

Принцип работы и настройка вариантов 6 и 7. (ред.2018г.)

Принцип работы усилителя. Схемотехника данного усилителя (рис.3) имеет наибольшую зависимость тока транзисторов от их температуры в сравнении с рис.1 и рис.2, что некоторыми участниками форума считается фатальной ошибкой и вызывает шквал «народного возмущения». Очевидно, именно это и является причиной того, что ранее такая схема никем не применялась. Но давайте разберёмся, что важнее. При лабораторных испытаниях классической схемы параллельных каскадов (рис.1) выяснилось следующее. Схема более термостабильна, так как в цепи эмиттеров VT3-VT4 мы вынуждены включать резисторы с большим сопротивлением (5,6к). При малейшем дрейфе их тока покоя (ток К-Э при $U_b=0$) прирост напряжения на эмиттерах будет большим, что моментально уменьшит напряжение Б-Э и не даст току расти. Но этот же фактор будет противодействовать и мельчайшим музыкальным сигналам, уменьшая прирост тока (K_u по току). Это означает, что и разрешение (количество градаций), различаемых следующим каскадом, будет меньше. Скорость нарастания тока (крутизна, или динамика реакции на полезный сигнал) то же ниже. В схеме же рис.3 нагрузка в цепях эмиттеров VT3-VT4 (она же и ООС) в 6 раз ниже, и соответствующие параметры выше примерно на 35%. Но поэтому и на температуру реакция больше. Кроме того, оказалось, что каскад рис.1 ещё и нелинеен по току из-за того, что не привязан к корпусу, и напряжение на эмиттерах быстро поднимается до напряжения на базах. Примерно до 60% усиления его характеристика линейна, а далее плавный спад прироста тока на единицу входного сигнала. Т.е. сигнал с ОУ на базах (от 0 до 10 В) до 6 В будет усиливаться линейно, а далее изгиб и нелинейность. (кстати, в некоторых случаях этот фактор и рост при этом искажений ошибочно приписывают ОУ, якобы из-за того, что он работает не в малосигнальном режиме). Банально это означает каскад с меньшим K_u . Т.е. снимать сигнал с коллектора нежелательно. Поэтому некоторые конструкторы стремятся увеличить напряжение питания этого каскада (УН), использовать его как усилитель по напряжению, или эмиттерный повторитель (рис.2, Брагин 2). Но такое решение требует добавлять ещё один каскад и применять инверсию сигнала, что, на мой взгляд, является весьма нежелательным. Таким образом, схема на рис.3, которая является полным УМЗЧ, является гораздо компактнее, чувствительней, с большей скоростью нарастания тока и 100% линейностью. А решить вопрос с термокомпенсацией можно всегда.

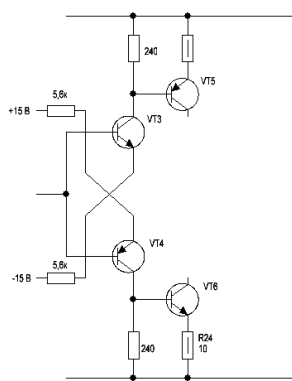


Рис.1

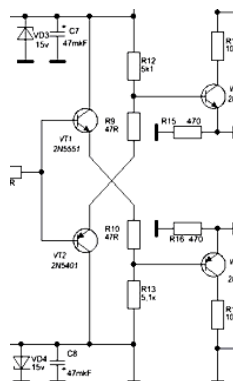


Рис.2

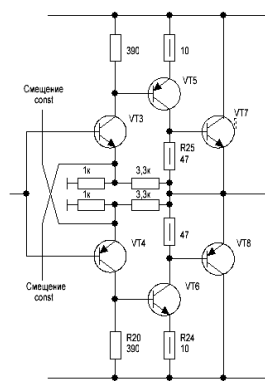


Рис.3

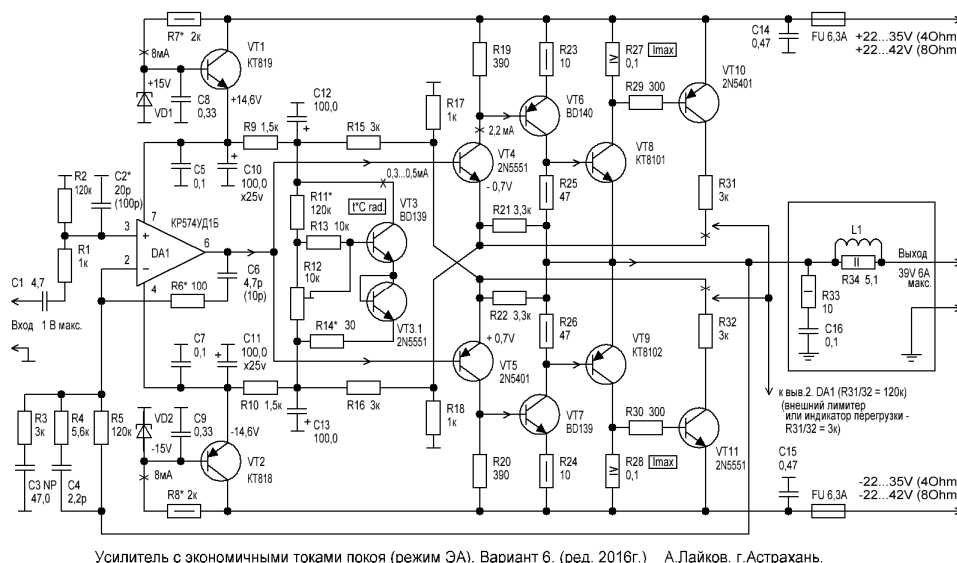
Основной особенностью данной схемы является подача небольшого стабильного смещения рабочих точек (только начального открывания) транзисторов в цепь эмиттеров напряжением (вар.6, рис.4), или током (вар.7, рис.5). Следует ещё раз повторить: в отличие от способов с полным постоянным питанием (рис.1), а также подачей смещения с помощью межкаскадных резисторов и диодов, (которые особенно нелинейные), такой способ не позволяет полезному сигналу модулировать постоянное смещение, и наоборот - постоянной составляющей влиять на зону полезного сигнала, что значительно снижает детальность звука. Этим достигается наличие очень стабильного постоянного напряжения 0,7 В на Б-Э переходах транзисторов даже в неактивном плече. Закрываются же входные транзисторы лишь от смены полярности входного напряжения на базах и то не при «0», а при выходном напряжении 4..8 В, обеспечивая таким образом нужную задержку отсечки тока выходных каскадов до тех пор, когда это уже не создаёт переключательных искажений. Тем более, что ещё большая задержка уже негативно влияет на звук. Практически в вар.6 напряжение подаётся со стабилизаторов на транзисторах VT1-VT2. Это обычные параметрические стабилизаторы (эмиттерные повторители), напряжение на выходе которых будет на 0,6 В меньше, чем на базе, которое стабилизируется стабилитронами VD1-VD2. Напряжение выбрано исходя из максимального напряжения питания ОУ (+/- 15В). Так как на стабилизаторы приходит $U_{пит} = 22...42$ В, то необходимо подобрать гасящие резисторы R7-R8 для обеспечения рабочего тока через стабилитроны величиной 8мА (0,008А) по формуле $R = U_{пит} - U_{стаб} / 0,008$, т.е. в данном случае $U_{пит} - 15 / 0,008$. Напряжение (+ и -) поступает на эмиттеры транзисторов VT4-VT5 и регулируется каскадом на VT3, с помощью R12, устанавливая ток покоя (без сигнала) в цепях коллекторов VT8-VT9 в пределах 60..80 мА. Чем больше

откроется VT3, шунтируя напряжение на C12-C13, тем меньше поступит на эмиттеры VT4-VT5 и меньше будет ток покоя ВК. В вар.7 аналогично, только происходит запираание генераторов стабильного тока (ГСТ), ГСТ работает следующим образом. На базу транзистора VT3 (VT4) подаётся стабильное напряжение со стабилитрона VD3 (VD4). Транзистор открывается до тех пор, пока напряжение на его эмиттере не сравняется с напряжением на базе, за вычетом напряжения Б-Э (0,6 В). В дальнейшем ток его коллектора практически не зависит от сопротивления нагрузки и напряжения на ней при условии, что $U_{пит} = U_{нагр} + 5,6 \text{ В}$. Поэтому ГСТ запитаны от напряжения $\pm 18 \text{ В}$. Для качества звука это идеальный случай, т.к. здесь полностью отсутствуют интермодуляционные искажения (взаимомодуляция) между полезным сигналом и постоянным напряжением смещения, а также влияние эффекта Эрли, что присутствует в схеме рис.1. Но такой способ, в отличие, например, от варианта 2, где ток ГСТ наоборот, вычитался из полезного сигнала, более нестабилен от температуры, потому, что возрастанию тока при нагреве транзисторов ничто не противодействует. Тут другая крайность. Но вар.2 не применяется из-за сложности подбора резисторов при настройке ТП. Поэтому VT3 (VT5) через изолятор из слюды крепится на радиатор ВК, при нагревании ток через него увеличится и уменьшит или ограничит ток покоя (ТП). VT3.1 (VT5.1) включен по схеме диода и при нагреве в корпусе его сопротивление тоже уменьшится, дополнительно открывая VT3. Радиодетали, корпуса, радиаторы у всех разные, и вот тут у некоторых начинаются проблемы с зависимостью ТП от температуры. Гоняют по кругу. Но всё делается довольно просто. Дело в том, что цепочка R11-R12 тоже шунтирует источники смещения, и чем меньше R11, тем меньше ток покоя VT8-VT9 (в.6). (VT10-VT11 в.7). Поэтому, **если всё исправно**, но ТП по каким-то причинам не регулируется правильно, то следует подобрать R11. Если ТП не реагирует на изменение R11, значит есть ошибки в монтаже или неисправные детали.

Обычная настройка производится в следующем порядке:

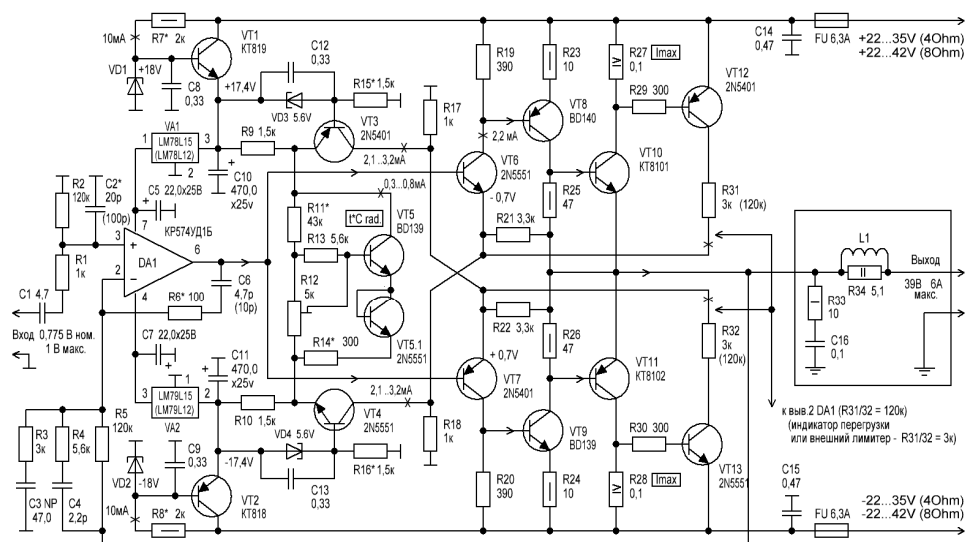
- 1). Тщательно проверить монтаж, цоколёвку транзисторов и стабилитронов. У отечественных полоска на аноде, у импортных – на катоде. Замкнуть вход на корпус или убавить громкость до «0».
- 2). Чтобы не сжечь, усилитель включают сначала без выходных транзисторов. Желательно иметь блок питания с защитой по току, или временно включить ограничитель тока по схеме рис.7 после фильтров.
- 3). После включения сразу проверить (относительно корпуса) «0» на выходе и на ОУ, Затем $\pm 15 \text{ В}$ на ОУ, $\pm 17,4 \text{ В}$, если несимметричность большая, то проверить напряжение на стабилитронах. На VD3-VD4 напряжение замеряется прямо на выводах.
- 4). Вращением R12 убедиться, что напряжение на R25-R26 регулируется приблизительно от 0 до 1 В, убавить его до 0,5 В, выключить усилитель, подпаять выходные транзисторы и медленно прибавить ток ВК до 60..80 мА.
- 5). Проследить, как меняется ТП при постепенном нагреве. Его можно слегка остановить (R12 вверх по схеме), но не стоит убавлять до «0», иначе будете бегать по кругу. Если радиаторы большие, прогреваются медленно, а ТП всё увеличивается, то можно увеличить крутизну открывания VT3 (VT5 вар.7) уменьшением R14. Если радиаторы маленькие, не совсем горячие, а ток уже резко уменьшился, можно немного увеличить.

R27-R32 и VT12-VT13 являются защитой по току, при срабатывании которой подаётся запирающее напряжение на VT6-VT7. Конденсатор C3 служит для поддержания «0» на выходе усилителя. Если ОУ хорошо балансирует схему (до 30 мВ на выходе), вместо C3 можно поставить перемычку. C6 устраняет самовозбуждение ОУ на ВЧ и в некоторой степени регулирует ФЧХ в зависимости от типа ОУ.



Усилитель с экономичными токами покоя (режим ЭА). Вариант 6. (ред. 2016г.) А.Лайков. г.Астрахань.

Рис.5



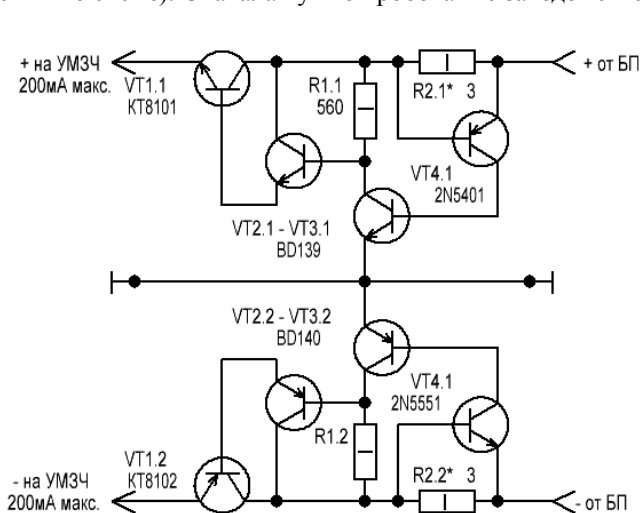
Усилитель с экономичными токами покоя (режим ЭА). Вариант 7. (ред. 2016г.) А.Лайков. г.Астрахань.

Рис.6

Профессиональная настройка. На форуме были случаи, когда радиолюбители не могли сами настроить ТП и его зависимость от температуры. Чем закончилась их нервность и пляски с бубном, сообщили не все. Но в 100% сообщивших была только их личная ошибка. Возможно это связано с применением радиодеталей, отличных от рекомендованных автором. и произошло смещение диапазона регулировки ТП. В этом случае надо подобрать R11 таким образом, чтобы ток покоя ВК составлял не более 200 мА при температуре 25...30*С при обрыве VT3 (вар.6) и VT5 (вар.7), или когда движок R12 находится в крайнем нижнем (по схеме) положении (ТП максимален). В любом случае это гарантирует дальнейшую безаварийную работу в любых условиях эксплуатации. На схемах указана уже подобранная величина R11 для тока 250 мА. Но всё же, если такая настройка понадобится, то она производится на полностью собранном усилителе и требует особого внимания. Её можно произвести двумя способами.

Способ 1. Если ТП поддаётся регулировке, то сначала нужно убедиться, что ток можно увеличить до 220...250мА, не следует увеличивать больше, а убавить до «0», выключить усилитель и уменьшить величину R11. Затем включить и проверить, можно ли ТП увеличить до 220 мА. Снова подобрать R11. Так следует проделать несколько раз, пока ток невозможно будет прибавить более 200 мА. После этого, при установке тока 60..80 мА, чуть приоткрытый VT3 (VT5) и будет гарантированно иметь нужную рабочую точку, зависящую от нагрева. Если при полностью исправных деталях ТП не появляется, можно попробовать применить стабилитроны на 6,2 В (VD3-VD4). После этого подбор R11 обязателен.

Способ 2. Если ТП не поддаётся регулировке, отсутствует, или очень большой, то сначала нужно поискать ошибку в монтаже и убедиться в устойчивой работе стабилитронов. Для поиска такой неисправности нужен блок питания с защитой по току. В крайнем случае, можно временно собрать ограничитель тока, который включается между конденсаторами блока питания усилителя и усилителем (рис.7). После этого подбирается величина R11 при которой ТП = 200 мА при полностью закрытом VT3 (VT5), (R12 в крайнем нижнем положении по схеме). Сначала нужно пробовать с заведомо меньшим номиналом, затем увеличивать.



Ограничитель тока блока питания для настройки УМЗЧ. Порог срабатывания: 0,6 В на R2.

Резистором R1 подбирается максимальное напряжение на выходе. (Падение напряжения на ограничителе 0,8...1,8 В). Резистором R2 подбирается порог срабатывания: 0,2 А – 3 Ом, 0,3 А – 2 Ом, и т.д. При подключении нагрузки с потребляемым током до 200 мА выходное напряжение не должно уменьшаться. При токе 200 мА VT4 – VT3 открываются, VT2 - VT1 закрываются, ограничивая ток на уровне 200мА. При включении лампочки 24 В x 35 мА последовательно с R1 она будет загораться при срабатывании защиты.

А. Лайков. г. Астрахань. 2018г.