

РАСЧЕТ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1.1 Основные сведения об интегральных стабилизаторах и схемы их включения

Стабилизаторами напряжения (СН) называются устройства, автоматически поддерживающие напряжение на нагрузке с заданной степенью точности. Качество стабилизации оценивается коэффициентом k_E неустойчивости по входному напряжению ($k_E = \Delta U / \Delta U_{ВХ}$, где $\Delta U_{ВХ}$ - изменение входного напряжения $U_{ВХ}$; ΔU - выходного напряжения U), выходным сопротивлением $R_{ВЫХ}$ ($R_{ВЫХ} = k_I = -\Delta U / \Delta I_H$, где ΔI_H - изменение тока нагрузки I_H), температурным коэффициентом γ ($\gamma = \Delta U / \Delta T_{ОКР}$, $\Delta T_{ОКР}$ - изменение температуры окружающей среды), коэффициентом $K_{СГ}$ сглаживания пульсаций ($K_{СГ} = k_{П ВХ} / k_{П ВЫХ}$) и др.

В настоящее время выпускается широкая номенклатура компенсационных СН непрерывного действия (линейные СН) в интегральном исполнении. Компенсационные СН представляют собой замкнутую систему автоматического регулирования, эффект стабилизации в которой достигается за счет изменения параметров регулирующего элемента (обычно транзистора) под действием сигнала отрицательной обратной связи (ООС), являющегося функцией выходного напряжения.

Интегральные СН выпускаются как на фиксированные выходные напряжения, так и в виде универсальных стабилизаторов, позволяющих за счет внешней цепи делителя регулировать выходное напряжение в широких пределах. Обычно можно считать, что

$$U = U_{ОП} \frac{R_1 + R_2}{R_2}, \quad (1.1)$$

где $U_{ОП}$ - опорное напряжение, R_1 и R_2 - сопротивления цепи делителя.

Сведения о некоторых типах универсальных интегральных СН приведены в табл.1.1.

Табл.1.1

Тип стабилизатора	K_U , % В	K_I , % А	$U_{ПД\ min}$, В	$U_{ВХ\ max}$, В	$U_{ВЫХ}$, В	$I_{H.MC.\ max}$, А	$I_{ПОТ}$, мА	$P_{РАСС.\ max}$, Вт
К142ЕН1А	0,3	11,1	3	20	3...12	0,15	4	(0,8)
Б	0,1	4,4						
В	0,5	44,4						
Г	0,5	22,2						
К142ЕН2А	0,3	11,1	3	40	12...30	0,15	4	(0,8)
Б	0,1	4,4						
В	0,5	44,4						
Г	0,5	22,2						
К142ЕН3А	0,05	0,25	3	45	3...30	1	10	6
Б		0,33	4	40	5...30	0,75		

Основными параметрами интегральных СН, характеризующими качество стабилизации, являются: коэффициент K_U нестабильности по напряжению

$$K_U = \frac{\Delta U}{U \Delta U_{ВХ}} 100, \% / В$$

и коэффициент K_I нестабильности по току

$$K_I = \frac{\Delta U}{U \Delta I_H} 100, \% / А.$$

Эти параметры связаны с k_E и $R_{ВЫХ}$ следующим образом:

$$K_U = \frac{k_E}{U} 100 \quad \text{и} \quad K_I = \frac{R_{ВЫХ}}{U} 100. \quad (1.2)$$

К важнейшим эксплуатационным параметрам интегральных СН относятся: максимальное входное напряжение ($U_{ВХ\ max}$); диапазон изменения выходного напряжения; минимальное падение напряжения на микросхеме (МС) ($U_{ПД}$); максимальный ток нагрузки ($I_{H\ MC\ max}$); потребляемый ток ($I_{ПОТ}$); максимальная рассеиваемая мощность ($P_{РАСС\ max}$).

Типовые схемы включения интегральных СН показаны на рис.1.1а и б. СН может быть построен по таким схемам только в том случае, если ток нагрузки не превышает $I_{H\ MC\ max}$ и мощность рассеяния меньше $P_{РАСС\ max}$. При больших токах нагрузки можно увеличить нагрузочную способность интегрального СН (рис.1.2а и б) путем введения в

схему усиливающего транзистора. Коэффициенты неустойчивости усиленного СЧ зависят от соответствующих коэффициентов МС и параметров эквивалентной схемы силовой цепи СЧ. При этом k_E практически не изменится, а $R_{BЛХ}$ уменьшается.

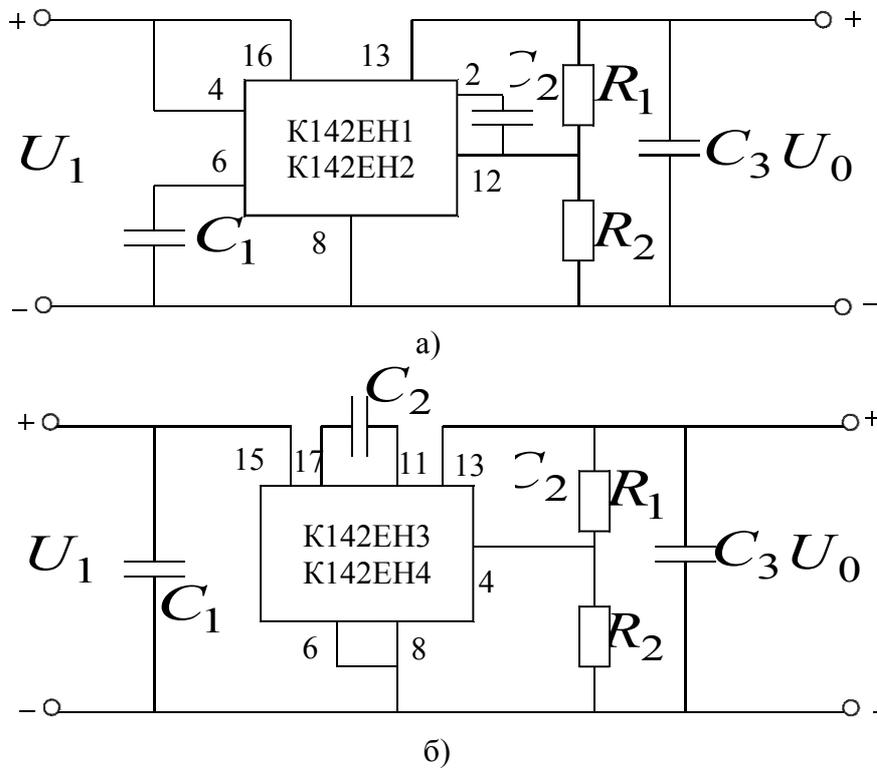


Рис.1.1

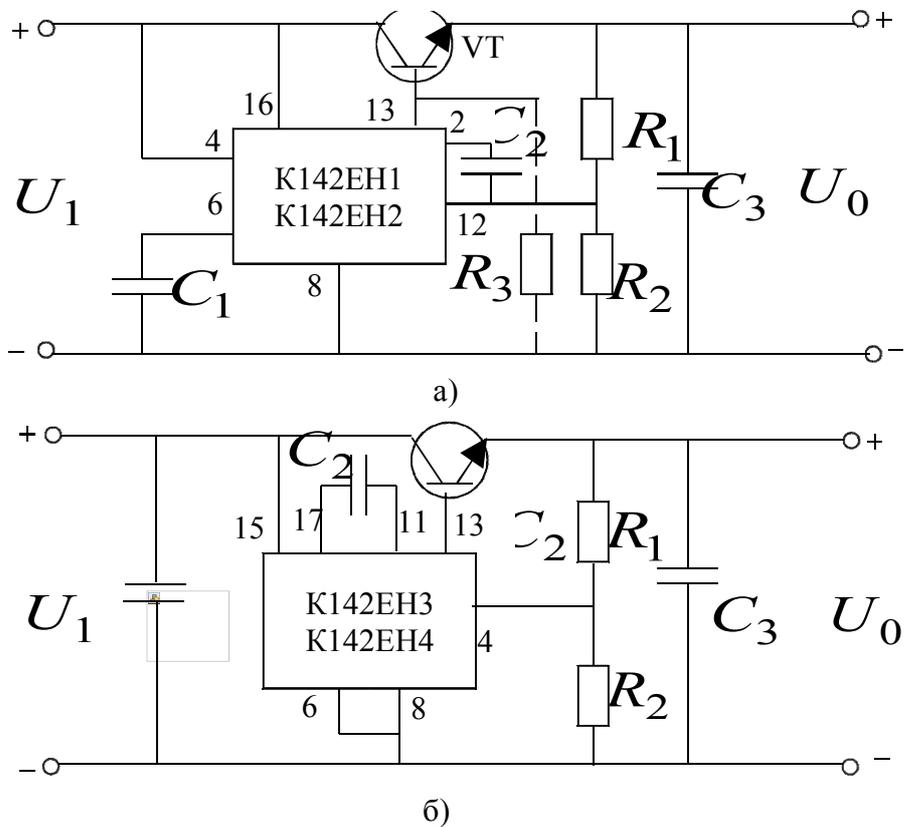


Рис.1.2

1.2. Расчет стабилизаторов напряжения, выполненных на базе интегральных СН

Интегральные стабилизаторы функционально являются практически законченными устройствами. Поэтому расчет СН на их основе сводится к выбору МС с параметрами, удовлетворяющими исходным данным, и проверке ее электрического режима на соответствие техническим условиям. Применение универсальных интегральных СН требует также определения величин сопротивлений делителя, обеспечивающих заданное выходное напряжение. Для схем с повышенной нагрузочной способностью дополнительно проводится расчет силовой цепи.

Исходными данными для расчета являются: номинальное выходное напряжение (U_0) и ток (I_0); k_E ; $R_{ВЫХ}$; относительные отклонения входного напряжения от номинального в сторону уменьшения:

$$\Delta_{\min} = \frac{U_1 - U_{1\min}}{U_1}$$

и увеличения:

$$\Delta_{\max} = \frac{U_{1\max} - U_1}{U_1},$$

температура окружающей среды ($T_{ОКР}$).

На основе исходных данных выбираем тип МС, используя формулу (1.2) и справочник или табл.П1.1. В зависимости от соотношения тока нагрузки и $I_{Н МС \max}$ определяем схему включения МС. При $I_0 < I_{Н МС \max}$ СН строим по типовой схеме рис.1.1, в противном случае используем схему с умпощняющим транзистором (рис.1.2.)

Определим минимальное, номинальное и максимальное напряжения на входе стабилизатора: $U_{1\min}$; U_1 ; $U_{1\max}$.

$$U_{1\min} = U_0 + U_{ПД} + U_{1m}, \quad (1.3)$$

где амплитуда пульсаций на входе СН

$$U_{1m} = (0,05 \div 0,1)(U_0 + U_{ПД}).$$

Если используется умпощняющий транзистор, следует учесть, что напряжение на выходе МС должно быть больше U_0 на величину $U_{БЭ}$ транзистора ($\sim 0,7$ В).

Номинальное и максимальное напряжения на входе СН определяются из выражений:

$$U_1 = \frac{U_{1\min}}{1 - \Delta_{\min}}; \quad U_{1\max} = U_1(1 + \Delta_{\max}). \quad (1.4)$$

В режиме холостого хода минимальное и максимальное напряжения на входе найдем как

$$\begin{aligned} E_{1\min} &= U_{1\min} + I_0 R_{ИСТ}; \\ E_{1\max} &= U_{1\max} + I_0 R_{ИСТ}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

где величину выходного сопротивления $R_{ИСТ}$ источника входного напряжения можно оценить как

$$R_{ИСТ} = (0,05 \div 0,1) \frac{U_1}{I_0}. \quad (1.6)$$

Значения $U_{1\max}$; $U_{1\min}$; $E_{1\max}$; $E_{1\min}$ определяют границы рабочей области на выходных характеристиках силового транзистора.

Мощность, рассеиваемая МС:

$$P_{МС} = P_{СЦ} + U_{1\max} I_{ПОТ}, \quad (1.7)$$

где $P_{СЦ}$ - слагаемое, учитывающее мощность, рассеиваемую силовыми транзисторами МС:

$$P_{СЦ} = (U_{1\max} - U_0) I_0. \quad (1.8)$$

Второе слагаемое в (1.7) учитывает мощность, потребляемую остальными цепями МС. Расчетные величины $U_{1\max}$ и $P_{МС}$ должны быть меньше предельных значений, указанных в справочнике.

Если МС не проходит по току или мощности, необходимо увеличить ее нагрузочную способность. Усиливающий мощность транзистор выбирается из справочника исходя из следующих условий:

$$P_{K\max} > P_{СЦ}; \quad I_{K\max} > I_0; \quad U_{КЭ\max} > U_{1\max}; \quad (1.9)$$

$$H_{21Э\max} = (3 \div 5) \frac{I_0}{I_{H\text{ МС}\max}}$$

Если не удастся подобрать транзистор по мощности или току, необходимо применить параллельное включение транзисторов (рис.1.3).

Сопротивление симметрирующих резисторов определяется из выражения

$$R_C = (0,5 \div 1) \frac{N_{ПАР}}{I_0},$$

где $N_{ПАР}$ - число транзисторов, включенных параллельно.

При этом необходимо увеличить U_{1min} на величину падения напряжения на R_C и пересчитать U_1, U_{1max} и $P_{СЦ}$.

При больших токах нагрузки может не выполняться последнее из условий (1.9) из-за малых значений $H_{21Э}$ мощных транзисторов. В этом случае силовая цепь СН строится по схеме составного транзистора (рис.1.4).

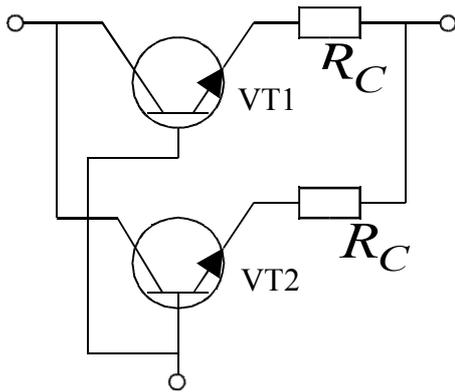


Рис.1.3

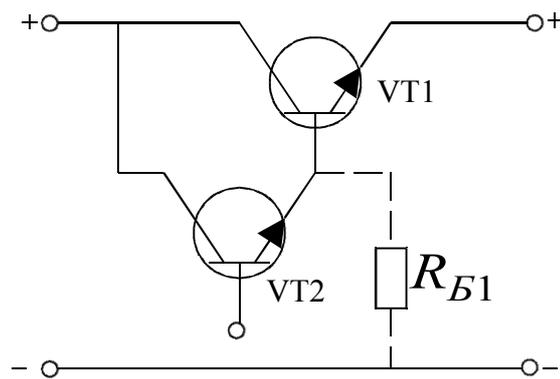


Рис.1.4

Количество используемых транзисторов должно быть таким, чтобы ток базы составного транзистора был бы в 3...5 раз меньше I_{HMCmax} . Резистор R_{B1} в схеме рис.1.4 обеспечивает нормальный режим по току VT2 при малых токах нагрузки и повышенной $T_{ОКР}$.

Минимальный и максимальный токи базы VT1:

$$I_{B1min} = \frac{I_0}{H_{21Э1max}}; \quad I_{B1max} = \frac{I_0}{H_{21Э1min}}. \quad (1.10)$$

Ток $I_{R_{B1}}$ через резистор R_{B1} должен быть такой, чтобы выполнялось неравенство

$$(I_{KB0max} - I_{B1min}) \leq I_{R_{B1}},$$

где I_{KB0max} - обратный ток коллектора VT1 при максимальной температуре коллекторного перехода. Если I_{B1min} больше I_{KB0max} , то R_{B1} можно не ставить.

Определяем ток $I_{R_{B1}}$:

$$I_{R_{B1}} = (1 \div 1,5)(I_{KB0max} - I_{B1min}) \quad (1.11)$$

и берем

$$R_{B1} \leq \frac{U_0}{I_{R_{B1}}}. \quad (1.12)$$

Максимальные значения I_{K2} ; $U_{KЭ2}$ и P_{K2} :

$$I_{K2\max} = I_{B1\max} + I_{R_{B1}}; \quad I_{KЭ2\max} \cong U_{1\max} - U_0; \quad (1.13)$$

$$P_{K2} = I_{K2\max} U_{KЭ2\max}.$$

По этим значениям выбираем из справочника или табл.П1.2 VT2. Находим максимальный ток базы VT2:

$$I_{B2\max} = \frac{I_{K2\max}}{H_{21Э2\min}}. \quad (1.14)$$

Если $I_{HMC\max} < (3...5)I_{B2\max}$, то следует увеличить число транзисторов, входящих в составной, еще на один.

Предельная мощность, которую может рассеять мощный транзистор без радиатора, составляет 1÷2 Вт, что обычно недостаточно для силового транзистора СН. Площадь радиатора дополнительного теплоотвода, если он необходим, может быть определена как

$$S_P \geq \frac{1}{\left(\frac{T_{П\max} - T_{ОКР}}{P_K} - R_{ТПК} - R_{ТКР} \right) k_T}, \quad (2.15)$$

где $T_{П\max}$ - максимальная температура перехода транзистора; $R_{ТПК}$ - тепловое сопротивление переход-корпус; $R_{ТКР}$ - тепловое сопротивление корпус-радиатор; k_T - коэффициент теплоотдачи радиатора, равный $0,8 \cdot 10^{-3}$ Вт/(см²·°С) для черного ребристого радиатора из алюминия. Значения $T_{П\max}$ и $R_{ТПК}$ указаны в справочниках, а $R_{ТКР}$ обычно лежит в диапазоне (0,6 ÷ 1,6) °С/Вт.

Расчет сопротивлений делителя R_1 и R_2 выполняют на основе соотношения (1.1). Согласно техническим условиям на МС ток через делитель должен быть не менее 1,5 мА. Обычно его выбирают в пределах 1,5 ÷ 5 мА. Величину $U_{ОП}$ следует брать равной 1,5 В для К142ЕН1, ЕН2 и 2,6 В – для К142ЕН3, ЕН4.

<p>Вариант 1</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=4$ В $I_0=2,5$ А $R_{\text{вых}}=0,5$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 2</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=6$ В $I_0=2,5$ А $R_{\text{вых}}=0,5$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 3</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=10$ В $I_0=2,5$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 4</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=12$ В $I_0=2,5$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>
<p>Вариант 5</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=15$ В $I_0=2,5$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 6</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=4$ В $I_0=1,8$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 7</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=6$ В $I_0=1,8$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 8</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=10$ В $I_0=1,8$ А $R_{\text{вых}}=1,5$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>
<p>Вариант 9</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=12$ В $I_0=1,8$ А $R_{\text{вых}}=2$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 10</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=15$ В $I_0=1,8$ А $R_{\text{вых}}=2$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 11</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=4$ В $I_0=1,2$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 12</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=6$ В $I_0=1,2$ А $R_{\text{вых}}=1$ Ом $T_{\text{окр}}=40^\circ$ С Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>

<p>Вариант 13</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=10\text{ В}$ $I_0=1,2\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1,5\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 14</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=12\text{ В}$ $I_0=1,2\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1,5\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 15</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=15\text{ В}$ $I_0=1,2\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=2\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 16</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=4\text{ В}$ $I_0=0,8\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>
<p>Вариант 17</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=6\text{ В}$ $I_0=0,8\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 18</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=10\text{ В}$ $I_0=0,8\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1,5\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 19</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=12\text{ В}$ $I_0=0,8\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=2\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 20</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=15\text{ В}$ $I_0=0,8\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=2\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>
<p>Вариант 21</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=4\text{ В}$ $I_0=0,5\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 22</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=6\text{ В}$ $I_0=0,5\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 23</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=10\text{ В}$ $I_0=0,5\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1,5\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>	<p>Вариант 24</p> <p>Рассчитать стабилизатор $U_0=12\text{ В}$ $I_0=0,5\text{ А}$ $R_{\text{вых}}=1,5\text{ Ом}$ $T_{\text{окр}}=40^\circ\text{ С}$ Отклонения входного напряжения от номинального $\pm 10\%$ $k_E \leq 0,02$</p>

