

УМЗЧ

«ЛАНЗАР»



Руководство по сборке и настройке

Введение

Уважаемые читатели, если вы находитесь в поиске схемы хорошего транзисторного усилителя, а такие устройства, как, например, «УМ Зуева», «ВП», «Натали» и другие вам кажутся сложными, или мало опыта для их сборки, но хорошего звука хочется. Тогда вы нашли то, что искали!

УМЗЧ Ланзар представляет собой усилитель, построенный по классической симметричной схеме с выходным каскадом работающий в классе АВ, и обладает довольно неплохим звучанием при отсутствии сложной настройки и дефицитных комплектующих.

Отмечу, что я не являюсь автором схемы, а просто попытался собрать в одном документе всю информацию, которая, на мой взгляд, поможет собрать данный усилитель тем людям, кто еще меньше, чем я, в этом разбирается.

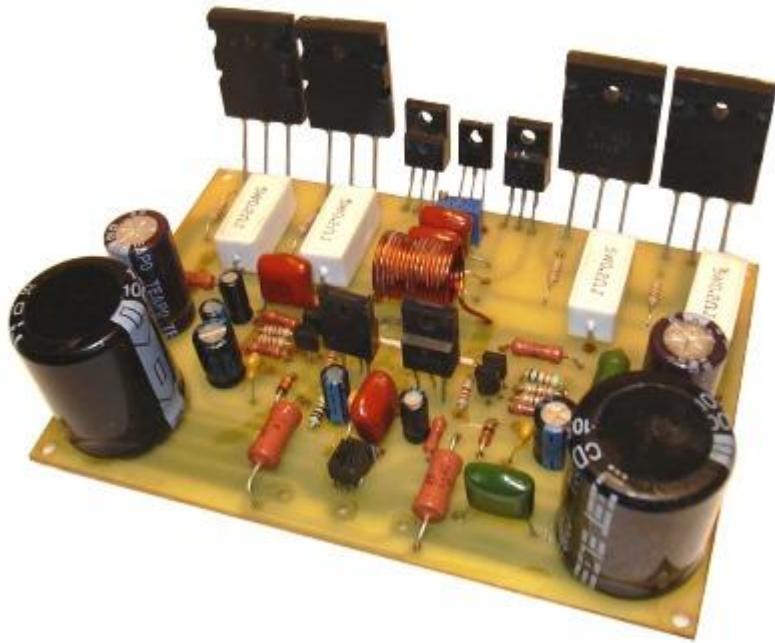
Если после ***внимательного*** прочтения этого материала и выполнения всех требований, которые здесь изложены, у вас возникнут какие-либо вопросы или собранное вами устройство не захочет работать, - обращайтесь в соответствующую ветку форума <http://forum.cchem.net>. Там много грамотных людей и вам обязательно помогут!

Отдельные важные моменты, на которые необходимо уделить особое внимание при сборке и настройке усилителя, отмечены знаком:



Описание усилителя

Усилитель мощности звуковой частоты ЛАНЗАР на базе мощных биполярных транзисторов позволит Вам за короткий промежуток времени собрать очень высококачественный усилитель звуковой частоты.



Усилитель мощности ЛАНЗАР хорошо зарекомендовал себя как в автомобильной аппаратуре, так и в стационарной. Особенno он популярен среди небольших самодеятельных музыкальных коллективов, не обремененных большими финансами, и позволяет наращивать мощность постепенно – пара усилителей + пара акустических систем. Чуть позже еще раз пара усилителей + пара акустических систем и уже выигрыш не только по мощности, но и по звуковому давлению, что так же создает эффект дополнительной мощности.

Технические характеристики усилителя мощности приведены в таблице ниже.

Параметр	Нагрузка		
	8 Ом	4 Ом	2 Ом
Максимальное напряжение питания, ± В	±65 В	±60 В	±40 В
Максимальная выходная мощность, Вт, при искажениях до 1% и напряжении питания:	±30 В	40	85
	±35 В	60	120
	±40 В	80	160
	±45 В	105	210
	±50 В	135	270
	±55 В	160	320
	±60 В	200	390 ¹
	±65 В	240 ¹	не включать!
Коэффициент усиления, дБ		28	

¹ Комплектация работает на пределе своих возможностей, эксплуатация возможна лишь с использованием принудительного охлаждения не только оконечного каскада, но и самой платы усилителя. Температура теплоотвода оконечного каскада не должна подниматься выше 60 °С.

КНИ при 2/3 от максимальной мощности, %	0,04
Скорость нарастания сигнала, не менее В/мкс	50
Входное сопротивление, кОм	27
Отношение сигнал/шум, не менее, дБ	90

Как видно из характеристик – данный усилитель очень универсален и может с успехом использоваться в любых усилителях мощности, где требуются хорошие характеристики УМЗЧ и высокая выходная мощность.

Данная таблица взята с сайта-первоисточника interlavka.su, однако, лично я настоятельно **не рекомендовал бы** эксплуатировать данный усилитель на мощностях более 200-220 Вт.

Ну и на последок хотелось бы привести впечатления одного из поклонников данной схемы, собравшего данный усилитель самостоятельно: «усилитель звучит очень хорошо, высокий демпинг фактор представляет совсем другой уровень воспроизведения НЧ, а высокая скорость нарастания сигнала отлично справляется с воспроизведением даже самых мельчайших звуков в ВЧ и СЧ диапазоне».

О прелестях звучания говорить можно очень много, но главное достоинство этого усилителя в том, что он не вносит никакой окраски в звучание – он нейтрален в этом плане, и только повторяет и усиливает сигнал от источника звука».

Многие, кто слышал, как звучит этот усилитель, давали самую высокую оценку его звучанию в качестве домашнего усилителя для высококачественных АС, а выносливость в «приближенным к военным условиям» даёт шанс использовать его профессионально для озвучивания различных мероприятий на открытом воздухе, а так же в залах.

Схема усилителя и описание элементов

Схема усилителя (рис.1) полностью симметрична от входа до выхода. Двойной дифференциальный каскад (VT1-VT4) на входе и каскад на транзисторах VT5/VT6 обеспечивают усиление по напряжению, остальные каскады - усиление по току. Каскад на транзисторе VT7 стабилизирует ток покоя усилителя. Чтобы устранить его "несимметричность" на высоких частотах, он зашунтирован конденсатором C15.

Каскад драйвера на транзисторах VT8/VT9, как и положено предварительному каскаду, работает в классе А. К его выходу подключена "плавающая" нагрузка - резистор R21, с которого снимается сигнал для возбуждения транзисторов выходного каскада. В выходном каскаде используются две пары транзисторов, что позволяет снимать с него до 300 Вт номинальной мощности. Резисторы в цепях базы и эмиттера устраниют последствия технологического разброса характеристик транзисторов, что позволяет отказаться от подбора транзисторов по параметрам.

Широкий диапазон питающих напряжений делает возможным построение усилителя мощностью от 50 до 350 Вт, причем при мощностях до 300 Вт у УМЗЧ коэффициент нелинейных искажений (КНИ) не превышает 0,08% во всем звуковом диапазоне, что позволяет отнести усилитель к разряду Hi-Fi.

Относительно схемотехники остается лишь добавить, что подобное схемотехническое решение дает еще один плюс - полная симметрия избавляет от переходных процессов в оконечном каскаде, т.е. в момент включения на выходе усилителя отсутствуют какие бы то ни было выбросы, характерные большинству дискретных усилителей.

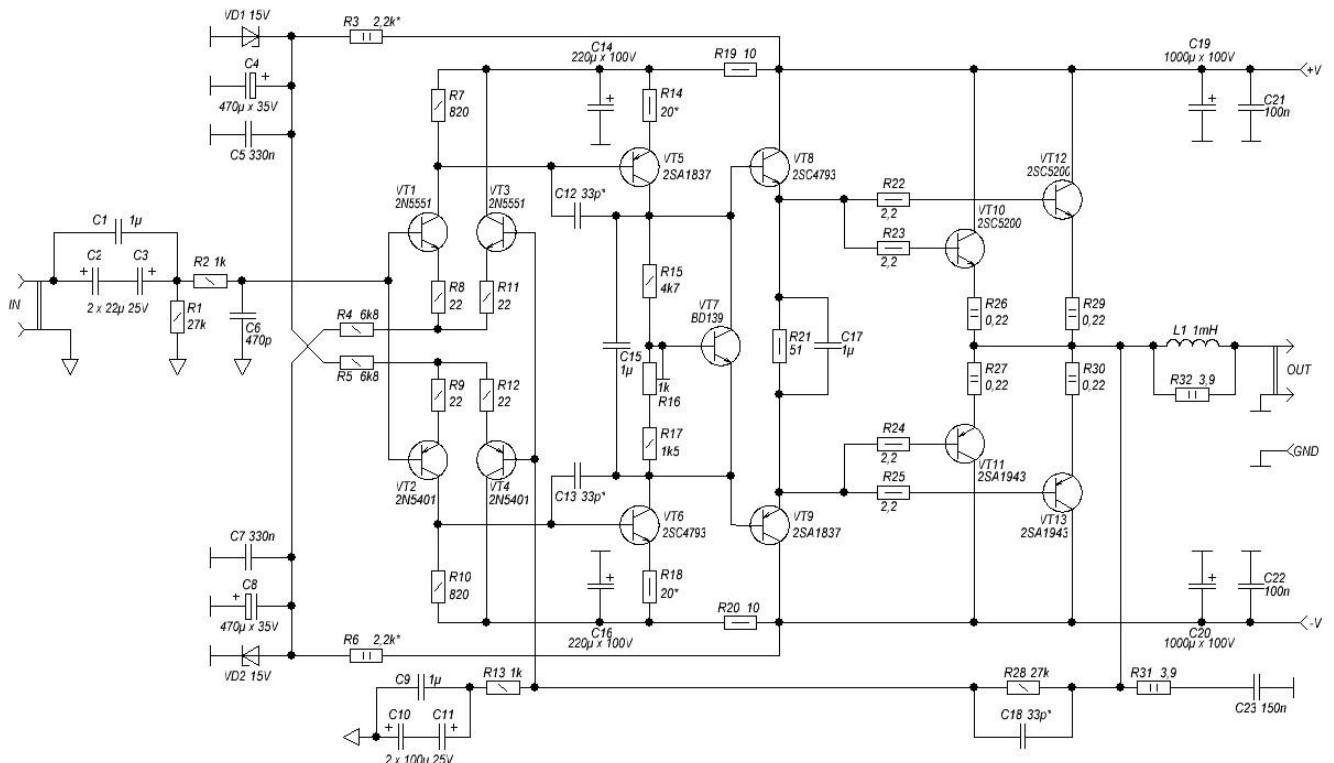


Рис. 1. Принципиальная схема УМЗЧ ЛАНЗАР

Рассмотрим назначение и номиналы элементов схемы.

C1 – разделительный конденсатор служит для блокирования протекания постоянного тока в последующие каскады. От емкости этого конденсатора также зависит нижняя граничная частота, которая будет усиливаться. Вместе с **R1** они образуют простейший фильтр верхних частот (ФВЧ), частоту среза которого можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Ниже приведены значения частот среза для различные емкостей **C1** при **R1 = 27 кОм**

C1, мкФ	1	2,2	3,3	4,7
f, Гц	5,9	2,7	1,8	1,3

В «классической» печатной плате от *interlavka.narod.ru* в дополнение к **C1** предусмотрены посадочные места для неполярного конденсатора, составленного из двух электролитов **C2** и **C3**, включенных «минусами» друг к другу и «плюсами» в цепь². В большинстве случаев для работы усилителя на «широкую полосу» достаточно одного пленочного конденсатора 2,2-3,3 мкФ. Электролиты ставятся для более низкой частоты среза (например, в случае работы на сабвуфер), т.к. ёмкость в десятки микрофарад пленки выходит слишком громоздко.

Однако, использование электролитических конденсаторов на входе нежелательно, т.к. они работают в очень неподходящем для них режиме, без поляризующего напряжения. В таком режиме их параметры ухудшаются, снижается надёжность, повышается мощность потерь.

По типам конденсаторов, используемых в качестве разделительных, существуют разные мнения, поэтому искушенные смогут сами выбрать для себя наилучший вариант оного. Для остальных рекомендуется использовать пленочные полипропиленовые конденсаторы известных брендов типа RIFA, WIMA, EPCOS и т.п., но при отсутствии их широкодоступные лавсановые K73-17 вполне подойдут.

R1 – элемент входного ФВЧ, как отмечалось выше. Кроме того, значение этого резистора определяет входное сопротивление усилителя. По умолчанию, номинал **R1** составляет 27 кОм. При необходимости изменения этой величины, следует обратить внимание на резистор **R28** в цепи ООС – **их номиналы должны быть равны** (см. описание ниже).

Резистор **R2** вместе с конденсатором **C6** образует входной фильтр низких частот (ФНЧ). Он определяет верхнюю граничную усиливаемую частоту. Кроме того, резистор **R2** необходим для снижения искажений и наводок со стороны источника сигнала. Номинал резистора **R2** **должен быть равен номиналу R13** (см. описание ниже).

C6 – элемент входного ФНЧ. Также он определяет устойчивость усилителя на высоких частотах. Оптимальная емкость **C6** составляет 470 пФ. При меньших значениях возможно самовозбуждение усилителя. Иногда при таком значении наблюдается некоторое ослабление верхних частот, поэтому можно попробовать снизить емкость до 220 пФ, следя за тем, чтобы усилитель не ушел в самовозбуждение.

² На различных вариантах схем и ПП встречается включение этих конденсаторов как «плюсами» друг к другу, так и «минусами». По этому поводу не стоит беспокоиться – эти включения абсолютно равнозначны, поскольку включены последовательно - от перестановки мест слагаемых сумма не меняется!

VD1/VD2, C4/C8, C5/C7 – элементы параметрического стабилизатора напряжения питания дифференциального каскада. Стабилитроны 15 В **желательно на 1,3 Вт**. При отсутствии на 15 В можно использовать на 16 В. Емкость электролитических конденсаторов – 220-470 мкФ х 25 В.

R3/R6 – балластные, служат для ограничения тока, протекающего через стабилитроны. Их значения зависят от напряжения питания усилителя. Ниже приведены их номиналы для типовых напряжений питания:

Упит, В	R3/R6, кОм
±70	3,3 ÷ 3,9
±60	2,7 ÷ 3,3
±50	2,2 ÷ 2,7
±40	1,5 ÷ 2,2
±30	1,0 ÷ 1,5
±20	СМЕНИТЕ УСИЛИТЕЛЬ!

Для более точного расчета номиналов этих резисторов под ваше напряжение питания можно воспользоваться формулой:

$$R = \frac{U_{\text{плеча}} - 15}{I_{\text{ст}}} \text{ (кОм),}$$

где $I_{\text{ст}}$ – ток стабилизации, мА (8-10 мА)

Мощность этих резисторов должна быть не менее 1 Вт, рекомендуется 2 Вт!

R4/R5 задают ток дифференциального каскада – **2 мА в плечо** (1 мА на транзистор). Их номинал изменять не рекомендуется. От этого тока зависит падение напряжения на резисторах **R7/R10**. Соответственно, после перехода Б-Э **VT5/VT6** остающееся напряжение задаёт ток УН посредством резисторов **R14/R18**.

R8/R9, R11/R12 снижают коэффициент усиления транзисторов и дополнительно выравнивают токи транзисторов ДК. Обычно их номинал колеблется от 10 до 100 Ом и зависит от качества подбора транзисторов ДК по коэффициенту h_{21e} . Чем лучше подбор – тем ниже номинал этих резисторов. Соответственно, повышенный коэффициент усиления заметно снижает уровень КНИ.

VT1/VT3 и **VT2/VT4** образуют два симметричных дифференциальных усилителя или дифференциальных каскада (ДК). **Настоятельно рекомендуется как можно точнее подбирать эти транзисторы по коэффициенту h_{21e} !** В противном случае на выходе усилителя будет наблюдаться повышенный уровень постоянного напряжения. Идеальным вариантом будет подбор всех четырех транзисторов, но коэффициент h_{21e} не одинаков у NPN- и PNP-транзисторов. Он должен быть одинаковым у двух NPN-транзисторов и двух PNP-транзисторов. Для **VT1-VT4** h_{21e} должен быть больше 100.

R7/R10 – сопротивления нагрузки ДК. Они влияют на номинал резисторов **R14/R18**, которые задают ток покоя транзисторов усилителя напряжения (УН). В результате моделирования схемы в программе Multisim 14 установлено, что оптимальный номинал рези-

сторов R7/R10 составляет 820 Ом. Увеличение **R8/R10** при прочих равных условиях приводит к повышению КНИ и большему нагреву транзисторов УН.

C14/C16 – фильтрующие конденсаторы питания ДК.

VT5/VT6 образуют каскад усиления напряжения (КУН).

R14/R18 устанавливают рабочую точку для КУН на транзисторах **VT5/VT6**. От их номинала зависит ток покоя через эти транзисторы (в данной схеме порядка 15 мА). Их номинал, в свою очередь, зависит от сопротивления резисторов **R8/R10** (прямо пропорционален). В других схемах часто встречается номинал этих резисторов равный 10 Ом. Такое значение обеспечивает повышенный ток покоя (20-25 мА) и, соответственно, больший нагрев транзисторов КУН. Для последующего оконечного каскада, выполненного по схеме «двойки» оптимальным является ток покоя транзисторов КУН в пределах 12-18 мА. Снижение тока покоя способствует меньшему нагреву транзисторов и большей термостабильности усилителя в целом.

C12/C13 – корректирующие конденсаторы Миллера – предназначены для повышения стабильности усилителя и предотвращение его самовозбуждения. Емкость их рекомендуется не выше 15 пФ. При увеличении этих емкостей понижается частота среза и может появиться завал на ВЧ. В схеме их номинал указан 33 пФ для гарантированной защиты усилителя от самовозбуждения. При наличии осциллографа, рекомендуется подобрать их номиналы как можно ниже, следя за формой сигнала. Емкость конденсатора в такой частотной коррекции мультиплицируется эффектом Миллера и нагрузкает дифференциальный каскад. В результате режется частотная полоса, снижается максимальная скорость нарастания выходного напряжения, и одновременно растут искажения дифференциального каскада. Поэтому, чем меньшей емкостью удастся обойтись - тем лучше.

На транзисторе **VT7** организован регулятор тока покоя выходного каскада. Кроме этого этот транзистор выполняет роль температурного стабилизатора этого тока, т.к. при повышении температуры активное сопротивление полупроводника уменьшается, следовательно, увеличивается протекающий через него ток.

Резисторы **R15/R17** и подстроечный резистор **R16** образуют делитель напряжения в обвязке **VT7**, обеспечивая тем самым регулировку тока покоя выходного каскада (ВК). Подстроечный резистор настоятельно рекомендуется использовать многооборотный, типа 3296. В некоторых случаях необходимо изменение номиналов этих элементов для настройки ТП. Подробнее см. в разделе «Настройка».

R19/R20 совместно с **C14/C16** образуют Г-образные ФНЧ по питанию, сглаживающие пульсации. Чем выше сопротивление, тем меньше пульсации, но из-за падения напряжения меньше и величина постоянного напряжения, питающего ДК и КУН. В некоторых схемах вместо этих резисторов установлены диоды. Однозначного решения, что лучше, пока нет. С одной стороны, использование диодов позволяет немного улучшить работу на пиках сигнала, а также дает небольшой прирост мощности. С другой стороны, использование резисторов образует RC-фильтр для питания КУН, а с диодом такого фильтра нет. Оптимальным думается использование резистора и диода, включенных последовательно (на ПП не реализовано).

VT8/VT9 образуют предвыходной каскад (драйвер), который непосредственно управляет выходными транзисторами

R21 - плавающая нагрузка для предпоследнего каскада. Именно такой вариант нагрузки драйвера дает более приятное звучание и совсем не случайно Железный Шихман на странице с описанием оригинального LANZAR-1200 назвал данный «девайс» псевдо А классом. При достаточно большом токе покоя предпоследнего каскада протекающий через него ток почти не изменяется во всем диапазоне мощностей, а это довольно большой плюс. Поэтому **R21** более 51 Ом использовать не рекомендуется – пропадает этот самый эффект. Оптимально на 43-47 Ома.

R22-R25 предназначены для выравнивания токов баз выходных транзисторов. О необходимости этих резисторов время от времени вспыхивают споры. Нельзя сказать, что звук отличается кардинально при разных номиналах этих резисторов (если вообще отличается), тем не менее выровнять токи баз более логично, чем гнаться за половиной процента от общего КПД. При сборке усилителя можно использовались резисторы от 1 до 3,3 Ома. Разумеется, что все 4 должны быть одинаковыми.

VT10-VT13 – мощные транзисторы, которые образуют выходной каскад – усилитель тока. Здесь формируется основная выходная мощность усилителя.

R26/R27 и **R26/R27** – так называемые эммиттерные резисторы – служат для выравнивания токов, протекающих через выходные транзисторы. В некоторой степени также обеспечивают термостабилизацию. Под эмиттерные резисторы на плате предусмотрены посадочные места под проволочные керамические SQP резисторы мощностью 5Вт. Хотя SQP – это далеко не самый лучший вариант, зато доступный. Лучшим вариантом могут стать отечественные С5-16МВ. Диапазон приемлемых номиналов – 0,22÷0,33 Ом.

C19-C22 – фильтрующие конденсаторы по питанию всего усилителя.

L1+R32 – цепь Бушеро – предназначена для компенсации емкости акустического провода и самой АС. Строго говоря, достаточно одной катушки. Резистор здесь служит больше в качестве каркаса, т.к. его сопротивление намного превышает сопротивление катушки, и ток через него не течет. Индуктивность катушки составляет 1 мГн. Ниже приведены данные по ее намотке проводом 0,8 и 1 мм на оправках различного диаметра:

d = 0,8 мм		d = 1 мм	
Допр, мм	Кол-во витков	Допр, мм	Кол-во витков
6	23	6	27
8	16	8	18
10	12	10	13
12	10	12	11

R31+C23 – цепь Цобеля - придает дополнительную устойчивость усилителю к возбуждениям по ВЧ.

Иногда возникают вопросы, где размещать эти защитные цепочки. RC можно ставить что на самой плате усилителя, что возле выходных разъемов. Часто ставят и RC, и RL на

плате усилителя, хотя как раз RL лучше вынести подальше, на выходные разъемы (во избежание наводок от индуктивности на чувствительные места схемы).

R13 и **R28** образуют делитель напряжения ООС. От соотношения их номиналов зависит общий коэффициент усиления (K_u) усилителя. Он определяется по формуле:

$$K_u = \frac{R_{28}}{R_{13}} + 1.$$

В приведенной схеме K_u равен 28, что вполне достаточно для большинства задач. Не рекомендуется поднимать K_u выше 30, поскольку глубокая ООС не всегда положительно сказывается на субъективном восприятии звука. Если все же требуется большее усиление, необходимо использовать предусилитель.

! Следует помнить, что номиналы **R13**, **R28**, **R1** и **R2** тесно взаимосвязаны, и при изменениях любого из них следует соответственно корректировать остальные.

R1 = R28, **R2 = R13**. Через **R1** и **R28** течет ток базы транзисторов диффаскада. Этот ток создает на резисторах падение напряжения. Если резисторы одинаковые, то и падение напряжения должно быть одинаковое и на выходе будет ноль. Но, учитывая, что детали не идеальные, токи могут немного отличаться.

Поэтому, при необходимости изменения K_u , рекомендуется корректировать номинал только **R13**, не затрагивая **R28**. Это обеспечит постоянство входного сопротивления усилителя.

При выборе K_u следует также ориентироваться на напряжение питания. Слишком низкий K_u будет приводить к неполному использованию питающего напряжения и, наоборот, при слишком высоких значениях K_u на некотором уровне громкости будет наблюдаться клиппинг сигнала при превышении выходным напряжением усилителя предела напряжения питания.

Например, питающее напряжение равно ± 40 В. Учитывая потери порядка 4 В на питание ДК И КУН, амплитуда выходного сигнала не может превышать 36 В. В действующем напряжении это равно $36/\sqrt{2} = 25,5$ В. Допустим, макс. выходное действующее напряжение источника равно 1 В (например, звуковая карта Asus Xonar DS). Тогда, чтобы на полной громкости усилитель выдавал макс. мощность, коэффициент усиления должен быть

$$K_u = \frac{25,5}{1} = 25,5.$$

C18 – еще один корректирующий конденсатор, уже в цепи ООС. Подбор его номинала аналогичен подбору **C12/C13**.

C9-C11 нужны чтобы разрывать обратную связь если на вход попадает постоянное напряжение. Кроме того, эти конденсаторы также влияют на усиление НЧ. Поэтому их суммарная емкость должна быть не менее 220 мкФ (лучше до 1000 мкФ). Для увеличения емкости два электролитических конденсатора включены по аналогии с **C2/C3**, хотя лучшим вариантом будет использование неполярного электролита. Напряжение на них будет в 15 раз меньше чем напряжение питания, так что можно смело ставить на 25 В.

Радиодетали для усилителя

Учитывая, что данный УМЗЧ не претендует на уровень «Hi-End», при выборе компонентов для его построения будем исходить из критерия разумной достаточности. Следует отметить, что я ни в коей мере не препятствую использованию высококачественных (и/или дорогостоящих) комплектующих именитых брендов, но для абсолютного большинства любителей, кто решится на сборку данного УМЗЧ, тех радиодеталей, о которых пойдет речь ниже, будет вполне достаточно.

Резисторы

Все резисторы на схеме обычные углеродные (**C1-4**)



или металлопленочные (**C2-23, МЛТ**)



В качестве эмиттерных резисторов R26/R27 и R26/R27 в большинстве случаев используются мощные цементные резисторы **SQP 5W** (аналогичное название – **RX27**)



Отмечу, что SQP – это далеко не самый лучший вариант, зато доступный. Лучшим выбором могут стать отечественные резисторы **C5-16**, но они редко бывают в продаже:

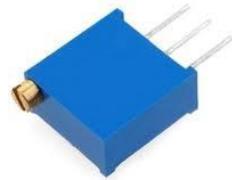


Также можно использовать и обычные углеродистые или металлопленочные резисторы мощностью 2-3 Вт, включив их параллельно:



Мощности всех резисторов указаны на схеме.

В качестве подстроечного резистора **R16** лучше всего (практически обязательно) использовать многооборотные типа 3296:



Конденсаторы

В качестве полярных электролитических конденсаторов оптимальным выбором могут быть комплектующие таких производителей, как **JAMICON** и **EPCOS**



Если таковых не найдется, то конденсаторы фирм **HITANO**, **SAMWHA**, **CAPXON** тоже вполне подойдут.

Для более требовательных лиц могу порекомендовать таких производителей, как **NICHICON**, **RUBYCON**, **SANYO**, **NIPPON CHEMI-CON**, **ELNA**. Но и цена у них уже совсем другая.

Электролитические конденсаторы **C14**, **C16**, **C19**, **C20** должны быть рассчитаны на напряжение не ниже, чем напряжение питания с запасом 15-20%, например, при питании ± 35 В подойдут конденсаторы на 50 В, а при ± 50 уже нужно выбирать на 63 В. Напряжения других электролитических конденсаторов указано на схеме.

В качестве корректирующих конденсаторов **C12/C13** и **C18**, а также **C6** по входу рекомендуется использовать керамические конденсаторы с *типовом диэлектрика NPO*



Они недорогие и при покупке рекомендуется приобрести ряд номиналов от 10 до 100 пФ для возможности лучшей коррекции усилителя. Для **C6** можно тоже взять несколько номиналов, например 220, 330, 470 пФ.

В качестве неполярных пленочных я рекомендую использовать полипропиленовые или лавсановые конденсаторы производства **EPCOS** или **WIMA**



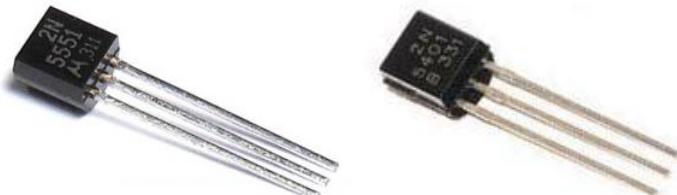
Они обладают высоким качеством и эстетическим внешним видом. При отсутствии или невозможности приобрести таковые, отечественные К73-17 вполне подойдут.

Пленочные конденсаторы обычно не делают рассчитанными на рабочее напряжение менее 63 В, так что тут проблем возникнуть не должно.

Транзисторы

Для меньшего количества проблем с запуском и наладкой усилителя рекомендуется применять транзисторы, идентичные указанным на схеме. К приобретению транзисторов (особенно выходных) необходимо подходить с особой ответственностью, поскольку от их качества зависит работоспособность всей схемы в целом. Ниже приводятся некоторые советы по выбору этих компонентов.

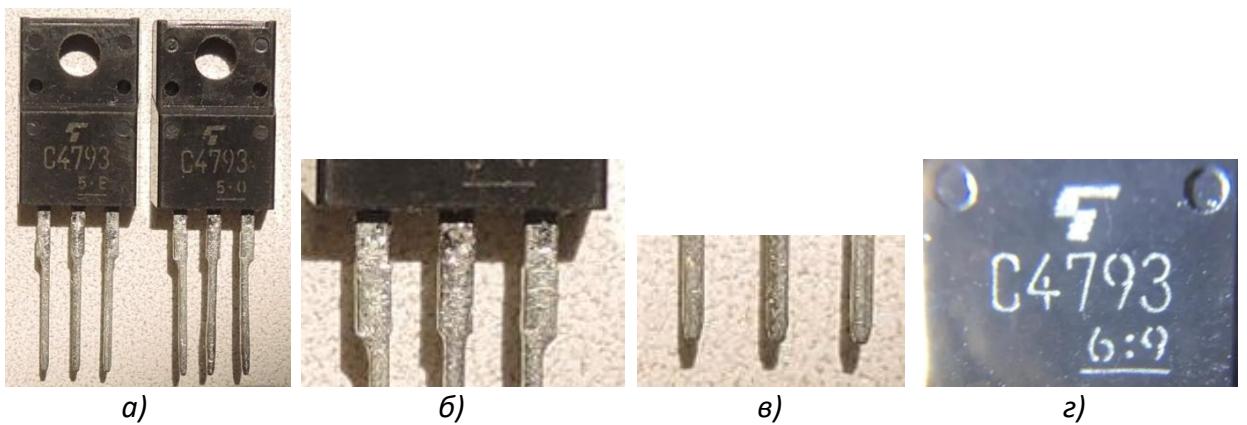
Транзисторы дифкаскада VT1-VT4 – 2N5551 и 2N5401 – оригинальные выпускает компания ON Semiconductor (Fairchild Semiconductor), хотя сейчас их производят все, кому не лень.



Поэтому при выборе ориентируйтесь на магазин с хорошей репутацией и внешний вид транзисторов. Как правило, более-менее приличные производители следят за тем, чтобы их продукт выглядел соответственно. Учитывая, что дифкаскад очень требователен к подбору транзисторов пары, рекомендую взять их штук по 50, чтобы было из чего выбирать. Кроме того, это очень популярные транзисторы и всегда пригодятся, да и цена их копеечная

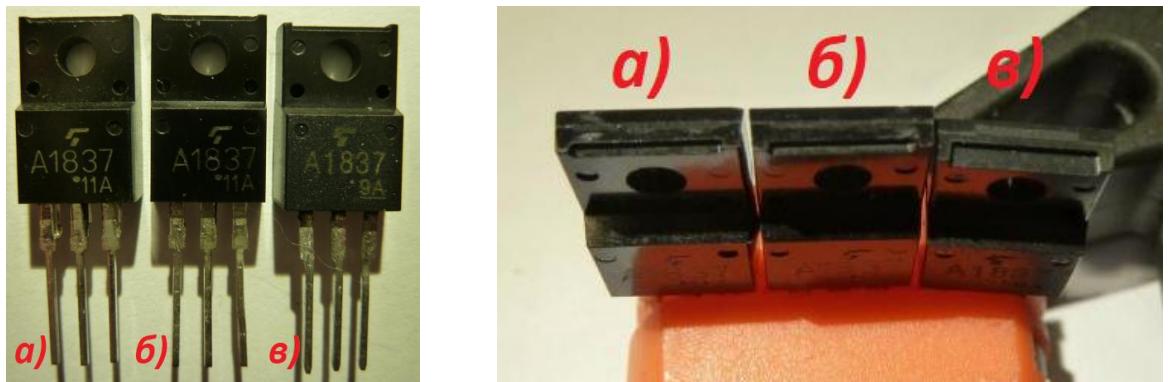
Транзисторы КУН VT5/VT6 и драйвера VT8/VT9 – 2SA1837 и 2SC4793 – оригинальные производила TOSHIBA, но они давно сняты с производства. Поэтому практически все теперешние – в той или иной степени подделки – могут быть как очень качественные копии, так и откровенный хлам.

Вот так выглядит оригинальный транзистор TOSHIBA:



- а) общий вид транзистора
 б) характерная форма приливов на выводах у основания
 в) застrenные концы выводов
 г) характерный шрифт с прерывистой линией букв

А вот так выглядят подделки:



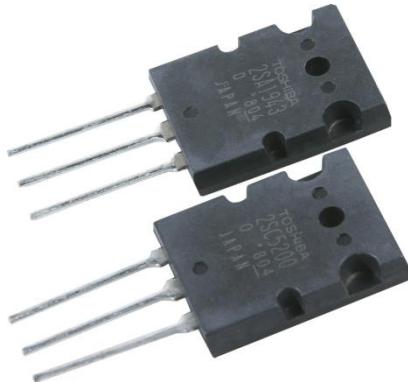
- а) и б) – явная подделка, скорее всего, хлам
 в) – качественная копия, возможно, даже оригинал

Их также очень желательно подобрать в пары, поэтому, если в магазине нет возможности подбора на месте, то их тоже лучше взять с запасом.

Транзистор термостабилизации VT7 – BD139 – оригинальный производитель Philips, но их тоже производят все, кому не лень. Отличительной особенностью транзисторов Philips является их пепельно-серый цвет. Кроме того, вместо BD139 можно смело ставить BD135, BD137. Некоторые сборщики советовали также использовать отечественный КТ817Г, он якобы лучше справлялся с задачей именно термостабилизации. Можно смело использовать и его, хуже, во всяком случае, не будет.



Выходные транзисторы VT10-VT13 – 2SC5200 и 2SA1943 – оригинальные производятся компанией TOSHIBA, хотя есть и качественные копии от ON Semiconductor или Fairchild Semiconductor.



Учитывая, что транзисторы 2SC5200/2SA1943 являются самыми дорогостоящими компонентами в данной схеме и их часто подделывают, следует уделить особое внимание выбору качественных компонентов. Думаю, нет нужды говорить, что желательно постараться найти оригинальные.

Признаки оригинальных транзисторов:

1. *Не магнитятся!* Подложка у оригинальных транзисторов изготавливается из меди, поэтому и не реагирует на магнит. У подделок она очень часто стальная.
2. *Надписи на корпусе выгравированы лазером!* У подделок они нанесены краской и смываются ацетоном или другим растворителем. Ну и само собой, на оригиналах не должно быть ошибок 😊



3. *На корпусе 2 технологических отлома сверху!* У подделок может быть один узкий сверху сбоку или широкий посередине.



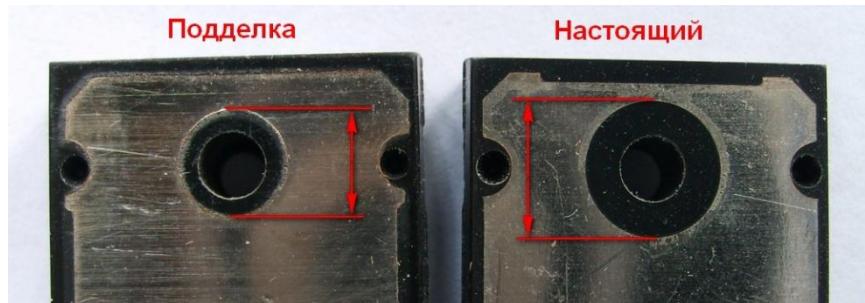
4. Утолщение на выводах у снования небольшое и есть закругления при переходе на тонкую часть. У подделок эти «штаны» прямоугольные и/или по размеру больше.



5. Отверстие для крепежа точно совпадает по диаметру с винтом M3. У подделок винт бывает сложно вставить или он сильно болтается в отверстии.

6. Металлический кружок вокруг отверстия точно соосен с отверстием. У подделок он бывает смещен.

7. Металлический кружок вокруг отверстия имеет диаметр 7 мм. У подделок он значительно меньше.



8. Задняя металлическая часть имеет ровную полуматовую поверхность и не блестит.



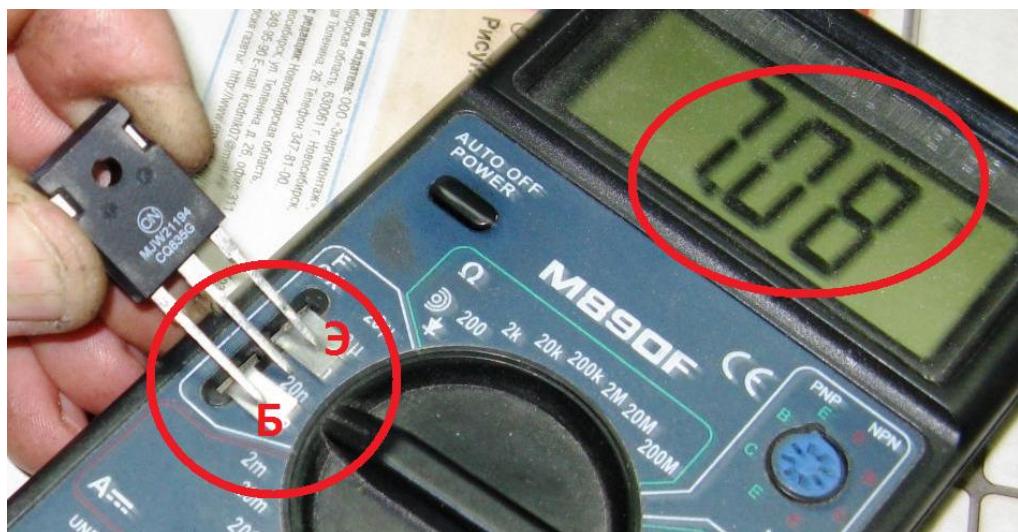
9. На задней металлической поверхности нет сильных царапин. У подделок она часто бывает похожа на шлифованный металл.



10. Ну и самый достоверный признак – размер кристалла. Если не жалко или есть неисправный транзистор из одной партии, то его можно аккуратно разрушить и посмотреть на размер кристалла. У оригинального транзистора он равен примерно 5x5 мм, у подделок значительно меньше.



Один из пользователей форума <http://forum.schem.net> предложил простой способ определения примерного размера кристалла без разрушения корпуса. Он заключается в замере емкости между базой и эмиттером



Конечно, этот параметр мало о чем говорит и не дает абсолютную точность, но если у 2SC5200 вместо 6400 пФ прибор показывает 500 пФ, то это заставляет задуматься, и после вскрытия сгоревшего транзистора кристалл оказывается 2x2 мм. Разброс может быть +/- 20-40%. Подборка емкостей Б-Э для некоторых транзисторов приведена в приложении 1.

Подводя итог, следует заметить, что подделок этих транзисторов существует множество, и у многих могут быть признаки оригинала в большем или меньшем количестве. С уверенностью можно сказать лишь, что если у Ваших транзисторов наличествуют все перечисленные признаки, то это практически 100% оригинал. Желаю удачи в выборе!

Описание печатной платы

Печатных плат для данного усилителя существует довольно много. Многие опытные (и не очень) радиолюбители производили трассировку под свои конкретные условия, поэтому на форуме <http://forum.schem.net> есть отдельная ветка, куда выкладываются варианты печатных плат. Желающие могут заглянуть туда и подобрать для себя подходящий вариант. Самостоятельная трассировка тоже приветствуется ☺.

Здесь же я остановлюсь на нескольких наиболее популярных вариантах. Итак...

1. Классическая «интерлавковская» плата

Изображение данной платы приведено на рис. 2.

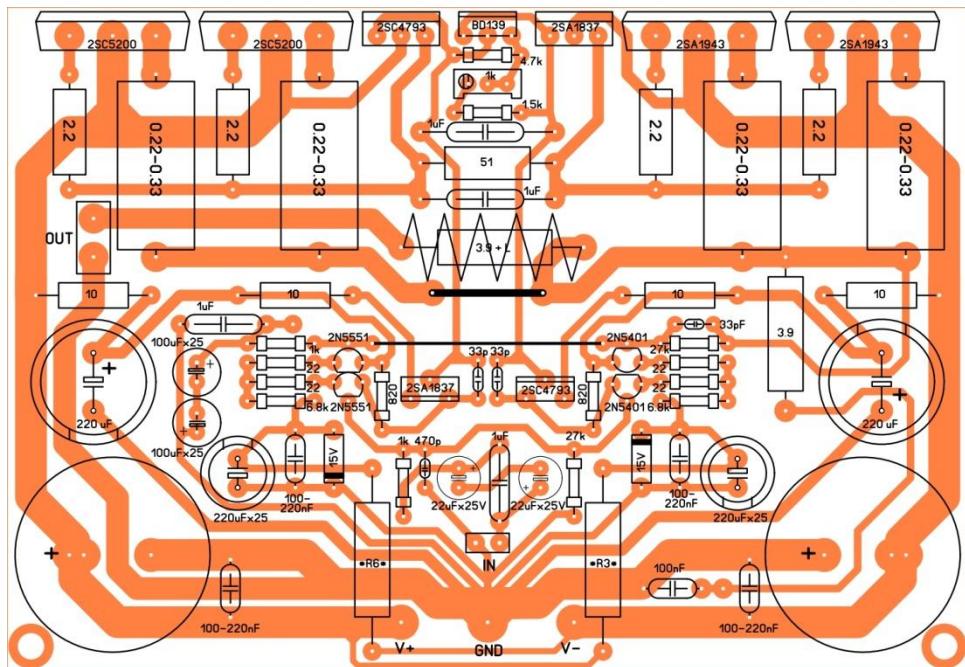
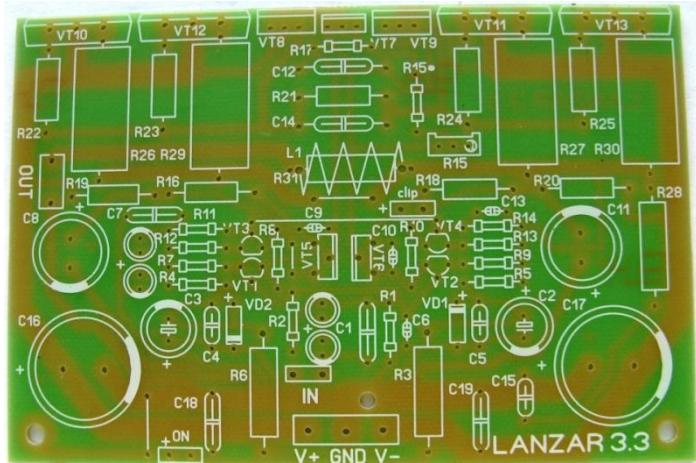


Рис. 2. Изображение печатной платы от nterlavka.su

Это, пожалуй, самая популярная версия печатной платы для УМЗЧ ЛАНЗАР и ее по праву можно назвать «народной». Она предлагается к продаже в виде кит-набора на сайте nterlavka.su, хотя никто не мешает Вам изготовить самостоятельно. На форуме <http://forum.cxem.net> она носит название Lanzar_v3_1.

Существует несколько модификаций этой платы с незначительными изменениями в разводке и расположении деталей. Например, на сайте <http://zwuk-serwis.narod2.ru> предлагается вариант печатной платы Ланзар 3.3. Из наиболее значимых изменений на ней – расположение транзисторов КУН «спинами» друг к другу для крепления на один радиатор в виде плоской алюминиевой пластины. Есть также незначительные изменения в расположении радиодеталей и разводке дорожек. Ее изображение приведено на рис. 3. Если такой вариант вам предпочтительнее, можете приобрести готовый кит-набор, или, опять же, изготовить самостоятельно.



a)



б)

Рис. 3. Печатная плата Lanzar 3.3
а) общий вид, б) расположение транзисторов КУН на радиаторе

2. LANZAR 2017 или «Работа над ошибками»

Несмотря на то, что на платах на рис.2 и рис.3 были собраны сотни усилителей, необходимо отметить, что они обладают рядом существенных недостатков, которые могут привести к ряду проблем в работе устройства, начиная от фона в динамиках АС и заканчивая самовозбуждением УМЗЧ. Ниже приведены основные ошибки, которые были допущены при проектировании печатной платы:

1. Самое главное - дорожки питания образуют силовой контур, и внутри этого контура расположены все слаботочные цепи. Большие импульсные токи оконечных транзисторов создают поле, которое наводит ЭДС на слаботочные цепи – вход, ООС и пр., ухудшая общий итоговый результат.
2. Буферные емкости С19/С20 расположены на другом конце платы, а не возле ног выходных транзисторов.
3. Пленочные шунты по питанию С21/С22 надо вообще чуть ли ни не на ноги выходников вешать.
4. Питание для КУН и стабилизаторов желательно брать до емкостей питания или прямо с них, а не с середины длинной дорожки, ведущей к выходникам.
5. Цепочка Бушеро L1+R32 стоит практически рядом с сигнальной слаботочкой и создает наводки. Цепь Цобеля тоже где-то сбоку.
6. Отсутствует крепления для нормальных радиаторов VT5/VT6, несмотря на то что греются они основательно.
7. Отсутствует посадочное место под нормальный большой пленочный конденсатор на входе.
8. В цепи ООС тоже самое. Там самое место неполярнику побольше вместо двух полярных.
9. Крайне неудачное место подключения делителя ООС.

Полагаю, вы будете со мной не согласны, или скажете что все это не так важно. Мол, работает же, что еще надо. Хотя, если изначальная цель дать кому-то "проснуться", то эти заморочки не актуальны ☺.

Отмечу, что я ни в коей мере не пытаюсь оскорбить авторов этих плат или как-то препятствовать развитию их проектов. Все они имеют право на жизнь, и это было доказано неоднократно десятками успешно собранных УМЗЧ. Не скрою, что поначалу я сам пла-

нировал собирать свой усилитель именно на такой плате, но внимательно прочитав форум и узнав о существующих проблемах, посчитал, что эти несоответствия важны и стоит попробовать их исправить. Также, дополнительными критериями при проектировании моей печатной платы стали:

- обязательно односторонняя плата для облегчения изготовления в домашних условиях;

- по возможности сохранение (не увеличение) габаритных размеров ПП.

В итоге, была спроектирована печатная плата, которая изображена на рис. 4. Я ее назвал LANZAR_2017³. Следует отметить, что на ней присутствуют SMD-элементы, но, думаю, что в нынешнее время это не должно составить проблемы.

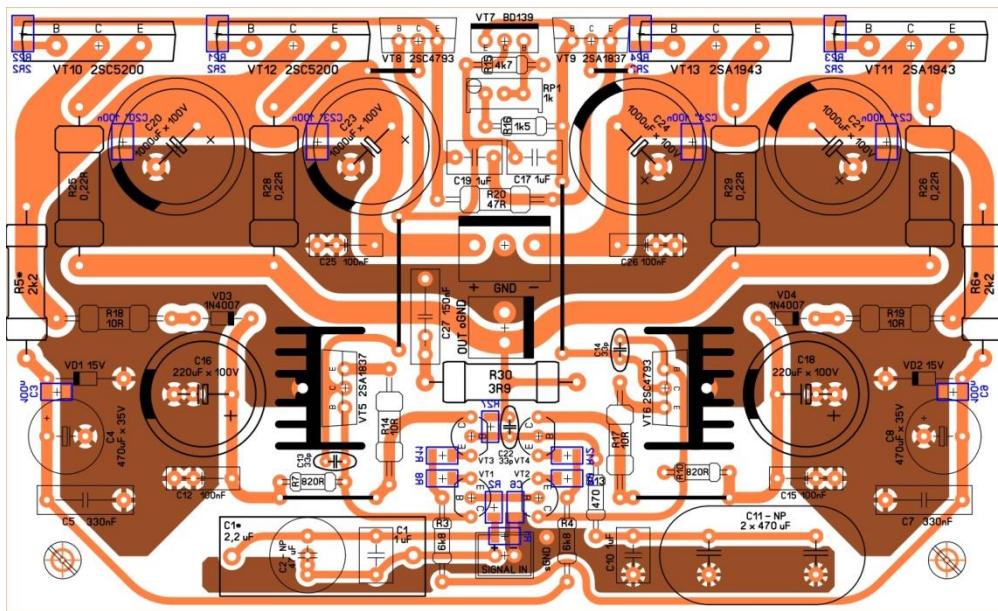


Рис. 4. Изображение печатной платы LANZAR_2017

Отличия от классической платы в следующем:

1. Силовые цепи перенесены к основным потребителям (выходным транзисторам) и отделены от слаботочных цепей земляным полигоном.
2. Емкости по питанию расположены непосредственно возле выходных транзисторов и их количество удвоено.
3. Шунтирующие конденсаторы – опционально можно устанавливать как выводную пленку, так и SMD-керамику в непосредственной близи от выходников.
4. Посадочные места под эммитерные резисторы выбраны для использования металлопленочных резисторов мощностью 2 Вт в «два этажа»
5. Цель Бушеро убрана с платы и вынесена на узел защиты АС для снижения паразитных наводок на слаботочные цепи.
6. Отделение питания КУН и стабилизаторов можно реализовать как на резисторах 10 Ом, так и на диодах на выбор (ненужный элемент заменяется перемычкой). Кроме того, их можно использовать и совместно последовательно, как наиболее правильный вариант.
7. Шунтировать стабилитроны можно как пленочными конденсаторами, так и SMD-керамикой прямо «на ногах».

³ Нумерация элементов на печатной плате не совпадает со схемой на рис. 1, поскольку в базовую схему были внесены некоторые изменения. Принципиальная схема LANZAR_2017 приведена в приложении 2.

8. Транзисторы КУН размещаются на отдельных радиаторах.
9. Транзисторы дифкаскада максимально собраны вместе.
10. Входной конденсатор на выбор - или пленка 2,2 мкФ или неполярный электролит, зашунтированный пленкой.
11. ООС снимается непосредственно с выхода УМЗЧ.
12. В ООС 2 неполярника 470 мкФ в параллель для лучшей работы на НЧ.
13. Силовая и сигнальная земли разделены. Подключение сигнальной земли осуществляется отдельным проводником к «мекке».

Таким образом, печатная плата, которая изначально задумывалась как исправление классической, превратилась в итоге в совершенно новую самостоятельную конструкцию.

3. «Бабочка»

«Бабочка» - так шутливо (за внешний вид собранного УМЗЧ) называют печатную плату, которую разработал [sima8520](#). Внешний вид ее приведен на рис. 5.

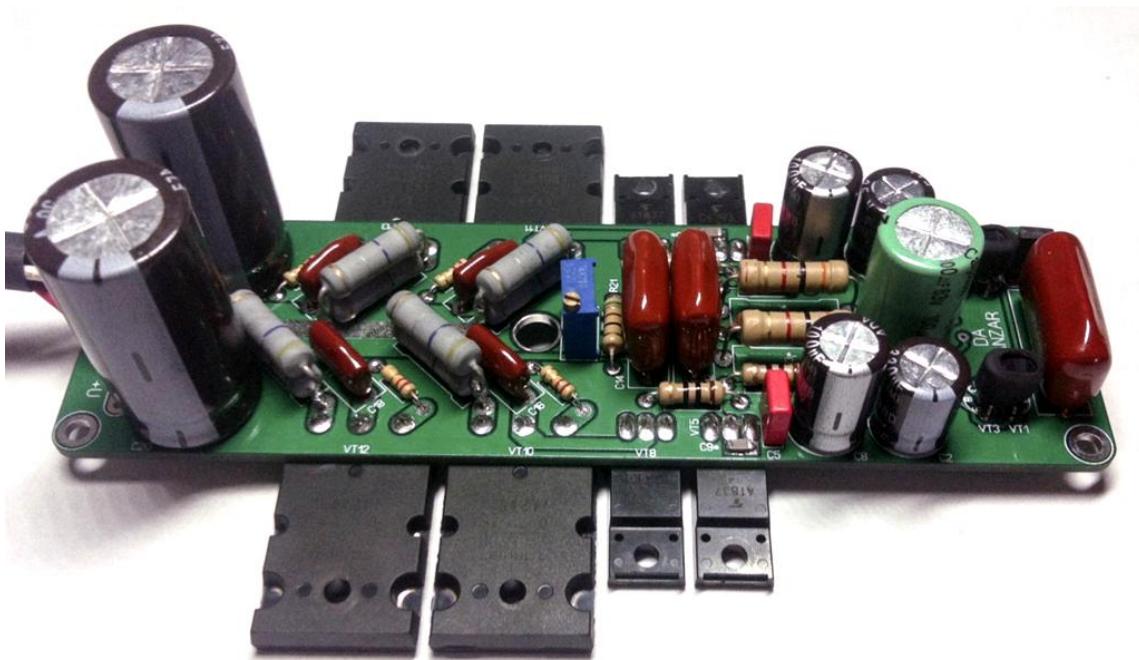


Рис. 5. Изображение УМЗЧ на плате «бабочка»

Печатная плата отличается планарным расположением мощных транзисторов и предназначена для крепления на радиатор параллельно его поверхности. Это значительно сокращает место в корпусе и является несомненным преимуществом. Однако, при этом существуют определенные сложности с монтажом на радиатор и запайкой элементов на плату. Также несколько усложняется последующий ремонт, т.к. для этого необходимо полностью снимать плату с радиатора.

Рисунка данной печатной платы нет в открытом доступе, поскольку она является коммерческим проектом [sima8520](#). Это, впрочем, не мешает самостоятельно развести плату подобным образом. Для тех, кому это сложно сделать, есть возможность приобрести двусторонние заводские платы [здесь](#).

4. Полный «Фэн-шуй»

Заканчивая тему печатных плат, хочу сказать несколько слов о еще одной конструкции. Она почему-то, не приобрела особой популярности, хотя выполнена согласно всем правилам трассировки. Ее автор – [Palych73](#) с форума [Вегалаб](#). Ее изображение приведено на рис. 6.

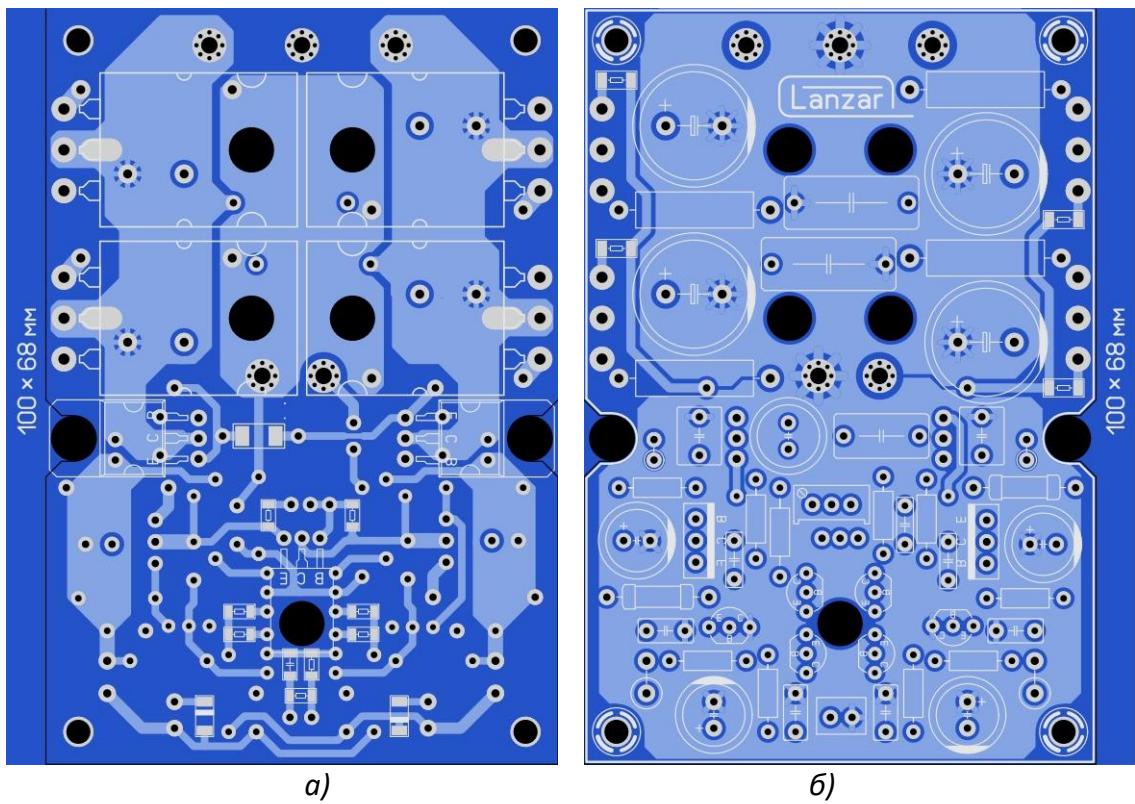


Рис. 6. Изображение печатной платы от [Palych73](#)
а) верхняя сторона, б) нижняя сторона

Данная плата двухсторонняя и самостоятельное изготовление ее дома может вызвать некоторые затруднения. Но, учитывая размеры (100x68 мм), можно заказать ее изготовление на китайских сервисах типа [PCBWay](#) или [JLCPCB](#). В таком случае, стоимость платы может оказаться даже ниже, чем стоимость материалов для самостоятельного изготовления.

Следует отметить, что плата несколько отличается от оригинальной схемы. Например, введены повторители перед УН. Так что, можно сказать, что это в некотором роде усовершенствованный ЛАНЗАР. К сожалению, принципиальной схемы к данной плате нет, автор проектировал ее на основе нескольких схем, а итоговый вариант не предоставил. Тем не менее, некоторые любители, собирали свои устройства на данных платах и проблем не возникало. При желании, можно исключить дополнительные элементы, заменив их в необходимых местах перемычками и собрать на данной ПП классическую схему из рис. 1.

Монтаж

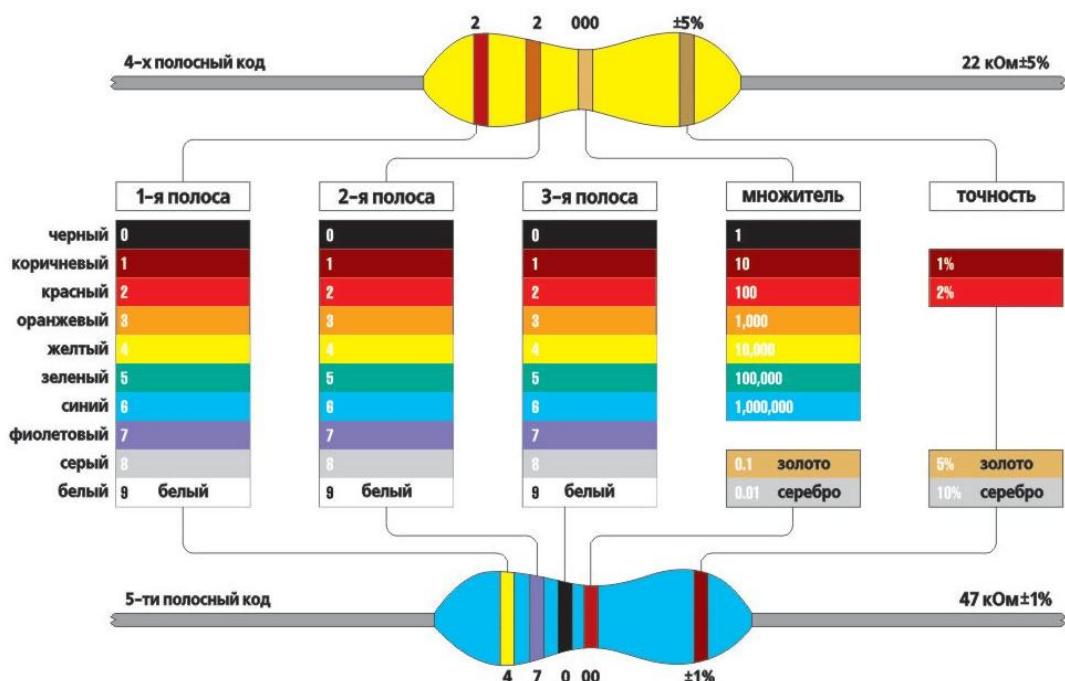
Прежде чем приступать к монтажу радиодеталей, необходимо очень **щательно проверить печатную плату** на наличие возможных дефектов – непротравы, разрыв дорожек и т.д. Как известно, все неисправности в электронике имеют две основные причины – либо отсутствие контакта там, где он должен быть, либо наличие там, где его быть не должно. Поэтому, не поленитесь, внимательно просмотрите всю плату на просвет (желательно под увеличительным стеклом), чтобы не было замыкания дорожек, «соплей», разрывов и т.д.

После лужения и проверки печатной платы можно приступать к монтажу. Описание монтажа будем проводить на примере классической печатной платы, в виду ее наибольшей популярности.

Перед впаиванием каждая деталь должна быть проверена на исправность, со- противление резисторов измерено во избежание ошибки в номинале, транзисторы проверены прозвонкой тестером и т.д. Искать подобные ошибки потом на собранной плате гораздо сложнее, так что лучше не торопиться и все проверить. Сэкономьте КУЧУ времени и нервов!

В первую очередь на плату устанавливаются детали, имеющие минимальную высоту, в данном случае это перемычки. На плате их всего две – одна соединяет базы транзисторов диффаскада и выполняется из обмоточного провода диаметром $0,3\div0,6$ мм, а вторая соединяет эмиттеры оконечных транзисторов и выполняется из медного провода для электропроводки сечением 1,5 мм (на рисунке показан вид со стороны деталей). Перемычки во избежание случайного КЗ лучше делать изолированными проводами.

Далее следует установить постоянные резисторы. Тут следует обратить внимание на маркировку. Омные резисторы маркируются с использованием буквенного символа, например резистор на 10 Ом может маркироваться и 10R и 10E. Так же следует учитывать, что буквенный индекс используется вместо запятой, например резистор на 6,8 кОм будет иметь маркировку бк8. Так же существует цветовая маркировка резисторов. Для выяснения номинала тут уже потребуется следующая схема:



! Учитывая, что схемотехника ЛАНЗАРа полностью симметрична, то и симметричные резисторы в противоположных плечах рекомендуется подбирать с минимальным разбросом номиналов. Желательно, чтобы они были абсолютно равными.

После установки резисторов на плату следует устанавливать стабилитроны и неполярные конденсаторы (пленочные и керамические). Следует обратить внимание на правильность установки стабилитронов. На печатной плате (рис. 2) показаны полоски на корпусах стабилитронов именно так, как они должны быть запаяны. Дополнительно смотрите расположение стабилитронов на рис. 7.



Рис. 7. Расположение стабилитронов на плате

Далее в плату устанавливаются и запаиваются транзисторы. Как уже отмечалось ранее, транзисторы диффакаскада и КУН настоятельно рекомендуется подобрать по коэффициенту усиления. Это можно выполнить при помощи практически любого мультиметра или специального транзистор-тестера (рис. 8).

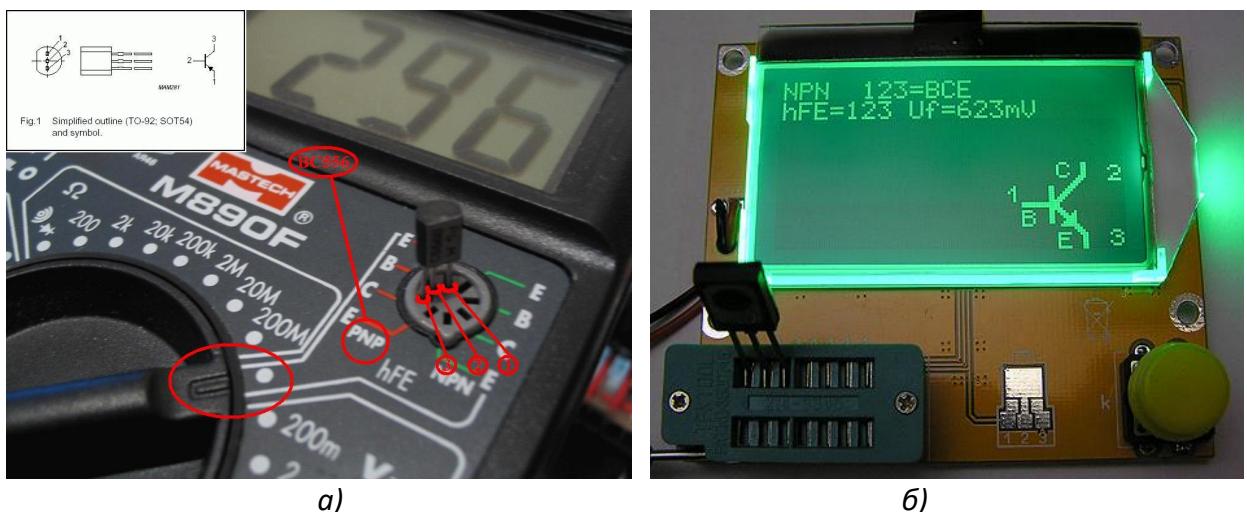


Рис. 8. Схема измерения коэффициента усиления транзисторов
а) с помощью мультиметра, б) с помощью транзистор-терстера

Часто имеют место ошибки в расположении транзисторов. Правильное положение этих элементов показано на рис. 9. Отмечу, что данное расположение справедливо только для транзисторов тех типов, которые указаны на схеме. Если используются транзисторы другого типа, настоятельно рекомендуется сверить цоколевку Ваших элементов, которую можно взять из datasheet производителя, с печатной платой. Возможно потребуется корректировка трассировки.



Рис. 9. Правильное расположение транзисторов ДК и КУН

Транзисторы КУН VT5/VT6 работают в классе А, поэтому довольно значительно греться. От стабильности их температуры во многом зависит стабильность тока покоя выходного каскада. Именно поэтому они должны быть установлены на радиаторы. Конструкции радиаторов для них весьма разнообразны, начиная от простой алюминиевой пластины и заканчивая громоздкими радиаторами от блоков питания и ИБП. На рис. 10 приведены некоторые идеи по оформлению теплоотводов.



Рис. 10. Варианты установки радиаторов на транзисторы КУН

Следует отметить, что транзисторы 2SA1837 и 2SC4793 имеют полностью пластиковый корпус, и это избавляет от необходимости использовать изолирующие прокладки.

Нередко возникает вопрос о том, можно ли устанавливать транзисторы КУН на общий радиатор с выходниками. Мое мнение – устанавливать, конечно, можно, но не рекомендуется. Некоторые сборщики, конечно, так и делали и, в принципе, усилитель запускался и работал без особых проблем. Но, в таком случае, транзисторы КУН и выходные связываются между собой тепловой обратной связью, что не совсем хорошо. Возникает цепная реакция: выходные транзисторы нагревают радиатор, от него дополнительно нагреваются транзисторы КУН. От нагрева транзисторов КУН напрямую зависит ток покоя транзисторов ВК, следовательно, дополнительный нагрев КУН приведет к росту тока покоя ВК. Это в свою очередь приведет к еще большему разогреву транзисторов ВК и радиатора. Ну и так далее... В худшем случае такой процесс может привести к предельному разогреву транзисторов и, как следствие, полному их выходу из строя, даже к взрыву!

Конечно, система терmostабилизации, должна этот процесс уравновесить, но если она не настроена должным образом, результат непредсказуем. К тому же, даже если терmostабилизация в порядке, пределы колебания тока покоя ВК при совместном креплении транзисторов будут значительно шире. А с этим вопросом в ЛАНЗАРе и так не все гладко!

В общем, я не рекомендую крепить транзисторы КУН на общий радиатор!

Для лучшего теплового контакта транзисторы дифкаскадов VT1-VT4 можно смазать термопастой и прижать их друг к другу термоусадкой.

После установки полупроводниковых элементов устанавливаются и припаиваются электролитические конденсаторы. Большие емкости рекомендуется прихватить к плате kleem, желательно на резиновой или полиуритановой основе.

Монтаж оконечных транзисторов отложен на последнюю очередь не случайно – здесь есть некоторые особенности. Перед монтажом силовых транзисторов, а так же в случае подозрений на их пробой, силовые транзисторы проверяются тестером. Предел на тестере устанавливается на проверку диодов (рис. 11).

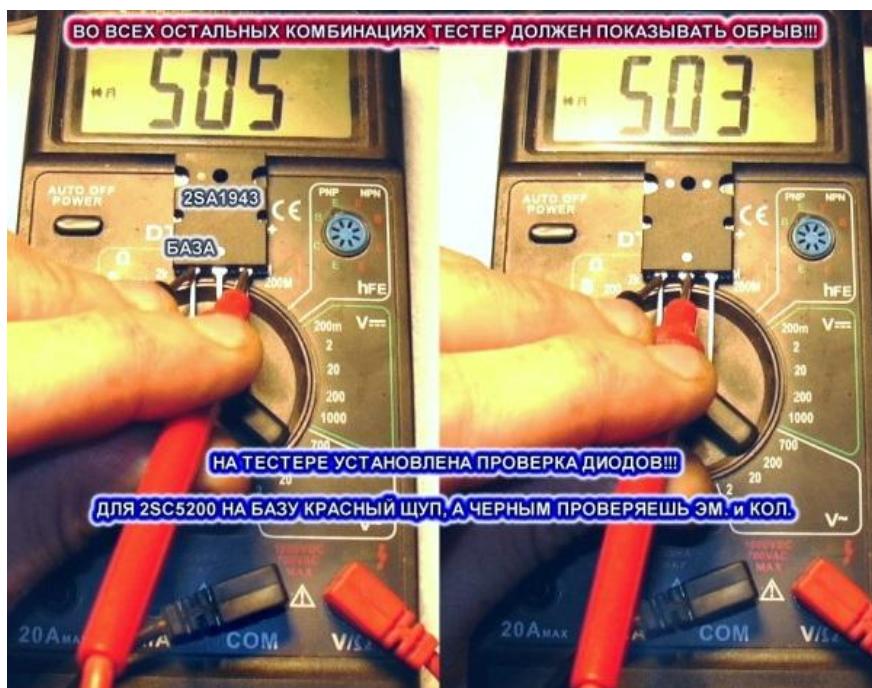


Рис. 11. Проверка оконечных транзисторов

Споров о том, стоит ли подбирать выходные транзисторы по коэффициенту усиления, довольно много и идея подбора элементов тянется еще с глубоких 70-х годов, когда качество элементной базы оставляло желать лучшего. На сегодняшний день завод-изготовитель гарантирует разброс параметров между транзисторами одной партии не более 2%, что уже само по себе говорит о хорошем качестве элементов. Кроме этого, учитывая то, что оконечные транзисторы 2SA1943/SC5200 прочно обосновались в звукотехнике завод-изготовитель начал выпуск парных транзисторов, т.е. транзисторы и прямой, и обратной проводимости уже имеют одинаковые параметры, т.е. разницу не более 2% (рис. 12). К сожалению, такие пары не всегда встречаются в продаже. Однако даже имея разброс по коэффициенту усиления между транзисторами прямой и обратной проводимости необходимо лишь следить за тем, чтобы **транзисторы одной структуры были одной партии**, поскольку включены они параллельно и разброс по h_{21} может вызывать перегрузку одного из транзисторов (у которого этот параметр выше) и как следствие - перегрев и выход из строя. Ну, а разброс между транзисторами для положительной и отрицательной полуволн вполне компенсируется отрицательной обратной связью.



Рис. 12. Транзисторы разной структуры, но одной партии

В самой сложной ситуации, когда Вы не смогли найти выходные транзисторы одной партии или используете отличные от схемы элементы, крайне рекомендуется также провести их подбор по коэффициенту усиления h_{21} .

Отмечу, что в данном случае мультиметр не подходит. Дело в том, что измеритель h_{21} в мультиметрах показывает правду лишь для транзисторов малой мощности. Подбирать с его помощью транзисторы оконечного каскада будет не совсем правильно, поскольку h_{21} зависит еще и от протекаемого тока. Именно поэтому для отбраковки силовых транзисторов уже делают отдельные проверочные стенды с регулируемым током коллектора проверяемого транзистора (рис. 13).

Для производства отбраковки следует взять любой транзистор из отбраковываемой партии и переменным резистором выставить ток коллектора равным $0,4 \div 0,6$ А для транзисторов предпоследнего каскада и $1 \div 1,3$ А для транзисторов оконечного каскада. Ну а далее все просто – к клеммам подключаются транзисторы и по показаниям амперметра, включенного в коллектор выбираются транзисторы с одинаковыми показаниями, не забывая поглядывать на показания амперметра в базовой цепи – они тоже должны быть похожими. Разброс в 5 % вполне приемлем. Для стрелочных индикаторов на шкале можно сделать метки "зеленого коридора" во время градуировки.

Следует заметить, что подобные токи вызывают не плохой нагрев кристалла транзистора, а учитывая то, что он без теплоотвода, длительность замеров не следует растягивать во времени – кнопку SB1 удерживать в нажатом состоянии более чем $1 \div 1,5$ сек не следует.

ВРЕМЕННЫЙ ПРОВЕРОЧНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОТБРАКОВКИ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

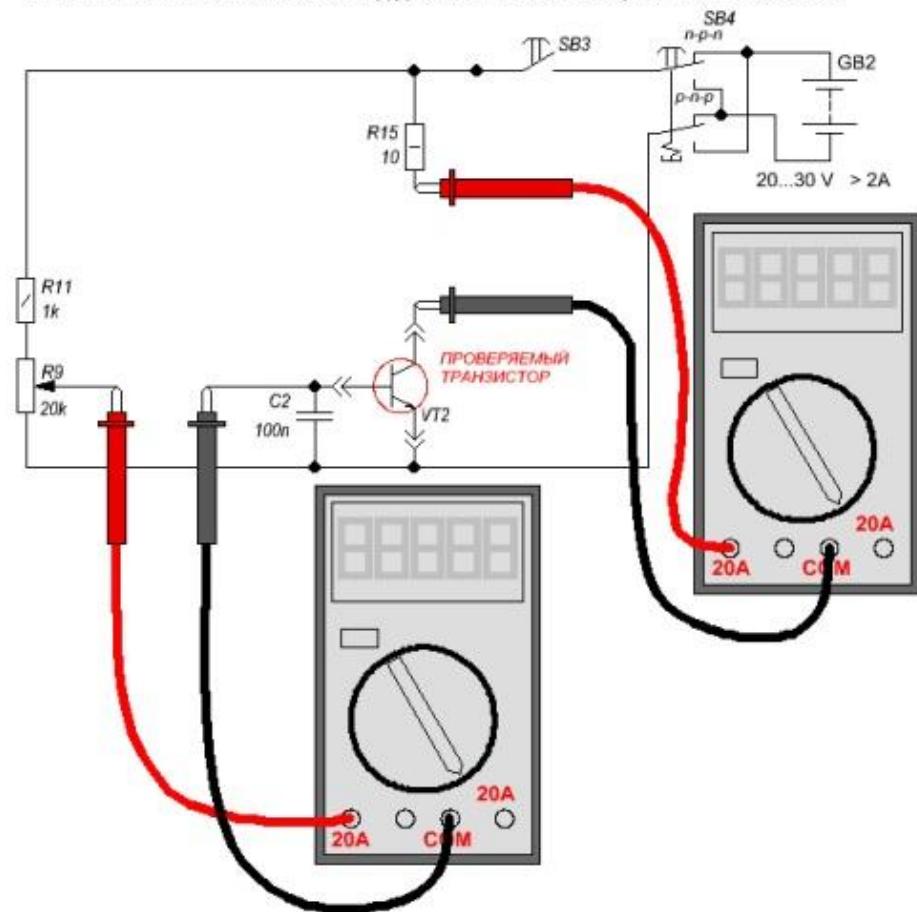


Рис. 13. Отбраковка мощных транзисторов по коэффициенту усиления

Подобная отбраковка, прежде всего, позволит отобрать транзисторы с реально похожим коэффициентами усиления, а проверка мощных транзисторов цифровым мультиметром есть лишь проверка для успокоения совести – в режиме микротоков у мощных транзисторов коэффициент усиления составляет более 500. Поэтому даже небольшой разброс при проверке мультиметром в режимах реальных токов может оказаться огромным.

! Перед впаиванием подстроечного резистора R16 проверьте, чтобы его движок был выкручен так, дабы в разрыв дорожки (между левым и средним выводом) впаивалось его полное сопротивление (рис. 14).

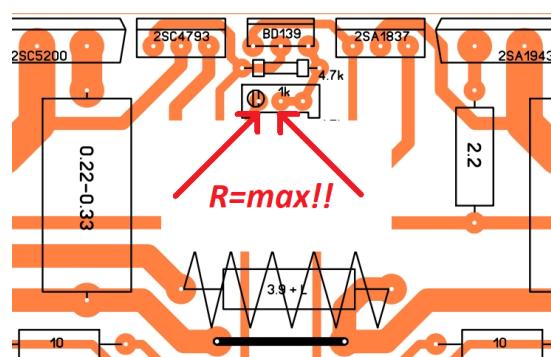


Рис. 14. Впаивание подстроечного резистора

! После установки и запайки всех элементов ОБЯЗАТЕЛЬНО следует проверить плату на наличие замыканий дорожек в виде «соплей» припоя и отмыть ее от флюса (ка-нифоли).

Для этого можно воспользоваться любым средством, растворяющим канифоль – ацетон, очищенный бензин (Нефрас), спирт (Асептелин 90%), растворитель (646, 647). Работы следует проводить на открытом воздухе или в хорошо проветриваемом помещении. После промывки плате необходимо дать полностью высохнуть. Если она будет сохнуть без прогрева, то на это потребуется порядка 40÷50 мин, однако процесс можно ускорить до 3÷5 мин, просушив ее феном.

О радиаторах

Теплоотвод (радиатор) для усилителя мощности играет далеко не последнюю роль в его эксплуатационных характеристиках, определяя, прежде всего, надежность усилителя и, как правило, имеющий свои характеристики. Основными из них можно назвать:

- тепловое сопротивление;
- площадь охлаждения.

Если не вдаваться в глубокую физику, то *тепловое сопротивление радиатора* – это скорость, с которой точка нагрева будет отдавать свое тепло охлаждающим поверхностям – ребрам. Этот параметр учитывается довольно редко, от этого и довольно частые выходы из строя самодельных усилителей. На рис. 15 показаны схематично процессы нагрева теплоотвода от фланца силового транзистора.

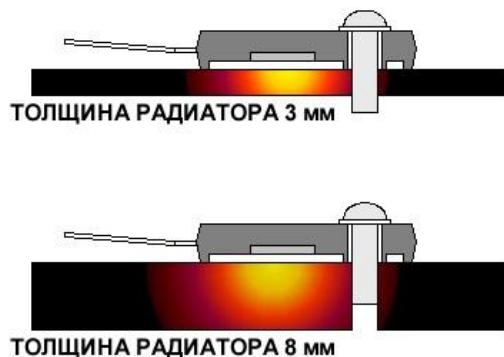


Рис. 15. Распространение тепла внутри несущего основания теплоотвода

При толщине несущего основания 3 мм тепло от фланца довольно быстро достигает тыльной стороны и далее распространяется довольно медленно, поскольку толщина материала слишком мала. В результате происходит довольно большой местный нагрев, а охлаждающие плоскости (ребра) остаются холодными. При толщине несущего основания 8 мм тепло от фланца уже достигает обратной стороны радиатора гораздо медленней, поскольку необходимо прогреть участки радиатора в горизонтальной плоскости. Таким образом, нагрев происходит более равномерно, и охлаждающие плоскости начинают прогреваться более интенсивно.

Эмпирически установлено, что толщина несущего основания для усилителей, работающих в классе АВ, должна составлять 1 мм на каждые 10 Вт выходной мощности усилителя, но не менее 2 мм. При мощностях свыше 100 Вт толщина несущего основания долж-

на быть не менее 9 мм + 1 мм на каждые 50 Вт, превышающие 100 Вт. В таблице ниже приведены некоторые значения толщины основания для различных мощностей УМЗЧ.

Мощность, Вт	Толщина несущего основания, мм	Пример расчета
10	2	минимум
40	4	$40 \text{ Вт} / 10 = 4 \text{ мм}$
60	6	$40 \text{ Вт} / 10 = 6 \text{ мм}$
150	10	$150 \text{ Вт} - 100 \text{ Вт} = 50 \text{ Вт}$ превышение 100 Вт предела, следовательно $9 \text{ мм} + 1 \text{ мм} = 10 \text{ мм}$
300	13	$300 \text{ Вт} - 100 \text{ Вт} = 200 \text{ Вт}$ превышения 100 Вт предела, следовательно $9 \text{ мм} + (200 / 50) = 9 \text{ мм} + 4 \text{ мм} = 13 \text{ мм}$
600	19	$600 \text{ Вт} - 100 \text{ Вт} = 500 \text{ Вт}$ превышения 100 Вт предела, следовательно $9 \text{ мм} + (500 / 50) = 9 \text{ мм} + 10 \text{ мм} = 19 \text{ мм}$
900	25	$900 \text{ Вт} - 100 \text{ Вт} = 800 \text{ Вт}$ превышения 100 Вт предела, следовательно $9 \text{ мм} + (800 / 50) = 9 \text{ мм} + 16 \text{ мм} = 25 \text{ мм}$

Ступенчатость в расчетах при мощностях свыше 100 Вт связана с тем, что в таких усилителях уже используется по несколько соединенных параллельно транзисторов, которые рассеивают тепло равномерно в разных местах несущего основания радиатора.

Площадь охлаждения можно рассчитать чисто математически, измерив основные размеры радиатора (рис. 16).

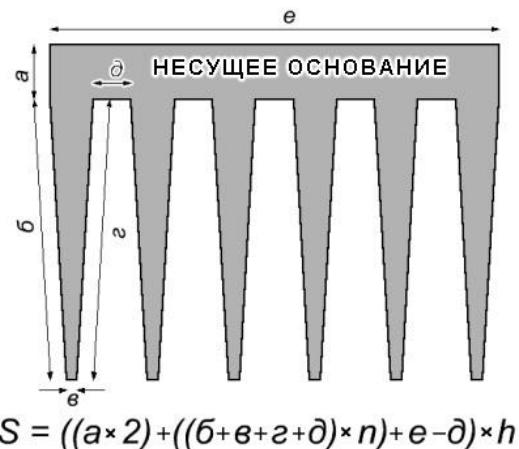


Рис. 16. Расчет площади охлаждения теплоотвода

В данной формуле:

a – толщина несущего основания – удваивается, поскольку имеет контакт с охлаждающей средой (воздухом в данном случае) с двух сторон;

b, c – по сути, высота ребра – используются обе стороны, поскольку обе имеют контакт с охлаждающей средой;

g – ширина верхушки ребра - можно пренебречь;

d – расстояние между ребрами радиатора;

e – длина обратной стороны радиатора;

n – количество ребер на радиаторе;

h – высота радиатора.

Крепежные выступы и дополнительные отливы тоже можно посчитать, но, как правило, их площадь ничтожно мала по отношению к основной, поэтому ею можно пренебречь. В данной формуле так же не учитываются площади торцов ребер.

Площадь радиатора рассчитывается исходя из мощности усилителя и, опуская формулы, может быть определена по таблице ниже.

Мощность усилителя, Вт	Площадь радиатора, см ²	
	Радиатор снаружи корпуса, ребра вертикальные	Радиатор внутри корпуса или автомобильный УМЗЧ
10	18	25
25	110	160
50	440	625
75	1000	1400
100	1750	2500
150	3900	5600
200	6950	10000
300	15600	22500
400	27800	40000
500	43400	62500
600	62500	90000
700	85100	122500
800	110000	160000
900	140500	200000
1000	173500	250000

Если радиатора с подходящей площадью охлаждения нет, то можно воспользоваться принудительным охлаждением, установив на радиаторы вентиляторы от компьютерной техники (рис. 17).



Рис. 17. Внешний вид компьютерных вентиляторов

При покупке вентиляторов следует обратить внимание на его параметры – напряжение и потребляемый ток, который как раз и определяет производительность вентилятора. На рис. 18 слева показан «бесшумный тихоход» (ток 0,08 А), который почти не слышно, но и который дает довольно слабый охлаждающий поток, а справа – «гудящий ветродув» (ток 0,3 А). Рекомендуется для усилителей мощности использовать высокопроизводительные вентиляторы, поскольку уменьшить производительность можно всегда уменьшив обороты вращения (напряжение питания), а вот увеличить получается не всегда, а если точнее – очень редко. Несколько вариантов управления вентиляторам можно посмотреть [здесь](#).



Рис. 18. Вентиляторы разной производительности

При выборе вентилятора кроме производительности следует определиться ис размерами, поскольку размеров на рынке уже достаточно много. Да и наработка на отказ у всех разная, поскольку одни производители применяют подшипники скольжения (вал крыльчатки вращается во вкладышах из порошковой бронзы), а другие используют шарикоподшипники, которые, конечно же, работают гораздо дольше и меньше подвержены забиванию пылью.

Вариантов обдува также может быть несколько. Для примера, рассмотрим два самых популярных.

Первый, по сути, широко используемый в компьютерной технике вариант, когда вентилятор устанавливается со стороны ребер, причем воздушный поток направляется как раз между ребер охлаждения (рис. 19).

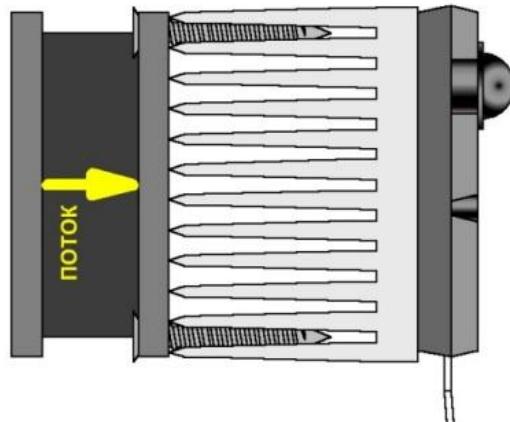


Рис. 19. Установка вентилятора со стороны ребер радиатора

Менее популярный вариант среди компьютерной техники, но достаточно популярный среди промышленной аппаратуры – *способ трубы*. В этом варианте два радиатора разворачиваются ребрами друг к другу, а воздушный поток направляется между ребрами вентилятором, расположенным с торца радиаторов (рис. 20).

Этот вариант для аудиотехники несколько предпочтительней, поскольку одним вентилятором может "продуваться" довольно длинный радиатор. При расположении на одном радиаторе транзисторов n-p-n структуры, а на другом – p-n-p можно обойтись без электроизолирующих прокладок, что уменьшит тепловое сопротивление между корпусом транзистора и радиатором. Разумеется, радиаторы будут необходимо изолировать от корпуса, и этот способ приемлем для усилителей, в качестве выходного каскада которых используются эмиттерные повторители (ЛАНЗАР, VL, ХОЛТОН).

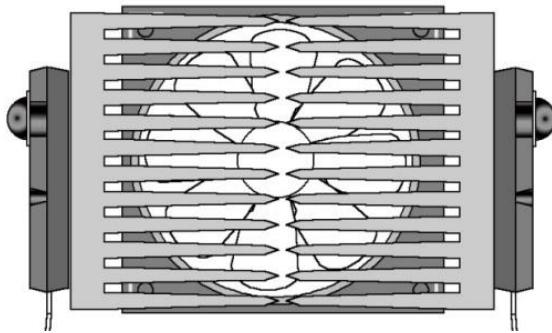


Рис. 20. Сборка аэробтубы из двух одинаковых радиаторов

Следует отметить, что используемые в компьютерах радиаторы для процессоров рассчитаны на принудительное охлаждение, и, не смотря на то, что имеют достаточно большие площади охлаждения, использование их без вентиляторов нежелательно. Дело в том, что расстояние между ребрами радиатора очень мало и естественная циркуляция воздуха затруднена, вследствие чего теплоотдача падает практически в 2,5÷3 раза.

Подводя итоги всему вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

- при выборе радиатора следует обращать внимание не только на площадь охлаждения, но и на толщину несущего основания;
- при недостатке площади охлаждения можно использовать принудительное охлаждение (вентиляторы) с регулируемой производительностью.

О креплении транзисторов на радиаторы

Даже если и транзисторы будут правильно выбраны, и площадь радиатора будет правильно рассчитана, остается еще одна проблема – правильно установить транзисторы на радиатор.

Прежде всего, следует обратить внимание на поверхность радиатора в месте установки транзисторов или микросхем – там не должно быть лишних отверстий, поверхность должна быть ровной и не покрыта краской. В случае, если поверхность радиатора покрыта краской, ее необходимо удалить наждачной бумагой, причем по мере удаления краски зернистость бумаги должна уменьшаться и когда следов краски уже не останется необходимо еще некоторое время полировать поверхность уже мелкой наждачной бумагой.

Крепить транзисторы, у которых корпус не изолирован, необходимо через изолирующие прокладки, причем, изолировать необходимо как сам корпус от радиатора, так и крепежный винт от корпуса.

Корпуса транзисторов ТО-126, ТО-247, ТО-3PBL (ТО-264) конструктивно выполнены так, что изолированный крепеж не нужен – внутри корпуса в крепежном отверстии электрического контакта с фланцем не произойдет. А вот корпуса ТО-220, ТО-204АА без изолированного крепежа не обойдутся. Для этих целей применяются специальные пластиковые изолирующие втулки (рис. 21).



Рис. 21. Изолирующие втулки для транзисторов

Выпускаются эти втулки разных размеров для различных типов транзисторов, поэтому не составит труда подобрать для себя подходящий вариант.

Для изоляции корпуса транзистора от радиатора применяются специальные диэлектрические подложки. Здесь ситуация несколько сложнее, поскольку они могут изготавливаться из различных материалов с разной теплопроводностью, и если в одних условиях подложки из одного материала будет достаточно, то в других ее применение может быть неприемлемо и приведет к перегреву и выходу из строя дорогостоящих элементов. Для лучшего понимания вопроса обратимся к исследованию, которое проводил некто С. Петров (случайно наткнулся на статью в Интернете).

Процесс проходил следующим образом. Через силовой транзистор пропускался постоянный ток порядка 12 А и контролировалась температура корпуса транзистора. Нагрев производился до тех пор, пока температура транзистора не достигнет своего почти равновесного значения, т.е. скорость нагрева станет медленной, либо рост температуры корпуса прекратится вообще. После этого измерялась температура корпуса и радиатора. Для измерения температуры радиатора в нем было сделано несквозное отверстие диаметром 2 мм и глубиной 4 мм на расстоянии 5 мм от бокового края транзистора. При измерении температуры корпуса термопара прижималась (с пастой КПТ-8) к верхней поверхности медного основания корпуса транзистора, доступ к которой возможен благодаря наличию технологических пазов в пластмассовой части корпуса по обе стороны от крепежного отверстия.

Так как метрологические возможности автора не позволяли провести *абсолютные* измерения, то все приведенные ниже цифры следует рассматривать в качестве *оценочных* и *относительных*. Для снижения погрешности автор старался сравнивать различные подложки при одинаковой температуре корпуса транзистора. Фактически, для сравнения теплопроводности (теплового сопротивления) подложек достаточно измерить и сравнить разницу температур корпуса транзистора и радиатора. При этом, чем выше температура корпуса транзистора, тем больше эта разница температур и меньше погрешность. Кроме того, желательно проводить сравнение подложек при температуре корпуса транзистора, равной его рабочей температуре в реальном устройстве. По этим причинам автор делал замеры при температуре корпуса транзистора около 100 °С. Полученные результаты приведены в таблице ниже.

Подложка	$t_{\text{корп}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{рад}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Примечания
Транзистор без подложки	96	95	1	$U_{\text{кэ}} = 1,556 \text{ В}, I_{\text{k}} = 12,2 \text{ А}, P_{\text{пacc}} = 19,0 \text{ Вт.}$
Оксид бериллия	96	93	3	$U_{\text{кэ}} = 1,545 \text{ В}, I_{\text{k}} = 12,33 \text{ А}, P_{\text{пacc}} = 18,9 \text{ Вт.}$ Размеры: 31x20x0,85 мм.
Оксид алюминия	96	88	8	$U_{\text{кэ}} = 1,579 \text{ В}, I_{\text{k}} = 12,73 \text{ А}, P_{\text{пacc}} = 20,1 \text{ Вт.}$ Размеры: 30x23x1 мм.
Слюдя	102	77	25	$U_{\text{кэ}} = 1,506 \text{ В}, I_{\text{k}} = 11,6 \text{ А}, P_{\text{пacc}} = 17,5 \text{ Вт.}$ Размеры: 23x22x0,22 мм.
Импортный «Номакон»	97	67	30	$U_{\text{кэ}} = 1,472 \text{ В}, I_{\text{k}} = 11,33 \text{ А}, P_{\text{пacc}} = 16,7 \text{ Вт.}$ Размеры: 21x15x0,32 мм.

На обе стороны подложек (кроме «Номакона») наносился максимально равномерный и тонкий слой пасты КПТ-8.

Вариант «транзистор без подложки» использовался в качестве «опорной точки». Величина разности температур в 1 °С при погрешности ±1 °С говорит о том, что в пределах

погрешности измерений разницу температур радиатора и транзистора обнаружить не удалось (при указанной рассеиваемой транзистором мощности).

Подложка из «оксида алюминия» (рис. 22) была извлечена из импульсного источника питания фирмы Benning, входящего в состав промышленного оборудования. Цвет у этой подложки молочно-белый, у бериллиевой – светло-серый или грязно-белый. Стоит отметить, что существует достаточно много и других керамических материалов с высокой теплопроводностью, из которых производятся теплопроводящие изолирующие подложки: нитрид алюминия, нитрид бора, карбид кремния, оксид циркония, и другие. Причем, теплопроводность нитрида бора больше, чем у оксида бериллия.

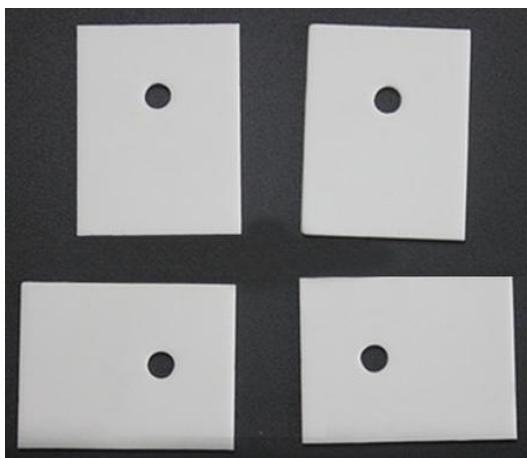


Рис. 22. Изолирующие подложки из оксида алюминия

Подложка из слюды (рис. 23) имеет явно излишнюю толщину, так как для применения достаточно слюды толщиной $0,08\div0,1$ мм исходя из необходимой электрической прочности.



Рис. 23. Изолирующие подложки из слюды

Поэтому, если применить подложку толщиной в два раза меньше, чем была у автомата, то и ее тепловое сопротивление стало бы вдвое меньше, и можно было бы ожидать тепловые параметры, близкие к тем, что получились для подложки из оксида алюминия. Это подтверждают данные, приведенные в "Soldering and mounting techniques. Reference manual" фирмы "ON Semiconductor". Оказывается, что тепловое сопротивление подложки из оксида алюминия составляет порядка $0,35$ К/Вт, а подложки из слюды толщиной $0,05$ мм – порядка $0,4$ К/Вт (с использованием термопасты).

При использовании таких тонких подложек необходимо тщательно зашлифовать поверхность радиатора (и, возможно, транзистора тоже), чтобы случайным задиром, острой кромкой или твердой частицей какого-нибудь «мусора» не проколоть подложку.

Последняя подложка получила обозначение «импортный «Номакон» из-за того, что по внешним признакам она не отличается от всем хорошо известного «Номакона» (рис. 24), но была извлечена из блока питания компьютера «HP Vectra» 1995 года выпуска. Марка и производитель этой подложки не известны.

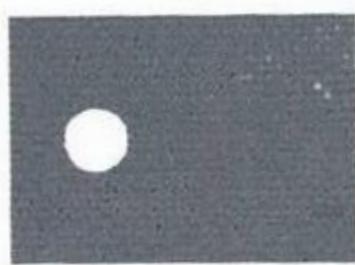


Рис. 24. Изолирующая подложка «Номакон»

Как видно, выводы достаточно очевидны, но все же попробуем их сформулировать.

Если есть возможность применить подложки из оксида бериллия/алюминия – их и надо ставить. По теплопроводности плюс электрической прочности они вне конкуренции. А вот по совокупности параметров «теплопроводность, электропрочность и цена» вне конкуренции дешевая и широко распространенная слюда. «Номакон» еще раз подтвердил свою пригодность только для маломощных устройств бытового применения.

- ! Перед креплением транзисторов на радиаторы все контактирующие плоскости (фланец-подложка-радиатор) необходимо смазать равномерным тонким слоем теплопроводящей пасты КПТ-8!
- ! После установки транзисторов на радиаторы настоятельно рекомендую проверить отсутствие КЗ между радиатором и каждым выводом транзистора. Это может спасти Вас от неожиданного «фейерверка» при включении усилителя в сеть!

Первый запуск и наладка

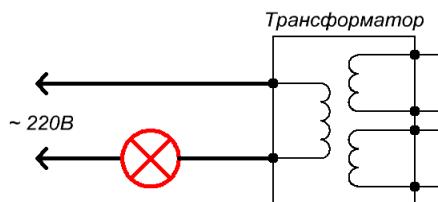
Итак, еще раз все внимательно осматриваем! Если визуально ошибок нет, «соплей» не видно, КЗ нигде не обнаружено, то можно приступать к первому запуску.

!**ПЕРЕД ЛЮБЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ УСИЛИТЕЛЯ В СЕТЬ ТРАНЗИСТОРЫ КУН И ВК ДОЛЖНЫ БЫТЬ УСТАНОВЛЕНЫ НА РАДИАТОРЫ!!! ЭТО ОТНОСИТСЯ ТАКЖЕ К СЛУЧАЯМ: «НЕ ТЕРПЕЛОСЬ», «НА СЕКУНДОЧКУ», «ТОЛЬКО ГЛЯНУТЬ» И Т.П.**!

Транзисторы ВК не обязательно (но желательно) устанавливать на основной радиатор. Это может быть какой-либо временный теплоотвод. Но следует понимать, что он должен быть соответствующего размера и площади, листом алюминия толщиной 3 мм здесь не обойтись!

!**ЗАПОМНИТЕ РАЗ И НАВСЕГДА – ПЕРВОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛЮБОГО УСИЛИТЕЛЯ НЕОБХОДИМО ПРОИЗВОДИТЬ С ЗАКОРОЧЕННЫМ НА ЗЕМЛЮ ВХОДОМ, БЕЗ НАГРУЗКИ ВЫХОДА И С ОГРАНИЧЕНИЕМ ТОКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ!!!**!

Тогда шанс спалить что-то сильно уменьшается. Самое простое решение по ограничению тока питания – **лампа накаливания 60-150 Вт**, включенная последовательно первичной обмотке трансформатора:



Лампа при запуске исправного усилителя с током покоя, равным 0 мА должна кратковременно вспыхнуть (из-за тока при заряде емкостей в БП), а потом погаснуть. Нить накала лампы может слегка светиться. Это может возникнуть из-за того, что имеет место небольшой ток покоя ВК и не свидетельствует о неисправности усилителя. Если же лампа ярко горит, значит что-то неисправно. Выключаем и ищем ошибку!

Если лампа не горит, проверяем величины постоянных напряжений в контрольных точках. В первую очередь контролируется напряжение питания в плечах усилителя. Небольшие отклонения в пределах $\pm 5\%$ не являются критическими.

Затем контролируется наличие напряжений 15 В на обоих стабилитронах. Как правило, точность стабилизации популярных стабилитронов составляет $\pm 5\%$. Таким образом, диапазон приемлемых напряжений должен лежать в пределах 14,25÷15,75 В.

Если все в норме, ничего не взорвалось, не сгорело, то можно приступать к настройке.

Постоянное напряжение на выходе

Первый замер напряжения производят непосредственно на выходе усилителя – величина постоянного напряжения не должна превышать **60 мВ**. Колебание постоянки в пределах ± 10 мВ считается нормальным. Если на выходе усилителя величина постоянного

напряжения выше 70 мВ, то это требует корректировки режимов работы устройства. В данном случае наиболее простым способом является подбор "подпирающего" резистора R1, но его величина не должна быть меньше 15 кОм. Однако, на мой взгляд, это не лучший вариант, поскольку изменение номинала R1, во-первых, приведет к изменению входного сопротивления усилителя, а, во-вторых, потребует пересчета элементов цепи ООС (подробнее см. раздел «Схема усилителя и описание элементов»). Если все же Вы решили изменить номинал R1 и подбор данного резистора не позволил уменьшить величину постоянного напряжения, следует проверить номиналы резисторов R7/R10 на предмет идентичности. Далее проверяются номиналы R14/R18. Не важно, на сколько они отличаются от указанных на схеме (имеется в виду нормированный разброс в 5%), главное чтобы они были одинаковыми между собой. Кстати сказать, использование постоянных резисторов с разбросом более 5% не рекомендуется.

Как уже отмечалось ранее, часто причиной повышенного постоянного напряжения на выходе являются плохо подобранные (или не подобранные вовсе) по коэффициенту усиления транзисторы диффаскада. Еще раз отмечу, что подбор этих элементов строго необходим! Если по какой-то непреодолимой причине подобрать их не представляется возможным, следует увеличить номинал резисторов R8/R9 и R11/R12. Увеличивать их номинал рекомендуется постепенно, контролируя величину постоянного напряжения. Предельное значение их сопротивления – 100 Ом.

Если после всех указанных манипуляций у Вас по-прежнему наблюдается повышенные значения постоянного напряжения, то, вероятнее всего, имеет место либо ошибка в монтаже, либо неисправные детали. Об этом см. подробнее в разделе «Что-то пошло не так...».

Нелишним будет также проконтролировать напряжения на эмиттерах транзисторов 2N5551 и 2N5401. Допустимые значения: для 2N5551 -0,6÷0,7 В, для 2N5401 +0,6÷0,7 В.

Если напряжения, указанные выше, соответствуют указанным величинам то необходимо дать усилителю «прогреться», т.е. подождать пока транзисторы VT5/VT6 не прогреются до рабочей температуры. Для этого можно подать на вход какой-либо сигнал и подождать 15-20 мин.

! Напоминаю еще раз, что все наладочные манипуляции должны проводиться с включенной последовательно первичной обмотке трансформатора питания лампой! Если во время нагрева наблюдается увеличение яркости свечения нити накала, то это свидетельствует о росте тока покоя выходных транзисторов.

Во избежание выхода их из строя необходимо обесточить усилитель и добиться начального тока покоя равным 0. Для этого, во-первых, следует убедится, что подстроечный резистор R16 имеет максимальное сопротивление (рис. 14), во-вторых уменьшить номинал резистора R15 (или увеличить номинал R17). Возможно, для достижения требуемого результата понадобится несколько попыток. Замечу, что шаг изменения номинала следует выбирать как можно ниже (из доступных номиналов). Очень сильное изменение сопротивления этих резисторов с одной стороны, конечно, снизит начальный ток покоя, но, с другой стороны, может воспрепятствовать дальнейшей установке нужного ТП.

Ток покоя транзисторов УН

В большинстве рекомендаций по настройке ЛАНЗАРа, которые я читал, почему-то этому вопросу не уделяется должного внимания и сразу после установки «0» на выходе

переходят к настройке тока покоя транзисторов ВК. Видимо, это связано с тем, что при использовании элементов с теми номиналами, которые указаны в схеме при указанных напряжениях подразумевается, что он будет в нормальных пределах. Но, как показывает практика, это далеко не так.

! Нельзя выставлять ток покоя оконечного каскада, пока не выставлен ток покоя усилителя напряжения, потому что от тока покоя КУН напрямую зависит ток покоя оконечников.

На рис. 25 приведена зависимость КНИ усилителя от величины ТП КУН.

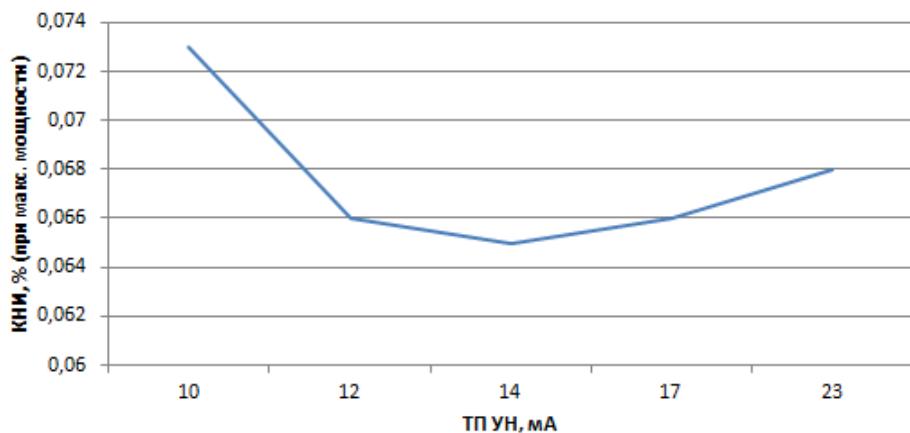
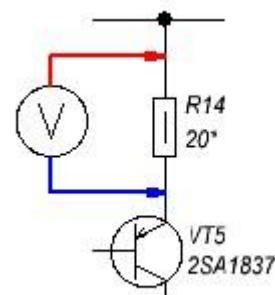


Рис. 25. Зависимость КНИ от ТП КУН

Как видно, диапазон оптимальных значений тока покоя КУН лежит в пределах 12÷17 мА. Будем ориентироваться на 14 мА.

Для установления этого значения необходимо замерять падение напряжения на резисторах R14/R18 согласно схемы



Оно должно лежать в пределах 0,2÷0,3 В. Далее, согласно закону Ома, необходимо подобрать такое сопротивление резистора, чтобы протекающий ток был равен 14 мА.

Например, падение напряжения равно 260 мВ. Тогда по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{260}{14} = 18,57 \text{ Ом}$$

Выбираем ближайшее значение из стандартных номиналов – 18 Ом. Таким образом, резисторы R14/R17 необходимо установить на 18 Ом.

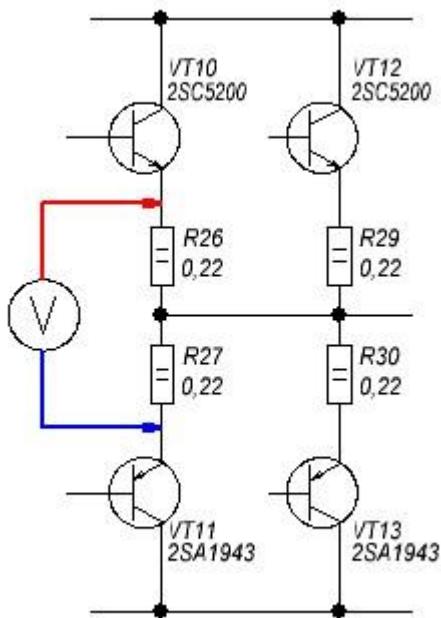
Ток покоя транзисторов ВК

!**ВНИМАНИЕ! ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ ТОКА ПОКОЯ ВЫХОДНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ И ТРАНЗИСТОР ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ VT7 В ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ПОРЯДКЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ЗАКРЕПЛЕНЫ НА ОБЩЕМ РАДИАТОРЕ!**!

!**ВО ВРЕМЯ УСТАНОВКИ ТОКА ПОКОЯ ВХОД ДОЛЖЕН БЫТЬ ЗАКОРОЧЕН НА ЗЕМЛЮ, А ВЫХОД ВИСЕТЬ В ВОЗДУХЕ!**!

Ток покоя выходных транзисторов устанавливается изменением сопротивления резистора R16. Как уже неоднократно замечалось, в начальный момент подстроечник должен иметь максимальное сопротивление между базой и эмиттером термостабилизирующего транзистора. Это будет ток покоя 0 мА. При уменьшении сопротивления будет расти ток покоя.

Текущий ток покоя можно узнать, измерив падение напряжения на паре эмиттерных резисторов, например, R26+R27 (мультиметр установить на предел 200 мВ, щупы – на эмиттеры VT10 и VT11):



Соответственно, ток покоя будет равен:

$$I_{\text{п}} = \frac{U}{R_{26} + R_{27}}, \text{ мА}$$

где, U – измеренное падение напряжения на эмиттерных резисторах, мВ

Наиболее правильно производить настройку тока покоя, визуально оценивая форму сигнала (1 В, 10 кГц) на экране осциллографа. При этом ток покоя считается достаточным, когда на осциллограмме исчезают искажения типа «ступенька» (рис. 26). Для надежности можно еще немного увеличить ток, примерно на 10-20 мА. Большее увеличение вряд ли даст Вам ощутимое преимущество в звучании, а вот излишний нагрев транзисторов и повышенное энергопотребление Вы получите точно ☺.

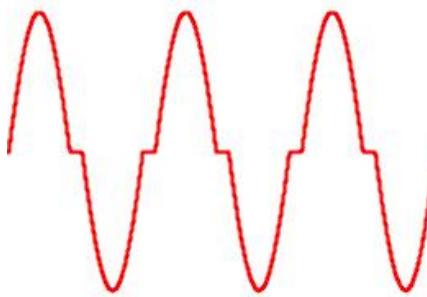


Рис. 26. Внешний вид сигнала с искажениями типа «ступенька»

Учитывая, однако, что у многих радиолюбителей нет под рукой осциллографа, ток покоя можно установить, ориентируясь на значения, приведенные в таблице ниже:

Падение напряжения на резисторах $R_{26}+R_{27}$, мВ	Ток покоя пары выходных транзи- сторов, мА, при сопротивлении эмиттерных резисторов		
	0,22 Ом	0,33 Ом	0,47 Ом
10	23	15	11
20	45	30	21
30	68	45	32
40	91	61	43
50	114	76	53
60	136	91	64
70	159	106	74
80	182	121	85
90	205	136	96
100	227	152	106

Значения, выделенные голубым цветом – низкий ток покоя, возможны искажения типа ступенька; зеленым цветом – нормальный ток покоя; розовым цветом - повышенный ток покоя, излишний нагрев; красным цветом – аварийный ток!

Отмечу, что для полного открытия транзисторов 2SC5200/2SA1943 будет достаточно 40 мА. Для других транзисторов, мощнее, ток покоя для полного открытия может быть больше, до сотни мА.

Настройка тока покоя производится следующим образом. Сначала нужно прогреть усилитель минут 15-20, потом выставить ток покоя чуть ниже необходимого и подождать пока ток стабилизируется (обычно он растет и останавливается). Далее необходимо скорректировать ток покоя до нужного значения (если необходимо несколько раз, выжидая время между корректировками). Это нормальная ситуация, так работает тепловая обратная связь, она достаточно инерционна, поэтому нужно выждать время и регулировать ток покоя не спеша. После выключения/включения усилителя ток покоя сам вернется на свое место в течение 15-20 минут.

Иногда может возникнуть такая ситуация, что движок подстроечного резистора выкручен до упора (сопротивление равно 0), а ток покоя еще не достиг требуемого уровня. В

таком случае, необходимо немного расширить пределы регулировки, увеличив номинал резистора R15.

Итак, на данном этапе можно сказать, что первичная наладка усилителя закончена. Теперь можно убрать токоограничивающую лампу из первичной обмотки трансформатора питания (она же у Вас стояла, надеюсь). После этого режимы работы усилителя могут немного «уплыть», поэтому настоятельно рекомендуется заново настроить ток покоя ВК.

Поздравляю! Теперь можно подать на вход усилителя музикальный сигнал и насладиться проделанной работой!

И напоследок...

ПОСЛЕ УСТАНОВКИ УСИЛИТЕЛЯ В КОРПУС НА ШТАТНЫЙ РАДИАТОР И ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЕГО К ПОСТОЯННОМУ БЛОКУ ПИТАНИЯ НЕОБХОДИМО ЕЩЕ РАЗ ПРОВЕРИТЬ ТОК ПОКОЯ И ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОЗВЕСТИ ЕГО НАСТРОЙКУ ЗАНОВО!

Что-то пошло не так...

Если при первом включении усилитель не входит в рабочие режимы (на выходе большое постоянное напряжение, усилитель потребляет слишком большой ток, нет выходного сигнала, звук с большими искажениями, транзисторы сильно греются и т.д.) поиск неисправности лучше всего отложить на пару дней. За это время желание получить мгновенный результат после монтажа несколько утихнет и уверенность в своей безошибочности пройдет. Подавляющее большинство неудачных запусков связано с ошибками монтажа – поменяны местами транзисторы диффакаскада, поменяны местами транзисторы последнего каскада УН, транзисторы запаяны «задом наперед», не пропаяны все элементы схемы и т.д.

Итак, для начала обратимся к схеме усилителя, смоделированной в симуляторе Micsocap. Если монтаж выполнен правильно и нет неисправных деталей, то получим карту напряжений, показанную на рис. 27 (нумерация элементов немного отличается от схемы на рис. 1).

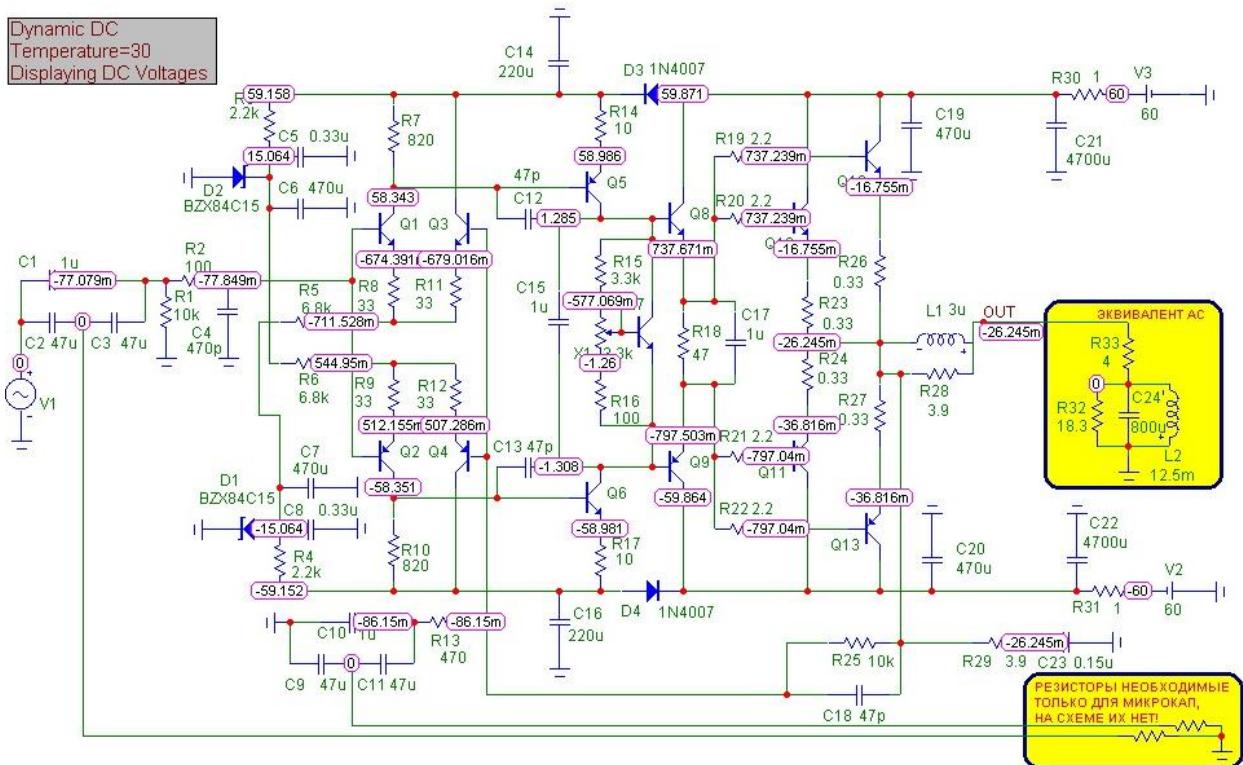


Рис. 27. Карта напряжений усилителя мощности ЛАНЗАР

В данном примере напряжение питания равно ± 60 В. Если у Вас питание отлично от указанного, то значения напряжений в контрольных точках также будут другими, но общий принцип сохранится.

Ну а теперь рассмотрим самые популярные ошибки при сборке усилителя.

Одной из самых популярных ошибок является **монтаж стабилитронов на 15 В неправильной полярностью**, т.е. эти элементы работают не в режиме стабилизации напряжения, а как обычные диоды. Как правило, такая ошибка вызывает появление на выходе постоянного напряжения, причем полярность может быть как положительной, так и

отрицательной (чаще отрицательной). Величина напряжения базируется между 15 и 30 В. При этом ни один элемент не греется. На рис. 28 показана карта напряжений при неправильном монтаже стабилитронов, ошибочные элементы выделены зеленым цветом.

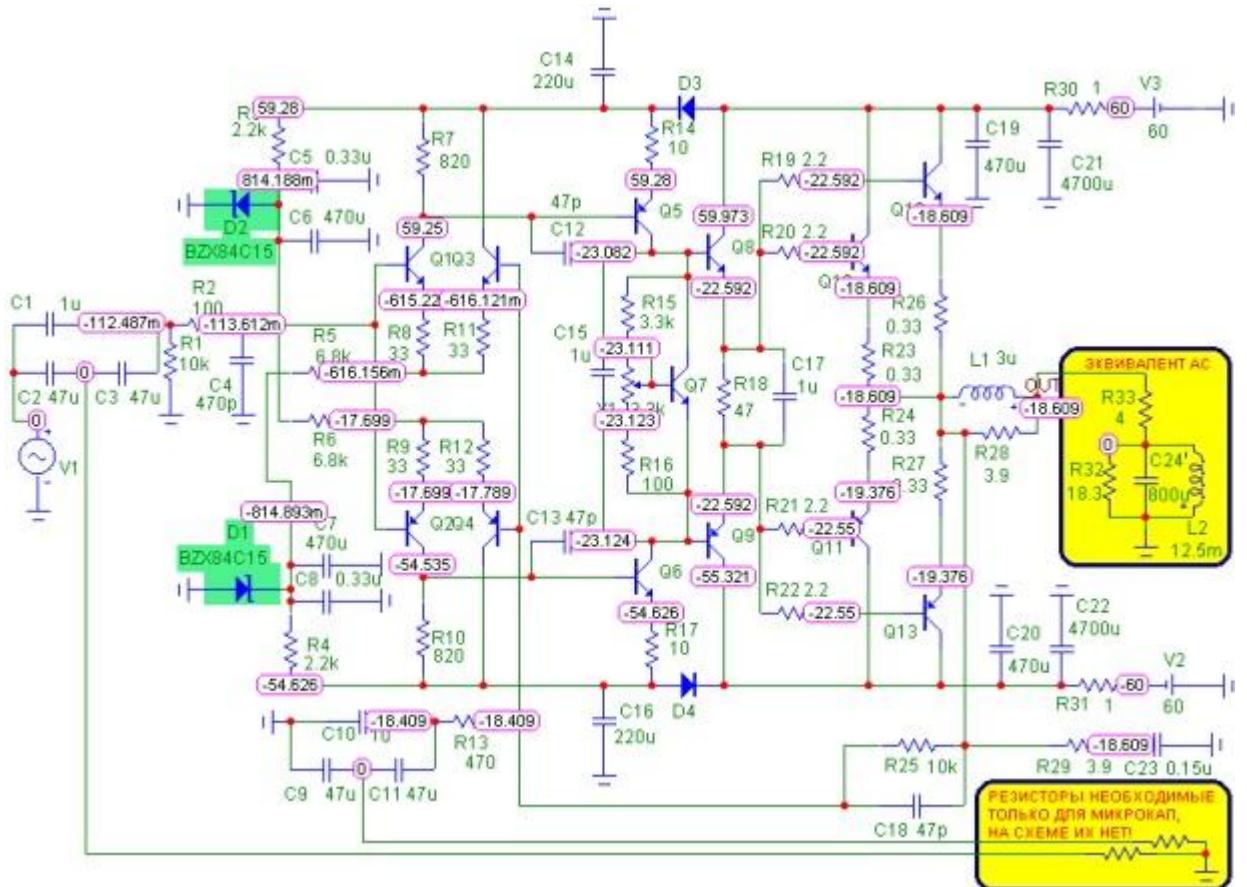


Рис. 28. Карта напряжений УМЗЧ с неправильно запаянными стабилитронами

Следующей популярной ошибкой является **монтаж транзисторов "вверх ногами"**, т.е. когда путают коллектор и эмиттер местами. В этом случае так же наблюдается постоянное напряжение, отсутствие каких либо признаков жизни. Правда обратное включение транзисторов диффакаскада может привести к выходу их из строя, ну а дальше как повезет. Карта напряжений при "перевернутом" включении показана на рис. 29.

Довольно часто транзисторы **2N5551** и **2N5401** путают местами, причем могут быть попутать так же и эмиттер с коллектором. На рис. 30 показана карта напряжений усилителя при правильном монтаже попутанных местами транзисторов, а на рис. 31 транзисторы не только поменяны местами, но и перевернуты.

Если транзисторы просто попутаны местами, а эмиттер и коллектор запаяны правильно, то на выходе усилителя наблюдается небольшое постоянное напряжение, регулируется ток покоя оконечных транзисторов, но звук либо отсутствует полностью, либо на уровне "кажется он играет". Перед повторным монтажом на плату запаянных таким образом транзисторов их следует проверить на работоспособность. Если транзисторы поменяны местами, да еще и поменяны местами эмиттер-коллектор, то тут ситуация уже довольно критическая, поскольку в этом варианте для транзисторов диффакаскада полярность приложенного напряжения является правильной, а вот рабочие режимы нарушены.

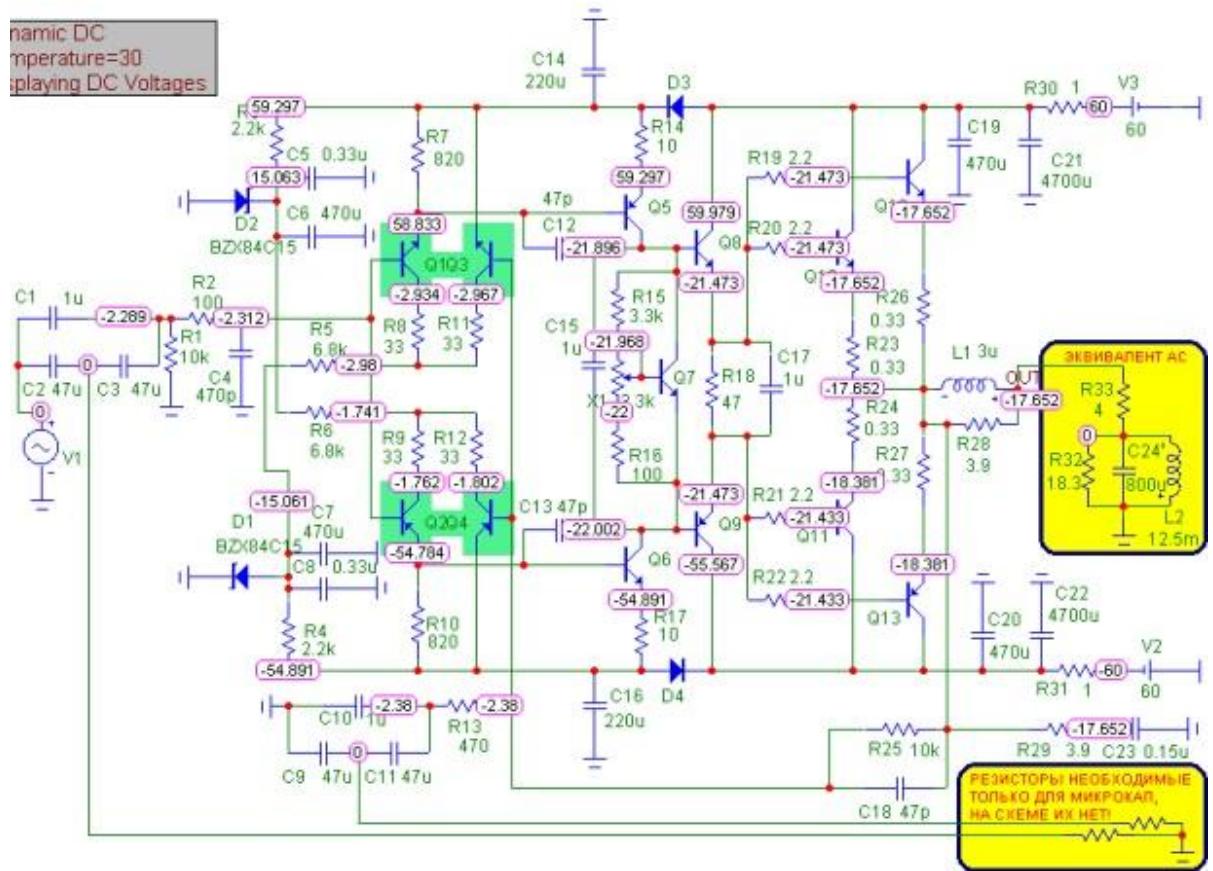


Рис. 29. Карта напряжений при "перевернутом" включении транзисторов дифкаскада

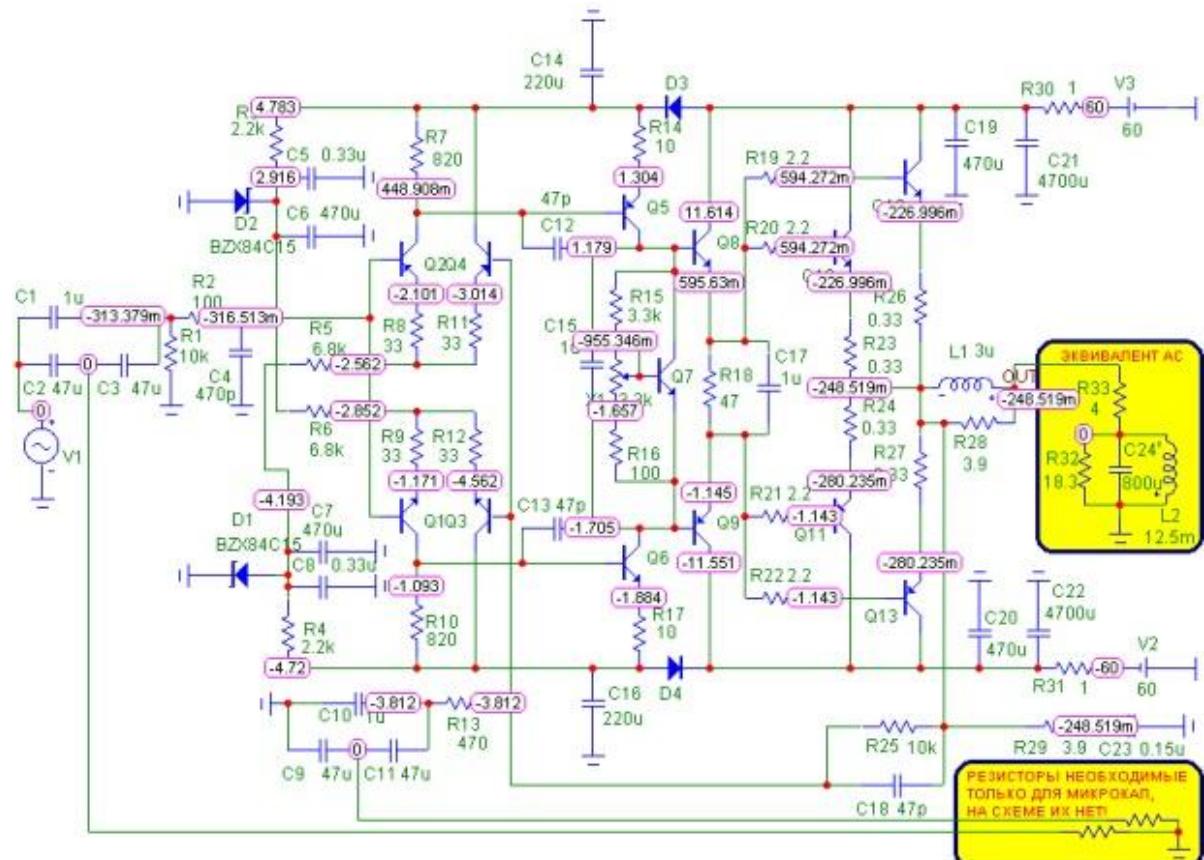


Рис. 30. Транзисторы дифкаскада попутаны местами

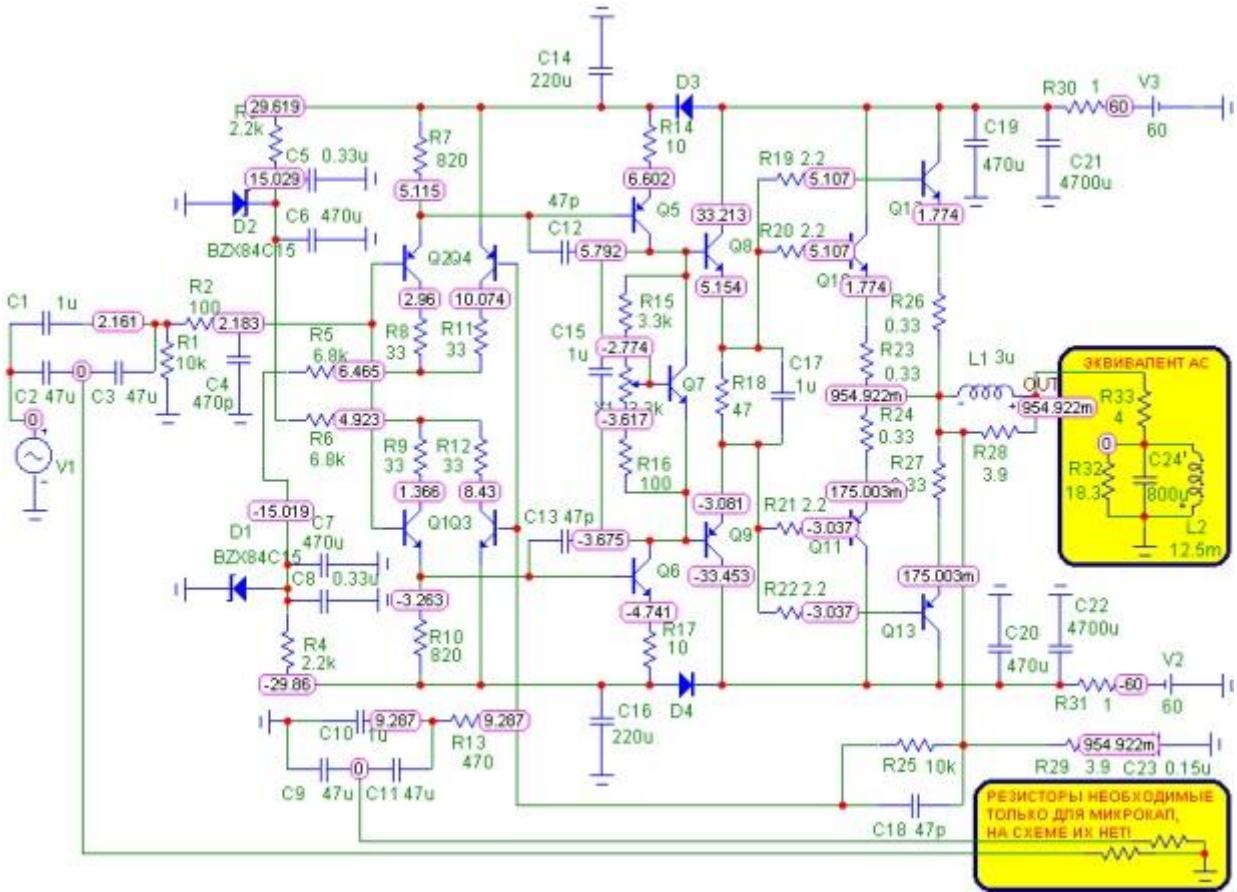


Рис. 31. Транзисторы дифкаскада попутаны местами, кроме этого попутаны местами коллектор и эмиттер

В этом варианте наблюдается сильный нагрев оконечных транзисторов (протекающий через них ток равен 2-4 А), небольшое постоянное напряжение на выходе и едва слышный звук.

Попутать цоколевку транзисторов КУН довольно проблематично при использовании транзисторов в корпусе TO-220, а вот транзисторы в корпусе TO-126 довольно часто *впаивают "вверх ногами"*, меняя местами коллектор и эмиттер. В этом варианте наблюдается сильно искаженный выходной сигнал, плохая регулировка тока покоя, отсутствие нагрева транзисторов КУН. Более подробная карта напряжения для этого варианта монтажа усилителя мощности показана на рис. 32.

Иногда путают местами транзисторы каскада усилителя напряжения. В этом случае наблюдается небольшое постоянное напряжение на выходе усилителя, звук если и есть, то очень слабый и с огромными искажениями, ток покоя регулируется только в сторону увеличения. Карта напряжений усилителя с такой ошибкой показана на рис. 33.

Предпоследний каскад и оконечные транзисторы в усилителе местами путают слишком редко, поэтому этот вариант рассматривать не будем.

Если же после визуальной проверки правильности монтажа усилитель все равно не запускается, следует начинать проверку используемых элементов – не исключено что Вы приобрели подделку.

Иногда усилитель выходит из строя по причине перегрева оконечных транзисторов или перегрузка. Недостаточная площадь теплоотвода или плохой тепловой контакт фланцев транзисторов может привести к нагреву кристалла оконечных транзисторов до температуры механического разрушения.

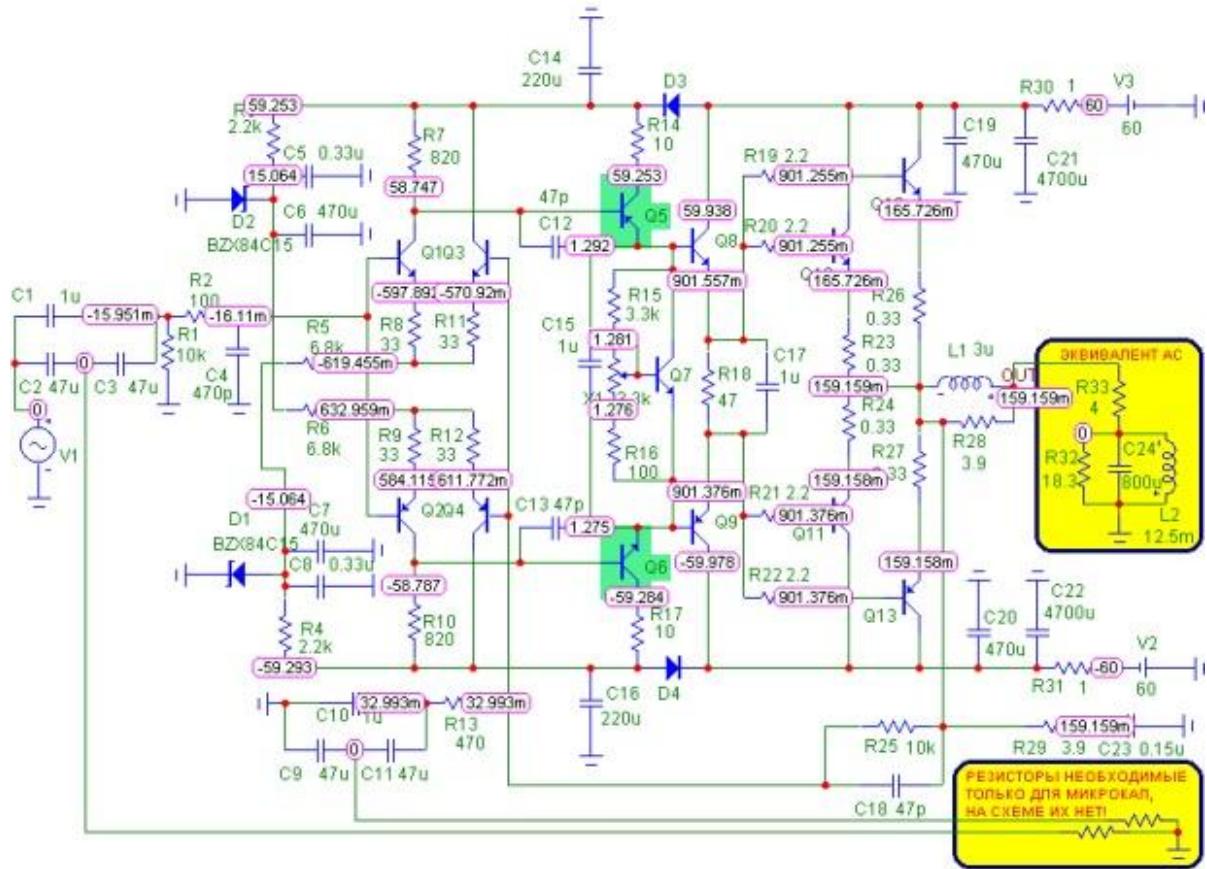


Рис. 32 Транзисторы КУН запаяны "вверх ногами"

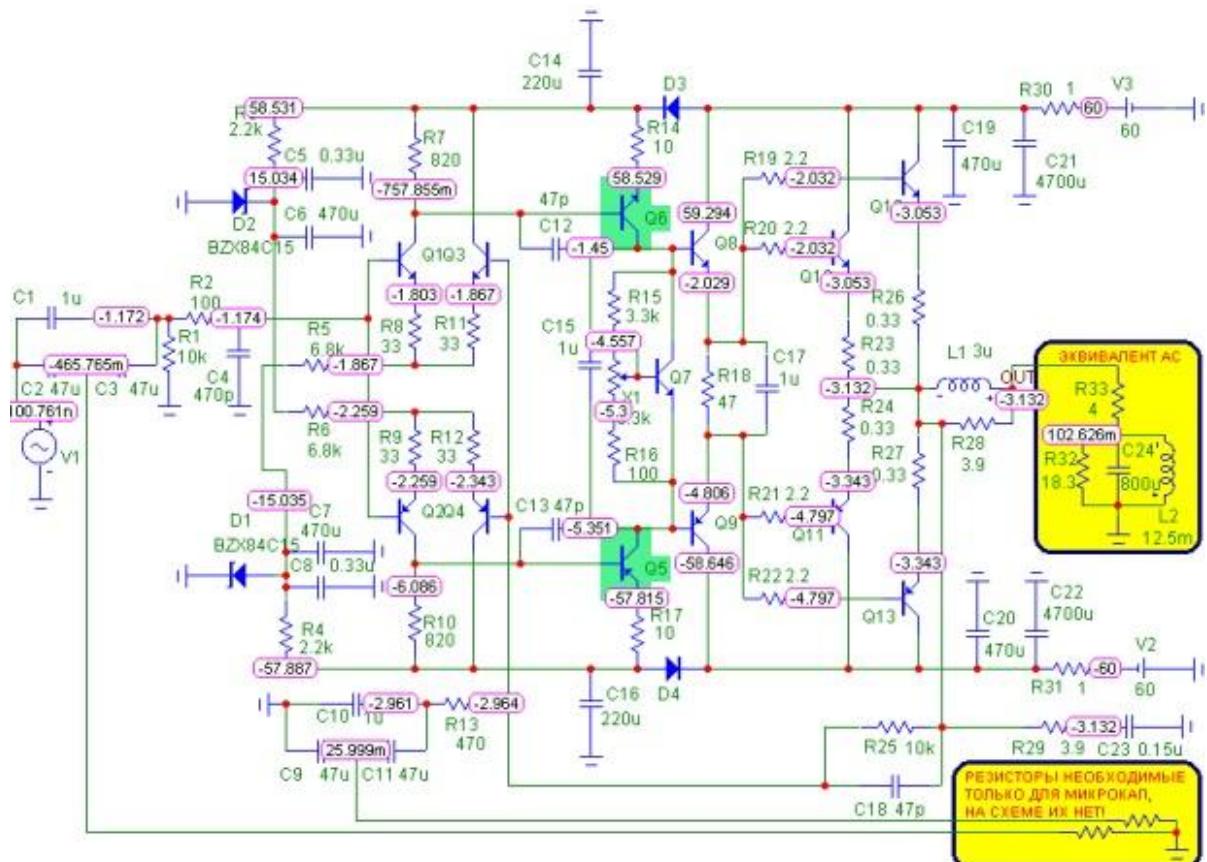


Рис. 33. Ошибочный монтаж транзисторов КУН

Поэтому до полного ввода усилителя мощности в эксплуатацию необходимо убедиться в том, что винты или саморезы, крепящие оконечники к радиатору затянуты полностью, изолирующие прокладки между фланцами транзисторов и теплоотводом имеют хорошую смазку термопастой, а так же размер прокладок больше размера транзистора минимум на 3 мм с каждой стороны.

Для примера рассмотрим несколько вариантов выхода из строя оконечных транзисторов.

На рис. 34 показана карта напряжений в случае выхода обратных оконечных транзисторов (2SC5200) на обрыв, т.е. **переходы отгорели и имеют максимально возможное сопротивление**. В этом случае усилитель сохраняет рабочие режимы, на выходе сохраняется напряжение близкое к нулю, но вот качество звука однозначно желает лучше, поскольку воспроизводится только одна полуволна синусоиды – отрицательная. Тоже самое будет при обрыве прямых оконечных транзисторов (2SA1943), только воспроизведется будет положительная полуволна.

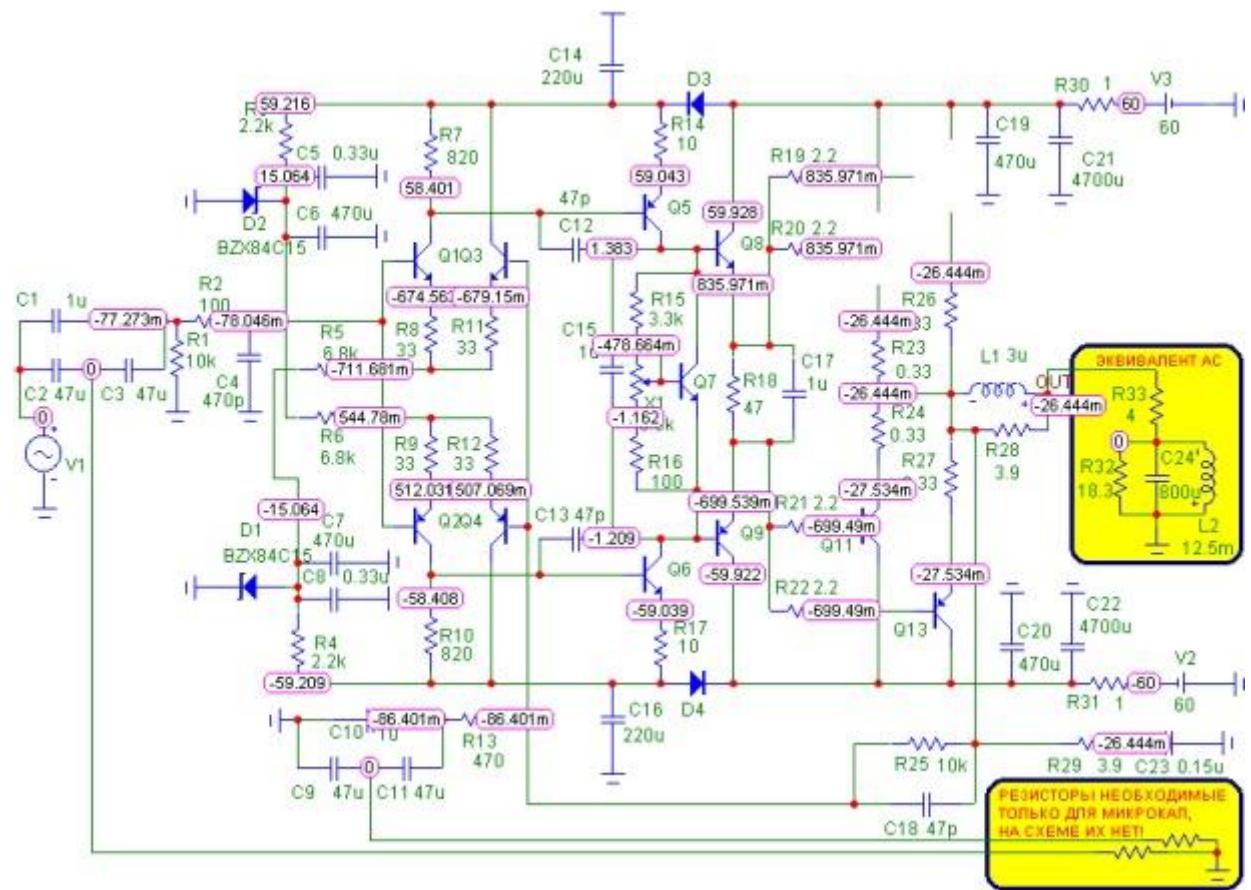


Рис. 34. Обратные оконечные транзисторы выгорели до обрыва

На рис. 35 приведена карта напряжений в ситуации, когда оконечники вышли из строя и имеют **максимально низкое сопротивление, т.е. закорочены**. Этот вариант неисправности загоняет усилитель в ОЧЕНЬ жесткие условия, и дальнейшее горение усилителя ограничивает только источник питания, поскольку потребляемый в этот момент ток может превысить 40 А. Оставшиеся в живых детали мгновенно набирают температуру. В том плече, где транзисторы еще исправны напряжение немного больше, чем в том, где собственно произошло замыкание на шину питания. Однако, именно эта ситуация относится к наиболее легкой диагностике – достаточно до включения усилителя проверить мультиметром сопротивление переходов между собой даже не выпаивая их из усилите-

ля. Предел измерения, установленного на мультиметре - ПРОВЕРКА ДИОДОВ или ЗВУКОВАЯ ПРОЗВОНКА. Как правило, выгоревшие транзисторы показывают сопротивление между переходами в диапазоне от 3 до 10 Ом.

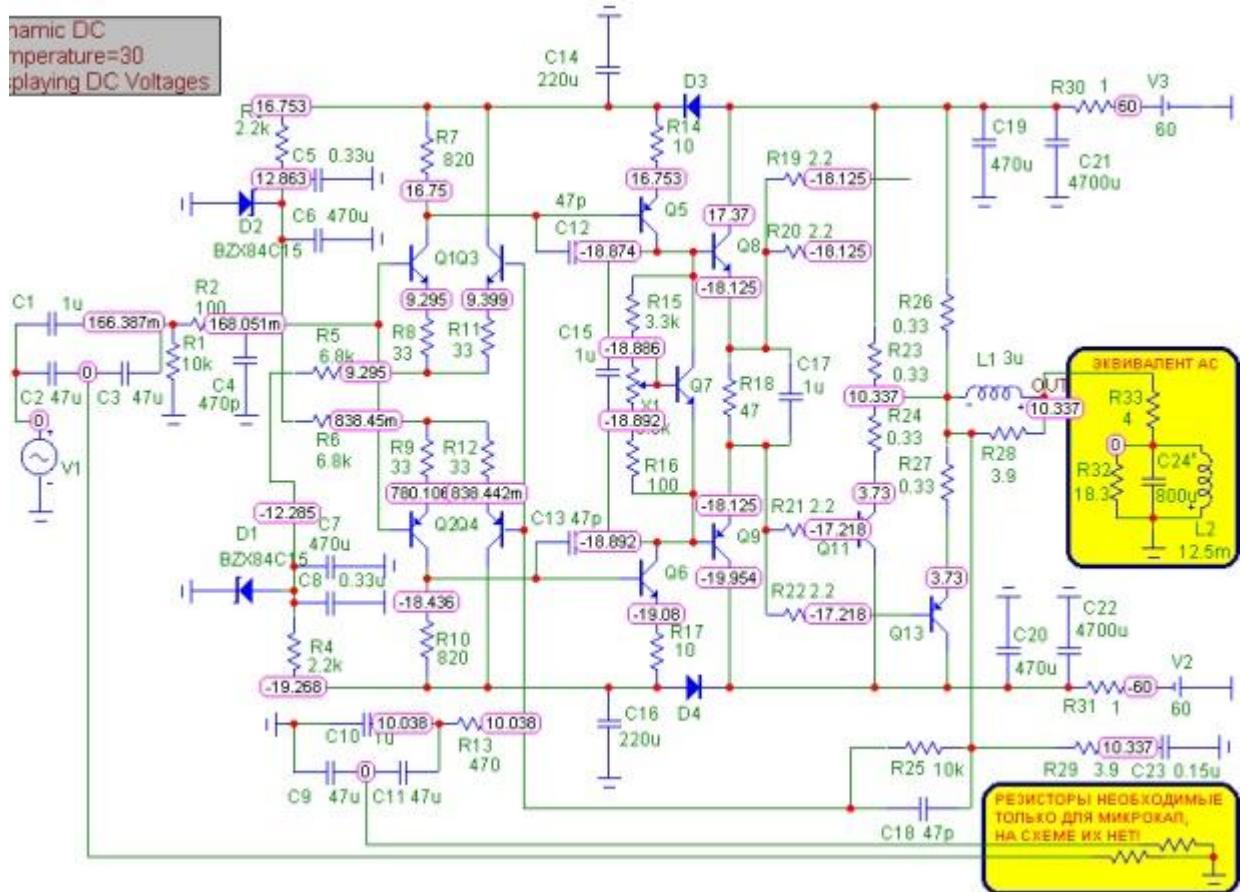


Рис. 35. Карта напряжений в случае перегорания оконечных транзисторов

Усилитель поведет себя точно так же в случае пробоя предпоследнего каскада – при отгорании выводов будет воспроизводиться только одна полуволна синусоиды, при коротком замыкании переходов – огромное потребление и нагрев.

При перегреве, когда считают, что радиатор на транзисторы КУН не нужен, они могут также выйти из строя, причем как уйти на обрыв, так и на короткое замыкание. В случае отгорания переходов VT5 и бесконечно большого сопротивления переходов возникает ситуация, когда поддерживать ноль на выходе усилителя нечем, а приоткрытые оконечные транзисторы 2SA1943 потянут напряжение на выходе усилителя к минусу напряжения питания. Если нагрузка подключена, то величина постоянного напряжения будет зависеть от установленного тока покоя – чем он выше, тем будет больше величина отрицательного напряжения на выходе усилителя. Если нагрузка не подключена, то на выходе будет напряжение очень близкое по величине к минусовой шине питания (рис. 36).

Если же транзистор в последнем каскаде усилителя напряжения VT5 вышел из строя и его переходы замкнулись, то при подключеной нагрузке на выходе будет довольно большое постоянное напряжение и протекающий через нагрузку постоянный ток порядка 2-4 А. Если же нагрузка отключена, то напряжение на выходе усилителя будет почти равно положительной шине питания (рис. 37).

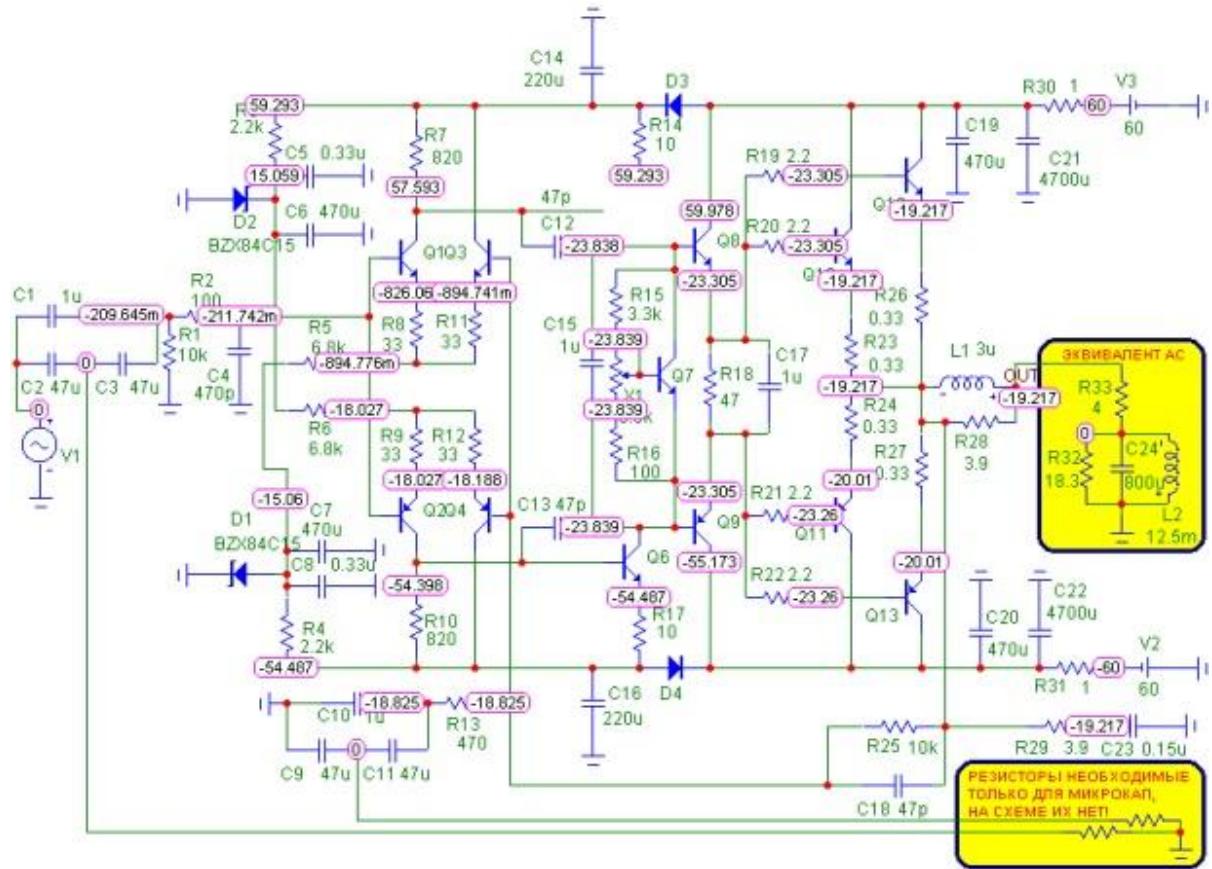


Рис. 36. Обрыв транзистора VT5

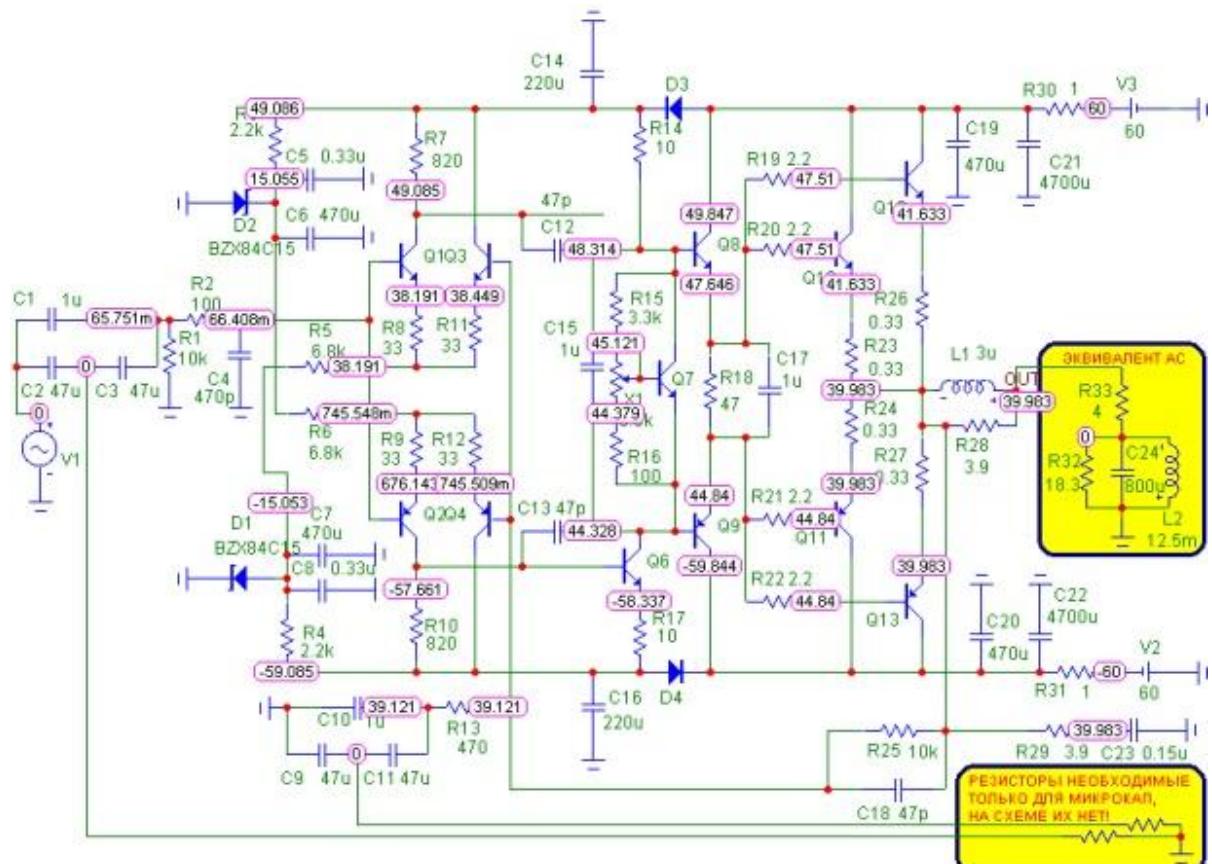


Рис. 37. Короткое замыкание транзистора VT5

О самовозбуждении

Самовозбуждение – это такое явление, при котором усилитель превращается в генератор и сам создает на своем выходе какие-либо колебания. С самовозбуждением необходимо бороться. Признаками самовозбуждения могут быть:

- повышенный нагрев выходных транзисторов даже без сигнала;
- писк, треск на выходе усилителя (который слышно в динамике, подключенному к усилителю);
- нагрев резистор R31 в цепи Цобеля;
- повышенный шум в динамике;
- повышенное потребление тока усилителем.

Признаки при самовозбуждении могут присутствовать или все сразу или какой-либо один из них. Чтобы побороть самовозбуждение необходимо увеличить емкость конденсаторов C12/C13 до 33÷47пФ (если они у Вас стоят меньше). Можно так же увеличить емкость конденсатора C18. В крайнем случае, если эти способы не помогут, можно увеличить емкость конденсатора C3 до 510-680 пФ.

Этих мер должно быть более чем достаточно чтобы победить любое самовозбуждение усилителя, а если после всех этих манипуляций генерация не пропала, то, скорее всего, Вы сами где-то накосячили: возможно не отмыта плата от флюса или канифоли, или у Вас «левые» детали.

Что еще понадобится?

Источник питания

Очевидно, что сам по себе УМЗЧ работать не будет и ничего усиливать не станет. Для этого ему необходим собственный источник питания. К слову сказать, источник питания зачастую по стоимости бывает значительно дороже, чем сам УМЗЧ, и может стать самым дорогостоящим узлом Вашего устройства.

**СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ, ЧТО ДЛЯ УМЗЧ ЛАНЗАР
НЕОБХОДИМО ДВУПОЛЯРНОЕ ПИТАНИЕ!**

Схема простейшего двуполярного БП приведена на рис. 38. В целом, для большинства случаев бытового использования усилителя, этой схемы вполне достаточно.

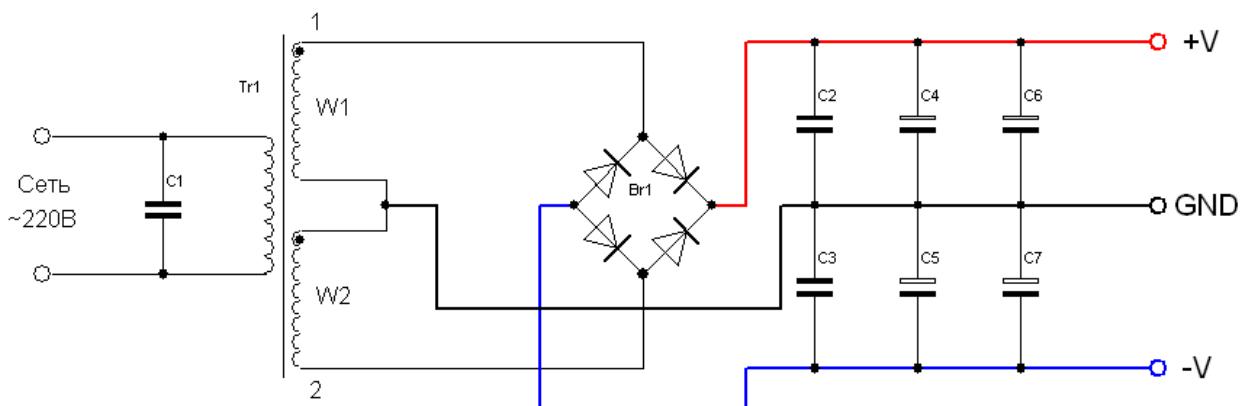


Рис. 38. Схема двуполярного источника питания

Рассмотрим схему подробнее. Как видно, схема состоит из трех основных элементов: трансформатор, выпрямительный мост и блок фильтрующих и слаживающих конденсаторов.

Трансформатор характеризуется несколькими основными параметрами:

- количество вторичных обмоток,
- напряжение на них,
- мощность.

Итак, в нашем случае **трансформатор должен иметь две вторичные обмотки**, или одну с отводом от средней точки (встречается редко). Если у Вас трансформатор с двумя вторичными обмотками, то их необходимо соединить, как показано на схеме, т.е. начало одной обмотки с концом другой (начало обмотки обозначается черной точкой). Перепутаете – ничего не будет работать. Когда соединили обе обмотки, проверяем напряжение в точках 1 и 2. Если там напряжение, равное сумме напряжений обеих обмоток, то Вы соединили все правильно. Точка соединения двух обмоток и будет "общим" (земля, корпус, GND, называйте, как хотите).

Далее необходимо определиться с напряжением на этих обмотках. Исходя из сопротивления нагрузки и желаемой выходной мощности, выбирается нужное напряжение питания (см. раздел «Описание усилителя»). Замечу, что если Вы ведь решили сделать ка-

чественное устройство, а не букет новогодних фейерверков, то настоятельно не рекомендуется эксплуатировать данный усилитель на мощностях более 200-220 Вт.

Для примера, допустим, мы хотим сделать усилитель мощностью 120 Вт для нагрузки 4 Ом. Из таблицы определяем, что нам необходимо питание ± 35 В. Вот здесь неопытные радиолюбители часто совершают ошибку и приобретают трансформатор с двумя обмотками по 35 В. **ЭТОГО НЕВЕРНО!** Когда вы покупаете трансформатор, на нем указывается **действующее значение напряжения**, и вольтметр Вам тоже показывает действующее значение. Однако, после того, как напряжение выпрямляется, им заряжаются конденсаторы. А заряжаются они уже **до амплитудного значения**, которое в 1,41 ($\sqrt{2}$) раза больше действующего значения. Стало быть, чтобы питающее напряжение было 35 В (в плечо) обмотки трансформатора должны быть на 25 В ($35/\sqrt{2} = 24,7$ В). Суть, думаю, ясна.

Теперь о мощности. Обычно расчет требуемой мощности трансформатора производят следующим образом: берется максимальная выходная мощность УМЗЧ, к ней прибавляется мощность, выделяемая на активных элементах усилителя, и получившееся число умножается на количество каналов усиления. Другим способом мощность трансформатора часто рассчитывают, исходя из КПД усилителя (примерно равен 50-55 %) по формуле:

$$P_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{вых}} \times N_{\text{кан}} \times 100}{\text{КПД}}$$

В результате обоих этих методов мы получим достаточно большую мощность трансформатора. Почему так получилось?

Во-первых, расчет упрощенный.

Во-вторых, в качестве выходной берется максимальная мощность. Это верно для синусоидального сигнала, но на реальном звуке максимум мощности достигается сравнительно редко.

В-третьих, из-за того, что мощность, потребляемая самим усилителем взята неправильная – она не постоянна, а зависит от амплитуды сигнала. Именно поэтому в таких расчетах абсолютно неприменимо понятие КПД усилителя.

Можно ли использовать в усилителе такой трансформатор? Можно! Ведь он рассчитан на самые жесткие условия, поэтому можно быть уверенным, что его перегрузки не произойдет.

А нужно ли делать такой блок питания? А вот тут ответ - нет! Потому, что на реальном звуковом сигнале блок питания будет работать с большой недогрузкой. А зачем тогда нам нужен такой большой, тяжелый и дорогой трансформатор, если он будет загружен максимум на 30%?

Более правильно мощность трансформатора можно рассчитать, используя программу «**PowerSup**». В расчете рекомендуется выбирать самый «тяжелый» пик-фактор (8 дБ), чтобы ваш БП не загнулся, если вдруг решите послушать музыку с таким ПФ.

Подробнее о программе «PowerSup» и методике расчета написано [на сайте автора](#) (AudioKiller).

Все это особенно актуально, если Вы решили купить новый трансформатор. Если же у Вас в закромах он уже имеется, и вдруг оказался большей мощности, чем расчетная, то можно смело его использовать, запас – вещь хорошая, но фанатизма не нужно. Если же вы решили самостоятельно изготовить трансформатор, то на этой [странице Сергея Комарова](#) есть нормальный метод расчета.

Выпрямительный мост можно изготовить как из 4-х диодов, так и воспользоваться готовым диодным мостом типа КВРС. При выборе параметров диодного моста необходи-

мо ориентироваться на напряжение питания усилителя. Минимальное обратное напряжение можно рассчитать по формуле:

$$U_{\min \text{ обр.}} = 2 \times 1,41 \times U_{\text{полуобмотки}} \times 1,2$$

Возвращаясь к примеру выше, при напряжении питания ± 35 В:

$$U_{\min \text{ обр.}} = 2 \times 1,41 \times 25 \times 1,2 = 85 \text{ В.}$$

Однако, учитывая, что это минимальное напряжение, лучше приобрести мост с большим запасом. Разница в цене будет при этом минимальная, а запас, как известно, карман не жмет. Поэтому берем мостик на 200 (а то и 400) В, ставим его и не паримся, что в один "прекрасный" день он сгорит.

Второй параметр диодного моста – прямой ток. Здесь картина аналогичная. Даже если усилитель не будет потреблять более 3-4 А, когда конденсаторы заряжаются, через мост проходит очень высокий ток, практически КЗ. В импульсе может быть до 100 А. И хотя у диодов импульсный ток грубо в 10 раз больше номинала, на грани работать не стоит. Ну и опять же, все зависит от Вашего напряжения питания и емкости сглаживающих конденсаторов. Как правило, диодного моста на 50 А хватает в большинстве случаев. Если же емкость конденсаторов не превышает 20000 мкФ в плечо, достаточно поставить и на 35А.

Конденсаторы. Как видно, в схеме БП используется 2 типа конденсаторов: полярные (электролитические) и неполярные (пленочные).

Неполярные (С2, С3) необходимы для подавления ВЧ помех. По емкости можно ставить то, что есть в наличии от 0,3 3мкФ до 4 мкФ. Вполне можно использовать отечественные К73-17 – довольно неплохие конденсаторы.

Полярные (С4-С7) необходимы для подавления пульсации напряжения, да и к тому же они отдают свою энергию при пиках нагрузки усилителя (когда трансформатор не может обеспечить требуемый ток). По емкости этих конденсаторов ведется непрекращающийся спор. Вот несколько рекомендаций:

- при мощности трансформатора 0,4...0,6 от мощности усилителя: в плечо 22000÷33000 мкФ;
- при мощности трансформатора 0,6...0,8 от мощности усилителя: в плечо 15000...22000 мкФ;
- при мощности трансформатора 0,8...1 от мощности усилителя: в плечо 10000...15000 мкФ.

Указанных номиналов вполне достаточно для качественного воспроизведения любых музыкальных фрагментов.

Напряжение конденсаторов выбирается в зависимости от питания. Если у вас трансформатор на 25 В, то выпрямленное напряжение будет 35 В ($25 \times \sqrt{2} = 35$), конденсаторы можно поставить на 50 В. С неполярными то же самое.

Ниже приведены примеры источников питания с использованием 4 диодов КД213А (рис. 39) и диодного моста типа КВРС 5010 (3510) (рис. 40).

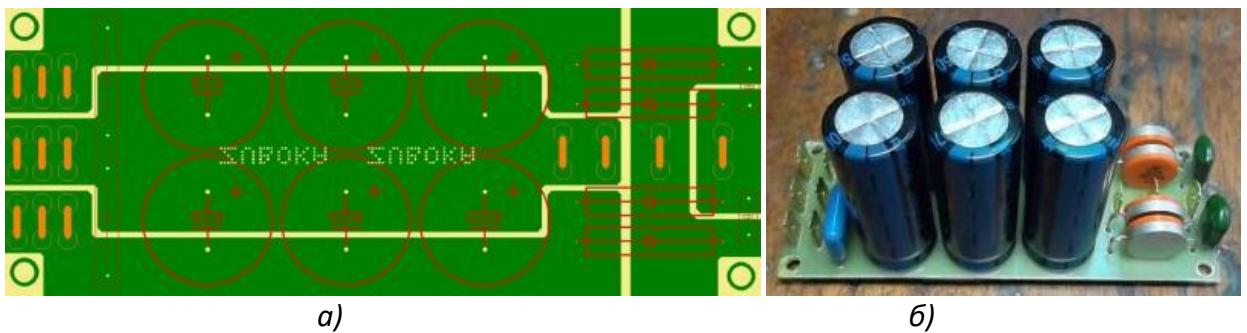


Рис. 39. БП с использованием диодного моста KBPC
а) эскиз печатной платы, б) внешний вид БП

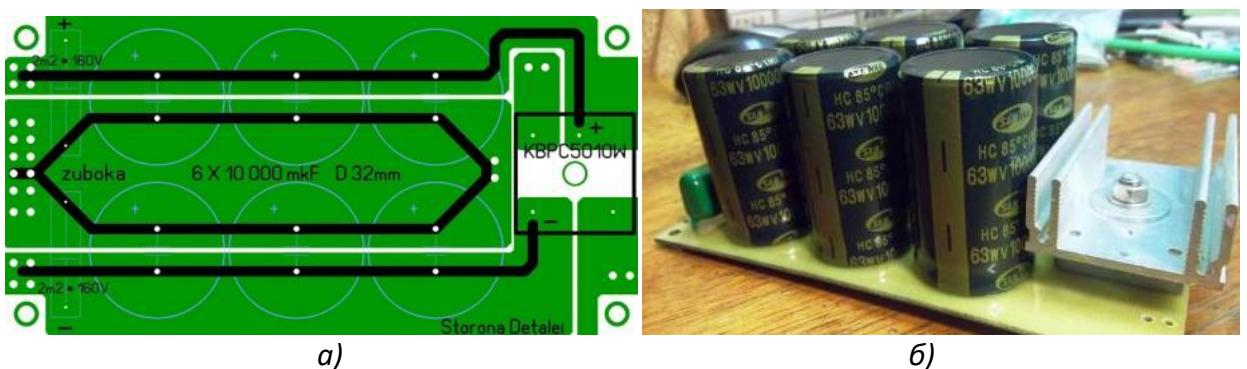


Рис. 40. БП с использованием диодного моста KBPC
а) эскиз печатной платы, б) внешний вид БП

❗ При больших мощностях трансформатора и емкостях в фильтре с целью защиты трансформатора и мостика от колосальных пусковых токов следует использовать т.н. схему «мягкого пуска» или «софтстарт».

Предварительный усилитель

В том случае, если Ваш источник сигнала имеет низкое выходное напряжение, или Вы хотите использовать в своем усилителе регулятор тембра, или просто Вам кажется, что Ваш усилитель играет слишком тихо, целесообразно использовать предварительный усилитель. Главная задача прибора – усиление сигнала до такого уровня, который более приемлем для усиления усилителями мощности – конечных усилителей.

В качестве предварительного усилителя можно использовать как готовое промышленное устройство, так и устройство самостоятельного изготовления. Готовые предусилители рассматривать не будем – пошел и купил 😊. Гораздо интереснее все сделать самому.

Схем предуслителей существует великое множество, начиная от самых простых до «супернавороченных» устройств, с темброблоком и без, с селектором входов и без него и т.д. Кстати, существует довольно много КИТ-наборов предварительных усилителей (на Али, например). Если не хочется возится с изготовлением платы, можно приобрести такой набор, а если и паять «влом», то можно купить готовую плату ПУ с уже впаянными элементами. В общем, что душа пожелает...

Я же предлагаю использовать простой качественный предусилитель, схему которого выложил на форуме сайта «Паяльник» пользователь под ником ***GruVital***. Схема приведена на рис. 41.

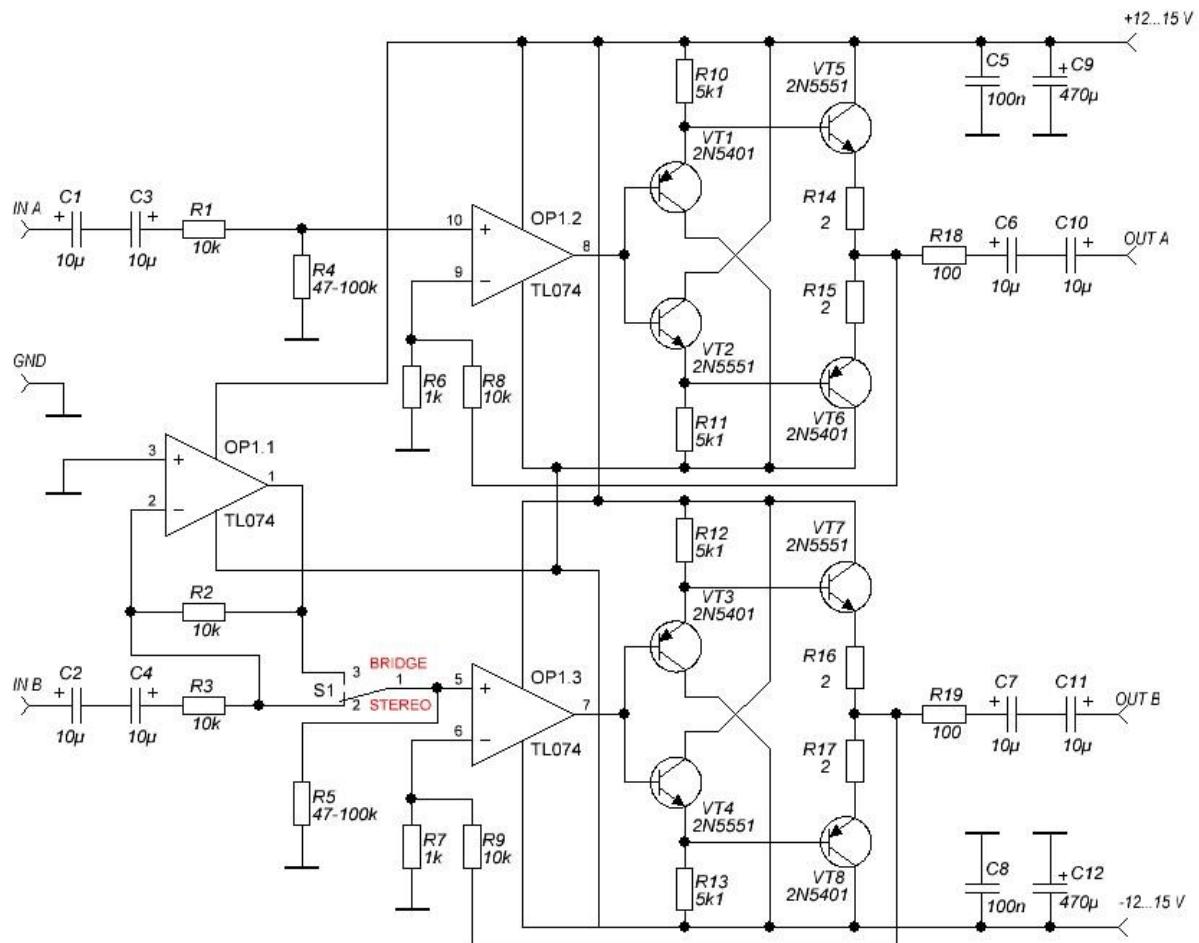


Рис. 41. Принципиальная схема предварительного усилителя

Он выполнен на счетверенном операционном усилителе TL074. Схема реализована в стерео-варианте, причем присутствует возможность включения в мост. Если необходимости в мостовом включении нет, схему можно слегка упростить, убрав один каскад, и использовать сдвоенный ОУ. Печатная плата изображена на рис. 42.

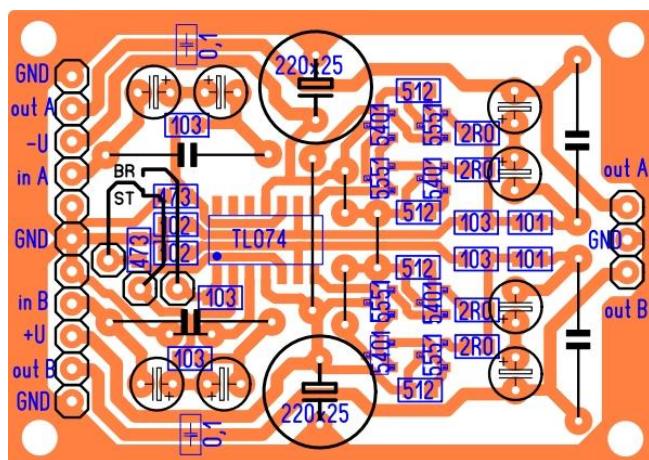


Рис.42. Рисунок печатной платы предусилителя

Защита АС

Практически все мощные усилители, выполненные на транзисторах или на микросхемах, несут в себе опасность вывода из строя нагрузки, которой являются акустические системы (АС). В случае пробоя транзисторов выходного каскада постоянное напряжение начинает поступать прямо на динамики колонок. Секунды достаточно, чтобы катушка динамической головки сгорела, а, как известно, стоимость хороших АС может значительно превышать цену самого усилителя 3Ч.

Поэтому настоятельно рекомендуется использовать в любом усилителе, особенно мощностью более 20 ватт, блок защиты громкоговорителей.

Схема защиты АС от постоянки существует также огромное количество. Я приведу несколько наиболее популярных.

Защита АС «Бриг». Защита акустических систем от постоянного напряжения на выходе усилителя под названием "Бриг" (скопированная из одноименного усилителя выпускавшегося советской промышленностью) уже долгие годы знакома многим радиолюбителям. За эти долгие годы данная схема зарекомендовала себя с лучшей стороны, спасая сотни и тысячи акустических систем. Схема (рис. 43) отличается надежностью и простотой.

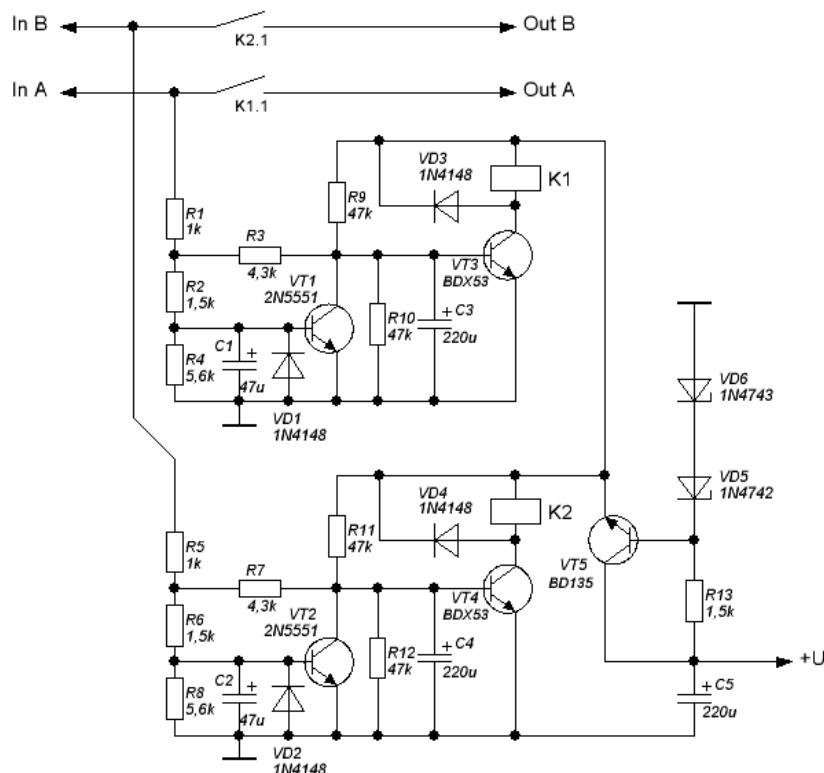


Рис. 43. Схема защиты АС от постоянного напряжения «Бриг»

Схема так же обеспечивает задержку подключения акустической системы (АС) на 1-2 секунды. Это необходимо для того, чтобы в момент включения усилителя из АС не раздавалось хлопка или других неприятных звуков, сопровождающих переходные процессы в усилителе. За время задержки подключения АС отвечает конденсатор С3 и С4. Чем больше их емкость, тем больше время задержки подключения акустики. С номиналами указанными на схеме, время задержки составляет около 2 секунд.

Технические характеристики схемы:

Напряжение питания: +27 ... +65В

Время задержки подключения АС: 2 с

Входная чувствительность по постоянному напряжению: ±1,5 В

Широкий предел питающих напряжений обеспечивается применением в цепи питания стабилизатора напряжения на VD5, VD6, R13 и транзисторе VT5. На транзистор VT5 необходимо установить небольшой теплоотвод. Если значительно увеличить площадь теплоотвода и заменить транзистор VT5 на BD139 можно поднять максимальное напряжение питания до +120 В.

В качестве драйвера реле используется составной транзистор, что позволило отказаться от дополнительного маломощного транзистора и немного сэкономить место на плате. В качестве драйверного транзистора реле (VT3 VT4) можно применять и другие составные транзисторы, например: BD875 или КТ972. Перед заменой транзисторов на аналогичные следует свериться с их цоколевкой, т.к. она не совпадает у всех перечисленных транзисторов. Транзисторы VT1 и VT2 можно заменить на BC546-BC548 или КТ3102. Так же не забываем про цоколевку, как и в прошлом случае.

VD3 и VD4 необходимы для того чтобы избежать помех при коммутации контактов реле. VD1 и VD2 необходимы для защиты VT1 и VT2 соответственно, от пробоя БЭ перехода при наличии на входе схемы отрицательного напряжения менее -15В.

Реле необходимо применять с управляющей обмоткой 24В, 15mA и на ток не менее выходного тока усилителя.

Изображение печатной платы приведено на рис. 44.

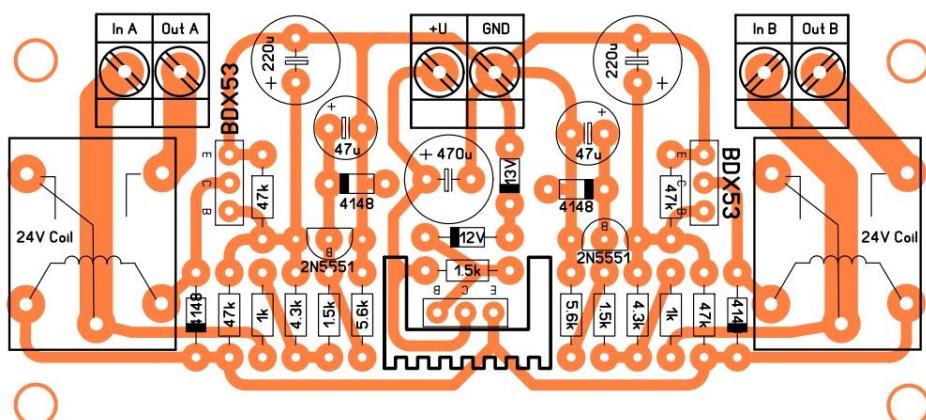


Рис. 44. Изображение печатной платы защиты АС «Бриг»

Защита акустических систем DEF 2017 (Nem0). Данное устройство выполняет те же функции, что и защита «Бриг» - предотвращает повреждение акустической системы в случае появления постоянного напряжения на выходе усилителя мощности и обеспечивает задержку подключения акустической системы к усилителю для устранения слышимых переходных процессов.

Принцип работы данного устройства не нов и предельно прост: при отсутствии опасного постоянного напряжения на выходе усилителя (входе защиты), акустическая система с помощью контактов реле, через определенный короткий промежуток времени, подключается к выходу усилителя, в случае появления опасного постоянного напряжения на выходе усилителя реле размыкает свои контакты и акустическая система отключается от выхода усилителя.

Схема устройства приведена на рис. 45.

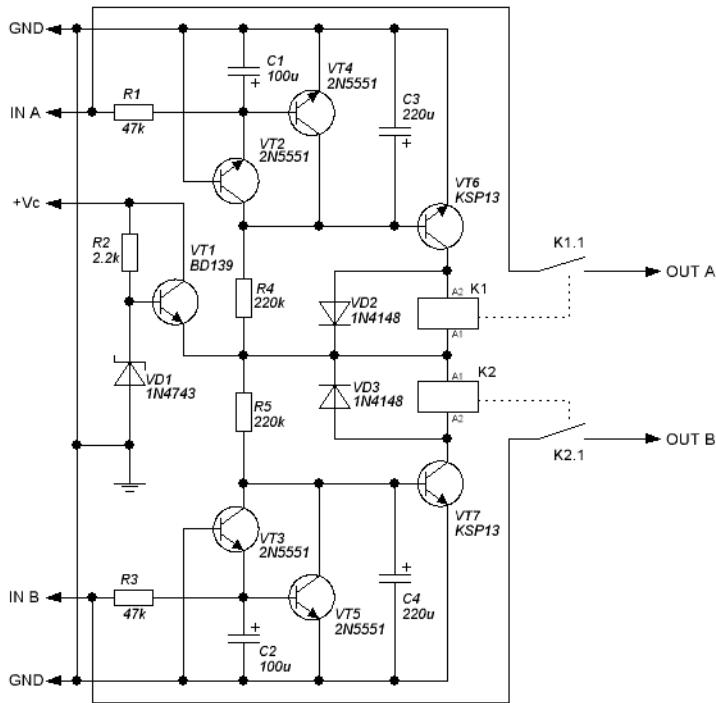


Рис. 45. Схема защиты DEF 2017 от Nem0

Технические характеристики данной схемы:

- независимая защита для каждого из двух каналов усилителя. При аварии в одном из каналов усилителя отключится только неисправный канал;
- встроенный стабилизатор напряжения позволяет питать устройство защиты непосредственно от плюсовой шины питания усилителя мощности;
- допустимый диапазон напряжений питания ($+Vc$) от 15 до 50 В (при использовании реле с катушкой на 12 В) или от 30 до 90 В (при использовании реле с катушкой на 24 В);
- время срабатывания защиты (отключения акустической системы) при появлении постоянного напряжения на выходе усилителя (на входе защиты):
 - 0,7 сек (при постоянном напряжении на входе защиты 5 В);
 - 0,25 сек (при постоянном напряжении на входе защиты 15 В);
 - 0,15 сек (при постоянном напряжении на входе защиты 25 В);
 - 0,07 сек (при постоянном напряжении на входе защиты 50 В).
- минимальное постоянное напряжение на выходе усилителя (входе защиты) необходимое для отключения акустической системы +1 В / -3,5 В
- время задержки подключения акустической системы к выходу усилителя с момента подачи напряжения питания – 3 сек;
- автоматическое подключение акустической системы к выходу УМЗЧ после исчезновения на его выходе опасного постоянного напряжения;
- время подключения акустической системы после исчезновения опасного постоянного напряжения на выходе УМЗЧ – 3 сек;
- моментальное отключение акустической системы от выхода усилителя мощности в случае обесточивания или неисправности устройства защиты.

Рассмотрим принцип действия схемы на примере одного из каналов устройства защиты (верхнего по схеме). При нулевом постоянном напряжении на входе схемы, оба входных транзистора VT2 и VT4 полностью закрыты. При подаче питания, начинает заряжаться конденсатор C3 через резистор R4, при достижении на обкладках конденсатора напряжения примерно в 1,2-1,5 В (спустя примерно 3 сек после подачи питания), открывается транзистор VT4, что приводит к открытию транзистора VT6 и срабатыванию реле K1.1.

вается транзистор VT6 и на катушке реле K1 появляется напряжение равное напряжению на выходе стабилизатора напряжения (VT1), контакты реле K1.1 замыкаются и выход усилителя соединяется с акустической системой. В случае аварийной ситуации, когда на входе схемы появляется постоянное напряжение величиной больше минимального напряжения срабатывания устройства защиты, открывается один из транзисторов (VT2 или VT4) в зависимости от знака постоянного напряжения на входе - плюс или минус. Открывшийся транзистор шунтирует собой конденсатор C3 и база-эмиттерный переход транзистора VT6, что приводит к его закрытию, исчезновению напряжения на катушке реле и размыканию контактов K1.1. Акустическая система отключается от выхода усилителя мощности. Как только постоянное напряжение на входе устройства защиты опускается ниже минимального значения напряжения срабатывания защиты, транзисторы VT2 и VT4 закрываются, заряжается C3, транзистор VT6 открывается, на катушке реле появляется управляющее напряжение, и акустическая система снова подключается к выходу усилителя мощности. Транзистор VT1 вместе с R2 и VD1, образуют простейший стабилизатор напряжения который дает возможность запитывать устройство защиты от плюсовой шины блока питания усилителя мощности или любого другого источника питания с напряжением от 15 до 90 В.

В зависимости от величины имеющегося напряжения источника питания, которое будет использовано для питания защиты, целесообразно выбирать реле с катушкой либо на 12, либо на 24 В. Это необходимо для снижения рассеиваемой мощности на транзисторе стабилизатора напряжения (VT1), который обязательно должен быть установлен на небольшом теплоотводе. Так при напряжении питания от 15 до 30 В, необходимо использовать реле с катушкой рассчитанной на 12 В, а при напряжении питания от 50 В и выше – реле с катушкой рассчитанной на 24 В. При использовании источника питания с напряжением от 30 до 50 В, допускается использовать реле с катушкой как на 12 В, так и на 24 В. При использовании реле с катушкой, рассчитанной на 24 В, в обязательном порядке необходимо заменить стабилитрон VD1 (1N4743, 13В), на стабилитрон с напряжением стабилизации 24 В, например на 1N4749.

Печатная плата изображена на рис. 46.

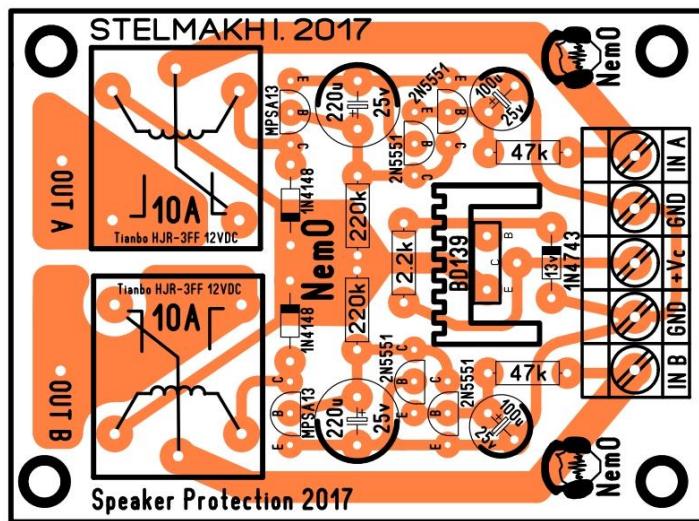


Рис. 46. Изображение печатной платы защиты DEF 2017 от Nem0

Система защиты В. Могильного (waso). Эта [система защиты](#) представляет собой высококачественное устройство и включает в себя все, что может быть использовано для защиты как АС, так и самого УМЗЧ. Часто используется при построении профессиональных усилителей мощность до 1 кВт. Она поддерживает следующие функции:

- задержать подключение АС на время окончания всех переходных процессов;
- отключить акустику в случае возникновения аварийной ситуации;
- управление оборотами вентилятора охлаждения;
- контроль температуры радиаторов с отключением УМЗЧ при достижении заданной величины;
- контроля сопротивления АС;
- индикацию наличия полезного сигнала на АС;
- дополнительная симисторная защита при выходе из строя релейной защиты.

Схема данной системы защиты приведена на рис. 47.

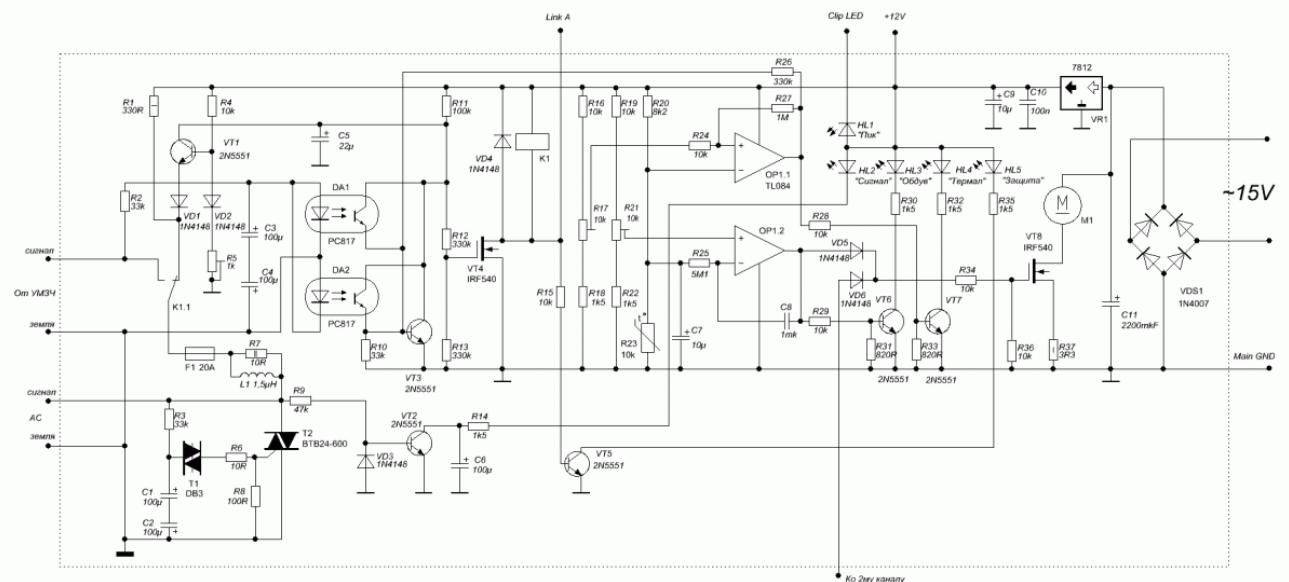


Рис. 47. Схема системы защиты для УМЗЧ В. Могильного

Система защиты работает следующим образом. При подаче питания времязадающий конденсатор C5 разряжен, реле обесточено. Через R1, нормально замкнутый контакт реле и нагрузку протекает ток около 40 мА, создающий напряжение падения на АС. Напряжение на базе VT1 устанавливается таким, чтобы при падении на нагрузке менее 100 мВ (что соответствует 3 Ом), транзистор был бы открыт, а при большем напряжении – закрыт. Если транзистор закрыт, то идёт зарядка времязадающего конденсатора, что через несколько секунд сопровождается повышением напряжения на затворе VT4, его открыванием и срабатыванием реле.

В случае появления постоянного напряжения любой полярности на выходе УМЗЧ зажигается один из светодиодов оптронов DA1, DA2, что влечёт за собой открытие VT2, резкий разряд времязадающего конденсатора C5 и отключение реле. При исчезновении постоянного напряжения процесс повторяется сначала. Транзистор VT3 использован для повышения чувствительности оптронов в качестве усилителя их фототока, поскольку оптопары типа TLP627 стоят заметно дороже и более дефицитны, чем PC817.

В случае, если контакты реле оказались заварены, а постоянная составляющая на выходе УМЗЧ превышает 30В, происходит заряд C1, C2 до момента открывания симмет-

ричного динистора T1. Его пробой сопровождается открытием симистора T2 и пережиганием предохранителя F1, после чего нагрузка обесточивается.

Транзистор VT2 реагирует на наличие положительной полуволны сигнала на АС, отрицательная же закорачивается на землю через диод VD3. При наличии сигнала конденсатор C6 разряжен и светодиод HL2 горит.

Светодиод HL5 зажигается в случае обесточивания обмотки реле, это происходит при включении защиты и при наличии какой-либо неисправности в УМЗЧ.

Узел управления обдувом и термальной защиты построен на счетверенном ОУ TL084, для каждого канала используется по 2 ОУ. При нагреве установленного на радиаторе соответствующего канала УМЗЧ терморезистора R23, его сопротивление падает. Соответственно, на выходе OP1.2 напряжение начинает расти. При достижении на затворе VT8 порога открывания этот транзистор начинает проводить ток и включается обдув. Местная обратная связь в виде R37 снижает крутизну полевого транзистора и растягивает активный диапазон напряжений управления полевиком. Фактически последний работает как управляемый источник тока для вентилятора. Порог включения обдува настраивается резистором R21, время реакции можно подобрать номиналом С8.

Если хочется более высокой скорости реакции, конденсатор надо уменьшить по номиналу и наоборот. Если удалить С8, обдув будет работать в старт-стопном режиме.

Термальная защита построена как обычный компаратор с гистерезисом, порог срабатывания выставляется на 70°C подстроечником R17. Её включение индицирует светодиод HL4. При появлении высокого уровня на выходе OP1.1 через резистор R26 открывается транзистор VT3 и система защиты реагирует аналогично появлению постоянной составляющей на выходе УМЗЧ. После некоторого остывания радиаторов нагрузка подключается вновь.

Поскольку сервисная обмотка находится на том же трансформаторе, что и силовые, при работе УМЗЧ неизбежно возникают просадки. Чтобы они не влияли на работу ОУ и реле, используется микросхемный стабилизатор на LM7812. Вентилятор же запитан до стабилизатора, поскольку он потребляет ток до 0,3 А, что привело бы к бессмысленному нагреву не только полевика VT8, но и стабилизатора. Поэтому было решено запитывать обдув нестабилизированным напряжением, что не влияет на его работу.

В случае работы системы защиты с уже описанным двухэтажным усилителем, сток VT4 и обмотка реле соединяются с лимитером УМЗЧ, а точнее – с R27 на его плате. Также на плате защиты предусмотрен светодиод клипового индикатора HL1, который соединяется с платой УМЗЧ только одним проводом к R7 (по схеме УМЗЧ). При этом клиповый индикатор перестаёт потреблять ток от питаний ОУ УМЗЧ. Можно пойти дальше и соединить анод светодиода оптранса AOP124 с шиной +12 В защиты, отрезав дорожку от +15 В, это исключит просадки питания ОУ при срабатывании клип-индикатора и лимитера.

Налаживание системы защиты сводится к следующему. Терморезистор временно не подключается, конденсатор С8 не запаивается. Движок R5 выставляем примерно в среднее положение. Вместо АС подключаем резистор 0,5 Вт и сопротивлением 3 Ом.

При подаче питания контролируем напряжение на базе VT1. Для начала выставляем 1,1В. Реле при этом подключаться не должно. Плавно уменьшая сопротивление R5, при напряжении на базе VT1 около 0,92÷1 В должен раздаться щелчок реле и погаснуть светодиод HL5. После этого подключаем акустику и проверяем, подключит ли её схема. Если активное сопротивление АС равно или больше 3 Ом, то должно подключиться. Также делаем проверку при КЗ в нагрузке – реле сработать не должно. Не будет лишним напомнить, что проверка сопротивления АС осуществляется при подаче питания на систему защиты. Небольшой щелчок в динамиках вполне нормален и не влечёт выхода их из строя, т.к. пропускаемый ток слишком мал.

Далее подпаиваем терморезистор R23, дождавшись его остывания после пайки. Движки R17, R21 должны находиться в нижнем положении по схеме, примерно в 1\3 от нижнего уровня, напряжения на них около 2,7 В. Светодиоды «Обдув» и «Термал» гореть не должны.

Нагревая терморезистор до предполагаемой температуры включения обдува, около 45 °C, подкручиваем R21 до зажигания светодиода «Обдув» и включения вентилятора. После чего запаиваем C8 на место.

Примерно так же, при температуре терморезистора около 70 °C добиваемся срабатывания термала, порог выставляется резистором R17. При этом, помимо зажигания светодиода «Термал», должны произойти отключение реле и зажечься светодиод «Защита».

Остальное в настройке не нуждается, достаточно только проверить корректность работы симисторной защиты, подключив вместо предохранителя 20A лампу накаливания ватт на 100 и имитируя выход из строя плача, проверить, будет ли она загораться. Чтобы релейная защита не мешала настройке, следует временно закоротить оловянной перемычкой один из светодиодов оптопар.

Детали и конструкция. Два канала предлагаемой схемы смонтированы на однослоевой плате из стеклотекстолита размерами 200x77 мм (рис. 48). Транзистор VT8 и стабилизатор VR1 размещены на небольшом теплоотводе, при этом стабилизатор использован в пластиковом корпусе. Если оба прибора в металлическом корпусе, то один из них следует размещать через изолирующую прокладку.

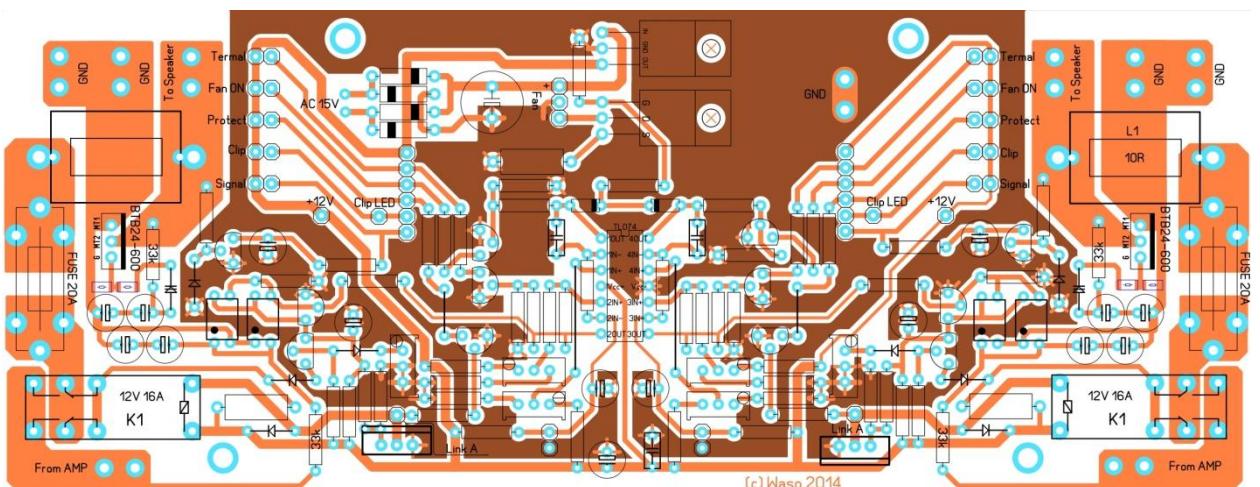


Рис. 48. Изображение печатной платы для системы защиты для УМЗЧ В. Могильного

Все резисторы, кроме R1, R6, R7, R8 и R37 – выводные, 0,25Вт. R6, R8 – СМД 1206, а R1, R7, R37 – 1-2Вт.

Биполярные транзисторы можно использовать 2N5551, BC546-BC548, KT3102 и аналогичные по напряжениям и мощности рассеяния, считая наибольшим ток через них 10mA и напряжение – 12В. В качестве полевых транзисторов VT4 можно использовать практически любые с N-каналом, обладающие сопротивлением открытого канала не более 1 Ом и макс. током не менее 0,5А. Для транзистора VT8 подойдут IRF540\IRF640\IRF3710\IRF44 и подобные в корпусе TO220. В качестве ОУ можно использовать TL074\TL084\OPA4134\OPA1644, LM324 и другие счетверенные.

Оксидные конденсаторы C1, C2 должны быть на напряжение не менее 35 В, C3, C4-6...10В, остальные на 25 В.

В качестве оптопар применимы практически любые фототранзисторные оптроны, например, TLP621, PC817, TLP521 и аналогичные.

Динистор DB3 – двусторонний, т.е. напряжение его открывания не зависит от приложенной полярности.

Упрощенная защита Nataly. При невозможности (или не желании) изготавливать сложную систему защиты могу порекомендовать к сборке упрощенную защиту Nataly. Схема приведена на рис. 49.

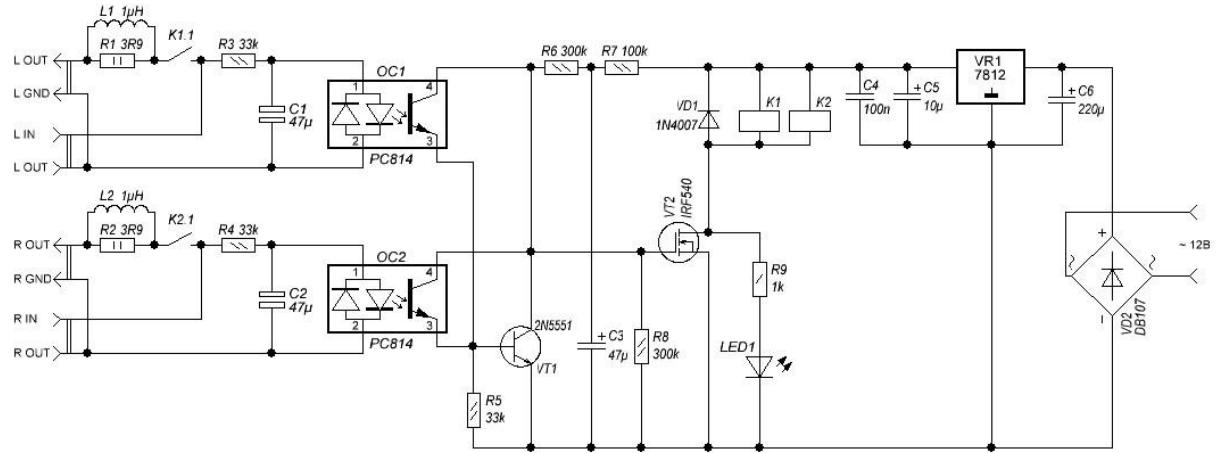


Рис. 49. Схема упрощенной защиты Nataly

Устройство выполняет две основные функции: задержка подключения АС при включении УМЗЧ в сеть и отключение АС от усилителя при возникновении на его выходе постоянного напряжения любой полярности. Применение оптронов схеме позволяет получить гальваническую развязку сигнальной и силовой частей схемы.

Печатная плата (рис. 50) разведена для крепления ее непосредственно на выходные разъемы параллельно задней стенке усилителя.

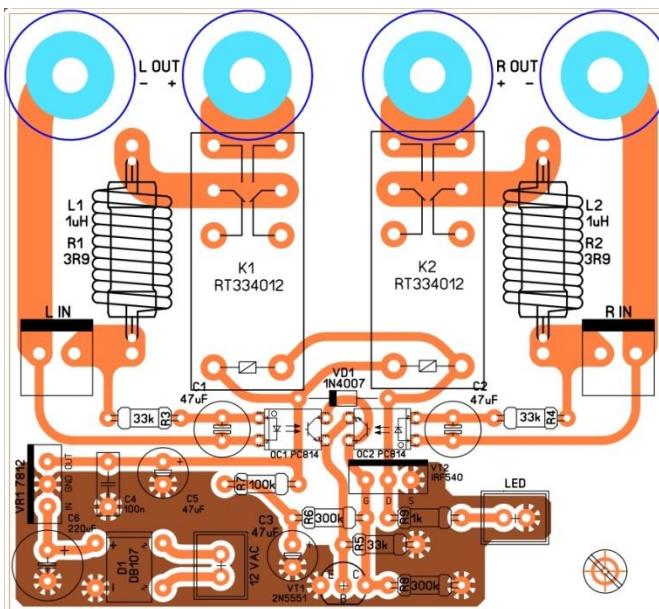


Рис. 50. Рисунок печатной платы упрощенной защиты Nataly

Подключение блоков внутри усилителя

Взаимное соединение всех узлов усилителя в одно целое на самом деле не такое и простое дело. Если сделать его неправильно, то можно получить плохой звук даже от усилителя, собранного из отличных узлов. Все дело в помехах, возникающих при взаимодействии узлов усилителя, наводок от проводов, падения напряжений в проводах, соединения с корпусом (или его отсутствием) и других подобных вещах. Самое грустное, что одногоД-единственного верного решения, подходящего абсолютно во всех случаях жизни, просто не существует. Есть рекомендации общего плана, которыми следует руководствоваться, чтобы каждый раз обдуманно принимать те или иные решения.

Дуглас Селф в книге «Схемотехника современных усилителей» приводит восемь причин возникновения искажений в усилителе (имеется в виду грамотно спроектированный усилитель, в плохом усилителе таких причин не восемь, а сто восемьдесят восемь). Две из них характерны не только для схем именно усилителей мощности, но и для усилителей в целом (конечно с соответствующими поправками). Добавив к ним еще те, о которых Селф не писал (т.к. не по теме его книги), получим такой список возможных «неправильностей»:

- неправильное подключение источника питания;
- неправильное подключение колонок;
- неправильное подключение источника сигнала и/или регулятора громкости;
- соединение корпуса усилителя с общей шиной;
- земляные петли.

По-хорошему, плата усилителя должна содержать все необходимые точки для подключения входного сигнала, питания и нагрузки, причем и «фазы», и «земли». Для начала будем считать, что так оно и есть. Схема подключения без предусилителя показана на рис. 51, а с предусилителем – на рис. 52.

! Если усилитель в целом инвертирует сигнал, то рекомендуется подключение колонок заменить на противоположное, т.е. «+» колонки подключать к земле, а «-» колонки – к фазе выхода.

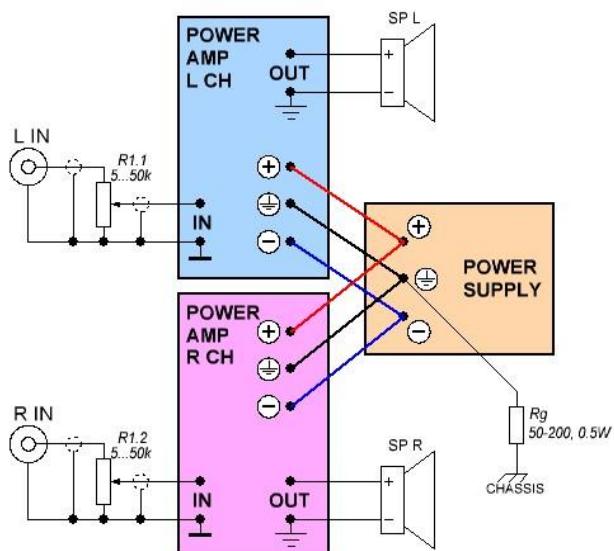


Рис. 51. Схема подключения усилителя мощности без предусилителя

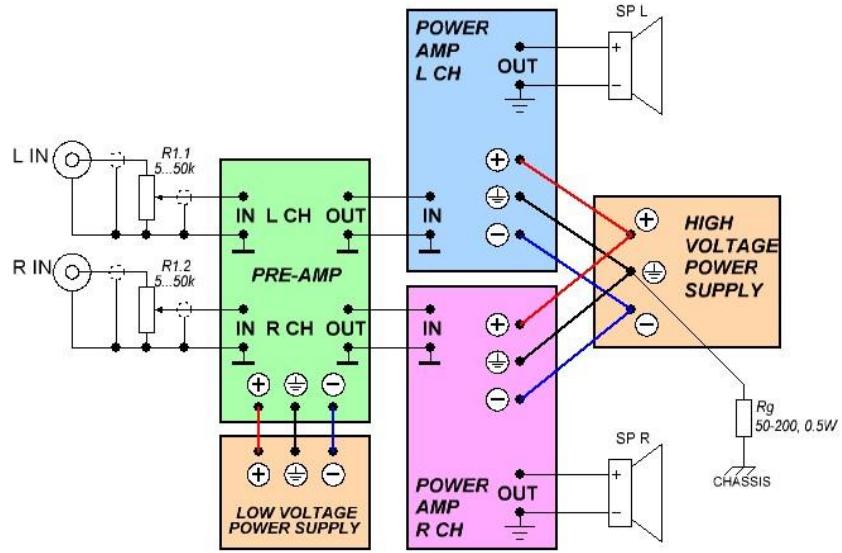


Рис. 52. Схема подключения усилителя мощности с предусилителем

На схеме с предусилителем (рис. 52) не показан регулятор громкости, поскольку подразумевается, что регулятор громкости находится в предусилителе внутри. Если это не так, то регулятор громкости подключается либо перед предусилителем, либо после него – как именно заранее не скажешь, это зависит от конкретных схем. Но идея подключения регулятора громкости аналогична, как на рис. 51.

Рассмотрим некоторые ошибки подключения источника сигнала и нагрузки (рис. 53).

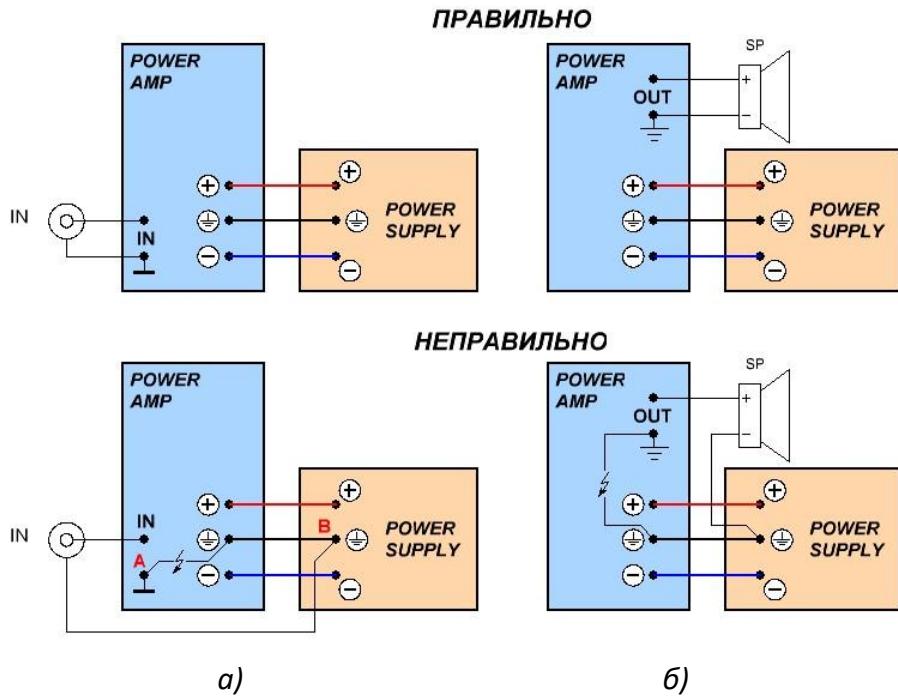


Рис. 53. Варианты подключения источника сигнала и нагрузки

Рассмотрим вариант *a*) на рис. 53. Входной каскад усилителя имеет две точки для подачи сигнала, и, на самом деле всегда усиливается именно то напряжение, которое приложено между этими точками. В правильном случае к этим входным точкам приложено напряжение источника сигнала, поэтому усиливается именно оно. В неправильном случае земля источника сигнала подключена к какой-то совсем другой земляной точке

системы в расчете на то, что «земля – она и есть земля», «все, что подключено к земле, на самом деле соединено вместе» и «по земле сигнал дойдет куда надо». Действительно, сигнал дойдет. Но сопротивление земляного провода равно нулю только на бумаге. А в жизни оно может быть очень малым, но никогда не бывает нулевым! А значит, любой ток, протекающий по земляному проводу между точками **A** и **B**, создает напряжение, которое складывается со входным сигналом и поступает на вход усилителя. А что за ток там протекает? Ток самого усилителя. Т.е. мы суммируем усиливаемый сигнал с продуктами жизнедеятельности усилителя. И что в результате получаем? И не надо говорить, что токи там текут небольшие, а провода хорошие. Даже небольшая помеха может быть очень неудачной! Случай бывают всякие: иногда искажения от такого включения действительно мало заметны, а бывает, что усилитель вообще начинает возбуждаться.

В варианте *б*), в принципе, ситуация та же – напряжение на колонке – это сумма выходного напряжения усилителя (т.е. усиленного полезного сигнала) и помех в земляном проводе. Тут ситуация обычно несколько легче – выходное напряжение усилителя намного больше входного сигнала, и помехи заметны меньше. Хотя и не всегда! Токи-то протекают большие, и напряжения помех могут получиться тоже немаленькими. Иногда (особенно для не очень качественных усилителей) их вообще не замечают. Бывают случаи, когда меняют плату такого вот не очень качественного усилителя на заметно лучший, а разницы нет. И потом пишут в форумах, что разницы, мол, никакой, новый усилитель ничуть не лучше. А на самом деле усилитель и не причем, ведь слышат не чисто его звук, а его звук плюс помехи, которые никуда не делись. Зато в большой степени здесь могут влиять наводки от проводов. В правильном случае провода колонки идут вместе сами по себе, а провода питания усилителя – тоже вместе и тоже сами по себе. Поэтому магнитные поля (а значит и помехи), создаваемые этими проводами, компенсируются. В неправильном случае ток в колонку с платы по проводу поступает, но обратно на плату не возвращается. Также как и ток питания, идущий через выходной транзистор в колонку – прошел по проводу от плюса или минуса питания, а обратно общему по земляному проводу не вернулся. А магнитные поля, наводимые этими токами, могут заметно влиять на элементы схемы, наводя в ней совсем ненужные помехи. Кстати, при правильном подключении обратный ток колонки, вернувшись в землю платы по колоночному проводу, потечет в правильную, предназначенную для него точку на печатной плате и оттуда в земляной провод питания. Если плата разведена грамотно, то помехи будут минимальны.

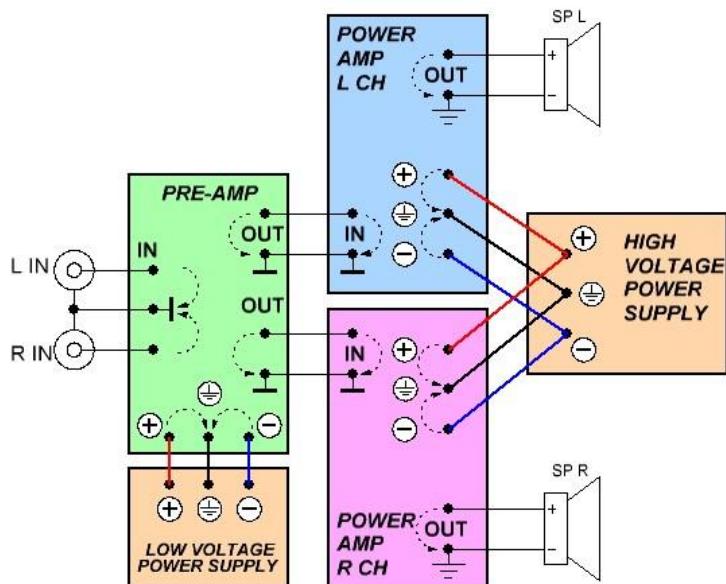


Рис. 54. Схема протекания токов в усилителе

На рис. 54 показано, как при правильном подключении блоков замыкаются все токи системы, «не перепутываясь» между собой (направления токов – условные, а не электротехнические). А раз «не перепутываются» – значит и не влияют друг на друга.

При этом по каждой паре проводов (для двухполярных блоков питания – по каждой тройке) течет одинаковый ток в обоих направлениях. Поэтому, если оба (три) провода находятся очень близко друг к другу, то магнитные поля, создаваемые током в каждом из проводов, взаимно компенсируются и практически не создают помех. Чтобы такая компенсация происходила, хорошо бы каждую пару (тройку для блока питания) проводов скрутить между собой. Для трех проводов хорошо подходит плетение «косичкой». Дуглас Селф говорит, что наибольшая компенсация помех от проводов питания происходит, если провода плюса и минуса скрутить вместе, а провод земли проложить прямым, но идущем прямо по этой скрутке – это для усилителей, у которых выходной каскад работает в классе В. Я доверяю мистеру Селфу, но сам я так делать не пробовал: мне кажется, что «косичкой» сплести намного проще – ведь по методу Селфа надо, чтобы земляной провод нигде не отходил от скрутки. В любом случае скрутки не должны быть тугими (но не должно быть промежутков между проводами!) – примерно виток на сантиметр-два. Более тугая скрутка помехи не уменьшит, а длина провода, а значит и его сопротивление, возрастет. Вполне удовлетворительные результаты дает использование двойного провода для подключения к плате акустических разъемов и тройного электрического кабеля (типа сетевого шнура компьютера) для подключения питания.

Если посмотреть на рис. 52 и дорисовать соединения земляных проводов на самих печатных платах, то можно заметить, что земляные провода всего усилителя могут образовывать замкнутый контур, как показано жирной линией на рис. 55.

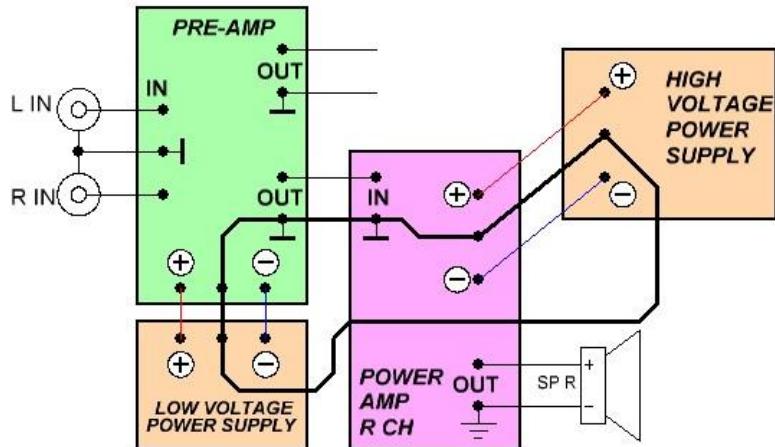


Рис. 55. Образование «земляной петли»

Этот контур называется **«земляная петля»**, и она может доставить ряд неприятностей. Неприятное в ней то, что по такой петле могут циркулировать токи, причем весьма большие – ведь мы стремимся уменьшить сопротивления земляных проводов, не так ли? А эти токи, во-первых, создают (падения) напряжения на земляных проводах, которые складываются усиливаемым сигналом. Причем сами напряжения могут быть вызваны током совсем другого узла. В результате в сигнале появляются помехи и искажения, а в самом плохом случае – возникает самовозбуждение. Во-вторых, вот такая петля, как она нарисована на рис. 55, является великолепной рамочной антенной. И текущие по ней токи создают помехи во всех блоках, которые эта петля охватывает. Как же быть? Что делать, если соединения должны быть, и сопротивление земляного провода должно быть малό?

На самом деле все не так плохо. В правильно собранном усилителе по земляным петлям «ненужные» токи не текут. Взглянем на рис. 54: в каждом отдельном блоке токи замыкаются и «не попадают наружу». В результате большого тока, «гуляющего» по цепи не возникает. Конечно, он может быть наведен извне – наводками от трансформатора, выпрямителя (от трансформатора к выпрямителю и от выпрямителя к конденсаторам фильтра ток течет короткими мощными импульсами, которые имеют широкий спектр и загрязняют помехами все на свете), или, например, от проводов, идущих к колонкам по отдельности – прямой провод с одного бока усилителя, а обратный – с другого бока. Поскольку петля – это антенна, то она и излучает помехи, и ловит их. Хуже всего, что эти два действия она делает одновременно: ловит помеху в одном месте и переизлучает ее в другое место.

Существует ряд способов борьбы с такими наводками:

1. Все провода должны быть двойными, а лучше – скрученными. Они практически не создают вокруг себя магнитных полей, а значит, не наведут помех в земляной петле. Кстати, и сама петля при этом не очень-то и образуется. Только скручивайте в меру, иначе получите намного большее сопротивление провода.

2. В некоторых усилителях мощности в схеме предусмотрен резистор небольшого номинала (порядка 1 Ом), отделяющий сигнальную землю от силовой. Такой резистор эффективно разрывает земляную петлю (см. рис. 56). И, так как его сопротивление намного выше сопротивления проводов, он эффективно ослабляет токи помех, циркулирующие в петле (на «нужные» токи он не влияет – на рис. 54 ни один ток не пытается протекать с левой стороны усилителя на правую, которые этот земляной резистор разделяет между собой).

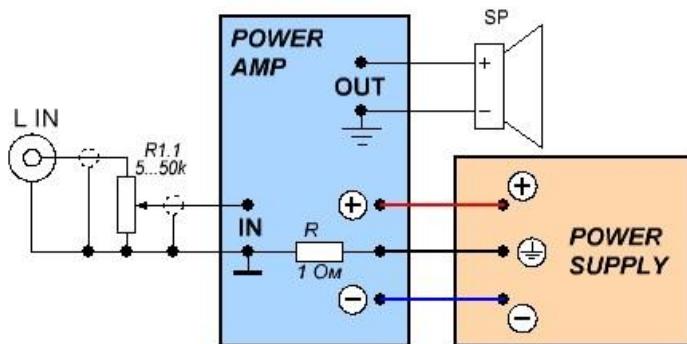


Рис. 56. Разделение земель резистором

3. Еще один способ, иногда дающий хорошие результаты – поставить резистор со сопротивлением примерно 1...2 Ом между землями мощного и маломощного (питающего предуслителя) источников питания. В этом случае земляная петля разрывается между источниками питания. Недостаток такого решения – наличие резистора надо учитывать при проектировании источника питания усилителя, в готовый источник питания резистор может «не встать», может понадобиться заметная доработка.

Все эти способы можно объединять, только важно помнить, что если неправильно подключить отдельные узлы усилителя между собой (см. рис. 51-54), то способы 2 и 3 могут принести больше вреда, чем пользы. А иногда народ умудряется подключать земляной провод колонок к входной земле, тогда резистор разделения земель буквально горит!

Итак, самый главный момент повторю еще раз: все провода должны идти парами (проводы от двухполарного источника питания – тройками), либо скрученными (не сильно), либо «двойными проводами». И оба провода этой пары должны подключаться к пла-

те в специально предназначенных для них местах. По принципу – откуда ток вышел, туда и вернулся.

Следующий вопрос, *куда подключать корпус усилителя*. Тут однозначного ответа нет, поскольку все конструкции могут очень сильно различаться. Единственно, что можно сказать наверняка: на корпусе должна быть только одна единственная точка, куда подключается земляной провод от схемы. Бывают случаи (очень нечастые), когда к корпусу присоединяются несколько проводов, идущих от разных плат. Но в любом случае на корпусе это одна единственная точка. Почему? Потому что через корпус не должен протекать ток сигнала. На самом деле ток через корпус течет (если корпус проводящий, для корпусов из диэлектрика это все не актуально). Но это ток помех, наводимых из окружающей среды (и изнутри корпуса), от которых корпус мужественно защищает потроха усилителя. В этом и состоит принцип экранирования – помехи наводят в корпусе напряжения, в корпусе текут токи, которые создают магнитные поля, компенсирующие поля помех. Если по корпусу будет течь ток сигнала, он «смешается» с током помех и помехи попадут в сигнал. Поскольку ток может протекать только между двумя (или более) точками, то подключив корпус одной точкой, мы не позволим сигналу протекать по корпусу. Если же корпус не-проводящий, то он и не экранирует помехи. Итак, где же брать эту точку на корпусе, и какую точку схемы туда подключать. Тут лучше немного поэкспериментировать, иногда одни варианты оказываются лучше других, а иногда – одинаково. Наиболее часто лучший результат дает один из таких двух вариантов:

1. Земля источника питания подключается к корпусу возле платы блока питания.
2. Земля входных разъемов подключается к корпусу на самих входных разъемах (в остальных случаях разъемы должны быть изолированы от корпуса). Если разъемы всех каналов расположены рядом, то в принципе полученное «множественное» подключение к корпусу не страшно (но земли разъемов должны быть соединены между собой хорошим коротким проводом).

Хорошие результаты дает подключение корпуса к земле схемы не напрямую, а через резистор $50\div200$ Ом мощностью порядка 0,5 Вт. Это помогает защититься, если нечаянно замкнешь какую-нибудь схему на корпус. С резистором оно не так страшно. Увеличивать сопротивление свыше 200 Ом не стоит, а мощность 0,5 Вт нужна только лишь потому, что в случае КЗ маломощный резистор мгновенно сгорит, и вы не заметите непорядка в системе. «Полуватник» будет довольно долго «дымиться», так что это будет хорошо заметно. Резистор большей мощности ставить тоже не стоит – он вообще может не заметить КЗ, а вы будете долго ломать голову, почему у вас усилитель не работает.

Теперь *пару слов о регуляторе громкости*. Если он «встроен» в предварительный усилитель, то его включение обычно понятно (зачастую он впаивается прямо на плату). А если предусилителя нет? А такое вполне нормально, раньше задачей предусилителя было усиление выходного сигнала магнитофона или проигрывателя грампластинок до уровня, необходимого усилителю мощности. Типичные значения сигналов тех времен были такими: выходное напряжение магнитофона: $0,25\div0,75$ В, а входное напряжение усилителя мощности, требуемое для получения максимальной мощности на выходе – $1\div1,5$ В. Вот и приходилось усиливать. Заодно предусилитель включал в себя еще регулятор громкости и тембра и коммутатор входов. В настоящее время выходной уровень звуковой карты или CD-проигрывателя обычно составляет 2 В, и такого сигнала вполне хватает для получения максимальной выходной мощности. И, зачастую, усилителям вполне хватает одного источника сигнала, например, компьютера. Вот предусилитель и оказывается ненужным.

Если предусилителя нет, то регулятор громкости подключается на вход усилителя мощности. Его подключение показано на рис. 51. Для подключения лучше использовать экранированные провода даже внутри корпуса усилителя. Причем снаружи они должны

быть изолированными, чтобы экран кабеля не только ничего не замкнул внутри, но и не касался корпуса (иначе появится вторая точка соединения корпуса с землей схемы). Монтажная схема в этом случае совпадает с принципиальной – экраны «приходящего» к регулятору кабеля, и «уходящего» должны соединяться прямо на выводе потенциометра. В крайнем случае, вместо экранированного кабеля можно использовать скрученные провода (если корпус металлический).

Использовать так называемый «микрофонный» кабель, у которого внутри экрана идут два сигнальных провода, внутри металлического корпуса абсолютно бессмысленно, внутри пластикового можно, но выигрыш будет маленький. Исключение составляет тот случай, когда входной кабель проходит возле чего-то излучающего помехи: трансформатора, выходных транзисторов и т.п. (это неправильно, но бывает, что никак по-другому не получается). В этом случае, как фаза, так и земля сигнала передается «внутренними» проводами кабеля, а экраны к схеме не подключаются, а соединяются с корпусом (в одной точке).

И последнее. Если использовать резистор с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота, то регулировка будет нелинейной (вот такой каламбур ☺): при малой громкости громкость будет сильно зависеть от поворота ручки, а на большой громкости крутишь ручку, крутишь, а громкость практически не меняется. Это не очень удобно, поэтому для большей линейности регулировки используют резисторы с нелинейной зависимостью сопротивления от угла поворота. Отечественные такие резисторы обозначаются буквой «В» (после значения сопротивления), а импортные – буквой «А».

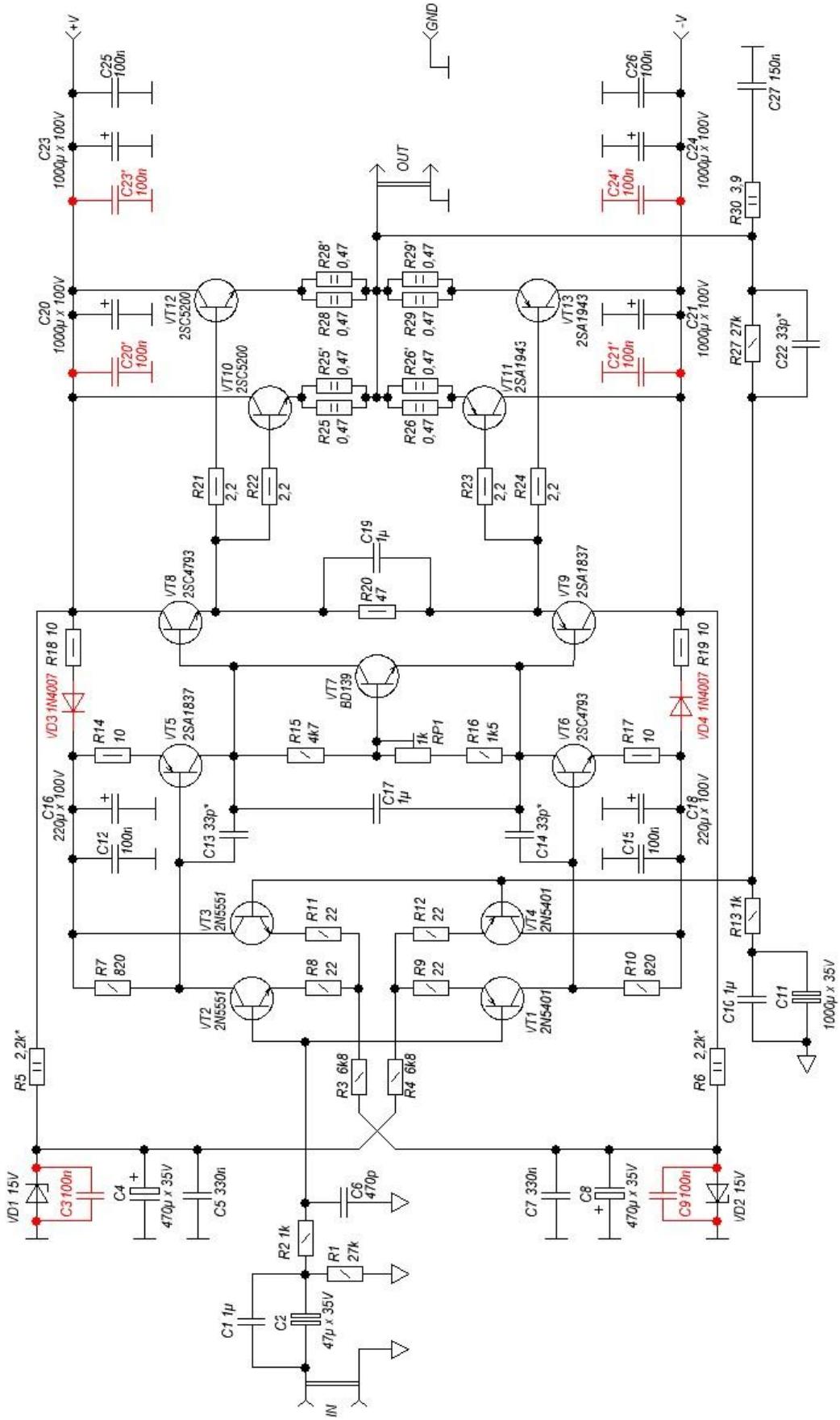
**НА ЭТОМ ВСЕ!
УДАЧИ В СБОРКЕ!**

Использованные материалы

1. Статья «Собираем Ланзар», автор: Ермаков Евгений ([GeniusXZ](#))
2. Ветка форума сайта «Паяльник» «Мощный УМЗЧ на транзисторах (Ланзар)»,
<http://forum.cxem.net/index.php?/topic/10296-мощный-умзч-на-транзисторах-ланзар/>
3. Статья «Усилитель ланзар», <http://madelectronics.ru/extra/usilitel-lanzar-1.htm>
4. Цикл статей о сборке и настройке усилителя Ланзар, автор: [det](#)
5. Материалы сайта [interlavka.su](#)
6. Статья «Тест подложек», автор: Сергей Петров
7. Статья «Защита акустических систем от постоянного напряжения БРИГ»,
<http://cxem.net/sound/dinamics/dinamic99.php>
8. Статья «Защита акустических систем DEF 2017»
<http://cxem.net/sound/dinamics/dinamic109.php>
9. Статья «Подключение блоков внутри усилителя»,
<http://www.electroclub.info/article/connect1.htm>
10. Статья «Расчет источника питания УМЗЧ»,
http://www.electroclub.info/article/power_sup_amp.htm
11. Статья «FAQ по TDA7293/7294», <http://cxem.net/sound/amps/amp129.php>
12. Ветка «Старый добрый ЛАНЗАР!!!» форума Вегалаб,
<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=76282>
13. Ветка «Защита АС» форума сайта «Паяльник»,
<http://forum.cxem.net/index.php?/topic/13508-защита-ас/>
14. Ветка «Система Защиты Для Мощного УМЗЧ» форума сайта «Паяльник»,
<http://forum.cxem.net/index.php?/topic/141647-система-защиты-для-мощного-умзч/>

Приложение 1

Модель транзистора	Емкость Б-Э, пФ
A940	360
A1295	9200
A1302	5600
A1837	400
A1941	3000
A1943	6000
B1560	800 ?
C2625	4400
C3182	1400
C3281	7900
C4242	2450
C5129	3600
C5200	6400
C5385	5300
C5586	2500
MJE13005A	1000
MJE13009L	4400
MJW21193	8400
MJW21194	7000
MJ21195	8800
MJ21196	5600
MJ15003	7200
MJ15004	2100
SJ6357	1100
KD503	2200
KD617	1300
KT844A	6000
KT840A	5000
KT842Б	4700
KT828A	7400
KT840Б	2700
KT841A	5400
KT864A	4700
KT850A	430
KT851A	480
KT855A	4000
KT855Б	3500



Принципиальная схема УМЗЧ LANZAR 2017
(красным цветом выделены опциональные элементы)