

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОПЕРЕХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ КТ117

(На основе книги Я. С. Кублановского «Тиристорные Устройства»)

Составитель Р.Н. Узяков

Тиристорные регуляторы мощности на основе простых и надежных генераторов управляющих импульсов, выполненных на однопереходных транзисторах (ОПТ) КТ 117, имеют широкое распространение среди радиолюбителей. Об этом говорит огромное количество таких схем в Интернете, большинство из которых при входных и выходных параметрах регулятора мощности точно соответствующих схеме обеспечивают надежную работу. Однако при изменении параметров регулятора мощности или замене тиристора на имеющийся или более мощный необходим пересчет номиналов элементов генератора. Но в Интернете понятной методики расчета генераторов управляющих импульсов, выполненных на однопереходных транзисторах КТ 117, обнаружить не удалось. И кроме того на некоторых форумах даются неверные советы по выбору номиналов элементов схем на транзисторах КТ 117.

Наиболее полно вопросы, связанные со схемами на тиристорах изложены в [1].

В этой статье мы коснемся только расчета номиналов элементов генератора на транзисторах КТ 117, применительно к тиристорным регуляторам мощности и приведем необходимые примеры расчетов. Индексы элементов в формулах соответствуют представленной рисунке 1 схеме, а значительная часть текста заимствована из книги Я. С. Кублановский Тиристорные устройства.

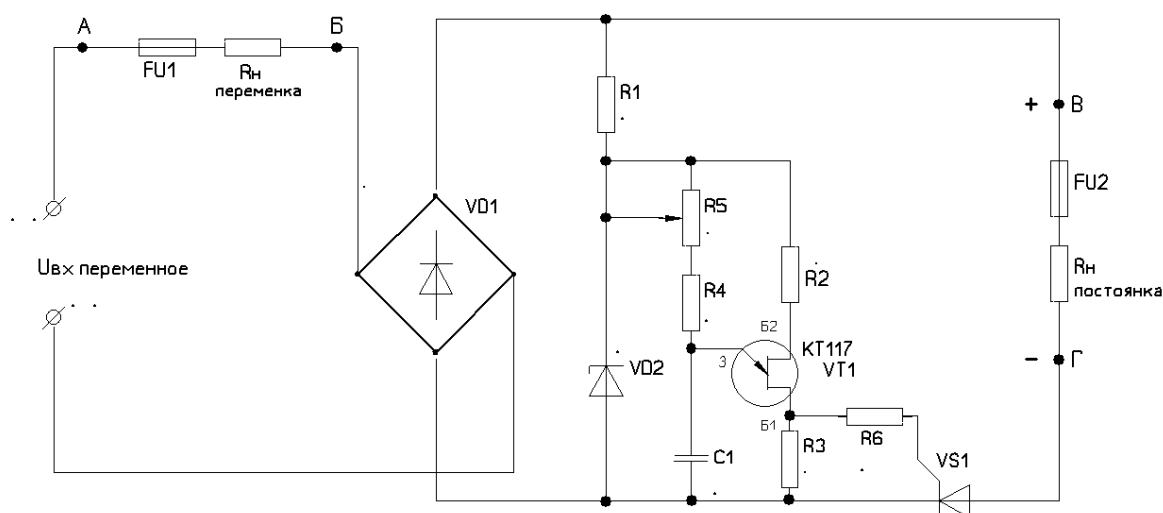


Рис. 1 Принципиальная схема регулятора мощности.

Тиристорные регуляторы мощности можно использовать для регулирования переменного и постоянного тока. Если в схеме между точками «В» и «Г» установить перемычку вместо FU2 и Rн постоянка то схема будет регулировать мощность по переменному току на Rн переменка

(вариант 1). Если в схеме между точками «А» и «Б» установить перемычку вместо $FU1$ и Rn переменка то схема будет регулировать мощность по постоянному току на Rn постоянка (вариант 2). Такие схемы обычно используются в качестве зарядных устройств для автомобильных аккумуляторов. Следует отметить, что данные регуляторы мощности следует использовать в основном для активной нагрузки.

Если выход генератора соединен непосредственно или через резистор с управляющим электродом тиристора, то сопротивление резистора R_3 должно ограничиваться таким образом, чтобы падение напряжения на нем, обусловленное междубазовым током при закрытом ОПТ, не превышало неотпирающего напряжения управления тиристора, т.е. не вызывало бы ложного включения прибора. С учетом этого требования сопротивление резистора R_3 следует выбирать из условия

$$\frac{U_{\text{пит}} \times R_3}{R_{\text{Б1Б2}} + R_2 + R_3} \leq U_{\text{у.нот}}$$

Обычно сопротивление резистора R_3 выбирается равным примерно 100 Ом, если в паспорте на тиристор нет другой рекомендации, например для КУ202 по паспорту $R_3 = 51$ Ом.)

Коэффициент передачи η , а следовательно, и напряжение включения $U_{\text{Э вкл}}$ мало зависят от температуры. Однако если необходима высокая стабильность напряжения включения, то для термостабилизации $U_{\text{Э вкл}}$ в диапазоне температур последовательно в цепи базы 2 включается резистор (R_2 на рис.1). Сопротивление этого резистора можно определить из соотношения

$$R_2 = \frac{0,4 \times R_{\text{Б1Б2}}}{\eta \times U_{\text{пит}}} + \frac{(1 - \eta) \times R_3}{\eta}$$

Обычно сопротивление резисторов R_2 и R_3 значительно меньше междубазового сопротивления (т.е. $R_2 \ll R_{\text{Б1Б2}}$ и $R_3 \ll R_{\text{Б1Б2}}$), и поэтому напряжение включения по-прежнему линейно зависит лишь от междубазового напряжения однопереходного транзистора

$$U_{\text{Э вкл}} \approx \eta \times U_{\text{Б1Б2}} \approx \eta \times U_{\text{пит}}$$

Сопротивление резисторов R_4 и R_5 рис.1 должно обеспечивать автоколебательный режим генератора и выбирается из условия

$$\frac{U_{\text{пит}} \times (1 - \eta)}{I_{\text{Э вкл}}} > (R_4 + R_5) > \frac{U_{\text{пит}}}{I_{\text{Э выкл}}}$$

Период повторения импульсов генератора будет определяться в основном продолжительностью заряда конденсатора до напряжения $U_{\text{Э вкл}}$ и определяется

$$T \approx (R_4 + R_5) \times C_1$$

Угол отпираания тиристоров может изменяться от 5° до 180° , тем самым выходное напряжение изменяется от максимального значения до нуля. При питании схемы от сети переменного тока после диодного моста VD_1 рис. 1 будем иметь пульсирующее напряжение частотой 100 Гц с периодом $T = 0,01$ с. Тогда $T = 0,01$ с = 180° , а $T = 0,00028$ с = 5° , и следовательно

$$(R_4 + R_5) \times C_1 = 0,01 \text{ с}, \quad \text{а} \quad R_4 \times C_1 = 0,00028 \text{ с}$$

В качестве примера рассчитаем схему регулировки мощности по переменному току (вариант 1) и схему регулировки мощности по постоянному току (вариант 2).

Вариант 1 – регулирование переменного напряжения

$U_{вх} = 230 \text{ В}$, $P_H = 1500 \text{ Вт}$, отсюда $R_H = 35,27 \text{ Ом}$, $I_H = 6,52 \text{ А}$.

ПРИНИМАЕМ:

диодный мост - GBJ1006 (КВРС1006) – 10 А (с радиатором), 600 В;

тиристор – КУ202Н – 10 А, 400 В, (для данного тиристора паспорту $R_3 = 51 \text{ Ом}$);

стабилитрон – Д814В – $U_{ст} = 10 \text{ В}$, $I_{ст\ min} = 3 \text{ мА}$, $I_{ст\ max} = 32 \text{ мА}$;

однопереходной транзистор – КТ 117А – $\eta = 0,6$, $R_{Б1Б2} = 6 \text{ кОм}$, $I_{Э\ вкл} = 20 \text{ мкА}$, $I_{Э\ выкл} = 12 \text{ мА}$.

$$R_2 = \frac{0,4 \times R_{Б1Б2}}{\eta \times U_{пит}} + \frac{(1 - \eta) \times R_3}{\eta} = \frac{0,4 \times 6000 \text{ Ом}}{0,6 \times 10 \text{ В}} + \frac{(1 - 0,6) \times 51 \text{ Ом}}{0,6} = 400 + 34 = 434 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_2 = 430 \text{ Ом}$.

$$\frac{U_{пит} \times (1 - \eta)}{I_{Э\ вкл}} = \frac{10 \text{ В} \times 0,4}{0,00002 \text{ А}} = 200000 \text{ Ом} > (R_4 + R_5) > \frac{U_{пит}}{I_{Э\ выкл}} = \frac{10 \text{ В}}{0,012 \text{ А}} = 833 \text{ Ом}$$

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО примем $R_4 = 910 \text{ Ом}$ и определим C_1

$$C_1 < \frac{0,00028 \text{ с}}{910 \text{ Ом}} = 0,00000031 \text{ ф} = 0,31 \text{ мкф}$$

ПРИНИМАЕМ: $C_1 = 0,22 \text{ мкф}$ тогда

$$R_4 = \frac{0,00028}{0,00000022} = 1272 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_4 = 1300 \text{ Ом}$ (1,3 кОм), что больше чем 833 Ом.

$$R_5 = \frac{0,01}{0,00000022} = 45455 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_5 = 50000 \text{ Ом}$ (50 кОм), что меньше чем 200 кОм

$$R_1 = \frac{U_{вх} - U_{ст}}{I_{ст\ min} + I_{н\ генератора}} = \frac{230 \text{ В} - 10 \text{ В}}{0,003 \text{ А} + 0,009 \text{ А}} = 18333 \text{ Ом}$$

где, $I_{н\ генератора}$ – ток потребления генератора импульсов.

ПРИНИМАЕМ: $R_1 = 18000 \text{ Ом}$ (18 кОм), тогда мощность R_1

$$P_{R1} = U \times I = 220 \text{ В} \times 0,012 \text{ А} = 2,64 \text{ Вт}$$

Для снижения мощности сопротивления R_1 необходимо увеличить R_4 дающего максимальный вклад в величину $I_{н\ генератора}$, что потребует уменьшения емкости C_1 , и пересчёта R_4 , R_5 и R_1 .

ПРИНИМАЕМ: $C_1 = 0,1$ мкФ тогда

$$R_4 = \frac{0,00028}{0,0000001} = 2800 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_4 = 3000$ Ом (3 кОм), что больше чем 833 Ом.

$$R_5 = \frac{0,01}{0,0000001} = 100000 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_5 = 100000$ Ом (100 кОм), что меньше чем 200 кОм

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст min}} + I_{\text{н генератора}}} = \frac{230 \text{ В} - 10 \text{ В}}{0,003 \text{ А} + 0,0049 \text{ А}} = 27848 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_1 = 30000$ Ом (30 кОм), тогда мощность R_1

$$P_{R1} = U \times I = 220 \text{ В} \times 0,012 \text{ А} = 1,738 \text{ Вт} \approx 2 \text{ Вт}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_6 = 0$ Ом – перемычка для КУ202Н.

Вариант 2 – регулирование постоянного напряжения (зарядное устройство для автомобильных аккумуляторов):

$U_{\text{вх}} = 18 \dots 20$ В, $I_{\text{н}} = 15$ А, $U_{\text{н}} = 14,4$ В, отсюда $P_{\text{н}} = 216$ Вт, $R_{\text{н}} = 0,96$ Ом.

ПРИНИМАЕМ:

диодный мост – GBJ5002 (КВРС5002) – 50 А (с радиатором, без радиатора 5,2 А), 200 В;

тиристор – 2N6509G (Т122- 25-8) – 25 А (с радиатором), 800 В

(тиристор 2N6509G – стоит 220 рублей, и на меньшее напряжение нет в продаже, Т122-25-8 – 730 рублей);

стабилитрон – Д814В – $U_{\text{ст}} = 10$ В, $I_{\text{ст min}} = 3$ мА, $I_{\text{ст max}} = 32$ мА;

однопереходной транзистор – КТ 117А – $\eta = 0,6$, $R_{\text{Б1Б2}} = 6$ кОм, $I_{\text{Э вкл}} = 20$ мкА, $I_{\text{Э выкл}} = 12$ мА.

ПРИНИМАЕМ: $R_3 = 100$ Ом.

$$R_2 = \frac{0,4 \times R_{\text{Б1Б2}}}{\eta \times U_{\text{пит}}} + \frac{(1 - \eta) \times R_3}{\eta} = \frac{0,4 \times 6000 \text{ Ом}}{0,6 \times 10 \text{ В}} + \frac{(1 - 0,6) \times 100 \text{ Ом}}{0,6} = 400 + 67 = 467 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_2 = 470$ Ом.

$$\frac{U_{\text{пит}} \times (1 - \eta)}{I_{\text{Э вкл}}} = \frac{10 \text{ В} \times 0,4}{0,00002 \text{ А}} = 200000 \text{ Ом} > (R_4 + R_5) > \frac{U_{\text{пит}}}{I_{\text{Э выкл}}} = \frac{10 \text{ В}}{0,012 \text{ А}} = 833 \text{ Ом}$$

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО примем $R_4 = 910$ Ом и определим C_1

$$C_1 < \frac{0,00028 \text{ с}}{910 \text{ Ом}} = 0,00000031 \text{ ф} = 0,31 \text{ мкФ}$$

ПРИНИМАЕМ: $C_1 = 0,33$ мкФ тогда

$$R_4 = \frac{0,00028}{0,00000033} = 848 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_4 = 910 \text{ Ом}$, что больше чем 833 Ом .

$$R_5 = \frac{0,01}{0,00000033} = 30303 \text{ Ом}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_5 = 33000 \text{ Ом}$ (33 кОм), что меньше чем 200 кОм

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст min}} + I_{\text{н генератора}}} = \frac{20 \text{ В} - 10 \text{ В}}{0,003 \text{ А} + 0,013 \text{ А}} = 625 \text{ Ом}$$

где, $I_{\text{н генератора}}$ – ток потребления генератора импульсов.

ПРИНИМАЕМ: $R_1 = 620 \text{ Ом}$, тогда мощность R_1

$$P_{R1} = U \times I = 10 \text{ В} \times 0,016 \text{ А} = 0,16 \text{ Вт} \approx 0,5 \text{ Вт}$$

ПРИНИМАЕМ: $R_6 = 51 \text{ Ом}$.

Следует дать пояснение, почему в варианте 1 сопротивление $R_6 = 0 \text{ Ом}$, а в варианте 2 $R_6 = 51 \text{ Ом}$. Это связано с паспортными параметрами управления тиристоров. Для тиристора КУ202 отпирающее постоянное напряжение управления $U_{y. \text{отп}} = 7 \text{ В}$, а практически для всех остальных тиристоров этот параметр имеет максимальное значение в пределах $1,5 \dots 2,5 \text{ В}$. А напряжение до которого заряжается конденсатор $C_1 \approx \eta \times U_{\text{пит}}$ в нашем случае $0,6 \times 10 \text{ В} = 6 \text{ В}$. И если превысить это напряжение то тиристор выходит из строя. Резистор R_6 ограничивает ток управления и как следствие напряжение на управляющем электроде тиристора.

Используя предложенные формулы можно не только рассчитать регулятор мощности на основе простых и надежных генераторов управляющих импульсов, выполненных на однопереходных транзисторах КТ 117, но и проверить предлагаемые в Интернете аналогичные решения, что позволит начинающим радиолюбителям более объективно относиться к схемам в Интернете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яков Соломонович Кублановский Тиристорные Устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.: ил. – (Массовая радио-библиотека. Вып. 1104).