

# МОЩНЫЙ ДРАЙВЕР

*Евгений Карпов*

Приведена схема лампового драйвера с большим выходным напряжением.

Толчком к проектированию этой схемы стала необходимость возбуждения выходного мощного триода в однотактном усилителе. Определенным ограничением в выборе схемы драйвера являлась возможность работы выходной лампы в режиме с сеточными токами. Также следует учитывать, что для возбуждения мощных триодов требуется довольно большой размах выходного напряжения, достигающий величины в  $100\div 150$  вольт.

В таких случаях традиционно используют драйвер с трансформаторным выходом. Самым главным его преимуществом является простота схемы, а главным недостатком – наличие выходного трансформатора. Так и сяк примеряя эту схему к поставленной задаче, я пришел к выводу, что решить вопрос ударом в лоб не получится. Возникали существенные противоречия между желаемыми параметрами по линейности и частотным свойствам и технической возможностью реализации трансформатора.

Здесь следует учитывать, что трансформатор фактически не является согласующим, и по электромагнитным режимам ближе к выходному со всеми вытекающими последствиями.

Мне хотелось получить драйверный каскад, в котором бы сохранялись основные свойства трансформаторного каскада – наличие усиления и малое выходное сопротивление по постоянному току, но выходной трансформатор был бы технически реализуем.

Я решил пойти нетрадиционным путем, и за основу был взят дроссельный выходной каскад. В первую очередь он меня привлек тем, что на сердечнике присутствует только одна обмотка. Соответственно, это позволяет при тех же габаритах сердечника существенно увеличить индуктивность намагничивания и сдвинуть частотный диапазон вниз. Или уменьшить габариты трансформатора и его паразитные параметры и, соответственно, сдвинуть частотный диапазон вверх. Конечно, можно выбрать компромисс. В общем случае, коэффициент усиления такого каскада для однокаскадного драйвера недостаточен (чтобы получить приемлемую чувствительность всего усилителя), а для двухкаскадной схемы - он уже избыточен.

Раз у нас уже есть моточный узел, то ничто не мешает нам сделать дроссель двухобмоточным и ввести в каскад катодную связь (Рис. 1). Этим мы сразу убиваем трех зайцев – получаем нужный коэффициент усиления, повышаем линейность каскада, снижаем его выходное сопротивление.

При использовании мощных триодов (или пентодов в триодном включении) глубина местной обратной связи получается очень незначительной и никаких отрицательных последствий не наблюдается.

Следующим шагом, который нам позволит ослабить требования к дросселю, является вынос обмотки  $L_p$  из цепи постоянного тока (Рис. 2). Эффективное  $\mu$  сердечника зависит от зазора и, следовательно, от ампервитков подмагничивания. Вынося основную часть витков дросселя, можно значительно уменьшить подмагничивание сердечника, так как катодная обмотка имеет значительно меньшее число витков. Увеличение эффективного  $\mu$  позволяет дополнительно уменьшить габариты дросселя и его паразитные параметры при неизменной величине индуктивности намагничивания, и в тоже время, сохранить однотактный режим работы сердечника. Через источник тока  $I_p$  переменная составляющая тока сигнала не протекает, и его основная задача – обеспечить нужный режим лампы по постоянному току. Это утверждение вполне справедливо при использовании качественных каскадных источников

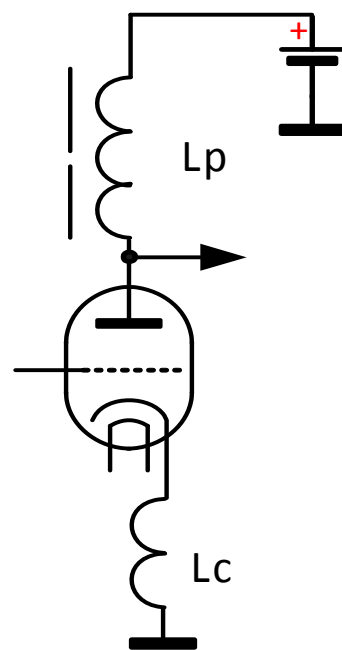


Рисунок 1

тока. Во всяком случае, обнаружить какое-либо отрицательное влияние такого включения не удалось.

Если внимательно посмотреть на эквивалентную схему каскада по переменному току, то очевидно, что верхний вывод анодной части дросселя по переменному току заземлен, ведь источник питания имеет (должен иметь) нулевое выходное сопротивление. Это справедливо как для первой, так и второй схемы. Так как теперь постоянная составляющая тока лампы не протекает через анодную часть обмотки дросселя, мы имеем полное право подключить эту точку к общему проводу (Рис. 3).

В таком виде схема уже имеет нужные свойства и, как бонус, появилось новое дополнительное качество – ток сигнала вообще не протекает по цепи источника питания, а замыкается по цепи: лампа, дроссель, емкость. Так как токи, циркулирующие по этой цепи, небольшие по величине, номинал разделительной емкости получается небольшим, что дает возможность использовать высококачественную пленочную емкость. Находящаяся в источнике питания емкость теперь выполняет только функцию фильтрации напряжения питания и не оказывает влияния на качество звука.

Появилась возможность подключить выход каскада непосредственно к сетке выходной лампы и подать напряжение смещения на выходную лампу прямо через обмотку дросселя без дополнительных цепей.

Хочу обратить внимание читателей, что эти все структурные преобразования не изменили эквивалентной схемы каскада по переменному току, это все равно – дроссельный каскад.

За вновь приобретенные качества каскада пришлось заплатить повышенным напряжением питания, так как источник тока должен оставаться в линейном режиме при максимальной амплитуде выходного сигнала.

Несмотря на то, что все манипуляции привели к упрощению дросселя и уменьшению его габаритов, требования к нему остаются очень жесткими. Особенно это касается собственной емкости. Частота резонансных явлений, возникающих в дросселе, должна находиться как можно дальше от диапазона звуковых частот. В этом случае выброс, возникающий на переходной характеристике каскада, достаточно легко подавить. В общем, эти же требования и правомочны и для классического трансформаторного каскада, но конструктивная реализация дросселя с пониженной собственной емкостью получается проще. Пример конструктивной реализации дросселя показан на рисунке 4.

Используя на входе каскад с динамическим питанием совместно с модифицированным дроссельным каскадом, удастся реализовать линейный драйвер, обладающий достаточной мощностью и запасом усиления для возбуждения практически любой выходной лампы.

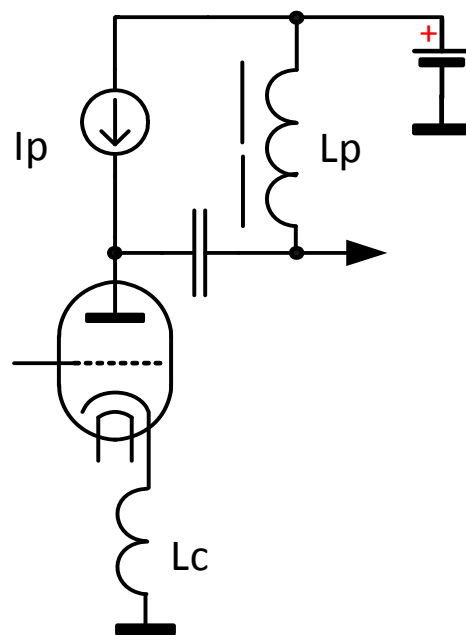


Рисунок 2

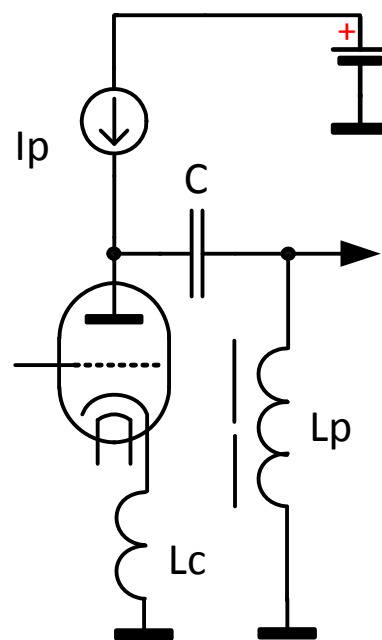


Рисунок 3

Собственно полная схема драйвера приведена на рисунке 5, а его основные электрические параметры приведены ниже. Измерения параметров проводились на эквиваленте нагрузки 10кОм, емкости нагрузки – 200pF и размахе выходного напряжения – 140V.

Коэффициент усиления	124
Максимальный размах выходного напряжения	170V
Частотная характеристика (5Hz÷50kHz)	-1.5dB
Скорость нарастания выходного напряжения	12V/μS
Коэффициент гармоник	0.6%
Выходное сопротивление	600Ом
Входное сопротивление	47кОм



Рисунок 4

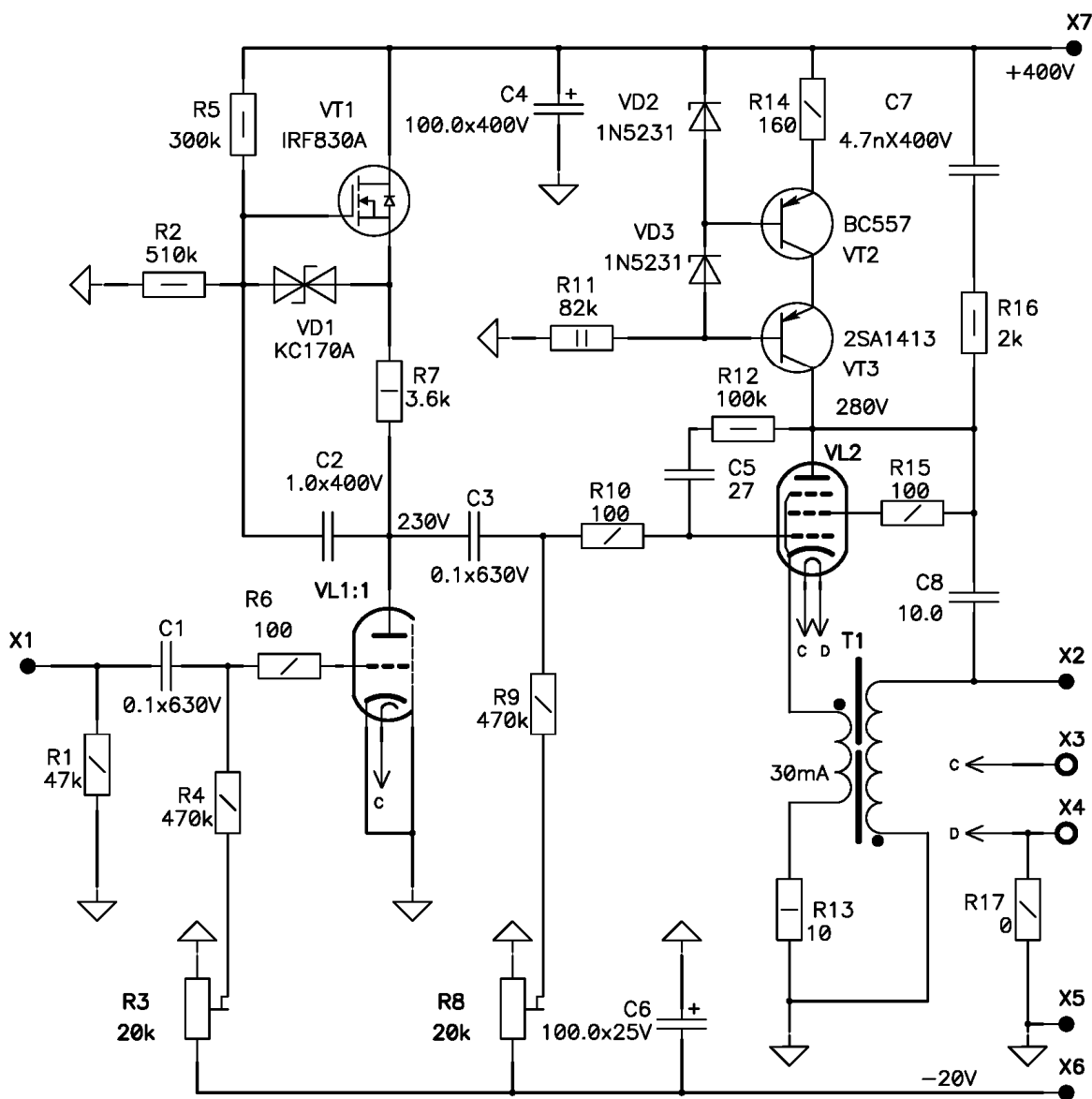


Рисунок 5

Первый каскад реализован по схеме с динамическим питанием и уже многократно описывался в предыдущих статьях. Могу только повториться, что при использовании ламп с широким раскрывом анодных характеристик (6Н8С, 6Н23П, 6Н1П, и т.д.), он позволяет получить большой размах выходного напряжения при исключительно высокой линейности (в схеме использовалась лампа 6Н1П).

В дроссельном каскаде использовалась лампа 6П14П в триодном включении. Лампа работает с большим током покоя (~30mA), и выходной каскад имеет уже вполне заметную выходную мощность – порядка одного ватта. Резистор R13 необходим исключительно для измерения тока покоя и может быть исключен. Цепочка C7, R16 служит для подавления резонансных явлений в дросселе на высоких частотах и подбирается в соответствии с фактическими параметрами дросселя. Цепочка C5, R12 служит для корректирования частотной характеристики каскада на высоких частотах (более 70kHz), и ее параметры тоже связаны с параметрами дросселя. Транзистор VT3 необходимо установить на охладитель с площадью порядка 150см<sup>2</sup>.

Оба каскада работают с фиксированным смещением, цепи которого питаются от отдельного источника. Конечно, для питания драйвера лучше использовать стабилизированные источники, хотя при испытаниях использовался обычный выпрямитель с C-L-C фильтром на выходе.

Дроссель намотан на двух сердечниках ШЛ-16x20 из стали 3425 толщиной 0.08мм, полный зазор в сердечнике – 0.11мм, 7 вертикальных секций. Выходная (анодная) обмотка содержит 302x7+302x7 витков проводом ПЭЛ-2 Ø 0.2мм, катодная обмотка содержит 127x7 витков проводом ПЭЛ-2 Ø 0.27мм и размещена между половинками выходной обмотки.

Индуктивность намагничивания дросселя около 35H, собственная емкость около 50pF. Дроссель желательно экранировать.

Ниже (рисунки 6, 7) приведены спектрограммы выходного сигнала драйвера при двух уровнях выходного напряжения – 50Vrms и 25Vrms соответственно.

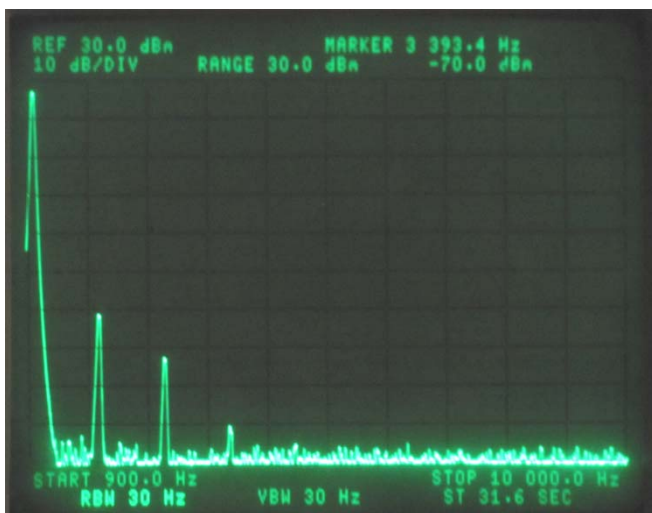


Рисунок 6

(Масштаб по вертикали – 10dB одна большая клетка шкалы)

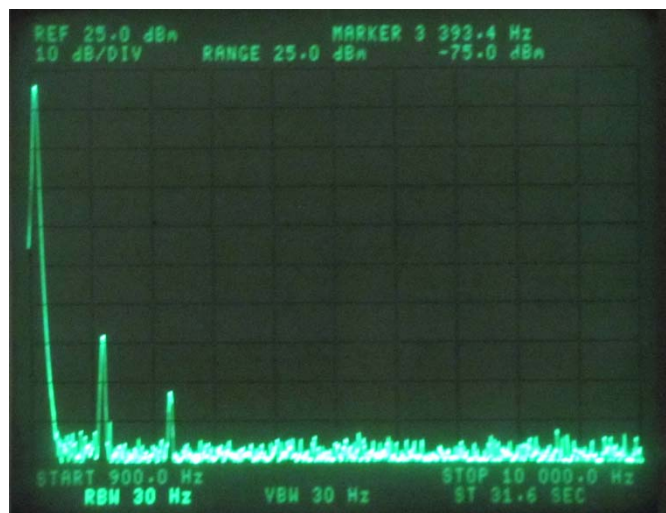


Рисунок 7

В общем, искажения характерны для любого однотактного усилителя – преобладает вторая гармоника, быстрый спад высших гармоник, их малое число. Наиболее важным является малый общий уровень искажений. Это требование было одним из определяющих, так как позволяет «сосредоточить» основные искажения в выходном каскаде и упростить оптимизацию параметров усилителя.

На рисунке 8 показан выходной сигнал при возбуждении усилителя двухполярным импульсным сигналом с крутыми фронтами ( $\sim 20\text{ns}$ ). Длительность переднего и заднего фронта немного отличаются, это явление характерно для любых одноканальных схем в силу их исходной несимметричности. Но, так как усилитель имеет высокую скорость нарастания выходного напряжения и разница в скоростях нарастания между передним и задним фронтом не превышает  $5\div 7\%$ , существенного влияния на звуковые качества это не оказывает.

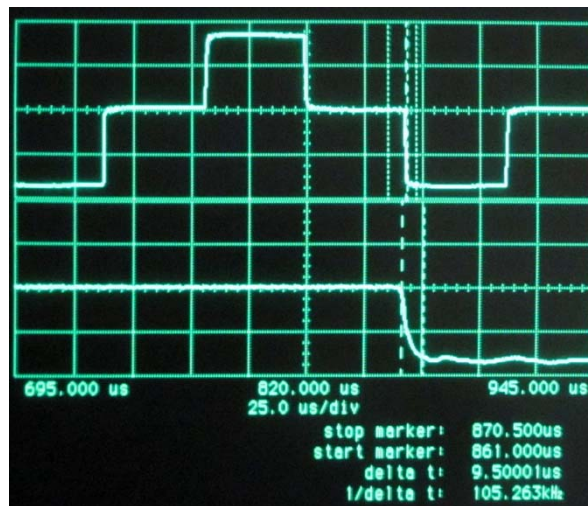


Рисунок 8

К монтажу усилителя не предъявляются какие-либо особые требования, выбор типа деталей – по «вкусу» и глубине кармана. Лампу 6П14П можно заменить на EL84 или аналогичную без ущерба для параметров усилителя, а вот возможность замены 6Н1П на импортные лампы близкие по параметрам необходимо проверять на готовом устройстве.

В заключение я хочу сказать, что эта статья не столько описание готового устройства (хотя драйвер очень хорош и объективно, и субъективно), сколько презентация самой идеи. И в какой-то степени опровержения мнения части «специалистов», что в ламповой технике уже все давным-давно придумано 😊.