

Рис. 6

КП313) также не исключено, но разброс ТКН у них больше.

Так как стабилизатор тока на полевом транзисторе — двухполюсник, то последовательное включение дополнительного резистора (рис. 6,а) позволяет увеличить образцовое напряжение. Заменяв резистор в цепи истока потенциометром и регулируя напряжение обратной связи на затворе, можно увеличивать напряжение на истоке транзистора от  $U_{отс}$  в широких пределах, но лучше ограничиться значением  $2...3U_{отс}$ , а для получения больших образцовых напряжений использовать полевые транзисторы с большим  $U_{отс}$ . Это позволяет улучшить ТКН.

Недостатками ИОН по такой простой схеме являются сравнительно высокое выходное сопротивление и повышенный положительный ТКН. Улучшить эти параметры, а заодно и повысить  $K_{ст}$  до 50...80 позволяет комбинация стабилизатора тока со стабилизаторами, имеющими отрицательный ТКН (КС133А, КС139А, КС147А, КС156А, КС168А) (рис. 6,б). Минимальное напряжение питания должно быть выше образцового на величину  $U_{отс}$  с некоторым запасом, поэтому, если входное напряжение ненамного превышает напряжение стабилизации, полевые транзисторы лучше выбирать с небольшим  $U_{отс}$ . Переменным резистором в цепи затвора, изменяя ток стабилизации в некоторых пределах, можно регулировать образцовое напряжение ИОН.

Светодиоды и стабилитроны КС119А, КС133А, КС139А, КС147А для "экономии" напряжения питания включают параллельно переменному резистору в цепи истока полевого транзистора (рис. 6,в). Сопротивление резистора может быть от нескольких сотен

кОм до нескольких МОм. Напряжение отсечки полевого транзистора должно быть немного меньше образцового напряжения ИОН, поэтому можно использовать более распространенные полевые транзисторы с  $U_{отс} > 1$  В. Образцовое напряжение можно регулировать в небольших пределах изменением тока стабилизации.

Стабилитрон, подключенный параллельно резистору, стабилизирует напряжение на истоке транзистора и ухудшает обратную связь на затворе. Поэтому такое включение эффективно только для низковольтных стабилитронов с незначительным коэффициентом стабилизации.

Улучшить параметры ИОН на основе стабилизатора тока можно с помощью дополнительного биполярного транзистора (рис. 7,а). В отличие от аналогов стабилитронов с использованием только биполярных транзисторов [10—12] это устройство содержит меньше деталей, хорошо работает в режиме малого тока и имеет низкий ТКН. Биполярный транзистор лучше использовать маломощный кремниевый с большим коэффициентом передачи тока серии КТ3102, КТ3107, КТ342 и т.п., так как рабочий интервал тока такого аналога стабилитрона прямо пропорционален коэффициенту передачи тока ( $h_{21э}$ ) транзистора VT2. Отрицательный ТКН перехода база—эмиттер биполярного транзистора частично компенсирует положительный ТКН полевого транзистора, поэтому суммарный ТКН находится в пределах  $-0,02...+0,04\%/^{\circ}\text{C}$  в нижнем положении движка переменного резистора (в случае использования полевых транзисторов с р-п переходом).

На рис. 7,б показаны вольт-амперные характеристики аналога стабили-

трона при разных положениях движка переменного резистора. Как видно, интервал рабочего тока устройства ограничен. Минимальный ток стабилизации определяется сопротивлением резистора в цепи истока (этот ток должен быть достаточным для создания падения напряжения, равного образцовому), а максимальный ток при выбранном сопротивлении резистора R2 определяется коэффициентом передачи тока транзистора VT2 (максимальный ток базы, а следовательно, и коллектора ограничен резистором, поэтому при увеличении тока стабилизации образцовое напряжение также начинает увеличиваться). При увеличении образцового напряжения в 2 раза (потенциометром в цепи истока) минимальный и максимальный токи стабилизации также увеличиваются примерно в 2 раза. ТКН при этом может возрасти до  $+0,08\%/^{\circ}\text{C}$ .

Упрощенный расчет аналога стабилитрона производится в следующей последовательности: определяют минимальный ток стабилизации, подбирают полевой транзистор с определенным напряжением отсечки, рассчитывают сопротивление резистора в цепи истока, определяют максимальный ток стабилизации. Для расчета можно воспользоваться соотношениями:

$$I_{ст\ min} > 5I_n;$$

$$U_{обр\ min} \approx U_{отс} + U_{БЭ} \text{ или } U_{отс} \approx U_{обр\ min} - 0,6 \text{ В};$$

$$R_{и} \approx 2U_{отс}/I_{ст\ min} \text{ (если } U_{обр} \text{ не будет регулироваться);}$$

$$R_{и} \approx 2(U_{обр\ max} - 0,6 \text{ В})/I_{ст\ min} \text{ (если } U_{обр} \text{ регулируемое);}$$

$$I_{ст\ max} \approx I_{к\ max}/2 = (I_{Б} \cdot h_{21э})/2 = (U_{отс}/R_{и})h_{21э}/2 = U_{отс} \cdot h_{21э}/2R_{и},$$

где  $I_{ст\ min}$  — минимальный ток стабилизации;  $I_n$  — максимальный ток нагрузки;  $I_{ст\ max}$  — максимальный ток стабилизации;  $I_{к\ max}$  — максимальный ток коллектора транзистора VT2;  $I_{Б}$  — ток базы транзистора VT2;  $R_{и}$  — сопротивление резистора (или резисторов) в цепи истока;  $U_{обр\ min}$  — минимальное образцовое напряжение;  $U_{отс}$  — напряжение отсечки транзистора VT1;  $U_{БЭ}$  — падение напряжения на переходе база—эмиттер транзистора VT2;  $h_{21э}$  — статический коэффициент передачи тока транзистора VT2; 2 — эмпирический коэффициент, учитывающий ухудшение параметров вблизи граничного тока стабилизации.

Расширить интервал рабочего тока аналога стабилитрона можно добавлением еще одного транзистора (рис. 8). Этот транзистор, в случае необходимости стабилизации большого тока, может быть мощным, установленным на теплоотводе или непосредственно на металлическом корпусе (если транзисторы VT2 и VT3 одинаковой структуры).

Аналог стабилитрона (рис.8) по своим параметрам превосходит большинство стабилитронов, особенно при стабилизации малого тока. Преимущество — возможность регулирования образцового напряжения в больших пределах. При расчете трехтранзисторного аналога стабилитрона вместо параметров транзистора VT2 в формулы подставляют параметры составного транзистора. Резистор R4 служит для устранения влияния обратного тока коллектора и может

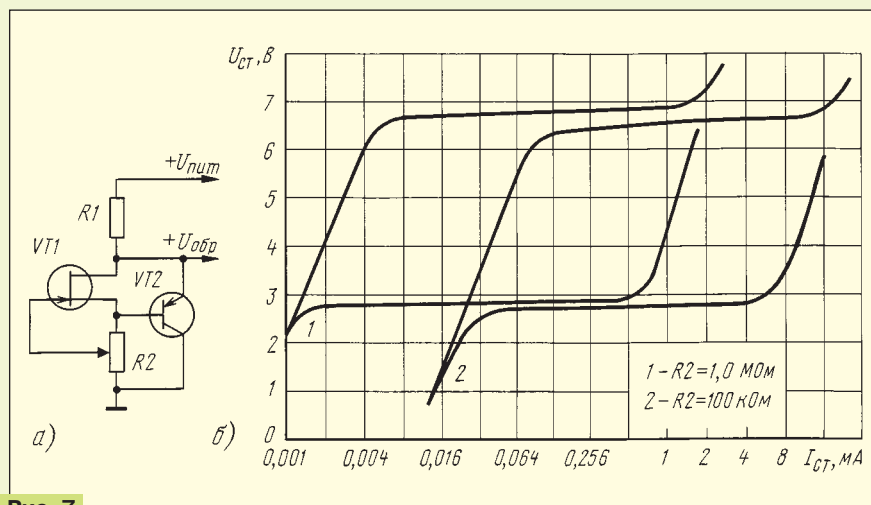


Рис. 7