

Расширение возможностей генератора на DDS AD9837 по амплитуде выходного сигнала

Алексей Кузьминов

В статье описаны усилитель звукового диапазона частот с низким значением THD на базе ОУ LM3886TF и двухполярный стабилизированный источник питания (ИП) для него, позволяющий регулировать выходные напряжения от $\pm 6,6$ В до ± 30 В и током до 0,75 А на базе высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875. Прибор усиливает синусоидальный сигнал с генератора на базе DDS AD9837 [1] по амплитуде до более чем 20 В. Приведены принципиальные схемы, разводка и внешний вид плат, конструкция устройств и результаты их работы.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

Введение

Амплитуда синусоидального сигнала, полученного с генератора зву-

кового диапазона частот на базе DDS AD9837, описанного автором в [1], не превышает 1 В. Такая амплитуда

достаточна для настройки и тестирования УМЗЧ и предварительного усилителя для него. Однако во многих случаях этого бывает недостаточно. Например, при калибровке, тестировании и настройке приборов, измеряющих действующее, средневыпрямленное и амплитудное значения синусоидальных сигналов и других устройств, требуется калиброванный синусоидальный сигнал звукового диапазона частот с амплитудой до 20 В. В настоящей статье этот пробел восполнен с помощью усилителя на базе ОУ LM3886TF и двухполярного стабилизированного ИП, позволяющего регулировать выходные и равные по абсолютной величине напряжения в диапазоне от $\pm 6,5$ В до ± 30 В всего одной ручкой на базе регулируемого высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875. Как будет видно из дальнейшего изложения, для работы усилителя требуется двухполярный ИП с напряжениями ± 28 В, а ток потребления усилителя не превышает 0,2 А. Однако сконструировать ИП с этими параметрами было бы своеобразным расточительством, поскольку такой ИП имеет ограниченное использование, поэтому автором и сконструирован регулируемый ИП с более широким диапазоном напряжений и большим током, нацеленный на более общее применение.

Статья построена следующим образом. Вначале приводятся принципиальные схемы устройств, затем разводка и внешний вид их плат, далее – их конструкции, тестирование и результаты работы.

Принципиальные схемы

Усилитель состоит из собственно платы (рис. 1) и дополнительных устройств (рис. 2). Как можно увидеть

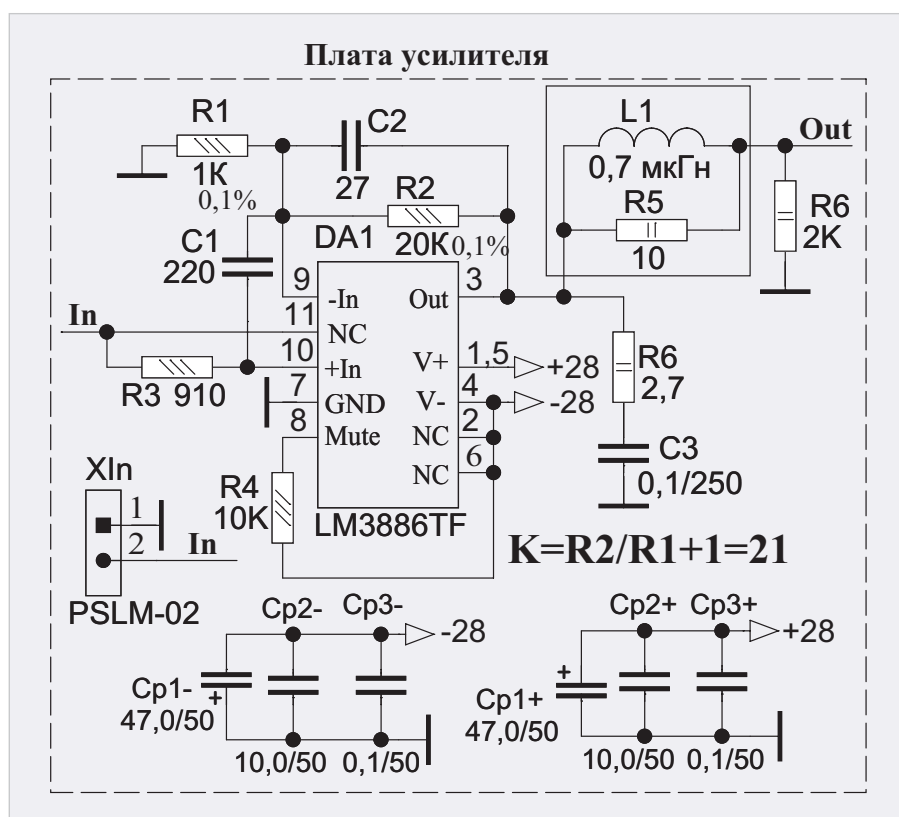


Рис. 1. Принципиальная схема платы усилителя

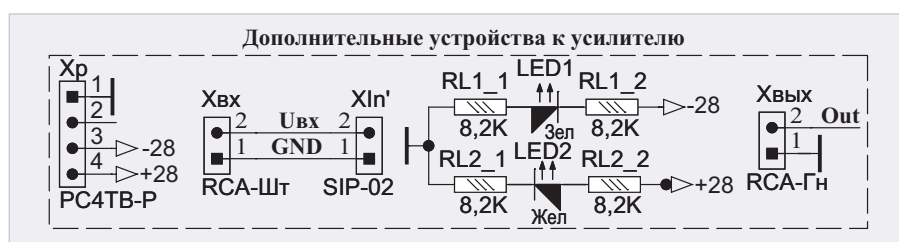


Рис. 2. Принципиальная схема дополнительных устройств к усилителю

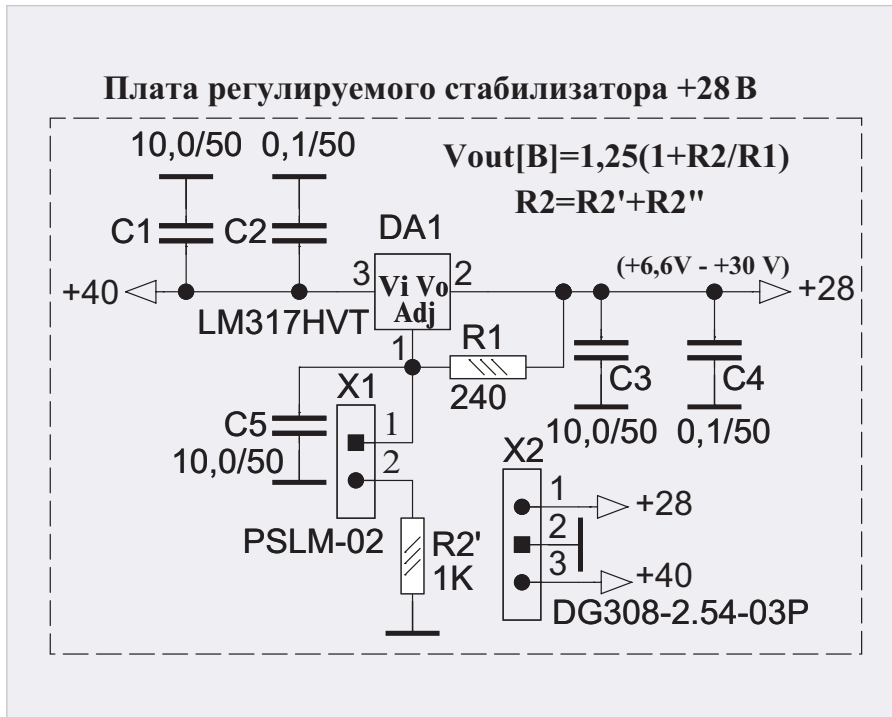


Рис. 3. Принципиальная схема платы регулируемого стабилизатора

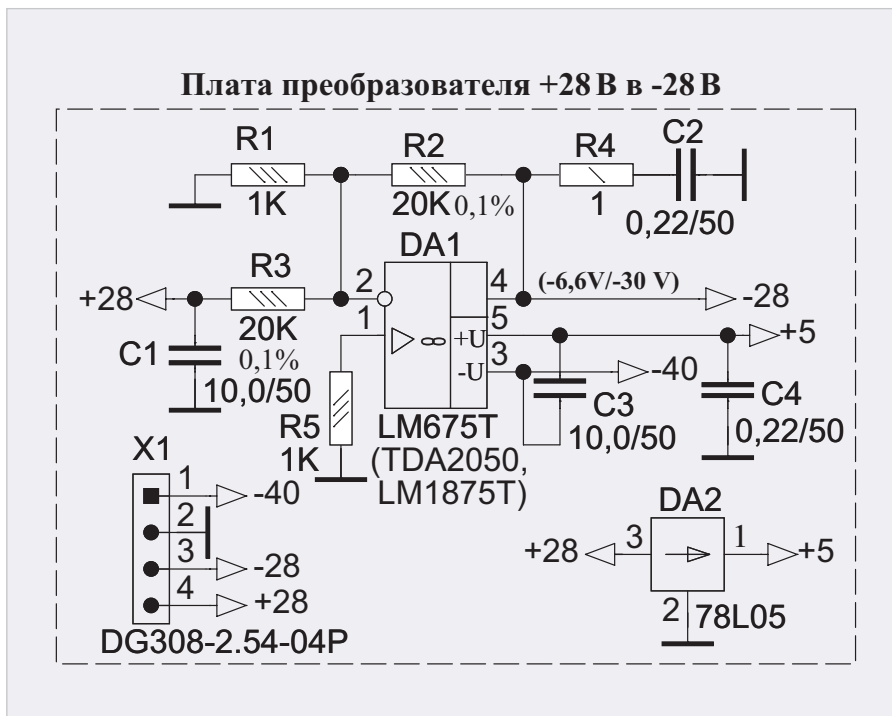


Рис. 4. Принципиальная схема платы преобразователя +28 В в -28 В

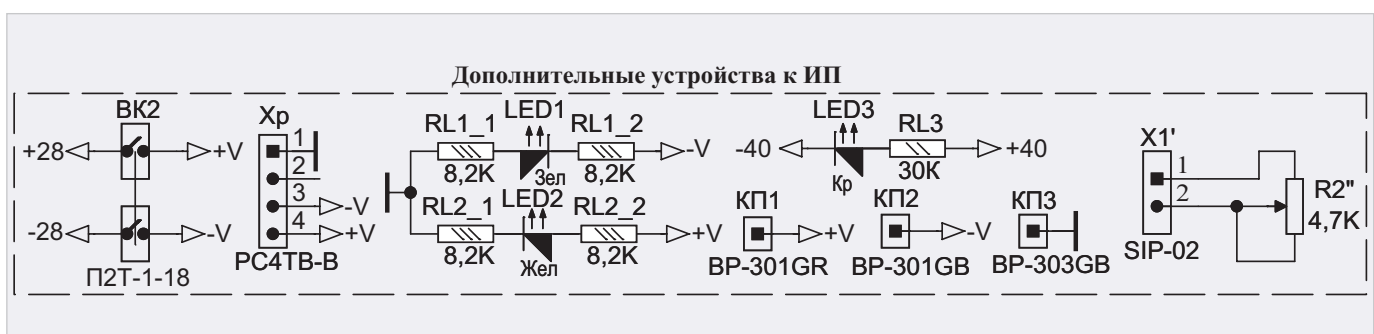


Рис. 5. Принципиальная схема дополнительных устройств ИП

из схемы рис. 1, усилитель представляет собой классический неинвертирующий усилитель на ОУ LM3886TF (DA1) с коэффициентом усиления $K_U = R_2/R_1 + 1 = 20K/1K + 1 = 21$. Для сохранения баланса токов на входах ОУ, как известно, резистор $R_3 = R_2 || R_1 = 20K || 1K = 0,952K$, поэтому номинал резистора R_3 выбран равным 910 Ом – ближайшим к 0,952K из ряда E24 (5%). Конденсатор C1, RC-цепочка R6C3 и RL-цепочка R5L1, рекомендуемые производителем LM3886 (см. его справочный листок – Datasheet), препятствуют самовозбуждению ОУ. Конденсатор C2 установлен для получения адекватной переходной характеристики ОУ. Конденсаторы Cр1...Cр3– и Cр1+...Cр3+ – блокировочные. Входной сигнал от генератора (In) подаётся на разъём PSLM-02 (XIn), а выходной сигнал Out подключается к гнезду RCA (Xвых, рис. 2), расположенному на боковой стенке корпуса усилителя (см. далее). К дополнительным устройствам (рис. 2) относятся следующие. Трёхпроводной кабель питания, который одним концом с соответствующими сигналами впаивается в плату усилителя (рис. 1), а на втором его конце расположена розетка PC4TB-P (Xp), которая подключается к ИП. Двухпроводной коаксиальный кабель, на одном конце которого расположен гнездовой цанговый разъём SIP-02 (Xin'), который подключается к разъёму XIn платы (рис. 1), а на втором его конце – штекер RCA-Шт (Xвх), который подключается к генератору. Оба эти кабеля пропущены через резиновую втулку, расположенную на боковой стенке корпуса усилителя (см. далее). Для индикации присутствия напряжений питания в усилителе предусмотрены светодиоды LED1 (зелёного цвета) и LED2 (жёлтого цвета) со своими токоограничительными резисторами RL1_1, RL1_2 и RL2_1, RL2_2 соответственно, которые встав-

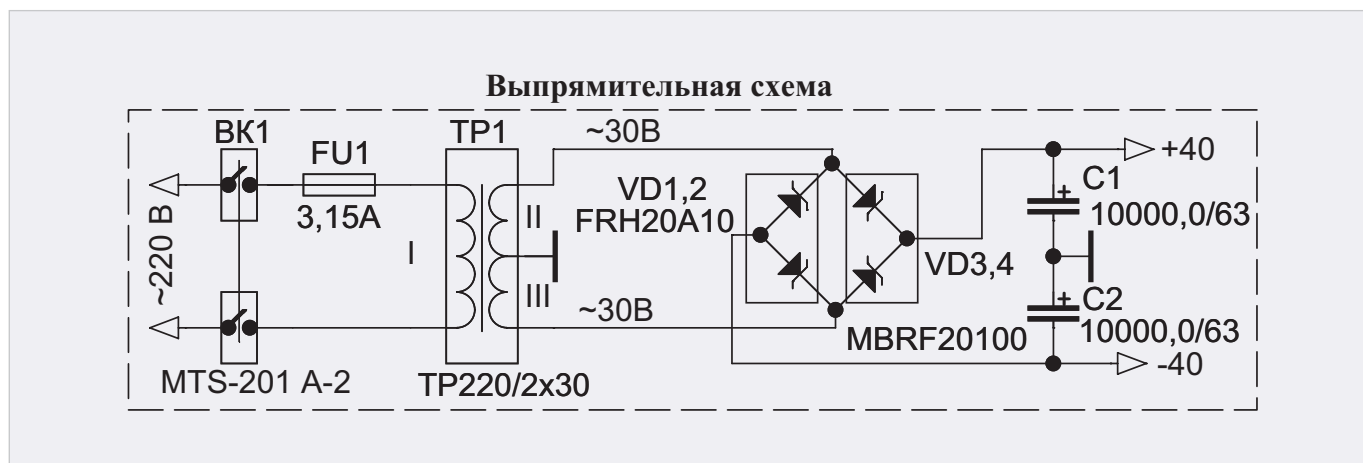


Рис. 6. Принципиальная схема выпрямителя ИП

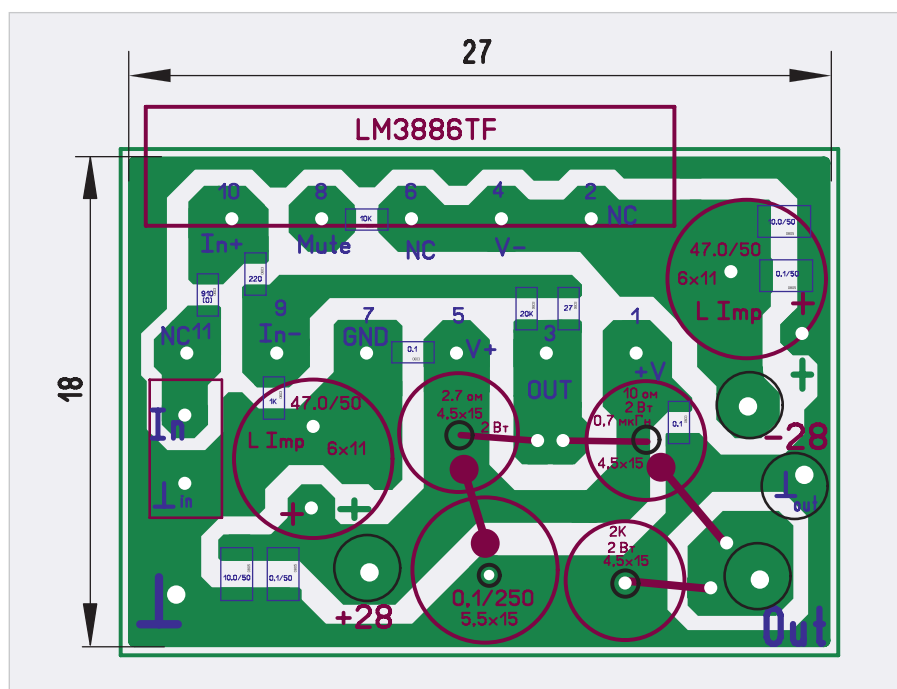


Рис. 7. Разводка платы усилителя

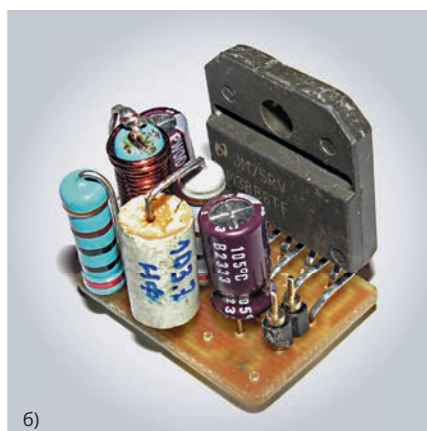
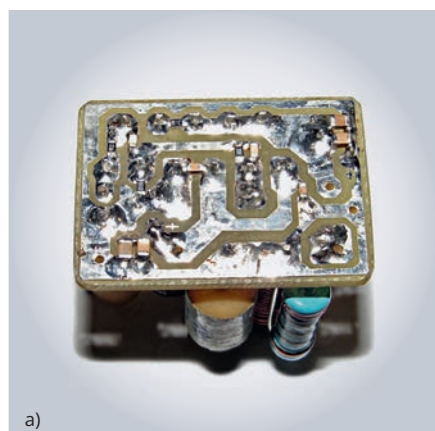


Рис. 8. Внешний вид платы усилителя:
а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны

лены в отверстия на верхней стенке корпуса усилителя (см. далее).
ИП состоит из следующих устройств.

Плата регулируемого стабилизатора (рис. 3). Она включает в себя высоковольтный (до 60 В) регулируемый стабилизатор LM317HVT (DA1),

выходное напряжение которого V_{out} , как известно, определяется следующим соотношением: $V_{out} = 1,25 (1 + R2/R1)$, где $R1 = 240 \text{ Ом}$, а $R2$ состоит из постоянного резистора $R2'$ номиналом 1 К и переменного резистора $R2''$ номиналом 4,7 К марки СП5-35Б. Как написано в его справочном листке, этот резистор с высокой электрической разрешающей способностью. Конструкция резистора построена по груботочной схеме, имеет два резистивных элемента, при этом подвижные системы управляются от одного вала. При регулировке сопротивления вначале происходит поворот подвижной системы точного резистивного элемента от упора до упора, а затем поворот подвижной системы грубого резистивного элемента. Этот резистор подключается к разъёму PSLM-02 (X1) платы двухпроводным кабелем, на одном конце которого расположен ответный разъём SIP-02 (X1'), а его второй конец припаян к резистору. Конденсаторы C1...C4 – блокировочные. Входное напряжение (+40 В), выходное напряжение (+6,6...+30 В) питания и «земля» подключаются к плате с помощью трёхконтактного клеммника DG308-2.54-03P (X2, рис. 3). На рис. 3 выходное напряжение условно обозначено как «+28», так как оно выставлено для работы усилителя.

Плата преобразователя +28 В в -28 В (рис. 4). На самом деле эта плата преобразует положительное входное напряжение, полученное с платы регулируемого стабилизатора (+6,6...+30 В) в отрицательное напряжение (-6,6...-30 В), но поскольку входное положительное напряжение условно обозначено как «+28 В», то и выходное напряжение условно обозначено как «-28 В». В схеме используется ОУ LM675 (DA1), но могут быть

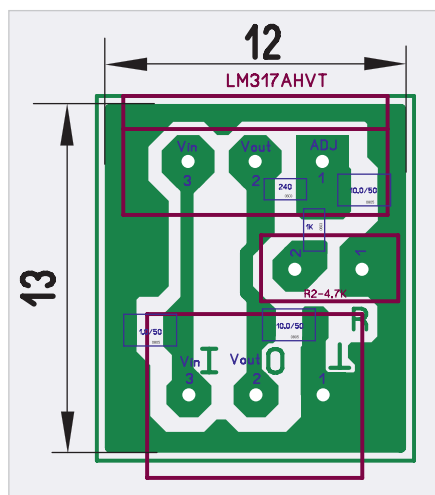
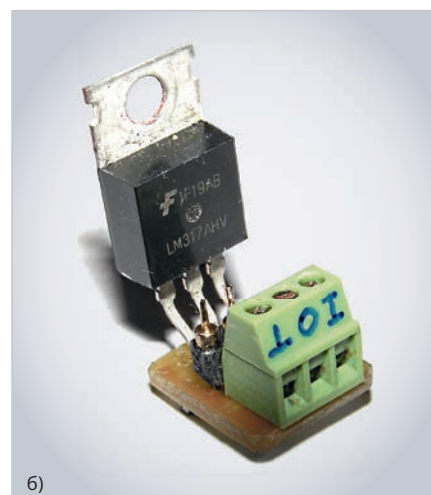


Рис. 9. Разводка платы регулируемого стабилизатора

применены ОУ TDA2050 и LM1875T. Часть этой схемы автор «подсмотрел» в справочном листке на ОУ L165 (L200). Она представляет собой так называемый трекинг-регулятор напряжения (Tracking Regulator). Схема состоит из классического инвертирующего усилителя на базе ОУ LM675 (DA1) с коэффициентом усиления, равным $K = -R2/R3 = -20K/20K = -1$ и двух резисторов R1 и R5, подключённых к «земле». Если входное положительное напряжение равно +28 В, то благодаря инверсии ОУ выходное напряжение будет равно -28 В. Но здесь есть один нюанс. Дело в том, что, как видно из схемы, отрицательное напряжение питания, подаваемое на третий вывод ОУ, составляет -40 В, а максимальное напряжение питания этого ОУ (т.е. напряжение между выводами U+ и U-) составляет 60 В (для LM1875 тоже 60 В, для TDA2050 - 50 В). Если на вход U+ будет подано напряжение +30 В (со стабилизатора, рис. 3), то максимальное напряжение питания этого ОУ составит уже 70 В (30 В + 40 В), что недопустимо. В схеме на L165, если напряжение питания больше 36 В, то для ограничения положительного напряжения питания используется стабилитрон. Но стабилитрон рассчитан на небольшой ток (даже у 5-ваттного стабилитрона максимальный ток стабилизации составляет 50–70 мА), и, кроме того, мощный стабилитрон достаточно габаритен (и дорог). Вместо стабилитрона автор применил обычный 5-вольтовый стабилизатор 78L05 (DA2), который выдаёт максимальный ток до 100 мА, достаточно миниатюрен и дешёв. В этом случае мак-



Рис. 10. Внешний вид платы регулируемого стабилизатора:
а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны



симальное напряжение питания ОУ будет составлять $40 В + 5 В = 45 В$, что меньше 60 В (для LM675T и LM1875) и даже меньше 50 В (для TDA2050). Кроме того, поскольку минимальное выходное напряжение регулируемого стабилизатора составляет 6,6 В (рис. 3), то, учитывая падение напряжения L78L05 (около 1,5 В), этот преобразователь будет работать и выдавать выходное напряжение -6,6 В. Здесь также следует отметить, что потребление тока по положительному напряжению питания ОУ очень мало (несколько мА), поскольку он выдаёт отрицательное напряжение, и выходной транзистор, подключённый к положительному напряжению питания, при этом закрыт (см. схему ОУ в справочном листке). RC-цепочка R4C2 исключает самовозбуждение ОУ, конденсаторы C1, C3, C4 – блокировочные. Все напряжения и «земля» подключаются к 4-контактному клеммнику DG308-2.54-04P (X1, рис. 4).

К дополнительным устройствам ИП (рис. 5) относятся следующие. Выключатель питания П2Т-1-18 (BK2), который подаёт выходные напряжения на 4-контактный разъём PC4TB-B (Xp), на светодиоды LED1 и LED2 со своими токоограничительными резисторами RL1_1, RL1_2 и RL2_1, RL2_2 и на приборные клеммы ВР-301GR (КП1), ВР-301GB (КП2), а клемма ВР-303GB (КП3) постоянно соединена с «землёй». Светодиод LED3 со своим токоограничительным резистором RL3 постоянно подключён к напряжениям -40 В и +40 В, полученным в выпрямительной схеме (рис. 6), и сигнализирует, что прибор подключён к сетевому напряжению пита-

ния (220 В). С помощью переменного резистора R" регулируются выходные напряжения ИП.

В выпрямительной схеме (рис. 6) используется сетевой трансформатор мощностью около 100 Вт, первичная обмотка которого подключается к напряжению $\approx 220 В$, а с двух вторичных обмоток снимаются два напряжения по $\approx 30 В$. Подключение к сетевому напряжению осуществляется с помощью выключателя MTS-201 A2 (BK1) и предохранителя на 3,15 А (FU1). Схема выпрямления со средней точкой построена на двух сдвоенных диодах Шоттки FRN20A10 (VD1,2) с общим анодом и двух сдвоенных диодах Шоттки MBRF20100 (VD3,4) с общим катодом. Диоды рассчитаны на максимальный ток 20 А и максимальное обратное напряжение 100 В. В качестве сглаживающих используются два конденсатора C1 и C2 по 10 000 мкФ, рассчитанных на максимальное напряжение 63 В.

Здесь следует заметить, что в использовании в ИП двух выключателей (BK1, рис. 6) и BK2 (рис. 5) есть две причины. Во-первых, при подключении сетевого напряжения к ИП с помощью BK1 (рис. 6) в платах рис. 3 и рис. 4 возникают достаточно высокие броски напряжений, которые могут повредить подключённый к ИП прибор, поэтому, прежде чем включить выключатель BK1, выключатель BK2 обязательно должен быть выключен. После включения выключателя BK1 загорается светодиод LED3 (рис. 5), сигнализирующий о подключении ИП к сетевому напряжению. Далее уже можно включать выключатель BK2, после

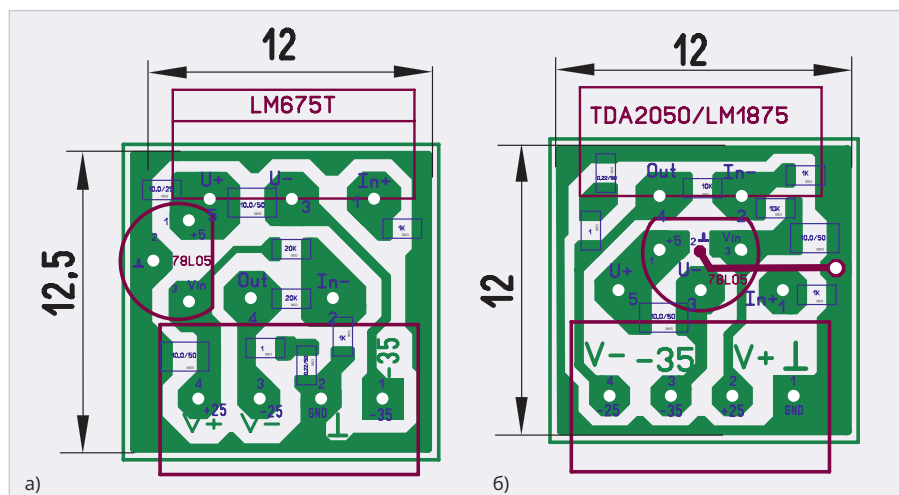


Рис. 11. Разводка плат преобразователя +28 В в -28 В:
а – на базе ОУ LM675Т, б – на базе TDA2050/LM1875Т

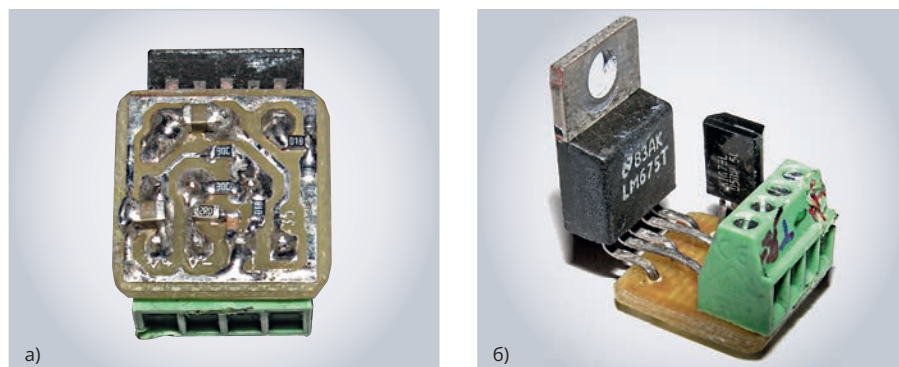


Рис. 12. Внешний вид платы преобразователя +28 В в -28 В на базе ОУ LM675Т:
а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны



Рис. 13. Усилитель в открытом корпусе

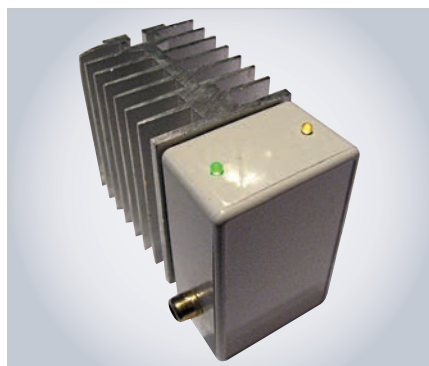


Рис. 14. Работающий усилитель в корпусе в сборе



Рис. 15. ИП в открытом корпусе



Рис. 16. Работающий ИП в корпусе в сборе

включения которого загораются светодиоды LED1 и LED2 (рис. 5), сигнализирующие о подаче выходных напряжений на клеммы КП1, КП2 и разъем Хр (рис. 5). Во-вторых, выключатель ВК2 сразу снимает выходные напряжения ИП с подключенного прибора, а при выключении ВК1 на конденсаторах С1 и С2 (рис. 6) остаётся напряжение, о чём свидетельствует светодиод LED3 (рис. 5), который ещё долго горит (около 2–3 минут). Поэтому выключение ИП обязательно следует делать в обратном порядке: вначале выключить ВК2, а затем выключить ВК1.

Разводка и внешний вид плат

Разводка всех плат сделана автором с помощью программы SprintLayout 6.0. Файл разводки в формате *.laub приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Все платы изготовлены из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм с односторонним медным покрытием.

Разводка платы усилителя (рис. 7) достаточно проста, а плата имеет размер 18×27 мм. Внешний вид платы (рис. 8) показан ещё до припайки проводов питания, «земли» и выходного сигнала усилителя.

Разводка платы регулируемого стабилизатора (рис. 9) также проста, а плата миниатюрна: она имеет размер всего 12×13 мм, о чём можно судить по её внешнему виду (рис. 10).

Разводка плат преобразователя +28 В в -28 В на базе ОУ LM675Т (рис. 11а) и ОУ TDA2050/LM1875Т (рис. 11б) достаточно проста, а сами платы также миниатюрны и имеют размеры 12×12,5 мм и 12×12 мм соответственно. В связи с тем, что вид плат практически одинаковый, на рис. 12 показана только плата на базе ОУ LM675Т. Хотя схема преобра-



Рис. 17. Подключение усилителя к генератору, ИП и осциллографу

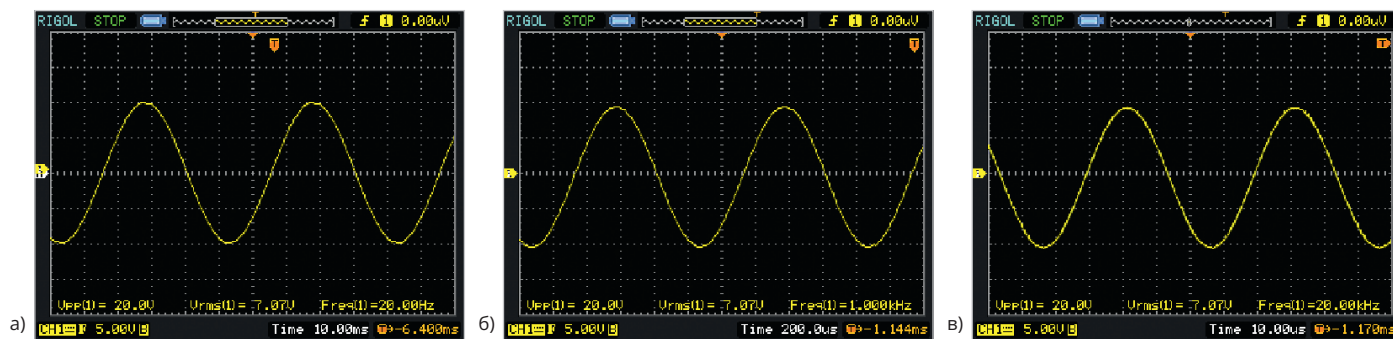


Рис. 18. Осциллограммы выходных сигналов усилителя при амплитуде 10 В и частотах: а – 20 Гц, б – 1 кГц, в – 20 кГц

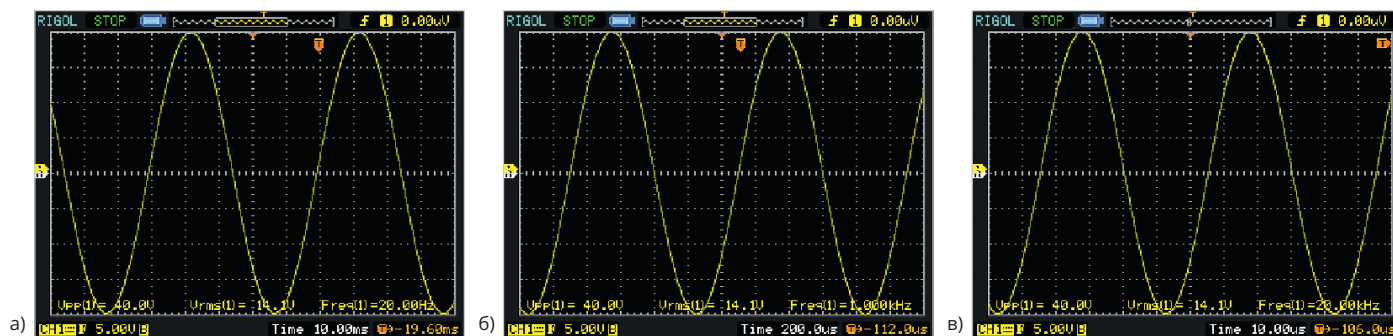


Рис. 19. Осциллограммы выходных сигналов усилителя при амплитуде 20 В и частотах: а – 20 Гц, б – 1 кГц, в – 20 кГц

зователя одна и та же (рис. 4), в связи с тем, что у LM675T и TDA2050/LM1875T отличается формовка выводов, то и разводка у плат разная.

Конструкция усилителя

Усилитель расположен в пластиковом корпусе размером 70×45×30 мм (корпус «20-33») с защёлкивающейся крышкой (рис. 13, рис. 14), в котором прорезано окно для укрепления платы усилителя на радиаторе. Кабели питания (от ИП) и входного сигнала (с генератора) пропущены через резиновую втулку, вставленную в отверстие на одной боковой стенке корпуса и дополнительно укреплённую термоклеем. На второй боковой стенке укреплён разъём (гнездо RCA), на который выведен выходной сигнал с усилителя. Светодиоды с припаянными к ним токоограничительными резисторами, изолированными термоусаживаемой трубкой (она синего цвета на рис. 13), вставлены с натягом в отверстия на верхней стенке корпуса. В качестве радиатора автор использовал недорогой (250–300 руб.) охладитель «O131-60» размером 60×60×45 мм, применяемый для охлаждения силовых диодов, тиристоров и симисторов (Д132, ДЛ132, Т132, ТС132) штыревого исполнения. Корпус прикручен к радиатору четырьмя винтами М2,5, а чтобы корпус не касался радиатора, между

ними установлены стеклотекстолитовые шайбы для винтов М2,5. Корпус ОУ LM3886TF прикручен к радиатору винтом М3 и кузовной (широкой) шайбой с использованием теплопроводящей пасты КПТ-8. Чтобы корпус усилителя не скользил, на нижней стенке корпуса укреплены две самоклеящиеся резиновые ножки, а на нижней задней поверхности охладителя укреплён небольшой кусочек ластика. Ножки и ластик хорошо заметны на рис. 13. Таким образом, корпус опирается на три точки и не скользит. После часа работы усилителя радиатор нагрелся до температуры (по ощущению автора) около 37–40°C. Так что выбор радиатора такого размера себя оправдал.

Конструкция ИП

ИП расположен в корпусе размером 140×190×60 мм («G767») – рис. 15, рис. 16. На задней стенке корпуса укреплены: выключатель сетевого питания, предохранитель, гермоввод, в котором зажат сетевой провод, а также радиатор, прикрученный к задней стенке 4 винтами М3. Сами платы держатся на выводах обеих мощных микросхем, прикрученных к радиатору через керамические изоляционные прокладки с использованием теплопроводной пасты КПТ-8. Для этого в задней стенке прорезано окно. Трансформатор прикручен

к днищу корпуса винтом М4 впотай с помощью стойки с внутренней резьбой М4 и специальной чашки. Между трансформатором, дном корпуса и чашкой установлены резиновые прокладки. Выпрямительные диоды с двух сторон прикручены к небольшому радиатору, который также прикручен к днищу корпуса 2 винтами М2 впотай. Электролитические конденсаторы укреплены в специализированных хомутах с отогнутыми лепестками, прикрученными к днищу корпуса винтами М3 впотай. Приборные клеммы, резистор, регулирующий выходные напряжения, разъём, дублирующий выходные напряжения, светодиоды (с припаянными к ним токоограничительными резисторами, изолированными термоусаживаемой трубкой) в специальных оправках и выключатель питания (выходных напряжений) укреплены на передней (лицевой) стенке корпуса. К днищу корпуса приклеены 4 резиновые ножки, входящие в комплект поставки корпуса.

Результаты работы усилителя и ИП

Прежде чем подключать усилитель к ИП, была произведена проверка его работы и выяснено, какой максимальный ток он может обеспечить. Для этого к двум крайним клеммам «–» – чёрный и «+» – крас-

ный (рис. 16) был подключён цифровой тестер, работающий в режиме измерения постоянного напряжения (DC). А к двум выходным напряжениям выпрямителя (к соответствующим выводам электролитических конденсаторов) был подключён стрелочный тестер, который также работал в режиме измерения постоянного напряжения. Далее был включён сетевой выключатель питания, а вслед за ним – выключатель выходных напряжений. Затем ручкой, регулирующей выходные напряжения, было выставлено напряжение 56 В (2×28 В). После этого выключатель выходных напряжений был выключен, и к клеммам был подключён мощный переменный резистор (ПЭВР-100), на котором было выставлено сопротивление около 56 Ом, и последовательно с которым был подключён также мощный переменный резистор номиналом 500 Ом мощностью 40 Вт. Таким образом, общее максимальное сопротивление нагрузки составило 556 Ом. Измеренное стрелочным тестером выходное напряжение выпрямителя составило 80 В. После включения выключателя выходных напряжений стрелочный тестер показал 74 В, а цифровой тестер 56 В. Далее, уменьшая сопротивление переменного резистора 500 Ом и измеряя выходное напряжение цифровым тестером, автор добился порога, когда выходное напряжение на нагрузке уменьшилось до 55,9 В. При этом показание стрелочного тестера снизилось до 61 В. После этого был выключен выключатель выходных напряжений и вслед за ним – выключатель сетевого напряжения. Отсоединив нагрузку и измерив её сопротивление цифровым тестером, автор получил значение 74,8 Ом ≈ 75 Ом. При этом был подсчитан максимальный выходной ток I_{МАХ} ИП при выходном напряжении 56 В, который составил: I_{МАХ} = 56 В / 75 Ом = 0,748 А ≈ 0,75 А.

Далее было выяснено, какой максимальный ток потребляет усилитель. Для этого были последовательно соединены два ИП с защитой по току: Б5-47 и ИП, описанный автором в [2]. На обоих ИП было выставлено напряжение 28 В и максимальный ток 0,75 А. Подключив к ИП усилитель, к нему генератор, включив питание и выставив максимальную амплитуду выходного сигнала усилителя (20 В), автор стал уменьшать макси-

мальный ток на обоих ИП. При токе 0,17 А (≈ 0,2 А) ИП Б5-47 перешёл в режим защиты по току, и таким образом было выяснено, что при напряжениях ±28 В максимальное потребление тока усилителем составило 0,2 А, что меньше, чем максимальный ток (0,75 А), который способен выдать описываемый ИП при этих напряжениях. Это означает, что описываемый ИП с запасом подходит для работы усилителя.

Далее автор протестировал работу усилителя. Для этого питание усилителя было подключено к описываемому ИП, на котором были выставлены два напряжения ±28 В, входной сигнал усилителя – к генератору [1], а выходной сигнал с усилителя – к осциллографу (рис. 17). После этого с осциллографа были сняты осциллограммы при двух значениях амплитуды: 10 В и 20 В и трёх значениях частот: 20 Гц, 1 кГц и 20 кГц (рис. 18, рис. 19).

Анализ осциллограмм показал следующее. При амплитуде выходного сигнала усилителя в 10 В, т.е. при размахе 20 В («Vpp(1)=20.0V») действующее значение сигнала составило 7,07 В («Vrms(1)=7.07V») – рис. 18. При амплитуде 20 В, т.е. при размахе 40 В («Vpp(1)=40.0V»), действующее значение составило 14,1 В («Vrms(1)=14.1V») – рис. 19. Осциллограммы были сняты при трёх частотах: 20 Гц («Freq(1)=20.00Hz»), 1 кГц («Freq(1)=1.000kHz») и 20 кГц («Freq(1)=20.00kHz») – рис. 18, рис. 19.

Как известно, если сигнал является периодической функцией с амплитудой U_{Амп}, действующим значением U_д = U_{Амп} · 1/√2 ≈ U_{Амп} × 0,7071 и симметричной относительно оси X, т.е. положительное значение функции симметрично относительно её отрицательного значения, если отрицательное значение сдвинуть по оси X вровень с положительным значением, то такая функция является синусоидой.

Как видно из рис. 18, амплитуда U_{Амп} = 10 В, а действующее значение U_д равно 7,07 В, т.е. U_д = U_{Амп} × 0,7071 = 10 В × 0,7071 ≈ 7,07 В. Это означает, что сигнал строго синусоидален. При U_{Амп} = 20 В и U_д = 14,1 В (рис. 19), т.е. U_д = U_{Амп} × 0,7071 = 20 В × 0,7071 ≈ 14,1 В, что также подтверждает синусоидальность сигнала. Таким образом, при всех трёх частотах (20 Гц, 1 кГц и 20 кГц) и амплитудах 10 В и

20 В выходной сигнал усилителя строго синусоидален.

Кроме того, при тестировании ОУ LM3886 в режиме переменного напряжения (AC) в его справочном листке указана нагрузка в 2 К (см. Test Circuit #2 – AC Electrical Test Circuit в Datasheet). Как видно из рис. 1, в схеме усилителя установлена аналогичная нагрузка: R6 = 2 К. При такой нагрузке и амплитуде выходного напряжения U_{Амп} = 20 В выходная мощность P усилителя, как нетрудно подсчитать, составит: P = (U_{Амп}²) / R6 = (20 В)² / 2 К = 400 В² / 2000 Ом = 0,2 Вт. А при такой мощности коэффициент гармонических искажений + шум (THD+N), как можно увидеть из справочного листка, составит не более 0,03%.

Резюмируя показания теста усилителя и описание теста ОУ LM3886 в справочном листке, можно констатировать, что выходной сигнал усилителя синусоидален, а THD+N < 0,03%.

Заключение

Применение ОУ LM3886TF позволило сконструировать усилитель синусоидальных сигналов, поданных на него с генератора звукового диапазона частот на базе DDS AD9837 [1], до амплитуды в 20 В с низкими искажениями (THD+N < 0,03%), и таким образом расширить возможности генератора по амплитуде, а применение высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875 – сконструировать ИП для этого усилителя. Генератор [1] совместно с усилителем может найти применение в настройке, калибровке и тестировании приборов, измеряющих амплитудное и действующее значения сигналов в звуковом диапазоне частот, а также в других областях звукотехники. Кроме того, описанный в статье ИП также может быть использован самостоятельно в других разделах электроники и электротехники.

Литература

1. Кузьминов А. Генератор гармонических колебаний звукового диапазона на базе синтезатора частоты AD9837В, микроконтроллера EFM8SB10 и LCD Nokia-5110 с батарейным питанием // Современная электроника. 2023. № 6.
2. Кузьминов А. Применение мощного аудио ОУ LM1875Т в новых (не аудио) приложениях // Современная электроника. 2021. № 7.

