



Подбор транзисторов для мощных УМЗЧ

А. Г. Зызюк, г. Луцк

Описаны методика отбраковки транзисторов по максимально допустимому напряжению коллектор-эмиттер ($U_{кэ}$) и прибор для измерения этого напряжения.

При конструировании мощных оконечных усилителей, подбирая транзисторы, необходимо измерять максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер ($U_{кэ}$) - реальное значение величины его для конкретного экземпляра транзистора. Омметром обнаружить снижение $U_{кэ}$ не удастся, ведь транзистор выглядит полностью исправным (например, только $U_{кэ}$ у него 50-70 вместо 100 В), никаких утечек не наблюдается даже с использованием омметров, питающихся от батарейки 4,5 В.

Оконечные усилители с их схемотехнической "навороченностью" и гальваническими связями между каскадами являются, пожалуй, одними из трудноремонтируемых устройств аналоговой электроники. С увеличением мощности усилителя используют более высоковольтный источник питающего напряжения.

Требования по $U_{кэ}$ применяемых транзисторов общеизвестны - оно должно быть $\geq 2U_{пит}$. При двухполярном БП с напряжением питания, например, ± 40 В $U_{кэ}$ транзисторов должно быть ≥ 80 В (в первом приближении). Включение резистора между выводами базы и эмиттера снижает значение $U_{кэ}$ (справочное обозначение $U_{кэ}$ с резистором - $U_{кэR}$). Применение "случайных" экземпляров транзисторов в УМЗЧ недопустимо.

По мнению автора, измерение коэффициента передачи тока базы транзистора и стабильность этого параметра не являются первоочередной задачей, особенно с появлением таких транзисторов, как КТ9115, КТ850, КТ851, КТ8101, КТ8102, КТ864, КТ865. Сначала необходимо отбраковать транзисторы по значению $U_{кэ}$, а остальные измерения могут и не пона-

добиться (годный по остальным характеристикам транзистор все равно нельзя устанавливать в УМЗЧ, если его значение $U_{кэ}$ значительно снижено по сравнению со справочными данными). При применении таких транзисторов УМЗЧ может некоторое время работать (особенно на малых выходных мощностях), но стоит увеличить громкость, как он выходит из строя. Иногда усилитель работает месяц, иногда достаточно одного или нескольких включений в сеть. Речь идет не об опыте эксплуатации какого-то одного образца или типа УМЗЧ, а об общей тенденции, проверенной временем. Такие транзисторы "боятся" повышения температуры окружающей среды.

Видимо так и возникло мнение, что эксплуатация мощных оконечных биполярных транзисторов с резисторами в цепи эмиттера сопротивлением менее 0,3 Ом недопустима. Но ведь увеличение сопротивления этих резисторов увеличивает искажения всего усилителя без увеличения при этом $U_{кэ}$. Может, есть и другая причина (особенно в самостоятельно изготовленных конструкциях) выхода из строя транзисторов (например, нарушение устойчивости УМЗЧ на ВЧ), которая и приводит к выходу из строя УМЗЧ? Проверив усилитель на отсутствие генерации, проведя ряд измерений и удостоверившись в исправности громкоговорителей, автор убедился, что отказ УМЗЧ может произойти вновь.

Для исключения этого все используемые транзисторы в УМЗЧ необходимо проверить и отбраковать по значению $U_{кэR}$.

Приведу пример. Для изготовления мощного двухканального УМЗЧ (питание ± 60 В) я приобрел по 30 экземпляров транзисторов КТ8101А и КТ8102А (для подбора по коэффициенту передачи тока базы в пары). Приобретенные транзисторы драйвера (предвыходного каскада) типов КТ850А и КТ851А по значению

$U_{кэ}$ подходили (справочная величина $U_{кэ}$ соответствовала реально измеренному напряжению $U_{кэ}$). Приобретенные транзисторы типов КТ9115 и КТ940 оказались с запасом по $U_{кэ}$. Но из транзисторов типа КТ8102А (р-п-р, 150 Вт, 200 В, 15 А, $f_{гр} > 10$ МГц) ни один экземпляр не соответствовал справочному значению $U_{кэR}$! Из 30 транзисторов КТ8102А 10 экземпляров оказались с $U_{кэR} = 40$ В, 10 экземпляров с $U_{кэR} \leq 80$ В и лишь остальные имели $U_{кэR}$ в пределах 80-120 В. А ведь транзисторы типов КТ8102, КТ8101 являются хорошей альтернативой уже устаревшим типам КТ818 и КТ819. Что это - случайность, бракованная партия? В различных городах я приобрел дополнительное количество транзисторов типа КТ8102А. Лишь 20% из общего числа их имели $U_{кэR}$ до 200 В.

Эта ситуация очень напомнила аналогичную в начале 80-х годов. В то время широкодоступными были лишь транзисторы типов КТ814 - КТ819, и стоили они дешево. Их появление повлияло на схемотехнику и современных УМЗЧ (например, схема известного конструктора Шушурина, взятая за основу промышленных усилителей типа "Амфитон"). Проблема была опять в несоответствии $U_{кэ}$ этих транзисторов величинам, обозначенным в прилагаемых к ним этикетках. Если р-р-п транзисторы, как правило, выдерживали указанное $U_{кэ}$, то транзисторы типов КТ816, КТ818 (а иногда и КТ814) очень часто не соответствовали этому параметру. Как правило, после отбраковки транзисторов по величине $U_{кэ}$ они длительное время работали в УМЗЧ (по 10 лет, а то и более).

Второй пример. Я решил приобрести мощные транзисторы производства дальнего зарубежья. Выбрал транзисторы 2SA1302 (фирмы Toshiba). По своим техническим характеристикам они аналогичны транзисторам типа КТ8102А ("наши" уступают по частотным свойствам). Конечно, они дороже отечественных, но среди десятка транзисторов типа 2SA1302 не было ни одного с таким пониженным $U_{кэ}$, как у КТ8102А.

С р-п-п транзисторами типа КТ8101А было все нормально. Все они "держали" значение $U_{кэR} = 200$ В, а несколько экземпляров выдерживали и более высокие

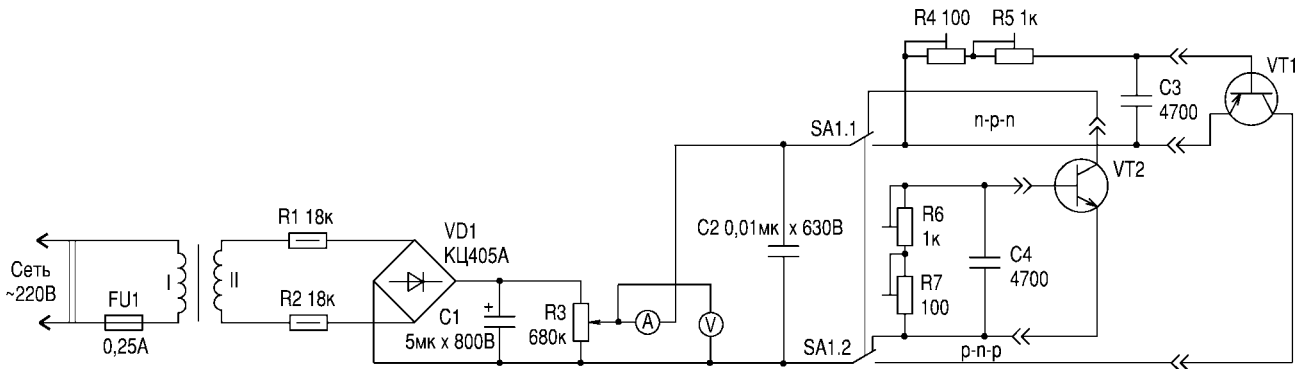


рис. 1



(один из них имел $U_{кз}$ около 300 В).

Подобное часто справедливо и для транзисторов типов КТ825, КТ827. КТ827А,Б - отличные п-р-п транзисторы (кроме частотных свойств). Полная им противоположность - р-п-р транзисторы типа КТ825 Г(Д). Снижение $U_{кз}$ относительно справочных зачастую в 1,5 - 2 раза и более. При выборе транзисторов этих типов следует отдавать предпочтение 2Т825А(Б), которые гораздо реже оказываются бракованными по $U_{кз}$.

Транзисторы с заниженным $U_{кз}$, конечно, можно использовать там, где это допустимо, но по-моему убеждению, к таким радиокомпонентам следует относиться с особой осторожностью, ведь они не соответствуют одному из важнейших параметров, определяющему область их безопасной работы.

Подводя итог вышесказанному, приходим к выводу, что все транзисторы необходимо проверять не только тестером, но и обязательно - на соответствие $U_{кз}$ справочному значению. Как же измерить это напряжение, не подвергая транзистор опасности пробоя? Оказывается, для этого не нужны дорогостоящие измерительные приборы, а материальные затраты невелики.

На **рис.1** показана схема измерителя максимального значения напряжения $U_{кз}$ (до 400 В) р-п-р и п-р-п транзисторов. Измеритель в эксплуатации уже 20 лет. За это время было проверено и отбраковано множество транзисторов различных типов. Неоспоримым преимуществом измерителя является его универсальность, что позволяет испытывать практически любые кремниевые транзисторы большой, средней и малой мощностей.

Напряжение с повышающего трансформатора подается на мостовой выпрямитель и с фильтрующего конденсатора С1 - на нагрузку - резистор R3, который является регулятором выходного напряжения. Резисторы R1 и R2 во второй обмотке трансформатора Т1 служат для ограничения выходного тока схемы до безопасного. Они не позволяют проверяемым транзисторам выйти из строя и защищают человека от сильных "ударов" электрическим током. Дополнительное ограничение выходного тока происходит при перемещении движка потенциометра R3 вниз по схеме. Это необходимо при проверке маломощных (особенно низковольтных) транзисторов, чтобы "уйти" подальше от границы области безопасной работы (ОБР). За все время эксплуатации прибора не было ни одного случая выхода из строя проверяемого транзистора. Все измерения проводят на малых токах, которые не позволяют нарушить границу ОБР.

Измеряемое вольтметром напряжение подается через переключатель типа проводимости транзистора SA1 на выходные клеммы. Прибор позволяет измерять $U_{кз}$ и $U_{кзг}$ в пределах изменения R6э 0-1100

Ом, этого в большинстве случаев достаточно (выходные каскады и их драйверы). С помощью прибора легко определить напряжение пробоя коллектор-эмиттер $U_{кзпроб}$ [2] как при замкнутых выводах базы и эмиттера, так и при наличии сопротивления между ними ($U_{кзг}$ проб [2]). Переключатель SA1 позволяет оперативно сравнивать транзисторы типов р-р-п и р-п-р на комплиментарность по $U_{кз}$.

О деталях. В качестве повышающего трансформатора можно использовать практически любой подходящий по габаритам. Важно, чтобы величина переменного напряжения на обмотке II была около 300 В. В авторском варианте установлен самодельный сетевой трансформатор. Его данные: железо Ш16 x 30 мм; обмотка I содержит 3000 витков провода ПЭЛ Ø 0,1 мм; обмотка II - 4700 витков того же провода. Конденсатор С1 составлен из двух типа К50-12 10 мкФ x 350 В, соединенных последовательно (параллельно каждому из них подключен резистор сопротивлением 1МОм, МЛТ-0,5 Вт). Резистор R3 любого типа (рассеиваемая на нем мощность не превышает 0,25 Вт). В первом экземпляре измерителя я использовал стрелочные головки малых размеров типа М592 с током полного отклонения около 100 мкА. При этом вольтметр несколько шунтировал выходное напряжение схемы. Затем применил вольтметр типа М830ВUZ (недорогой цифровой тестер зарубежного производства).

Монтаж измерителя выполнен короткими многожильными проводниками большого сечения. Конденсаторы С2-С4 служат для устранения самовозбуждения, возникающего при испытании транзисторов типов КТ626, КТ940, КТ969 и других, которые вносят существенную погрешность в измерение $U_{кз}$ (транзистор становится как бы "низковольтным"). Все элементы измерителя размещены в корпусе из двустороннего стеклотекстолита размерами 240x90x80 мм (под стрелочные головки М592). Корпус спаян изнутри со всех сторон за исключением нижней съемной крышки.

Рекомендации при проведении измерений. Измерения в приборе проводятся в диапазоне малых токов (до 100 мкА), но значения измеренных $U_{кз}$, $U_{кзг}$ для исправных транзисторов очень хорошо согласуются со справочными данными (например, в [1,2]).

Известно, что первичный электрический пробой транзистором (и полупроводниковым прибором, вообще) не опасен [4], разрушающим для них является вторичный пробой (тепловой). Вот почему измеритель не выводит из строя проверяемые транзисторы (режимы в процессе измерения не выходят за область ОБР).

Приблизительная зависимость тока I_k от $U_{кз}$ показана на **рис.2**. Вот почему не было ни одного случая выхода из строя

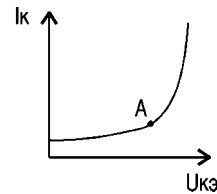


рис. 2

транзисторов типа КТ209М в УМЗЧ [3], подобранным измерителем с $U_{кз} \geq 80$ В.

Практика ремонта модулей цветности телевизоров также подтверждает верность такого подхода при выборе транзисторов. Нередко выходят из строя транзисторы типа КТ3157А. Проверка омметром не обнаруживает дефектов, а данный измеритель обязательно выявит транзистор с уменьшенным $U_{кз}$. А в таких высоковольтных схемах, как видеоусилители, использование "слегка" бракованных транзисторов абсолютно недопустимо.

О возможных упрощениях и улучшении параметров схемы. Был изготовлен один экземпляр без трансформатора, что повлекло за собой ощутимые "пощипывания" при определенных условиях (хорошая земля и не очень сухие руки). Поскольку для измерения важно фиксировать не I_k max, а факт его резкого увеличения, то сопротивление резисторов R1-R3 в этом случае следует пропорционально увеличить. В качестве вольтметра нужно использовать прибор с большим $R_{вх}$ (≥ 10 МОм), можно брать $R1=R2=62$ кОм; $R3=2,2$ МОм.

Более привлекательный вариант - применение трансформатора с большей величиной выходного напряжения (удобно установить переключатель и сделать отводы от обмотки II). Это позволит проверять не только транзисторы типов КТ809, КТ812, но и КТ838, КТ872 и другие высоковольтные.

Можно попробовать применить и умножительные схемы на диодах с конденсаторами (подобные телевизионным). В этом случае необходимо использовать вольтметр с большим входным сопротивлением.

Отмечу, что с помощью этого прибора можно отбраковывать не только транзисторы, но и диоды, конденсаторы.

Литература

1. Голомедов А.В. Мощные полупроводниковые приборы транзисторы.-М.: Радио и связь, 1985.
2. Голомедов А.В. Транзисторы средней и большой мощности.-М.: Кубк-А, 1995.
3. Зызюк А.Г. Транзисторный УМЗЧ// Радиоаматор.-1998.-№3.-С.23.
4. Котлярский А.И. и др. Промышленная электроника.-М.: Недра, 1984.