

Окончание. Начало — № 8/2007

Многоканальные усилительные структуры в усилителях мощности звуковой частоты

УМЗЧ

Как отмечено в [3], весьма привлекательно выглядит структура УМЗЧ, где мощный выходной каскад максимально упрощен. Применение крайне глубокой ООС позволяет получить ультралинейные характеристики усилителя.

На основании перечисленных выше доводов и аргументов был разработан вариант усилителя, представленный на рис. 6.

Данный усилитель фактически представляет собой версию УМЗЧ [3] с дополнительным усилителем DA2, включенным по входу [1]. Таким же дополнительным усилителем, включенным по входу, может быть дополнен и вариант УМЗЧ [2]. В силу схожести функций вновь введенные (дополнительные) элементы сохраняют нумерацию главного канала, но начинаются с дополнительного префикса (индекса) цифры 5.

Усилитель, представленный на рис. 6, обладает структурой и типом общей ООС, как и усилитель на рис. 7, и как следствие, широкой полосой работы ООС (200 МГц), низкой скоростью нарастания выходного напря-

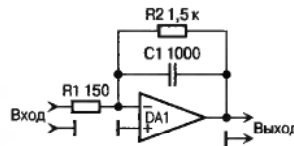


Рис. 7

жения, низкой частотой единичного усиления (1 МГц), низкой частотой среза петли ООС (узкой полосой пропускания по уровню -3 дБ), АЧХ и ФЧХ (рис. 8, 9).

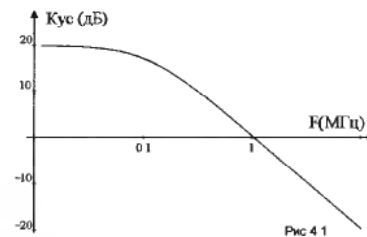


Рис. 4.1

Рис. 8

Главный канал УМЗЧ собран на радиочастотном ОУ AD8055AR (DA1), именно он обладает приоритетом на замыкание петли ООС и обеспечивает небольшое ВРП ООС, равное времени задержки этим ОУ. УМЗЧ охвачен несколькими петлями ООС: общей

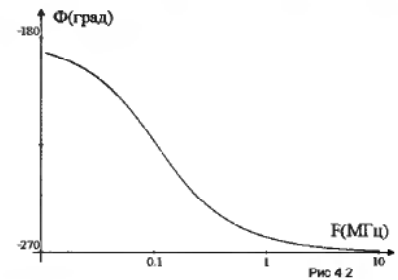


Рис. 4.2

Рис. 9

прецизионной крайне глубокой ООС (C5.1, R5.2) на ВЧ и местной глубокой ООС (C1, R2) на ВЧ, а также местными ООС в выходном каскаде.

Дополнительный усилитель DA2 (AD8055AR) — это предварительный прецизионный усилитель, работающий в малосигнальном (статическом) режиме. Малосигнальный режим DA2 реализуется при выполнении нескольких условий: наличии большого запаса усиления внутри петли ООС главного канала (DA1), а также точности (идентичности) коэффициентов передачи ООС главного канала (C1, R2) и прецизионной ООС (C5.1, R5.2). Для прецизионной работы ОУ DA2 необходимо высокое качество общих проводов ОП1, ОП5. Выходной каскад ОУ DA2 работает в режиме класса А с большим током покоя (R5.12). Делитель R4R5.5 обеспечивает приоритет главного канала на замыкание петли ООС.

Следует отметить, что сам ОУ AD8055AR достаточно линеен даже на очень высоких частотах, например, на частоте 5 МГц искажения, вносимые ОУ, составляют около 0,01 %. Приведем основные технические характеристики ОУ AD8055AR и УМЗЧ.

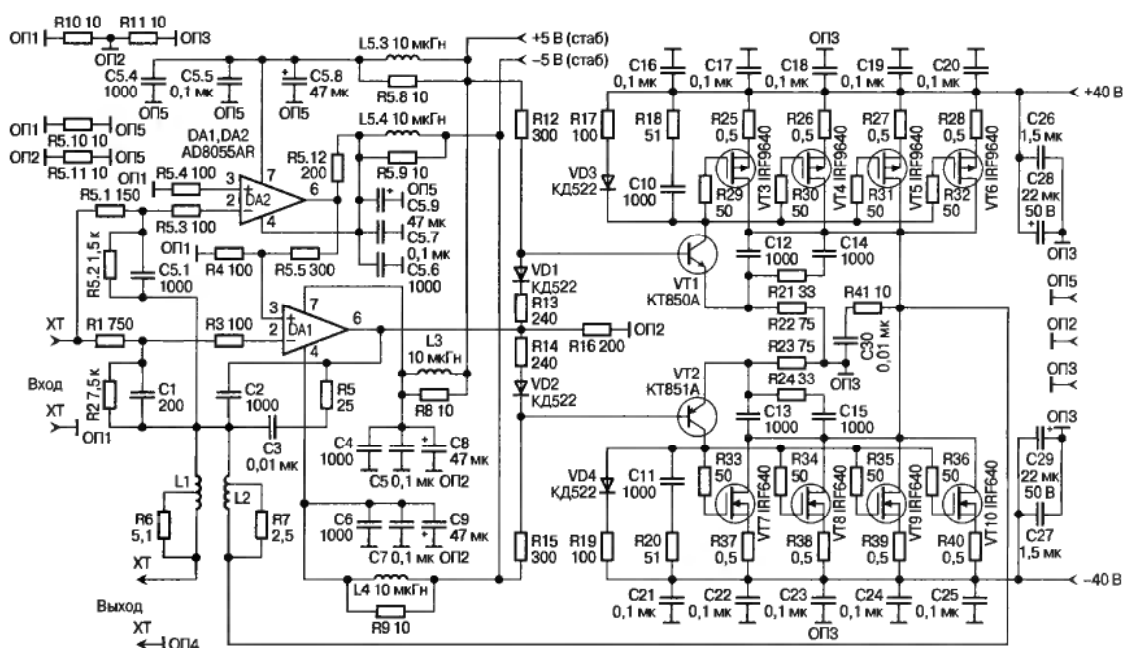


Рис. 6

**Технические характеристики
AD8055AR**

Коррекция K_{yc}	до 1
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	300
Частота единичного усиления, МГц	200
Усиление на частоте 40 кГц, дБ	70
Усиление на частоте 100 кГц, дБ	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
Выходное напряжение, В	±3
Максимальный выходной ток, мА	100

**Технические характеристики
УМЗЧ**

Выходная мощность при $R_H = 4$ Ом, Вт	120
Искажения на $f = 20$ кГц при $U_{вых\text{ амп}} = 20$ В, %	0,0002
Усиление без ООС на $f = 20$ кГц, дБ	150
Коэффициент усиления, дБ	20
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, кГц	100
Частота единичного усиления, МГц	1
ВРП ООС, нс	≤ 2,5

Усилитель представляет собой версию УМЗЧ [3] с дополнительным усилителем (DA2) по входу, аналогичное решение может быть использовано для усилителя, описанного в [2]. Принцип работы УМЗЧ заключается в том, что сигнал объединяется на выходе сумматора (точка соединения элементов L2, C2, C3 согласующего устройства) и далее поступает на выход УМЗЧ (верхний вывод L1). Именно к этой точке подключены две цепи ООС — общая прецизионная крайне глубокая 100 %-ая ООС (C5.1, R5.2) на ВЧ и местная ООС главного канала (C1, R2). Дополнительный (предварительный) усилитель DA2 усиливает сигнал ошибки внутри прецизионной петли ООС и подает его на второй вход главного канала (вывод 3 DA1). Благодаря этому увеличивается запас усиления внутри петли ООС. На частотах до 40 кГц дополнительный прирост усиления (внутри петли общей ООС) составляет около 58 дБ, а на частотах до 100 кГц — около 48 дБ.

ИЗМЕРЕНИЯ И НАСТРОЙКА

На рис. 10—13 показаны осциллограммы на выходе главного канала (DA1)

и выходе УМЗЧ (в точке соединения L1 и L2) при испытании синусоидальным или импульсным (меандр) сигналами.

Сигнал на выходе DA1 представляет собой усиленную на 70 дБ ошибку внутри петли ООС. На рис. 10 показана осциллограмма в режиме большого сигнала при синусоидальном входном сигнале ($U_{вх} = 2$ В, 20 кГц) и выходном напряжении УМЗЧ 20 В (амплитуда 29 В) без нагрузки. На рис. 11 изображен этот же сигнал при $R_H = 4$ Ом (выходная мощность 100 Вт). Цена деления 1 и 10 В соответственно.

На рис. 12 показана переходная характеристика УМЗЧ при входном сигнале в виде меандра частотой 50 кГц (режим малого сигнала без нагрузки). Цена деления 1 и 5 В соответственно. Сигнал на выходе УМЗЧ (верхний на рисунке) имеет амплитуду около 5 В (размах 10 В), а также достаточно низкую скорость нарастания выходного напряжения. На рис. 13 показан тот же сигнал при $R_H = 4$ Ом при той же цене деления.

Амплитуда и форма сигнала на выходе главного канала (DA1) никак не связана с наличием или отсутствием дополнительного (предварительного) усилителя DA2, так как обусловлена АФЧХ выходного каскада (VT1—VT10).

На рис. 14 показан режим работы DA1 при $R_7 = 75$ Ом и исходных данных, аналогичных приведенным на рис. 12 (размах сигнала 7,5 В).

Увеличение номинала шунтирующего резистора R_7 с 2,5 до 75 Ом приводит к резкому увеличению добротности катушки L2 согласующего устройства и соответственно к возникновению высокодобротного колебательного процесса внутри петли ООС.

Можно констатировать, что даже большие изменения фазового сдвига, вызванные наличием внутреннего резонанса, не могут существенно влиять на выходной сигнал в том случае, если перегрузочная способность каскадов и усилителя в целом достаточно высока.

На рис. 15 показан режим работы ОУ DA2 при исходных данных, аналогичных приведенным на рис. 12, а на рис. 16 — при исходных данных аналогичных рис. 13.

Цена деления для сигнала на выходе DA2 составляет 0,1 В.

Критерием минимума выходного напряжения ОУ DA2 следует считать идентичность коэффициентов передачи ООС главного канала (C1, R2) и прецизионной ООС (C5.1, R5.2). Для выполнения данного условия достаточно про-

извести точный подбор элементов C1, R2. Оптимальным вариантом с практической точки зрения следует считать методику, при которой параллельно резистору R1 подключается дополнительный резистор, а параллельно резистору R2 — подстроечный. Номиналы дополнительных элементов в 20...50 раз больше основных. Далее параллельно конденсатору C1 подключают подстроечный конденсатор номиналом в 10...20 раз меньше, например, $R_{1\text{доп}} = 20$ кОм, $R_{2\text{доп}} = 330$ кОм, $C_{1\text{доп}} = 20$ пФ. После настройки подстроечные элементы заменяют постоянными.

На рис. 17—21 показаны осциллограммы на выходе DA2 и выходе УМЗЧ при испытании его синусоидальным сигналом частотой 20 кГц. Цена деления для сигнала на выходе DA2 составляет 10 мВ.

Для настройки рекомендуется подать на вход УМЗЧ синусоидальный сигнал $U_{вх} = 2$ В, $f = 20$ кГц. Далее по минимуму выходного напряжения на выходе ОУ DA2 производят регулировку $R_{2\text{доп}}$, а по минимуму фазового сдвига сигнала — регулировку $C_{1\text{доп}}$ (рис. 17). На рис. 17 показан режим работы DA2 при емкости $C_1 = 210$ пФ, на рис. 18 — при емкости $C_1 = 212$ пФ, а на рис. 19 — $C_1 = 208$ пФ. При точном подборе R2 и C1 напряжение на выходе ОУ DA2 составляет менее 3 мВ. В свою очередь напряжение ошибки внутри петли ООС (точка соединения R5.1 и R5.2), т. е. напряжение на входе ОУ DA2, на 70 дБ меньше при полосе частот до 40 кГц и не превышает 1 мкВ. В соответствии с этим уровень искажений на выходе УМЗЧ (верхний вывод L1) в десять раз ($K_{yc} = 10$) больше и составляет 10 мкВ.

При использовании резистора R2 большого номинала сигнал на выходе ОУ DA2 будет инвертирован, а сдвиг фазы составит 180°. С учетом графиков на рис. 17—21, а также на рис. 14, можно сделать обобщающий вывод о том, что сдвиг фазы на выходе ОУ DA2, т. е. внутри петли ООС, может принимать любые значения в диапазоне 0...360°. Можно констатировать, что даже очень большие изменения фазовой ошибки (задержки) внутри петли ООС практически не влияют на характеристики усилителя.

На рис. 20 показаны осциллограммы на выходе ОУ DA2 при выходной мощности УМЗЧ 100 Вт, т. е. исходные данные аналогичны рис. 11. Уровень сигнала ошибки на выходе DA2 уменьшается при понижении частоты исходного сигнала, уменьшении

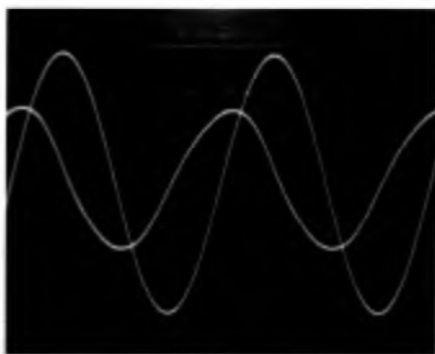


Рис. 10



Рис. 12

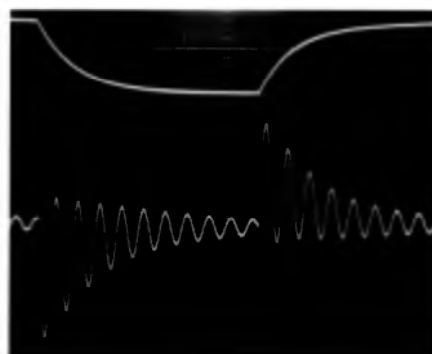


Рис. 14

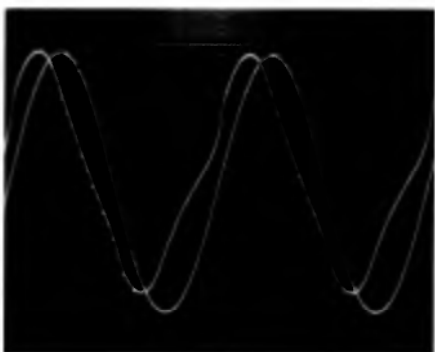


Рис. 11

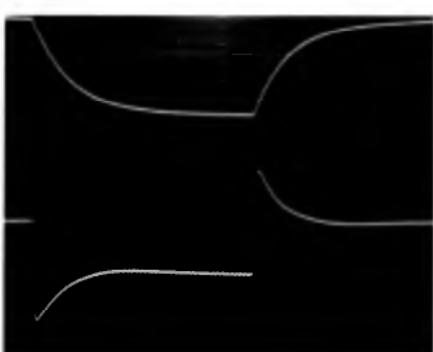


Рис. 13



Рис. 15

амплитуды исходного сигнала или при увеличении напряжения питания выходного каскада. На рис. 21 показаны осциллограммы на выходе ОУ DA2 при выходной мощности УМЗЧ 50 Вт.

О ДЕТАЛЯХ

В силу очень высоких рабочих частот ($f_{\text{ЗАМ}} > 400$ МГц) следует применять компоненты для поверхностного монтажа. Это особенно важно для R1—R5, R5.1—R5.2, C1—C7, C5.1, DA1, DA2.

Эти элементы должны быть расположены как можно ближе к ОУ DA1. Для увеличения габаритной мощности в позициях R5.1, R5.2, R5 следует применить несколько резисторов типоразмера 1206, включенных параллельно R5.1 =

Новые книги

А. В. Фрунзе

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ФИРМЫ PHILIPS СЕМЕЙСТВА x51



Издательский дом «Скимен» выпустил первый том книги Александра Фрунзе «Микроконтроллеры фирмы Philips семейства x51». В этой книге приведен подробный обзор всех выпускаемых фирмой Philips микроконтроллеров, дана информация по доступным отечественному пользователю микроконтроллерам семейства x51, изготавливаемым другими ведущими мировыми производителями. В ней приведена самая свежая на момент выпуска сводная таблица по всем выпускаемым Philips микроконтроллерам, а также терминологический словарь. Далее подробно рассматриваются особенности классических микроконтроллеров семейства x51 — система команд (подробно описаны все команды микроконтроллеров с кодами операций, операндами, примерами действия команд, временем их исполнения) и аппаратные особенности (структура памяти и регистров, арифметическо-логическое устройство, таймеры-счетчики и режимы их работы, система прерываний, стандартный последовательный порт со всеми режимами работы и система управления питанием). Подробно описаны микроконтроллеры с разработанным фирмой Philips оригинальным ядром 80C51+, в том числе микроконтроллеры с флэш-памятью программ, с программируемой матрицей счетчиков, с расширенной памятью программ и данных. Рассмотрены также микроконтроллеры с дополнительными портами ввода/вывода, с аппаратно реализованной шиной I²C и встроенным аналого-цифровым преобразователем. Вся приведенная информация основана на справочных материалах фирмы Philips.

Книга рассчитана на широкий круг инженерно-технических работников, интересующихся последними достижениями микроконтроллерной техники.

Книга формата А4 имеет мягкую обложку и содержит 336 с.

Вы можете подписаться на эту книгу через редакцию. Стоимость подписки — 260 руб., в эту сумму включена пересылка по России.



Рис. 16

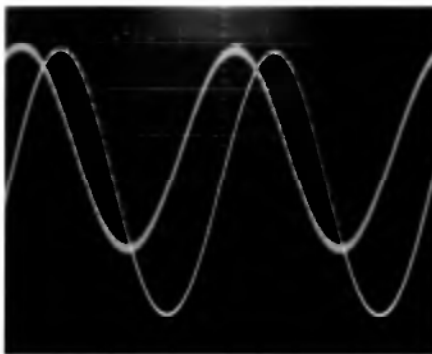


Рис. 18

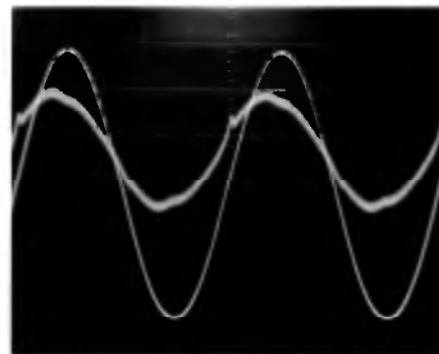


Рис. 20

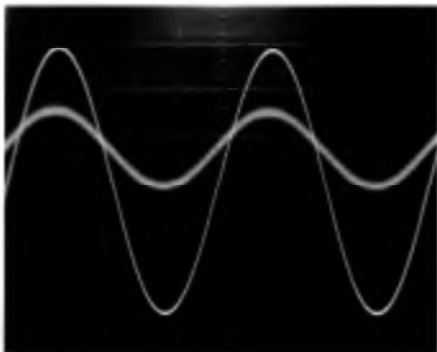


Рис. 17

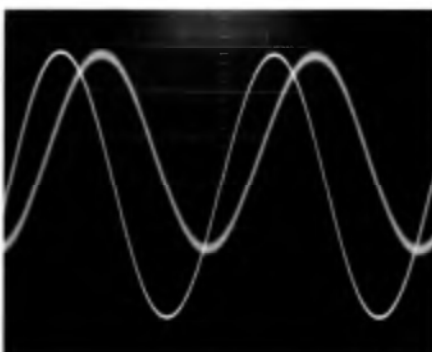


Рис. 19

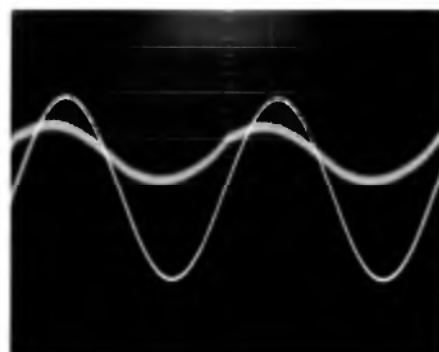


Рис. 21

$= 2 \times 300 \text{ Ом}$, $R5.2 = 10 \times 15 \text{ кОм}$, $R2 = 2 \times 15 \text{ кОм}$, $R5 = 4 \times 100 \text{ Ом}$. В позиции C5.1, C1, C2 и C5.4, C5.6, C4, C6 следует применить конденсаторы МП0. Низким ТКЕ должен обладать и конденсатор C3. Конденсатор C5.1 осуществляет прецизионную ООС и поэтому должен быть очень высокого качества. Из SMD рекомендуется конденсатор МП0 с номинальным напряжением 500 В, однако они достаточно дефицитны. Из распространенных типов можно рекомендовать КСО, СГМ на напряжение 250...500 В емкостью 1000 пФ.

При «сборке» многослойных резисторов ($R5.2 = 10 \times 15 \text{ кОм}$) рекомендуется смочить их спиртоканифольным раствором.

Индуктивности L1 и L2 одинаковые и намотаны на каркасе диаметром 14 мм, проводом диаметром 0,8...1 мм. Число витков каждой катушки равно 28 (25...30). Катушка индуктивности L1 имеет отвод от середины. Между этим отводом и концом катушки подключен резистор номиналом 5 Ом. Индуктивность L2 имеет отвод от восьмого витка. Между этим отводом и концом катушки (28 витков) подключен резистор номиналом 2,5 Ом. Данный резистор шунтирует 3/4 длины намотки катушки и обеспечивает достаточно эффективное снижение добротности.

В качестве L3, L4 и L5.3, L5.4 желательно применить заводские дроссели Д0,1 индуктивностью 5...20 мкГн. При их отсутствии рекомендуется исполь-

зовать в качестве каркаса резисторы МЛТ 0,25, намотав на них 20 витков провода диаметром 0,1...0,15 мм.

Особо следует отметить идентичность параметров выходных транзисторов (VT3—VT10). Дело в том, что у этих транзисторов напряжения отсечки и крутизна передаточной характеристики могут сильно отличаться. 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 достаточно выровнять токи стоков. Подчеркнем, что если на выходе УМЗЧ несколько полевых транзисторов включены параллельно, целесообразно использовать подобранные транзисторы, что позволяет исключить установку дополнительных резисторов в цепях истоков. Критерий режимов для подбора — половина напряжения питания ($40 \text{ В}/2 = 20 \text{ В}$) и половина максимального выходного тока ($8 \text{ А}/2 = 4 \text{ А}$). При четырех транзисторах в каждом плече ток стока для одного транзистора должен быть равен 1 А.

Как сказано в [3], диоды VD1—VD4 выполняют функции терморезисторов. Диоды должны иметь тепловой контакт с коллекторами (или стоками) транзисторов VD1—VT1, VD2—VT2, VD3—VT3, VD4—VT7. Для исключения нагрева транзисторов VT1, VT2 от мощных выходных транзисторов

они должны быть размещены на отдельных тепловодах.

Ток покоя выходного каскада (50...100 мА) целесообразно выставить после прогрева УМЗЧ. Как правило, выходной каскад работает в режиме с низким током покоя (класс С), который существенно зависит от качества стабилизации напряжения питания ОУ. Для увеличения тока покоя следует уменьшить на 2...5 % номинал резисторов R22, R23 или увеличить номинал резисторов R17, R19. Уменьшать сопротивление резисторов R22, R23 рекомендуется при помощи дополнительных резисторов номиналом около 1...3 кОм, подключенных параллельно.

Нецелесообразно упрощать схему посредством уменьшения числа выходных транзисторов. Усилитель будет работать и в таком варианте, но при этом снизится надежность и эффективность работы на низкоомную нагрузку (реальную АС).

Достаточно высокие технические характеристики УМЗЧ достигнуты за счет высоких параметров примененного ОУ. На сегодняшний день подобных радиочастотных ОУ разработано достаточно много, в том числе допускающих работу со 100 %-ой ООС [5]. В данной версии УМЗЧ не следует использовать ОУ с большим напряжением питания. Это приведет к увеличению мощности рассеиваемой ОУ и к его перегреву, что снизит надежность.

Александр Литаврин,
г. Москва