

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**Кафедра 407**

**О П И С А Н И Е**

**к лабораторной работе**

**“ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ  
НА МИКРОСХЕМЕ К2ПП241”**

**Утверждено на заседании  
кафедры как методическое  
пособие**

**Москва, 2005**

Характеристики стабилизатора снимать по показаниям приборов, расположенных на индикаторной панели лабораторного стола.

1 прибор служит для измерения входного напряжения

2 прибор служит для измерения напряжения на нагрузке

4 прибор служит для измерения тока нагрузки

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Целью работы является изучение процессов в схеме линейного транзисторного стабилизатора напряжения и в схеме защиты стабилизатора, ознакомление с характеристиками и его конструктивными особенностями.

## 2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Стабилизатор напряжения ставится на выходе вторичного источника питания и служит для уменьшения флуктуаций выходного напряжения, вызванных изменениями тока нагрузки, напряжения первичной сети, температуры окружающей среды.

В линейном стабилизаторе поддержание постоянства выходного напряжения достигается благодаря гашению части его входного напряжения на регулируемом сопротивлении, в качестве которого в данном случае выступает транзистор силовой цепи Т1 (рис.1, в). Таким образом, во-первых выходное напряжение  $U$  всегда меньше минимального значения входного напряжения  $E_{min}$  и во-вторых, электрическая мощность, отбираемая от стабилизатора нагрузкой, всегда меньше подводимой к стабилизатору электрической мощности. Мощность, равная разности двух названных выше электрических мощностей теряется в силовой цепи стабилизатора (на транзисторе Т1) и выделяется в окружающее пространство в виде тепла.

Эта рассеиваемая транзистором мощность, как правило, сравнима с мощностью потребляемой нагрузкой стабилизатора, и КПД линейного стабилизатора редко превышает 50%. Для уменьшения перегрева транзистора силовой цепи он монтируется на тепловом радиаторе.

Помимо силового транзистора Т1, включенного последовательно с нагрузкой, в состав стабилизатора (рис.1, а) входят делитель напряжения (резисторы R1 и R2), источник опорного напряжения ( $E_{оп}$ ), и усилитель сигналов обратной связи (У. О. С.).

Усилитель должен иметь смещенную по вертикали характеристику  $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$  (рис. 1, б) и быть усилителем постоянного тока, т.е. усиливать сколь угодно медленные изменения своего входного напряжения.

Коэффициент усиления усилителя  $K_v = -\frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}}$  определяется наклоном его характеристики  $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$ . В определении  $K_v$ , введен знак минус для того, чтобы при необходимом для правильной работы стабилизатора отрицательном наклоне характеристики  $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$  коэффициент усиления был положительным числом. Чем больше  $K_v$ , тем лучше качества стабилизатора.

Стабилизация выходного напряжения достигается в данной схеме благодаря обратной связи.

Изменения выходного напряжения передается через делитель цепи сравнения на вход усилителя, где создают сигнал, пропорциональный разности выходного и опорного напряжения. Этот сигнал усиливается усилителем и подается на базу транзистора силовой цепи Т1, из-за чего сопротивление его промежутка коллектор-эмиттер меняется.

Полярность изменения выходного напряжения усилителя должна быть такой, что транзистор Т1 подзапирается при росте выходного напряжения и приоткрывается при его уменьшении.

При этом деление входного напряжения между транзистором и нагрузкой меняется так, что первоначальное изменение выходного напряжения будет компенсироваться. Из-за того, что в таком стабилизаторе происходит почти полная компенсация, его иногда называют компенсационным стабилизатором.

Рассмотрим процесс стабилизации изменений входного напряжения стабилизатора  $E$ . В исходном (невозмущенном) состоянии на выходе стабилизатора имеется напряжение

$$U_0 = U_{ВЫХ0} - U_{БЭ0} \quad (1)$$

(напряжениям  $U_{ВЫХ}$  и  $U_{БЭ}$  дана полярность, соответствующая их встречному включению). При этом в средней точке делителя напряжения цепи сравнения (т. А на рис.1, а) поделенное выходное напряжение  $U_0N$  (здесь  $N$  - коэффициент, определяющий уменьшение напряжения делителем, равный при бесконечном входном сопротивлении усилителя  $R2/(R1+R2)$ ) оказывается равным  $E_{ОП}$  и на входе создается нулевое напряжение, так как

$$U_{ВХ} = U_A - E_{ОП} \quad (2)$$

Такому входному напряжению усилителя и соответствует как раз его выходное напряжение  $U_{ВЫХО}$ , т.е. баланс напряжений в контуре соблюдается.

Если входное напряжение стабилизатора  $E$  скачком возрастает на  $\Delta E$ , то этот прирост частично передается на выход стабилизатора, вследствие чего выходное напряжение возрастает на  $\Delta U_{НАЧ}$ . Одновременно с этим возрастает и напряжение на входе усилителя, что вызовет, в свою очередь, уменьшение выходного напряжения усилителя и, следовательно, уменьшение напряжения на базе транзистора Т1.

Возрастание напряжения на входе усилителя равно  $\Delta U_{НАЧ}N$ , а уменьшение выходного напряжения усилителя равно  $\Delta U_{НАЧ}NK_y$ .

Уменьшение напряжения на базе транзистора приводит к тому, что транзистор Т1 начинает запирается, падение напряжения на нем  $U_{КЭ}$  возрастает, так как

$$E = U_{КЭ} + U \quad (3)$$

то выходное напряжение стабилизатора начинает уменьшая возвращаться к первоначальному значению. Однако, по мере его приближения к первоначальному значению, напряжение на входе усилителя будет уменьшаться, транзистор Т1 перестанет дальше запирается и выходное напряжение стабилизатора перестанет уменьшаться, не достигнув первоначального уровня. При большом усилении усилителя ошибка  $\Delta U$  является лишь небольшой частью первоначального возмущения  $\Delta U_{НАЧ}$ .

Можно отметить две особенности рассматриваемого линейного стабилизатора с обратной связью. Во-первых, его выходное напряжение устанавливается с некоторым запаздыванием, и, во-вторых, ему свойственна остаточная ошибка.

Однако, применение современных малоинерционных транзисторов и микросхемных усилителей позволяет получить пренебрежимо малыми как запаздывание, так и остаточную ошибку.

Для определения величины остаточной ошибки запишем:

$$\Delta E = U_{КЭ} + U \quad (\text{следствие (3)})$$

$$K_V \cdot \Delta U \cdot N = -\Delta U_{ВЫХ} \quad (\text{по определению } K_V)$$

$$\Delta U_{ВЫХ} - \Delta U_{БЭ} - \Delta U = 0 \quad (\text{следствие (1)}).$$

Помимо этого введем коэффициент усиления транзистором Т1 приращений напряжений  $K_{ТР} = -\frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta U_{БЭ}}$ . Отношение приращений напряжений отрицательно, так как уменьшение напряжения на базе приводит к увеличению напряжений между коллектором и эмиттером. В нашей записи коэффициент  $K_{ТР}$  будет положительным числом, причем значительно большим единицы.

Из двух последних уравнений получаем  $\Delta U_{БЭ} = -\Delta U \cdot (K_V \cdot N + 1)$ , а подставив этот результат в первое уравнение, найдем

$$\Delta E = K_{ТР} \cdot (K_V \cdot N + 1) \cdot \Delta U + \Delta U$$

или

$$K_E = \frac{\Delta U}{\Delta E} = \frac{1}{K_{ТР} \cdot (K_V \cdot N + 1) + 1}$$

Стоящая в левой части последней формулы величина называется коэффициентом неустойчивости выходного напряжения стабилизатора по изменениям входного напряжения ( $K_E$ ), а правая часть дает выражение этого коэффициента через введенные ранее параметры элементов стабилизатора.

Применив усилитель с большим коэффициентом усиления, можно нестабильность выходного напряжения сделать достаточно малой.

Вычислим теперь второй коэффициент нестабильности, определяющий изменения выходного напряжения, вызванные изменением тока нагрузки стабилизатора. Он называется также выходным сопротивлением стабилизатора и определяется отношением приращений  $\Delta U$  и  $\Delta I$ .

$$R_{\text{вх}} = -\frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (E = \text{const})$$

Сначала рассмотрим схему стабилизатора с разомкнутой цепью обратной связи, т.е. при отключении входа усилителя сигналов обратной связи от т.А делителя в цепи сравнения.

В этом случае на базе транзистора Т1 в течение всего опыта поддерживается постоянное напряжение, равное  $U_{\text{вх}}$ . Уменьшение сопротивления нагрузки стабилизатора приводит к росту тока нагрузки на  $\Delta I$  и уменьшению напряжения на нагрузке на  $\Delta U$ . Так как эмиттер транзистора Т1 подсоединен к нагрузке, то его напряжение база-эмиттер увеличивается на ту же самую величину  $\Delta U$ .

Таким образом в данном опыте

$$\Delta U_{\text{БЭ}} = -\Delta U$$

Изменение напряжения база-эмиттер на  $\Delta U_{\text{БЭ}}$  при неизменном напряжении  $U_{\text{КЭ}}$  вызывает изменение коллекторного тока  $\Delta I_{\text{К}} = S \cdot \Delta U_{\text{БЭ}}$ , где  $S$  - крутизна транзистора. В нашем опыте напряжение коллектор-эмиттер меняется и через нагрузку течет не коллекторный ток, а ток эмиттера, однако  $I_{\text{К}} \approx I_{\text{Э}}$ , а влияние коллекторного напряжения на коллекторный ток мало. Поэтому можно считать

$$\Delta I_{\text{Э}} \approx \Delta I \approx S \cdot \Delta U_{\text{БЭ}}$$

Отсюда определим  $R_{\text{вх}} = (S)^{-1}$ .

Таким образом, без усилителя стабилизатор обладает выходным сопротивлением, равным обратной величине крутизны транзистора.

Если же усилитель включен, то при изменении выходного напряжения стабилизатора на  $\Delta U$ , помимо определенного ранее изменения напряжения на эмиттере Т1, изменится и напряжение на его базе. Это изменение напряжения на базе будет равно усиленному изменению на входе усилителя, т.е.  $\Delta U N K_y$ . Полное увеличение напряжения эмиттер-база есть сумма найденных по отдельности изменений напряжений на эмиттере и базе, т.е.

$$\Delta U_{БЭ} = -\Delta U - \Delta U \cdot N \cdot K_y$$

Таким образом, выходное сопротивление стабилизатора с включенным усилителем  $R_{ВЫХ} \cong [S \cdot (1 + N \cdot K_y)]^{-1}$  в  $1 + N \cdot K_y$  раз меньше, чем без усилителя.

Последним коэффициентом нестабильности, который мы здесь определим, будет коэффициент нестабильности выходного напряжения по изменениям опорного напряжения.

$$K_{E_{оп}} = \frac{\Delta U}{\Delta E_{оп}}$$

Увеличение опорного напряжения на  $\Delta E_{оп}$  приведет к увеличению же выходного напряжения усилителя на  $K_y \Delta E_{оп}$ , открыванию транзистора Т1 и, следовательно, возрастанию напряжения на выходе стабилизатора. В установленном состоянии изменение напряжения на входе усилителя  $\Delta U_{ВХ} = \Delta U \cdot N - \Delta E_{оп}$  должно быть таким, что будучи усиленным усилителем, оно дает такое изменение напряжения  $\Delta U_{БЭ}$

$$\Delta U_{БЭ} = -K_y \cdot (\Delta U \cdot N - \Delta E_{оп}) - \Delta U$$

которое вызывает уменьшение напряжения коллектор-эмиттер транзистора, приводящее к росту выходного напряжения стабилизатора как раз на  $\Delta U$ , т.е.

$$\Delta U_{КЭ} = -\Delta U .$$



Так как  $\Delta U_{КЭ} = -K_{ТР} \cdot \Delta U_{БЭ}$ , то можем записать

$$K_{ТР} \cdot [K_{У} \cdot (\Delta U \cdot N - \Delta E_{ОП}) + \Delta U] = -\Delta U$$

Откуда

$$K_{ЕОП} = \frac{\Delta U}{\Delta E_{ОП}} = \frac{K_{ТР} \cdot K_{У}}{1 + K_{ТР} + K_{ТР} \cdot K_{У} \cdot N} \approx \frac{1}{N}$$

Таким образом, изменения опорного напряжения на  $\Delta E_{ОП}$  вызывает в  $N^{-1}$  раз большие изменения выходного напряжения.

Аналогично влияние на выходное напряжение стабилизатора и дрейфа характеристики усилителя, ибо ее смещение на  $\Delta E_{ДР}$  (см. рис. 2) равнозначно изменению опорного напряжения на ту же величину.

Из сказанного следует, что для получения на выходе стабилизатора высокостабильного напряжения необходимы качественный источник опорного напряжения и усилитель с большим усилением и малым дрейфом.

Одним из недостатков рассмотренной схемы стабилизатора является то, что он выходит из строя даже при кратковременном коротком замыкании выходных зажимов.

Выходное напряжение  $U$  при коротком замыкании становится равным нулю и транзистор Т1 оказывается под полным входным напряжением  $E$ . На его базу с выхода усилителя подается отпирающее напряжение. Из-за этого ток транзистора становится чрезмерно большим и он выходит из строя.

Чтобы предотвратить выход из строя транзистора при случайном коротком замыкании в стабилизаторах такого типа предусматривают специальную схему защиты. Одна из схем защиты, отличающаяся быстроедействием, изображена на рис. 3. В ней применен транзистор Т3, который в нормальном режиме (при токе нагрузки, меньшим максимального) полностью открыт, на его базу через резистор R3 подается положительное напряжение с выхода стабилизатора. Диод Д1, хотя и находится под прямым напряжением, но пропус-

кает малый ток, так как его рабочая точка (РТ) располагается левее излома вольт-амперной характеристики (рис. 3, 6).

При чрезмерном токе нагрузки большое падение напряжения на резисторе R4 открывает диод Д1, на базу транзистора Т3 через него передается отрицательный по отношению к эмиттеру потенциал, образующийся на левом конце резистора и транзистор запирается.

При этом он, во-первых, ограничивает ток короткого замыкания и, во-вторых, принимает на себя почти все напряжение  $E$ . Поскольку транзистор Т3 в противоположность Т1 подзаперт, то для него большое напряжение  $U_{кэ} = E$  не является опасным.

При снятии короткого замыкания исходный режим схемы восстанавливается без постороннего вмешательства.

### 3. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАБИЛИЗАТОРА.

В настоящее время стабилизаторы рассмотренного типа строятся как на дискретных компонентах, так и в виде микросхем. Имеются мощные микросхемы, обеспечивающие ток нагрузки в несколько ампер. Они выполняются на базе мощных транзисторов, в корпусе которых и размещают микроусилители сигналов обратной связи. Монтируются такие стабилизаторы на радиаторе, обеспечивающем хороший теплоотвод.

Маломощные стабилизаторы отдают в нагрузку ток порядка нескольких миллиампер. Они выполняются в стандартных корпусах и монтируются на стандартных платах как и обычные микросхемы.

В лабораторном макете установлена микросхема К2ПП241, являющаяся маломощным стабилизатором напряжения (рис. 4). Это гибридная микросхема, выполненная по толстопленочной технологии с навесными бескорпусными транзисторами и конденсатором.

В таком соединении, как показано на рис. 4, транзистор является силовым, транзистор Т2 усилителем сигналов обратной связи. Опорное напряжение подается на выводы 1 или 4. Резисторы делителя напряжения в цепи сравнения выполнены в виде двух пар R1 и R2, R6 и R7, что позволяет варьировать коэффициент деления.

Паспортные данные микросхемы К2ПП241 следующие:

1. Температура окружающей среды  $-30 - +50^{\circ}\text{C}$ .
2. Входное напряжение  $5,4 - 12 \text{ В}$ .
3. Коэффициент стабилизации больше 5-ти.

Коэффициент стабилизации является величиной обратной коэффициенту неустойчивости выходного напряжения по входному напряжению.

4. Максимальный ток нагрузки  $2 \text{ мА}$ .
5. Выходное напряжение определяется внешним опорным элементом.

Расчет необходимой величины напряжения опорного источника можно провести, опираясь на соотношение (2). Для усилителя на транзисторе Т2 оно имеет следующий вид:

$$U \cdot N - U_{БЭ0} = E_{оп}$$

где  $U_{БЭ0}$  - исходное напряжение между базой и эмиттером транзистора.

Так, если необходимо получить выходное напряжение  $3,6$  вольта и используется делитель напряжения, состоящий из резисторов  $R1=2,4 \text{ кОм}$  и  $R2=1,5 \text{ кОм}$ , то на базе транзистора Т2 создается напряжение

$$U_B = 3.6 \cdot \frac{1.5}{1.5 + 2.4} = 1.4 \text{ В}$$

Положив  $U_{БЭ}$  равным  $0,25 \text{ В}$ , найдем, что на эмиттер транзистора необходимо подавать  $1,15 \text{ В}$ . Такое опорное напряжение можно получить от низковольтного стабилитрона.

Если использовать в качестве делителя напряжения резисторы  $R6=560 \text{ Ом}$  и  $R7=560 \text{ Ом}$ , то на базе Т2 будет  $1,8$  и источник опорного напряжения должен давать уже  $1,55 \text{ В}$ .

Возможны и другие варианты включения резисторов цепи сравнения.

В рассматриваемом включении микросхем ток нагрузки ограничивается маломощным бескорпусным транзистором Т1 и не может превышать 4 мА. Возможно упрочнение данной микросхемы. В этом случае в силовой цепи стабилизатора ставится более мощный транзистор Т4, который с транзистором Т1 образует составной транзистор (рис. 5).

#### 4. ОПИСАНИЕ. ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА.

В макете лабораторной работы (рис. 6) микросхема К2ПП241 используется непосредственно. Возможно подключение одного из двух источников опорного напряжения, выполненных на диодах Д2 и Д3.

Диод Д2 (типа КС147А) – 4,7 В. В схеме защиты используется транзистор МП37Б и стабилитрон Д814Г. Применение стабилитрона в качестве обычного диода вызвано тем, что его вольтамперная характеристика имеет более резкий излом, чем характеристика обычных диодов. Это способствует более четкой работе схемы защиты.

Входное напряжение на стабилизатор подается с потенциометра (резистор переменного сопротивления R9), а следовательно, нагрузки собраны из двух резисторов R10 и R11, один из них является резистором переменного сопротивления.

#### 5. ЗАДАНИЕ НА ЭКСПЕРИМЕНТ.

1. Снять внешнюю характеристику стабилизатора при значениях входного напряжения стабилизатора ( $E=10В$ ,  $E=12В$  и  $E=15В$ ) и опорном стабилитроне Д2.

2. Снять внешнюю характеристику стабилизатора при тех же значениях входного напряжения и стабилитрона Д3.

3. Снять зависимость выходного напряжения стабилизатора от входного при опорном диоде Д2 и Д3.

4. На построенных внешних характеристиках выделить области работы стабилизатора и его схемы защиты.

5. Определить на основе построенных характеристик коэффициенты неустойчивости по входному и опорному напряжению и выходное сопротивление стабилизатора.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.

Переключатель рода работ на передней панели макета для подключения стабилизатора к источнику напряжения необходимо доставить в положение IV. После этого включить напряжение питания тумблером “СЕТЬ”.

Для снятия внешней характеристики необходимо менять сопротивление нагрузки стабилизатора (резистор переменного сопротивления R10), отмечая по миллиамперметру значения тока нагрузки и по вольтметру значения напряжения на нагрузке. Необходимая величина входного напряжения устанавливается потенциометром (резистор переменного сопротивления R9) и контролируется по вольтметру.

Измерительные приборы размещены на специальной панели, прикрепленной к полке лабораторного стенда.

При снятии зависимости выходного напряжения от входного, сопротивление нагрузки стабилизатора оставлять неизменным. Входное напряжение менять от трех до двадцати вольт с шагом 2–3 вольта.

Коэффициент неустойчивости выходного напряжения по входному определяется наклоном характеристик, дающих зависимость выходного напряжения от входного. Выходное сопротивление определяется наклоном внешней характеристики стабилизатора. Неустойчивость выходного напряжения по опорному определяется из сравнения выходных характеристик стабилизатора, снятых при разных опорных источниках. При этом берутся точки, соответствующие одинаковым значениям входного напряжения и тока нагрузки.

## 7.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

В отчете должны быть помещены схема стабилизатора, таблицы экспериментальных данных, построенные по ним графики и результаты вычислений.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Каковы достоинства и недостатки линейного стабилизатора напряжений?
2. Какие процессы протекают в стабилизаторе при изменении входного напряжения?
3. Какие процессы протекают в стабилизаторе при изменении тока нагрузки?
4. Какие процессы протекают в стабилизаторе при изменении опорного напряжения?
5. Что такое коэффициенты неустойчивости?
6. Каковы способы применения микросхемы К2ПП241?

## 9. ЛИТЕРАТУРА.

1. Иванов-Цыганов А. И. Электротехнические устройства радиосистем. “Высшая школа”, 1972.
2. Китаев В. Е. и др. Электропитание устройств связи, “Связь”, 1975.
3. Под ред. Додика С. Д. и Гальперина Е. И. Источники питания на полупроводниковых приборах, “Советское радио”, 1969.

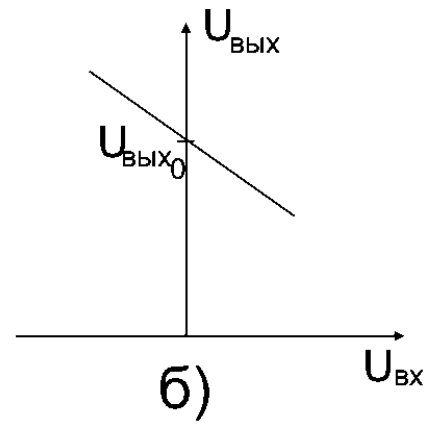
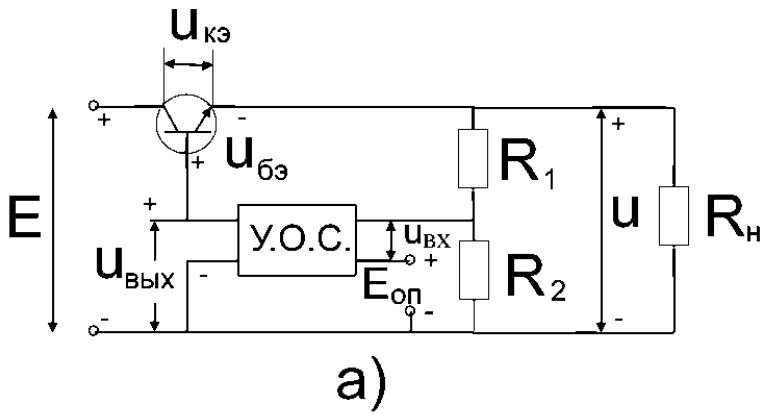


Рис. 1

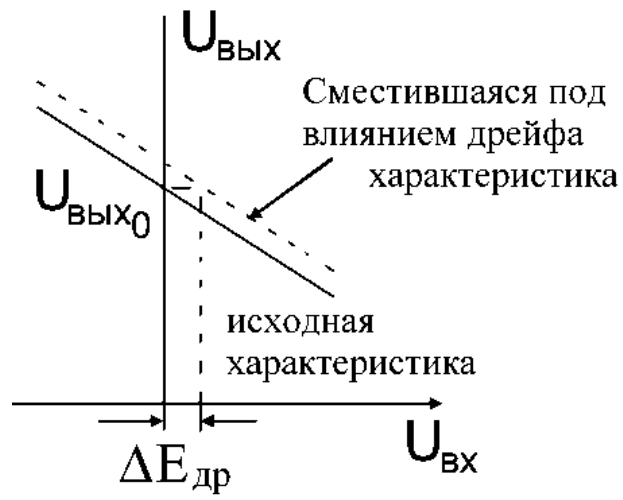
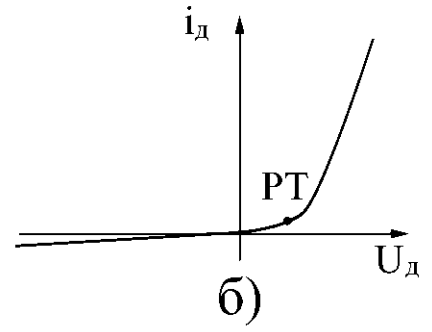
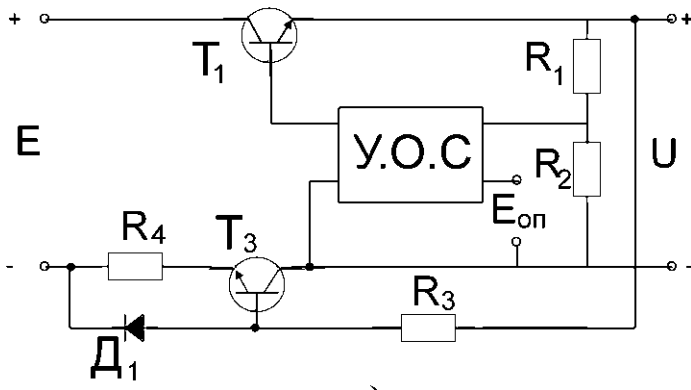


Рис. 2



а) Рис. 3

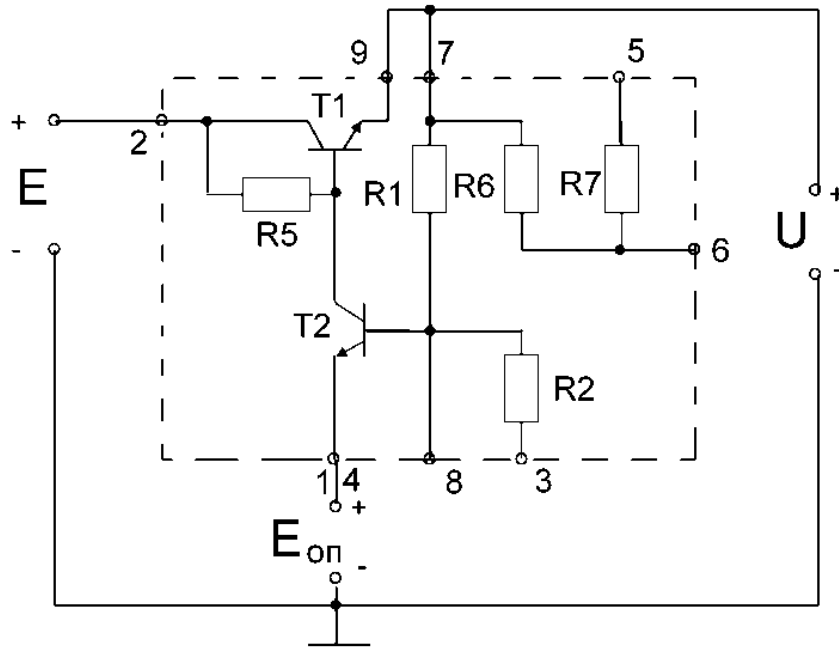


Рис. 4



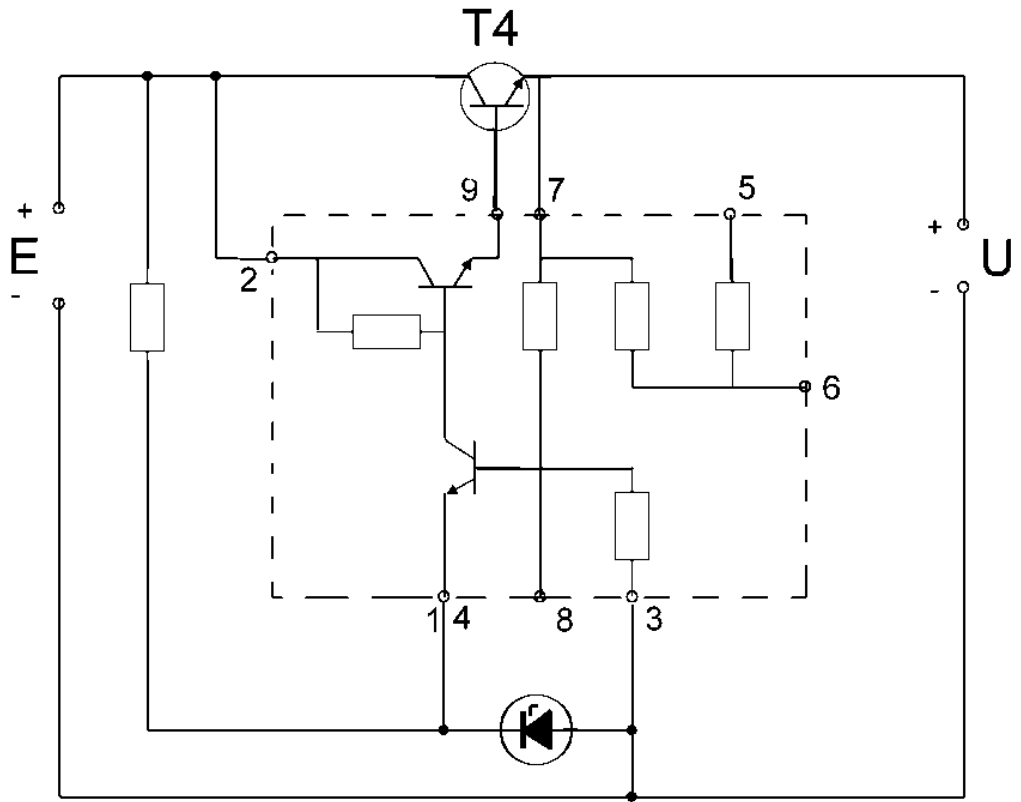


Рис. 5

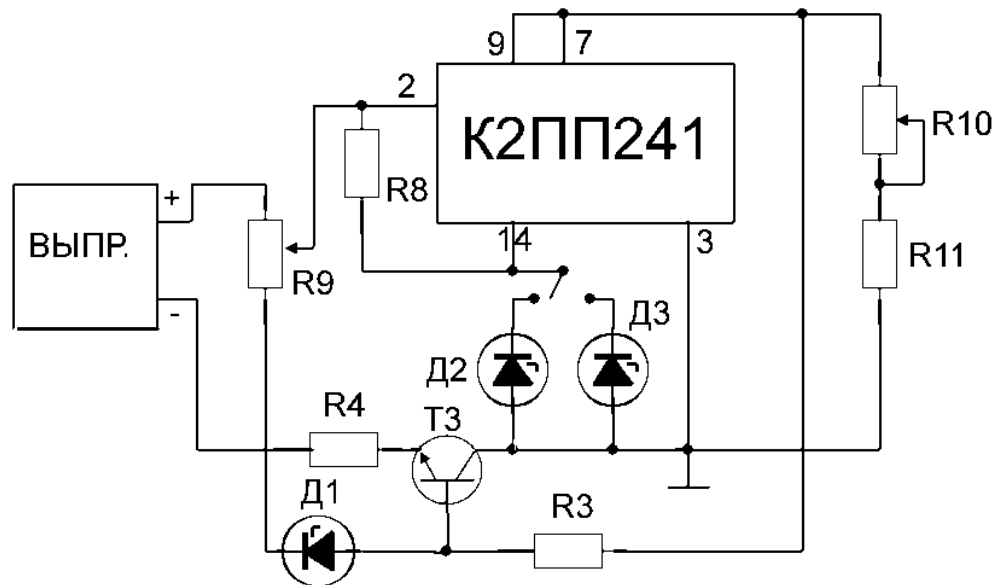


Рис. 6