

Источники опорного напряжения и схемы сдвига уровня

В ряде случаев возникает задача формирования высокостабильного образцового или опорного напряжения. Для этой цели применяются схемные построения, называемые источниками опорного напряжения (ИОН), в задачу которых входит как формирование подобных высокостабильных напряжений из напряжения питания схемы, так и поддержание их при изменении сопротивления нагрузки. Таким образом ИОН можно рассматривать как 3-полюсный элемент (рис. 1а).

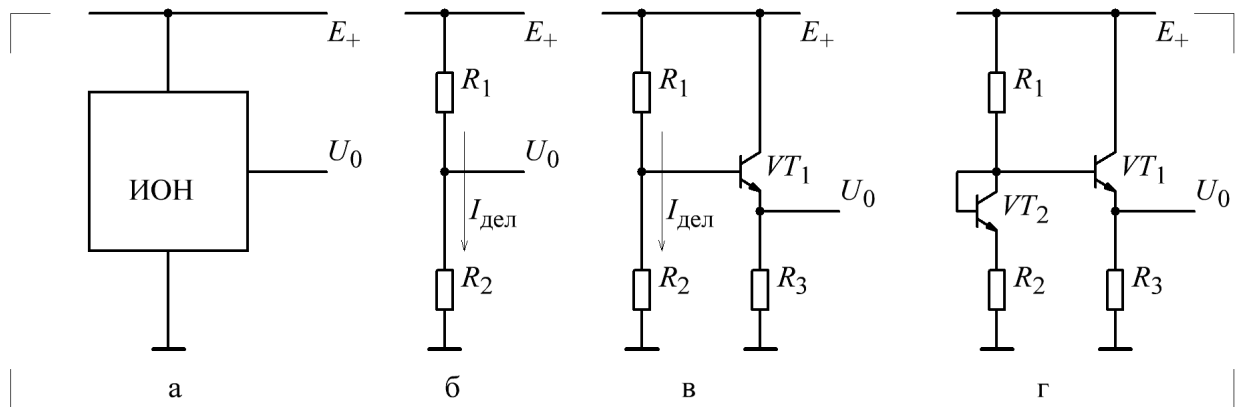


Рис. 1

Для формирования заданных напряжений из напряжения питания можно использовать простейший резистивный делитель напряжения (рис. 1б). В этом случае при соблюдении условия $I_{\text{дел}} \gg I_{\text{н}}$. В этом случае

$$U_0 = E + \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

Для снижения требований к $I_{\text{дел}}$ между средней точкой делителя и нагрузкой устанавливается каскад по схеме ОК, обладающий высоким входным сопротивлением и низким выходным (рис. 1в). Это позволяет использовать высокоомные резисторы в делителе напряжения при низком сопротивлении нагрузки, в качестве которой может выступать R_3 .

При этом следует учитывать, что в данной схемной конфигурации

$$U_0 = E + \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{\text{бэ}0} .$$

На точность установки выходного напряжения в данной схеме влияет нестабильность номинального напряжения база-эмиттер транзистора. Для компенсации этой нестабильности в состав базового делителя часто устанавливают транзистор в диодном включении (рис. 1г). В этом случае

$$I_{\text{дел}} = \frac{E_+ - U_{\text{бэ}0}}{R_1 + R_2}, \quad U_{\text{бэ}0} = I_{\text{дел}} R_2 + U_{\text{бэ}0},$$

а выходное напряжение

$$U_0 = I_{\text{дел}} R_2 + U_{\text{бэ}0} - U_{\text{бэ}0} = I_{\text{дел}} R_2 = \frac{E_+ R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{\text{бэ}0} R_2}{R_1 + R_2}.$$

Как видно, нестабильность $U_{\text{бэ}0}$ в этом случае оказывается сниженной.

Общим недостатком схем, основанных на резистивном делителе, является зависимость выходного напряжения от напряжения питания, стабильность которого может быть не очень высокой.

Для уменьшения этой зависимости в схему вводят нелинейные элементы. На рис. 2а показана идеализированная схема получения напряжения, равного номинальному напряжению прямосмещенного р-п-перехода.

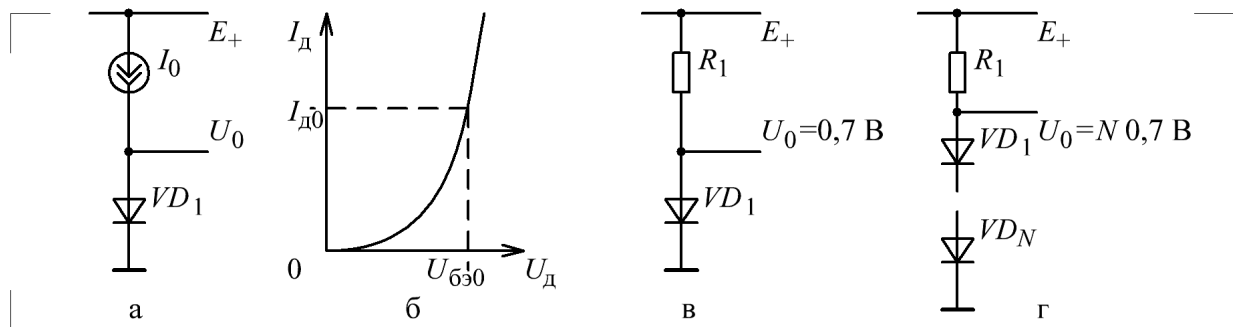


Рис. 2

Естественно, что если ток через диод фиксирован генератором стабильного тока, то напряжение на диоде оказывается фиксированным и независимым от напряжения источника питания (рис. 2б). Однако практическая значимость данной схемы и основанных на ней схемных построениях заключается в том, что прямое напряжение на диоде изменяется незначительно при изменении питающего тока в широких пределах. Это позволяет вместо генератора стабильного тока использовать резисторы (рис. 2в). В этом случае ток через диод можно приближенно считать равным

$$I_{\text{д}} = \frac{E_+ - U_{\text{бэ}0}}{R_1} = \frac{E_+ - 0,7 \text{ В}}{R_1},$$

а напряжение – равным 0,7 В.

Устанавливая несколько диодов последовательно, можно сделать выходное напряжение равным $N \cdot 0,7 \text{ В}$ (рис. 2г).

Однако если требуются напряжения, существенно превышающие 0,7 В, то целесообразнее использовать стабилитроны или диоды Зенера, специально

предназначенные для формирования опорных напряжений. Схемотехнически схема ИОН со стабилитроном аналогична диодной схеме (рис. 3а), за исключением того, что стабилитрон работает при обратном смещении, а для стабилизации напряжения используется крутой участок его ВАХ в режиме пробоя (рис. 3б).

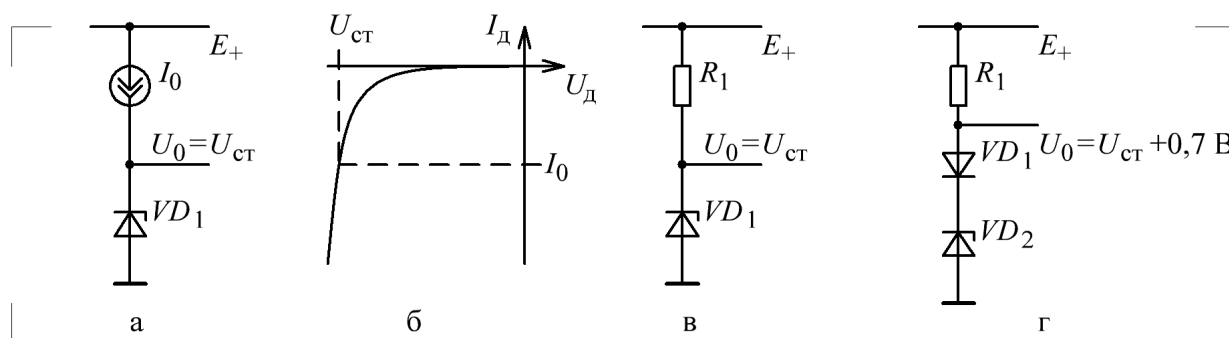


Рис. 3

В практических схемах вместо генератора стабильного тока используются токозадающие резисторы, называемые балластными (рис. 3в). В этом случае ток через стабилитрон

$$I_{\text{ст}} = \frac{E_+ - U_{\text{ст}}}{R_1},$$

где $U_{\text{ст}}$ – паспортное значение напряжения стабилизации стабилитрона.

Напряжения стабилизации стандартных стабилитронов покрывают широкий диапазон дискретных значений. Температурный коэффициент напряжения стабилизации имеет положительные значения при малых напряжениях и отрицательные значения – при больших напряжениях. В диапазоне 6,8 В наблюдается температурный коэффициент напряжения, близкий к нулевому. Для компенсации температурного дрейфа используют противоположный характер температурных коэффициентов диодов в прямом включении и стабилитронов в обратном включении (рис. 3г), учитывая увеличение выходного напряжения на 0,7 В.

Влияние нагрузки на схему со стабилитроном, называемую также параметрическим стабилизатором напряжения, определяется соотношением сопротивления нагрузки и динамического сопротивления стабилитрона в окрестности рабочей точки. Для снижения этого влияния параметрический стабилизатор отделяется от нагрузки каскадом по схеме ОК (рис. 4а).

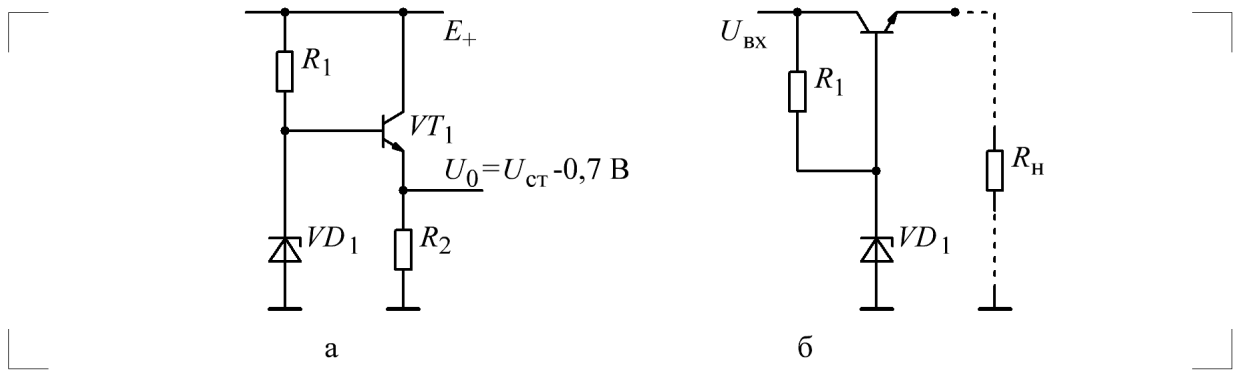


Рис. 4

В этой схеме резистор R_2 может представлять собой нагрузку ИОН. Тогда, изображенная немного иначе (рис. 4б), схема представляет собой классический параметрический стабилизатор с транзисторным усилителем.

Для получения выходных напряжений, отличных от стандартных напряжений стабилизации стабилитронов часто используется схема с транзисторным 3-полюсником, приведенная на рис. 5а.

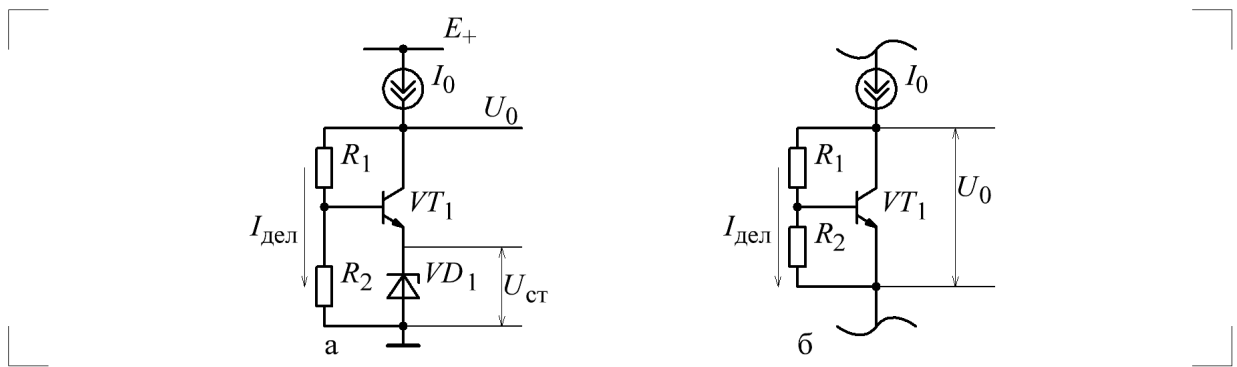


Рис. 5

В этой схеме

$$U_{\text{б}} = \frac{U_0 R_2}{R_1 + R_2} = U_0 K_{\text{дел}}, \quad U_{\text{бэ}} = U_{\text{б}} - U_{\text{ст}} = U_0 K_{\text{дел}} - U_{\text{ст}} .$$

Отсюда

$$U_0 = \frac{U_{\text{бэ}} + U_{\text{ст}}}{K_{\text{дел}}} = \frac{0,7 \text{ В} + U_{\text{ст}}}{K_{\text{дел}}} .$$

Выбирая соотношение между сопротивлениями базового делителя, можно устанавливать требуемое U_0 . При необходимости получить опорное напряжение, меньшее 0,7 В, используется схема без стабилитрона в цепи эмиттера (рис. 5б). Для нее

$$U_0 = \frac{U_{\text{бэ}}}{K_{\text{дел}}} = \frac{0,7 \text{ В}}{K_{\text{дел}}}$$

Для получения термокомпенсированных опорных напряжений используется противоположный характер температурной зависимости двух физических величин, определяющих работу транзистора. Температурный коэффициент номинального напряжения база-эмиттер составляет минус 2,1 мВ/К, а температурная зависимость теплового потенциала $U_T = kT/q$ имеет положительный коэффициент 0,085 мВ/К. Для получения выходного напряжения с нулевым температурным коэффициентом необходимо схемотехнически обеспечить взвешенное сложение $U_0 = U_{\text{бэ}0} + a U_T$, где a – постоянный коэффициент.

Схема, реализующая этот принцип, приведена на рис. 6.

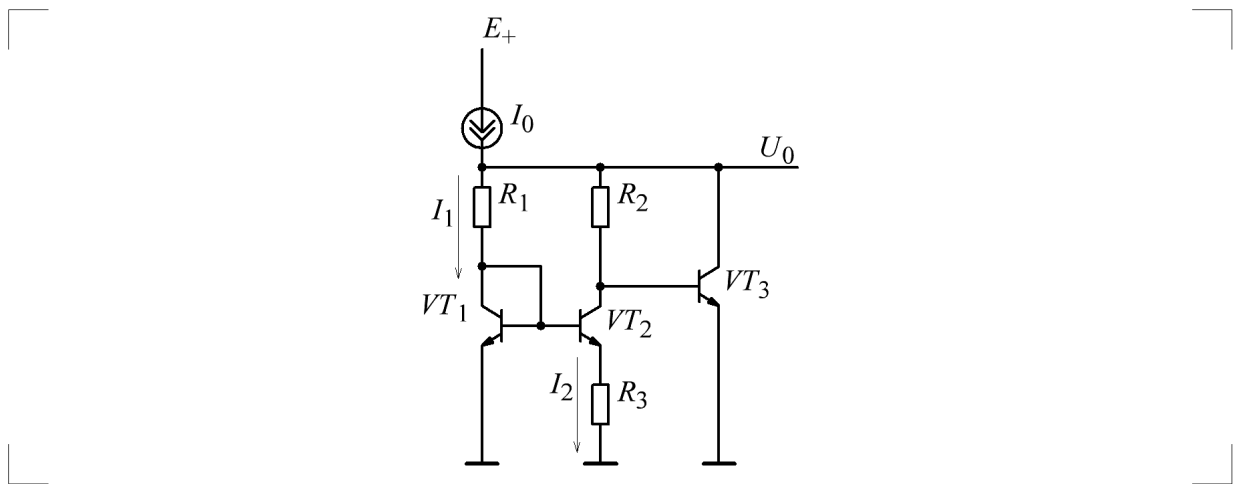


Рис. 6

В этой схеме $U_0 = U_{\text{бэ}0 VT3} + U_{R2}$. В свою очередь

$$U_{R2} = R_2 I_2 = R_2 \frac{U_{R3}}{R_3} = R_2 \frac{U_{\text{бэ}1} - U_{\text{бэ}2}}{R_3} =$$

$$= R_2 \frac{m U_T \left(\ln \frac{I_1}{I_{\text{оэ}}} - \ln \frac{I_2}{I_{\text{оэ}}} \right)}{R_3} = R_2 \frac{m U_T \ln \frac{I_1}{I_2}}{R_3}$$

В результате

$$U_0 = U_{\text{бэ}0} + m \frac{R_2}{R_3} \ln \frac{I_1}{I_2} U_T,$$

что и требовалось.

Схема сдвига уровня постоянного потенциала (ССУ) предназначена для изменения (в частном случае понижения) постоянного напряжения при передаче

его от одной точки схемы к другой. При этом желательно в максимальной степени сохранить сигнальные изменения напряжения. Идея иллюстрируется рис. 7.

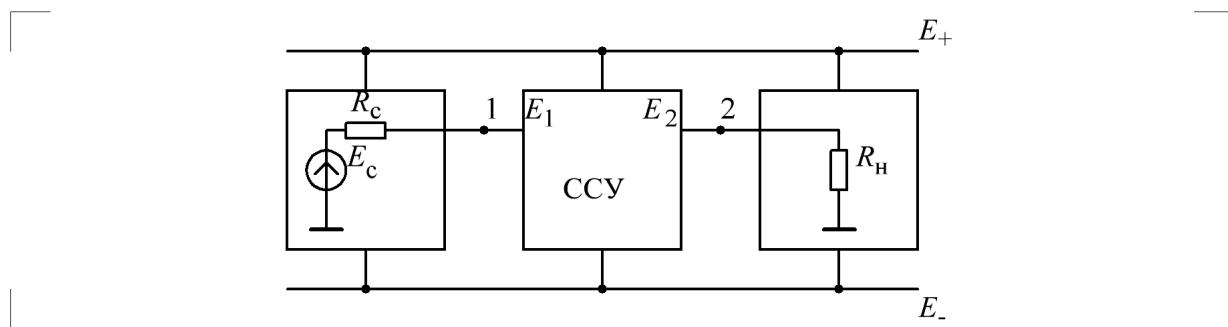


Рис. 7

На этом рис. ССУ транслирует постоянный потенциал от точки "1" к точке "2". При этом часть схемы левее точки "1" является для ССУ источником сигнала, а часть схемы правее точки "2" – нагрузкой.

В простейшем случае понижения потенциала можно добиться резистивным делителем напряжения (рис. 8а).

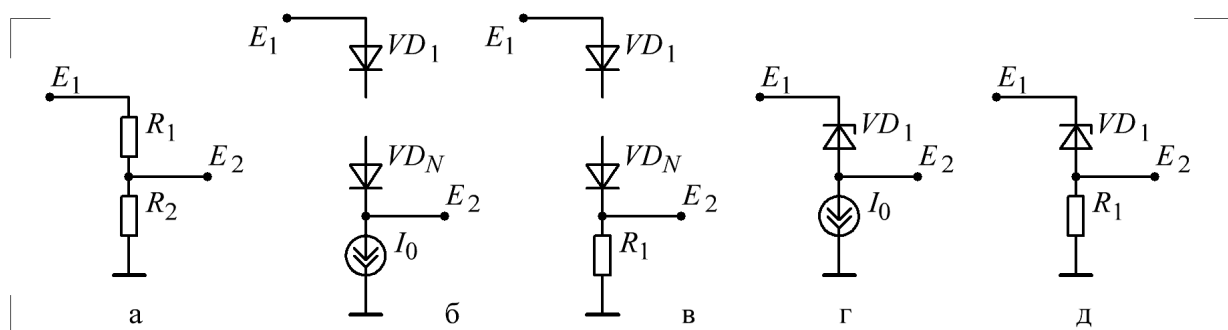


Рис. 8

При условии, что ко входу подключен источник с внутренним сопротивлением, много меньшим входного сопротивления делителя, а сопротивление нагрузки существенно превышает выходное сопротивление делителя

$$E_2 = E_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

Однако при этом сигнальные изменения уменьшаются в той же пропорции. Другая группа схем понижения постоянного напряжения связана с использованием нелинейных элементов по аналогии с ИОН (рис. 2б – 2г). В этом случае потенциал понижается на величину постоянного напряжения на нелинейном элементе. Сигнальные изменения понижаются на величину, зависящую от дифференциального сопротивления нелинейного элемента в рабочей точке. Это сопротивление много меньше, чем балластное токозадающее сопротивление (R_1) на схемах рис. 2в, 2д.

Другой метод понижения потенциала основан на стабилизации тока через линейный резистор (рис. 9а).

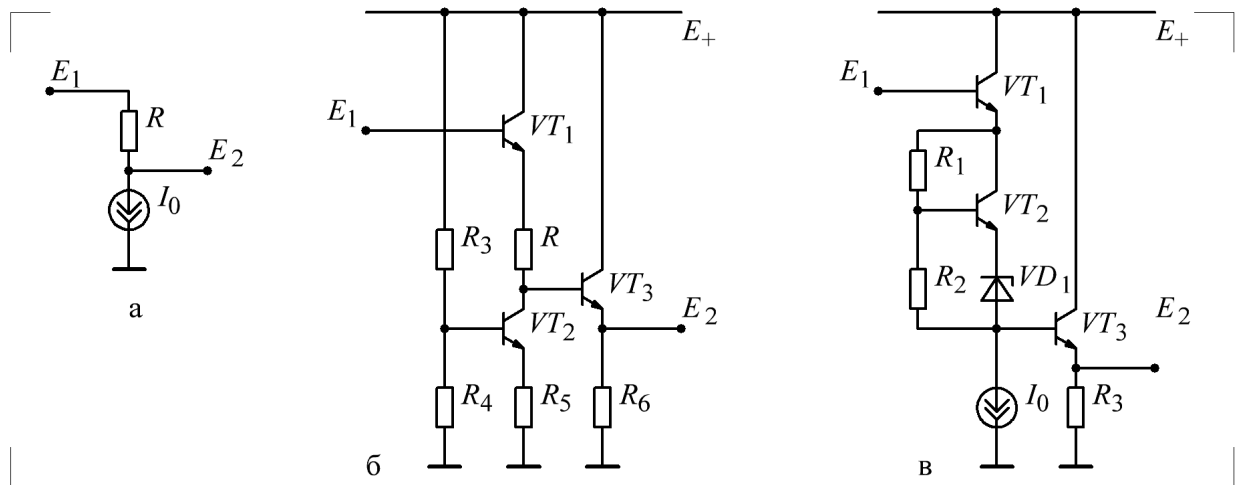


Рис. 9

В этом случае $E_2 = E_1 - R I_0$. На рис. 9б показан пример применения данного способа. На этой схеме потенциал базы транзистора VT_1 определяется предшествующей схемой. Для тракта передачи сигнала этот транзистор включен по схеме ОК и обеспечивает для ССУ низкое выходное сопротивление источника сигнала. Собственно сдвиг уровня осуществляется резистором R и генератором тока на транзисторе VT_2 . Транзистор VT_3 , включенный по схеме ОК обеспечивает для ССУ высокое сопротивление нагрузки.

Схема рис. 9в аналогична предыдущей за тем исключением, что смещение потенциала выполняется транзисторным 2-полюсником на транзисторе VT_2 . С учетом падения напряжений на переходах транзистора выходной потенциал данной схемы

$$E_2 = E_1 - U_{\text{бэ}0} - \frac{(U_{\text{бэ}0} + U_{\text{ст}}) R_2}{R_1 + R_2} - U_{\text{бэ}0} .$$

Транзисторный 2-полюсник в данной схеме выполняет роль нелинейного элемента.