

# Лампо-поле-биполярно-микросхемный бестрансформаторный УМЗЧ без ООС

Игорь Бондаренко, г.Полтава

Любой усилитель, линейность которого обеспечена путем введения глубокой ООС - сложная колебательная система, предсказать поведение которой в реальных условиях работы можно только теоретически. Как справедливо и другое утверждение - усилитель без ООС линейен настолько, насколько линейно каждое его звено. Вероятно поэтому в современной схемотехнике УМЗЧ прослеживается такая тенденция: насколько это возможно, повышают линейность исходного (не охваченного ООС) усилителя, а глубину последней снижают до минимально необходимой (нередко при колоссальной скорости нарастания выходного напряжения под киловольт в микросекунду и полосе в несколько мегагерц). Участились попытки создания транзисторных УМЗЧ с «ламповым» звуком, но поскольку даже само определение «ламповости звука» понимается разными авторами довольно неоднозначно, то существует уйма всевозможных схемотехнических уловок для придания твердотельному усилителю «лампообразного» звучания. Другие же - идеологи лампового ренессанса категорически отвергают такого рода эксперименты, утверждая, что совершенно излишне в очередной раз «изобретать велосипед».

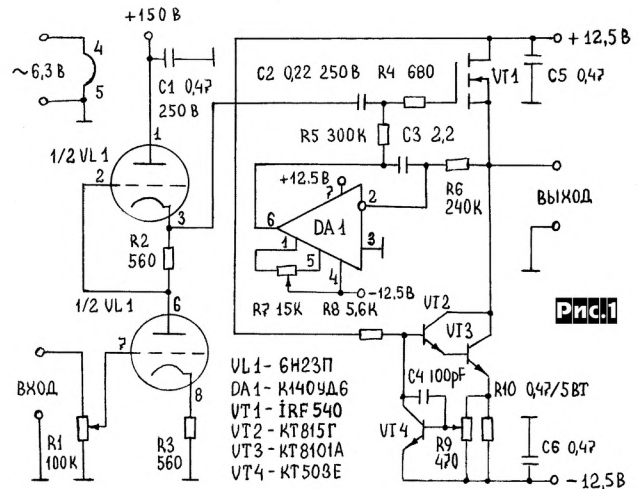
Действительно, преимущества однотактных ламповых усилителей (равно как и их недостатки) уже давно и довольно подробно изучены и описаны в различной литературе. Здесь же хочу отметить, что выходной трансформатор - устройство весьма «капризное» по своей природе, а расчет и изготовление широкополосного линейного «выходника» - довольно неблагоприятное занятие. К тому же однотактный усилитель мощностью в 10 Вт - уже очень увесистая штука, а уж в 20-30 Вт - вообще большая редкость. Поэтому тема данной статьи - еще один эксперимент, на этот раз не над «ламповизацией» транзисторного усилителя, а попытка заменить выходной каскад лампового однотактника транзисторным «эквивалентом», как можно точнее сохранив при этом специфику звучания, а затем и решить, оправдан ли такой подход.

Первый каскад усилителя (рис. 1) построен на двойном триоде VL1 по схеме SRPP с целью уменьшения собственной нелинейности и увеличения нагрузочной/перегрузочной способности и особенностей не имеет. Выходной каскад построен на полевом транзисторе VT1 (идея заимствована из [1]) по схеме мощного истокового повторителя, нагруженного на генератор тока на составном транзисторе VT2VT3 и VT4. «Интуитивно» предполагалось, что он должен иметь следующие свойства:

- 1) обладать высоким входным сопротивлением (т.е. не шунтировать ламповый каскад)
- 2) быть однотактным (работать в классе А)
- 3) быть выполненным на полевом транзисторе (близость ВАХ к таковым у вакуумных триодов)
- 4) не иметь сверхнизкого выходного сопротивления (равно как и выходного трансформатора)
- 5) не быть охваченным ООС.

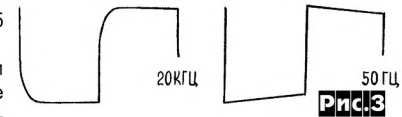
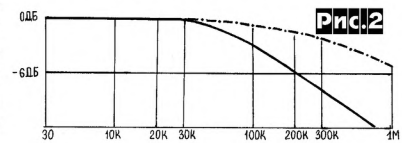
Такое схемное решение, возможно, несколько необычно и не позволяет достигнуть высокого КПД (но велик ли КПД у ламповых?), зато исключает проблемы, связанные с коммутацией выходных транзисторов и некомплементарностью их характеристик, что имело бы место при традиционном исполнении выходного каскада двухтактным в классе АВ. Особенно, если учесть тот факт, что усилитель не охвачен ООС и такая нелинейность не компенсируется.

Несколько слов об «автоматике». Интегратор на DA1 имеет эквивалентную частоту среза  $1/(2\pi R6C3) = 3$  Гц и поддерживает нулевой потенциал на выходе усилителя (иными словами, уравнивает постоянную составляющую тока, протекающего через VT1, с током коллекторов VT2+VT3). Таким образом, ток покоя VT1 равен сумме токов коллекторов VT2VT3, но противоположен по



направлению и регулируется резистором R9, а переменная составляющая отвечает в нагрузку.

На рис. 2 показаны АЧХ всего усилителя (сплошная линия) и выходного каскада (штрих-пунктирная) при выходной мощности - 3 дБ от максимальной, а на рис. 3 - снятые на выходе усилителя (на эквиваленте нагрузки) осциллограммы при испытании его прямоугольными импульсами частотой 20 кГц и 50 Гц. Чувствительность усилителя 0,55 В, максимальная выходная мощность на нагрузке 4 Ома равна 12 Вт, выходное сопротивление - около 0,25 Ома.



Процедура настройки сводится к установке резистором R9 необходимого тока покоя (около 2,5 А), который контролируется по падению напряжения на резисторе R10 и (более точно) - по симметричному ограничению полуволн синусоиды на выходе усилителя при его испытании на эквивалент нагрузки. Резистором R7 устанавливают нулевой потенциал на выходе усилителя, в дальнейшем он поддерживается автоматически.

Транзисторная часть усилителя (каждый канал) питается от собственного выпрямителя - мостик и 2 x 22000 мкФ x 16 В. При повторении конструкции следует уделить особое внимание эффективному отводу тепла от транзисторов VT1, VT3, так как даже в режиме покоя на них рассеивается внушительная мощность (по 30 с лишним Вт).

В заключение следует отметить, что при замене полупроводниковой части усилителя традиционным однотактником на вакуумном триоде субъективное сравнение характеров звучания не выявило существенной разницы, разве что в ламповом варианте слегка «подразален» басовый регистр. При замене всего комплекта на промышленный JVC A-X40 (входной дифкаскад, дифференциально-каскадный усилитель напряжения, нагруженный на генератор тока, трехкаскадный двухтактный эмиттерный повторитель с плавающим смещением «Super A»;  $K\gamma < 0,007\%$ ) звук становился более «холодным и рассудительным» и даже увеличение его выходного сопротивления по методике [2] не оказывало существенного влияния на положение вещей. Какой же из этих двух примеров звуковоспроизведения более «честный» (или насколько «врут» лампы), то от дискуссий на эту тему я предпочитаю воздержаться. Что лучше - вопрос скорее философский, и цель моего эксперимента была другой.

Литература

1. «Радиолюбитель» №2/99, с. 13-15
2. «Радиолюбитель» №2/98, с. 18-20

Отрезной талон заказа CD-R «Радиолюбитель-2000» с электронными версиями всех номеров «Радиолюбитель» за 98 и 99 год. Стоимость CD-R 6 у.е. (экв. в нац.вал.) без учета почтовых расходов. Для получения диска по почте наложенным платежом укажите свой адрес (обязательно с почтовым индексом и Ф.И.О. полностью, без сокращений), вырежьте этот талон и отправьте в адрес редакции.  
 Прошу выслать CD-R «Радиолюбитель-2000» по адресу:

Оплату наложенного платежа при получении бандероли гарантирую

(подпись)