

**Департамент образования и науки Костромской области**

областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«КОСТРОМСКОЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»**

**Методический конкурс педагогических работников образовательных организаций  
Костромской области**

**Номинация: дидактические материалы для обучающихся**

Бушueva О.В.

**Методическое пособие  
по выполнению практической работы**

**«Моделирование и анализ работы основных  
узлов вторичного источника питания.  
Стабилизатор напряжения»**

**МДК. 02.01 Проектирование и анализ электрических схем**

*для специальности 11.02.17 «Разработка электронных устройств и систем»*

**Кострома – 2025**

Бушуева О.В. Методическое пособие по выполнению практической работы «Моделирование и анализ работы основных узлов вторичного источника питания. Стабилизатор напряжения» по междисциплинарному курсу МДК 02.01. Проектирование и анализ электрических схем– РИК ОГБПОУ «Костромской политехнический колледж», 2025. – 43с.

Методическое пособие используется на учебных занятиях при выполнении практико-ориентированных заданий. Освоение профессиональных компетенций обеспечит подготовку к выполнению вида профессиональной деятельности «Выполнение проектирования электронных устройств и систем».

**Рецензент:** Зеленин А.А. – преподаватель, ОГБПОУ «Костромской политехнический колледж»

© Бушуева О.В., 2025  
© ОГБПОУ  
«Костромской  
политехнический  
колледж», 2025

Гарнитура шрифта «Times New Roman Cyr» 14 п, 12 п.  
Формат 60x84/8.. Кол-во листов 43. Кол-во авт. листов 1,1.  
РИК КПК  
«РИК/Документы/2025/Методички/Method. razrabotka Bushuyeva»

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
1.1. Полупроводниковые диоды.....	6
1.2 Биполярные транзисторы.....	13
2. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ.....	18
2.2 Основные параметры стабилизатора.....	20
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАБИЛИЗАТОРА .	21
3.1. Структурная схема стабилизатора.....	21
3.2 Общие вопросы проектирования.....	21
3.3 Определение исходных данных.....	22
3.4 Выбор транзистора.....	22
3.5 Выбор стабилитрона.....	24
3.6. Стабилизация тока стабилитронов.....	25
3.7 Расчет параметров стабилизатора.....	28
3.8 Защита стабилизатора по току.....	30
3.9 Защита нагрузки от перенапряжения.....	31
3.10.Индикация состояния стабилизатора.....	33
3.11 Заключение.....	34
3.12 Составление принципиальной схемы стабилизатора.....	34
3.13 Таблица выбора варианта и данных для расчета стабилизатора.....	34
4. СПРАВОЧНЫЙ РАЗДЕЛ.....	36
4.1 Определение площади радиатора.....	36
4.2 Справочные данные диодов и транзисторов.....	36
4.3 Вольт-амперные характеристики транзисторов средней мощности $P_{Кдоп} < 3$ Вт. .	38
ЛИТЕРАТУРА.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	42
Приложение 1. Ряды номинальных сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов по гост 28884–90 (МЭК 63–63).....	43

## ВВЕДЕНИЕ

Данная методическая работа составлена в соответствии с программой профессионального модуля ПМ 02. «Выполнение проектирования электронных устройств и систем» и предназначена для практической подготовки техников в условиях производственной организации.

Методическое пособие содержит теоретические сведения и порядок выполнения практической работы.

Выполненная работа проверяется путем просмотра и проверки. Оцениваются следующие умения и навыки: работать со справочной литературой; производить вычисления; обобщать и анализировать; оформлять задание в соответствии с алгоритмом.

В процессе выполнения практических работ формируются общие и профессиональные компетенции:

- ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес
- ОК 2. Организовывать собственную деятельность, исходя из цели и способов её достижения, определённых руководителем.
- ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
- ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
- ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
- ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями
- ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий
- ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного

развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации

ОК 9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК Составлять электрические схемы, проводить расчеты и анализ параметров электронных блоков, устройств и систем различного типа с применением специализированного программного обеспечения в соответствии с техническим заданием

ПК Выполнять проектирование электрических схем и печатных плат с использованием компьютерного моделирования

# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

## 1.1. Полупроводниковые диоды

### 1.1.1 Выпрямительные диоды

*Полупроводниковым диодом* называют двухэлектродный полупроводниковый прибор, содержащий один или несколько электрических переходов (*p-n*-переходов или переходов металл-полупроводник).

Области применения полупроводниковых диодов определяются их вольтамперными характеристиками и параметрами.

Под вольтамперной характеристикой (ВАХ) полупроводникового диода понимают зависимость тока через диод  $I$  от приложенного к нему напряжения  $U$ .

График вольтамперной характеристики приведен на рис. 1. На характеристике принято выделять прямую ветвь, соответствующую прямому напряжению на *p-n*-переходе, и обратную ветвь, соответствующую обратному напряжению на *p-n*-переходе. Прямое напряжение считается положительным, а обратное – отрицательным. При увеличении прямого напряжения ток резко возрастает.

При увеличении обратного напряжения обратный ток идеализированного *p-n*-перехода сначала быстро возрастает до значения  $I_0$ , а затем остается неизменным.

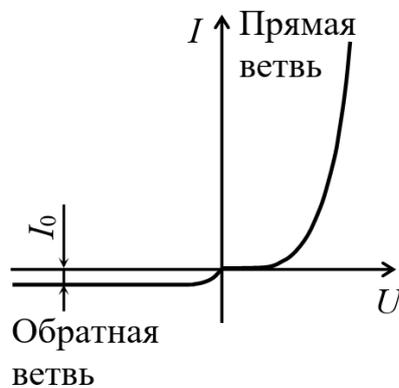


Рис. 1. Вольтамперная характеристика *p-n*-перехода

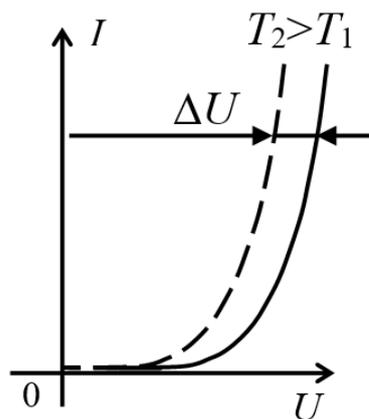


Рис. 2. Влияние температуры на характеристику перехода

С увеличением температуры падение напряжения на р-п-переходе, включенном в прямом направлении, уменьшается рис.2.

В реальных *p-n*-переходах при увеличении обратного напряжения наблюдается *пробой*, под которым понимают резкое увеличение обратного тока. Различают три вида пробоя: *тепловой*, *лавинный* и *туннельный*.

Тепловой пробой обусловлен нагреванием р-п-перехода при протекании через него обратного тока. Рост температуры р-п-перехода приводит к росту обратного тока. Если количество теплоты, выделяемой в переходе, превышает количество отводимой теплоты, то этот процесс будет лавинообразно развиваться и закончится разрушением р-п-перехода.

Лавинный пробой (рис. 3) возникает в р-п-переходах при невысокой степени легирования. Напряжение лавинного пробоя очень слабо зависит от тока, протекающего через р-п-переход. Температурный коэффициент напряжения лавинного пробоя положителен.

Туннельный пробой имеет место в сильно легированных р-п-переходах и связан с туннельным эффектом.

Напряжение туннельного пробоя не превышает 5 В и очень слабо зависит от тока, протекающего через р-п-переход.

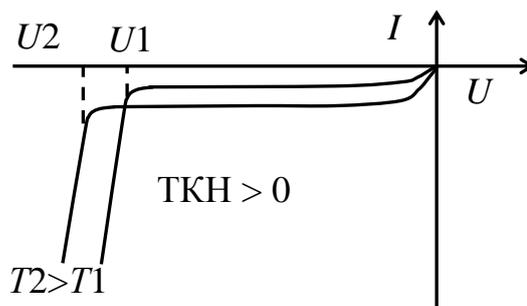


Рис. 3. Лавинный пробой

Лавинный и туннельный пробой обратимы, если не переходят в тепловой.

На вольтамперную характеристику диода существенное влияние оказывает температура окружающей среды. При увеличении температуры обратный ток насыщения увеличивается у кремниевых диодов примерно в 2,5 раза при изменении температуры на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ .

Максимально допустимое увеличение обратного тока диода определяет допустимую температуру диода, которая составляет  $150 \div 200^{\circ}\text{C}$  для кремниевых диодов.

Диоды общего применения характеризуются следующими основными параметрами:

– дифференциальное сопротивление диода на прямой ветви ВАХ при заданном токе;

$$r_d = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}} \quad (1.1)$$

– сопротивление постоянному току в заданной точке ВАХ

$$R_o = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}} \quad (1.2)$$

– температурный коэффициент напряжения ( $TKH$ ) прямой ветви ВАХ

$$TKH = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta T} = 2,5 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C} \quad (1.3)$$

– допустимый прямой ток анода  $I_{\text{доп}}$ ;

– обратное допустимое напряжение  $U_{\text{обр.доп}}$ .

### 1.1.2 Специальный диод – стабилитрон

*Стабилитроны* предназначены для стабилизации напряжения. Их работа основана на использовании явления электрического пробоя p-n-перехода при включении диода в обратном направлении.

Электрический пробой обратим, т. е. он не приводит к повреждению диода и при снижении обратного напряжения (или ограничения тока) свойства диода сохраняются.

При прямом включении при увеличении температуры падение напряжения на стабилитроне уменьшается рис. 4

$$TKH = \Delta U_{\text{ПР}} / \Delta T = -2,5 \text{ мВ/}^\circ\text{C} \quad (1.4)$$

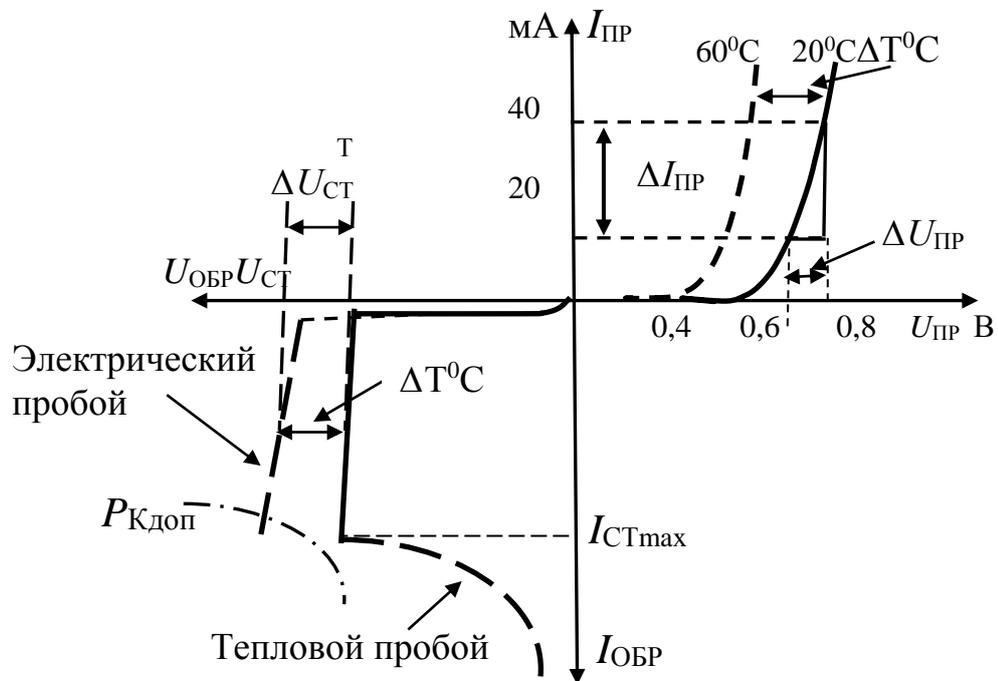


Рис. 4. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Если через стабилитрон протекает постоянный обратный ток, то при изменении температуры падение напряжения на нем также изменяется.

Основные параметры стабилитронов и их типовые значения.

1. Напряжение стабилизации  $U_{\text{СТ}}$  – падение напряжения на стабилитроне при протекании заданного тока стабилизации (от нескольких долей вольта до сотен вольт).

2. Максимальный допустимый ток стабилизации  $I_{\text{СТmax}}$  – наибольший

ток стабилизации, при котором нагрев стабилитронов не выходит за допустимые пределы (от десятков миллиампер до единиц ампер).

3. Минимальный ток стабилизации  $I_{СТmin}$  – наименьшее значение тока стабилизации, при котором режим пробоя устойчив, (единицы миллиампер).

4. Дифференциальное сопротивление  $r_{СТ}$  – отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации  $r_{СТ} = \Delta U_{СТ} / \Delta I_{СТ}$  (доли -десятки Ом). Дифференциальное сопротивление уменьшается при увеличении тока стабилизации.

5. Температурный коэффициент напряжения стабилизации  $\xi_{СТ}$  - относительное изменение напряжения стабилизации  $\Delta U_{СТ}$  при изменении температуры окружающей среды на  $\Delta T^{\circ}C$  ( $\xi_{СТ}$  - тысячные доли процента).

6. Максимально допустимая рассеиваемая мощность  $P_{доп} = U_{СТ} \cdot I_{СТ max}$ . Если выделяющаяся в виде тепла мощность превышает допустимую для стабилитрона, то прибор начнёт перегреваться и может наступить тепловой пробой.

### 1.1.3 Специальный диод – тиристор

*Тиристорами* называют полупроводниковые приборы с тремя и более взаимодействующими p-n-переходами.

В зависимости от числа выводов тиристоры делят на:

- диодные (динисторы), имеющие два вывода - от анода и катода,
- триодные (тринисторы), имеющие выводы от анода, катода и одной из эквивалентных баз,
- тетродные, имеющие выводы от всех областей.

В процессе работы тиристор может находиться в состоянии:

- выключен или закрыт, в этом состоянии тиристор имеет высокое сопротивление и ток через него практически равен нулю;
- включён или открыт, в этом состоянии тиристор имеет малое

сопротивление, ток в цепи определяется внешним сопротивлением.

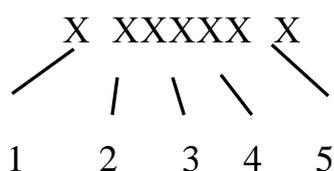
#### 1.1.4 Специальный диод – светодиод

*Светодиод* – прибор с p-n-переходом, излучающим свет при протекании через него прямого тока. По своим электрическим свойствам светодиод аналогичен обычному диоду. Отличие состоит в том, что напряжение отпирания при прямом включении составляет примерно 2 вольта.

Светодиоды применяются для индикации наличия напряжения (тока) в электрической цепи, как источники света.

#### 1.1.5 Обозначение диодов

В основу обозначений универсальных диодов положен буквенно-цифровой код вида



1 – материал диода: Г или 1 – германий, К или 2 – кремний;

А или 3 – соединения галлия.

2 – подкласс прибора: Д – диоды выпрямительные и импульсные,

С – стабилитроны,

У – триодный тиристор;

3 – функциональный параметр, подкласс прибора.

4 – число – порядковый номер заводской разработки.

5 – буква – классификация по параметрам (квалификационная литера).

Второй элемент – вид прибора – диод Д.

Следующие элементы характеризуют его эксплуатационные свойства. Например, диод общего применения КД101А расшифровывается как кремниевый диод малой мощности, разработки номер 01, разновидности А.

Условное графическое обозначение (УГО) диодов общего применения на принципиальных схемах приведено на рис. 5.

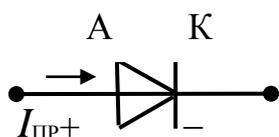


Рис. 5. Обозначение универсального диода

Один из электродов обозначается буквой А – анод, другой электрод – буквой К – катод.

Если к аноду приложено положительное напряжение, а к катоду – отрицательное, то диод включен в прямом направлении и открыт. На диоде выделяется напряжение  $U_{пр}$  и течёт прямой ток  $I_{пр}$ .

Если к аноду приложено отрицательное напряжение, то диод включён в обратном направлении и закрыт, через диод протекает обратный ток малой величины  $I_{обр}$ . Если приложенное обратное напряжение превышает напряжение пробоя, то происходит электрический пробой диода и в цепи потечёт ток.

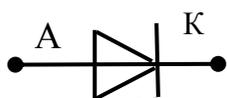


Рис. 6. Обозначение стабилитрона

На рис. 6 приведено УГО стабилитрона. В основу обозначений стабилитронов положен тот же буквенно-цифровой код, что и для диодов. Например, обозначение стабилитрона КС153А расшифровывается как кремниевый диод малой мощности (серия 100), разновидности А. В отличие от выпрямительных диодов последние два цифры обозначают напряжение стабилизации  $U_{ст} = 5,3$  В.

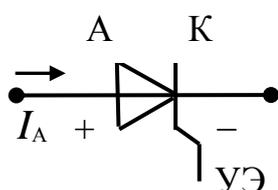


Рис. 7. Обозначение управляемого тиристора

На рис. 7 приведено УГО тиристора. Обозначение соответствует управлению тиристора по катоду, УЭ – управляющий электрод.

Тиристоры также обозначаются буквенно-цифровым кодом:

- первый элемент – исходный материал;
- второй элемент – вид прибора: Н – диодный тиристор – динистор (неуправляемый), У – триодный тиристор – (управляемый).

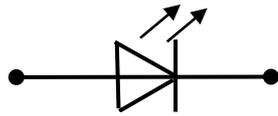


Рис. 8. Обозначение светодиода

Например, КУ201К – кремниевый, управляемый, средней мощности, 01 разработки, разновидности К.

На рис. 8 приведено УГО светодиода.

Система обозначений светодиодов аналогична обозначениям прочих диодов. Второй компонент обозначения буква Л – светоизлучающий диод. Например, АЛС331 расшифровывается следующим образом: А – материал арсенид галлия, ЛС – матрица светодиодов. Последующие цифры обозначают номер разработки и эксплуатационные свойства.

## 1.2 Биполярные транзисторы

### 1.2.1 Общие положения

*Транзисторами* называются полупроводниковые приборы с двумя взаимодействующими n-p-переходами. По чередованию переходов транзисторы бывают двух типов: p-n-p-транзисторы и n-p-n-транзисторы (рис. 9).

Средний слой транзистора называют базой (Б), один из крайних – эмиттером (Э), другой – коллектором (К). Стрелка в обозначении эмиттера показывает направление протекания положительного тока.

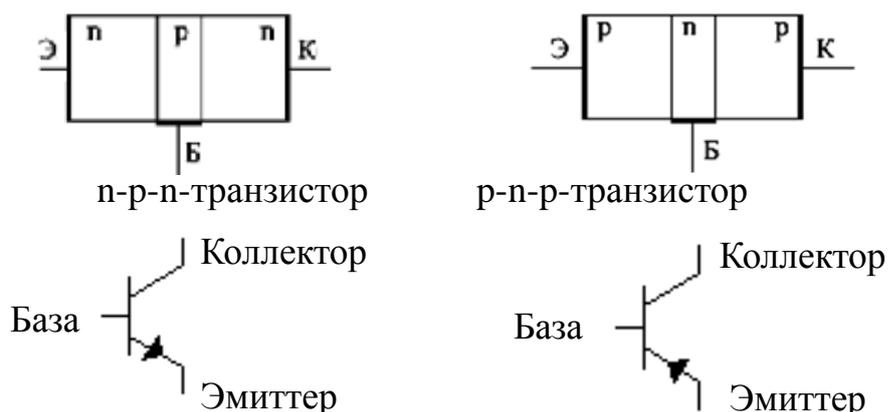


Рис. 9. Структура биполярного транзистора n-p-n и p-n-p типа

В зависимости от того, какой из электродов транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают три схемы включения: с общей базой (ОБ) – рис. 10,а; с общим эмиттером (ОЭ) – рис, 10,б; и с общим коллектором (ОК) – рис. 10. в.

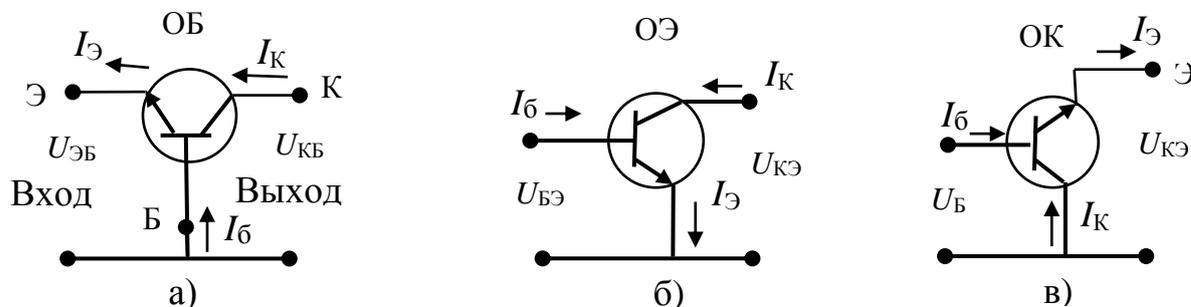


Рис. 10. Схемы включения биполярного транзистора

Наиболее часто применяется схема ОЭ, так как позволяет получить наибольший коэффициент усиления по мощности.

Схема ОК усиливает электрический ток и мощность, но не усиливает напряжение.

Схема ОБ обеспечивает усиление напряжения и мощности, но не усиливает ток.

Токи электродов транзистора связаны соотношением

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}} \quad (1.5).$$

В транзисторе, включённом по схеме ОЭ, ток коллектора

$$I_{\text{К}} = \alpha \cdot I_{\text{Э}} + I_{\text{КЭО}} \quad (1.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент передачи тока эмиттера в коллектор ( $\alpha = 0,9, \dots; 0,99$ );

$I_{\text{КЭО}}$  – обратный ток коллекторного перехода, в схеме ОЭ равен току коллектора при разомкнутом выводе базы ( $I_{\text{Б}} = 0$ ).

Подставив (1.8) в (1.9), получим

$$i_{\text{К}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_{\text{Б}} + \frac{1}{1-\alpha} i_{\text{К0}} \approx B \cdot i_{\text{Б}} + B \cdot i_{\text{К0}} = B \cdot i_{\text{Б}} + i_{\text{КЭ0}}. \quad (1.7)$$

В выражении (1.7)  $B = \frac{\alpha}{1-\alpha}$  – статический коэффициент передачи тока базы (в коллектор), т.е.

$$B = \frac{I_K - I_{KB0}}{I_B + I_{KB0}}. \quad (1.8)$$

Так как  $I_{KB0} \ll I_{KI}$  и  $I_{KB0} \ll I_B$ , то коэффициент передачи тока базы

$$B \approx \frac{I_K}{I_B}. \quad (1.9)$$

Статические вольтамперные характеристики для схемы включения ОЭ представлены на рис. 11. На рис. 11. а изображены входные характеристики  $I_B = f(U_{БЭ})$  при  $U_{КЭ} = \text{Const}$ , на рис. 11. б – выходные  $I_K = f(U_{КЭ})$  при  $I_B = \text{Const}$ .

На рис. 11, а показано построение характеристического треугольника для определения входного сопротивления транзистора в системе  $h$  – параметров

$$h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} \right|_{U_{КЭ} = \text{Const}}. \quad (1.10)$$

На рис. 11, б показано определение коэффициент усиления транзистора. Коэффициент определяется через приращения токов базы и коллектора при постоянном напряжении  $U_{КЭ}$  (на рисунке  $U_{КЭ} = 5$  В)

$$B = h_{21Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{КЭ} = \text{Const}} \quad (1.11)$$

Для транзисторов малой мощности ( $P_K < 300$  мВт) этот параметр определяется при напряжении  $U_{КЭ} = 5$  В. Для транзисторов средней мощности ( $P_K < 3$  Вт) – при напряжении  $U_{КЭ} = (10 \div 15)$  В.

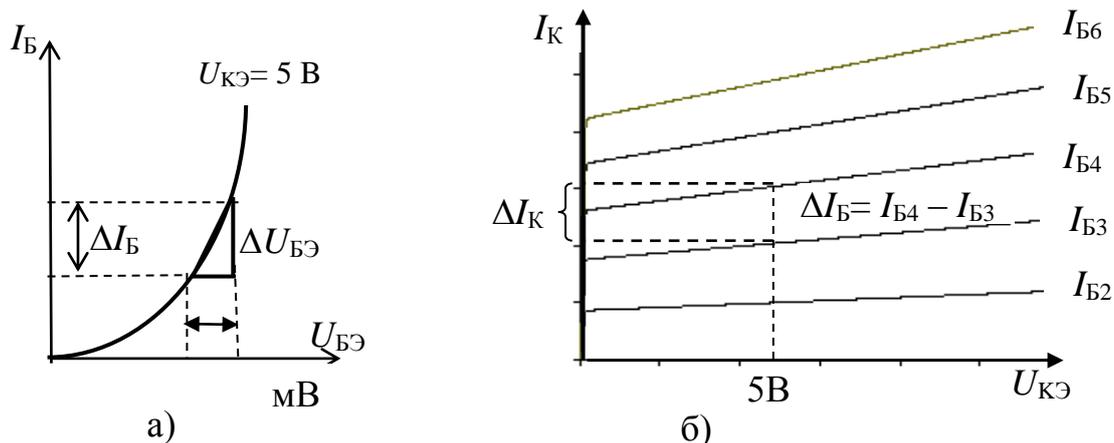


Рис. 11. Вольтамперные характеристики биполярного транзистора

Определение выходной проводимости транзистора  $h_{22Э}$  в системе  $h$ -параметров показано на рис.12.

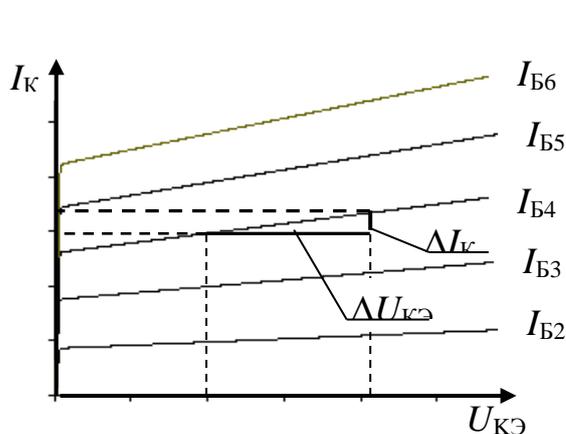


Рис.12. Определение выходной проводимости  $h_{22Э}$

$$h_{22Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} \right|_{I_B = Const.}$$

Обратная выходной проводимости величина определяет дифференциальное сопротивление коллекторного перехода

$$r_k^* = \left. \frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta I_K} \right|_{I_B = Const.} \quad (1.13)$$

Его значение находится в пределах  $10 \div 100$  кОм.

Дифференциальное сопротивление перехода эмиттер–база  $r_э$  зависит от постоянной составляющей тока эмиттера

$$r_э = \frac{\varphi_r}{I_э} = \frac{0,026}{I_э} \quad (1.14)$$

Значение сопротивления  $r_э$  лежит в пределах от единиц до десятков Ом.

Объёмное сопротивление базы

$$r_б = h_{11Э} - (B + 1) \cdot r_э, \quad (1.15)$$

Обычно  $r_б \gg r_э$  и для маломощных транзисторов составляет  $(100 \div 500)$  Ом.

### 1.2.2 Система обозначения транзисторов

В основу системы положен буквенно-цифровой код.

Первый элемент (цифра или буква) обозначает исходный полупроводниковый материал аналогично диодам.

Второй элемент определяет подкласс прибора. Т – подкласс транзистор биполярный.

Третий – функциональные возможности транзистора – допустимую мощность рассеяния и граничную частоту.

Четвёртый – порядковый номер разработки технологического типа транзистора. Обозначается цифрами от 01 до 99 (в последнее время появились разработки с номерами от 101 до 999)

Пятый – обозначает дополнительные параметры транзистора в данной разработке. Они обозначают буквами русского алфавита

Например, транзистор КТ301А – кремниевый транзистор биполярный, высокочастотный, малой мощности, номер разработки 01, разновидности А.

Обозначение транзистора на принципиальных схемах нормировано и приведено на рис. 11 и 12. Направление стрелки эмиттера показывает положительное направление тока эмиттера.

Изображение транзистора с выводами можно поворачивать на 90 градусов. Стандарт разрешает не изображать окружность.

### 1.2.3 Допустимые электрические и тепловые параметры

Максимально допустимые напряжения — это такие предельные напряжения, при которых транзистор не теряет своих электрических свойств. Превышение этих напряжений не допускается, т.к. может наступить электрический пробой р-п-переходов транзистора. В справочниках приводятся значения допустимых напряжений  $U_{КБ\max}$ ,  $U_{КЭ\max}$ ,  $U_{ЭБ\max}$ .

Максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора  $P_{к.\max}$  – наибольшая мощность, рассеиваемая коллектором транзистора при

температуре окружающей среды  $T_c$  (или корпуса  $T_k$ ).

## 2. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Параметрический стабилизатор применяют в случаях, когда требуется получить стабильное напряжение при относительно малой электрической мощности рассеяния в сопротивлении нагрузки. В качестве нелинейного элемента, обеспечивающего стабилизацию выходного напряжения, применяют стабилитроны.

### 2.1 Принцип работы стабилизатора

Схема параметрического стабилизатора напряжения приведена на рис.13. Стабилитрон представлен схемой замещения, включающей дифференциальное сопротивление  $r_{ст}$ , идеальный источник напряжения  $U_{ст}$  и идеальный диод  $VD$ . Сопротивление  $R_0$  ограничивает ток стабилитрона таким образом, чтобы мощность рассеяния на стабилитроне не превышала допустимую.

Работа стабилизатора состоит в следующем. Например, при увеличении напряжения источника напряжения  $U_{и}$  на величину  $\Delta U_{и}$  электрический ток через стабилитрон  $VD$  увеличивается на величину  $\Delta I_{ст}$ . Это приводит к увеличению падения напряжения на ограничительном сопротивлении  $R_0$  и уменьшению изменения напряжения на сопротивлении нагрузки.

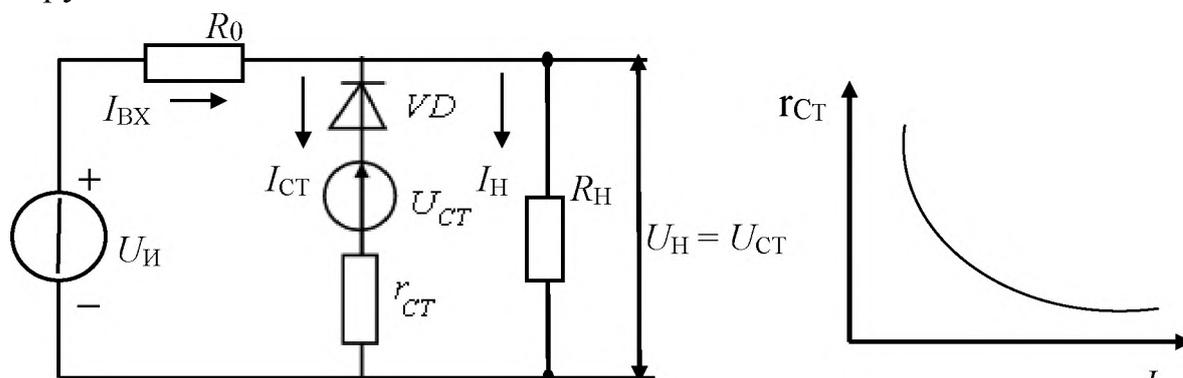


Рис. 13. Расчетная схема параметрического стабилизатора напряжения

При включении идеального диода в прямом направлении его сопротивление равно нулю, также равно нулю собственное сопротивление идеального источника напряжения. В режиме стабилизации сопротивления

$r_{CT}$  и  $R_H$  включены параллельно и образуют делитель напряжения с сопротивлением  $R_0$ . При изменении  $U_H$  на величину  $\Delta U_H$  напряжение нагрузки  $U_H$  изменится на величину

$$\Delta U_H = \frac{\Delta U_{II} \cdot r_{CT} // R_H}{R_0 + r_{CT} // R_H}.$$

Так как  $r_{CT} \ll R_H$ , то  $r_{CT} // R_H \approx r_{CT}$  и  $\Delta U_H \approx \frac{\Delta U_{II} \cdot r_{CT}}{R_0 + r_{CT}}$ .

Подставляя эти соотношения в формулу, получим выражение для основного параметра стабилизатора – коэффициент стабилизации

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{II}}{\Delta U_H} \cdot \frac{U_H}{U_{II}} = \frac{U_H}{U_{II}} \cdot \frac{R_0 + r_{CT}}{r_{CT}} \approx \frac{U_H}{U_{II}} \cdot \frac{R_0}{r_{CT}}. \quad (2.1)$$

Из уравнения (2.1) следует, что коэффициент стабилизации напряжения тем больше, чем меньше дифференциальное сопротивление стабилитрона и больше сопротивление  $R_0$ .

Дифференциальное сопротивление стабилитрона  $r_{CT}$  существенно зависит от величины тока, протекающего через стабилитрон. Чем ток больше, тем меньше дифференциальное сопротивление стабилитрона и выше значение коэффициента стабилизации (рис 15, б).

Подставив в (2.1) значения напряжений, выраженные через соответствующие токи и сопротивления  $U_H = I_H R_H$  и  $U_{II} = (I_H + I_{CT}) R_0 + I_H R_H$ , получим

$$K_{CT} = \frac{I_H \cdot R_H}{I_H \cdot (R_0 + R_H) + I_{CT} \cdot R_0} \cdot \frac{R_0}{r_{CT}} \quad (2.2)$$

Как видно из уравнения (2.2), вопрос относительного влияния сопротивления  $R_0$  и дифференциального сопротивления  $r_{CT}$  на коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора значительно сложнее, чем кажется при анализе уравнения (2.1).

Параметры элементов стабилизатора выбирают таким образом, чтобы удовлетворялось условие

$$\frac{U_{И\ min}}{I_{Н\ max} + I_{СТ\ min}} > R_O > \frac{U_{И\ max}}{I_{Н\ min} + I_{СТ\ max}} \quad (2.3)$$

где  $U_{И\ max}$  и  $U_{И\ min}$  – максимальное и минимальное значение напряжения источника питания;

$I_{Н\ max}$  и  $I_{Н\ min}$  – максимальный и минимальный токи нагрузки;

$I_{СТ\ max}$  и  $I_{СТ\ min}$  – максимальный и минимальный допустимые токи через стабилитрон.

Если неравенство не удовлетворяется, то реализовать параметрический стабилизатор напряжения, имеющий заданные параметры, нельзя и необходимо применять иные схемотехнические решения.

## 2.2 Основные параметры стабилизатора

Стабилизатор характеризуется следующими основными параметрами:

1. Коэффициент стабилизации

$$K_{СТ} = \frac{\Delta U_{И}/U_{И}}{\Delta U_{Н}/U_{Н}} = \frac{\Delta U_{Н}}{\Delta U_{И}} \cdot \frac{U_{И}}{U_{Н}}, \quad (2.4)$$

где  $U_{Н}$  – выходное напряжение стабилизатора;

$U_{И}$  – напряжение источника питания на входе стабилизатора;

$\Delta U_{И}$  – изменение напряжения источника питания вызвавшее изменение выходного напряжения на величину  $\Delta U_{Н}$ .

Коэффициент стабилизации показывает, насколько изменится выходное стабилизируемое напряжение при изменении входного напряжения.

2. Выходное сопротивление стабилизатора

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{СТ}}{\Delta I_{Н}} \quad (2.5)$$

где  $\Delta U_{СТ} = \Delta U_{Н}$  – изменение напряжения стабилизации при изменении тока нагрузки на величину  $\Delta I_{Н}$ .

### 3. Коэффициент температурной нестабильности ТКН

$$TKH = \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{U_{\text{ст}}} \frac{1}{\Delta T} 100\%/\text{град} \quad (2.6)$$

где  $\Delta U_{\text{ст}}$  – изменение напряжения стабилизации при изменении температуры на  $\Delta T$  градусов раздел 1.1.2.

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАБИЛИЗАТОРА

### 3.1. Структурная схема стабилизатора

Структурная схема стабилизатора представлена на рис. 16.

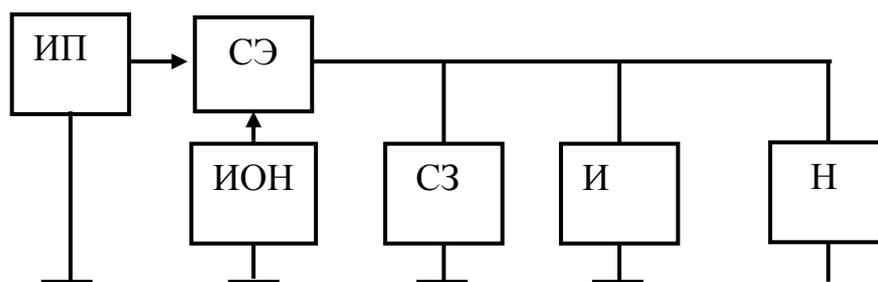


Рис. 16. Структурная схема стабилизатора

ИП – источник питания стабилизатора, СЭ – силовой элемент - транзистор, ИОН - источник опорного напряжения - стабилитрон, СЗ – схема защиты, и - индикация состояния стабилизатора, Н – нагрузка стабилизатора.

### 3.2 Общие вопросы проектирования

При выборе элементов схемы руководствуются минимально возможными параметрами. Например, если по расчёту получается мощность, выделяющаяся на резисторе равна 0,25 Вт, то элемент следует выбирать на эту мощность, возможно с небольшим запасом. Без необходимости не следует выбирать элемент высокого класса. Например, во многих электронных схемах вполне устраивает разброс параметров резисторов  $\pm 5\%$ , что соответствует ряду E24 (приложение 1).

При выборе режимов работы элементов и схем следует выбирать минимально возможные значения токов и напряжений.

### 3.3 Определение исходных данных

По соотношениям (2.6, 2.7) оценивается возможность использования параметрического стабилизатора (рис. 15). Если параметрический стабилизатор не может обеспечить требуемый ток нагрузки, то можно попытаться включить транзистор для увеличения выходного тока стабилизатора (рис. 16). Введение транзистора  $VT$  позволит увеличить ток нагрузки  $I_H$  в  $B$  раз по сравнению с допустимым током стабилитрона.  $B$  – статический коэффициент усиления тока транзистора. В схеме использован эмиттерный повторитель напряжения стабилитрона  $VD$ .

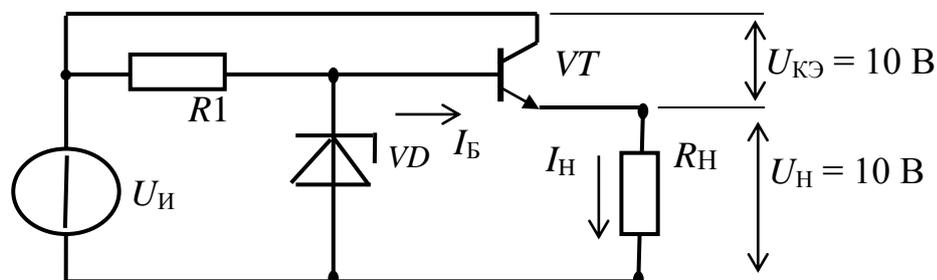


Рис. 16. Параметрический стабилизатор с усилителем тока

### 3.4 Выбор транзистора

Порядок выбора элементов стабилизатора рассмотрим на примере (вариант 0). Напряжение стабилизации  $U_{CT} = 10 \pm 0,1$  В, номинальное значение тока нагрузки  $I_H = 50 \pm 10$  мА. Таким образом, необходимо обеспечить работу стабилизатора при  $I_{Hmax} = 60$  мА. Такой ток эмиттера могут обеспечить транзисторы средней мощности серий 401-499 или 501-599 [10, 11].

Транзистор включён по схеме с общим коллектором, поэтому можно принять, что ток коллектора равен току эмиттера  $I_K \approx I_E$ . Кроме того нагрузка включена последовательно в цепь эмиттера транзистора, поэтому  $I_E = I_H$ .

#### 1. Выбор транзистора.

Транзистор выбирается по максимальному значению тока коллектора

$I_{Kmax}$  и допустимой мощности рассеяния. При выборе руководствуются следующим: максимальный ток коллектора, указанный на ВАХ, должен лежать в пределах  $(1,1 \div 1,5) \cdot I_{Hmax}$ . Не следует выбирать транзисторы со слишком большим запасом по допустимому току. В примере выбирается транзистор с током коллектора  $65 \text{ mA} \leq I_{Kmax} \leq 100 \text{ mA}$ . Для указанного условия подходит транзистор типа КТ611В (таблица 4).

2. Определяется коэффициент усиления  $B$  по вольтамперным коллекторным характеристикам выбранного транзистора  $B = \Delta I_K / \Delta I_B$  при напряжении  $U_{KЭ} = 10 \text{ В}$  (характеристики позиции 5.2.8). Методика определения показана на рис. 13б. Для выбранного транзистора получаем  $B \approx 50$ .

3. Определяется необходимый максимальный ток базы  $I_{Bmax} = I_{Kmax} / B = 1,2 \text{ mA}$ .

4. Для нормальной работы транзистора средней мощности напряжение между коллектором и эмиттером должно быть не менее 10 вольт. Примем напряжение  $U_{KЭ} = 10 \text{ В}$ . При этом минимальное напряжение на коллекторе оказывается равным  $U_{Kmin} = U_{Иmin} = 20 \text{ В}$  рис. 16. По заданию напряжение источника питания может изменяться в диапазоне  $\pm 15\%$ , что составит  $24,0 \pm 3,6 \text{ В}$ ,  $U_{Иmax} = 27,6 \text{ В}$ . Таким образом, к транзистору прикладывается максимальное напряжение  $U_{KЭmax} = U_{Иmax} - U_H = 27,6 - 10,0 = 17,6 \text{ В}$ .

5. На основании приведённых расчётов выбирается источник питания для стабилизатора. Среднее значение напряжения  $U_{Иср} = 24 \text{ В}$ .

6. Определяется мощность рассеяния на коллекторе транзистора  $P_K = U_{KЭmax} \cdot I_{Kmax} = 27,6 \cdot 0,06 = 1,66 \text{ Вт} < P_{Kдоп} = 1,8 \text{ Вт}$ .

7. Если полученная мощность рассеяния превышает допустимую, то транзистор необходимо поместить на радиатор. Выбор необходимой площади радиатора производится по графикам рис. 24 справочных данных. Определяется превышение мощности в процентах, проводится горизонтальная линия до пересечения с графиком и определяется площадь

радиатора.

8. Если используется транзистор на основе германия, то напряжение база–эмиттер следует принять равным  $(0,2 \div 0,3)$  В.

9. Для транзисторов средней мощности на основе германия следует воспользоваться теми же коллекторными характеристиками, что и для кремниевых соответствующей мощности. Входные характеристики для германиевых транзисторов представлены отдельно на рис. 5.2.9.

### 3.5 Выбор стабилитрона

Напряжение стабилизации  $U_{СТ} = 10$  В. Стабилитрон включён в цепь базы транзистора. Его напряжение стабилизации должно быть больше на величину падения напряжения на переходе база-эмиттер  $U_{БЭ}$ . Для кремниевых транзисторов  $U_{БЭ} \approx 0,7$  В, для германиевых  $U_{БЭ} \approx 0,25$  В.

1. Учитывая падение напряжения  $U_{БЭ} \approx 0,7$  В выберем стабилитрон типа КС210В (таблица 2). Его напряжение  $U_{СТ} = 11$  В, максимальный ток  $I_{СТmax} = 20$  мА,  $TKH\xi = + 7,5 \cdot 10^{-2} \%$ /°С.

Оценим изменение напряжения стабилизации при изменении температуры на  $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ .  $\Delta U_{СТ} = U_{СТ} \cdot \xi \cdot \Delta T = 11 \cdot 0,075 \cdot 40 = 0,33$  В. Напряжение  $U_{СТ} = 10$  В изменяется на 0,33 В (330 мВ). Такой температурный дрейф недопустим по заданию.

Требуется введение термокомпенсации.

2. Чтобы скомпенсировать положительный  $TКН$  стабилитрона

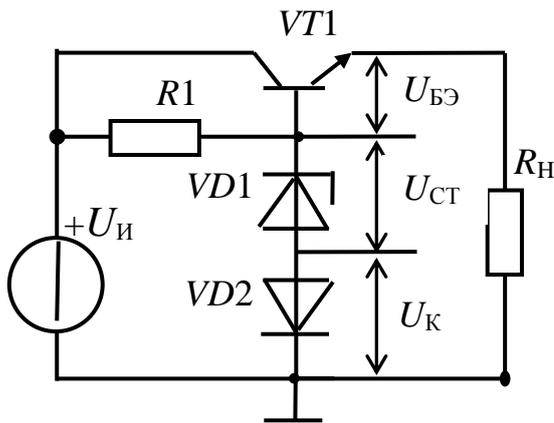


Рис. 17. Включение термокомпенсирующего диода

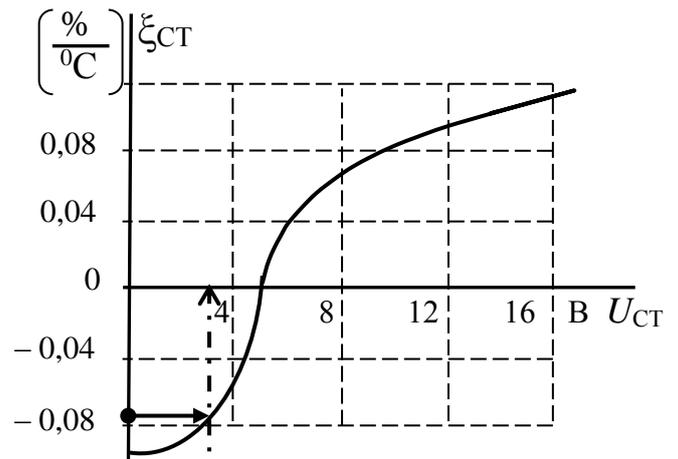


Рис. 18. Зависимость относительного  $\xi_{СТ}$  стабилитрона от напряжения стабилизации

$VD1$ , включим последовательно стабилитрон с отрицательным  $TКН$ . Напряжение компенсации  $U_k$  определим по графику рис. 18. На оси  $\xi_{СТ}$  выберем значение  $\xi_{СТ} = -0,075$  (у стабилитрона  $\xi_{СТ} = +0,075$ ). Проведём стрелку до пересечения с графиком  $TКН$ . Через полученную точку проведём сечение (штрихпунктирная линия). Согласно построению необходим стабилитрон с напряжением стабилизации равным примерно 3 В. Такому напряжению соответствует стабилитрон КС131А, его напряжение стабилизации  $U_{СТ} = 3,1$  В (таблица 2).

3. После этого необходимо выбрать основной стабилитрон  $VD1$  с напряжением  $U_{СТ} \approx (U_H - U_k + 0,8В) = (10 - 3,1 + 0,8) = 7,7$  В (при условии, что транзистор на основе кремния  $U_{БЭ} = 0,7$  В). Для рассматриваемого примера подходит стабилитрон КС175А с напряжением  $U_{СТ} = 7,5 \pm 5\%$  В.

*Примечание:*

При заданном напряжении стабилизации более 12 В следует включить последовательно два стабилитрона. При этом желательно один из них выбрать на напряжение 5 В, при котором  $\xi_{СТ} \approx 0$ .

Полной термокомпенсации данным способом получить не удастся.

### 3.6. Стабилизация тока стабилитронов

Ток стабилитронов рис. 17 задаётся резистором  $R1$ , подключённым к

источнику питания. Изменение напряжения источника приводит к изменению тока стабилитронов, их сопротивления и в конечном итоге влияет на выходное напряжение стабилизатора.

Для уменьшения влияния изменения напряжения  $U_{и}$  на параметры стабилизатора необходимо обеспечить постоянство тока стабилитронов. Обычно для этого используют специальную схему – источник стабильного тока.

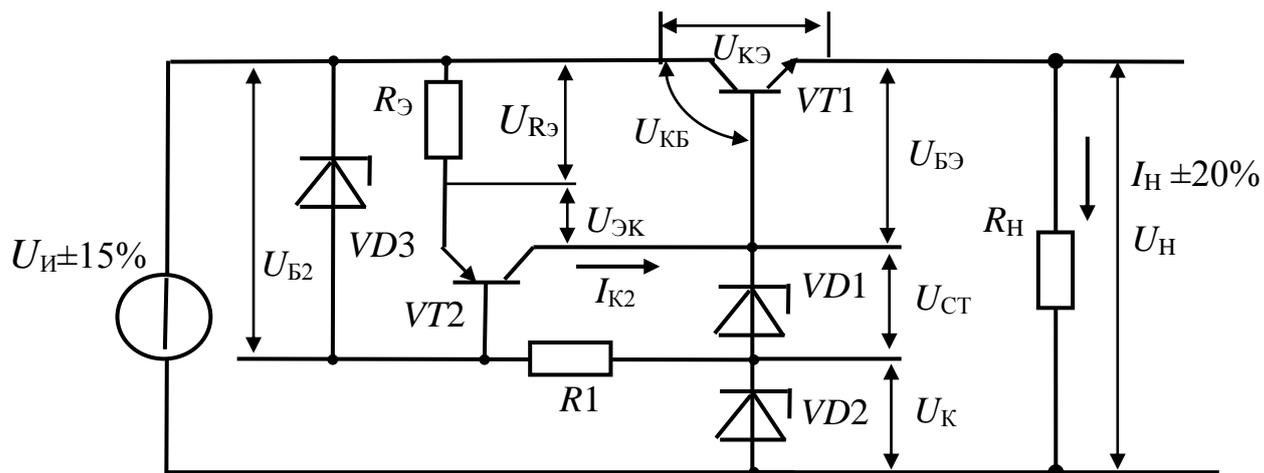


Рис. 19. Расчетная схема стабилизатора

Напряжение на базе транзистора  $VT2$  рис. 19 застabilизировано с помощью стабилитрона  $VD3$ , поэтому транзистор включён по схеме общая база. Он работает в режиме стабилизатора тока, в котором ток коллектора не зависит от изменения напряжения  $U_{и}$ .

Ток коллектора транзистора  $VT2$  задаёт ток стабилитронов  $VD1$ ,  $VD2$  и ток базы транзистора  $VT1$ .

При выборе транзистора  $VT1$  было принято напряжение  $U_{КЭ}=10$  В. При этом напряжение  $U_{КБ}$  составляет 9,2В (потенциал базы транзистора  $VT1$  выше потенциала эмиттера на 0,8В). Это напряжение приложено к цепи транзистора  $VT2$  ( $U_{R_э} + U_{ЭК} = U_{КБ}$ ) и его следует поделить поровну между транзистором и резистором, т.е.  $U_{R_э} = U_{ЭК} = 4,6$ В.

#### 1. Выбор транзистора $VT2$ .

С целью уменьшения сопротивления  $r_{СТ}$  стабилитронов  $VD1$  и  $VD2$  зададимся допустимым током через них равным 20 мА.

Учтём также ток базы транзистора  $VT1 I_B = 1,2$  мА.

По транзистору  $VT2$  и по резистору  $R_Э$  должен протекать ток, равный  $I_{K2} = (I_{CT} + I_B) = 21,2$  мА.

По полученному току коллектора выбирается транзистор  $VT2$ . Допустимый ток коллектора должен быть больше полученного в расчёте. Проверяется допустимая мощность рассеяния транзистора  $VT2$ .

$$P_{Kдоп} > U_{KЭ} \cdot I_K = 4,6 \cdot 21,2 \approx 100 \text{ мВт.}$$

По допустимой мощности и току коллектора выбирается транзистор из таблицы 3. Например, применить транзистор малой мощности типа КТ203В.

2. Сопротивление  $R_Э$ . Сопротивление  $R_Э = U_{R_Э} / I_{R_Э} = 4,6 \text{ В} / 21,2 \text{ мА} = 219 \text{ Ом}$ .

Примем номинальное значение сопротивления  $R_Э = 220 \text{ Ом}$ .

3. Выбор стабилитрона.

Напряжение на сопротивлении  $R_Э$  равно  $U_{R_Э} = 4,6 \text{ В}$ . Напряжение  $U_{БЭ2} = 0,8 \text{ В}$ . Напряжение  $U_{Б2} = (4,6 + 0,8) = 5,4 \text{ В}$ . Это напряжение задаётся стабилитроном  $VD3$ .

По справочным данным выберем стабилитрон КС156А с напряжением стабилизации  $U_{CT} = 5,6 \text{ В}$ .

4. Вычисляем величину сопротивления  $R1$ .

Зададим ток стабилитрона  $VD3$  равным 5 мА. При минимальном напряжении источника  $U_{П}$  по сопротивлению  $R1$  будет протекать ток 5 мА. Прикладывается напряжение  $U_{П}$  за вычетом напряжения на диодах  $VD3$  (5,3 В) и  $VD2$  ( $U_K = 3,1 \text{ В}$ ). Эти напряжения в сумме дают  $U_{R1} = 8,4 \text{ В}$ . Тогда сопротивление  $R1 = (20 - 8,4) / 5 = 2,72 \text{ кОм}$ .

Выбираем номинальное значение (округлив в меньшую сторону), например 2,7 кОм (ряд E24), на схеме обозначается 2К7.

Вычисляется мощность рассеяния на резисторе и выбирается его тип.

Поскольку принято иное значение сопротивления резистора, то следует вычислить фактическое значение тока  $I_{R1} = (20 - 8,4) / 2,7 = 4,3 \text{ мА}$ .

Рассеиваемая резистором мощность  $P_{R1}=I_{R1} \cdot U_{R1}=4,3\text{mA} \cdot 8,4\text{B}=26\text{mBт}$ . Можно выбрать резистор с мощностью 1/8 Вт.

5. Определяем реальные сопротивления диодов  $VD1$  и  $VD2$ .

По диоду  $VD1$  течёт ток 20 мА (стабилитрон КС170А), по диоду  $VD2$  (диод КС131А) течёт ток 24,3 мА (ток  $I_{K2}$  и ток стабилитрона  $VD3$ ). Воспользуемся графиками рис. 20, на которых указаны токи, протекающие по стабилитрону. Проведем сечения (штрихпунктирные линии) для напряжений стабилизации и токов, протекающих по стабилитронам.

Согласно построению, сопротивление диода  $VD1$  составляет примерно 10 Ом, сопротивление диода  $VD2$  примерно 21 Ом. Общее сопротивление, включённое в цепь базы транзистора  $VT1$ , составляет 31 Ом ( $r_{CT\Sigma} = 31 \text{ Ом}$ ).

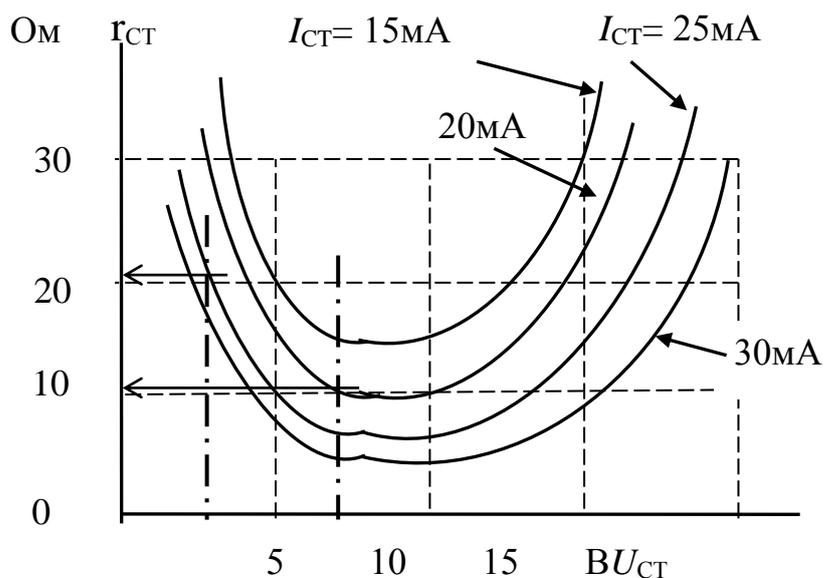


Рис. 20. Зависимость сопротивления стабилитрона от тока стабилизации

### 3.7 Расчет параметров стабилизатора

Коэффициент стабилизации определяется по соотношению

$$K_{CT} = \frac{r_k}{r_{CT\Sigma} + h_{11}} \cdot \frac{U_H}{U_{H\max}}, \quad (3.2)$$

$$1 + h_{21}$$

где  $r_{CT\Sigma}$  — общее сопротивление стабилитронов;

$r_K$  – сопротивление коллекторной цепи транзистора VT1;

$h_{11}$  – входное сопротивление транзистора VT1;

$h_{21} = B$  – статический коэффициент усиления транзистора VT1.

1. Сопротивление  $r_{Э} = \varphi_T / I_{Э} = 26 \text{ мВ} / 50 \text{ мА} = 0,52 \text{ Ом}$ . При температуре  $20^\circ \text{C}$   $\varphi_T \approx 26 \text{ мВ}$ .

2. Параметр  $h_{11}$  определяется по приращениям тока и напряжения на входной характеристике  $h_{11} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_{Б}$  (рис. 21). Ток базы был вычислен ранее  $I_{Б} = 1,2 \text{ мА}$ . Значение тока базы откладываем на оси тока базы, проводим горизонтальную линию до пересечения с характеристикой, получаем положение рабочей точки (РТ). Строим характеристический прямоугольный треугольник так, чтобы РТ оказалась примерно в середине гипотенузы треугольника. Катеты проецируем на ось тока и напряжения. Вычисляем значения  $\Delta U_{БЭ}$  и  $\Delta I_{Б}$ .

Из построения находим  $\Delta U_{БЭ} \approx 0,05 \text{ В}$  и  $\Delta I_{Б} = 0,6 \text{ мА}$ .  $h_{11} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_{Б} = 0,05 / 0,6 = 83 \text{ Ом}$ .

3. Сопротивление  $r_K$  определяется по коллекторным вольтамперным характеристикам транзистора. Для этого проводится вертикальная прямая для напряжения  $10 \text{ В}$ , находится точка пересечения прямой с характеристикой тока базы, принятого в расчёте ( $I_{Б} = 1,2 \text{ мА}$ ). Возле этой точки строится характеристический треугольник, катеты которого проецируются на оси и находятся значения приращения тока и напряжения  $\Delta U_{КЭ}$  и  $\Delta I_{К}$ . Вычисляется сопротивление  $r_K$ . Построения показаны на рис. 21 и рис. 14. Из построения определяем  $\Delta U_{КЭ} = 10 \text{ В}$ ,  $\Delta I_{К} \approx 4 \text{ мА}$ .

$$r_K = \Delta U_{КЭ} / \Delta I_{К} = 10 \text{ В} / 0,004 \text{ А} = 2500 \text{ Ом}.$$

4. Коэффициент  $B$  определяется при постоянном напряжении  $U_{КЭ} = 10 \text{ В}$ . Выбираем характеристики для токов базы  $1,0 \text{ мА}$  и  $1,4 \text{ мА}$ .  $\Delta I_{Б} = 0,4 \text{ мА}$ ,  $\Delta I_{К} \approx 25 \text{ мА}$ ,  $B = \Delta I_{К} / \Delta I_{Б} \approx 25 / 0,4 = 62,5$ .

5. Вычисляем коэффициент стабилизации стабилизатора

$$K_{CT} = \frac{r_k}{\frac{r_{CT\Sigma} + h_{11}}{1 + h_{21}}} \cdot \frac{U_H}{U_{H \max}} = \frac{2500}{\frac{31 + 83}{1 + 62,5}} \cdot \frac{10}{28} = 497$$

6. Выходное сопротивление стабилизатора

$$R_{ВЫХ} = r_{Э} + (r_{CT\Sigma} + r_6) / (1 + B)$$

Сопротивление  $r_6 = h_{11} - r_{Э} (1 + B) = 83 - (0,52 \cdot 63,5) = 50,0$  Ом.

$$R_{ВЫХ} = 0,52 + (31 + 50,0) / 51 = 2,1$$
 Ом.

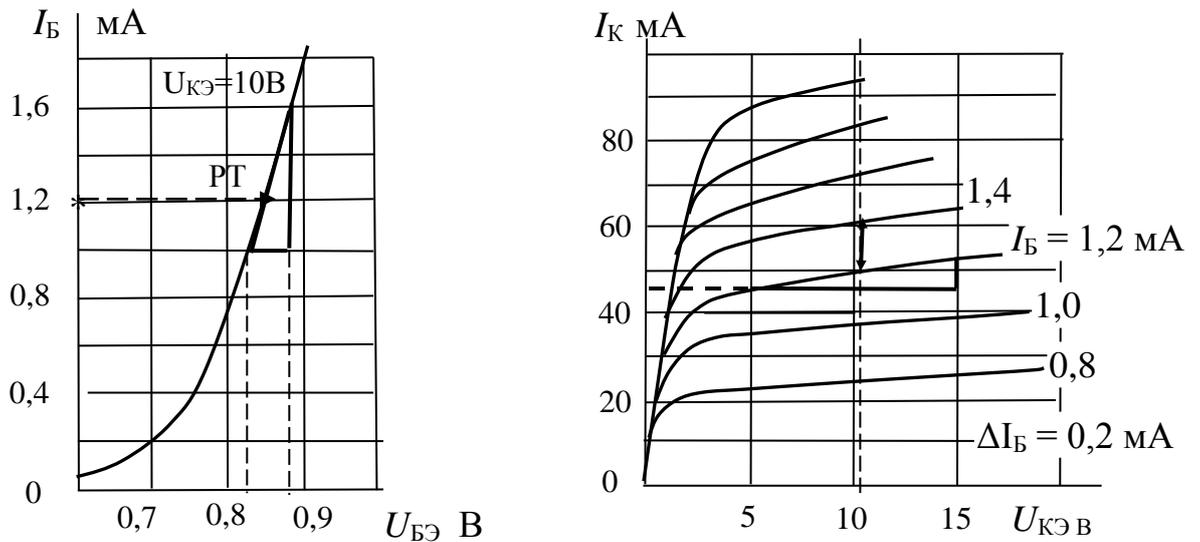


Рис. 21. Входная и выходная характеристики транзистора

### 3.8 Защита стабилизатора по току

В случае уменьшения сопротивления нагрузки увеличивается ток вплоть до короткого замыкания. В этом случае силовой транзистор VT1

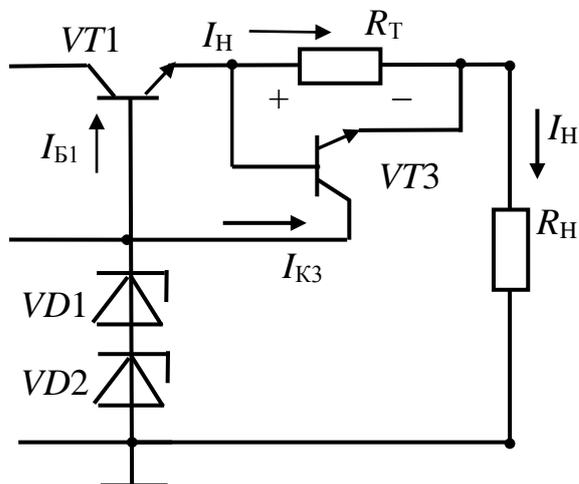


Рис. 22. Схема защиты стабилизатора по току

может сгореть. В таких ситуациях необходима защита стабилизатора по току.

Включим в токовую цепь нагрузки специальное сопротивление  $R_T$ , выполняющего роль преобразователя тока в напряжение.

При протекании по сопротивлению тока выделяется напряжение с полярностью, указанной на рис. 22. Это напряжение воздействует на вход транзистора  $VT3$ . При заданном токе транзистор открывается и берет на себя часть тока базы транзистора  $VT1$ . Последний закрывается и ограничивает ток коллектора. При максимальном токе нагрузки транзистор  $VT3$  закрыт и не оказывает влияния на работу стабилизатора.

1. Выбор токового резистора. Примем, что защита должна включиться, если ток превышает двойной максимальный ток нагрузки. Примем транзистор  $VT3$  германиевый **n-p-n** типа. Напряжение открывания у такого транзистора составляет 0,3 В. ( $2 I_{Hmax} = 0,12$  А). Вычисляем величину сопротивления  $R_T$ .  $R_T = 0,3 \text{ В} / 0,12 \text{ А} = 2,5 \text{ Ом}$ . Выбираем меньшее номинальное значение 2,4 Ом. Вычисляется мощность рассеяния на резисторе и его тип.

2. Транзистор  $VT3$  можно выбрать любой германиевый **n-p-n** типа (таблица 3 Справочные данные).

### 3.9 Защита нагрузки от перенапряжения

В случае пробоя транзистора  $VT1$  (рис. 19) на нагрузку попадает полное напряжение питания, что может вывести ее из строя. Необходима схема защиты нагрузки от возможного перенапряжения. В таких случаях используются быстродействующие электронные схемы защиты рис. 23. На этой схеме показаны элементы индикации состояния стабилизатора, индикация будет рассмотрена далее.

Схема защиты состоит из тиристора  $VS5$ , стабилитрона  $VD4$  и резистора. (Схема защиты по току на схеме не показана). В исходном состоянии тиристор  $VS5$  закрыт, его управляющий вход подключен к катоду через сопротивление  $R2$ . Стабилитрон  $VD4$  также закрыт его напряжение включения на 10% больше напряжения нагрузки. Как только напряжение на нагрузке увеличивается по каким-либо причинам более чем напряжение стабилизации стабилитрон  $VD4$  он открывается, на

сопротивлении  $R2$  выделяется напряжение на управляющий электрод тиристора подается напряжение.

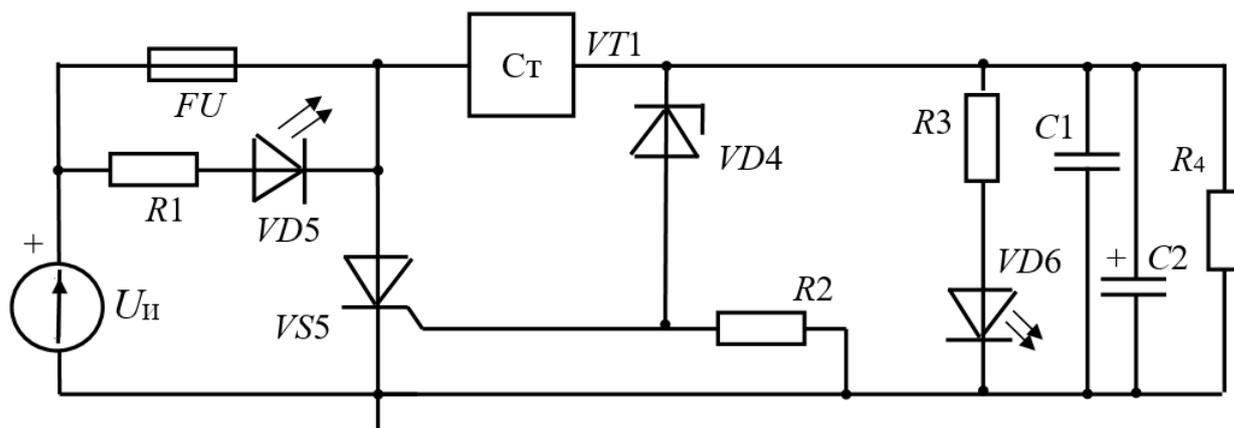


Рис. 23. Схема защиты нагрузки и индикация

Тиристор открывается, его сопротивление уменьшается до нескольких Ом, т.е. он закорачивает входную цепь стабилизатора. В результате сгорает плавкий предохранитель  $FU$  или срабатывает защита источника  $Uи$ .

1. Сопротивление  $R2$  ограничивает ток стабилитрона на уровне  $5 \div 10$  мА. Из этих условий выбирается стабилитрон и резистор. В рассматриваемом примере  $Uн = 10$  В. Можно использовать стабилитрон КС213В с напряжением включения 13 В (таблица 2). При выходе из строя транзистора  $VT1$  на стабилитрон  $VD4$  может поступать минимальное напряжение питания, равное 20 В. Зададимся током стабилитрона равным 5 мА. При пробое стабилитрона к резистору  $R2$  прикладывается напряжение  $(20 - 13) = 7$  В. Сопротивление  $R2 = 7 \text{ В} / 5 \text{ мА} = 1,4 \text{ кОм}$ .

Вычисляется мощность рассеяния на резисторе, выбирается его тип.

Проверим, не превышает ли ток через стабилитрон допустимое значение при максимальном напряжении источника питания равным 27,6 В.  $(27,6 - 13) \text{ В} / 1,4 \text{ кОм} = 10,4 \text{ мА}$ , что вполне допустимо для выбранного типа стабилитрона.

2. Выбор тиристора

Напряжение включения тиристора должно быть больше максимального напряжения питания  $U_{\text{Имаx}}$  (параметр  $U_A$  таблица 5). При выборе тиристора можно ориентироваться следующим условием. Если ток нагрузки меньше 100 мА, то выбирается тиристор с током анода 100 мА и менее. Если ток нагрузки больше 100 мА, то выбирается тиристор с током анода 100 мА и более.

В примере можно выбрать тиристор КУ101В  $U_A = 50$  В,  $I_A = 80$  мА. Выбранные элементы вносятся в перечень элементов схемы.

### 3.10. Индикация состояния стабилизатора

Индикация состояния стабилизатора осуществляется с помощью светодиодов (СИД). Нормальное состояние принято индицировать зеленым или желтым цветом, критическое состояние – красным.

1. Сопротивление  $R3$  выбирается исходя из условий минимального тока СИД и минимального напряжения на нем (таблица 6). Выберем светодиод КЛ101А с параметрами  $I_{\text{ПР}} = 10$  мА,  $U_{\text{ПР}} = 5,5$  В.

$R4 = (U_H - U_{\text{ПР}})/I_{\text{ПР}} = 4,5 \text{ В}/10 \text{ мА} = 450 \text{ Ом}$ . Выбираем ближайшее меньшее номинальное значение резистора. Вычисляется мощность рассеяния на резисторе, выбирается его тип.

2. Индикация состояния перегрузки стабилизатора осуществляется с помощью СИД  $VD5$ . В исходном состоянии диод не светится. Если тиристор открывается, то напряжение на нем уменьшается до одного вольта и по СИД потечет ток. Расчет ограничительного сопротивления  $R1$  аналогичен расчету сопротивления  $R4$ .

СИД выбирается с красным свечением.

3. Плавкий предохранитель  $FU$  выбирается на такой ток, чтобы он сработал при допустимом токе тиристора.

4. Для устранения низкочастотных и высокочастотных помех на выходе стабилизатора параллельно нагрузке включаются емкости  $C1 = 0,1$  мкФ и  $C2 = 10 \div 20$  мкФ.

### 3.11 Заключение

После проведения всех расчетов и выбора элементов оформляется заключение. В нем отражается задание, т.е. что следовало спроектировать и приводятся параметры стабилизатора  $K_{СТ}$ ,  $R_{ВЫХ}$  и  $U_{Иср}$ , полученные в результате проектирования.

### 3.12 Составление принципиальной схемы стабилизатора

После окончания расчётов отдельных узлов необходимо составить полную принципиальную схему устройства. К схеме рис. 19 добавляется схема защиты и индикации рис. 22, рис. 23. Все стрелки и надписи удаляются. **Всем** элементам, изображенным на схеме, присваивается порядковый номер. Нумерация элементов сквозная  $R1$ ,  $R2$ , и т.д. начинается с левой стороны чертежа. Номинальные значения элементов на схеме не указываются, стрелки направлений токов и напряжения тоже не указываются. Схема устройства оформляется на листе формата А3, чертится рамка и основная надпись приложение 3.

При вычерчивании принципиальной схемы следует руководствоваться требованиями ГОСТ. Можно воспользоваться Microsoft Word, программами SPlan или Electronics Workbench.

Принципиальная схема должна сопровождаться перечнем элементов – спецификацией, выполняемой в соответствии с ГОСТ.

### 3.13 Таблица выбора варианта и данных для расчета стабилизатора

Номер варианта выбирается по порядковому номеру студента в журнале группы.

Изменение напряжения источника питания составляет  $\pm 15\%$  для нечетных номеров вариантов,  $\pm 16\%$  для четных номеров вариантов.

Таблица 1. Таблица выбора варианта для расчета стабилизатора.

№ Вар.	$U_{СТ}$ В	$I_{нмА}$	$\Delta T^{\circ}C$	Материал транзистора	$K_{СТ}$ не менее	$TKH$ % от $U_{СТ}$
0	10	85±20%	40	Si	200	менее 1%
1	7	96±20%	30	Si	200	менее 1%
2	7	75±40%	40	Ge	300	менее 0,5%
3	8	97±20%	30	Si	200	менее 0,9%
4	8	86±30%	40	Ge	150	менее 0,5%
5	8	102±20%	40	Si	200	менее 1%
6	9	96±30%	30	Ge	300	менее 0,5%
7	9	108±40%	30	Si	300	менее 0,8%
8	9	90±20%	40	Ge	200	менее 0,5%
9	10	80±50%	50	Si	250	менее 1%
10	10	98±40%	50	Ge	300	менее 0,6%
11	11	80±30%	40	Si	350	менее 1%
12	9	107±20%	40	Ge	200	менее 0,9%
13	11	92±40%	30	Si	260	менее 0,9%
14	12	100±40%	30	Si	280	менее 0,7%
15	12	92±40%	40	Ge	300	менее 1%
16	12	80±20%	40	Si	220	менее 0,5%
17	11	99±30%	35	Ge	260	менее 1%
18	13	88±40%	30	Si	300	менее 0,8%
19	13	90±30%	40	Ge	200	менее 0,4%
20	14	50±20%	40	Si	250	менее 0,5%
21	14	100±50%	40	Ge	260	менее 1%
22	16	98±40%	35	Si	300	менее 0,5%
23	15	80±20%	30	Ge	360	менее 1%
24	9	120±10%	35	Si	400	менее 0,4%
25	9	78±40%	20	Ge	360	менее 0,8%
26	15	90±30%	35	Si	200	менее 0,5%
27	14	80±20%	30	Ge	260	менее 1%
28	8	130±30%	25	Si	300	менее 2%
29	8	110±10%	30	Ge	260	менее 1%
30	10	90±40%	35	Si	300	менее 0,9%
31	11	120±20%	25	Ge	220	менее 1%
32	11	60±40%	40	Si	200	менее 0,5%
33	12	98±60%	50	Ge	260	менее 0,4%
34	12	60±30%	30	Si	300	менее 0,8%
35	13	88±40%	25	Ge	260	менее 1%
36	15	92±20%	40	Si	300	менее 0,5%

## 4. СПРАВОЧНЫЙ РАЗДЕЛ

### 4.1 Определение площади радиатора

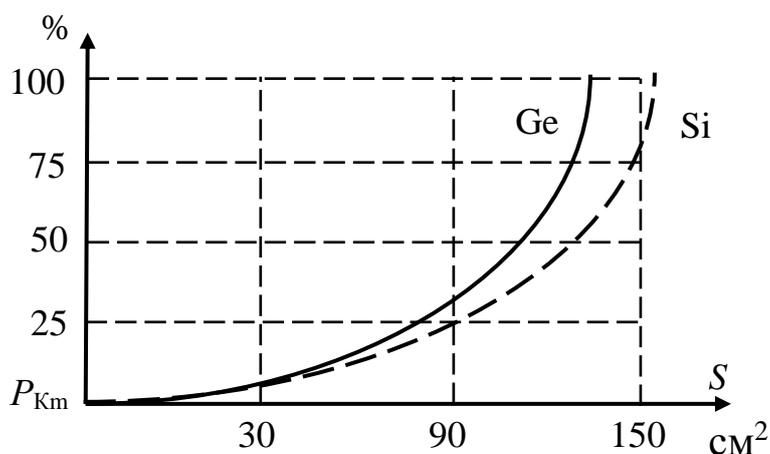


Рис. 24. Выбор радиатора с необходимой площадью

### 4.2 Справочные данные диодов и транзисторов

#### 4.2.1 Эксплуатационные данные стабилитронов.

Таблица 2. Стабилитроны.

Тип стабилитрона	$U_{ст}$ В	$I_{min}$ мА	$I_{max}$ мА	$P_{доп}$ мВт	$\xi$ %/°С	гд Ом
КС107А	0,7	4	63	300	- 0,082	62
КС130А	3,0	3	63	300	- 0,07	60
КС131А	3,1	3	62	300	- 0,067	60
КС135А	3,5	3	62	300	- 0,065	56
КС138А	3,8	3	62	300	- 0,062	56
КС140А	4,0	3	60	300	- 0,06	52
КС142Б	4,2	3	60	300	- 0,05	48
КС147А	4,7	3	58	300	- 0,02	46
КС156Б	5,6	3	46	300	+ 0,02	45
КС168Б	6,8	3	45	300	+ 0,03	28
КС170А	7	2	20	280	0,05	10
2С190Б	9	1	26	280	0,065	12
КС210А	10	2	20	260	0,075	15
КС210В	11	2	20	280	0,078	15
КС212В	12	2	20	280	0,080	16
КС213Б	13	2	20	260	0,085	18
КС213Г	14	2	20	260	0,088	19

#### 4.2.2 Транзисторы малой мощности германиевые и кремниевые р-п-р-типа

Таблица 3. Транзисторы малой мощности.

№	Тип транзистора	$I_{KM}$ А	$U_{KЭ}$ В	$B$	$P_K$ мВт	Тип транзистора	$I_{KM}$ А	$U_{KЭ}$ В	$B$	$P_K$ мВт
1	ГТ108Б	50	12	60	80	КТ104Б	50	12	60	150
2	ГТ115Б	30	20	50	80	КТ104Г	40	15	50	150
3	ГТ305А	40	15	40	75	КТ203Г	30	15	50	150
4	ГТ305В	35	20	80	80	КТ203В	25	15	80	150
5	ГТ308А	50	20	60	150	КТ343А	50	20	60	300
6	ГТ308В	50	18	70	150	КТ343В	40	15	60	150
7	ГТ309А	25	12	60	80	КТ349А	40	20	70	200
8	ГТ310Б	30	12	70	80	КТ349Б	50	16	60	250
9	ГТ320А	120	15	50	200	КТ351Б	60	15	50	200

#### 4.2.3 Транзисторы средней мощности германиевые и кремниевые

Таблица 4. Транзисторы средней мощности.

№	Тип транзистора	$I_K$ мА	$U_{KЭ}$ В	$B$	$P_K$ Вт	Тип транзистора	$I_K$ мА	$U_{KЭ}$ В	$B$	$P_K$ Вт
1	ГТ404А	300	25	55	1,6	КТ603Б	300	30	55	1,5
2	ГТ404Б	400	30	70	1,6	КТ604	200	45	50	1,4
3	ГТ404Г	500	45	80	1,5	КТ605	200	60	40	1,5
4	ГТ612А	120	40	60	1,4	КТ608Б	400	60	60	1,5
5	ГТ612Б	200	25	60	1,8	КТ616Б	400	25	50	1,3
6	ГТ612Г	300	30	50	1,9	КТ617А	400	30	40	1,5
7	ГТ614А	200	30	50	1,1	КТ611В	100	70	60	1,8
8	ГТ614В	100	40	40	1,0	КТ618А	110	100	50	1,5
9	ГТ618А	120	45	50	1,2	КТ503Б	150	40	60	1,5

#### 4.2.4 Тиристоры управляемые

Таблица 5. Тиристоры управляемые.

№	Тип диода	$I_A$ мА	$U_A$ В	$I_{УПР}$ мА	$P_A$ Вт
1	КУ101В	80	50	20	0,15
2	КУ101Г	100	80	30	0,2
3	КУ103А	100	150	40	0,15
4	КУ103В	200	150	50	0,2
5	КУ201А	300	200	100	4
6	КУ201Б	400	200	110	4
7	КУ201Д	450	100	120	5
8	КУ201Г	500	100	130	5

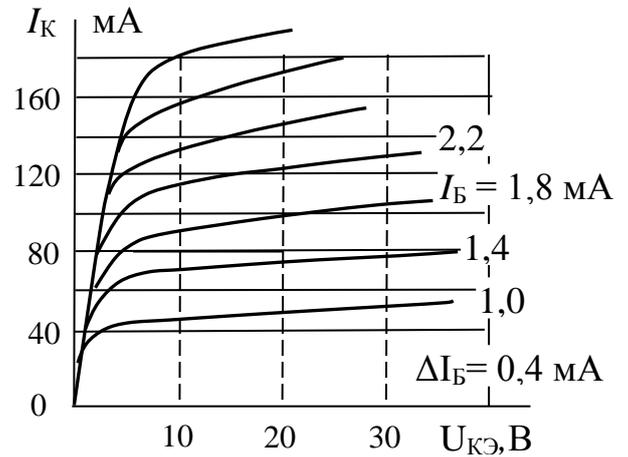
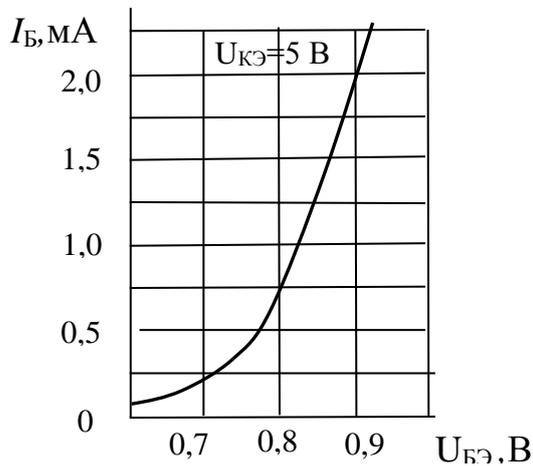
#### 4.2.5. Светоизлучающие диоды.

Таблица 6. Светоизлучающие диоды.

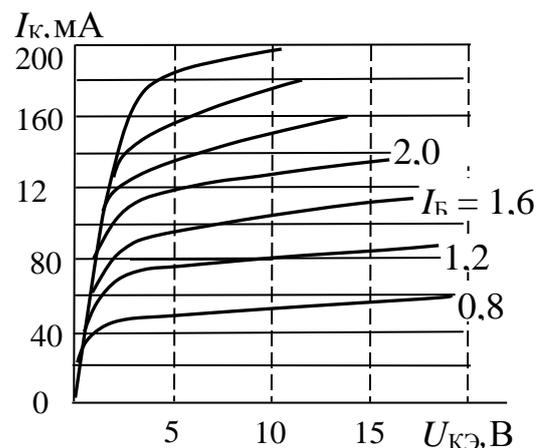
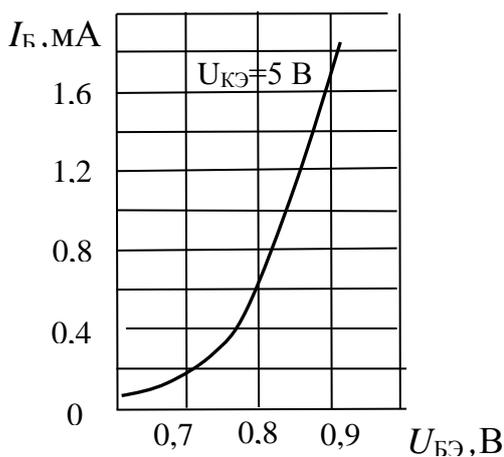
	Тип диода	$I_{ПР}$ мА	$U_{ОБР}$ В	$U_{ПР}$ В	Цвет свечения
1	АЛ102А	5	6	3,2	Красный
2	АЛ102Б	20	6	4,5	Красный
3	АЛ102В	30	6	4,5	Красный
4	АЛ301Б	10	2	3,8	Красный
5	ЗЛ102Б	12	2	3,8	Красный
6	АЛ304В	11	2	3	Зеленый
7	КЛ101А	10	2	5,5	Желтый
8	КЛ101Б	20	2	5,5	Желтый

### 4.3 Вольт-амперные характеристики транзисторов средней мощности РКдоп<3 Вт

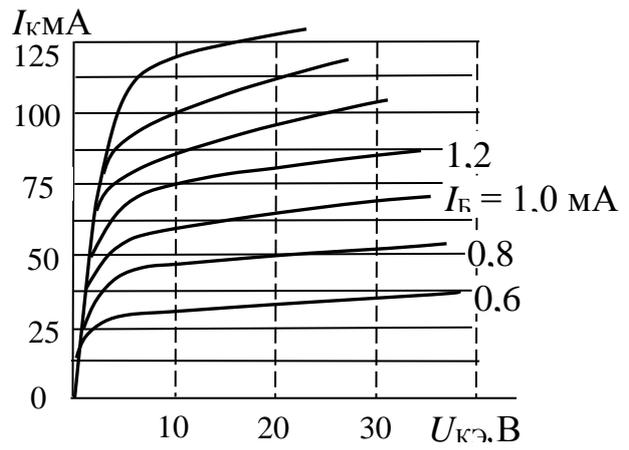
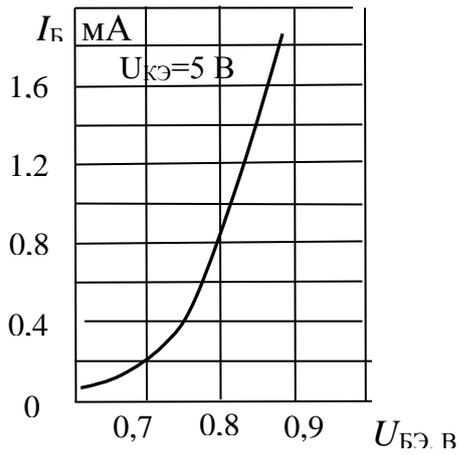
#### 4.3.1. Вольтамперные характеристики кремниевых транзисторов



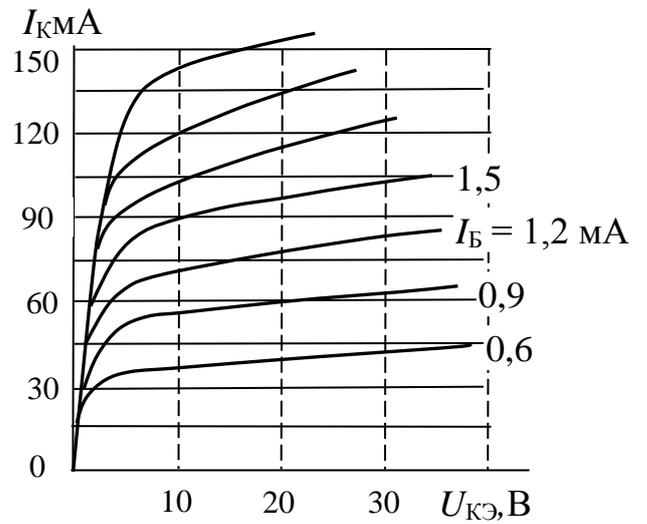
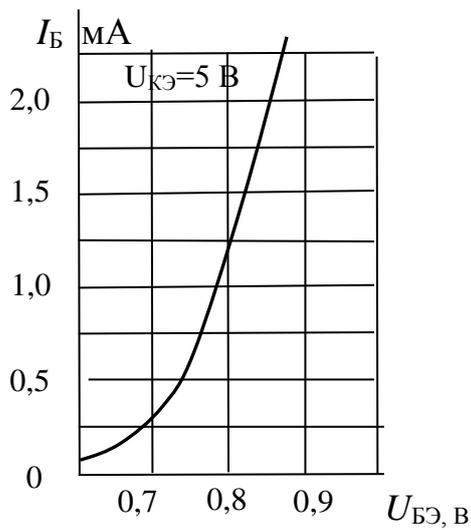
Входная и выходная характеристики транзистора КТ604



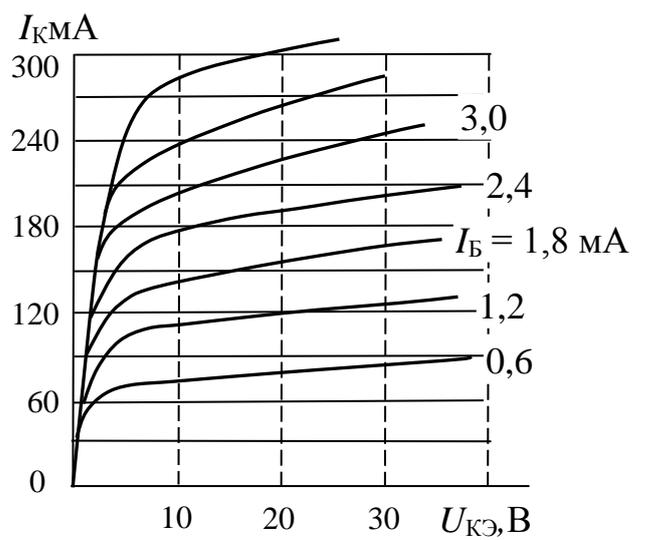
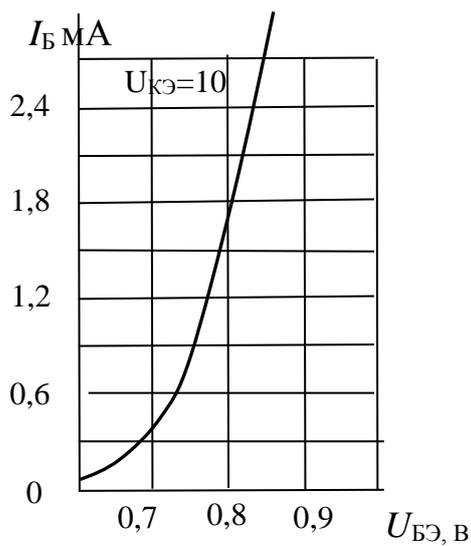
Входная и выходная характеристики транзистора КТ605



Входная и выходная характеристики транзистора КТ618А

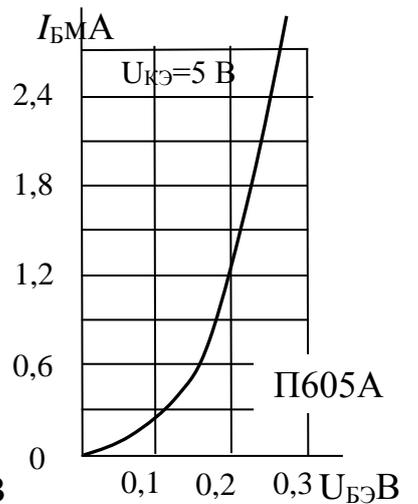
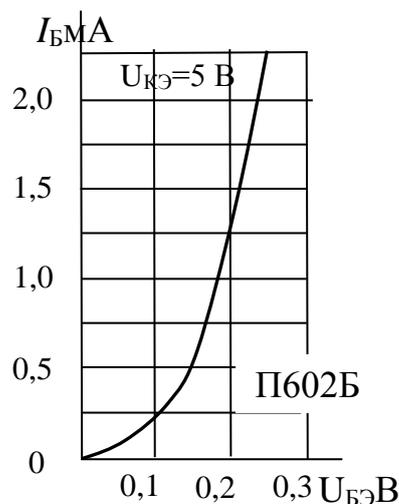
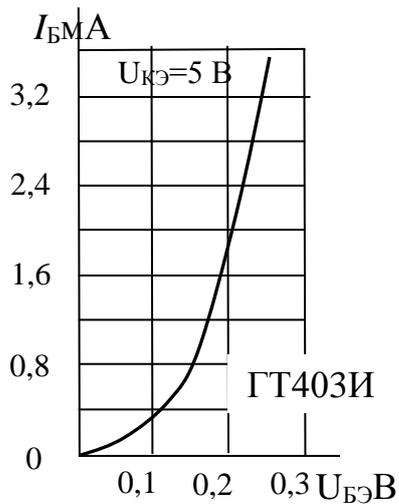
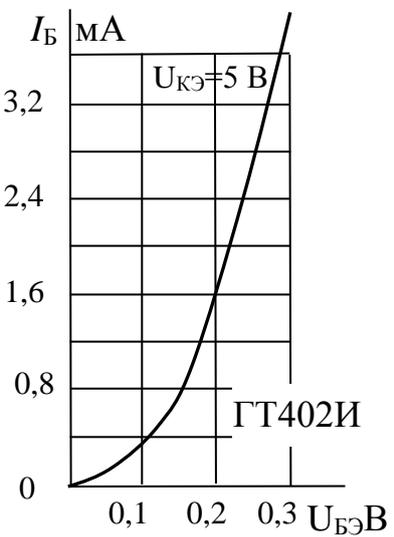
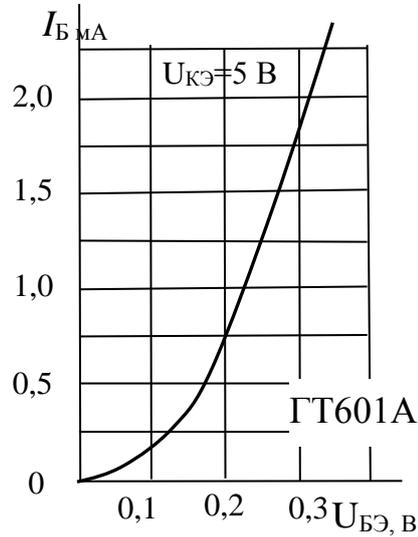
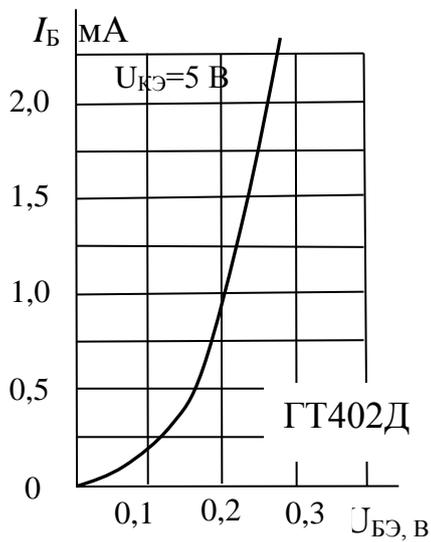
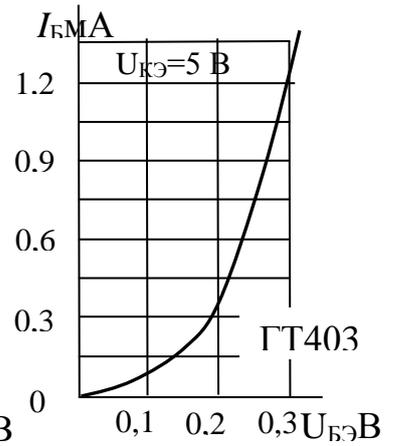
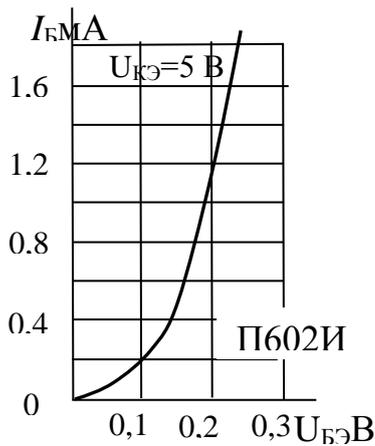
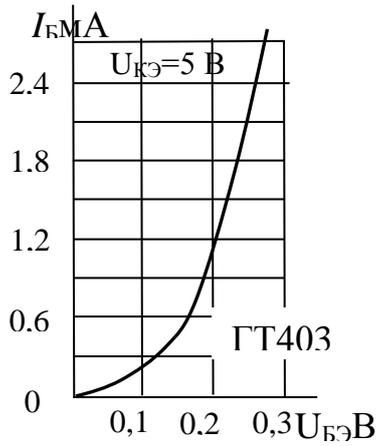


Входная и выходная характеристики транзистора КТ503Б



Входная и выходная характеристики транзистора КТ603Б

4.3.2 Входные характеристики германиевых транзисторов средней мощности типа n-p-n.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Конструирование блоков радиоэлектронных средств: учебное пособие для СПО / Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов, И. В. Тюрин, Р. Ю. Курносов. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 288 с. – ISBN 978-5-8114-6501-9.

2. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для СПО / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-6762-4.

3. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств: учебное пособие для СПО / Н. К. Юрков. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 476 с. – ISBN 978-5-8114-7016-7.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

## Приложение 1.

### Ряды номинальных сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов по гост 28884–90 (МЭК 63–63)

Номинальные сопротивления резисторов и ёмкостей конденсаторов постоянной ёмкости с допускаемыми отклонениями  $\pm 5\%$  и более должны соответствовать числам, приведённым в таблице, и числам, полученным путём умножения этих чисел на  $10^n$ , где  $n$  – целое положительное или отрицательное число.

Обозначение ряда E24	
Допуск $\pm 5\%$	
1,0	3,3
1,1	3,6
1,2	3,9
1,3	4,3
1,5	4,7
1,6	5,1
1,8	5,6
2,0	6,2
2,2	6,8
2,4	7,5
2,7	8,2
3,0	9,1

Номинал 1,2. Это может быть 12 Ом, 120 Ом, 1,2 кОм и т.д.

Постоянные резисторы общего назначения могут работать в цепях постоянного и переменного токов. Наиболее распространены резисторы типа МЛТ (металлизированные лакированные теплостойкие). Их новое обозначение – резисторы С2-6. Маркировка резисторов – МЛТ-0,5  $\pm 5\%$ . Здесь 0,5 – допустимая мощность рассеивания в ваттах,  $\pm 5\%$  – максимально допустимое отклонение от номинального параметра (ряд E24). Ту же конструктивную форму и габариты имеют резисторы С2-6, МТ, МТЕ, С2-23. Резисторы МТЕ имеют повышенную теплостойкость, а С2-23 – более жесткий допуск на величину сопротивления.