



### 1.14.1. ЛИНЕЙНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

В электронной аппаратуре широкое применение нашли стабилизаторы напряжения постоянного тока непрерывного действия двух видов: параметрические и компенсационные.

**Параметрические стабилизаторы напряжения.** Они применяются при малых выходных токах, изменяющихся в узких пределах. Работа этих стабилизаторов основана на использовании свойств элементов с нелинейной вольтамперной характеристикой. В качестве такого элемента наиболее часто используются стабилитроны — полупроводниковые приборы, действие которых основано на стабилизации напряжения в результате пробоя р-п-перехода. Вольтамперная характеристика стабилитрона приведена на рис. 1.14.1. Стабилизация напряжения осуществляется при работе стабилитрона на обратной ветви ВАХ, когда обратное напряжение определенного значения приводит к пробое р-п-перехода [1]. При прохождении тока пробоя рассеиваемая в стабилитроне мощность не должна превышать допустимую:

$$P_{\text{ст.доп}} = \frac{T_{\text{пер max}} - T_{\text{о.с}}}{R_T},$$

где  $T_{\text{пер max}}$  — Максимально допустимая температура р-п-перехода стабилитрона;  $T_{\text{о.с}}$  - температура окружающей среды;  $R_T$  — тепловое сопротивление стабилитрона.

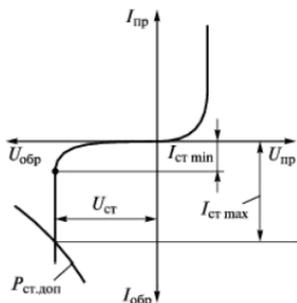
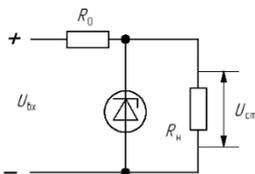


Рис. 1.14.1. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Для ограничения тока пробоя обычно в схемах последовательно стабилитрону включают резистор (рис. 1.14.2).



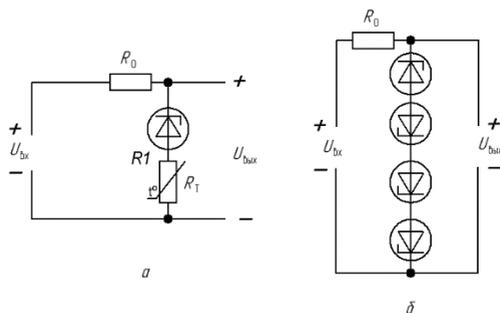
**Рис. 1.14.2.** Схема включения стабилитрона

При изменении тока пробоя от минимального значения  $I_{ст\ min}$  до максимального  $I_{ст\ max}$  напряжение на стабилитроне изменяется незначительно. Максимально допустимый ток пробоя определяется из выражения:

$$I_{пт\ max} = P_{ст, доп} / U_{ст}.$$

Здесь  $U_{ст}$  - напряжение стабилизации, равное напряжению пробоя p-n-перехода.

Для компенсации влияния температуры окружающей среды на характеристики стабилитрона используются термочувствительные компоненты схем с отрицательным ТКН или дополнительные стабилитроны, включенные в проводящем направлении последовательно со стабилизирующими стабилитронами. На рис. 1.14.3, а приведена схема стабилизатора с термокомпенсацией при помощи термочувствительного резистора  $R_T$ , ТКН которого противоположен по знаку ТКН стабилитрона.



**Рис. 1.14.3.** Схемы параметрической стабилизации с термокомпенсацией:



$\alpha$  - с термочувствительным резистором; б - с одним стабилизирующим стабилитроном и тремя компенсирующими

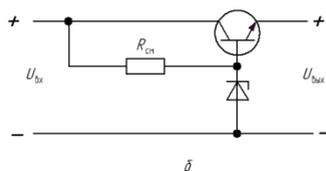
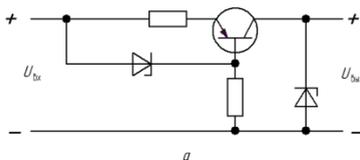
На рис. 1.14.3, б представлена схема с одним стабилизирующим стабилитроном, включенным в обратном направлении, и тремя компенсирующими стабилитронами ( $N=3$ ). Напряжение на выходе такой схемы:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}} + \sum U_{\text{пр}},$$

где:

$$U_{\text{ст}} = U_{\text{ст}} + \alpha_{\text{абс}}(T_1 - T_2); \quad \sum U_{\text{пр}} = N(U_{\text{пр1}} - U_{\text{пр2}}) - \alpha_{\text{абс}}(T_1 - T_2).$$

При термокомпенсации коэффициент стабилизации уменьшается в несколько раз. Его можно увеличить за счет повышения входного напряжения и сопротивления ограничительного резистора, что, однако, приводит к снижению КПД стабилизатора. Повышение коэффициента стабилизации без снижения КПД достигается использованием стабилизатора тока вместо ограничительного резистора (рис. 1.14.4, а). Благодаря уменьшению отклонений тока через стабилитрон стабилизация выходного напряжения повышается в 5—8 раз при изменении входного напряжения.





**Рис. 1.14.4.** Схемы параметрических стабилизаторов напряжения: со стабилизацией входного тока (а) и с эмиттерным повторителем (б)

Если необходимо увеличить мощность параметрического стабилизатора, то используют схему с эмиттерным повторителем (рис. 1.14.4, б). Коэффициент стабилизации в этой схеме не увеличивается и определяется из выражения:

$$k_{\text{ст}} = \frac{v U_{\text{ВЫХ}}}{(1 + vr_{\text{ст}}/R_0)U_{\text{ВХ}}},$$

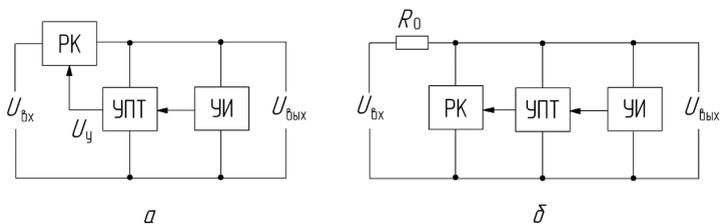
где

$$v = 1 / \left( \frac{r_{\text{ст}}U_{\text{ВХ}}}{R_{\text{см}}U_{\text{ст}}} + \frac{r_{\text{ст}}+r_{\text{б}}+r_{\text{э}}h_{21Э}}{r_{\text{к}}} - \frac{r_{\text{ст}}}{R_{\text{см}}} \right);$$

$r_{\text{б}}, r_{\text{к}}, r_{\text{э}}$  — сопротивления базы, коллектора и эмиттера соответственно;  $R_{\text{см}}$  — резистор смещения;  $h_{21Э}$  — коэффициент передачи тока транзистора.

Выходное напряжение определяется напряжением стабилитрона.

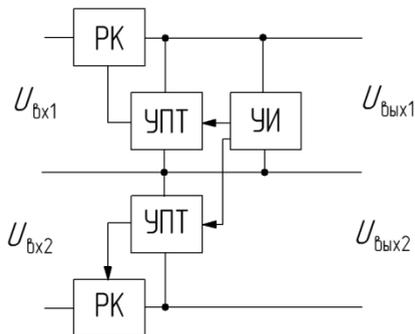
**Компенсационные стабилизаторы.** Компенсационные стабилизаторы являются устройствами автоматического регулирования выходной величины. Стабилизатор напряжения поддерживает напряжение на нагрузке в заданных пределах при изменении входного напряжения и выходного тока. По сравнению с параметрическими стабилизаторами компенсационные отличаются большими выходными токами, меньшими выходными сопротивлениями, большими коэффициентами стабилизации. В состав компенсационного стабилизатора напряжения обычно входят следующие устройства: регулирующий компонент, устройство измерения, усилитель постоянного тока. Регулирующий компонент (РК) включается последовательно (рис. 1.14.5, а) или параллельно (рис. 1.14.5, б) нагрузке. Чаще всего применяются стабилизаторы с последовательным РК благодаря высокому коэффициенту стабилизации и более высокому КПД. Стабилизаторы с параллельным РК используются в схемах с перегрузками по току и короткими замыканиями в нагрузке.



**Рис. 1.14.5.** Структурные схемы компенсационных стабилизаторов с последовательным (а) и параллельным (б) включением регулирующего компонента:

ПК - регулирующий компонента; УПТ — усилитель постоянного тока; УИ - устройство измерения

Некоторые виды нагрузок (например, операционные усилители) требуют двухполярного стабилизированного напряжения. На рис. 1.14.6 приведена схема с двухполярным выходом, в которой стабилизация напряжений  $U_{вых1}$  и  $U_{вых2}$  осуществляется так, что их разность при имеющей место нестабильности поддерживается неизменной. Устройство измерения (УИ) выполняется обычно в виде резистивного делителя напряжения, с которого снимается часть напряжения и подается на усилитель постоянного тока (УПТ), где сравнивается с опорным напряжением. При низком выходном напряжении (менее 5 В) на УПТ может подаваться полное значение выходного напряжения стабилизатора. Сигнал рассогласования усиливается УПТ и поступает на регулирующий компонент, изменяя его сопротивление. При повышении входного напряжения или снижении тока нагрузки выходное напряжение растет и приводит к увеличению сигнала обратной связи, сравниваемого с опорным напряжением.



**Рис. 1.14.6.** Структурная схема стабилизатора напряжения с двухполярным выходом:  
РК – регулирующий компонент;  
УПТ – усилитель постоянного тока;  
УИ – устройство измерения

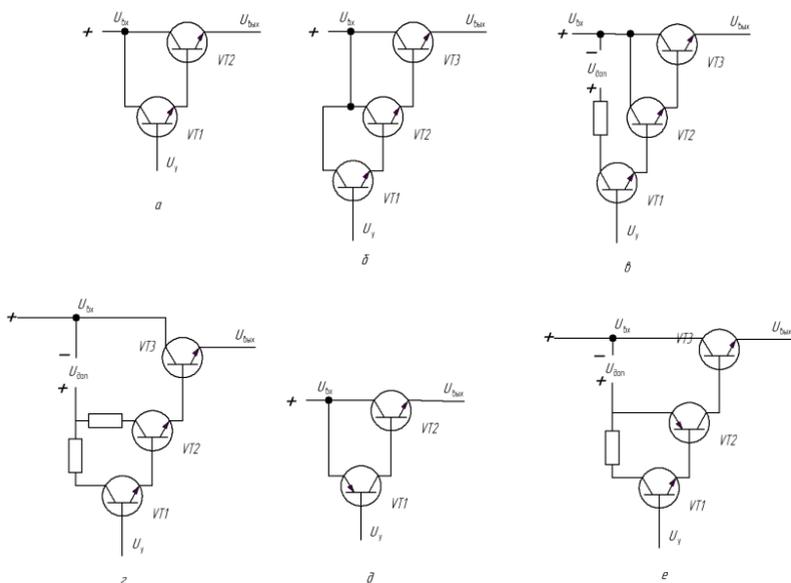
В результате сравнения в УПТ вырабатывается сигнал управления, который обуславливает повышение сопротивления регулирующего компонента и, следовательно, уменьшению выходного напряжения. При этом выходное напряжение не опускается ниже определенного уровня, т. е. устанавливается в заданном интервале значений.

Сигнал обратной связи с выхода стабилизатора содержит информацию о переменной, составляющей выходного напряжения, поэтому регулирующий компонент снижает уровень пульсации на выходе стабилизатора. Благодаря этому свойству стабилизатор непрерывного действия называют *активным фильтром*, который отличается от пассивного наличием полупроводниковых компонентов.

В зависимости от тока нагрузки в качестве регулирующего компонента используется один или несколько транзисторов. На рис. 1.14.7 приведены схемы регулирующих компонентов, отличающиеся числом используемых транзисторов и их соединением. Минимальное падение напряжения  $U_{p.k \min}$  в схеме, представленной на 1.14.7, а, определяется зависимостью  $U_{p.k \min} = U_{KЭ1 \text{ нас}} + U_{ЭБ2}$ ,  $U_{KЭ1 \text{ нас}}$  – напряжение коллектор-эмиттер транзистора VT1 в режиме насыщения;  $U_{ЭБ2}$  – напряжение эмиттер-база транзистора VT2.

Для регулирующего элемента, приведенного на рис. 1.14.7, б, справедливо равенство  $U_{p.k \min} = U_{KЭ1 \text{ нас}} + U_{ЭБ2} + U_{ЭБ3}$ , где  $U_{ЭБ3}$  – напряжение эмиттер-база транзистора VT3.

В схемах стабилизаторов, представленных на рис. 1.14.7, в, з, е, используется дополнительный источник напряжения  $U_{доп}$ , благодаря чему снижается минимальное падение напряжения. Для схемы на рис. 1.14.7, в имеем  $U_{p.k \min} = U_{KЭ1 \text{ нас}} + U_{ЭБ3}$ .



**Рис. 1.14.7.** Регулирующие компоненты на транзисторах: составные на двух транзисторах (а, д) и составные на трех транзисторах (б-з, е)

Для схемы, приведенной на рис. 1.14.7, з,  $U_{p.k \min}$  определяется зависимостью:

$$U_{p.k \min} = U_{KЭ3 \text{ нас}}$$



В схеме регулирующего компонента с дополнительной симметрией и стабилизатором тока СТ (см. рис. 1.14.7, ж):

$$U_{p.k \min} = U_{ЭБ2} + U_{КЭ1 \text{ нас}}$$

В данном случае уменьшение  $U_{p.k \min}$  достигается благодаря тому, что при дополнительной симметрии напряжение насыщения  $U_{КЭ1 \text{ нас}}$  меньше напряжения база-эмиттер  $U_{ЭБ2}$ .

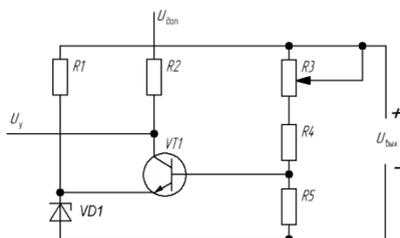
Включение в схему стабилизатора дополнительного источника напряжения и стабилизатора тока снижает падение напряжения, минимальное значение которого:

$$U_{p.k \min} = U_{ЭБ2} + U_{КЭ1 \min} - U_{\text{доп}}$$

При этом должно соблюдаться условие

$$U_{\text{доп}} \geq U_{ЭБ2} + U_{КЭ1 \min} - U_{ЭБ2}$$

При выполнении указанного условия напряжение  $U_{p.k \min}$  можно уменьшить до значения, близкого к  $U_{КЭ1 \text{ нас}}$ .



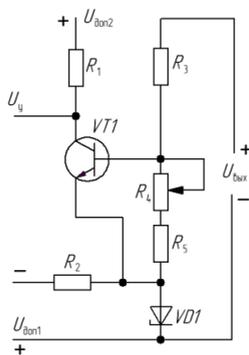
**Рис. 1.14.8.** Схема УПТ с одним транзистором и одним дополнительным источником

Усилитель постоянного тока может быть выполнен вместе с устройством измерения. На рис. 1.14.8 приведена простая схема УПТ, содержащая один транзистор  $VT1$ , делитель выходного напряжения  $R_3, R_4, R_5$ , источник опорного напряжения (стабилизатор  $VD1$ ) и дополнительный источник напряжения  $U_{\text{доп}}$  для обеспечения необходимого режима работы транзистора  $VT1$ . Напря-

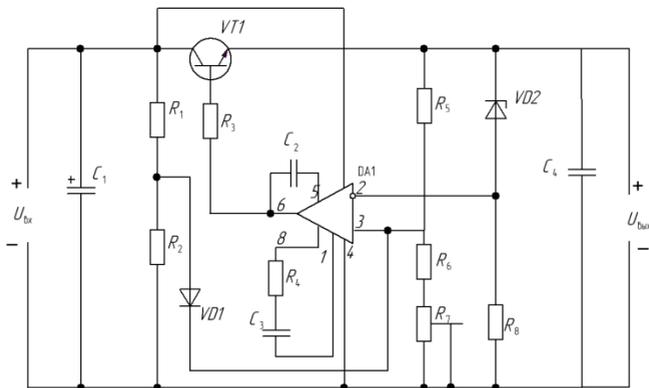


жение к коллектору транзистора может подаваться не от дополнительного источника, а с выхода стабилизатора напряжения. Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  в рассматриваемой схеме выше опорного  $U_{\text{оп}}$ . Если необходимо получить выходное напряжение ниже опорного, то можно применить схему с двумя дополнительными источниками  $U_{\text{доп1}}$  и  $U_{\text{доп2}}$  (рис. 1.14.9).

В стабилизаторах напряжения в качестве УПТ можно использовать *операционный усилитель*. Это позволяет повысить коэффициент стабилизации по сравнению с однокаскадными УПТ. В качестве примера на рис. 1.14.10 приведена схема компенсационного стабилизатора напряжения с операционным усилителем (ОУ) типа К153УТ1 [18]. Особенностью данной схемы является наличие входного делителя напряжения  $R_1, R_2$ , напряжение с которого через диод подается на неинвертирующий вход операционного усилителя. Такое схемное решение применено для обеспечения надежного включения стабилизатора в режим стабилизации при подаче входного напряжения. В некоторых случаях в процессе включения имеет место сбой в связи с тем, что при достаточно большом напряжении смещения ОУ его выходной каскад входит в режим насыщения и его выходное напряжение не превышает десятых долей вольта. Это напряжение ниже уровня, необходимого для открывания транзистора регулирующего компонента.



**Рис. 1.14.9.** Схема УПТ с одним транзистором и двумя дополнительными источниками



**Рис. 1.14.10.** Схема компенсационного стабилизатора напряжения с ОУ типа К153УТ1:  
1-7 - выходы микросхемы

Сопротивления входного делителя напряжения выбирают из условия:

$$\frac{U_{\text{вх min}} R_2}{R_1 + R_2} > U_{\text{VD1 max}} + U_{\text{см max}}$$

$$\frac{U_{\text{вх max}} R_2}{R_1 + R_2} < U_{\text{н.вх}}$$

где  $U_{\text{VD1 max}}$  – максимальное падение напряжения на диоде VD1;  $U_{\text{вх min}}$  и  $U_{\text{вх max}}$  – минимальное и максимальное входные напряжения стабилизатора;  $U_{\text{см max}}$  – максимальное напряжение смещения ОУ;  $U_{\text{н.вх}}$  – напряжение на неинвертирующем входе ОУ при номинальном режиме стабилизатора.

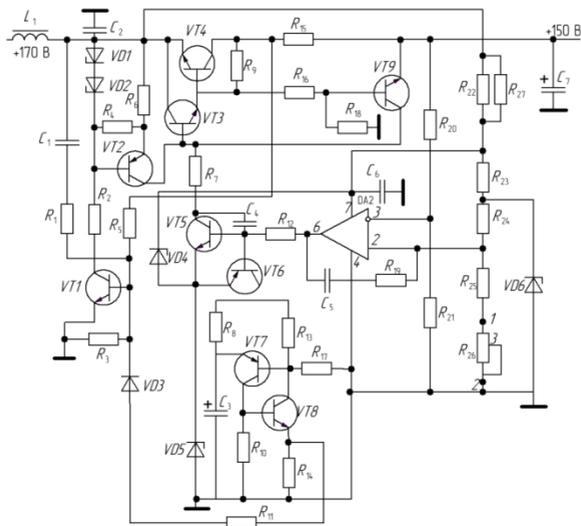
Диод VD1 выбирают с малым значением обратного тока.

Операционные усилители применяются в основном в ИЭП с выходным напряжением свыше 30 В.

На рис. 1.14.11 приведена схема компенсационного стабилизатора напряжения с выходным напряжением 150 В, который используется в устройствах с телевизионными индикаторами [2]. На вход схемы подается выпрямленное напряжение, которое сглаживается фильтром  $L_1, C_2, C_6, C_7$ . Регулирующий компонент содержит



силовой VT4 (2Т845А) и согласующий VT3 (2Т506А) транзисторы. Усилитель постоянного тока содержит микросхему DA1 (140УД7), транзистор VT5 (2Т506А), резисторы  $R_7$  и  $R_{12}$ . Резистор  $R_7$  снижает мощность, рассеиваемую на коллекторе транзистора VT5. Резистор  $R_{12}$  ограничивает выходной ток микросхемы DA1.



**Рис. 1.14.11.** Схема компенсационного стабилизатора напряжения с выходным напряжением 150 В

Источник стабильного тока выполнен на транзисторах VT1 (2Т506А), VT2 (2Т505А), стабилитронах VD1, VD2 (2Д522Б) и резисторах  $R_2, R_4, R_6$ . Транзистор VT1 обеспечивает отключение стабилизатора при перегрузке по току. Первоначальный запуск стабилизатора выполняют конденсатор  $C_1$ , резистор  $R_1$  и схема повторного запуска. Включенное состояние транзистора VT1 после запуска стабилизатора сохраняется благодаря прохождению тока по цепи  $R_3, R_5$ . Схема повторного запуска стабилизатора содержит элементы VT6, VT7 (2Т313Б), VT8 (2Т312Б), VD3 (2Д522Б),  $C_3, R_8, R_{10}, R_{11}, R_{13}, R_{14}, R_{17}$ . При увеличении тока через резистор  $R_{18}$  открывается транзистор VT9 (2Т506А) и шунтирует регулирующий составной транзистор. Выходное напряжение стабилизатора уменьшается, что приводит к закрыванию транзистора VT1 и отключению стабилизатора. При этом включается транзистор VT6 (2Т313Б) и через резистор  $R_8$  заряжает конденсатор  $C_3$ .



Напряжением заряженного конденсатора  $C_3$  включаются транзисторы VT7 (2Т313Б) и VT8 (2Т312Б). Ток от эмиттера транзистора VT8 протекает в базу транзистора VT1, что обеспечивает повторный запуск стабилизатора. Если перегрузка по току устранена, то транзистор VT6 выключается, и схема повторного запуска отключается.

Источник опорного напряжения содержит компоненты  $VD6, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25}, R_{26}, R_{27}$ . Резистор  $R_{26}$  служит для регулирования выходного напряжения. Делитель выходного напряжения выполнен на резисторах  $R_{20}, R_{21}$ . Параметрический стабилизатор содержит стабилитроны  $VD4$  (2С191Т) и  $VD15$  (2С170А). Он обеспечивает электропитанием операционный усилитель DA1.

Компенсационные стабилизаторы напряжения на базе интегральных микросхем серии 142 (интегральные стабилизаторы) широко используются при выходных напряжениях до 30 В. Выпускаются интегральные стабилизаторы двух типов: с регулируемым выходным напряжением и с фиксированным выходным напряжением. В интегральных стабилизаторах первого типа отсутствует цепь обратной связи от измерителя сигнала, выполняемого обычно в виде резисторного делителя. В то же время имеются выводы от основных функциональных узлов, что расширяет область их применения за счет включения дополнительных внешних компонентов. Параметры интегральных стабилизаторов напряжения приведены в табл. 1.14.1 и 1.15.1.

Рассмотрим схемы включения интегральных стабилизаторов напряжения. Для получения заданных выходных параметров и обеспечения режима работы к микросхеме необходимо подсоединить дополнительные компоненты [17]. На рис. 1.14.12 приведена основная схема включения интегральных стабилизаторов напряжения 142ЕН1А, Б и 142ЕН2А, Б. Для повышения устойчивости работы микросхем рекомендуется включение неполярного конденсатора емкостью 0,1 мкФ между выводами 6 и 8 (вывод 6 — от внутреннего источника опорного напряжения). Резисторы  $R_2, R_3$  составляют делитель регулируемого выходного напряжения,  $R_4$  — резистор нагрузки,  $C_1$  и  $C_2$  — корректирующие конденсаторы. Резистор  $R_3$  выбирается из условия равенства или превышения минимально допустимого тока делителя:  $I_{дел} \geq 1,5 \text{ mA}$

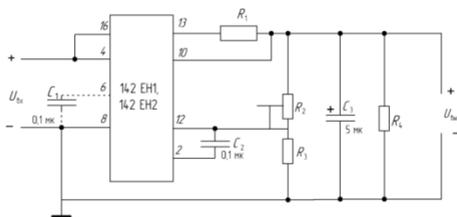


Таблица 1.14.1.  
Значения параметров стабилизаторов напряжения с регулируемым выходным напряжением

Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	Тип микросхемы	Нестабильность по напряжению, не более, %/В	Нестабильность по току, не более, %/А	Входное напряжение, В	Диапазон рабочих температур, °С	Тип корпуса
От 3 до 12	0,15	142Е Н1А	0,3	11,1	20	От -60 до +125	4112.16.1 5.01402.1 6-7
		142Е Н1Б	0,1	4,4			
		КР14 2ЕН1 А	0,3	11,1		От -10 до +70	2101.14-1
		КР14 2ЕН1 Б	0,1	4,4			
КР14 2ЕН1 В	0,5	22,2	КР14 2ЕН1 Г	0,2	4,4		
КР14 2ЕН1 Г	0,2	4,4					
От 12 до 30		142Е Н2А	0,3	11,1	40	От -60 до +125	4112.16.1 5.01402.1 6-7
		142Е Н2Б	0,1	4,4			
		КР14 2ЕН1 А	0,3	11,1		От -10 до +70	2101.14-1
		КР14 2ЕН1 Б	0,1	4,4			
КР14 2ЕН1 В	0,5	22,2	КР14 2ЕН1 В	0,2	4,4		
КР14 2ЕН1 В	0,2	4,4					



		Г					
--	--	---	--	--	--	--	--



**Рис. 1.14.12.** Основная схема включения интегральных стабилизаторов напряжения 142ЕН1 А, Б и 142ЕН 2 А, Б

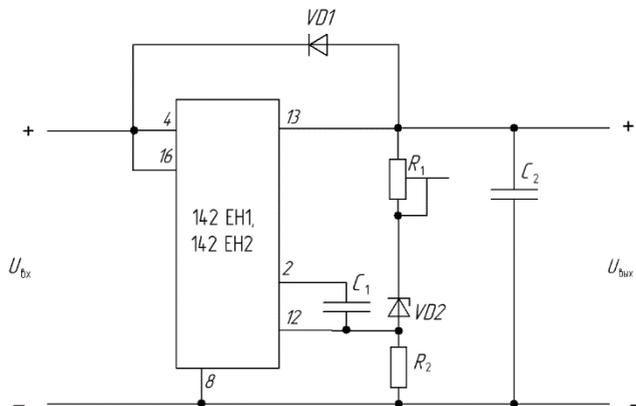
Значение емкости конденсаторов при уровнях выходного напряжения менее 5 В следует выбирать из условия:  $C_2 > 0,1 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 5 \dots 10 \text{ мкФ}$ . При уровнях выходного напряжения выше 5В емкости конденсаторов могут составлять:  $C_2 \geq 100 \text{ пФ}$ ,  $C_3 \geq 1 \text{ мкФ}$ .

Стабилизатор работает следующим образом. При отклонении выходного напряжения часть его с делителя  $R_2, R_3$  подается на вывод 12 микросхемы, где сравнивается с внутренним опорным напряжением  $U_{оп} = (2,4 \pm 0,36)\text{В}$ . Полученный разностный сигнал усиливается дифференциальным усилителем и подается на базу регулирующего составного транзистора. Изменение базового тока регулирующего компонента приводит к компенсирующему изменению выходного напряжения на выводе 13 микросхемы, что обеспечивает поддержание напряжения на нагрузке в заданных пределах.

С целью улучшения стабильности выходного напряжения резистивный делитель может быть заменен стабилитроном VD2 и резистором  $R_2$  (рис. 1.14.13). В этом случае отклонение  $\Delta U_{\text{вых}}$  выходного напряжения определяется выражением:

$$\Delta U_{\text{вых}} \approx \Delta U_{\text{ос}} + \frac{R_{VD2}}{R_2} \Delta U_{\text{ос}},$$

где  $\Delta U_{\text{ос}}$  — напряжение обратной связи, поступающее с делителя на вывод 12 микросхемы;  $R_{VD2}$  – дифференциальное сопротивление стабилитрона.



**Рис. 1.14.13.** Схема компенсационного стабилизатора с повышенной стабильностью

Обычно в этой схеме имеет место соотношение сопротивлений  $R_{VD1} \ll R_2$ , поэтому выходное напряжение стабилизатора равно сумме напряжений стабилитрона и внутреннего опорного источника.

Поскольку при изготовлении стабилитрона и резистора неизбежен технологический разброс параметров, то для получения заданного выходного напряжения в делитель включается переменный резистор  $R_1$ , сопротивление которого  $R_1 < R_2$ . Сопротивление резистора  $R_2$  выбирается с учетом соотношения:

$$R_2 \leq \frac{U_{\text{оп min}}}{I_{VD1 \text{ min}}}.$$

Здесь  $U_{\text{оп min}}$  — минимальное значение внутреннего опорного напряжения микросхемы, равное 2 В;  $I_{VD2}$  — минимально допустимый ток стабилитрона.

Сопротивление резистора  $R_1$  можно принять равным:

$$R_1 = \left(0,8 + \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{U_{\text{оп min}}}\right) R_2,$$

где  $\Delta U_{\text{ст}}$  — разброс напряжения стабилизация стабилитрона.



Диод VD1, включенный между выводами 13 и 4 (см. рис. 1.14.14), служит для защиты микросхемы при отключении входного напряжения.

При малых падениях напряжения на микросхеме типа 142ЕН2 (менее 4,5 В) ее стабилизирующие свойства ухудшаются, так как имеет место разброс значений остаточных напряжений стабилизаторов тока в цепях источника опорного напряжения и дифференциального усилителя в составе микросхемы. В этом случае происходит смещение рабочей точки транзистора стабилизатора тока из активной области в область насыщения, что приводит к снижению стабильности опорного напряжения. Для снижения падения напряжения на микросхеме без ухудшения ее стабильности стабилизатор выполняется с отдельными входными напряжениями  $U_{\text{вх1}}$  и  $U_{\text{вх2}}$  (рис. 1.14.14). В такой схеме разность напряжений:

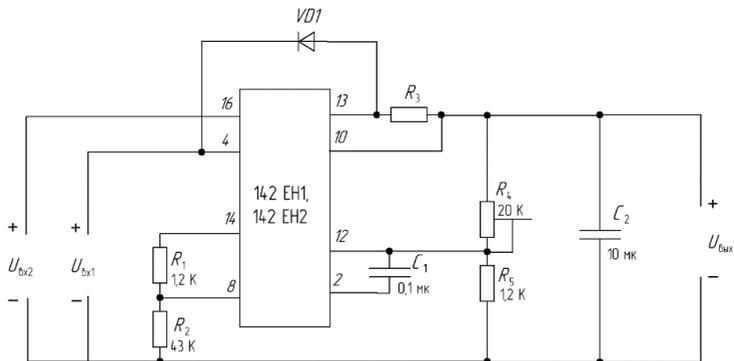
$$U_{\text{вх2}} - U_{\text{вых}} \approx 2,5 \text{ В},$$

что повышает КПД стабилизатора.

Напряжение  $U_{\text{вх1}}$  предварительно стабилизируется и подается на вход опорного источника (вывод 4). При этом должно выполняться условие:

$$U_{\text{вх1}} \geq U_{\text{вх2}}.$$

Регулирование выходного напряжения осуществляется резистором  $R_4$ , сопротивление которого должно быть равным примерно 20 кОм. Сопротивление резистора  $R_5$  выбирается равным 1,2 кОм. При его выборе необходимо учитывать, что в диапазоне разброса опорного напряжения  $U_{\text{оп}}$ , ток выходного делителя  $R_4, R_5$  должен быть не менее 1,5 мА.



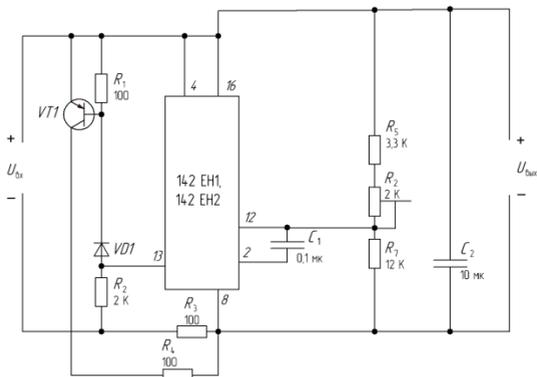
**Рис. 1.14.14.** Схема стабилизатора с повышенным значением КПД

Интегральный стабилизатор типа 142EH1 (или 142EH2) можно использовать для построения схемы параллельного стабилизатора, где он применяется в качестве узла сравнения с опорным напряжением и усиления. Регулирующий компонент в этом случае содержит дополнительный внешний транзистор, резисторы и стабилитрон, что позволяет обеспечить фазовый сдвиг сигнала рассогласования, необходимый для получения отрицательной обратной связи в параллельном стабилизаторе (рис. 1.14.15).

При изменении тока на выходе микросхемы (вывод 13) под действием сигнала обратной связи происходит изменение тока через стабилитрон VD1 с обратным знаком. Поэтому изменения тока нагрузки и тока коллектора транзистора VT1 имеют разные знаки. Разность напряжений между  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$  выделяется на гасящем балластном резисторе  $R_3$ , через который проходит суммарный ток  $I_{R3}$ :

$$I_{R3} = I_{VT1} + I_{пот} + I_{дел} + I_{вых},$$

где  $I_{VT1}$  — ток коллектора транзистора VT1;  $I_{пот}$  — ток, потребляемый интегральным стабилизатором;  $I_{дел}$  — ток делителя выходного напряжения;  $I_{вых}$  — ток нагрузки.



**Рис. 1.14.15.** Схема параллельного стабилизатора напряжения

В параллельном стабилизаторе напряжения должны выполняться условия:

$$I_{R3}^2 R_3 \leq P_{\text{рас.доп}},$$

$$I_{VT1max} U_{\text{вых}} \leq P_{\text{рас.доп}}.$$

Здесь  $P_{\text{рас.доп}}$  – допустимая мощность рассеяния резистора  $R_3$  и транзистора VT1;  $I_{VT1max}$  – ток коллектора транзистора VT1 при токе нагрузки  $I_{\text{вых}} = 0$ .

Сопротивление резистора  $R_2$  определяется из выражения:

$$R_2 = \frac{U_{\text{вх min}} - U_{VD1} - U_{\text{ЭБ}}}{\left(\frac{I_{\text{вых max}}}{\beta_{\text{min}}}\right) - I_{K \text{ min}}}$$

Для микросхем 142ЕН1 А, Б напряжение стабилизации стабилитрона VD1 выбирается в пределах:

$$4 \text{ В} \leq U_{VD1} + U_{\text{ЭБ}} \leq 12 \text{ В}$$

а для микросхем 142ЕН2 А, Б

$$4 \text{ В} \leq U_{VD1} + U_{\text{ЭБ}} \leq 37 \text{ В}.$$