



### Лекция 3

#### *Содержание лекции 3.*

**Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения с непрерывным регулированием**

**Полупроводниковый стабилизатор напряжения с последовательно включенным регулирующим транзистором**

**Стабилизаторы с параллельно включенным регулирующим элементом**

**Конструирование непрерывных стабилизаторов напряжения на интегральных микросхемах**

**Схемы защиты выходного транзистора.**

**Трехвыводные стабилизаторы напряжения**

**Игорь Александрович Сидоров к.т.н., доцент  
Москва**

Высокие коэффициенты стабилизации и плавное регулирование выходного напряжения можно получить только с помощью стабилизатора компенсационного типа, который выполняется по структурной схеме, показанной рисунке 9.3.

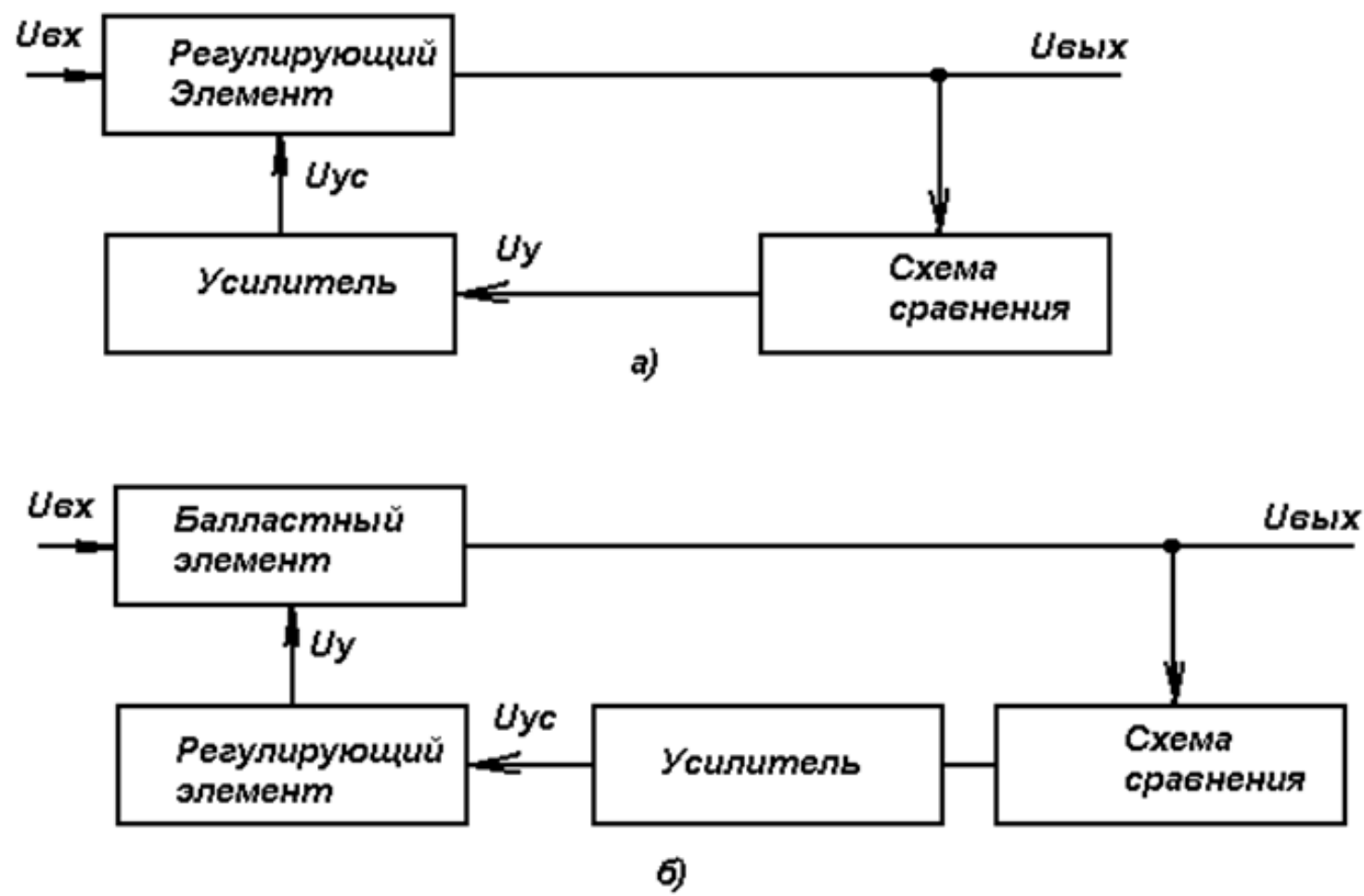


Рисунок 9.3 - Структурные схемы стабилизатора компенсационного типа с последовательно (а) и параллельно (б) включенным регулирующим элементом

Выходное напряжение подается на схему сравнения (СС), в которой оно сравнивается с заданным значением  $U_{ВХ}$ . При отклонении выходного напряжения  $U_{ВХ}$  от заданного значения на выходе схемы сравнения появляется сигнал рассогласования или управления  $U_{У}$ , который подается на вход усилителя. С выхода усилителя сигнал, имеющий значение  $U_{УС}$  подается на регулирующий элемент (РЭ), причем это воздействие приводит к изменению внутреннего сопротивления РЭ, а значит, и падения напряжения на нем. При правильно подобранных параметрах схемы указанное изменение падения напряжения на регулирующем элементе должно скомпенсировать отклонение выходного напряжения  $U_{ВХ}$  от заданного значения. Таким образом, по окончании процесса стабилизации  $U_{ВХ} = U_{ВХ} - U_{РЭ} = \text{const}$ , т. е. будет стабилизировано. Сравнивая компенсационный метод стабилизации с параметрическим, можно заметить, что при компенсационном методе стабилизации осуществляется автоматическое регулирование выходного напряжения, и связано это с воздействием отрицательной обратной связи на регулирующий элемент схемы.

В стабилизаторах компенсационного типа возможно как последовательное (рисунок 9.3,а), так и параллельное (рисунок 9.3,б) включение РЭ относительно нагрузки. Стабилизаторы с параллельно включенным РЭ имеют меньший КПД, поэтому применяются в маломощных источниках питания. Достоинством этого способа включения РЭ является более высокая надежность, так как отсутствует опасность перегрузок стабилизатора при коротких замыканиях на выходе.

В компенсационных стабилизаторах напряжения на полупроводниковых приборах с непрерывным регулированием функции регулирующего и усилительного элементов выполняют транзисторы, а в качестве источника опорного напряжения используется кремниевый стабилитрон, который вместе с резистором представляет собой, по существу, параметрический стабилизатор напряжения.

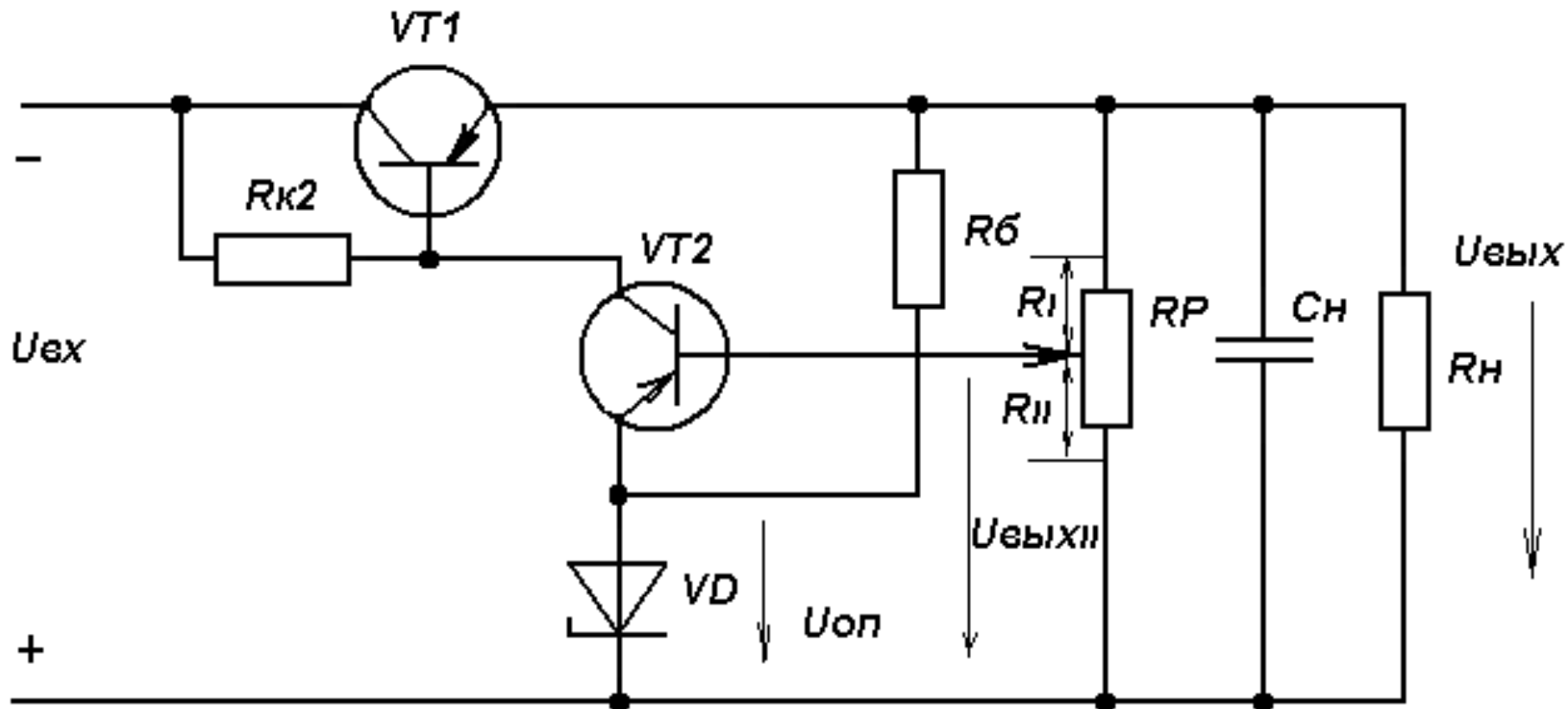


Рисунок 9.4 - Принципиальные схемы полупроводниковых стабилизаторов напряжения с последовательно включенными регулирующим транзистором

Полупроводниковый стабилизатор напряжения с последовательно включенным регулирующим транзистором (рисунок 9.4) состоит из следующих основных узлов: VT1 — регулирующий транзистор, VT2 — усилительный транзистор и схема сравнения: делитель RP и источник опорного напряжения, который включает стабилитрон VD и резистор Rб. Смещающее напряжение на базе усилительного транзистора VT2 представляет собой разность между напряжением на нижней части делителя  $U_{ВХ II}$  и опорным напряжением  $U_{ОП}$ .

Допустим, что вследствие изменения нагрузки или напряжения на входе схемы выходное напряжение  $U_{BIX}$  увеличилось. При этом увеличится отрицательный потенциал базы  $VT_2$ , что приведет к увеличению тока коллектора  $IK_2$  транзистора  $VT_2$ . Возросший ток  $IK_2$  создает на резисторе  $RK_2$  соответственно увеличенное падение напряжения, в результате чего понизится отрицательный потенциал базы транзистора  $VT_1$  и уменьшится ток его базы, а вместе с ним и ток коллектора  $IK_1$ . Уменьшенный ток коллектора  $IK_1$  позволит восстановить напряжение  $U_{BIX}$  практически до прежнего значения.

Коэффициент стабилизации схемы может быть записан в следующем виде:

$$K_{CT} \approx \alpha \mu_{VT2} U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$$

Где  $\alpha = R_H / (R_I + R_H)$  коэффициент передачи делителя напряжения;  $\mu_{VT2}$  коэффициент усиления по напряжению транзистора VT2. Необходимо отметить, что допустимый ток коллектора используемых транзисторов должен превышать значение тока нагрузки стабилизатора.

Регулировка выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  осуществляется в схеме потенциометром RP (рисунок 9.4). При перемещении движка в направлении минусовой шины стабилизатора увеличивается отрицательный потенциал базы транзистора VT2, что приводит к увеличению токов базы коллектора VT2. Ток базы транзистора VT1 как показано выше, уменьшается, а вместе с ним уменьшается и ток коллектора IK1, что приводит к уменьшению выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$ . При перемещении движка потенциометра сторону плюсовой шины напряжение на выходе стабилизатора  $U_{ВЫХ}$  увеличивается.



Погрешность работы стабилизатора выражается в изменении выходного напряжения и определяется следующим образом:

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{ОП}} / \alpha$$

Так как коэффициент передачи делителя  $\alpha$  всегда меньше единицы, то изменение выходного напряжения  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  всегда больше изменения опорного напряжения  $\Delta U_{\text{ОП}}$ .

Изменение окружающей температуры приводит к изменению напряжения на стабилитроне, а, следовательно, и к появлению  $\Delta U_{\text{ОП}}$ . Для уменьшения этих изменений выходного напряжения в схемах предусматривается температурная компенсация.

Стабилизаторы с параллельно включенным регулирующим элементом (рисунок 9.5) целесообразно использовать при малых изменениях напряжения сети и импульсном изменении тока, нагрузки. Основными достоинствами этого стабилизатора являются: постоянство входного тока при изменениях тока нагрузки (при постоянном входном напряжении) и нечувствительность к коротким замыканиям на выходе.

Стабилизатор состоит из регулирующего транзистора VT1; балластного резистора Rб; усилительного элемента, выполненного на транзисторе VT2 и резисторе R3; источника опорного напряжения VD1, Rб1, делителя напряжения R1, RP, R2; дополнительного источника U0 и Rб2, VD2 для питания усилительного элемента схемы и выходной емкости C. Выходное напряжение стабилизатора  $U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - U_1$ . Ток  $I_1$ , протекающий по резистору Rб, равен  $I_1 = I_{К1} + I_H$ , где  $I_{К1}$  - ток коллектора регулирующего транзистора;  $I_H$  - ток нагрузки.

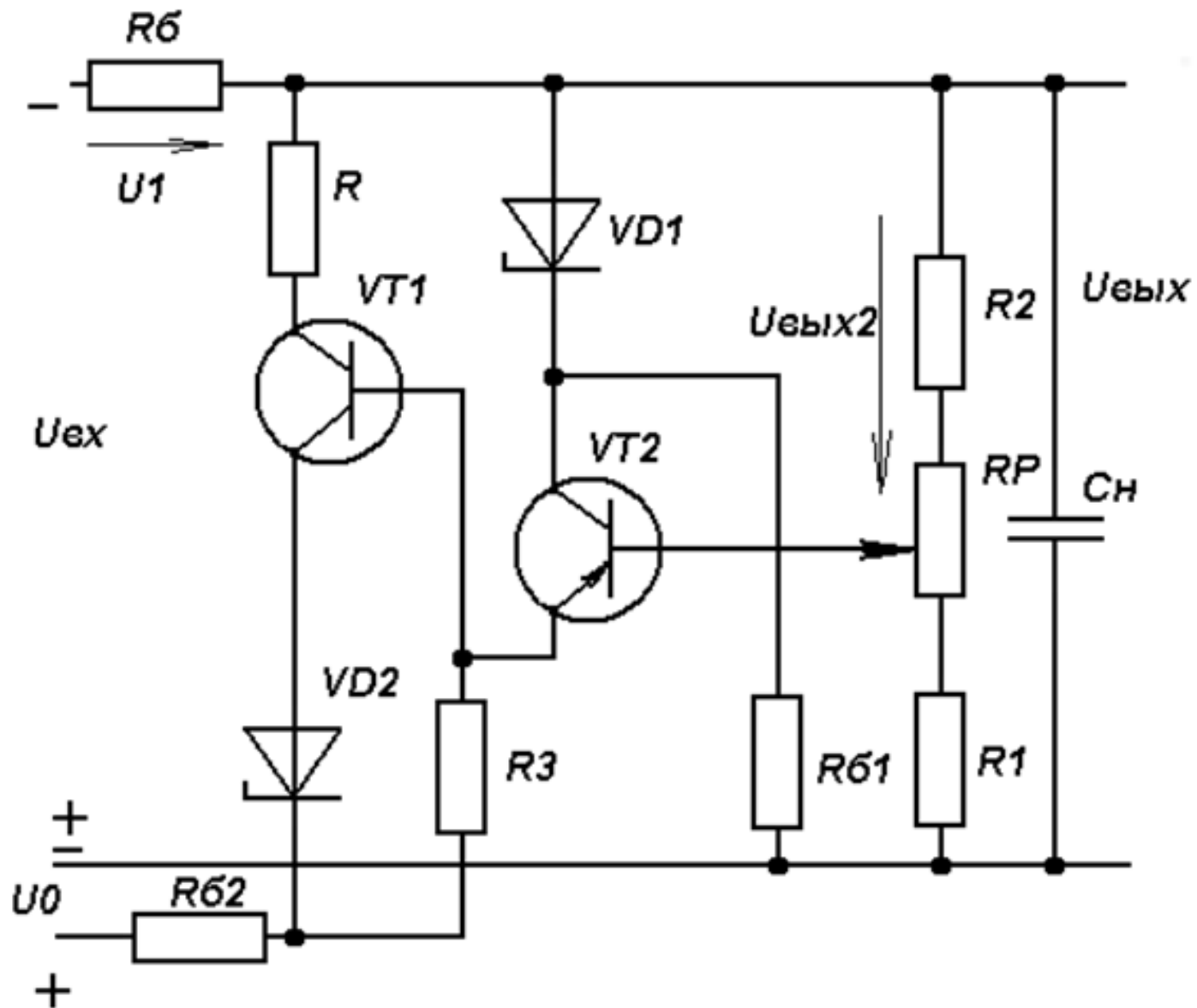


Рисунок 9.5 - принципиальная схема полупроводникового стабилизатора напряжения с параллельно включенным регулирующим транзистором

При увеличении входного напряжения увеличивается в первый момент напряжение на выходе, а значит, возрастает напряжение  $U_{ВЫХ} 2$ , а следовательно, увеличивается коллекторный ток усилительного транзистора  $VT2$ . Это вызывает увеличение падения напряжения на резисторе  $R3$ , а значит, отрицательный потенциал на базе регулирующего транзистора  $VT1$  увеличивается, что приводит к росту тока коллектора этого транзистора  $IK1$ . Увеличение  $IK1$  вызывает рост общего тока схемы  $I1$  а значит, и напряжения  $U1$  на балластном резисторе. В результате напряжение на выходе стабилизатора уменьшается до первоначального значения. Регулировка выходного напряжения в схеме осуществляется переменным резистором  $RP$ , как и в стабилизаторах с последовательно включенным регулирующим транзистором. КПД данной схемы меньше, чем схемы с последовательным включением транзистора .

От мощности, рассеиваемой на транзисторе, зависит температура коллекторного перехода, которая во избежание теплового пробоя не должна превышать допустимого значения. Таким образом, работоспособность стабилизатора и значение его КПД зависят не только от правильного выбора схемы, расчета параметров и подбора элементов, а так же от системы охлаждения полупроводниковых приборов схемы, т. е. от площади поверхности, материала и конструкции радиаторов.

# Конструирование непрерывных стабилизаторов напряжения на интегральных микросхемах

В современной электронике для питания электрорадиоустройств широко применяются схемы стабилизации напряжения, выполненные с применением интегральных микросхем (ИМС). Их можно классифицировать по степени приспособленности к применению в схемах стабилизаторов:

- ИМС общего применения, операционные усилители, применяемые в схемах сравнения опорного и выходного напряжения, в схеме являются одним из компонентов;
- специализированные микросхемы из наборов для конструирования стабилизаторов – источники опорного напряжения, стабилизаторы с регулируемым выходным напряжением, с оконечным каскадом и без него, требуется значительное количество навесных компонентов;
- стабилизаторы напряжений из стандартного ряда напряжений, так называемые трехвыводные, навесных деталей не требуется, в схему лишь добавляются конденсаторы на входе и выходе.

# Схема с применением ИМС

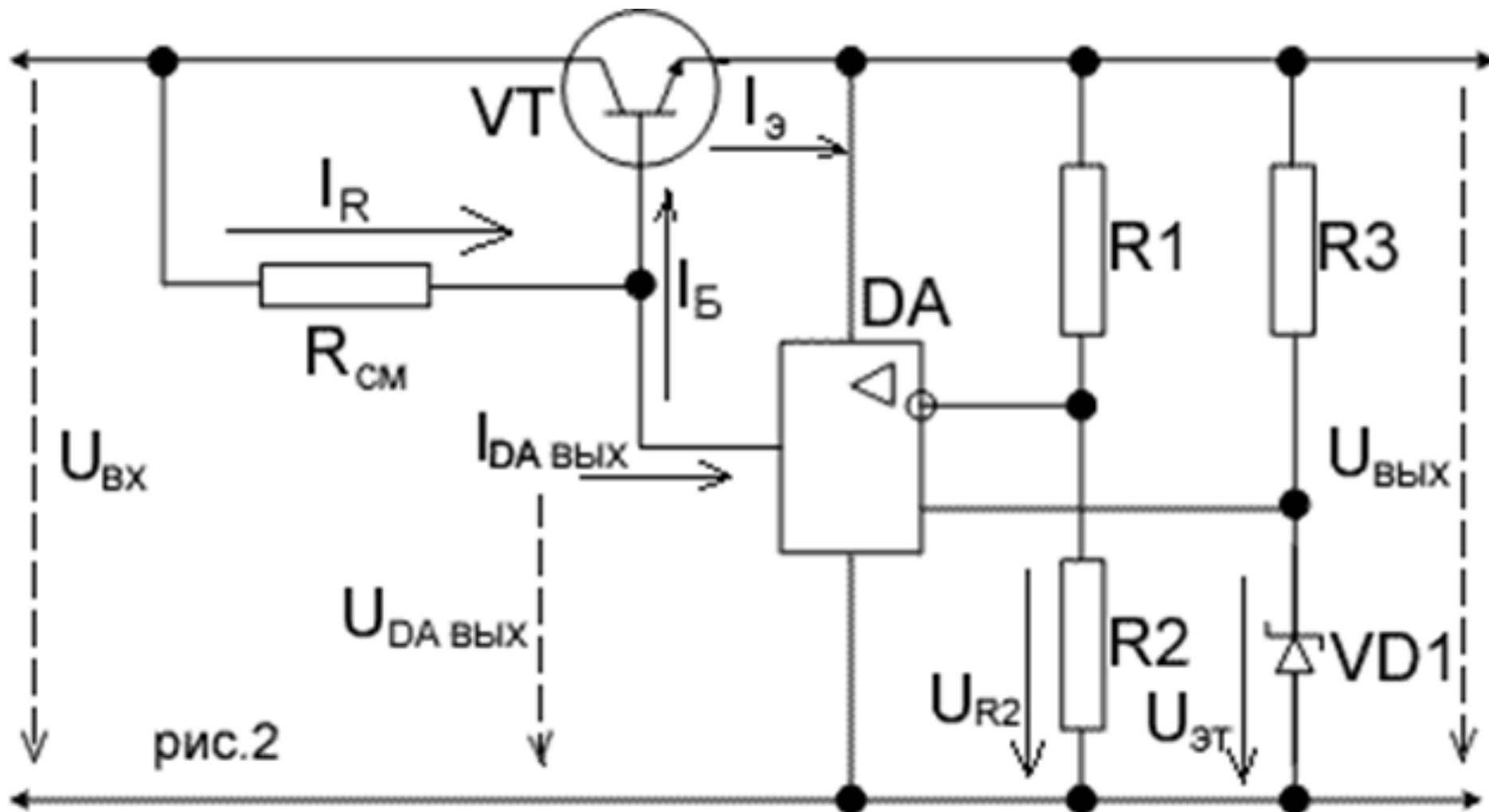


Рисунок 9.6 – Компенсационный стабилизатор с применением ИМС



Типовая схема компенсатора приведена на рисунке 9.6. Выходное напряжение стабилизатора равно разности его входного напряжения и падения напряжения между выводами эмиттера и коллектора регулирующего транзистора VT:  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{кэ}}$ . В свою очередь, для  $U_{\text{кэ}}$  справедливо выражение  $U_{\text{кэ}} = U_{\text{кб}} + U_{\text{бэ}} \cong U_{\text{кб}} + \text{const}$ . Напряжение  $U_{\text{кб}}$  определяется падением напряжения на резисторе смещения  $R_{\text{см}}$  ( $U_{\text{кб}} = I_R \cdot R_{\text{см}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{ДАвых}}$ ). Операционный усилитель включен ДА включен по схеме с дифференциальным входом, поэтому его выходное напряжение  $U_{\text{ДАвых}} = K U_0 (U_{\text{эт}} - U_{\text{Р2}})$ .

Здесь  $K_{U0}$  - коэффициент усиления операционного усилителя ДА по напряжению. Так как цепь ООС (отрицательная обратная связь - подача сигнала с выхода на вход) в усилителе отсутствует, то из-за большого  $K_{U0}$  можно считать, что во всех режимах работы  $U_{эт} - U_{R2} = 0$  и, следовательно, выходное напряжение стабилизатора  $U_{вых} = U_{эт} \cdot (R_1 + R_2) / R_2$ . Возникновение любых отклонений выходного напряжения от указанного уровня приводит к нарушению условия  $U_{эт} - U_{R2} = 0$ . Это изменяет выходное напряжение операционного усилителя, а следовательно, и напряжение  $U_{кб}$  транзистора VT, компенсируя возникшие отклонения. Рассмотрим конкретнее.

Допустим, выходное напряжение стабилизатора увеличилось. Тогда  $U_{R2} > U_{эт}$ , что приводит к уменьшению напряжения  $U_{DAвых}$  и соответствующему увеличению  $U_{Rсм}$  и  $U_{кэ}$  транзистора VT, что компенсирует возникшие отклонения, потому как  $U_{вых} = U_{вх} - U_{кэ}$ . И, наоборот, при уменьшении  $U_{вых}$  увеличивается  $U_{DAвых}$ , уменьшается  $U_{Rсм}$  и  $U_{кэ}$  транзистора VT и выходное напряжение увеличивается.

Таким образом, если коэффициент усиления операционного усилителя  $K_{U0}$  близок к бесконечности (а коэффициенты от 1000 и более считаются как бесконечность), то выходное напряжение стабилизатора полностью определяется значением эталонного напряжения  $U_{эт}$  (оно снимается с параметрического стабилизатора на элементах R3 и VD1) и коэффициентом передачи делителя на резисторах R1 и R2.

Схемы защиты выходного транзистора.

Ограничение тока на неизменном уровне

Если выход источника питания закорачивается, то избыточный ток может разрушить стабилизатор благодаря избыточной мощности, выделяющейся на переходах проходного транзистора. Для предотвращения этого используются два типа ограничителей тока: ограничители тока с неизменным уровнем ограничения и ограничители тока с изменяющимся уровнем ограничения. В ограничителях тока этого типа при перегрузке каждому значению сопротивления нагрузки будет соответствовать свой уровень ограничения тока. Схема может быть отрегулирована так, что при этом мощность рассеивания на проходном транзисторе никогда (даже и при коротком замыкании выхода) не будет превышать допустимой. Ограничитель тока с неизменным уровнем ограничения показан на рисунке 9.7,а.

Как только  $U_{вых}$  превысит максимальное значение тока источника питания, падение напряжения на  $R_{огр}$  вызовет увеличение  $U_{бэ}$  транзистора  $T_{огр}$ . Транзистор  $T_{огр}$  при этом включается, что приводит к уменьшению напряжений на  $R_3$  и соответственно  $U_{бт1}$  и  $U_{вых}$ . Коллекторный ток  $I_{огр}$ , протекающий через  $R_3$ , снижает ток базы эмиттерного повторителя  $T_1$ , вызывая увеличение  $U_{кэ}$  транзистора  $T_1$ . Если выход закорачивается, то падение  $I_{вых}R_{огр}$  вызывает насыщение  $T_{огр}$ , тем самым ограничивая ток короткого замыкания.  $R_{огр}$  выбирается в соответствии с выражением

$$R_{огр} = U_{БЭ.ВЫКЛ.МАКС} / I_{Н.МАКС}$$

где  $I_{н.макс.}$  - максимальный ток нагрузки по каталогу,  $U_{БЭ.ВЫКЛ.МАКС}$  - максимальное значение  $U_{бэ}$ , при котором  $T_{огр}$  еще выключен. Обычно  $U_{БЭ.ВЫКЛ.МАКС}$  составляет от 0,3 до 0,4 В.

Выходное напряжение не будет существенно падать до тех пор, пока  $I_n$  не достигнет  $I_{n.макс}$ , а  $U_{R.OGP} = 0,5$  В. Проходной транзистор должен быть способен рассеять мощность:

$$P_{T1} = U_{BX.МАКС} (U_{БЭ.привкл.Тогр} / U_{БЭ.привыкл.Тогр}) I_{H.МАКС},$$

которая при  $U_{БЭ.привыкл.Тогр} = 0,35$  В и  $U_{БЭ.привкл.Тогр} = 0,6$  В составляет

$$P_{T1} = U_{BX.МАКС} (0,6 / 0,35) I_{H.МАКС} = 1,7 U_{BX.МАКС} I_{H.МАКС}$$

Максимальное значение

коллекторного тока  $I_{огр}$  составляет  $U_{вх. макс} / R3$ , и поэтому необходимо иметь возможность рассеять мощность

$$P_{IOOG} = [0,5 U_{BX.МАКС}] [0,5 U_{BX.МАКС} / R3] = 0,25 [U_{BX.МАКС}^2 / R3]$$

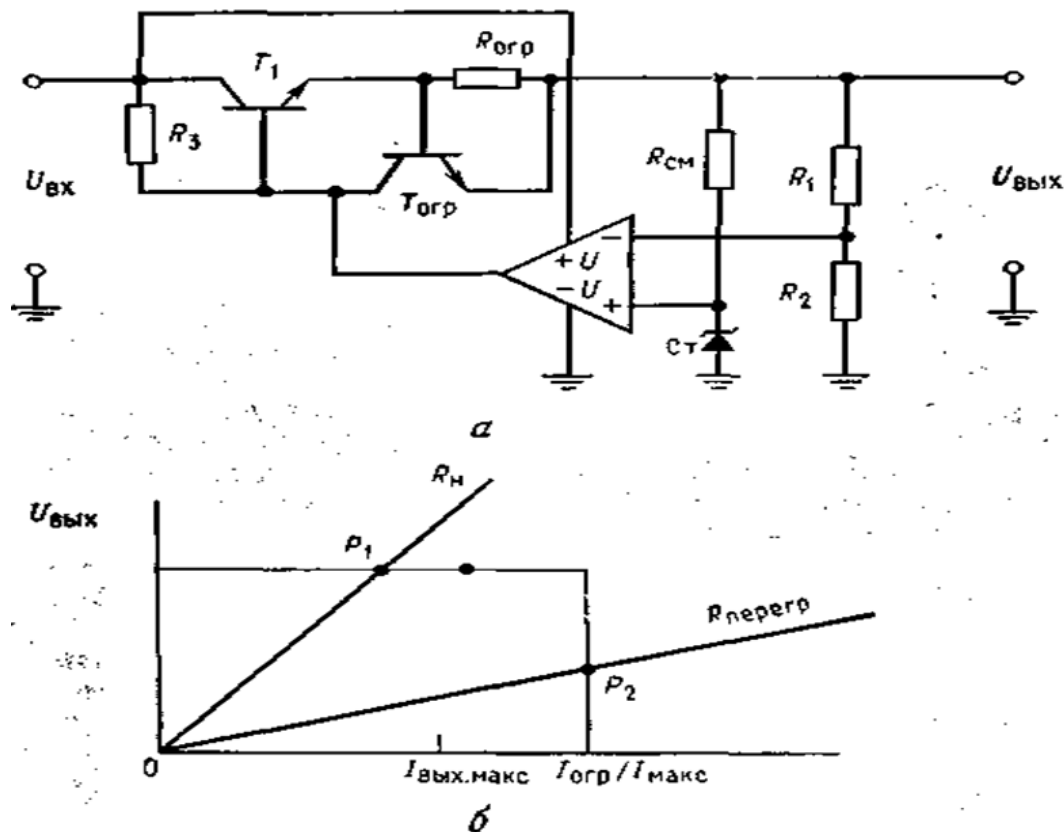


Рисунок 9.7 - Ограничение выходного тока на постоянном уровне.  
а - стабилизатор с постоянным уровнем ограничения тока; б - вольт- амперная характеристика системы ограничения тока на постоянном уровне,  $P_1$  - рабочая точка при нормальной нагрузке,  $P_2$  - рабочая точка при перегрузке,  $I_{вых.макс}$  - максимальный ток нагрузки по каталогу

Для снижения мощности рассеяния транзистора Т1 используется система ограничения с изменяющимся уровнем ограничения тока.

Ограничение тока с изменяющимся уровнем ограничения

Ограничение тока с изменяющимся уровнем ограничения, как это показано на рисунке 9.8,а, снижает максимальное значение мощности, рассеиваемой Т1, путем снижения тока короткого замыкания источника питания до величины, меньшей, чем  $I_{н\text{ макс}}$ . Когда  $I_{вых}$  превысит  $I_{н\text{ макс}}$ , ток через Т1 снижается до величины, меньшей  $I_{н\text{ макс}}$ . Следует отметить, что для всех источников питания ограничение тока не начинается до тех пор, пока  $I_{н}$  не превысит  $I_{н\text{ макс}}$  примерно на 40%. Таким образом, максимально допустимый ток нагрузки не приведет в действие систему ограничения тока. Последняя начнет функционировать при подлинной перегрузке, когда  $I_{вых} > I_{пор}$ . Здесь  $I_{пор}$  - значение выходного тока, при котором начинается ограничение.



Схема ограничителя тока с изменяющимся уровнем ограничения, состоящая из  $T_{огр}$ ,  $R_{огр}$ , , представлена на рисунок 9.9,б. Она работает следующим образом. Напряжение  $U_{бэ}$  транзистора  $T_{огр}$  равняется . Сопротивление  $R_A$  меньше  $R_B$ , поэтому  $U_{RA} < U_{RB}$ .

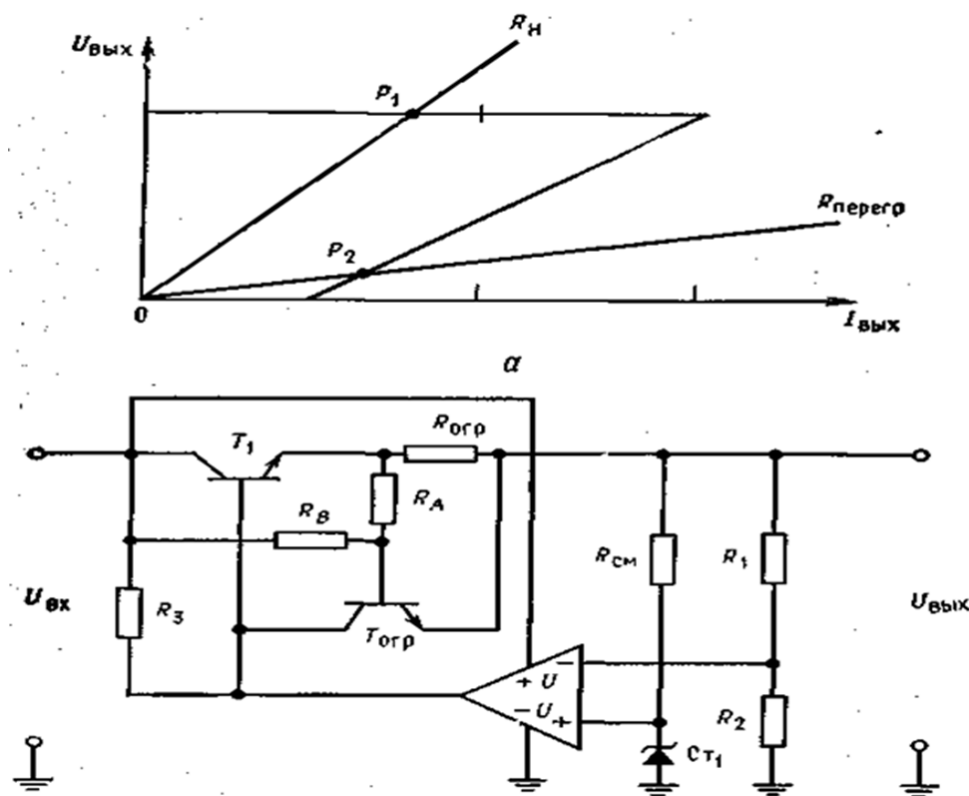


Рисунок 9.8 - Ограничение тока с изменяющимся уровнем ограничения.  
а - загибающаяся назад характеристика зависимости  $U_{\text{вых}}$  от  $I_{\text{вых}}$ ; б - схема с ограничением выходного тока с меняющимся уровнем ограничения.  $I_{\text{огр.к.з.}} = I_{\text{огр.мин}}$  - минимальный ток ограничения (при коротком замыкании),  $I_{\text{вых.макс}}$  - максимально допустимый выходной ток по каталогу,  $I_{\text{огр. макс}}$  - максимальное значение уровня тока ограничения

При нормальной работе

$$U_{R.OГР} + U_{RA}$$

меньше напряжения, требуемого для включения Тогр. По мере того как  $I_{вых}$  возрастает до значения тока ограничения  $I_{пор}$ ,  $U_{R.OГР}$  становится достаточно большим для того, чтобы осуществить смещение Тогр в прямом направлении и тем самым включить его. С падением выходного напряжения  $U_{вых}$  начинает расти благодаря увеличению тока, протекающего через RВ. Напряжение  $U_{RВ}$  имеет ту же полярность, что и  $U_{R.OГР}$ , и помогает удерживать Тогр во включенном состоянии.

Так как

$$U_{БЭТОГР} = U_{РОГР} + U_{РА}$$

, для того, чтобы удерживать Тогр во включенном состоянии при возрастании , требуется пропускать меньший ток через Rогр. По мере возрастания ток Iвых уменьшается. Ток при коротком замыкании при этом обычно устанавливают равным 20% от In. макс. Причина, по которой этот ток не делают меньшим, заключается в том, что нагрузка может быть нелинейной, когда при включении ее сопротивление меньше, чем при полном токе нагрузки. Это может вызвать «застревание» источника питания на низком уровне напряжения (точка Р2 на рисунке 9.8,а). Примером такой нагрузки могут служить осветительные лампы накаливания, которые в горячем состоянии могут потреблять в 10 раз меньше тока, чем в холодном.

Другой пример — это схемы со многими конденсаторами, шунтирующими выходы источников питания в местах их подсоединения к ИС; Будучи не заряжены, эти конденсаторы будут потреблять, хотя и кратковременно, большой ток, в ответ на который немедленно начнется ограничение тока. Поэтому низкое эффективное сопротивление конденсаторов может вызвать «застревание» источника питания на низком уровне напряжения. Устанавливая  $I_{огр.к.з.} = 20 \% I_{н.макс}$ , можно предотвратить возможность застревания на низком уровне напряжения при нормальной нагрузке.

Для того чтобы рассчитать  $R_{огр}$ ,  $R_A$  и  $R_B$ , сначала рассчитаем  $R_{огр}$  по уравнению  $R_{огр} = U_{БЭ.ВЫКЛ.МАКС} / I_{Н.МАКС}$ , приведенному в разделе 3, исходя из того, чтобы ограничение тока начиналось при  $I_{н.макс}$ . Сопротивления  $R_A$  и  $R_B$  выбираются из условия короткого замыкания. При  $U_{вых}=0$  и полностью включенном  $T_{огр}$  имеем  $U_{БЭТОГР} = U_{БЭТОГР} = U_{R.ОГР} + U_{RA} = 0,65$  В. При  $R_{н}=0$  желательно, чтобы  $U_{R.ОГР}=0,2I_{н.макс}$ .  $R_{огр}$ . Таким образом,  $U_{RA} = U_{БЭТОГР} - 0,2I_{Н.МАКС}R_{огр}$ . Ток  $I_{RA}$  должен быть установлен таким, чтобы создать для  $T_{огр}$  напряжение  $U_{бэ}$ , которое в условиях короткого замыкания не обеспечивается с помощью  $R_{огр}$ .

Положим  $I_{RA} \approx 20I_{БТОгр}$ , где

$$I_{БТОгр} = [U_{ВХ.МАКС} / R_3] / h_{21ЭT_{огр.мин}}$$

Теперь

$$R_A = U_{RA} / I_{RA} = (U_{БЭ.Тогр} - 0,2I_{Н.МАКС}R_{огр}) / I_{RA}.$$

И так как  $I_{RB} \approx I_{RA}$ , то

$$R_B = (U_{ВХ.МИН} - U_{БЭ.ВКЛ.Тогр}) / I_{RB}.$$

Мощность рассеяния транзистора Т1 при коротком замыкании нагрузки теперь снижается до

$$P_{T1} = 0,2I_{Н.МАКС}U_{ВХ.МАКС}$$

Если транзистор Т1 заменен парой Дарлингтона, то коллектор транзистора ограничения тока присоединяется к базе Т2. Часто  $R_A$  выполняется в виде потенциометра, что дает возможность установить желаемое значение тока  $I_{огр.к.з.}$  при коротком замыкании.

Стабилизаторы с регулируемым выходным напряжением

Интегральные стабилизаторы с регулируемым выходным напряжением требуют подключения внешнего делителя ОС, элементов частотной коррекции и резисторов цепи защиты.

Рассмотрим применение распространенных маломощных стабилизаторов серии К142ЕН1,2 и стабилизаторы средней мощности К142ЕН3,4.

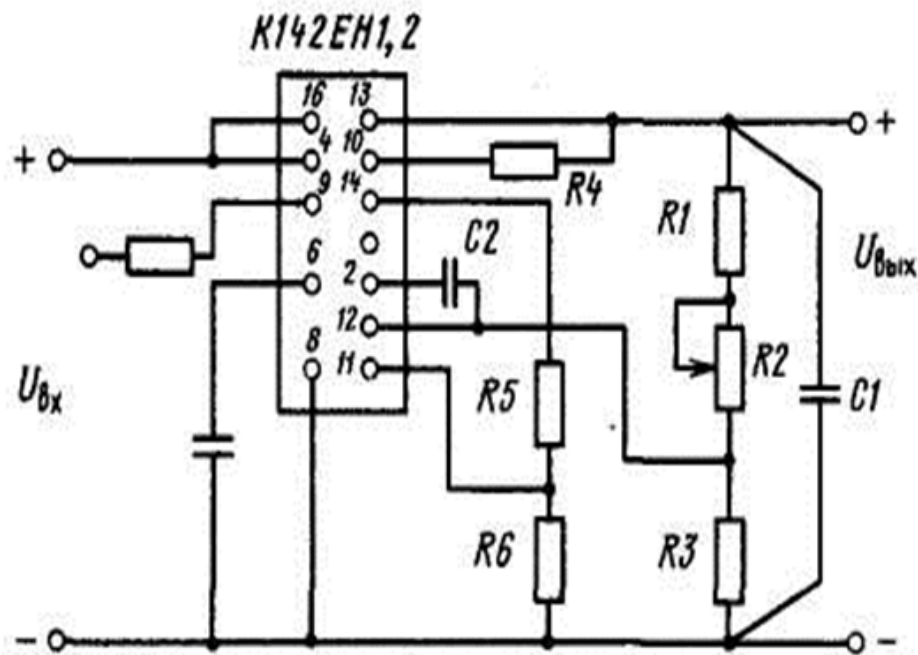


Рисунок 9.9 – Включение ИМС К142ЕН1,2



Маломощные интегральные стабилизаторы целесообразно применять при выходных напряжениях от 3 до 30 В и малых токах нагрузки, 0,05 ... 0,1 А. Подключение к маломощным интегральным стабилизаторам внешнего мощного регулирующего транзистора позволяет получить на выходе значительно большие токи нагрузки. Интегральные стабилизаторы средней мощности целесообразно применять при токах до 1 А.

Основные данные стабилизаторов серии К142ЕН1-4 приведены в таблице 9.1. На рисунке 9.9 показана типовая схема включения интегральных стабилизаторов К142ЕН1,2 при малых токах нагрузки. Делитель R1-R3 выбирается из условий, чтобы его ток был не менее 1,5 мА. Сопротивление резистора R3 нижнего плеча принимаем равным 1,2 кОм.

С помощью резистора R2 осуществляется регулировка выходного напряжения.

Приняв ток делителя равным 2 мА, находим сопротивления резисторов R1 и R2, кОм:

$$R1 = (U_{\text{ВЫХ}(+) - \Delta U_{\text{ВЫХ}}(-) - 2,4) / 2;$$

$$R_2 = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}(+) + \Delta U_{\text{ВЫХ}}(-)}}{2},$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  - номинальное выходное напряжение;  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}(+), \Delta U_{\text{ВЫХ}}(-)$  - пределы регулировки выходного напряжения в сторону повышения и понижения.

Узел защиты стабилизатора содержит резистор R4 и делитель R5, R6. Ток делителя принимаем равным 0,3 мА, а сопротивление резистора R5 равным 2 кОм. Сопротивление резистора R6, кОм, определяется по формуле

$$R6 = (U_{\text{ВЫХ}} + 0,7) / 0,3.$$

Сопротивление R4, Ом, определяется исходя из тока срабатывания защиты  $I_{\text{ЗАЩ}}$ , А;  $R4 \approx 0,7 / I_{\text{ЗАЩ}}$ . Ток срабатывания защиты не должен превышать максимальный ток  $I_{\text{Н.мах}}$ , указанный в таблице 9.1.

При коротком замыкании к регулирующему транзистору микросхемы будет приложено входное напряжение и на интегральной схеме будет выделяться мощность  $P = I_{A\Omega} U_{BX.max}$ . Значение этой мощности не должно превышать предельно допустимую мощность  $M_C$ , указанную в таблице 9.1. С помощью конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  обеспечивается устойчивая работа микросхемы:  
при  $U_{BIX} < 5 \text{ В}$   $C_2 > 0,1 \text{ мкФ}$ ;  $C_1 > 5 \dots 10 \text{ мкф}$ ;  
при  $U_{вых} > 5 \text{ В}$   $C_2 > 100 \text{ пФ}$ ;  $C_1 > 1 \text{ мкФ}$ .

Входные напряжения определяются из формул

$$U_{BX.MIN} \geq U_{BЫX} + \Delta U_{BЫX(+)} + I_{H.MAX} R_4 + U_{КЭ.MIN} ;$$

$$U_{BX} = \frac{U_{BX.MIN}}{1 - a_{MIN}} ;$$

$$U_{BХМАХ} = U_{BX} (1 + a_{MAX}) ,$$

где  $U_{КЭ.MIN}$  берется из справочника по транзисторам.

Максимальное входное напряжение для микросхемы К142ЕН1,2 не должно превышать значений, указанных в таблице 9.1.

# Таблица 9.1 - Параметры микросхемы с регулируемым выходным напряжением

№	Параметр	Тип микросхемы			
		K142EH1	K142EH2	K142EH3	K142EH4
1	Максимальное выходное напряжение $U_{Bxmax}$ , В	20	40	60	60
2	Минимальное входное напряжение $U_{BXmin}$ , В	9	20	9,5	9,5
3	Предельные значения выходного напряжения, В	3...12	12...30	3... 30	3... 30
4	Максимальный ток нагрузки $I_{Hmax}$ , А	0,15	0,15	1	1
5	Потребляемый микросхемой ток, мА	4	4	10	10
6	Максимальная мощность рассеяния МС при температуре корпуса до 4- 80 °С	0,8	0,8	6	6
7	Минимальное падение напряжения на регулирующем транзисторе микросхемы $U_{KЭmin}$ , В	4/2,5 *	4/2,5 *	3	4

\* Значения  $U_{KЭmin}$  даны при отдельном питании регулирующего элемента (вывод 16) и цепи управления микросхемы (вывод 4).

Для уменьшения потерь мощности на регулирующем транзисторе и одновременно повышения коэффициента стабилизации цепь управления, включающую источник опорного напряжения, питают от отдельного параметрического стабилизатора (выводы 4,8 на рисунке 9.9), а силовую часть (выводы 16,8) от своего выпрямителя.

Минимальное напряжение на регулирующем транзисторе может быть уменьшено до 2,5 вместо 4 В, когда выводы 4 и 16 микросхемы объединены.

Коэффициент стабилизации при раздельном питании входов увеличивается приблизительно на порядок.

Для повышения выходных токов к интегральному стабилизатору подключается внешний мощный транзистор (рисунок 9.10).  
 Сопротивления резисторов R1-R3 и емкость конденсатора C1 выбираются так же, как для рисунка 9.9. Емкость конденсатора C1 необходимо увеличить до 50 ... 100 мкФ.

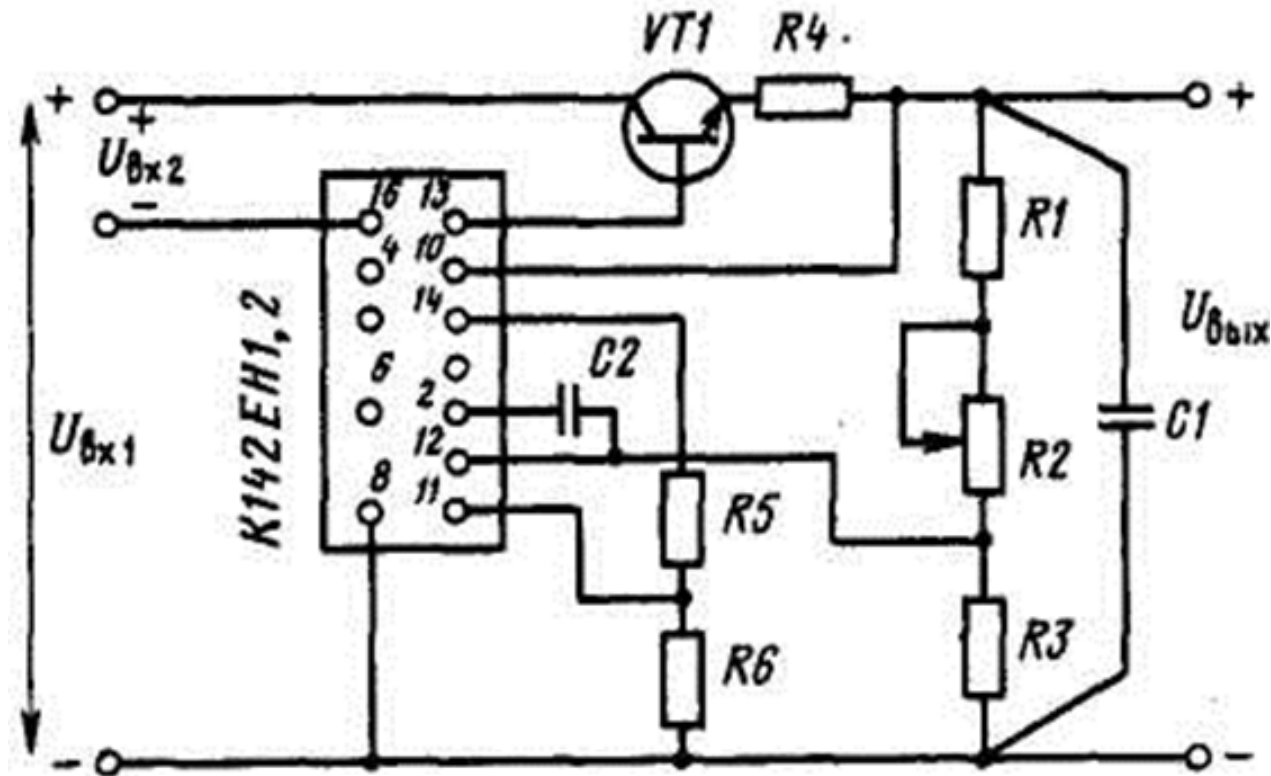


Рисунок 9.11 - Включение ИМС К142ЕН1,2 с внешним транзистором



Использование дополнительного транзистора КТ802А, КТ803А или КТ908 позволяет получить выходные токи более 1 А без ухудшения основных параметров.

Типовая схема включения стабилизаторов типов К142ЕН3 и К142ЕН4 приведена на рисунке 9.12.

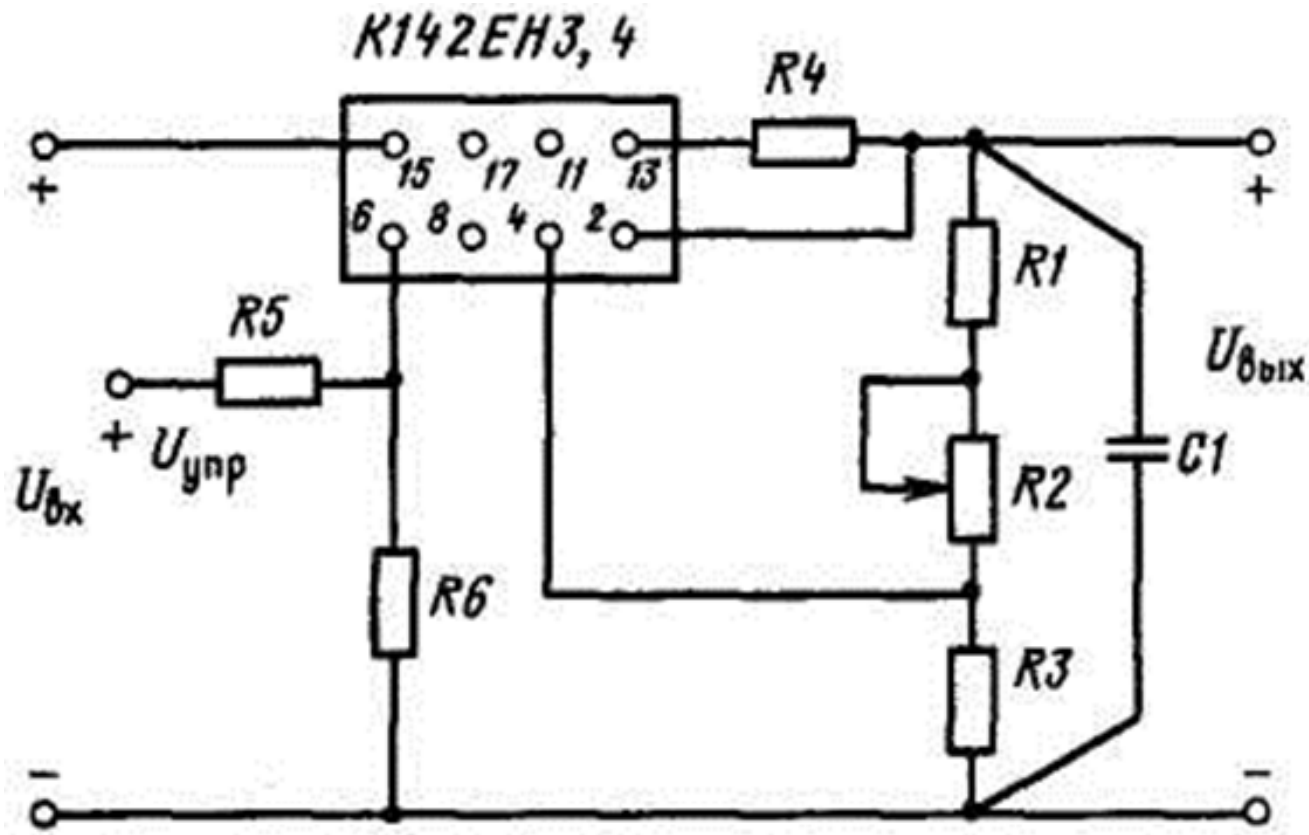


Рисунок 9.12 - Включение ИМС К142ЕН3,4

Внешний резистор R5 необходим для ограничения внешнего сигнала УУПР, предназначенного для выключения микросхемы. Резистор R6 ограничивает порог срабатывания тепловой защиты в диапазоне температур корпуса микросхемы + 65 ... +145 °С, резистор R4 является датчиком тока цепи защиты от перегрузок и короткого замыкания.

Сопротивление резистора R6 определяется по формуле

$$R6 > (0,037T_k - 6,65)/(1 - 0,0155T_k),$$

где  $T_k$  - температура корпуса микросхемы, °С, при которой должна срабатывать тепловая защита.

Сопротивление резистора R1, кОм,

$$R1 = \frac{UR6(1 + 0,4R6) - R6(1,8 + 0,5R6)}{1,8 + R6(1,2 + 0,2R6)}$$

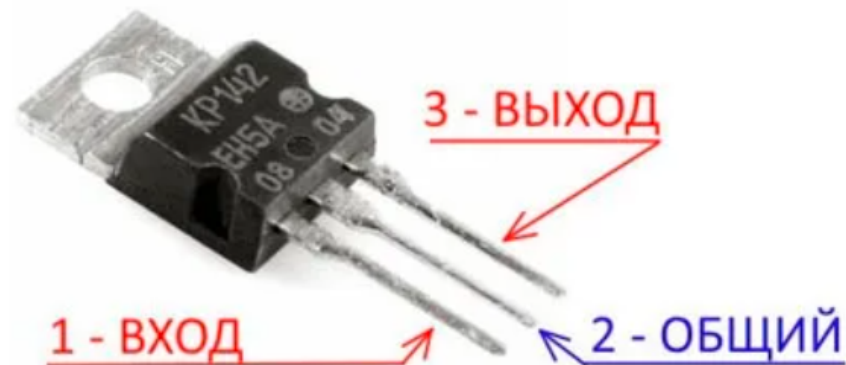
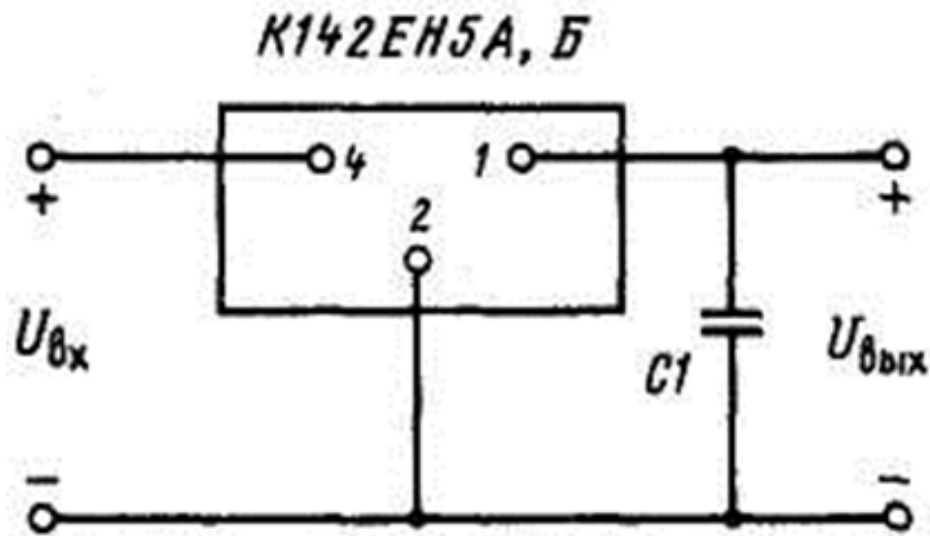
Напряжение управления выбирается от 0,9 до 40 В.

Сопротивление датчика тока R4, Ом,

$$R4 = [1,25 - 0,5I_{CРАБ} - 0,023 (U_{ВХ} - U_{ВЫХ})] / I_{CРАБ}$$

Для микросхемы данного типа ток срабатывания защиты не должен превышать 1 А.

Трехвыводные стабилизаторы напряжения  
Интегральные стабилизаторы с фиксированным напряжением серий К142ЕН5А, Б имеют выходное напряжение 5 В или 6 В в зависимости от типа микросхемы. Стабилизаторы содержат защиту от перегрузок по току и тепловую защиту, срабатывающую при температуре кристалла до  $+175^{\circ}\text{C}$ .  
На выходе стабилизатора необходимо включить конденсатор  $C1 > 10 \text{ мкФ}$  для обеспечения устойчивости при импульсном изменении тока нагрузки.  
Данные интегральных стабилизаторов с фиксированным выходным напряжением приведены в таблице 9.2, а на рисунке 9.13 показана типовая схема его включения.



Маркировка KP142EH5A



Рисунок 9.13 - Включение ИМС K142EH5

Таблица 9.2 – Параметры микросхемы с фиксированным выходным напряжением

Тип ИМС	Выходное напряж, $U_{\text{ВЫХ}}$ , В	Точность установки $\Delta U_{\text{ВЫХ}} \%$	Макси мальный ток нагрузки $I_{\text{H.max}}$ , А	Макси мальное входное напряж $U_{\text{ВХ.max}}$ , В	Макси мальная мощность Р, Вт, при ТК=+80° С	Мини мальное напряжен ие РЭ $U_{\text{КЭ.min}}$ , В
К142ЕН5А	5	$\pm 2$	3	15	10	2,5
К142ЕН5Б	6	$\pm 2$	3	15	10	2,5

Из импортных ИМС стабилизаторов рассмотрим трехвыводные стабилизаторы напряжения семейства LM78XX. Серия 78XX выпускаются в металлических корпусах ТО-3 (слева) и в пластмассовых корпусах ТО-220 (справа). Такие стабилизаторы имеют три вывода: вход, земля (общий) и вывод.

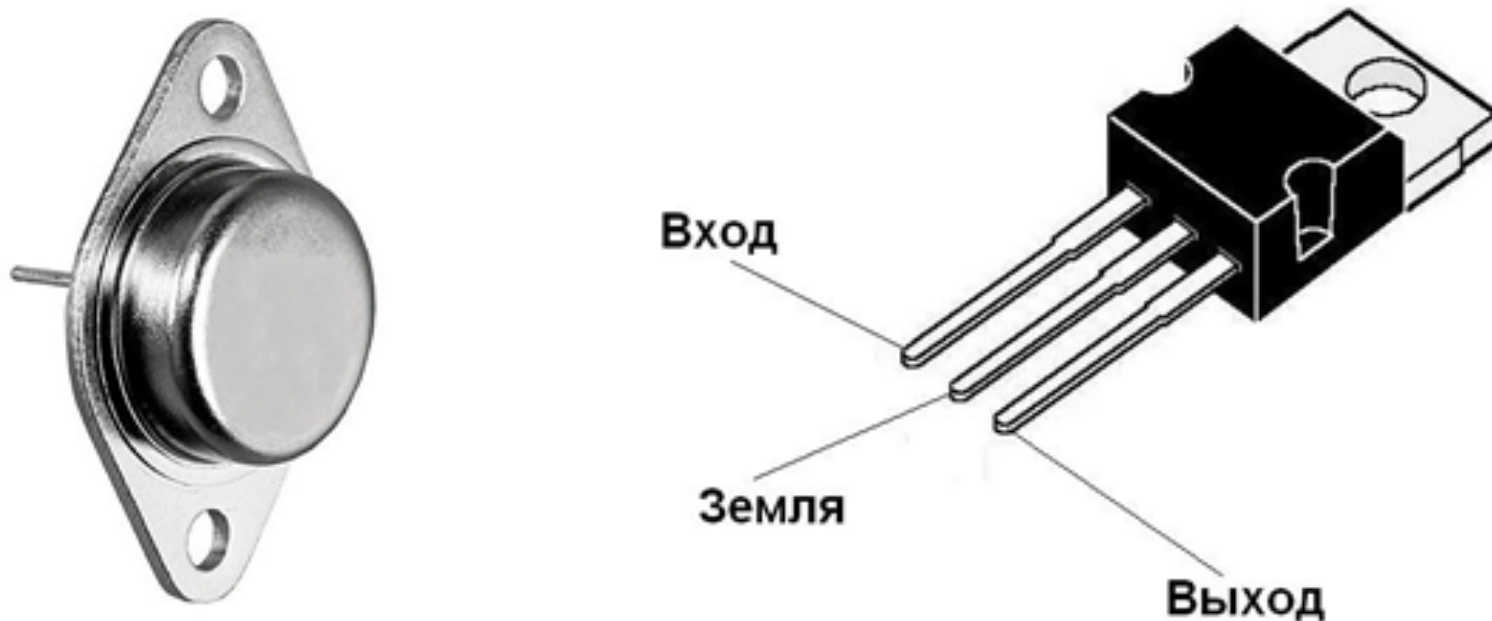


Рисунок 9.14 – Внешний вид стабилизаторов 78XX

Вместо "XX" изготовители указывают напряжение стабилизации, которое выдает этот стабилизатор. Например, стабилизатор 7805 на выходе будет выдавать 5 Вольт, 7812 соответственно 12 Вольт, а 7815 - 15 Вольт. Схема подключения таких стабилизаторов показана на рисунке 9.15. Эта схема подходит ко всем стабилизаторам семейства 78XX.

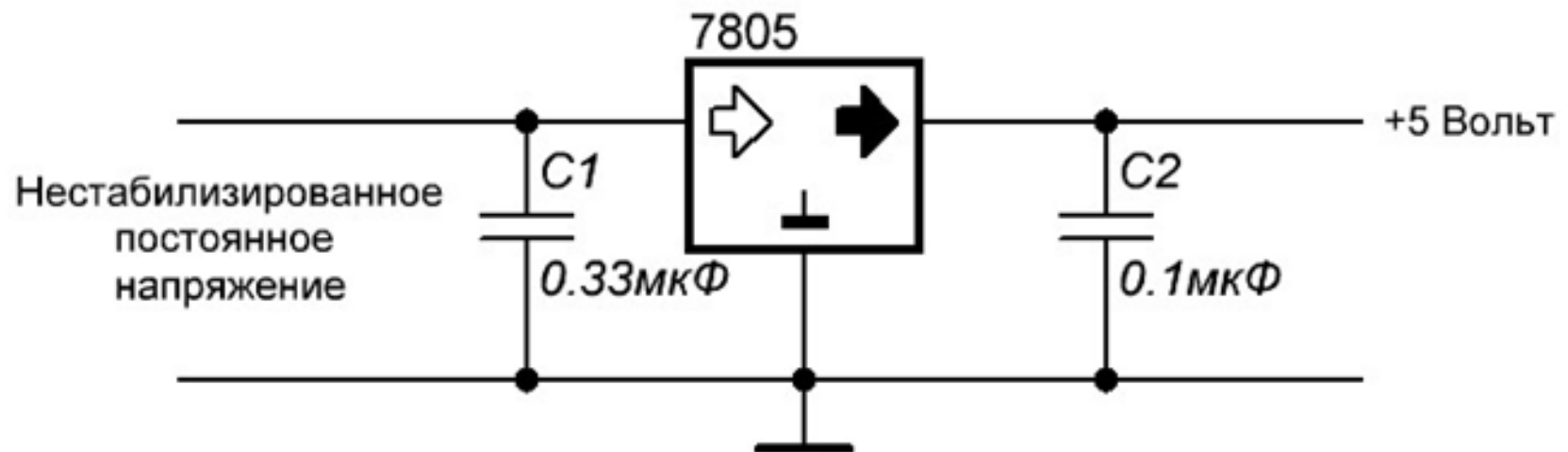


Рисунок 9.15 – Схема подключения ИМС семейства 78XX



На рисунке показаны два конденсатора, которые запаиваются с каждой стороны. Это минимальные значения конденсаторов, можно, и даже желательно поставить большего номинала. Это требуется для уменьшения пульсаций как по входу, так и по выходу. Даташит на стабилизаторы можно изучить [7805.pdf](#) (147,1 kB). Упрощенная принципиальная схема показана на рисунке 9.16. Стабилизаторы на отрицательное напряжения имеют такие же параметры, что и семейство 78XX, но первые цифры у них 79, т. е. 79XX.

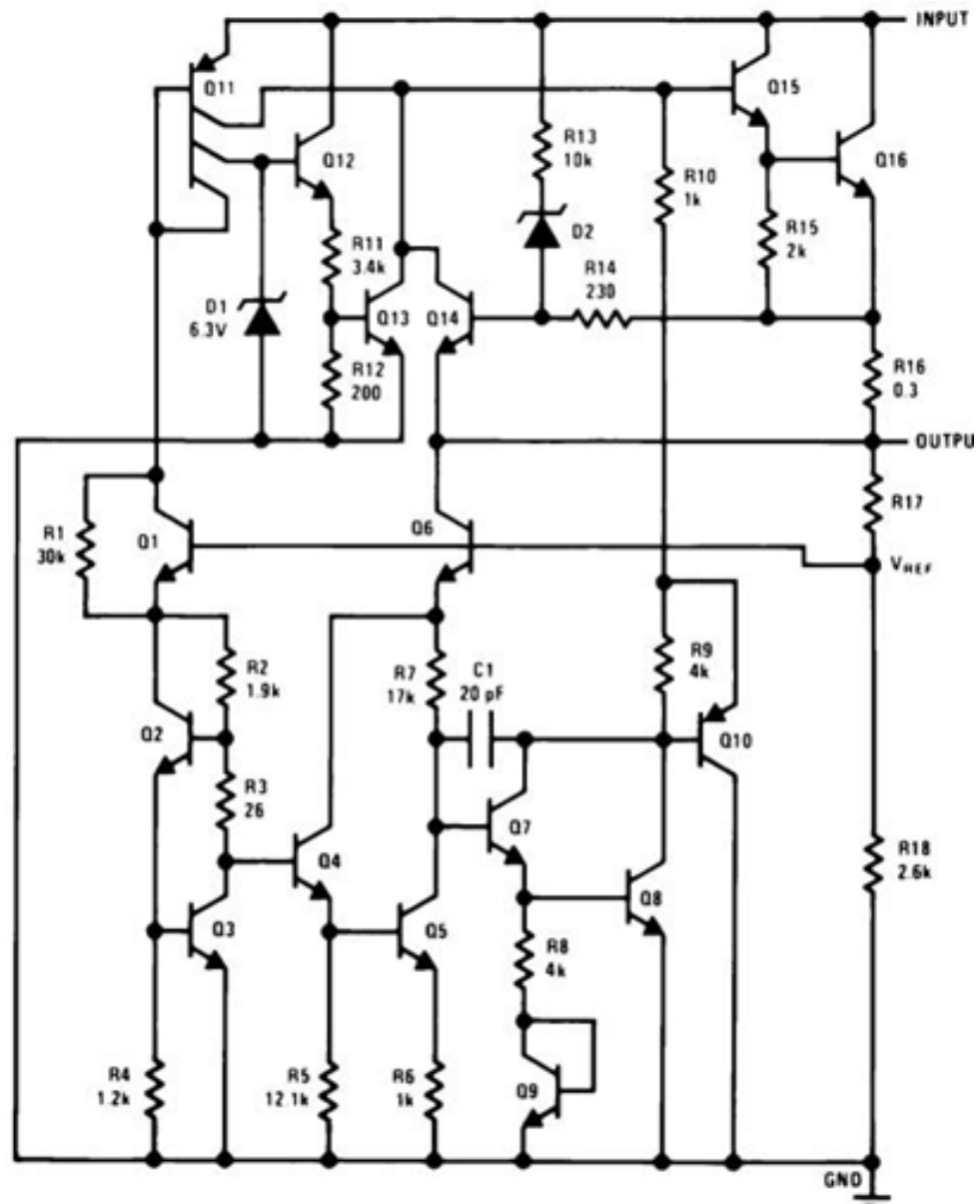
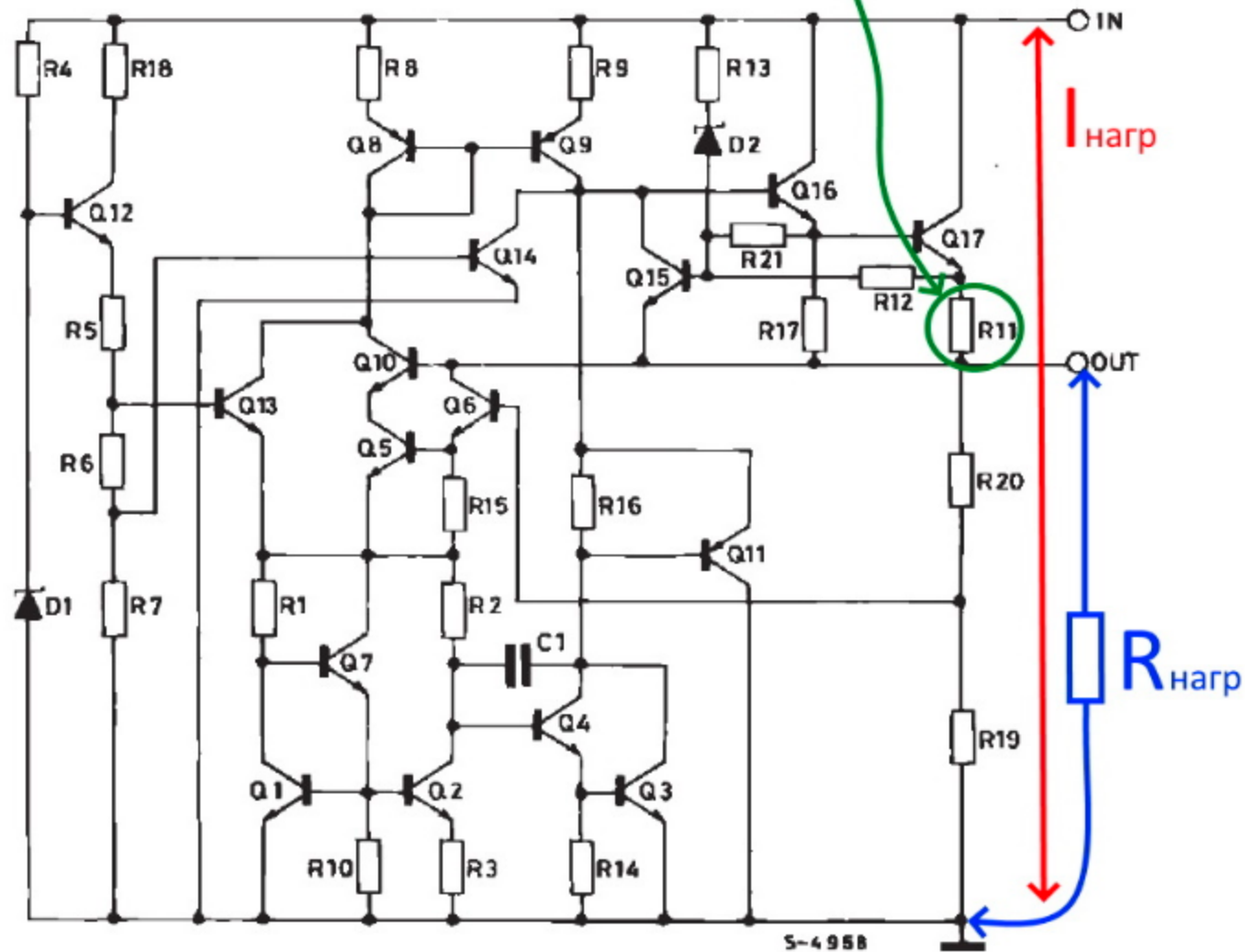


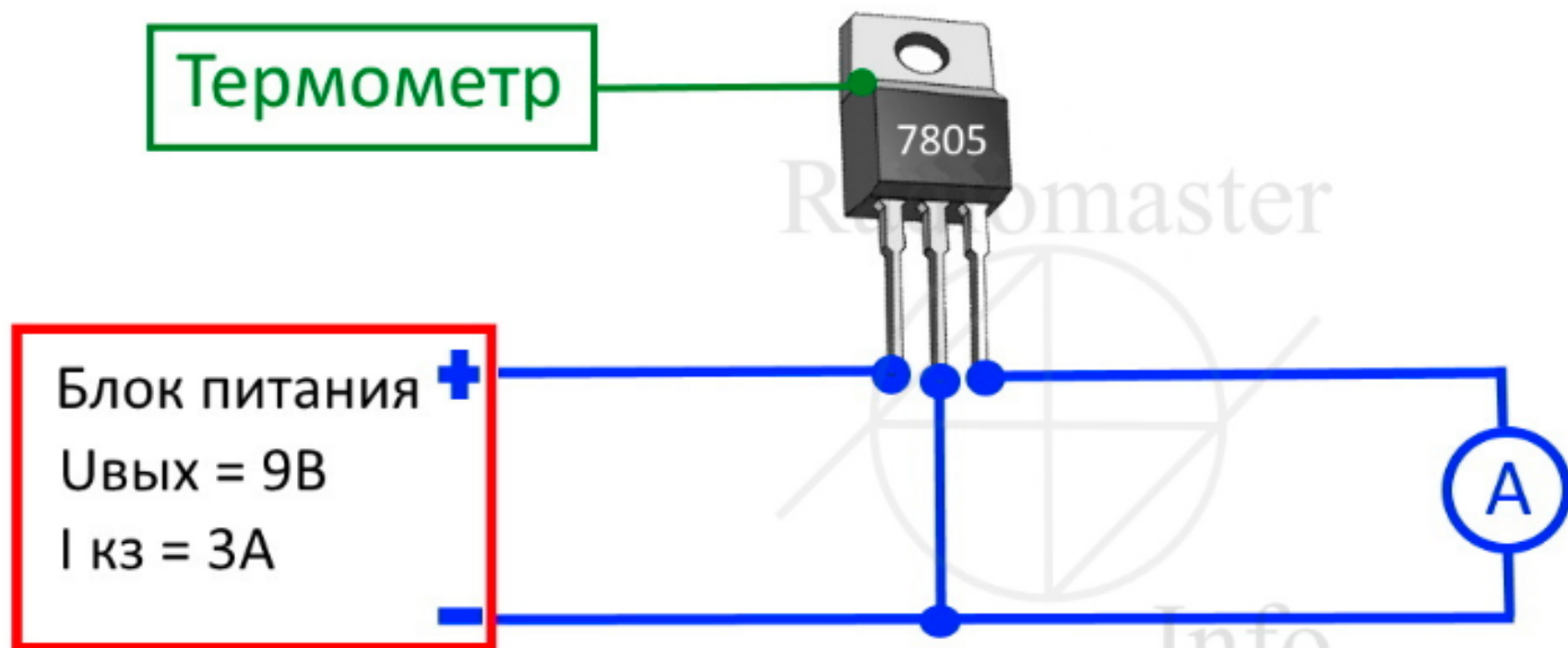
Рисунок 9.16 – Упрощенная схема стабилизатора семейства 78XX

# Датчик тока



Я решил проверить насколько эффективна защита **микросхем 7805** при замыкании на выходе.

Для этого собрал схему как показано на рисунке ниже.





Подобные опыты были сделаны на микросхемах средней 78F05 и малой мощности 78L05. Поведение микросхем аналогичное. Естественно токи у них свои.

## Выводы.

1. Микросхемы действительно имеют эффективные схемы ограничения по выходному току и защиты от перегрева. Но установившаяся температура корпуса микросхемы около  $110^{\circ}\text{C}$  делает долгосрочное пребывание в таком состоянии весьма опасным. Это может привести к возгоранию устройства и пожару.
2. Для защиты от короткого замыкания на длительное время схемы, выполненные на таких микросхемах нужно дополнять отключающим устройством.

Технические характеристики ИМС семейства 78XX приведены в таблице 9.3.

Стабилизатор 7805 выдает выходное напряжение 5 Вольт. Желательное входное напряжение 10 Вольт. Существует разброс выходного стабилизированного напряжения, так стабилизатор 7805 может выдать одно из напряжений диапазона 4.75 - 5.25 Вольт, но при этом должны соблюдаться условия (conditions), что ток на выходе в нагрузке не будет превышать одного Ампера. Нестабилизированное постоянное напряжение может изменяться в диапазоне от 7,5 до 20 Вольт, при это на выходе будет всегда 5 Вольт.

Рассеиваемая мощность на стабилизаторе может достигать до 15 Ватт. Поэтому, если нагрузка на выходе такого стабилизатора будет потреблять большой ток, необходимо использовать радиатор. Чем больше ток на выходе, тем больше по габаритам должен быть радиатор. Еще лучше, если радиатор еще обдувается кулером, как процессор в компьютере.



Рисунок 9.17 - 78XX на радиаторе



Таблица 9.3 – Технические характеристики трехвыводных стабилизаторов

Output Voltage				5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)				10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P <sub>D</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>		(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA	T <sub>J</sub> = 25°C	3		50	4		120	4		150	mV
			ΔV <sub>IN</sub>	(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)		14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)		(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)		V			
			0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	50		120		150		mV			
		I <sub>O</sub> ≤ 1A	ΔV <sub>IN</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)		(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)		(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)		V			
				50		120		150		mV			
				(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)		(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)		(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)		V			
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A	10		50	12		120	12		150	mV
			250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA	25		60		75		mV			
			5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	50		120		150		mV			

На рисунке 9.18 показана схема простейшего стабилизатора с сетевым питанием

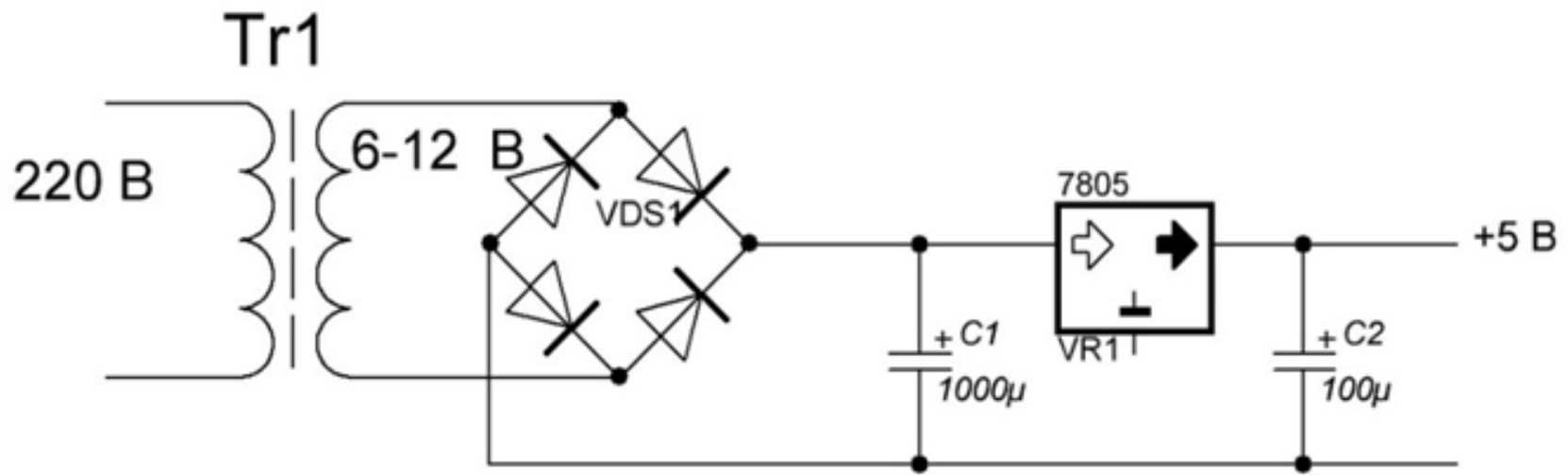


Рисунок 9.18 Схема простейшего стабилизатора с сетевым питанием

В заключение приводим справочные данные для ИМС непрерывных стабилизаторов.

Наименование микросхемы	Напряжение стабил., В	Макс. 1ст нагр., А	Рассеив. Р <sub>мах</sub> , Вт	Потребление, мА	Код на корпусе
(К)142ЕН1А (К)142ЕН1Б К142ЕН1В К142ЕН1Г К142ЕН2А К142ЕН2Б	3...12±0,3 3...12±0,1 3...12±0,5 3...12±0,5 3...12±0,3 3...12±0,1	0,15	0,8	4	(К)06 (К)07 К27 К28 К08 К09
142ЕН3 К142ЕН3А К142ЕН3Б 142ЕН4 К142ЕН4А К142ЕН4Б	3...30±0,05 3...30±0,05 5...30±0,05 1.2...15±0,1 1.2...15±0,2 3...15±0,4	1,0 1,0 0,75 0,3 0,3 0,3	6	10	10 К10 К31  11  К11 К32
(К)142ЕН5А (К)142ЕН5Б (К)142ЕН5В (К)142ЕН5Г	5±0,1 6±0,12 5±0,18 6±0,21	3,0 3,0 2,0 2,0	5	10	(К)12 (К)13 (К)14 (К)15
142ЕН6А К142ЕН6А 142ЕН6Б К142ЕН6Б 142ЕН6В К142ЕН6В	±15±0,015 ±15±0,3 ±15±0,05 ±15±0,3 ±15±0,025 ±15±0,5	0,2	5	7,5	16 К16 17 К17 42 К33
142ЕН6Г К142ЕН6Г К142ЕН6Д К142ЕН6Е	±15±0,075 ±15±0,5 ±15±1,0 ±15±1,0	0,15	5	7,5	43 К34 К48 К49
(К)142ЕН8А (К)142ЕН8Б (К)142ЕН8В	9±0,15 12±0,27 15±0,36	1,5	6	10	(К)18 (К)19 (К)20
К142ЕН8Г К142ЕН8Д К142ЕН8Е	9±0,36 12±0,48 15±0,6	1,0	6	10	К35 К36 К37
142ЕН9А 142ЕН9Б 142ЕН9В	20±0,2 24±0,25 27±0,35	1,5	6	10	21 22 23
К142ЕН9А К142ЕН9Б К142ЕН9В К142ЕН9Г К142ЕН9Д К142ЕН9Е	20±0,4 24±0,48 27±0,54 20±0,6 24±0,72 27±0,81	1,5 1,5 1,5 1,0 1,0 1,0	6	10	К21 К22 К23 К38 К39 К40
(К)142ЕН10 (К)142ЕН11	3...30 1.2...37	1,0 1.5	2 4	7 7	(К)24 (К)25
(К)142ЕН12 КР142ЕН12А	1.2...37 1,2...37	1.5 1,0	1 1	5	(К)47
КР142ЕН15А КР142ЕН15Б	±15±0,5 ±15±0,5	0,1 0,2	0,8 0,8		
КР142ЕН18А КР142ЕН18Б	-1,2...26,5 - 1,2...26,5	1,0 1,5	1	5	(LM337)