ЛАБОРАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ – ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ

А.Л. Гурский
algur106@tut.by

Для отладки ламповых конструкций необходим лабораторный источник питания. Он должен включать источники накального и анодного напряжений. Последний должен быть регулируемым. Для его реализации я выбрал схему регулируемого высоковольтного стабилизатора напряжения, предложенную Е.Карповым [1], с изменениями [2]. В результате получился лабораторный блок питания, показанный на рис.1 – некий функциональный аналог известного УИП-2, только в несколько раз меньше и легче.

Блок выдает переменные накальные напряжения в двух каналах: 6,3 В и 5+1,3 В (ток нагрузки каждого канала примерно 2, 5 А, определяется примененным трансформатором ТН-36, каналы можно включать параллельно и последовательно), а также постоянное анодное напряжение, плавно регулируемое от нескольких вольт до 450 В. Ток нагрузки этого канала ограничен сверху величиной около 140 мА. Ниже я опишу некоторые особенности его реализации – возможно, кому-то это будет полезным.

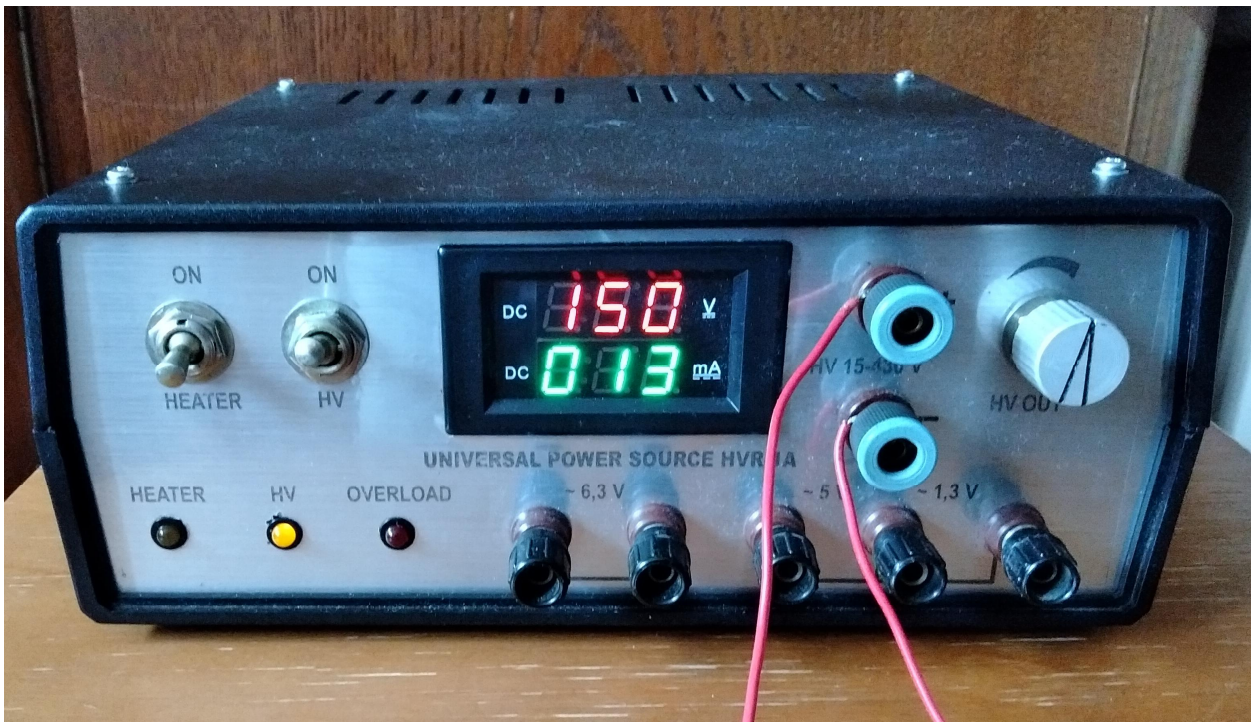


Рисунок 1 – Внешний вид лабораторного блока питания.

Для питания высоковольтного стабилизатора потребовалось намотать силовой трансформатор (подобрать готовый не получилось, зато нашелся подходящий сердечник с пустым каркасом). Трансформатор намотан на сердечнике ШЛ20х40 и имеет 4 обмотки: первичную 1115 витков провода ПЭТВ диаметром 0,41 мм и три вторичных: 1920 витков, 95 витков и 7 8 витков провода ПЭТВ диаметром 0, 355 мм, для получения высокого

напряжения, питания схемы управления стабилизатором (15 В) и совместного питания вентилятора кулера и электронного вольтамперметра, соответственно. Отметим, что совместное питание схемы управления стабилизатором, вентилятора и вольтамперметра от одного источника нежелательно из-за возможного проникания помех от двигателя и электронного вольтамперметра на выход высоковольтного стабилизатора – отсюда две отдельных низковольтных обмотки.

Схема стабилизатора в основном соответствует приведенной в [2], незначительные отличия в основном обусловлены имевшимися в загашнике деталями. Здесь и далее нумерация деталей соответствует схеме [2]. Так, параллельно соединенные R4 -R8 (24 0 к) заменены на гирлянду из 6 резисторов - 5 по 8,2 к + один 7,5 к, включенных последовательно. R15 составлен из двух по 51 к - ибо рассеивает довольно большую мощность при высоких выходных напряжениях $U_{вых}$. R16= 470 Ом. VD2 – Д814Г. С подбором R19, R21 пришлось чуток повозиться, чтобы уложить диапазон $U_{вых}$, их значения отличаются от указанных на схеме (в моем случае 216 и 510 Ом, соответственно). В схему питания + 15 В добавлены 2 электролитических конденсатора – 470 мкФ х 25 В и 1000 мкФ х 16 В на входе и выходе DA1, соответственно. Сообщалось, что без этих конденсаторов схема стабилизатора теряла устойчивость.

После сборки схема заработала без каких-либо проблем, однако есть несколько соображений по ее улучшению.

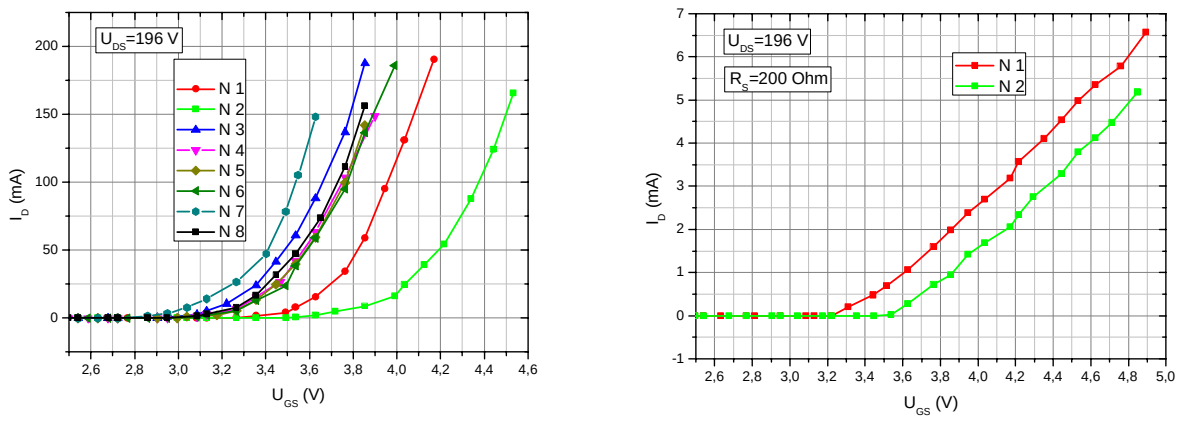
Во-первых, конденсатор С8 желательно составить из двух последовательно соединенных, зашунтировав их выравнивающими резисторами, точно так же, как это сделано на входе стабилизатора. Это оставит их в живых при пробое регулирующего транзистора. В такой ситуации на С8 будет подано полное входное напряжение. А это в моем случае почти 540 В, чего конденсатор на 450 В может не пережить (зарубежные конденсаторы плохо переносят перегрузку по напряжению). Поскольку печатная плата была уже изготовлена под схему, описанную в [2], пришлось ограничится только заменой VD 4 на супрессор 1.5 KE440A – для очистки совести.

Во-вторых, Е.Карпов настоятельно рекомендует включить параллельно несколько регулирующих транзисторов на место единственного V T2. Остановимся на причинах этого подробнее.

При возникновении нештатной ситуации (КЗ в нагрузке) или даже просто в случае, если подключенный макет содержит большие емкости в цепях питания, на регулирующем транзисторе даже в режиме ограничения тока мгновенно начнет выделяться большая мощность. 540 вольт при токе 150 мА дадут уже 80 Вт. Казалось бы, это не превышает паспортную мощность рассеяния транзисторов IRFBG30 (120 Вт, практически предельная для корпусов TO220). Однако, если мы откроем datasheet [3] и взглянем там на рис. 8, где показана область безопасных режимов (ОБР), то увидим, что при напряжении сток-исток U_{DS}=500 В и токе 200 мА канал транзистора нагреется до максимально допустимых 150 °С за несколько десятков

миллисекунд, и это если удерживать температуру корпуса равной 25 °С. Происходит это из-за инерционности процессов теплопередачи от канала к корпусу. Эту инерционность в некоторой степени иллюстрирует рис. 11 в [3], из которого видно, что паспортное значение теплового сопротивления канал-корпус устанавливается примерно за 0,1 с. В предыдущие моменты времени оно значительно больше. Если учесть, что в процессе работы прибора температура корпуса регулирующего транзистора будет, скорее всего, явно выше 25 °С, то становится понятно, что вероятность выхода из ОБР и теплового пробоя в результате динамической перегрузки даже при токе ограничения 140-150 мА весьма высока.

Для того, чтобы не выйти за пределы ОБР в случае нештатной ситуации, целесообразно включить несколько транзисторов параллельно (разумеется, каждый со своими резисторами в цепи затвора и истока). Сопротивление в цепи истока (R14) при этом увеличивается пропорционально числу параллельно включенных транзисторов. В моем случае площадка радиатора (процессорный кулер с медным сердечником) позволяет разместить без проблем 3 транзистора, что соответствует величине сопротивлений в цепи истока 150-160 Ом. Эти сопротивления придется подобрать максимально совпадающими между собой, чтобы избежать разбаланса токов ограничения. Кстати, при возможности не лишним (хотя и не обязательным) будет подбор транзисторов по сток-затворным характеристикам – зависимостям тока стока от напряжения на затворе $I_D(U_{GS})$. Эти зависимости имеют довольно большой разброс. Наличие резисторов в цепи истока, конечно, нивелирует этот разброс, уменьшая разность токов стока при одинаковых U_{GS}, но не устраняет его до конца. В качестве иллюстрации на рис. 2 приведены зависимости $I_D(U_{GS})$ для 8 экземпляров транзисторов без резистора в цепи истока (а) и с резистором 200 Ом (б), снятые при U_{DS} около 200 В.



а) б)

Рисунок 2 – Зависимости $I_D(U_{GS})$ транзисторов IRFBF30 (а), и такие же зависимости для экземпляров № 1 и 2 с резистором в цепи истока (б).

Вместо IRFBG30 можно применить и другие транзисторы этой серии, например, IR FBF30 с максимальным значением U_{DS}=900 В, а также транзисторы других типов. Критерии выбора – U_{DS} намного больше максимального входного напряжения с учетом амплитуды пульсаций, рассеиваемая мощность – чем побольше, ОБР не хуже чем у IRFBx30, динамика теплопередачи от структуры к корпусу – чем получше.

При размещении транзисторов VT2 на радиаторе не забываем о теплопроводящей пасте (лучше на основе серебра). Ее слой должен быть максимально тонким, задача – заполнение воздушных промежутков в неровностях между корпусом транзистора и радиатором. Весьма желательно принудительное воздушное охлаждение, поскольку нужно эффективно рассеивать до 80 Вт мощности. Транзистор VT1 установлен на плате и снабжен небольшим ребристым радиатором размерами приблизительно 50x30x10 мм – его вполне хватит, так как мощность, рассеиваемая VT1, относительно невысока (до 3 Вт).

Весь блок удалось поместить в корпус Z-17W фирмы Kradex. На рис.3 показаны «внутренности» блока со снятой верхней крышкой.

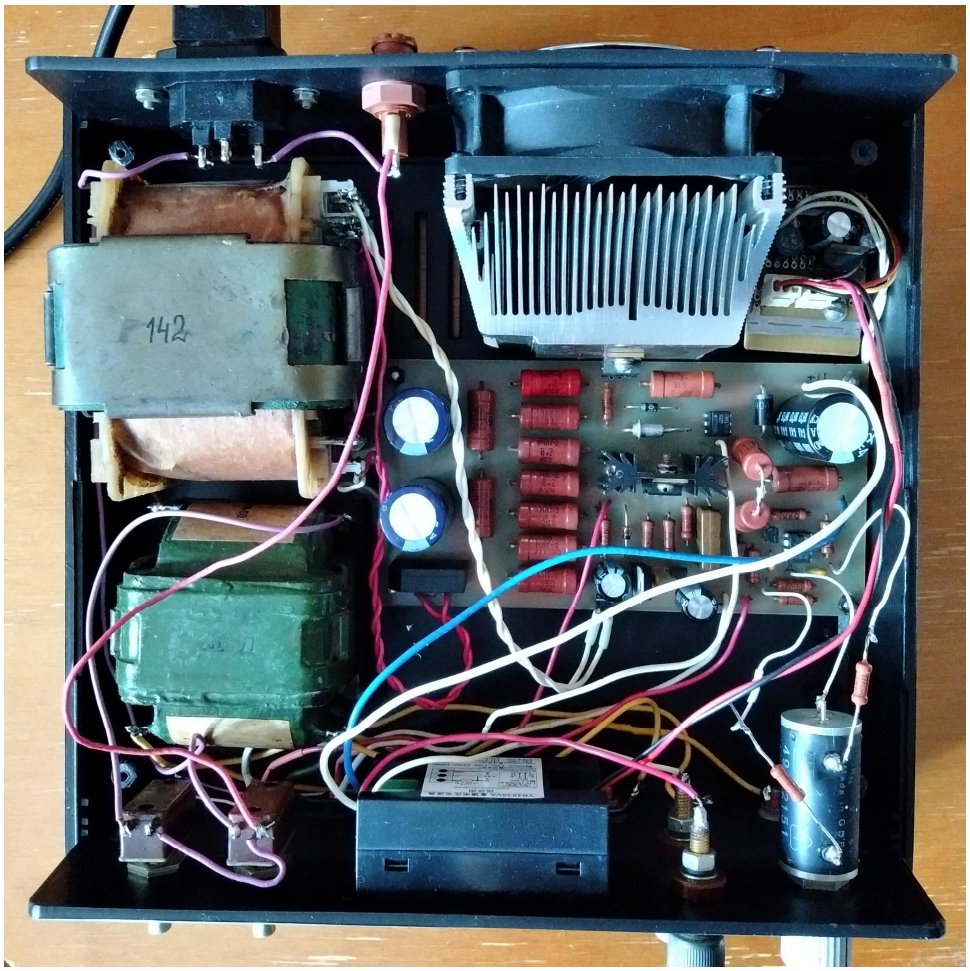


Рисунок 3 – Вид лабораторного блока питания со снятой верхней крышкой.

В качестве вольтамперметра применен блок YB4835VA, пределы измерения 0-600 В, 0-999 мА, с Алиэкспресс. Показания его вольтметра

совпадают с точностью до 1 В с показаниями контрольного прибора. Показания миллиамперметра в этом экземпляре оказались заниженными примерно на 2 мА.

Некоторые параметры стабилизатора имеющимися средствами измерить оказалось довольно сложно. Так, при активной нагрузке 10 к и выходном напряжении 200 В размах пульсаций на входе составил 5,3 В, а вот на выходе величина пульсаций (амплитуда около 10 мВ) оказалась сопоставимой с уровнем шумов (для шума измерено значение 12 мВ RMS, устройство довольно шумное). Таким образом, коэффициент подавления пульсаций составляет примерно 250– 300, косвенно по этому значению можно приблизительно судить и о коэффициенте стабилизации. Реакция стабилизатора на импульсное изменение нагрузки (скачок от 15 к до 120 к и обратно) носит апериодический характер, напряжение изменяется примерно на 7–8 мВ. Это соответствует выходному сопротивлению на постоянном токе примерно 0,6–0,7 Ом.

В заключение – предостережение. В устройстве действуют опасные для жизни напряжения (свыше 500 В на входе стабилизатора и до 450 В – на выходе). При этом оно способно выдавать ток более 100 мА. Ток в 100 мА, как известно, смертелен для человека. Под потенциалом свыше 500 В находится, в частности, радиатор регулирующего транзистора, занимающий значительную часть корпуса. Поэтому при работе с устройством следует быть предельно осторожным, внимательным и аккуратным. Небрежность здесь смертельно опасна. Помните об этом!

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.Карпов. Высоковольтный стабилизатор с широким диапазоном регулировки выходного напряжения.
2. Е.Карпов. Высоковольтный стабилизатор с широким диапазоном регулировки выходного напряжения. Дополнение к статье.
3. IRFBG30 Power MOSFET. Vishay Siliconix Datasheet.