки. А на рис. 5,б тот же сигнал, но при сопротивлении нагрузки 4 Ом и соответственно выходной мощности 100 Вт, при цене деления соответственно 1 В/дел, 10 В/дел. Из фотографий видно, что без нагрузки усилитель обладает низкими искажениями, но при подключении нагрузки сигнал ошибки (на выходе DA1) становится су-

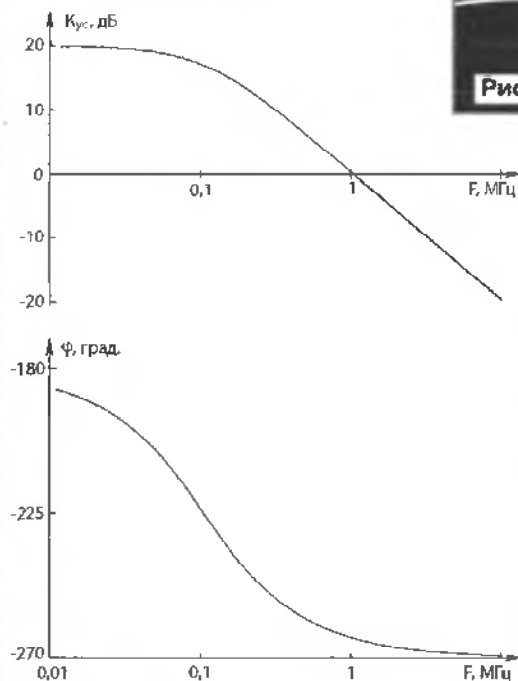


Рис. 4

щественно нелинейным (рис 5,б). Это означает, что на высоких частотах мощные транзисторы в верхнем плече (с каналом р-типа) несколько уступают по параметрам транзисторам, установленным в нижнем плече (с каналом n-типа). Другими словами, можно сказать, что комплементарность выходных транзисторов VT3—VT10 весьма условная.

При снижении выходной мощности или при уменьшении частоты сигнала уровень сигнала ошибки (выход DA1) несколько уменьшается и становится более линейным, плавным.

Переходная характеристика УМЗЧ при входном сигнале "меандр" частотой

50 кГц представлена на рис. 5,в (режим малого сигнала, без нагрузки). Цена деления соответственно 1 В/дел, 5 В/дел.

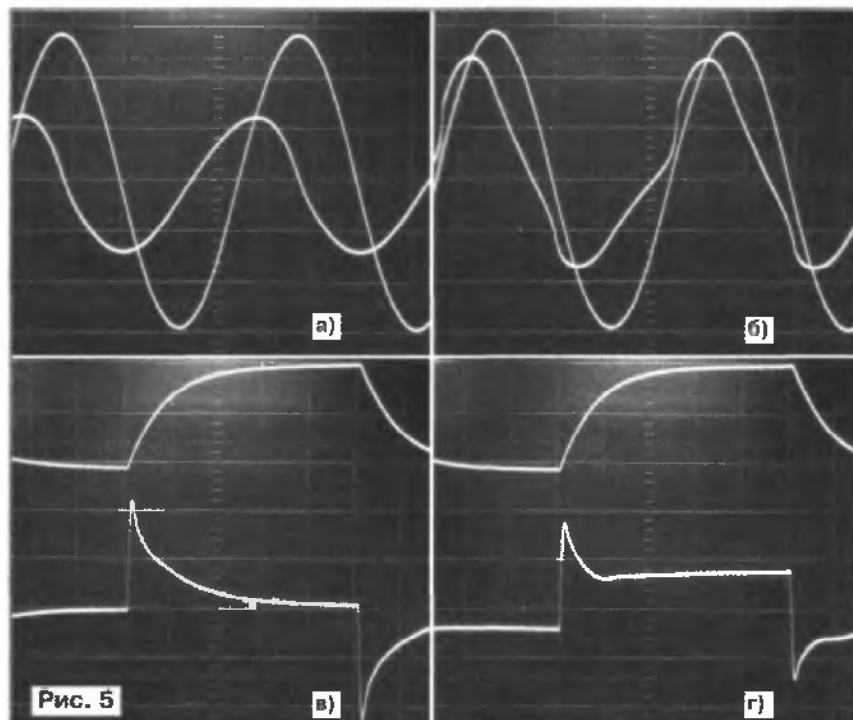


Рис. 5

Из фотографии видно, что сигнал на выходе УМЗЧ (верхний на рисунке) имеет амплитуду около 5 В (размах 10 В) при относительно низкой скорости нарастания выходного напряжения. На рис. 5,г показан тот же сигнал, но для нагрузки сопротивлением 4 Ом при той же цене деления.

Входной импульсный сигнал (меандр) должен быть с малым временем переключения. Достаточно высокое качество меандра обеспечивает выходной формирователь на основе быстродействующей КМОП микросхемы K1554ЛА3 (74АС00), входной формирователь (преобразователь аналогового сигнала в цифровой) здесь целесообразно выполнить на микросхеме K1554ТЛ2 (74АС14).

Анализ работы широкополосного усилителя (УМЗЧ) на частотах выше 5 МГц целесообразно осуществлять с помощью измерителя АЧХ или характеристикиграфа. Из распространенных приборов рекомендуются X1-50, X1-7Б.

О деталях и монтаже

Вследствие очень широкой полосы усиливаемых частот ($F_{звч}^{**} > 400 \text{ МГц}$) следует применять компоненты, предназначенные для поверхностного монтажа. Особенно это важно для элементов R1—R5, C1—C7, DA1. Все эти элементы должны быть расположены очень близко к микросхеме DA1. Причем для увеличения габаритной мощности элементов

** $F_{звч}$ — величина, обратная времени реакции петли ООС.

R1, R2, R5 следует применить несколько резисторов типоразмера 1206, включенных параллельно (R1 — два по 300 Ом,

R2 — десять по 15 кОм, R5 — четыре по 100 Ом). В позициях C1, C2 и C4, C6 следует применить конденсаторы группы МПО (с малым ТКЕ), то же требование относится и к C3 (группа ТКЕ — M1500). Конденсатор C1 осуществляет стопроцентную ООС и соответственно должен быть очень высокого качества, из SMD-элементов рекомендуется конденсатор с ТКЕ группы МПО и номинальным напряжением 500 В, однако они очень дефицитны. Поэтому конденсатор C1 лучше составить из одного-двух SMD-компонентов емкостью 20...50 нФ и второго серий КСО, СГМ емкостью 1000 нФ на напряжение 250—500 В.

Катушки индуктивности L1 и L2 одинаковы и намотаны на каркасе диаметром 14 мм, проводом 0,8...1 мм. Число витков каждой катушки равно 28 (допустимо в интервале 25—30). Катушка индуктивности L2 имеет отвод от середины. Между этим отводом и концом катушки подключен резистор номиналом 5 Ом. Катушка индуктивности L1 имеет отвод от восьмого витка. Между этим отводом и концом катушки подключен резистор номиналом 2,5 Ом. Тем самым, этот резистор шунтирует 3/4 витков катушки, что обеспечивает достаточно эффективное снижение добротности.

В качестве дросселей L3 и L4 желательно применить заводские Д-0,1 индуктивностью 5—20 мкГн. При их отсутствии рекомендуется использовать в качестве каркаса резисторы МЛТ 0,25, намотав на них 20 витков проводом 0,1...0,15 мм.

Особо следует отметить идентичность параметров выходных транзисторов (VT5—VT12). Дело в том, что эти транзисторы обладают достаточно различными напряжениями отсечки и разной крутизной передаточной характери-

стики. Это приводит к тому, что в реально работающем усилителе разброс токов стока транзисторов очень большой. Зачастую возникает ситуация, когда реально работает один транзистор из четырех. Даже относительно большие номиналы сопротивлений в цепях истоков не могут обеспечить примерно равные токи стоков. Поэтому подчеркнем, что для любительского исполнения УМЗЧ с параллельным включением мощных полевых транзисторов целесообразно использовать подобранные транзисторы, что позволяет исключить сопротивления в цепях истоков. Критерий для подбора в параллель предполагает следующий режим: половина напряжения питания — 20 В (0,5×40 В) и половина максимального выходного тока — 4 А (0,5×8 А). При четырех транзисторах в плече получаем ток стока для одного транзистора равным 1 А.

Также стоит обратить внимание читателя на нецелесообразность упрощения выходного каскада уменьшением числа

мощных транзисторов. Усилитель будет работоспособен и в таком варианте, но при этом снизятся надежность и эффективность работы на низкоомную нагрузку: реальные АС с номинальным сопротивлением 4 Ом могут иметь "провал" в импедансе до 3 Ом и менее.

Понятно, что высокие технические характеристики УМЗЧ достигнуты за счет параметров примененного ОУ. На сегодняшний день подобных радиочастотных ОУ, допускающих стопроцентную ООС, разработано достаточно много [8]. В данной версии УМЗЧ не следует использовать ОУ с большим напряжением питания, так как это приведет к увеличению мощности, рассеиваемой ОУ, и соответственно к его перегреву, что снизит надежность.

Особый интерес могут представлять ОУ с достаточно высоким отношением качество/цена при доступных ценах. Например, покупная цена (с НДС) на декабрь 2004 г. для ОУ AD8055AR была 50 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литаврин А. Многоканальное усиление в УМЗЧ с крайне глубокой ООС. — Радио, 2004, № 3, с. 18—20; № 4, с. 19—21.
2. Литаврин А. Простой усилитель или МКУС в УМЗЧ с глубокой стопроцентной ООС. — <<http://ftp.radio.ru/pub/2007/06/mkus>>.
3. Гумелъ Е. Простой высококачественный УМЗЧ. — Радио, 1989, № 1, с. 44—48.
4. Alexander M. A Current Feedback Audio Power Amplifier. 88-th Convention of the Audio Eng. Society, reprint №2902, March 1990.
5. Агеев С. Сверхлинейный УМЗЧ с глубокой ООС. — Радио, 1999, № 10, с. 15—17; № 11, с. 13—16.
6. Сухоя Н. УМЗЧ высокой верности. — Радио, 1989, № 6, с. 55—57; № 7, с. 57—61.
7. Микросхемы серии AD8055. — <<http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CAD8055%2C00.html>>.
8. Быстродействующие усилители (High Speed Amplifiers). — <<http://www.ti.com>>.

Редактор — А. Соколов, графика — Ю. Андреев, фото — автора

Предварительный усилитель

В. АНДРЕЕВ, г. Москва

В процессе совершенствования радиолюбительских конструкций или ремонта действующей аудиоаппаратуры звуковоспроизведения нередко возникает потребность заменить или улучшить блок регулировок громкости и тембра. В этом случае можно рекомендовать предлагаемый предварительный усилитель, создающий незначительные искажения благодаря работе ОУ и транзисторов в классе А.

Добиться заметного улучшения качества звуковоспроизведения транзисторных, ламповых УМЗЧ без традиционного среди аудиофилов "жонглирования" дорогостоящими межблочными кабелями можно, использовав в качестве предварительного усилителя, выпол-

Возможный вариант повторителя напряжения на полевых транзисторах показан на рис. 2. Начальный ток стока транзистора КП902А должен быть в интервале 0,1...0,2 мА.

Налаживание устройства сводится к подбору резистора R6 до получения

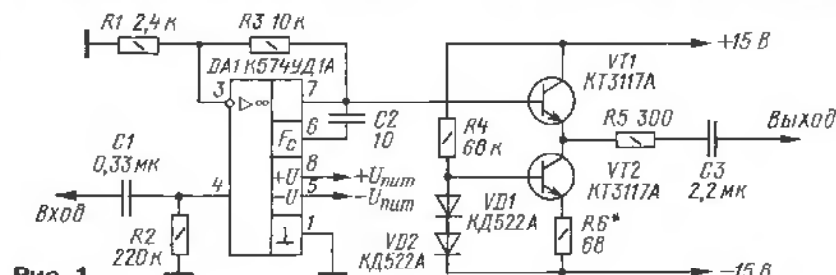


Рис. 1

ненный по схеме на рис. 1. Подобная доработка может быть рекомендована при замене каскадов на транзисторах и микросхемах широкого применения в действующей аудиоаппаратуре.

Здесь ОУ DA1 используется для усиления напряжения сигнала (ООС охвачен только ОУ), а его выход нагружен на одностактный повторитель напряжения на биполярных транзисторах VT1, VT2 в режиме класса А. "Разгрузка" операционного усилителя минимизирует его нелинейные искажения и повышает устойчивость благодаря малой входной емкости буферного каскада. Это схемное решение можно использовать как вариант буферного повторителя в популярном до сих пор предварительном усилителе [1].

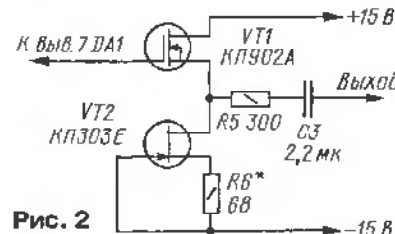


Рис. 2

симметричного ограничения выходного сигнала при подаче на вход ОУ сигнала частотой 100...200 кГц и подключении нагрузочного резистора каскада сопротивлением 2...4 кОм. При токе покоя повторителя около 15 мА нагрузочная способность каскада повышается и тогда

сопротивление резистора R5 можно несколько уменьшить. Такой предварительный усилитель будет успешно работать и на УМЗЧ с общей параллельной ООС, при которой его входное сопротивление может составлять всего несколько килоом.

Предварительный усилитель, составленный из двух модулей (см. рис. 1) и пассивного мостового регулятора тембра [2] в каждом канале, позволил "вдохнуть новую жизнь" в известный ламповый усилитель "Прибой". Уменьшение сопротивлений в цепях предварительных каскадов и регулировки тембра на один-два порядка, а также компактный монтаж способствовали снижению наводок и помех.

Тем не менее для исключения радиочастотных наводок во входной цепи каждого из каналов полезно установить входной RC-фильтр НЧ с постоянной времени 0,5...1 мкс (например, резистор 2...3 кОм и конденсатор емкостью 200...300 пФ).

Вместо К574УД1А можно использовать микросхемы той же серии и в пластмассовом корпусе KP574УД1 (с любым буквенным индексом), учитывая различия в цоколевке, а также импортный аналог — AD513. Транзистор КП303Е можно заменить на КП302АМ—КП302ГМ. Их же можно установить и в верхнее плечо повторителя при отсутствии транзисторов КП902А—КП902В. Разделительные конденсаторы в сигнальных цепях — К73-17 или аналогичные импортные.

Для питания предварительных каскадов двухканального усилителя по рекомендованной схеме желательно использовать стабилизированное напряжение, и соответствующие микросхемы облегчают эту задачу: ток до 100 мА способны обеспечить любые интегральные стабилизаторы, хотя более предпочтительными следует назвать LM317L, LM337L.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцев Ю. Высококачественный предварительный усилитель. — Радио, 1985, № 4, с. 32—35.
2. Зысюк А. Предварительный усилитель с темброблоком. — Радио, 1998, № 8, с. 20, 21.

Редактор — А. Соколов, фото — автора