

Применение инструментального усилителя в усилителе низкой частоты

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье описано устройство на базе инструментального усилителя (ИУ) AD9825, согласующее регулятор уровня сигнала с входом мощного звукового усилителя в инвертирующем включении. Применение ИУ способствует уменьшению искажений, позволяет исключить разделительные конденсаторы и понизить напряжение питания мощного ОУ, уменьшающего его тепловыделение.

ВВЕДЕНИЕ

Основными недостатками ИС мощных звуковых усилителей [1–3] являются неважные статические параметры, в том числе ток смещения и напряжение сдвига [1, 2], которые в ряде случаев препятствуют непосредственному подключению акустических систем (АС), так как вызывают появление значительной постоянной составляющей на выходе. Помимо этого, существует проблема, связанная с подключением регулятора уровня сигнала к мощному звуковому усилителю (УМЗЧ). Этот регулятор должен быть достаточно высокоомным, чтобы не нагружать источник сигнала. Поэтому если входная цепь УМЗЧ низкоомная, такой регулятор к этой цепи напрямую подключать нельзя.

Интегральный УМЗЧ [3] может быть включён либо в неинвертирующем (чаще всего), либо в инвертирующем режиме (см. рис. 1а и 1б, соответственно). В неинвертирующем режиме резистор обратной связи R_{oc} подключается между выходом операционного усилителя (ОУ) и его инвертирующим входом, а резистор $R_{вх}$ (совместно с R_{oc}) определяет коэффициент передачи на переменном токе. Второй вывод $R_{вх}$ соединяется с землёй через блокировочный конденсатор C_6 , который

обеспечивает коэффициент передачи 1 В/В на постоянном токе. Этот конденсатор, как и разделительный конденсатор C_p на входе, устанавливает полосу пропускания усилителя снизу и поэтому должен быть достаточно большой ёмкости (47 мкФ и более) и высокого качества, что определяет его значительные габариты и высокую стоимость. Сигнал с регулятора уровня сигнала непосредственно подключается к высокоомному неинвертирующему входу УМЗЧ, так что проблемы с согласованием не возникает. Однако в неинвертирующем включении ИС УМЗЧ имеет больший коэффициент нелинейных искажений (КНИ), чем в инвертирующем включении [3].

В инвертирующем режиме (см. рис. 1б) вторая обкладка блокировочного конденсатора становится входом усилителя. Неинвертирующий вход заземляется через балансирующий резистор R_6 , номинал которого равен $R_{oc} \parallel R_{вх}$ (т.е. значению их параллельного соединения), чтобы скомпенсировать дополнительный сдвиг постоянного напряжения, вызванный входными токами УМЗЧ. В инвертирующем включении входное сопротивление усилителя определяется $R_{вх}$, и подключать высокоомный регулятор уровня сигнала напрямую нежелательно.

Описанные проблемы можно решить, если в качестве согласующего устройства между регулятором уровня сигнала и УМЗЧ установить инструментальный усилитель (ИУ), реализованный в виде ИС.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИУ

На рисунке 2 показана структурная схема популярных ИУ (AD8220/21, INA129) и относительно нового прибора AD8295. Оба входа ИУ (инвертирующий и неинвертирующий) являются входами соответствующих ОУ, имеющих очень высокий входной импеданс (например, 100 ГОм \parallel 2 пФ для AD8295). Если заземлить неинвертирующий вход (V_{in+}), а сигнал подать на инвертирующий вход (V_{in-}), то ИУ будет инвертировать входной сигнал и усиливать его в $K_u = 1 + 49,4 / R_{k.y.}$ раз, где $R_{k.y.}$ – номинал резистора, подключённого к входам R_G . Выходной импеданс ИУ составляет несколько Ом, что на три порядка ниже, чем входной импеданс интегрального УМЗЧ. Вход REF – это вход опорного напряжения; подача постоянного напряжения U_{ref} на этот вход сдвигает постоянную составляющую выходного сигнала.

ДВУХКАНАЛЬНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Принципиальная схема двухканального согласующего устройства показана на рисунке 3. В состав AD8295 входят два вспомогательных ОУ: один из них стандартный (13, 14 выводы – входы (минус и плюс соответственно) и 12 – выход) и второй – с двумя одинаковыми резисторами R_1 и R_2 номиналом 20 кОм, подключёнными к инвертиру-

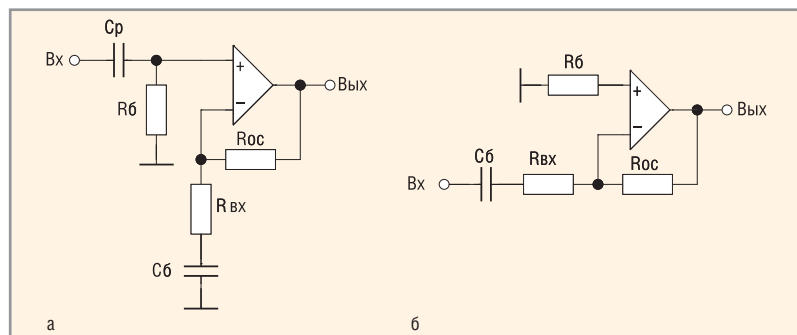


Рис. 1. Схемы включения ИС УМЗЧ: а – неинвертирующая; б – инвертирующая

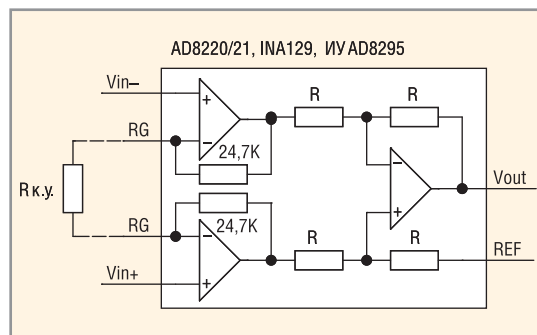


Рис. 2. Структурная схема инструментального усилителя

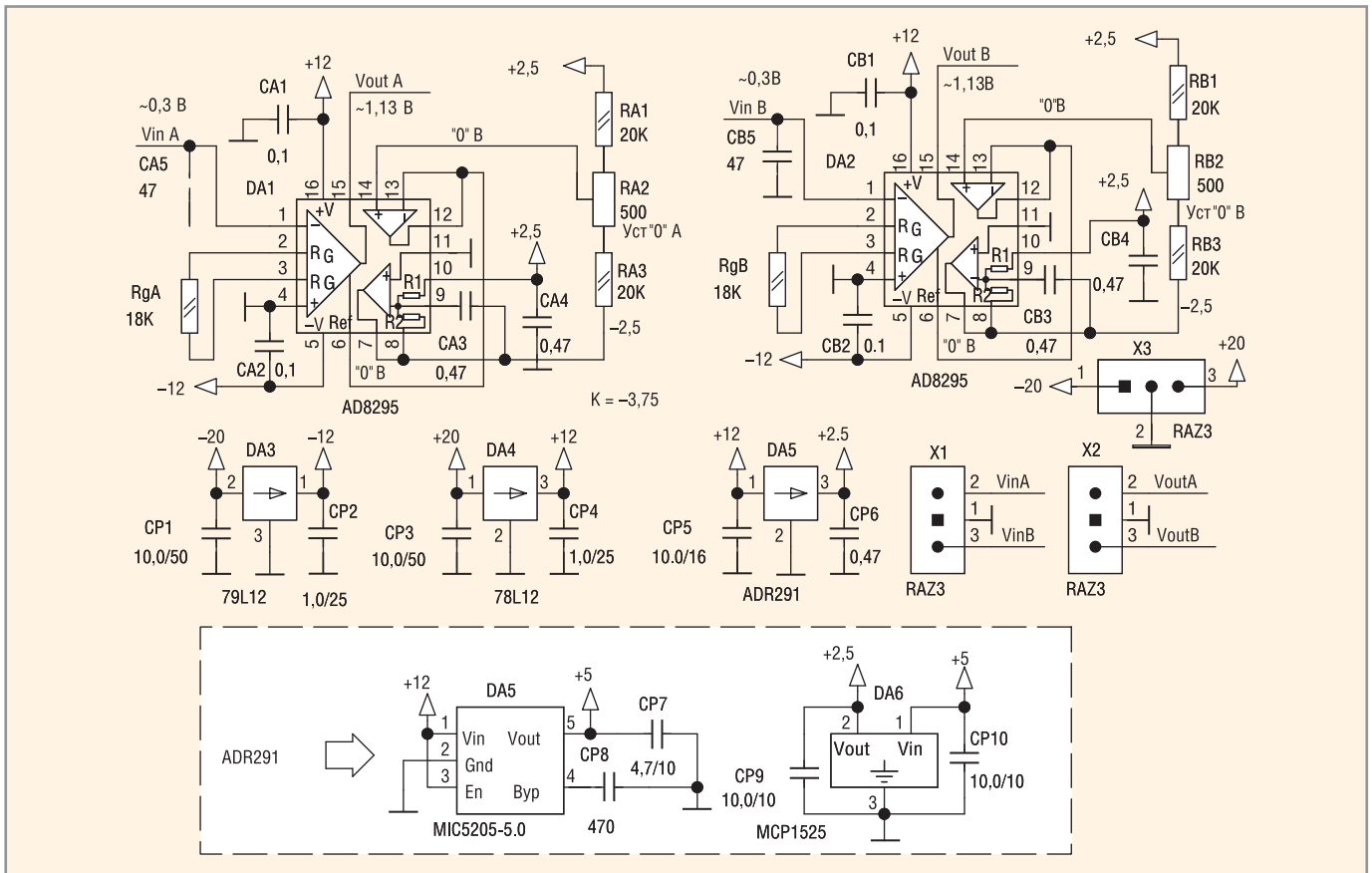
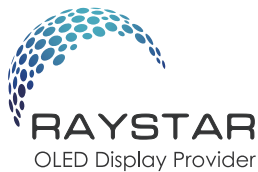
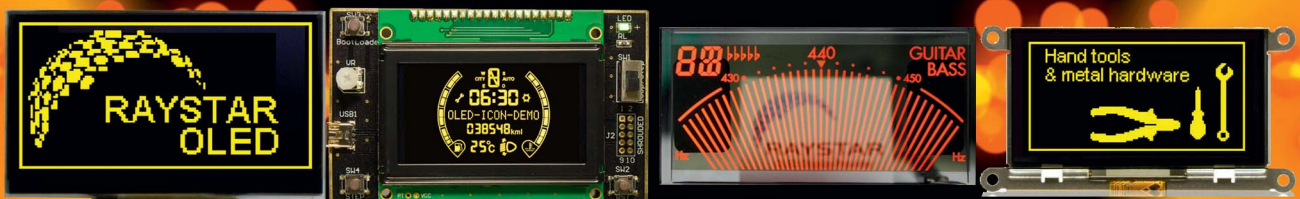


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема двухканального предварительного усилителя



Лучшая замена ЖК-панелям

OLED-дисплей Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м² обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 2000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светозащитная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от -40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ RAYSTAR

PROSOFT® 25 лет

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

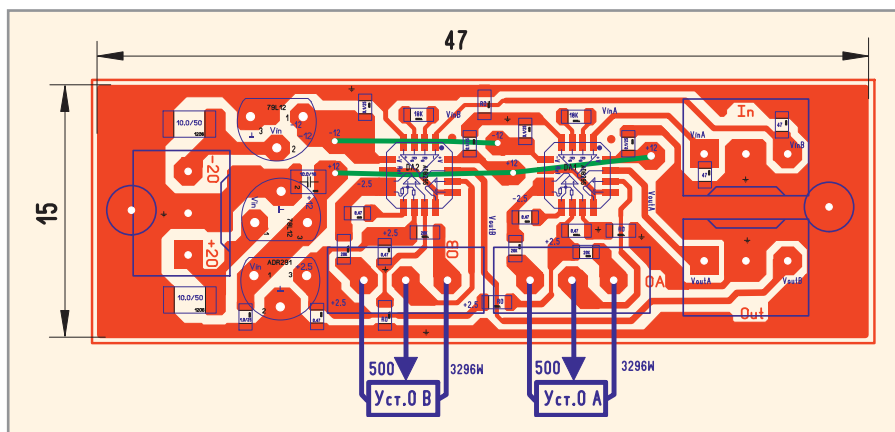


Рис. 4. Вариант разводки платы предварительного усилителя

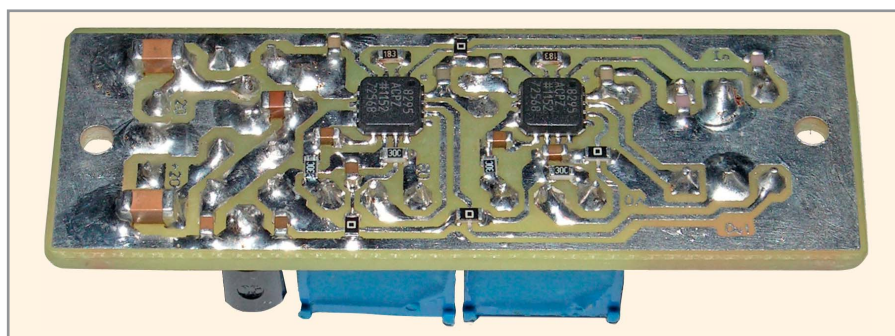


Рис. 5. Фотография платы предварительного усилителя

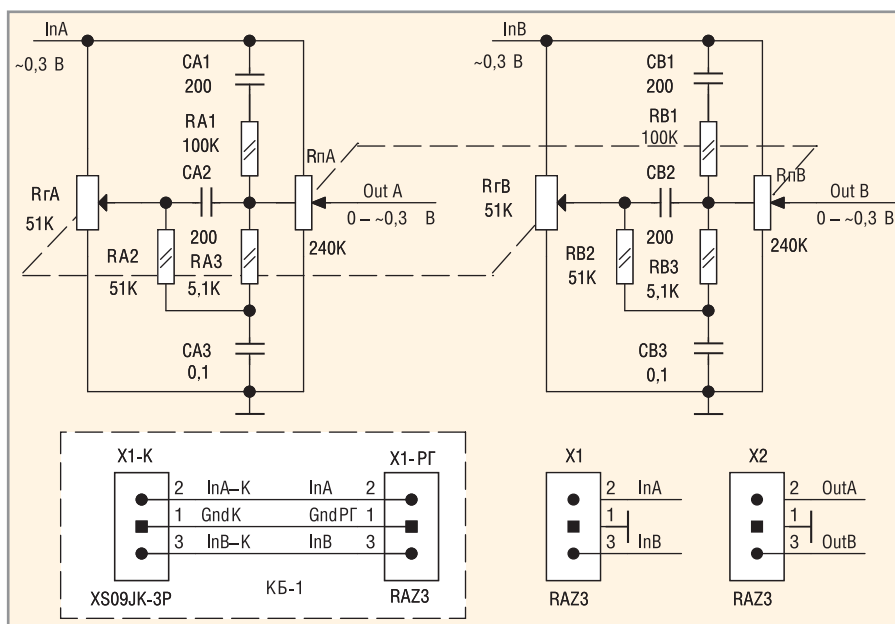


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема двухканального тонкомпенсированного регулятора громкости

ющему входу. Последний ОУ используется для получения отрицательного опорного напряжения (-2,5 В) из положительного опорного напряжения (+2,5 В), которое выдаёт микросхема опорного напряжения ADR291 (DA5). Вместо источника опорного напряжения ADR291 можно использовать последовательно включённые стабилизатор +5 В (MIC5205-5.0) и микро-

схему источника опорного напряжения +2,5 В (MCP1525). Они обведены пунктиром внизу рисунка 3. Положительное и отрицательное опорные напряжения подключены, соответственно, к резисторам RA1 и RA3 (канал А) и RB1 и RB3 (канал В). Подстроечные резисторы RA2 и RB2 служат для установки нулевого постоянного смещения на выходе УМЗЧ. Регу-

лируемое напряжение с помощью повторителя на первом ОУ подключено к входам Ref (вывод 6) каждой микросхемы AD8295. Следует отметить, что микросхема ADR291 в корпусе TO-92 дороже, чем обе ИС MCP1525 и MIC5205-5.0. Корпуса MIC5205-5.0 (SOT23-5) и MCP1525 (SOT23-3) занимают всего 2,5 × 3 мм² площади каждый. Конденсаторы CA5 и CB5 подавляют высокочастотный шум.

Номиналы резисторов RgA и RgB выбраны равными 18 кОм. При этом коэффициент передачи ИУ составит $K_u = 1 + 49,4 / R_g = 1 + 49,4 / 18 = 3,744$. Если на вход ИУ подать синусоидальный сигнал ~0,3 В, то выходной сигнал ИУ составит ~1,13 В (размах 3,2 В). Если это напряжение усилить в 10 раз с помощью УМЗЧ, то амплитудное значение выходного напряжения на выходе УМЗЧ составит 16 В.

Плата предварительного усилителя (см. рис. 4) имеет размеры 47 × 15 мм. Она крепится ко дну корпуса двумя винтами M2 с пластмассовыми втулками. На разводке зелёным цветом показаны проводники, которые следует распаять с обратной стороны платы (питание +12 В и -12 В). Фотография платы в сборе (см. рис. 5) сделана со стороны печатных проводников.

РЕГУЛЯТОР ГРОМКОСТИ

Схема тонкомпенсированного регулятора громкости (см. рис. 6) заимствована из работы А. Шихатова [4], однако для получения высокоомного регулятора номиналы всех резисторов увеличены в 5 раз. Входное сопротивление регулятора составляет около 42 кОм ($R_{гА} \parallel R_{пА}$) на канал.

Для регулировки глубины тонкомпенсации используется обычный переменный резистор, который для каналов А и В обозначается соответственно RgA и RgB (где «г» отражает слово «глубина»).

Для регулировки громкости используется хитроумный потенциометр с отводом. Поэтому для каналов А и В он обозначен соответственно RnA и RnB (где «п» – потенциометр).

Для сохранения постоянных времени всех RC-цепочек номиналы всех конденсаторов уменьшены в 5 раз. Входной сигнал от звукового источника подключается к входам InA и InB, а выходной снимается с резисторов RnA (Out A) и RnB (Out B). Этот выходной сигнал подключается к разъёму согласующего устройства X1 (сиг-

налы VinA и VinB, см. рис. 3). Глубина тонкомпенсации регулируется двоянным переменным резистором RGA-RGB, а громкость – двоянным переменным резистором с отводом RPA-RPB (типа РП1-57). Принцип работы такого регулятора подробно описан А. Шихатовым [4]. Проверка на трёх частотах 31 Гц, 1 кГц и 20 кГц показала полную идентичность работы регулятора с номиналами автора и оригинальными номиналами из работы А. Шихатова [4].

Плата регулятора громкости (см. рис. 7) размером 35 × 12,5 мм крепится ко дну корпуса двумя винтами M2 с пластмассовыми втулками.

УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

Наиболее популярными микросхемами УМЗЧ в настоящее время являются: одноканальная TDA7293 [5], одноканальная LM3886 [6] и её двухканальная версия LM4780 [3]. Из анализа справочных листов на указанные ИС можно сделать следующие выводы:

- наибольший КНИ + шум имеет место на частоте 20 кГц;
- снижение напряжения питания при прочих равных условиях приводит

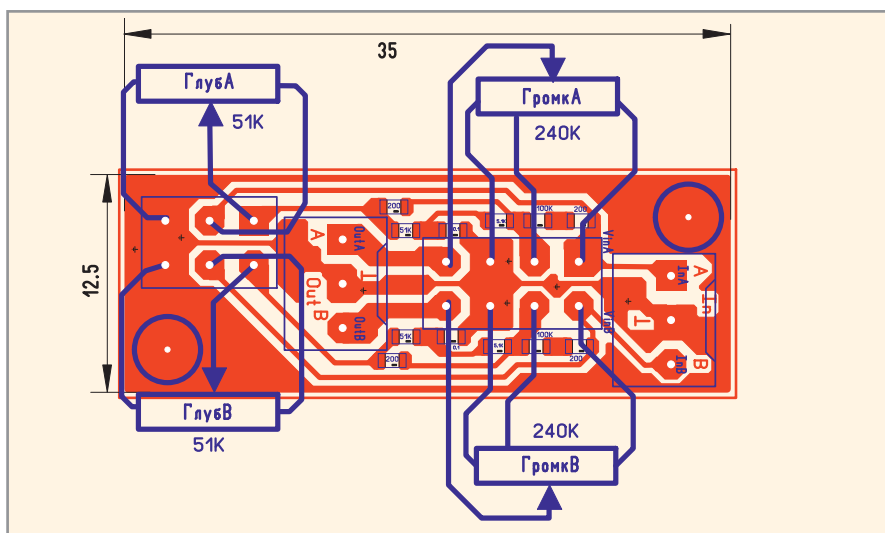


Рис. 7. Вариант разводки платы регулятора громкости

к возрастанию КНИ + шум: с 0,03% при $U_{п} = \pm 28$ В до 0,06% при $U_{п} = \pm 25$ В;

- при одинаковом напряжении питания ($\pm 28...29$ В), одинаковой нагрузке (4 Ом) и одинаковой частоте (20 кГц) КНИ + шум у микросхем LM3886/LM4780 в 2,3 раза меньше, чем у TDA7293 (0,03% против 0,07%). Учитывая более высокие технические характеристики LM4780 по

сравнению с TDA7293, было решено использовать микросхему LM4780, которая имеет две особенности. Первая состоит в том, что сопротивление обратной связи R_{oc} (см. рис. 1а) должно быть в пределах 20...50 кОм. Вторая – коэффициент передачи УМЗЧ должен быть не менее 10 В/В. Поэтому номинал резистора обратной связи $R_{oc} = 47$ кОм и номинал $R_{вх} = 4,7$ кОм

WIND RIVER

VxWorks — 20 лет в космосе — полет нормальный!



Особенности и преимущества VxWorks:

- Настраиваемые домены защиты памяти
 - «Жесткое» реальное время: переключение контекста / реакция на прерывание – единицы микросекунд
- Поддержка POSIX API
- Ресурсоемкость: ОЗУ / ПЗУ – сотни килобайт
- Поддержка многопроцессорности (SMP/AMP) и многоядерных процессоров
- Расширенная поддержка сетей TCP/IP (IPv4, IPv6)
- Функции управления энергопотреблением
- Мощный графический пакет Tilcon Graphics Suite
- Мощная интегрированная среда разработки на базе Eclipse
- Поддерживаемые процессоры: x86, ARM, MIPS, PowerPC, ColdFire
- Сертификация МЭК 15408 («Общие критерии») EAL 4/4+/6+, DO-178B уровень А, МЭК 61508 SIL 3, CENELEC EN 50128 и FDA 510(k)
- Открытый исходный текст, возможность построения ОС из исходных текстов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ WIND RIVER

PROSOFT® 25 ЛЕТ

Москва Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-Петербург Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

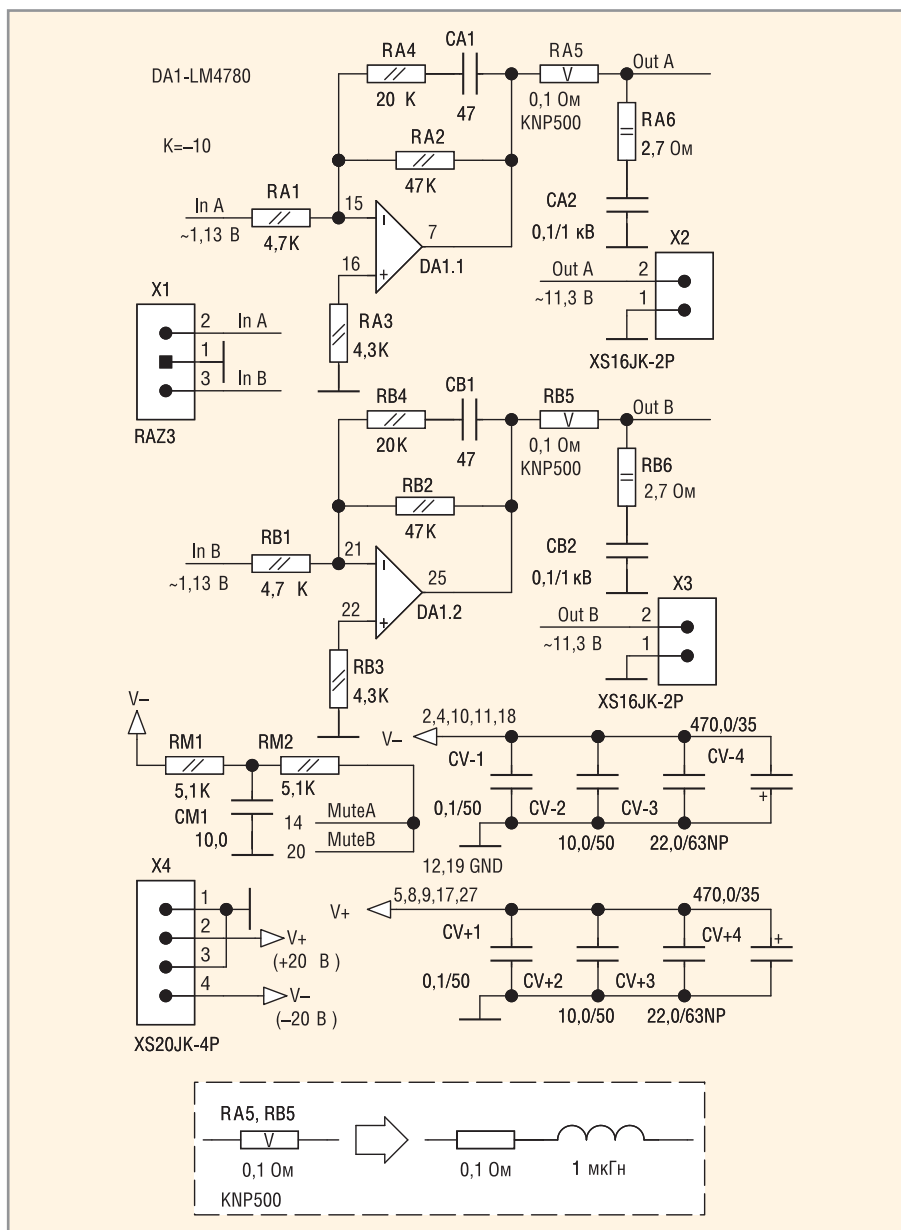


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема УМЗЧ на базе ИС LM4780

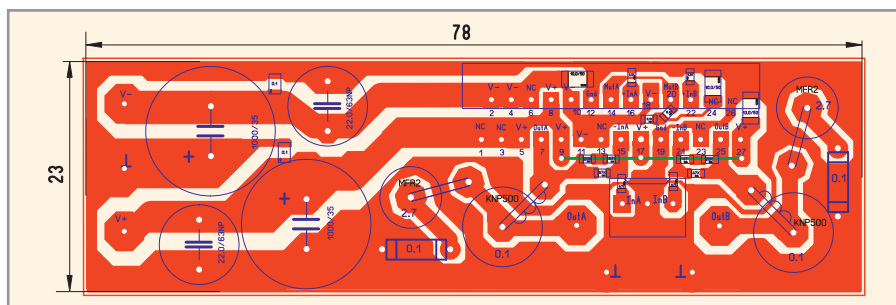


Рис. 9. Вариант разводки платы УМЗЧ

(на рисунке 8 это RA2 и RA1, соответственно, для канала А, и RB2 и RB1 – для канала В). Коэффициент передачи УМЗЧ равен $R_{oc} / R_{вх} = 47 / 4,7 = 10$ В/В. RC-цепочки RA4–CA1 и RB4–CB1, рекомендуемые производителем, устраняют самовозбуждение усилителя на высокой частоте. RC-цепочки RA6–CA2 и RB6–CB2, также рекомен-

дуемые производителем, служат для компенсации индуктивной нагрузки акустических систем (АС), подключаемых к выходу усилителя. Кроме того, на всех схемах, рекомендуемых производителем, выход ИС подключен к АС через LR-цепочку ($L = 0,7$ мкГн параллельно $R = 10$ Ом). Вместо неё был установлен проволочный резистор KNP500

(RA5 и RB5) номиналом 0,1 Ом, мощностью 5 Вт и индуктивностью около 1 мкГн. Резисторы RA3 и RB3, равные $RA2 \parallel RA1$ и $RB2 \parallel RB1$ соответственно, в некоторой степени компенсируют постоянное смещение на выходе ИС. R2C-цепочка RM1, RM2 и CM1 служит для предотвращения слышимых щелчков при включении и выключении питания усилителя.

Как уже говорилось, максимальная амплитуда выходного напряжения усилителя составляет $A_{max} = 16$ В, что соответствует мощности 32 Вт на нагрузке $R_n = 4$ Ом. При этом максимальная амплитуда тока $A_{max} / R_n = 16 \text{ В} / 4 \text{ Ом} = 4$ А на канал. Если используются два канала, то блок питания (БП) усилителя должен быть рассчитан на ток не менее 8 А.

В справочном листке LM4780 [3] из графика fig.27 можно определить, что при питании ± 20 В напряжение ограничения (Clipping Voltage), т.е. разность между напряжением питания и максимальной амплитудой выходного сигнала составляет 3 В. Другими словами, если максимальная амплитуда выходного сигнала составляет $20 - 3 = 17$ В, то сигнал воспроизводится без искажений. Если же максимальная амплитуда сигнала превысит 17 В, то верхушки сигнала будут «срезаться» на уровне 17 В. Поэтому сигнал с максимальной амплитудой 16 В при питании ± 20 В будет воспроизводиться без искажений.

В справочном листке LM4780 [3] из графика fig.16 следует, что при выходной мощности 32 Вт, нагрузке 4 Ом и питании напряжением ± 20 В максимальная мощность, рассеиваемая микросхемой, составляет около 40 Вт, а при питании напряжением ± 25 В – около 65 Вт. Хотя КНИ + шум и возрастает при снижении напряжения питания, этот рост компенсируется включением ИС в инвертирующем режиме. Поэтому для уменьшения тепловыделения используется напряжение питания ± 20 В.

Настройка и конструкция усилителя

Если взглянуть на приведённые принципиальные схемы, можно заметить отсутствие разделительных конденсаторов во всём тракте устройства. Поэтому настройка постоянного смещения на выходе усилителя осуществляется следующим образом.

1. Заземляем оба входа на регуляторе громкости (разъём X1, сигналы

InA и InB, см. рис. 5), ручку громкости выводим против часовой стрелки в крайнее положение.

- При подсоединённых нагрузочных резисторах номиналом 3,9 Ом (50 Вт) к выходным разъёмам усилителя (разъёмы X2 и X3, см. рис. 8) подключаем цифровой вольтметр.
- Включаем питание и через 3–5 минут подстраиваем резисторы RA2 и RB2 (см. рис. 3), добиваясь выходного напряжения $\pm 0,15$ мВ.

Плата усилителя мощности (см. рис. 9) не имеет крепёжных отверстий, поскольку она держится на выводах микросхемы LM4780. Сама микросхема закреплена двумя винтами М3 к радиатору через теплопроводящую изолирующую прокладку с использованием теплопроводящей пасты (например, КПТ-8). На винты необходимо надеть обычные и распорные шайбы. Достаточно большое усилие прижима микросхемы к радиатору определяется не весом платы, который составляет всего несколько грамм, а хорошим тепловым контактом микросхемы с радиатором. Это усилие на порядок больше, чем требуется для прочного закрепления платы. На разводке (см. рис. 9) зелёным цветом показаны проводники, которые следует распаять с обратной стороны платы (это питание +V, т.е. +20 В). Размер платы 78 × 23 мм.

Слаботочные экранированные сигнальные кабели и кабели питания представляют собой два провода МС16-13 0,05 (или МГТФ 0,05), пропущенные через экран из плетёных лужёных проводников. К обоим концам кабелей припаяны трёхконтактные цанговые гнезда с шагом 2,54 мм. На платах установлены трёхконтактные цанговые штыри, на которые надеваются цанговые гнезда кабелей. На схемах такие трёхконтактные разъёмы обозначены как RAZ3. Два входных аудиосигнала (канал А и канал В) и земля подключаются к разъёму XS09JK-3P, установленному на задней стенке усилителя. К этому разъёму припаян экранированный слаботочный кабель с трёхконтактным разъёмом на конце, который подключается к трёхконтактному разъёму X1 на плате регулятора громкости.

Силовые сигнальные кабели представляют собой провода МС16-13 1,0, пропущенные также через плетённый экран, который, в свою очередь, заключён в трубку из ПВХ. Таких

кабелей два. Одним концом кабели припаиваются к сигнальным линиям Out A и Out B и земле платы усилителя мощности, а другим – к двум выходным разъёмам марки XS16JK-2P (X2, X3 на рисунке 8), соответствующим каналу А и каналу В, укреплённым на задней стенке корпуса усилителя. К этим разъёмам подключаются ответные части, припаянные к кабелям АС. Разъёмы рассчитаны на максимальный ток 20 А.

Для питания устройства используется БП, выдающий стабилизированные напряжения ± 20 В и рассчитанный на максимальный ток 10 А [7]. Усилитель подключается к БП кабелем длиной около метра. Силовой кабель питания имеет три жилы сечением 1,5 мм² каждая в общей трубке из ПВХ. Этот кабель пропущен через кабельный ввод, установленный на задней стенке корпуса, и припаян к трёхконтактному клеммнику ЗПС5-3 внутри корпуса. Второй конец кабеля припаян к разъёму XS20JK-4P, который подключается к БП. Разъём рассчитан на максимальный ток 25 А. От клеммника питание подаётся на плату усилителя мощности (см. рис. 9) тремя проводами сечением 1 мм² и на плату предварительного усилителя (см. рис. 4) с помощью описанного слаботочного кабеля.

На фотографии усилителя со снятой верхней крышкой корпуса (см. рис. 10) видно, что корпус усилителя практически пустой. Зелёной стрелкой показана плата регулировки громкости, синей – плата предварительного усилителя и красной – плата усилителя мощности. На плате предварительного усилителя видны два многооборотных подстроечных резистора синего цвета.

Радиатор крепится к задней стенке корпуса четырьмя винтами М4. Между задней стенкой и радиатором на крепёжных винтах установлены четыре карболитовые шайбы, исключая тепловой контакт радиатора с корпусом. В задней стенке вырезано прямоугольное окно, через которое к радиатору крепится микросхема LM4780 с платой усилителя мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение инструментального усилителя AD8295 в качестве предварительного позволяет:

- Использовать ИС УМЗЧ в инвертирующем режиме, что снижает коэффициент нелинейных искажений.

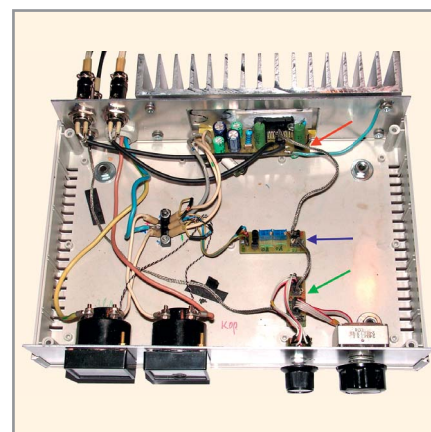


Рис. 10. Фотография общего вида усилителя в корпусе со снятой крышкой

- Уменьшить коэффициент передачи УМЗЧ до минимального значения (т.е. реализовать максимальную глубину ООС).
- Исключить разделительные конденсаторы из усилительного тракта.
- Настроить постоянное смещение на выходе ИС УМЗЧ с точностью до $\pm 0,15$ мВ.
- Использовать пониженное напряжение питания ИС УМЗЧ (например, ± 20 В), чтобы уменьшить тепловыделение.

Описанный в статье усилитель является одним из возможных примеров применения предлагаемого согласующего устройства на базе ИУ, которое в данном случае реализовано в виде предварительного усилителя. Подобное устройство может использоваться в генераторах, измерительных и усилительных приборах.

ЛИТЕРАТУРА

- Рутковский Д.ж. Интегральные операционные усилители. Мир. 1978.
- Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 3 томах. Мир. 1993.
- LM4780 Overture Audio Power Amplifier Series Stereo 60W, Mono 120W Audio Power Amplifier with Mute. Datasheet. Texas Instruments. 2003–2013.
- Шихатов А. Тонкомпенсированные регуляторы громкости. Радио. 2000. №10.
- TDA7293, 120-volt, 100-watt, DMOS audio amplifier with mute and standby. Datasheet. STMicroelectronics. 2010.
- LM3886 Overture Audio Power Amplifier Series High-Performance 68W Audio Power Amplifier w/Mute. Datasheet. Texas Instruments Incorporated. 1999–2013.
- Кузьминов А. Активный фильтр на мощном полевом транзисторе и ОУ с защитой от превышения тока. Современная электроника. 2016. №3.

