

Выходное сопротивление параметрического стабилизатора (рис. 13.1, а) определяется дифференциальным сопротивлением стабилитрона R_d на рабочем участке вольт-амперной характеристики:

$$R_{\text{вых}} = R_d = \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta I_{\text{ст}}} = \frac{U_{\text{ст max}} - U_{\text{ст min}}}{I_{\text{ст max}} - I_{\text{ст min}}}, \quad (13.6)$$

поскольку выходным напряжением стабилизатора является напряжение на стабилитроне ($U_H = U_{\text{ст}}$), а изменение тока в нагрузке равно изменению тока через стабилитрон ($\Delta I_H = \Delta I_{\text{ст}}$).

Записав $\Delta U_{\text{ст}} = \Delta I_{\text{ст}} R_d$ и учтя выражение (13.2), найдем в соответствии с формулой (13.4) коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta I_{\text{ст}} R_6}{U_{\text{вх}}} : \frac{\Delta I_{\text{ст}} R_d}{U_H} = \frac{U_H}{U_{\text{вх}}} \frac{R_6}{R_d}. \quad (13.7)$$

Из формулы (13.7) следует, что с ростом сопротивления R_6 увеличивается коэффициент стабилизации. Однако при заданных параметрах $U_{\text{вх}}$, U_H , $I_{\text{ст. ном}}$, I_H сопротивление R_6 однозначно определяется из выражения

$$R_6 = \frac{U_{\text{вх}} - U_H}{I_H + I_{\text{ст. ном}}}, \quad (13.8)$$

где $I_{\text{ст. ном}} = \frac{I_{\text{ст max}} - I_{\text{ст min}}}{2}$ — номинальный ток стабилитрона (рис. 13.1, б).

Увеличить сопротивление R_6 можно лишь повысив напряжение $U_{\text{вх}}$, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению величины $K_{\text{ст}}$. Поэтому коэффициент стабилизации параметрических стабилизаторов напряжения не превышает 50. Для повышения величины $K_{\text{ст}}$ можно применять каскадное включение стабилитронов.

Параметрические стабилизаторы напряжения просты и надежны, однако обладают существенными недостатками, главными из которых являются невозможность регулировки выходного напряжения и малое значение коэффициента стабилизации, особенно при больших токах нагрузки ($I_H > I_{\text{ст. ном}}$).

§ 13.2. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

Высокое качество стабилизации напряжения можно получить при использовании компенсационных стабилизаторов, представляющих собой автоматические регуляторы, в которых фактическое выходное напряжение сравнивается с эталонным (опорным) напряжением. Возникающий при этом сигнал рассогласования усиливается и воздействует на регулирующий элемент

стабилизатора таким образом, чтобы выходные напряжение стремилось достичь эталонного уровня. В качестве источника опорного напряжения обычно используют параметрический стабилизатор, работающий с малыми токами нагрузки, реже — гальванические батареи.

Рассмотрим структурную схему стабилизатора последовательного типа (рис. 13.2, а), в которой регулирующий элемент РЭ включен последовательно с нагрузкой и играет роль управляемого балластного сопротивления. Разностный сигнал рассогласования $U_H - U_{оп}$, формируемый источником опорного напряжения ИОН и нагрузкой, поступает на вход усилителя постоянного тока У, усиливается и воздействует на регулирующий элемент РЭ.

При положительном сигнале рассогласования ($U_H - U_{оп} > 0$) внутреннее сопротивление РЭ возрастает и падение напряжения $U_{рз}$ на нем увеличивается. Поскольку РЭ и нагрузка включены последовательно, при увеличении $U_{рз}$ выходное напряжение уменьшается, стремясь к значению $U_{оп}$.

При отрицательном сигнале рассогласования ($U_H - U_{оп} < 0$), наоборот, внутреннее сопротивление РЭ и падение напряжения на нем уменьшаются, что приводит к возрастанию выходного напряжения U_H .

Принципиальная схема транзисторного компенсационного стабилизатора последовательного типа приведена на рис. 13.2, б. Роль регулирующего элемента в этой схеме играет транзистор T_1 . С ростом величины $|U_{вх}|$ выходное напряжение возрастает по абсолютному значению, создавая сигнал рассогласования $U_{бз}$ на входе усилителя постоянного тока, выполненного на транзисторе T_2 . Ток коллектора транзистора T_2 возрастает, а потенциал его коллектора становится более положительным относительно «земли». Напряжение база — эмиттер

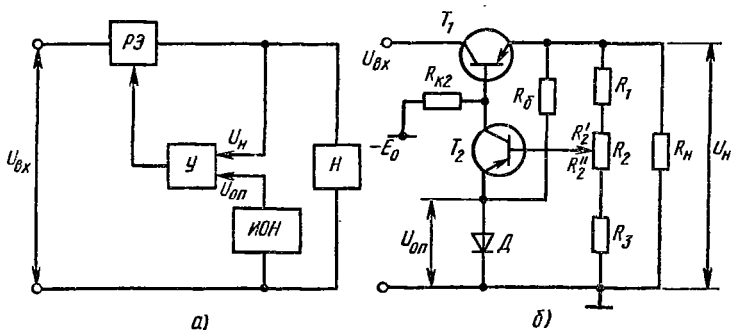


Рис. 13.2

транзистора T_1 уменьшаетея, что приводит к возрастанию внутреннего сопротивления этого транзистора и падению напряжения на нем. Выходное напряжение при этом уменьшается, стремясь к прежнему значению.

Ступенчатую регулировку выходного напряжения можно осуществить, используя опорное напряжение, снимаемое с цепочки последовательно включенных стабилитронов. Плавная регулировка обычно производится с помощью делителя напряжения R_1, R_2, R_3 , включенного в выходную цепь стабилизатора таким образом, как показано на рис. 13.2, б.

Если пренебречь падением напряжения на эмиттерном переходе транзистора T_2 , то в этом случае выходное напряжение стабилизатора

$$U_H \approx U_{оп} + \left(I_{62} + \frac{U_{оп}}{R_3 + R_2''} \right) (R_1 + R_2'). \quad (13.9)$$

Ток через делитель $I_{дел}$ выбирают обычно на порядок выше, чем ток базы транзистора T_2 . Дальнейшее увеличение тока делителя за счет снижения сопротивлений R_1, R_2, R_3 нецелесообразно, так как приводит к существенному уменьшению к. п. д. схемы. Тогда выражение (13.9) принимает вид

$$U_H \approx U_{оп} \left(1 + \frac{R_1 + R_2'}{R_3 + R_2''} \right). \quad (13.10)$$

Если в схеме рис. 13.2, б базу транзистора T_2 подключить непосредственно к выходу стабилизатора, то выполняется равенство $U_{оп} = U_H$; коэффициент стабилизации и выходное сопротивление при этом определяются выражениями [13]

$$K_{ст} \approx \frac{U_H}{U_{вх}} \frac{r_{к1}}{R_d + R_{вх.62}}, \quad (13.11)$$

$$R_{вых} = \frac{(r_{з2} + R_d)(1 + \beta_2) + r_{62}}{1 + \beta_1\beta_2} \approx \frac{1}{\beta_1} (R_{вх.62} + R_d). \quad (13.12)$$

Очевидно, что коэффициент стабилизации и выходное сопротивление стабилизатора с делителем на выходе (рис. 13.2, б) можно записать следующим образом:

$$K_{ст.дел} = K_{ст} K_{дел}, \quad (13.13)$$

$$R_{вых.дел} = R_{вых} \frac{1}{K_{дел}}, \quad (13.14)$$

где $K_{дел} = \frac{R_3 + R_2''}{R_1 + R_2 + R_3} \approx \frac{U_{оп}}{U_H}$ — множитель, обусловленный влиянием делителя на коэффициент стабилизации $K_{ст}$, найденный при $U_{оп} = U_H$.

Таким образом, делитель деления в схеме стабилизатора (рис. 13.2, б) уменьшает коэффициент стабилизации схемы и повышает выходное сопротивление стабилизатора.

В настоящее время получили распространение схемы стабилизаторов напряжения, выполненные на основе операционных усилителей (ОУ). Простейшая схема стабилизатора напряжения на ОУ, используемая при малых токах нагрузки, изображена на рис. 13.3.

Напряжение на выходе схемы

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{ОУ}} R_{\text{ос}} U_{\text{оп}} \approx \left(\frac{R_{\text{ос}}}{R_1} + 1 \right) U_{\text{оп}} \quad (13.15)$$

остаётся постоянным при изменении сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$. Для получения опорного напряжения $U_{\text{оп}}$ использован параметрический стабилизатор напряжения, состоящий из резистора R_2 и стабилитрона D .

Изменяя сопротивление в цепи обратной связи $R_{\text{ос}}$, можно регулировать выходное напряжение схемы.

При больших токах нагрузки используют компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа на ОУ, схема которого приведена на рис. 13.4.

В настоящее время выпускают также интегральные стабилизаторы напряжения компенсационного типа. В качестве источника опорного напряжения в схемах интегральных стабилизаторов кроме стабилитронов используется транзистор, включенный по схеме каскада ОБ и работающий как генератор стабильного тока.

Регулирующий элемент обычно представляет собой составной транзистор, состоящий из двух или нескольких отдельных транзисторов, число которых определяется требованиями, предъявляемыми к стабилизатору.

Усилительным элементом схемы интегрального стабилизатора является операционный усилитель или в некоторых случаях просто дифференциальный каскад.

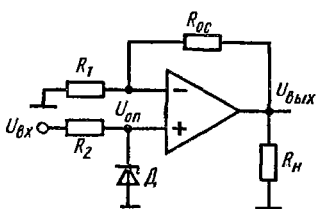


Рис. 13.3

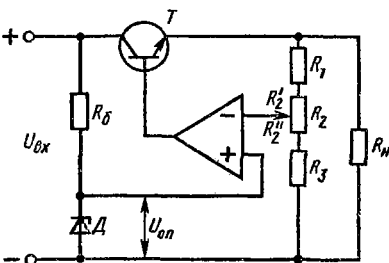


Рис. 13.4

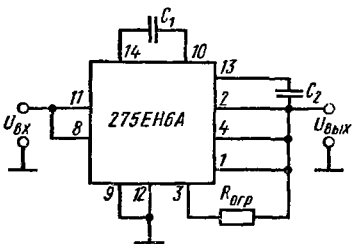


Рис. 13.5

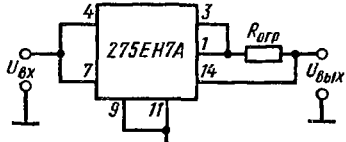


Рис. 13.6

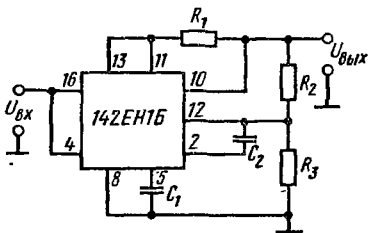


Рис. 13.7

На рис. 13.5 приведена основная схема включения гибридного интегрального стабилизатора типа 275EH6A, позволяющая стабилизировать на выходе положительное напряжение 6 В.

Навесной резистор $R_{огр}$ включается в цепь защиты стабилизатора от короткого замыкания нагрузки.

Его сопротивление зависит от значения допустимого тока нагрузки $I_{н.доп}$ и определяется по формуле

$$R_{огр} \approx U_{бэ} / I_{н.доп}$$

где $U_{бэ} = 0,5 \div 0,7$ В.

Конденсаторы C_1 , C_2 устраняют самовозбуждение стабилизатора, и их подбирают при использовании стабилизатора на практике. Выходное напряжение можно регулировать с помощью внешних сопротивлений, подключаемых к выводу 14.

Стабилизаторы отрицательного напряжения этой же серии отличаются от стабилизаторов положительного напряжения другим типом электропроводности транзисторов. На рис. 13.6 приведена основная схема включения стабилизатора типа 275EH7A, позволяющая стабилизировать отрицательное выходное напряжение -6 В.

Основная схема включения полупроводникового стабилизатора типа 142EH1Б приведена на рис. 13.7. Внешний резистор R_1 включен в цепь защиты схемы от короткого замыкания нагрузки.

Конденсатор C_1 определяет время восстановления номинального режима при импульсном изменении нагрузки и вход-

ного напряжения. Емкость конденсатора C_1 составляет в реальных схемах примерно 10^3 пФ.

Конденсатор C_2 позволяет уменьшить выброс выходного напряжения при импульсном изменении нагрузки и входного напряжения.

ПРИМЕРЫ

13.1. Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 13.2, б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение $U_{вх} = -24$ В, нестабильность входного напряжения $\Delta U_{вх} = \pm 2$ В, максимальный ток нагрузки $I_{н\max} = 1,5$ А, коэффициент стабилизации $K_{ст} \geq 10^3$, напряжение источника питания базовой цепи регулирующего транзистора $E_0 = -30$ В. Предусмотреть плавную регулировку выходного напряжения в пределах от -12 до -16 В.

Решение

$$\frac{-4}{-14} В$$

1. Определим максимальное напряжение коллектор — эмиттер регулирующего транзистора T_1 :

$$U_{кэ1\max} = U_{вх} + \Delta U_{вх} - U_{н\min} = U_{вх\max} - U_{н\min} = -14 \text{ В.}$$

2. Определим максимальную мощность, рассеиваемую на транзисторе T_1 :

$$P_{к1\max} = U_{кэ1\max} I_{н\max} = 21 \text{ Вт.}$$

3. По данным расчета п. 1 и 2 выбираем транзистор T_1 , для которого

$$U_{кэ1\max} < U_{к\max\text{доп}}, \quad I_{к1} \approx I_{н\max} < I_{к,\text{доп}}$$

$$P_{к1\max} < P_{к\max\text{доп}}$$

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа П216В с параметрами: $U_{к\max\text{доп}} = -35$ В, $I_{к,\text{доп}} = 7,5$ А, $P_{к\max\text{доп}} = 24$ Вт, $\beta \leq 30$, $r_{к1} = 6$ КОМ.

4. Для создания опорного напряжения $U_{оп}$ выберем стабилитрон типа Д814А с параметрами $U_{ст} = U_{оп} = -8$ В, $R_{д} = 6$ Ом, $I_{ст,\text{ном}} = 20$ мА.

5. Определим максимальное напряжение коллектор — эмиттер усилительного транзистора T_2 :

$$U_{кэ2\max} \approx U_{н\max} - U_{оп} = -8 \text{ В.}$$

6. Исходя из условия $U_{кэ2\max} < U_{к\max\text{доп}}$ выбираем в качестве усилительного элемента транзистор типа П416 с достаточно высоким коэффициентом усиления по току $\beta_2 = 90 \div 250$.