

3. ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ.

Исходные данные, необходимые для расчета: номинальное значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$; пределы регулирования выходного напряжения $U_{\text{вых min}}, U_{\text{вых max}}$; максимальный и минимальный токи нагрузки $I_{\text{н max}}, I_{\text{н min}}$; нестабильность входного напряжения a ; нестабильность выходного напряжения $K_u = D U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}$ или коэффициент пульсаций выходного напряжения $K_{\text{п}}$; коэффициент стабилизации напряжения $K_{\text{СТ}} = a / K_u$; внутреннее сопротивление стабилизатора $R_{\text{вн}}$; температурный коэффициент γ .

Выбор ИМС производится по заданным $U_{\text{вых}}, I_{\text{вых max}}, K_{\text{СТ}}$ (2.2), γ (2.7), $R_{\text{вн}}$ (2.4). При этом следует отдавать предпочтение тем ИМС, которые работают с меньшим количеством внешних элементов. При этом должны быть выполнены условия: $U_{\text{вых имс}} \geq U_{\text{вых}}$; $I_{\text{вых max имс}} \geq I_{\text{н max}}$; $K_{\text{СТ имс}} > K_{\text{СТ}}$. Независимо от типа выбранной определяют минимальное, номинальное и:

$$U_{\text{вх min}} = U_{\text{вых max}} + U_{\text{пд}}; U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх min}}}{1 - \alpha_{(-)}}; U_{\text{вх max}} = U_{\text{вх}} (1 + a_{(+)}),$$

где $a_{(+)}, a_{(-)}$ –наибольшие положительные и отрицательные относительные изменения входного напряжения соответственно.

Возможные пределы изменения КПД:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{U_{\text{вх max}}}{U_{\text{вх min}}}; \quad \eta_{\text{min}} = \frac{U_{\text{вх min}}}{U_{\text{вх max}}}$$

(предполагается, что ток, потребляемый стабилизатором, мал, т.е. $I_{\text{вх}} \approx I_{\text{н}}$).

Элементы принципиальной схемы стабилизатора на ИМС К142ЕН1, К142ЕН2 (рис.3.1) рассчитываются следующим образом: делитель выходного напряжения R_4, R_5 выбирается из условия, чтобы через него протекал ток $I_{\text{д}}$ не менее 1,5 мА. Сопротивление резистора R_5 определяется уровнем опорного напряжения и составляет обычно 1,2 кОм.

$$R_4 = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{д}} R_5}{I_{\text{д}}}$$

Емкость выходного конденсатора C_2 , повышающего устойчивость стабилизатора и снижающего уровень пульсации выходного напряжения, выбирается из условия $C_2 \geq 2,2$ мкФ. Для повышения устойчивости включается также конденсатор $C_1 \approx 0,1$ мкФ.

Ток через делитель R_2, R_3 выбирается равным $I_{\text{д}} = 0,3$ мА, а $R_2 = 2$ кОм. Напряжение $U_{\text{бэ9}}$ транзистора защиты составляет 0,7 В, поэтому сопротивление, кОм,

$$R_3 = \frac{U_{\text{н}} + U_{\text{бэ9}}}{I_{\text{д}}} = \frac{U_{\text{н}} + 0,7}{0,3}.$$

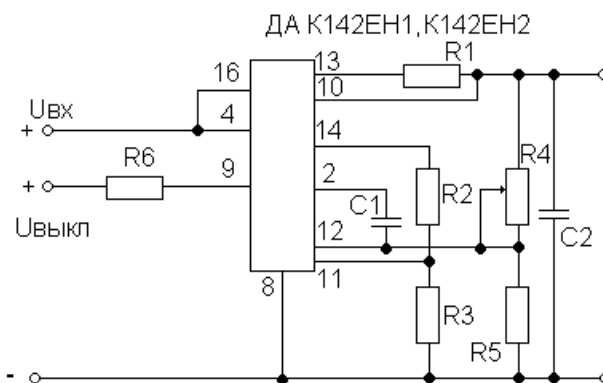


Рис. 3.1

Зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки при действии схемы защиты показана на рис 3.2.

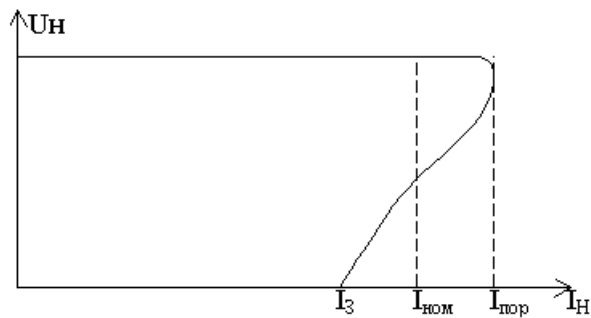


Рис. 3.2

Напряжение на резисторе защиты R1 открывает транзистор защиты VT9 только при токе $I_{пор}$, при этом $I_{пор} < I_{нmax}$, а сопротивление резистора $R_1 = 0,7/I_{пор}$.

Включение последовательно в выходную цепь ИСН резистора R1 ухудшает его внутреннее сопротивление, поэтому R1 выбирают минимально возможным. Схема стабилизатора (рис.3.3) может работать на повышенном токе нагрузки благодаря включению составного транзистора VT1, VT2.

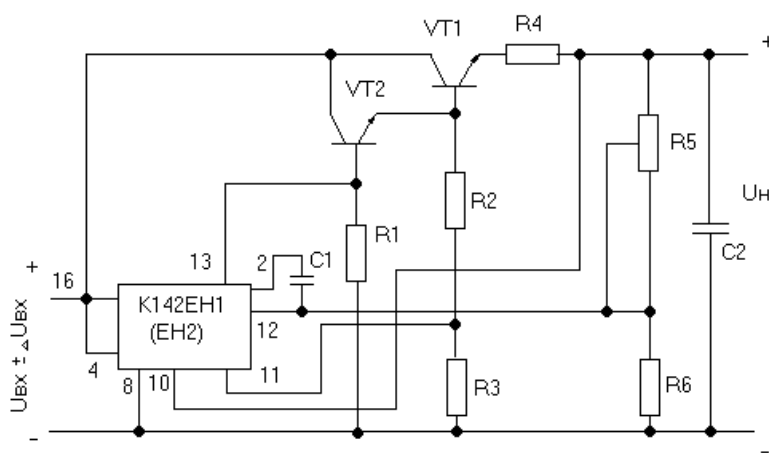


Рис. 3.3

Расчет стабилизатора производится в следующем порядке.

Ток через транзистор VT1

$$I_{k1max} = I_{нmax} + I_{п},$$

где $I_{п}$ - ток, потребляемый стабилизатором.

Максимальное напряжение на входе стабилизатора с учетом падения напряжения на внутреннем сопротивлении выпрямителя r_0

$$U_{вхmm} = U_{вхmax} + (I_{нmax} - I_{нmin})r_0.$$

Величину r_0 можно принять равной $(0,05 - 0,1)U_{вх}/I_{н}$.

Максимальное напряжение между коллектором и эмиттером

транзистора VT1

$$U_{кэ1max} = U_{вхmm} - U_{н}$$

Максимальная мощность, рассеиваемая на регулируемом

транзисторе VT1

$$P_{k1} = (U_{vxmax} - U_H) I_{k1max}.$$

По данным $U_{кэ1max}$, $I_{к1max}$, $P_{к1}$ выбирают тип регулируемого транзистора.

При этом необходимо учесть, что расчетные величины должны быть меньше предельных величин, указанных в справочнике.

Максимальный ток базы транзистора VT1

$$I_{б1max} = I_{к1max} / h_{21max}.$$

Если $I_{б1max}$ меньше номинального тока нагрузки $I_{ном}$ ИМС, то транзистор VT2 вводить в схему не нужно. Вывод I3 ИМС следует соединить с базой VT1, а резистор R1 убрать. Транзистор VT1 является третьим в составном регулируемом транзисторе стабилизатора. Если $I_{б1max} > I_{ном}$, включают еще один транзистор VT2, предварительно определив следующие параметры.

Ток через резисторы R2, R3

$$I_{R2,3} = (1..1,5) I_{кo2max},$$

где $I_{кo2max}$ - наибольший обратный ток коллектора транзистора VT2. Если VT2 отсутствует, $I_{R2,3} = 1\text{mA}$.

Сопротивление резисторов R2, R3

$$(R2 + R3) = U_H / I_{r2,3}.$$

Максимальное значение тока эмиттера транзистора VT2

$$I_{э2max} = (I_{б1max} + I_{R2,3}) \approx I_{к2max}$$

Максимальное напряжение $U_{кэ2max}$ транзистора VT2

$$U_{кэ2max} \approx U_{кэ1max}.$$

Максимальная мощность, рассеиваемая транзистором VT2,

$$P_{к2} = I_{к2max} \cdot U_{кэ2max}.$$

По величинам $I_{к2max}$, $U_{кэ2max}$, $P_{к2}$ выбирают транзистор VT2.

Сопротивление $R_1 = U_H / I_{mA}$

Наибольший ток базы транзистора VT2

$$I_{б2} = I_{к2max} / h_{21э2max}$$

Необходимо проверить соблюдение условия $I_{б2max} \leq I_{выхmaxимс}$

Защита от перегрузки и короткого замыкания осуществляется напряжением, подаваемым с резистора R_4 на базу транзистора защиты по току в ИМС.

Сопротивление резистора защиты:

$$R4 = U_{R4} / I_{пор}$$

Отношение R_2/R_3 следует выбирать таким, чтобы при нормальном токе нагрузки напряжение между выводами 10 и 11 ИМС, между базой и эмиттером транзистора защиты по току, было близким к нулю:

$$U_{10-11} = U_{R4} + U_{бэ1} - U_{R2} \approx 0.$$

Из этого условия определяют сопротивление:

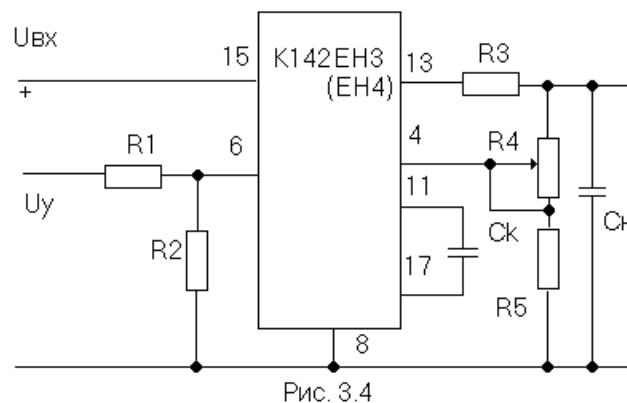
$$R_2 = \frac{U_{R4} + U_{бэ1}}{I_{R2,3}} \approx \frac{1,4B}{I_{R2,3}}$$

Мощность, рассеиваемая на резисторах:

$$P_R = I_R^2 R.$$

Интегральные стабилизаторы типов К142ЕН3, К142ЕН4 выполнены на кристалле размером 2,2X2,2 мм.

Принципиальная электрическая схема значительно усложнена по сравнению со схемой стабилизаторов К142ЕН1, К142ЕН2 за счет введения двухкаскадного дифференциального УПТ с токостабилизирующими двухполюсниками, что существенно повысило стабильность по напряжению, а наличие мощного регулирующего транзистора обеспечило ток нагрузки ИМС до 1А.



Типовая схема включения стабилизаторов К142ЕН3, К142ЕН4 приведена на рис 3.4. Назначение элементов: R1- ограничительный резистор выключения микросхем внешним сигналом; R2- ограничительный резистор для регулирования порога срабатывания тепловой защиты в диапазоне температур корпуса микросхемы T_k от $+65^0$ до $+145^0C$; R3- резистор защиты от перегрузки по току или короткого замыкания; Ck -корректирующий конденсатор; совместно с выходным конденсатором Cн он обеспечивает устойчивую работу стабилизатора (обычно $C_k=0,01$ мкФ, $C_n \approx 2,2$ мкФ).

Резистор R2, кОм, выбирают из условия:

$$R_2 \geq \frac{0,037 T_k - 6,65}{1 - 0,0155 T_k}$$

Сопротивление ограничительного резистора, кОм,

$$R_1 \geq \frac{U_y R_2 (1 + 0,4 R_2) - R_2 (1,8 + 0,5 R_2)}{1,8 + R_2 (1,2 + 0,2 R_2)},$$

где U_y - амплитуда управляющего импульса включения.

При управлении от микросхемы с ТТЛ-выходом U_y составляет около 5В.

Сопротивление резистора защиты:

$$R_3 = \frac{1,25 - 0,5I_{пор} - 0,023(U_{вх} - U_H)}{I_{пор}}.$$

Ток, протекающий через выходной делитель R4,R5 $I_d > 1,5$ мА.

Общее сопротивление делителя

$$R_{4,5} = \frac{U_H}{I_d}.$$

Напряжение на резисторе R5 должно быть равно образцовому:

$$U_{обр} = 2,5 \text{ В} + 10\%. \text{ Тогда } R_5 = \frac{U_{обр}}{I_d}; R_4 = R_{4,5} - R_5.$$

Фиксированное выходное напряжение можно получить в стабилизаторах на ИМС К142ЕН5, К142ЕН8, КР142ЕН8, К142ЕН9, КР142ЕН17, КР1157, КР1162 ([рис. 1.3](#)). Номер входного, выходного и общего выводов указан в таблице 2.1. В зависимости от того, включен ли регулирующий транзистор в плюсовой или минусовой провод, в таблице приводится соответствующее обозначение (+вход) или (- вход). Эти же ИМС, а также КР142ЕН12, КР142ЕН18 могут использоваться в схемах стабилизаторов с регулированием выходного напряжения ([рис.1.5](#)).

Ток делителя R1,R2 $I_d > I_{п}$.

$$R_1 = U_{\text{вых ном}} / I_d \quad (3.1)$$

Используя формулу (1.1) и заменяя I_d из (3.1), получаем:

$$R_2 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых ном}}}{I_d + I_{п}} = \frac{(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых ном}})R_1}{U_{\text{вых ном}} + I_{п}R_1}, \quad (3.2)$$

Если в таблице 2.1 не указан $I_{п}$, I_d принимают равным 5 мА. Рассчитывая делитель в стабилизаторе на ИМС КР142ЕН12, КР142ЕН18, $U_{\text{вых ном}}$ нужно заменить на $U_{\text{вых мин}}$. Кроме того, для снижения уровня фона при выходном напряжении, близком к минимальному, рекомендуется в измерительный элемент стабилизатора на ИМС КР142ЕН12, КР142ЕН18 включать сглаживающий конденсатор $C_3 = (2 \dots 10) \text{ мкФ}$. При $U_{\text{вх}} > 25 \text{ В}$, если возможно замыкание входной цепи стабилизатора, следует при наличии конденсатора С3 включить диод VD2 (КД521А), защищающий вход управления микросхемы.

Микросхемы 142ЕН10 и 142ЕН11 – четырехвыводные регулируемые стабилизаторы. ИМС 142ЕН10 включается по схеме [рис. 1.4](#), а для ИМС 142ЕН11 выводы 3 и 4 соединяются и схема включения преобразуется в [рис.1.5](#). Ток делителя R1,R2 $I_d > I_{п}$.

$$I_d = \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 + R_2} = \frac{U_{\text{ос}}}{R_2}, \quad (3.3)$$

где $U_{\text{ос}}$ – напряжение обратной связи; в К142ЕН10 $U_{\text{ос}} \approx 2,3 \text{ В}$, а в К142ЕН11 $U_{\text{ос}} \approx 1,25 \text{ В}$. Сопротивления R1 и R2 находят из (3.3).

В двуполярных источниках электропитания применяют **интегральные двуполярные стабилизаторы напряжения на ИМС К142ЕН6 и 142ЕН15**. На рис. 3.5 приведена схема включения микросхемы К142ЕН6А (К142ЕН6Б).

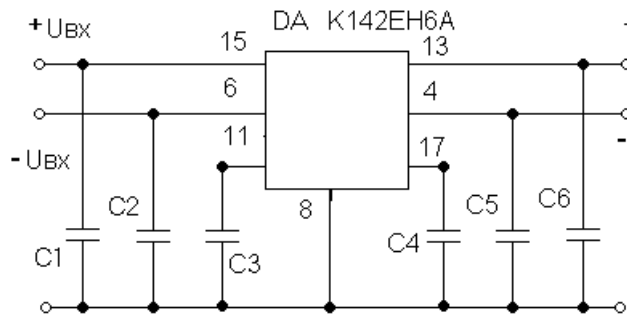


Рис. 3.5

Емкость входных конденсаторов C_1 и C_2 не менее $2,2\text{мкФ}$ для танталовых и не менее 10мкФ для алюминиевых оксидных конденсаторов, а емкость выходных конденсаторов не менее 1мкФ для танталовых и 10мкФ для алюминиевых оксидных конденсаторов. $C_3=C_4=(0,001\dots0,2)\text{мкФ}$.

Двуполярные стабилизаторы напряжения можно сделать регулируемыми. На рис. 3.6 приведена схема стабилизатора на тех же ИМС K142EH6 на выходные напряжения от $(4,5\dots5)\text{В}$ до $(12\dots15)\text{В}$, а на рис. 3.7 – на выходные напряжения от $(15\dots18)\text{В}$ до $(25\dots27,5)\text{В}$. Емкости конденсаторов выбирают также, как и для нерегулируемого двуполярного стабилизатора.

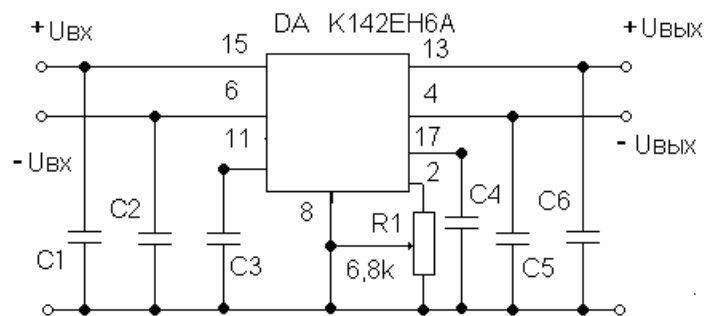


Рис. 3.6

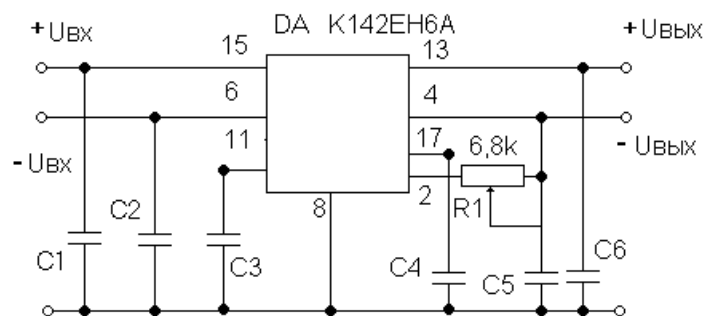


Рис. 3.7

Типовая схема включения стабилизатора KP142EH15A (KP142EH15B), обеспечивающая фиксированное выходное напряжение $2 \times 15\text{В}$, показана на рис. 3.8.

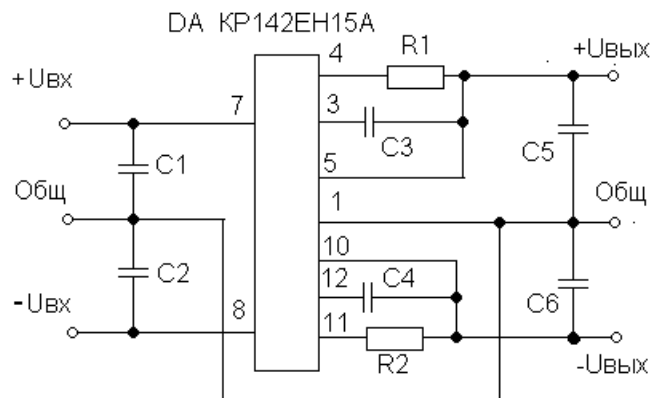


Рис. 3.8

Для получения регулируемого выходного напряжения применяют схему включения, представленную на рис. 3.9. Переменным резистором R4 изменяют напряжение обоих плеч одновременно, а регулятором R3 – корректируют, если необходимо, выходное напряжение только минусового плеча.

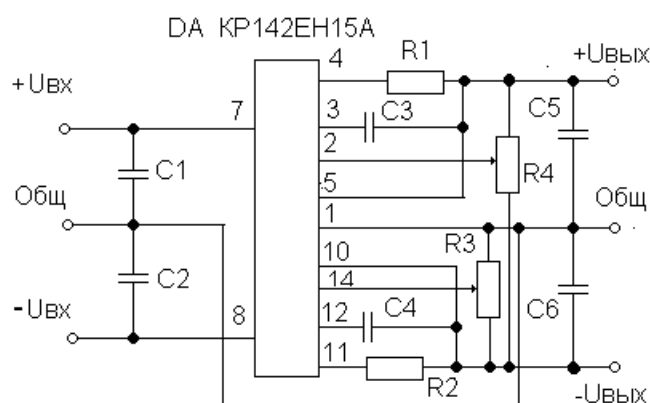


Рис. 3.9

Входные конденсаторы выбираются также, как и в других стабилизаторах, рассмотренных выше. Резисторы R1 и R2 (рис. 3.8 и 3.9) – датчики тока нагрузки системы защиты от перегрузки и аварийного замыкания выходной цепи. Для температуры кристалла 25°C

$$R_1 = \frac{0,6B}{I_{пор(+)}}, \quad R_2 = \frac{0,55B}{I_{пор(-)}}, \quad (3.4)$$

где $I_{пор(+)}$ и $I_{пор(-)}$ – выходные токи плюсового и минусового плеч соответственно, при которых должна сработать система защиты. Обычно $I_{пор(+)} = I_{пор(-)}$.

При повышении рабочей температуры кристалла числитель в формулах (3.4) должен быть уменьшен на 0,02В на каждые 10°C.

Емкость конденсаторов C3=C4 следует выбирать равной или большей 0,01мкФ, а C5=C6 -равной или большей 1мкФ. Сопротивления резисторов R3 и R4 - 33кОм.

Микросхемы KP142EH15A и KP142EH15Б могут работать совместно с внешними уможняющими транзисторами (рис.3.10). Для этого стабилизатора подойдут транзисторы КТ818А и КТ819А или другие комплементарные пары мощных транзисторов. Сопротивления базовых резисторов $R_3=R_4=75\Omega$.

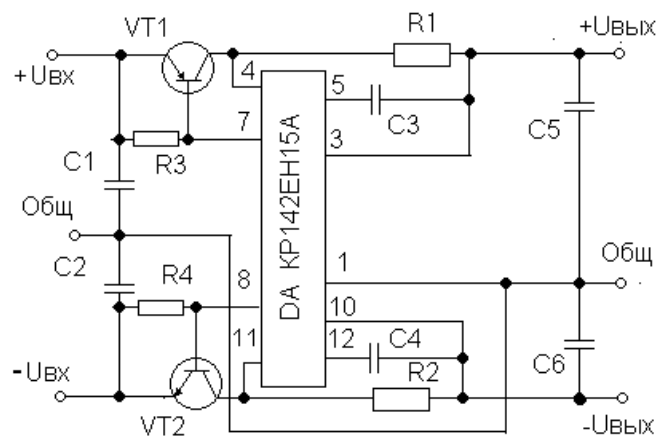


Рис. 3.10

Двуполярные стабилизаторы напряжения можно построить на двух различных микросхемах, имеющих близкие параметры, но различные знаки выходного напряжения. Так, у микросхемных стабилизаторов КР142ЕН18 много общего с КР142ЕН12. Поэтому их можно использовать совместно в двуполярном стабилизаторе с регулируемым выходным напряжением. Схема такого стабилизатора приведена на рис. 3.11.

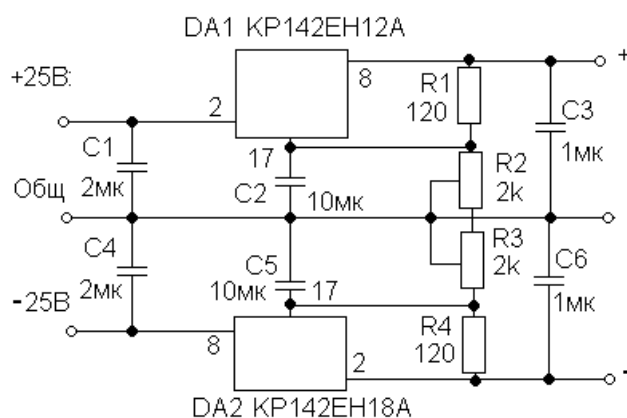


Рис. 3.11

Микросхемы **КР142ЕН14** – улучшенный аналог стабилизаторов К142ЕН1 и К142ЕН2. Типовая схема включения ИМС для выходного напряжения 2...7В показана на рис. 3.12, а для выходного напряжения 7...37В -на рис. 3.13. Поскольку выводы 11 и 12 соединены, все узлы микросхемы питаются от общего источника нестабилизированного напряжения (совместное питание).

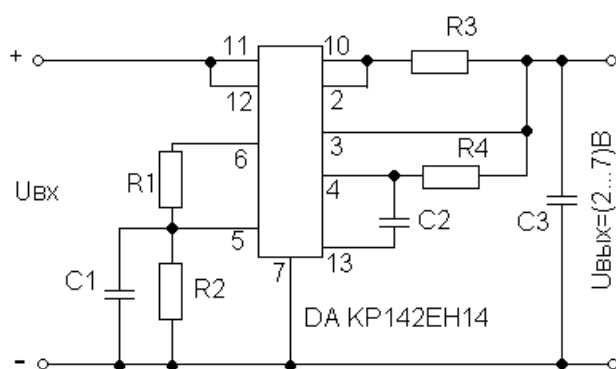


Рис. 3.12

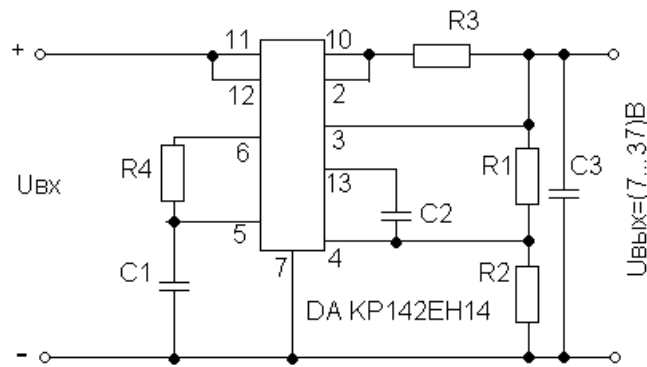


Рис. 3.13

На рис. 3.14 представлена схема стабилизатора с отдельным питанием микросхемы от отдельного стабилизированного источника. Напряжение на выводе 11 не должно быть более напряжения на выводе 12.

Выходное напряжение в схеме рис 3.12:

$$U_{\text{ВЫХ}(2..7)} = \frac{R_2 \cdot 7,15}{R_1 + R_2}, \quad (3.5)$$

а в схеме 3.13

$$U_{\text{ВЫХ}(7..37)} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot 7,15, \quad (3.6)$$

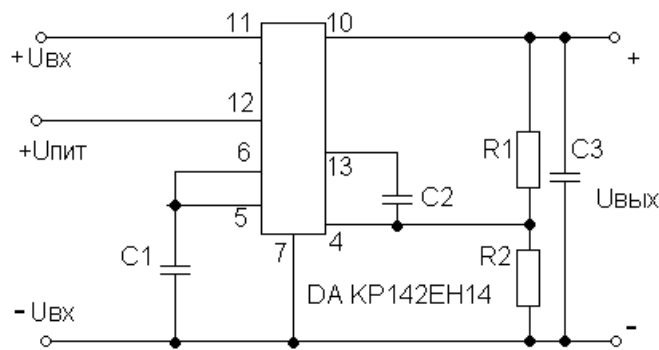


Рис. 3.14

В таблице 3.1 приведены расчетные значения сопротивления резисторов R1 и R2 для некоторых типовых значений выходного напряжения. Если необходимо плавно регулировать выходное напряжение, резистор R1 выбирают переменным.

Таблица 3.1.

$U_{\text{ВЫХ}}$	2,4	3	4	5	6	9	12	15	24	27	30
$R1, \text{кОм}$	4,75	4,12	3,12	2,15	1,15	1,87	4,87	7,87	16,19	19,8	22,9
$R2, \text{кОм}$	2,4	3,01	4,02	4,99	6,04	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15

Если замыкание выходной цепи маловероятно, резистор системы защиты определяют по пороговому току нагрузки:
 $R_3 = 0,65 / I_{\text{пор}}$

Резистор R4 служит для уменьшения температурного коэффициента выходного напряжения и подавления паразитной генерации.

$$R_4 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Этот резистор может быть исключен из схемы ($R_4=0$).

Если замыкания цепи нагрузки вероятны и их длительность может быть значительной, используют другую схему включения (рис.3.15).

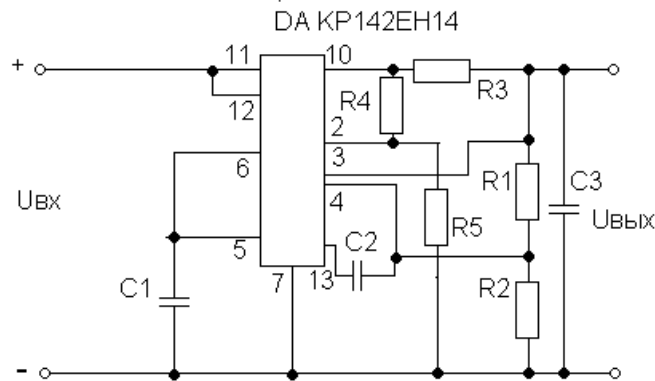


Рис. 3.15

Резистор схемы защиты:

$$R_3 = \frac{U_{\text{вых}}}{I_3 (1 + U_{\text{вых}} / 0,65) - I_{\text{пор}}}$$

где I_3 – остаточный выходной ток замыкания, $I_{\text{пор}}$ – порог срабатывания системы защиты. Резисторы R1 и R2 образуют делитель напряжения измерительного элемента стабилизатора, а резисторы R4 и R5 – базовый делитель напряжения транзистора системы защиты:

$$R_4 = (I_3 R_3 / 0,65 - 1) R_5; R_5 = (U_{\text{вых}} + 0,65) / I_d,$$

где I_d – ток делителя R4, R5 (рекомендуется выбрать $I_d \approx 0,001 \text{ A}$).

Стабилизатор может быть укомплектован дополнительным транзистором (рис 3.16). Сопротивление базового резистора:

$$R_5 = U_{\text{вых}} / 0,001 \text{ (Ом)}$$

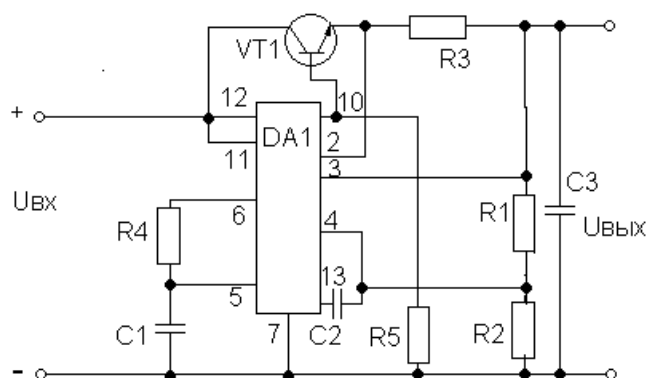
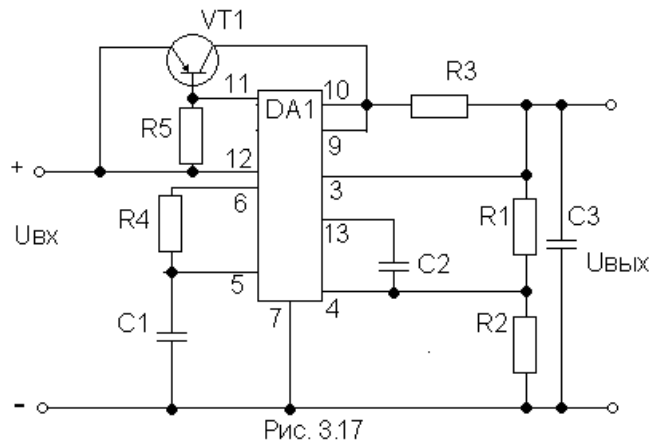


Рис. 3.16

Если необходимо обеспечить минимальные потери напряжения на регулирующем транзисторе, можно применить схему, показанную на рис. 3.17.



Сопротивление базового резистора R5 выбирают в пределах 100...200 Ом.

При работе стабилизаторов с умпощняющими транзисторами (рис.3.16, 3.17) необходимо выполнение условий:

$$I_{\text{пор}} U_{\text{вх}} \leq P_{\text{расс. max}}; (I_{\text{пор}}/h_{21э} + I_{\text{п}}) U_{\text{вх}} \leq P_{\text{расс. max}},$$

где $h_{21э}$ – минимальное значение коэффициента передачи транзистора VT1.

Для стабилизаторов по рис 3.16, 3.17 подойдут мощные транзисторы, рассчитанные на ток коллектора 5А и более. При выборе транзисторов необходимо учитывать, что подойдут лишь те экземпляры, у которых $h_{21э} > 50...70$.

Во всех схемах стабилизаторов на КР142ЕН14 $C1 > 1\text{ мкФ}$, $C2 > 100\text{ пФ}$, $C3 > 0,01\text{ мкФ}$ (конденсаторы C1и C3 устанавливают при необходимости).

Если необходим стабилизатор с включением регулирующего транзистора в минусовой провод источника напряжения, применяют схему, представленную на рис. 3.18.

Здесь сопротивления делителей R1, R2 источника образцового напряжения можно выбрать по таблице 3.1, а резисторов R4,R5 делителя измерительного элемента – из соотношений:

$$R_4 = 1,5 \frac{2A + 1}{2A - 1} (\text{кОм}); R5 = 1,5(2A + 1) (\text{кОм}),$$

где $A = U_{\text{вх}}/U_{\text{обр}} = U_{\text{вх}}/7,15$, при этом $U_{\text{вх}} = (9...40)\text{В}$.

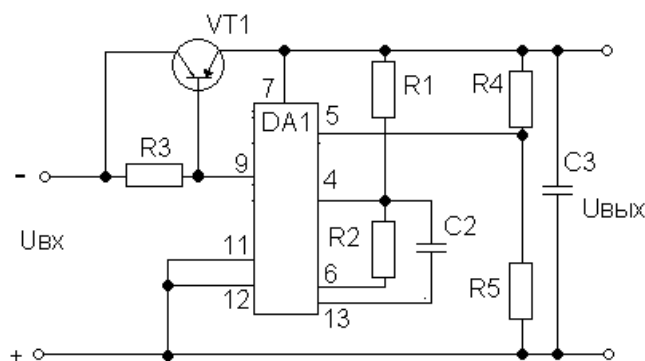


Рис. 3.18

Сопротивление базового резистора:

$$R_3 = \frac{(U_{\text{вх}} - U_{\text{ввых}})h_{21}}{I_{\text{ввых max}}}.$$

В стабилизаторе (рис. 3.18) можно использовать транзисторы КТ816В, КТ932Б.