

и потребляемый ток, кроме того, для улучшения $K_{ст}$ необходимо стабилизировать ток питания стабилитрона. Уменьшить образцовое напряжение на стабилитроне VD1 можно, увеличив падение напряжения на диоде VD3: вместо кремниевого диода необходимо использовать светодиоды, например, серии АЛ102 с падением напряжения в прямом включении около 1,7 В. Здесь $U_{вых}$ стабилизатора больше образцово примерно на 1,1 В. Применение низковольтных стабилитронов или стабилитронов нежелательно, так как это ухудшает параметры стабилизатора. Для стабилизации тока, протекающего через стабилитрон VD1, вместо резистора R1 можно использовать полевой транзистор (см. рис. 6,б).

Так как при $U_{отс}=U_{вых}$ падение напряжения на стабилизаторе тока равно 1,1 В, то для получения малого значения $\Delta U_{мин}$, полевой транзистор должен иметь $U_{отс} < 0,85$ В. Это требование усложняет подборку транзистора, так как большинство подходящих типов полевых транзисторов имеют $U_{отс} > 1$ В (в сетевых блоках питания такая проблема практически отсутствует).

Если последовательно со светодиодом серии АЛ102 включить какой-либо маломощный кремниевый диод, то с небольшим ухудшением параметров можно использовать полевые транзисторы с $U_{отс}$ до 1,2 В. В этом случае ТКН стабилизатора сдвигается в сторону отрицательных значений примерно на 2 мВ/°С, а формула для выходного напряжения принимает следующий вид:

$$U_{вых} \approx U_{VD1} + 1,7 \text{ В.}$$

Для надежного запуска стабилизатора, при уменьшенном токе питания стабилитрона VD1, необходимо последовательно с диодом VD2 включить еще один диод. Это связано с тем, что при токе менее 1 мА падение напряжения на диоде VD2 (в момент включения или после устранения короткого замыкания) может оказаться меньше напряжения база—эмиттер транзистора VT2, необходимого для его открывания и запуска стабилизатора (особенно при низкой температуре). Если ток короткого замыкания окажется слишком большим, то один из этих диодов можно заменить на германиевый (серии Д9, Д310 и т.п.).

Улучшенный вариант стабилизатора со стабилизатором тока на полевом транзисторе КП303Б ($U_{отс}=0,84$ В) был испытан со стабилитронами разных типов при двух значениях тока I_{VD1} . Получены следующие результаты:

Таблица 2

Тип стабилитрона VD1	I_{VD1} , мкА	R1, кОм	R2, кОм	$U_{вых}$, В	ТКН, мВ/°С
КС133А	150	3,9	3,3	3,1	-0,9
	20	43	3,3	2,6	-0,6
КС139А	150	3,9	3,3	3,3	-0,7
	20	43	3,3	2,8	+0,5
КС147А	150	3,9	6,2	4,3	-1,0
	20	43	6,2	3,8	-0,5
КС156А	150	3,9	8,2	5,1	-0,7
	20	43	8,2	4,3	+0,5
КС168А	150	3,9	20	7,9	+2,3
	20	43	20	6,9	+1,9
Д814А	150	3,9	33	9,4	+6,0
	40	20	33	9,3	+4,4

Таблица 3

Тип стабилитрона VD1	Тип транзистора VT1	I_{VD1} , мкА	R3, кОм	$U_{вых}$, В	$K_{ст}$	ТКН, мВ/°С	$\Delta U_{мин}$, В
АЛ102Б	КП303И $U_{отс}=1,2$ В	150	3,3	2,8	120	-1,7	0,11
		20	3,3	2,7	90	-1,8	0,11
КС133А	КП303И $U_{отс}=1,2$ В	150	3,3	3,1	100	-0,9	0,11
		20	3,3	2,5	80	-0,3	0,11
КС439А	КП303И $U_{отс}=1,2$ В	150	4,3	3,3	110	-0,6	0,11
		20	3,3	2,8	105	+0,5	0,12
КС156А	КП302А $U_{отс}=2$ В	150	9,1	5,0	60	-0,3	0,13
		20	6,2	4,2	50	+0,9	0,13
КС168А	КП302А $U_{отс}=2$ В	150	13	8,3	110	+5,0	0,12
		40	13	8,1	65	+3,0	0,14
Д814А	КП302Б $U_{отс}=5,2$ В	150	27	9,3	110	+6,0	0,14
		40	27	9,25	55	+4,5	0,16

$K_{ст}=50...100$; $\Delta U_{мин}$ не более 0,14 В при $I_{и}=20$ мА и не более 0,20 В при $I_{и}=30$ мА; $R_{вых} \approx 2,0$ Ом; $I_{нотр}$ (без нагрузки) не более 0,7 мА; $I_{кз}$ при $U_{вх}=2U_{вых}$ не более 50 мА (диоды VD2 и VD3 — КД103А и $I_{отр}=65...100$ мА).

Выходное напряжение при разных значениях тока через стабилитрон и сопротивление резисторов (R1 — резистор в цепи истока полевого транзистора) представлены в табл. 2.

С низковольтными стабилитронами КС119А, КС133А, КС139А, КС147А, а также со светодиодами следует использовать стабилизатор тока (см. рис. 6,в). Здесь можно применить более распространенные полевые транзисторы с $U_{отс} > 1$ В ($U_{отс}$ должно быть немного меньше напряжения стабилизации стабилитрона VD1 при минимальном токе).

Параметры стабилизатора с применением вышеуказанных стабилитронов примерно такие же, как и у предыдущего, но ТКН сдвигается в сторону положительных значений на 2...3 мВ/°С.

Использование стабилитронов на большее напряжение нецелесообразно из-за ухудшения $K_{ст}$ и $\Delta U_{мин}$.

Как компромисс допускается использовать комбинированный вариант (рис. 11). Для улучшения обратной связи в цепь истока транзистора VT1 включен резистор R1 с таким сопротивлением, чтобы при выбранном токе стабилитрона VD1 на резисторе создавалось падение напряжения 0,5 В. Транзистор VT1 выбирает из условия $U_{отс} < U_{ст VD1} + 0,3$ В. Недостаток схемы — сильное сужение интервала подстройки выходного напряжения при неизменном сопротивлении резистора R1, так как необходимо, чтобы падение напряжения на нем при изменении тока стабилизации находилось в пределах 0,3...0,9 В.

Параметры различных вариантов стабилизатора, рассчитанного на ток ограничения 60...90 мА при токе нагрузки 20 мА, приведены в табл. 3. Потребляемый ток (без нагрузки) — не

более 0,7 мА. Ток короткого замыкания при $U_{вх}=2U_{вых}$ — не более 50 мА. Сопротивление резистора R1 равно 24, 12 и 3,3 кОм для тока питания стабилитрона VD1, равного 20, 40 и 150 мкА соответственно.

Большой интервал регулирования выходного напряжения обеспечивают стабилизаторы, собранные с использованием аналога стабилитрона на двух (см. рис. 7) и трех (см. рис. 8) транзисторах. Минимальное выходное напряжение этих стабилизаторов равно $U_{отс} + 1,6$ В. Максимальное значение $(2...3)U_{отс} + 1,6$ В ограничивается ухудшением ТКН.

Ток стабилизации ($I_{ст}$) аналога стабилитрона зависит от сопротивления резистора R1 (см. рис. 7, 8) и входного напряжения. Стабилизаторы испытаны на ток нагрузки 20 мА с полевыми транзисторами разных типов при различных значениях напряжения на выходе, устанавливаемых с помощью переменного резистора сопротивлением 1,0 МОм в цепи истока. Получены

Таблица 4

Тип транзистора VT1	R3, кОм	$U_{вых}$, В	$K_{ст}$	ТКН, мВ/°С	$\Delta U_{мин}$, В
КП303Б $U_{отс}=0,84$ В	3,0	2,6	30	-0,1	0,12
	6,2	3,5	40	+2,8	0,14
КП302А $U_{отс}=1,96$ В	7,5	3,7	50	-0,1	0,12
	13	5,7	60	+2,3	0,14
КП302Г $U_{отс}=5,02$ В	20	6,7	60	-0,5	0,14
	33	11	80	+1,5	0,18

Таблица 5

Тип транзистора VT1	R3, кОм	$U_{вых}$, В	$K_{ст}$	ТКН, мВ/°С	$\Delta U_{мин}$, В
КП302А $U_{отс}=1,96$ В	9,1	3,5	90	-0,2	0,12
	12	5,6	80	+1,5	0,12
КП303Е $U_{отс}=3,68$ В	20	5,2	100	-2,0	0,12
	30	9	90	-1,2	0,13
КП302Г $U_{отс}=5,02$ В	27	6,6	110	-1,0	0,12
	33	11	110	+0,4	0,14

следующие результаты (при $U_{вх}=2U_{вых}$, $R1=120$ кОм, $I_{ст}=35...70$ мкА): $I_{нотр}$ (без нагрузки) не более 0,6 мА; $R_{вых} \approx 2,0$ Ом; $I_{отр}=60...90$ мА.

Остальные параметры стабилизаторов, выполненных с использованием аналогов стабилитронов (см. рис. 7, 8), приведены в табл. 4 и 5 соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

13. Попович В. Усовершенствование стабилизатора напряжения. — Радио, 1977, №9, с.56.

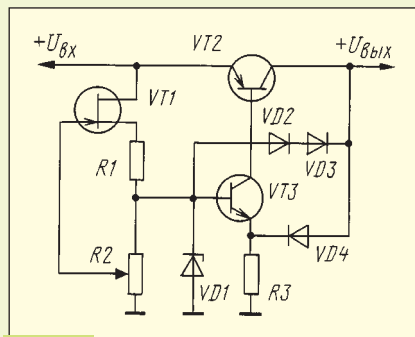


Рис. 11

(Окончание следует)