



1.11.2. Источники опорного напряжения

Стандартов, определяющих показатели ИОН, в РФ нет. К двухвыводным интегральным ИОН (аналогам стабилизаторов) могут применяться нормы, разработанные для дискретных стабилизаторов, к трёхвыводным ИОН — нормы для линейных стабилизаторов напряжения. Стабилизаторы напряжения в ГОСТ 19480-89 «микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров» и в ГОСТ Р 52907-2008 «источники питания. Термины и определения» различаются, в частности, в определениях пересекающихся, но не идентичных показателей дрейфа выходного напряжения (ГОСТ 19480-89) и неустойчивости при длительном включении (ГОСТ Р 52907-2008). Важные показатели в порядке убывания:

- начальный разброс опорного напряжения (начальное отклонение опорного напряжения от номинального значения);
- температурный коэффициент опорного напряжения и его длительный дрейф («неустойчивость при длительном включении»);
- для недорогих стабилизаторов напряжения может нормироваться единственный показатель - начальный разброс или допустимый диапазон изменений выходного напряжения (верхняя и нижняя граница).

В основе схемы такого источника лежит идея генерирования напряжения с температурным коэффициентом, положительным и равным по абсолютной величине отрицательному температурному коэффициенту напряжения эмиттерного перехода транзистора $U_{бэ}$. При суммировании этого напряжения с $U_{бэ}$ получится напряжение с нулевым температурным коэффициентом. ТКС равен отношению разницы между максимальным и минимальным выходным напряжением, гарантируемыми производителем для всех рабочих температур при номинальном входном напряжении и выходном токе, к ширине рабочего диапазона температур.

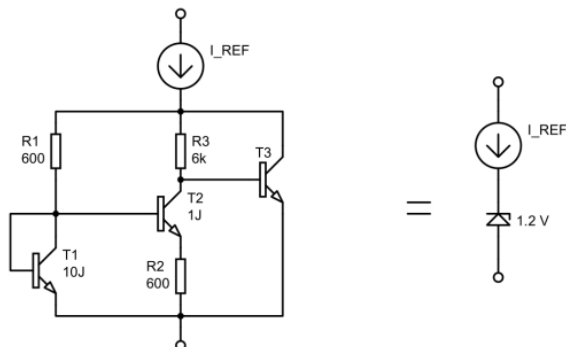


Рис. 1.11.9. Простейший ИОН, бандгап Видлара

Схема Видлара (рис. 1.11.9) развилась из его же токового зеркала, впервые реализованного в 1965 году в операционном усилителе $\mu A709$. В базовой трёхтранзисторной ячейке бандгапа Видлара, реализованной в LM109, ведущий транзистор несимметричного зеркала $T1$ работает при токе эмиттера около 1 мА, ведомый $T2$ — при токе примерно в 10 раз меньшем. Все три транзистора идентичны, поэтому плотность тока через переход база-эмиттер $T2$ в 10 раз меньше плотности тока через $T1$, и на эмиттерном резисторе $R2$ при нормальной температуре выделяется ΔV в 60 мВ. На коллекторном резисторе $R3$, сопротивление которого в 10 раз больше $R1$, выделяется искомое $V_{PTAT} \approx 10 \Delta V$. Арифметическое сложение $V_{PTAT} + V_{СТАТ}$ производится подключением перехода база-эмиттер транзистора $T3$ между коллектором $T2$ и общим проводом. При возрастании напряжения между двумя выводами схемы ток через $T3$ нелинейно возрастает, то есть $T3$ работает усилителем ошибки. Усиление невелико, поэтому паразитных емкостей схемы достаточно, чтобы она была устойчива во всех режимах. В LM113 используется аналогичная трёхтранзисторная ячейка с $\chi=15$, но ток через $T3$ стабилизирован отдельным токовым зеркалом, а к коллектору $T3$ подключен двухкаскадный усилитель с максимальным выходным током до 50 мА.

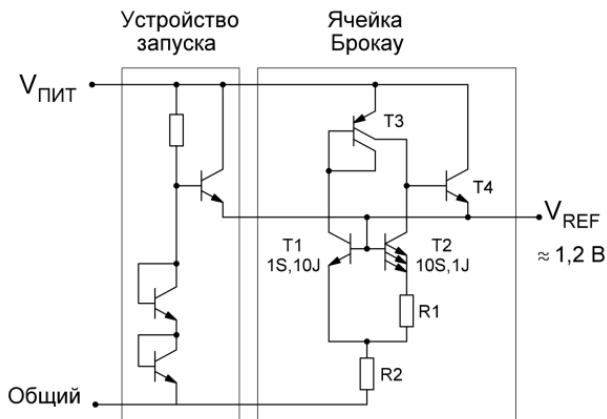


Рис. 1.11.10. Бандгап Брокау

В 1974 году Пол Брокау предложил другое схемное решение (бандгап Брокау рис. 1.11.10), в котором базовые токи транзисторов практически не вносят дополнительной погрешности. Именно по схеме Брокау был построен первый прецизионный трёхвыводной источник опорного напряжения AD580, ставший одним из самых успешных ИОН в истории. К середине 1990-х годов схема Брокау, с различными модификациями, стала основной, вытеснив схему Видлара с рынка прецизионных устройств. Расчётное отклонение V_{REF} от нормы в диапазоне от 0 до 100 С не превышает 0,18 % V_{REF} . В действительности такие цифры не достижимы: без точной подгонки и полная совокупная погрешность бандгапа Брокау составляет до 2,5 % от V_{REF} .

Внешний источник образцового тока не требуется, так как в ячейку Брокау уже включен усилитель, поддерживающий на выходе образцовое напряжение. В первом, простейшем, варианте ячейки Брокау используется всего четыре транзистора: T1 и T2 — термочувствительная пара, двухэмиттерный T3 — симметричное токовое зеркало, T4 — усилитель выходного тока. В более распространённых схемах транзистор T4 заменён на операционный усилитель, что позволяет поддерживать на выходе произвольно установленные напряжения.

ТКН дешёвых серийных интегральных ИОН всех типов ограничен величиной в 10 ppm/°C. Снижение ТКН бандгапов и стабилитронных ИОН до уровня менее 5 ppm/°C требует существенного удорожания технологии, а практический предел гарантированного



ТКН серийных изделий равен $1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Меньшие значения ТКН возможны только в отдельных сериях сверхпрецизионных ИОН на стабилитронах со скрытым слоем (Thaler VRE3050J — $0,6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ в диапазоне $-40\dots+85 \text{ }^\circ\text{C}$).

Дальнейшее снижение ТКН возможно только путём термостабилизации ИОН, сужающей диапазон изменения температуры кристалла до нескольких градусов или долей градуса.