

Высококачественный усилитель мощности

Автор усилителя – Ю. Солнцев г. Москва

Правка исходной статьи с учетом современной элементной базы – Green

Создатель нижеследующего описания ни в коем случае не претендует на авторство данного усилителя. Написание этой статьи (или исправление исходной:) автора сподвигло лишь желание облегчить труд своим друзьям и знакомым, собиравшим усилитель по его рекомендациям.

Основные параметры усилителя

Максимальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 4 Ом	70
Номинальное входное напряжение, В	0,2
Верхняя граница диапазона частот при максимальной амплитуде выходного сигнала, кГц	50
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	5,5
Отношение сигнал/шум (невзвешенное), дБ	80
Коэффициент гармоник, %, в диапазоне 20...20 000 Гц, менее	0,05

Введение

Зная как относятся пользователи технической литературы к старым статьям (а исходная таковой и является) хочу сразу сделать важное замечание. На протяжении ряда лет я искал и испытывал схемы для создания высококачественного усилительного комплекса домашнего кинотеатра. Как показала практика усилитель QUAD 405 (на основе которого создан данный) до сих пор отвечает современным требованиям и при существующей на сегодняшний день элементной базе показывает характеристики которые порой не могут превзойти промышленные образцы (естественно зарубежные, о наших говорить не приходится). Кроме всего прочего, приведенная конструкция является простой как в понимании, так и в изготовлении. Так что держайте...

В данном описании приведена информация по всем элементам усилителя.

Исходную версию статьи можно найти в журнале Радио № 5 1984г.

Усилитель

При проектировании описываемого ниже усилителя за основу был взят уже упоминавшийся «Квод 405» [4, 5], удачно сочетающий в себе высокие технические характеристики и схемную простоту. Структурная схема усилителя в основном осталась неизменной, исключены лишь устройства защиты транзисторов выходного каскада от перегрузки. Практика показала, что устройства такого рода не исключают полностью отказов транзисторов, но вносят нелинейные искажения при максимальной выходной мощности. Ток же транзисторов можно ограничить иначе, например, используя защиту от перегрузки по току в стабилизаторах напряжения. В то же время представляется целесообразной защита громкоговорителей при выходе из строя усилителя или источников питания.

Для улучшения симметрии усилителя выходной каскад выполнен на комплиментарной паре транзисторов (рис. 1).

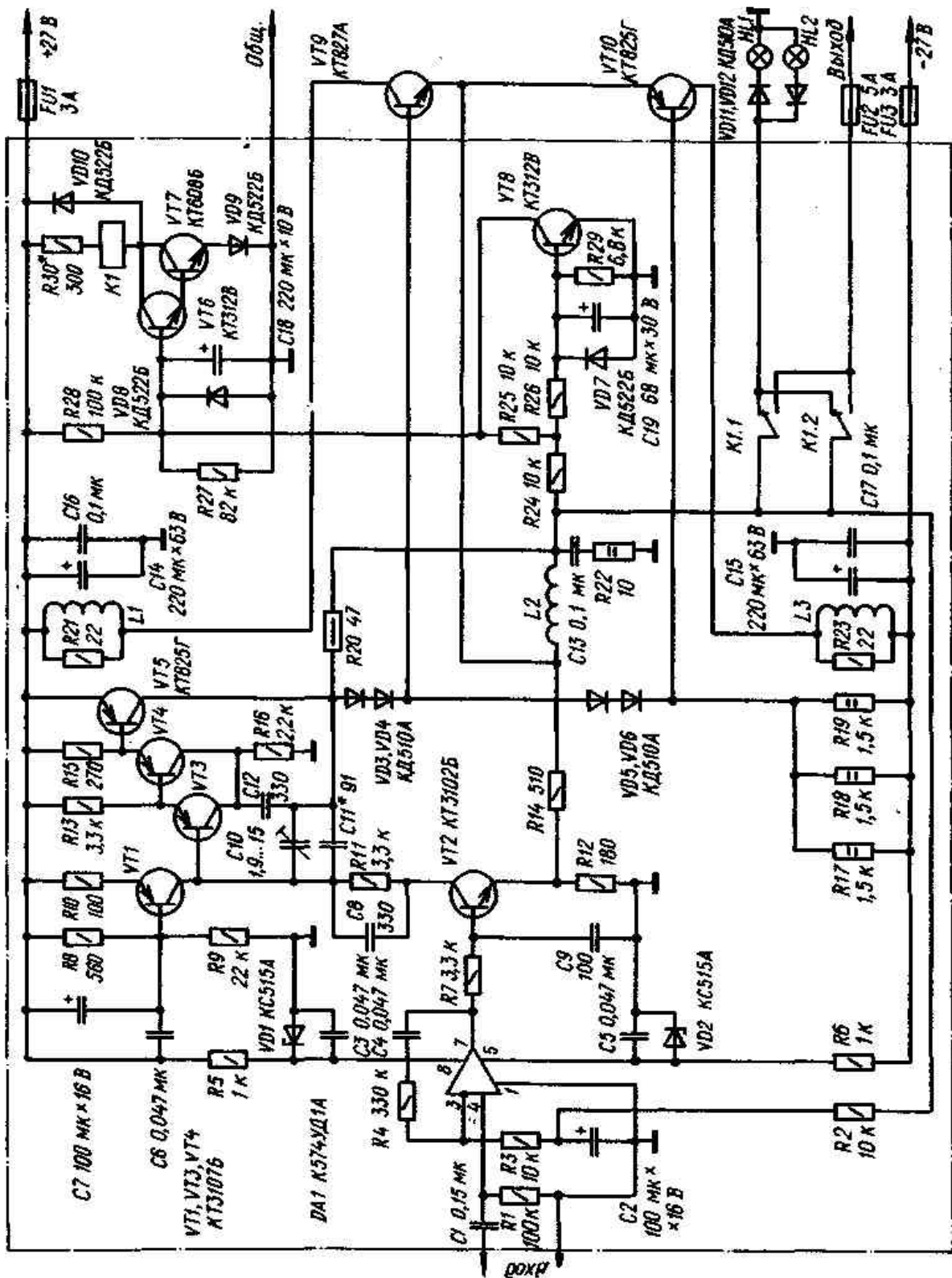


Рис. 1

Учитывая, что основные параметры усилителя улучшаются с ростом коэффициента передачи тока h_{219} . В выходном каскаде применены составные транзисторы KT827A (VT9) и KT825Г (VT10), в окончном каскаде линейного усилителя (VT5) - составной транзистор KT825Г. Для уменьшения нелинейных искажений типа «ступенька» между базами транзисторов VT9, VT10 включены диоды VD5 и VD6. При этом обеспечивается достаточно надежное закрытие транзисторов выходного каскада в отсутствие сигнала.

Незначительно изменена входная цепь. В качестве сигнального использован не инвертирующий вход ОУ DA1, что позволило увеличить входное сопротивление усилителя (оно определяется сопротивлением резистора R1 и равно 100 кОм). Если большее входное сопротивление не требуется, входную цепь лучше выполнить в соответствии с [5]. Входное сопротивление при этом уменьшится до 22 кОм, но усилитель станет инвертирующим и менее склонным к самовозбуждению при возникновении обратной связи между его выходом и входом (эта связь будет отрицательной). Следует, однако, отметить, что и в не инвертирующем варианте устойчивость усилителя остается высокой.

Для предотвращения щелчков в громкоговорителях, обусловленных переходными процессами при включении питания, а также для защиты громкоговорителей от постоянного напряжения при выходе из строя усилителя или источников питания применено простое, хорошо зарекомендовавшее себя устройство (VT6-VT8), используемое в промышленном усилителе «Бриг-001». При срабатывании этого устройства загорается одна из ламп HL1, HL2, сигнализируя о наличии на выходе усилителя постоянного напряжения той или иной полярности. Замена лампового индикатора на светодиодный описана в схеме блока питания (см. ниже)

В остальной схеме описываемого усилителя не отличается от схемы усилителя «Квод 405».

В отличие от исходного (Солнцевского) варианта я собирал каждый канал усилителя на отдельной плате (рис. 2). Практика показала, что в этом случае легче исключить возможные помехи и наводки от соседних каналов и трансформатора.

Не пугайтесь размеров платы. При первом осмотре возникает ложное впечатление заниженной плотности монтажа. Проведенные испытания показали, что ряд элементов при длительной работе усилителя достаточно сильно греются, а такая конфигурация платы способствует циркуляции воздуха и охлаждению. К тому же она исключает взаимные наводки элементов.

Для соединения с внешними цепями в исходном варианте применялись разъемы типа МРН. Если хотите помучаться с их пайкой (я особого удовольствия при их пайке не испытал) пробуйте. Приведенный рисунок печатной платы я создал до встречи с этими разъемами и, естественно, переделывать его в последующем мне было лень. Да смысла нет – в те же отверстия можно без проблем впаять провода.

Разводка цепей по контактам разъемов приведена в таблице.

Адрес	Контакты печатной платы (разъема)
Общий провод	1,2,7
-27В	5, 6, 9, 20
+ 27 В	13, 14
Коллектор VT10 Коллектор VT9	3,4 11, 12
Эмиттеры VT9, VT10	18, 19
База VT10	21
База VT9	22
Громкоговоритель	15, 16
Индикатор неисправного источника питания	17

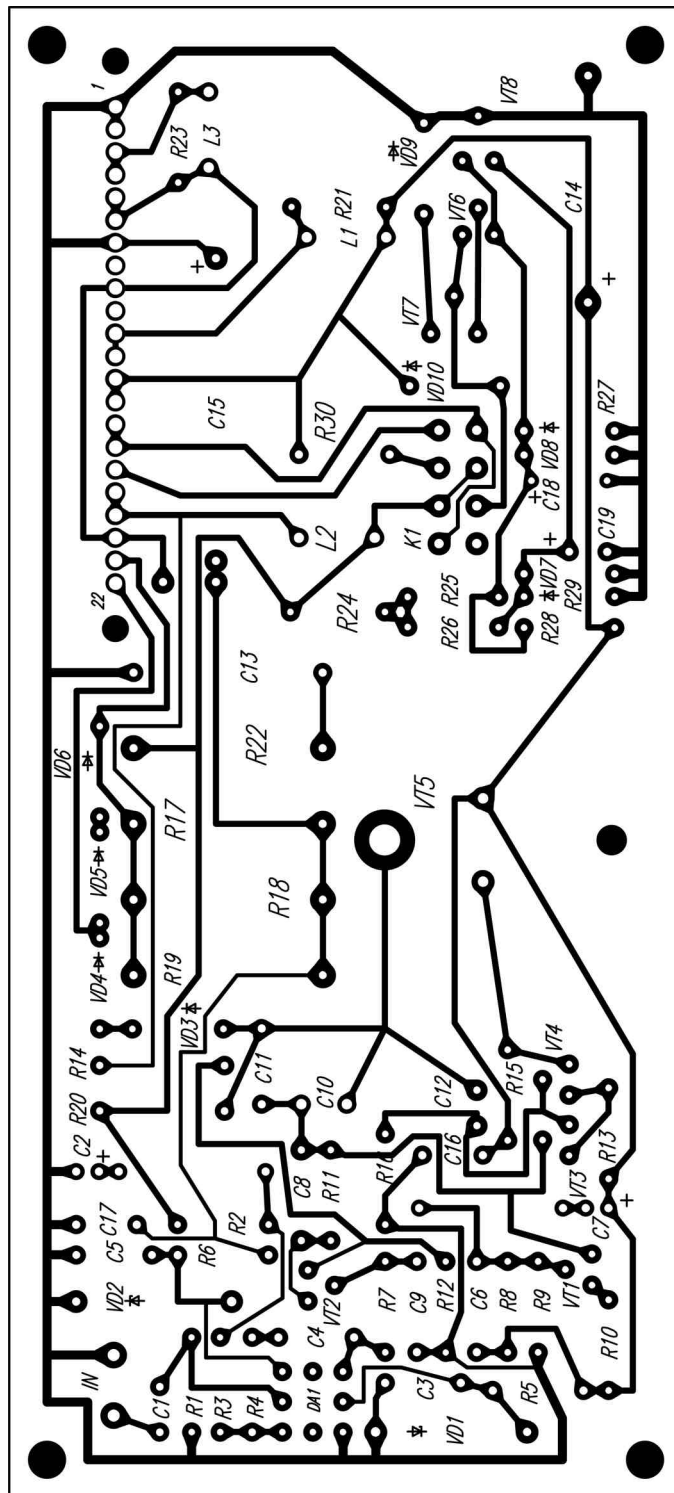


Рис. 2 (Истинный размер платы 197 x 89 мм)

Список деталей усилителя

1. Микросхема DA1 K574УД1А (я использовал в металлическом корпусе)
2. Транзисторы:
 - VT1, VT3, VT4 – КТ3107Б
 - VT2 – КТ3102Б
 - VT5 – КТ825Г
 - VT6, VT8 – КТ312В
 - VT7 – КТ608Б
 - VT9 – КТ827А
 - VT10 – КТ825Г
3. Резисторы (я использовал резисторы с 5% допуском):
 - R1, R28 – 100k x 0,25W
 - R2, R3, R24, R25, R26 – 10k x 0,25W
 - R4 - 330k x 0,25W
 - R5, R6 - 1k x 0,25W
 - R7, R11, R13 – 3,3k x 0,25W
 - R8 – 560 Ом x 0,25W
 - R9 – 22 k x 0,25W
 - R10 – 100 Ом x 0,25W
 - R12 – 180 Ом x 0,25W
 - R14 – 510 Ом x 0,25W
 - R15 – 270 Ом x 0,25W
 - R16 – 2,2 k x 0,25W
 - R17, R18, R19 – 1,5 k x 2W
 - R20 – 47 Ом x 0,5W
 - R21, R23 – 22 Ом x 0,25W
 - R22 – 10 Ом x 2W
 - R27 – 82k x 0,25W
 - R29 – 6,8k x 0,25W
 - R30 – 300 Ом x 0,25W
 - Резистор на светодиодный индикатор неисправности 2,4 КОм x 0,5 W
4. Конденсаторы:
 - C1 – КМ 5Б Н90 0,15 мкф
 - C2, C7 – К53-18 100 мкф x 16В (дорогой танталовый конденсатор. Я ставил обычный электролит без заметной потери качества)
 - C3, C4, C5, C6 – КМ 5Б Н90 0,047 мкф
 - C8, C12 – К10-17Б 330 пф
 - C9 – К10-17Б 100 пф
 - C10 – Подстроечный КТ4-21Б 4-22 пф
 - C11 – К 10-17Б 91 пф
 - C13, C16, C17 – К 10-17Б 0,1 мкф
 - C14, C15 – К50-29 220 мкф x 63В с коаксиальным расположением выводов
 - C18 – К50-35 220 мкф x 10В
 - C19 – К50-35 68 мкф x 100В
5. Диоды:
 - VD3...VD6 - КД510А в стекле
 - VD7, VD8, VD9, VD10 - КД522Б в стекле
 - Два светодиода на индикатор неисправности: любые на 10 мА
6. Стабилитроны VD1, VD2 – КС515А в металле

7. Реле РЭС48А РС4.590.201

Транзисторы выходных каскадов (VT9, VT10) я ставил через диэлектрические прокладки на радиаторы длиной 150 мм (продаются в магазинах радиодеталей) по 4 на каждый (1 радиатор на 2 канала). Транзисторы VT5 установлены без прокладок на отдельных игольчатых теплоотводах закрепленных на плате.

Смонтированный из исправных деталей усилитель налаживания почти не требует. Необходимо лишь подобрать резистор R30 (по надежному срабатыванию реле K1 через несколько секунд после включения питания) и суммарную емкость конденсаторов C10, C11 (по минимуму нелинейных искажений на частоте 20 кГц). Рекомендуемая в [5] методика подбора этой емкости по минимуму искажений формы выходного сигнала на частотах 50...100 кГц не всегда дает нужный результат, поэтому ею целесообразно пользоваться только при отсутствии измерителя нелинейных искажений.

Источник питания

Принципиальная схема блока питания стереофонического варианта усилителя приведена на рис. 3. Он содержит сетевой трансформатор T1 с четырьмя вторичными обмотками и такое же число стабилизированных выпрямителей. Два из них (G1 и G3) обеспечивают напряжения положительной (по отношению к общему проводу) полярности, два других (G2 и G4) - отрицательной. Каждый из узлов G1- G4, в свою очередь, состоит из выпрямителя на диодах VD1-VD4 (на рис. 3 изображена схема источников G1, G3), фильтрующих конденсаторов C1-C4 и стабилизатора напряжения на транзисторах VT1, VT2 и стабилитроне V05. Стабилизированные выпрямители напряжения отрицательной полярности (G2, G4) отличаются от изображенного на рис. 3 противоположной полярностью включения диодов, стабилитрона и электролитических конденсаторов, а также примененными транзисторами (указаны в скобках).

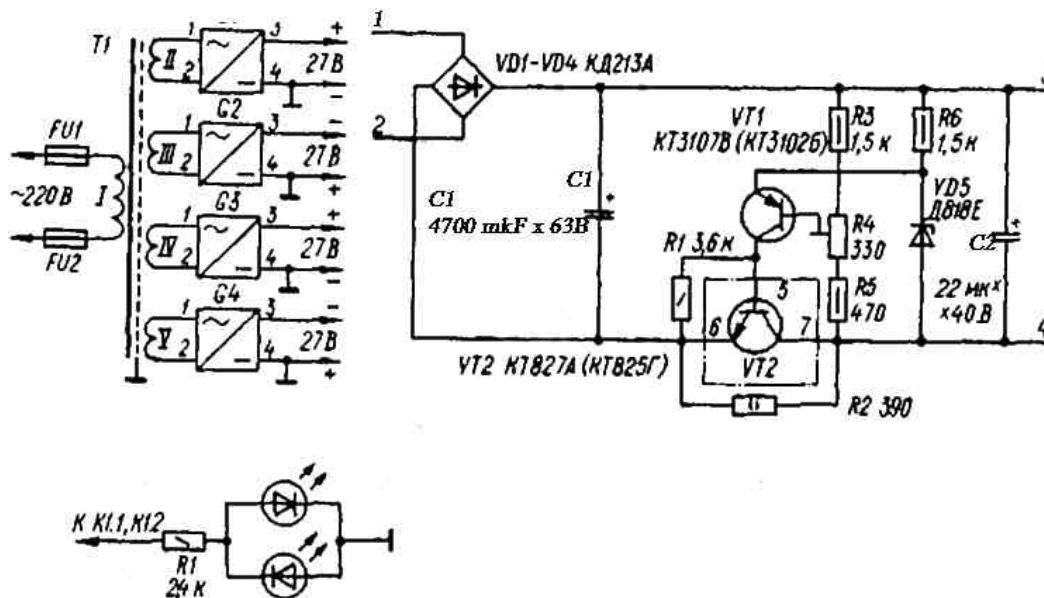


Рис. 3

Стабилизаторы напряжения выполнены по известной схеме на транзисторах разной структуры. Благодаря включению обоих транзисторов по схеме с общим эмиттером, параметры такого устройства, несмотря на простоту, достаточно хорошие. К тому же стабилизаторы устойчивы к перегрузке и к коротким замыканиям в нагрузке. При коротком замыкании обесточивается стабилитрон VD5, и транзисторы VT1, VT2 закрываются. После устранения замыкания работоспособность устройства автоматически восстанавливается. Изготовленные автором стабилизаторы выключались при токе

нагрузки 7...8 А, что можно считать вполне допустимым, так как бросок тока в момент пробоя одного из транзисторов выходного каскада усилителя превышает это значение.

Как видно из схемы, регулирующий транзистор VT2 включен в «холодный» (т. е. соединенный с общим проводом усилителя) провод выпрямителя. Это позволяет установить регулирующие транзисторы всех четырех стабилизаторов на общий теплоотвод без каких-либо изолирующих прокладок, и требует для каждого из выпрямителей отдельной обмотки трансформатора.

Трансформатор питания намотан на тороидальном магнитопроводе ОЛ100/50-50 сечением 12,5 см². Его обмотка I содержит 880 витков провода ПЭВ-2 0,86, каждая из обмоток II-V - по 120 витков провода ПЭВ-2 1,14. Для уменьшения внешних полей, а следовательно, и наводок на чувствительные к таким помехам цепи, числа витков обмоток выбраны несколько большими, чем требовалось по расчету. С этой же целью между первичной и вторичными обмотками помещен электростатический экран (один слой провода ПЭВ-2 0,3). Последний можно намотать и алюминиевой фольгой (например, от металобумажных конденсаторов большой емкости), позаботившись, естественно, об изоляции ее витков друг от друга и от остальных обмоток. Лучше всего подходит лента из фольги шириной 10...20 мм, изолированная с обеих сторон конденсаторной бумагой.

При возникновении наводок от трансформатора можно экранировать его листовым алюминием. Я использовал экранирующую обмотку между первичной и вторичными с выводом на землю.

При наличии трансформатора только с двумя подходящими обмотками, схему блока питания придется изменить следующим образом: соединить с общим проводом выводы 3 стабилизаторов, в качестве источников напряжений положительной полярности использовать стабилизированные выпрямители G2, G4 (рис. 2), отрицательной - G1, G3. Естественно, в этом случае транзисторы VT2 можно устанавливать на общем теплоотводе только через изолирующие прокладки.

Рисунок печатных плат приведен на рис. 4.

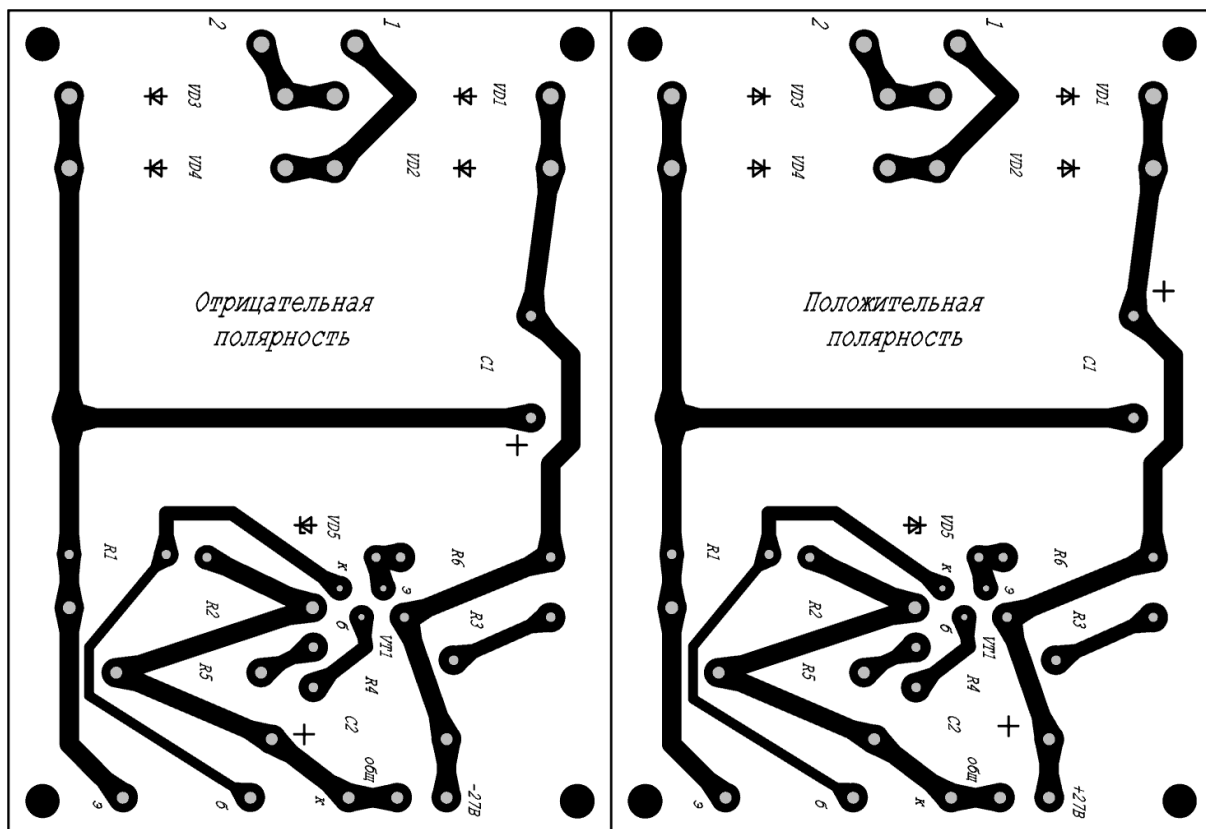


Рис. 4 (истинный размер двух плат 124 x 85 мм)

Список деталей блока питания

1. Транзисторы:
 - VT1 – КТ3107В
 - VT2 – КТ827А
 - VT1¹ – КТ3102Б
 - VT2¹ – КТ825Г
2. Резисторы (все с допуском 5%):
 - R1 – 3,6 КОм x 0,25W
 - R2 – 390 Ом x 2W
 - R3, R6 – 1,5 КОм x 0,5 W
 - R4 – Подстроечный 330 Ом (подбирал самый миниатюрный из тех которые были)
 - R5 – 470 Ом x 0,5 W
3. Конденсаторы:
 - C1 – 4700 мкф x 63В
 - C2 – К53-18 22 мкф x 40В (Дорогой танталовый конденсатор. Я ставил его: знающие люди говорят что на питании он полезен. Можно на первых порах заменить дешевым китайским электролитом).
4. Диоды VD1...VD4 – КД213А
5. Стабилитрон VD5 Д818Е в стекле.

Конденсатор C1 монтируется на плату лежа (высота стабилизаторов уменьшает-ся существенно).

Диоды КД213А (VD1-VD4) монтируют без теплоотводов. Регулирующие тран-зисторы VT2 я ставил на таком же радиаторе что и транзисторы усилителя (по 4 тран-зистора). При этом желательно соединение выводов с платой проводами минимальной длины.

Конструкция катушек

Катушки усилителя намотаны в два слоя на каркасах диаметром 10 и длиной 30 мм проводом ПЭВ-2 1,0 и содержат: L1 и L3 - по 50 витков (индуктивность - 5...7 мкГн), L2 - 30 витков (3 мкГн). Для уменьшения взаимной связи катушки L1 и L3 установ-лены перпендикулярно одна другой и параллельно плате, а L2 - перпендикулярно ей. Длина намотки катушек L1 и L3 - 26 мм, L2 - 18 мм. Как показала проверка, катуш-ки могут быть и бескаркасными. В этом случае их наматывают тем же проводом внатяг на оправке диаметром 9 - 10 мм. Жесткость катушек, снятых с оправки, вполне доста-точна. При необходимости ее можно повысить, скрепив витки подходящим клеем или эпоксидной смолой.

Как повысить номинальное входное напряжение усилителя до 0,7В?

Проще всего это сделать, включив последовательно с конденсатором C1 рези-стор сопротивлением 200...390 кОм. Этой же цели можно добиться и уменьшением ко-эффициента передачи каскада на ОУ DA1, для чего достаточно увеличить сопротивле-ние резистора R3 до 30...47 кОм. При самовозбуждении ОУ между его выводами 6 и 7 необходимо включить корректирующий конденсатор емкостью 5...30 пФ.

Может ли усилитель работать на нагрузку сопротивлением 8 Ом?

Да, может, однако его максимальная выходная мощность в этом случае умень-шится до 35 Вт. Коэффициент гармоник несколько снизится.

¹ Для плат отрицательной полярности