

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ТОЧЕК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и
«Электроника и наноэлектроника» (специальность «Электронные
приборы и устройства»)

2012

Шангин, Александр Сергеевич

Исследование рабочих точек биполярного транзистора: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и наноэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства») / А.С. Шангин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 25 с.

В данной работе исследуются методы стабилизации рабочей точки биполярного транзистора омическими сопротивлениями и термочувствительными элементами на примере каскада, включенного по схеме с общим эмиттером.

Из большого числа схем применения полупроводниковых приборов в настоящей работе отобраны только те, теория которых разработана в достаточной мере и которые имеют практическое значение

Пособие предназначено для студентов очной и заочной формы, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и наноэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства») по дисциплине «Твердотельные устройства», «Твердотельные приборы» и «Твердотельные приборы и устройства», «Компоненты электронных схем»

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭП

_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ТОЧЕК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»
и «Электроника и наноэлектроника» (специальность «Электронные
приборы и устройства»)

Разработчик

_____ А.С. Шангин
_____ 2012 г

Содержание

1	Введение.....	5
2	Основная часть	5
2.1	Температурная нестабильность рабочей точки транзистора.....	5
2.2	Схемы стабилизации тока покоя выходной цепи	6
2.2.1.	Схема питания с фиксированным током базы	6
2.2.2.	Схема питания с фиксированным напряжением.....	7
2.2.3.	Схема коллекторной стабилизации	7
2.2.4.	Схема эмиттерной стабилизации	8
2.2.5.	Схема коллекторно - эмиттерной стабилизации	9
2.2.6.	Схема стабилизации термочувствительным элементом	9
2.3	Вторичный источник питания (ВИП) лабораторной установки	10
2.4	Расчетная часть.....	11
2.4.1.	Расчет схемы питания с фиксированным током базы	11
2.4.2.	Расчет схемы питания с фиксированным напряжением аза- эмиттер	12
2.4.3.	Расчет схемы коллекторной стабилизации.....	12
2.4.4.	Расчет схемы эмиттерной стабилизации.....	13
2.4.5.	Расчет схемы коллекторно-эмиттерной (комбинированной) стабилизации.....	14
2.5	Описание схемы лабораторной установки	14
2.6	Контрольные вопросы	17
3	Экспериментальная часть	17
4	Список используемой литературы.....	17
	Приложение А	19
	Приложение Б	23

1 Введение

В данной работе исследуются методы стабилизации рабочей точки биполярного транзистора омическими сопротивлениями и термочувствительными элементами на примере каскада, включенного по схеме с общим эмиттером.

Из большого числа схем применения полупроводниковых приборов в настоящей работе отобраны только те, теория которых разработана в достаточной мере и которые имеют практическое значение.

2 Основная часть

2.1 Температурная нестабильность рабочей точки транзистора

Одним из первых требований при расчете схемы усилительного каскада является выбор положения рабочей точки в системе статических характеристик электронного прибора. Кроме того необходимо обеспечить минимальные сдвиги рабочей точки в зависимости от принимаемых в расчет температурных изменений или же от разбросов параметров прибора и колебаний напряжения источника питания.

Согласно [1], первый фактор, определяющий чувствительность транзистора к температуре, состоит в следующем. При увеличении температуры в области базы и коллектора образуются дополнительные пары «электрон-дырка», которые диффундируют к переходу. Дырки в области коллектора и электроны в области базы переносятся полем. В области базы возникает избыток электронов за счет ухода дырки за переход база-коллектор. Ток утечки коллектора возрастает. В области базы неравновесный объемный заряд электронов создает поле; электроны, перемещаясь к омическому контакту базы, образуют ток базы.

Поскольку часть электронов не успевает проникнуть в область базы, рекомбинируя с дырками, электрическое равновесие нарушается за счет исчезновения дырок. Эмиттерный барьер понижается, инжекция дырок в область базы увеличивается. Так как большая часть дырок α проходит в область базы и уходит за коллекторный переход и только меньшая часть участвует в рекомбинации $(1 - \alpha)$, то равновесие устанавливается при таком токе эмиттера, при котором количество рекомбинирующих дырок $(1 - \alpha)\Delta I_s$ равно количеству рекомбинирующих электронов. Другими словами, в единицу времени только часть электронов выходит из базы, вызывая ток базы $\kappa I_{\kappa 0}$, а часть электронов, пропорциональная $(1 - \kappa) I_{\kappa 0}$, остается в области базы. Это вызовет инжектирование дырок из эмиттера и увеличение тока эмиттера. Часть α этих дырок достигает коллектора, а часть $(1 - \alpha)$ рекомбинирует с электронами в области базы. Указанное увеличение тока эмиттера будет такой величины, что удовлетворяется соотношение:

$$\Delta I_s (1 - \alpha) = (1 - \kappa) \Delta I_{\kappa 0}. \quad (2.1)$$

Отсюда

$$\Delta I_{\varepsilon} = \frac{(1 - \kappa) \Delta I_{\kappa 0}}{(1 - \alpha)}. \quad (2.2)$$

Это увеличение эмиттерного тока повышает мощность, рассеиваемую на коллекторе, и температуру коллектора, вызывая дальнейшее увеличение тока $I_{\kappa 0}$, и так далее. Будет ли достигнуто тепловое равновесие или транзистор выйдет из строя, зависит от условий охлаждения и от окружающей температуры.

Второй фактор, который увеличивает чувствительность транзистора к температуре, состоит в том, что прямая проводимость диода «эмиттер-база» увеличивается с ростом температуры, а прямое сопротивление этого диода уменьшается при увеличении температуры, т.е. имеет место отрицательный температурный коэффициент. Этот факт вызывает увеличение тока эмиттера, величина которого зависит от типа и от величины сопротивления базы и эмиттера.

При пониженных температурах изменение тока $I_{\kappa 0}$ становится очень малым, влияние первого фактора быстро уменьшается и сдвиг рабочей точки транзистора почти полностью определяется вторым фактором.

Очевидно, что стабилизация рабочей точки улучшится, если:

- 1) между базой и общей точкой включено малое сопротивление ($\kappa \rightarrow 1$);
- 2) между эмиттером и общей точкой включено большое сопротивление ($\Delta I_{\varepsilon} \rightarrow 0$).

2.2 Схемы стабилизации тока покоя выходной цепи

2.2.1. Схема питания с фиксированным током базы

Для установления нужной величины тока покоя выходной цепи между базой и эмиттером транзистора достаточно создать определенную разность потенциалов, необходимую по его статическим характеристикам. Для упрощения и удешевления схемы смещение во входную цепь транзистора целесообразно подавать от источника коллекторного питания; при этом усилитель будет иметь только один источник питания [2].

В схеме питания с фиксированным током базы (рис. 2.1) отрицательное смещение на базу транзистора подается через резистор R1, сопротивление которого во много раз больше сопротивления участка база-эмиттер постоянному току.

При этом ток смещения базы $I_{0б}$, текущий через R1, приблизительно равен $E_k/R1$ и не меняется при изменении температуры, старении и замене транзистора, вот поэтому такой способ подачи смещения называют смещением с фиксированным током базы.

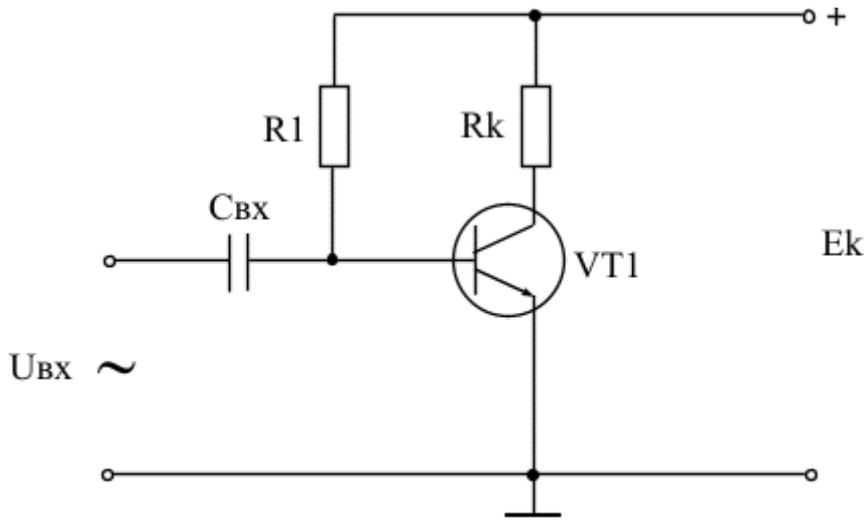


Рисунок 2.1 - Схема питания с фиксированным током базы

2.2.2. Схема питания с фиксированным напряжением

В данной схеме питания (рис. 2.2) смещение на базу подается от делителя напряжения, образуемого резисторами $R1$ и $R2$ и подключенного к источнику коллекторного питания. Если сопротивление делителя, равное по отношению к цепи базы параллельному соединению резисторов $R1$ и $R2$, много меньше сопротивления участка база-эмиттер постоянному току, напряжение смещения база-эмиттер практически не будет меняться при изменении температуры, старении и замене транзистора [2].

2.2.3. Схема коллекторной стабилизации

Простейшей и наиболее экономичной является коллекторная стабилизация (рис. 2.3). В данной схеме стабилизация положения рабочей точки покоя осуществляется параллельной отрицательной обратной связью (ООС) по напряжению, снимаемой с коллектора транзистора. Здесь к резистору $R1$

приложена разность напряжения источника питания E_k и падения питающего напряжения на сопротивлении коллекторной нагрузки R_k . Если почему-либо ток покоя выходной цепи стремится возрасти, падение напряжения на R_k увеличивается, приложенное к $R1$ напряжение уменьшается и ток смещения базы падает, что не дает току покоя сильно

увеличиваться; при стремлении тока покоя уменьшиться описанный процесс автоматического регулирования происходит обратным способом.

Коллекторная стабилизация удовлетворительно действует лишь при большом падении напряжения питания на коллекторной нагрузке (порядка $0,5E_k$ и выше), не слишком больших изменениях $h_{21э}$ (не более 1,5 – 2 раз) и изменении температуры транзистора не выше 20 – 30 оС [2].

2.2.4. Схема эмиттерной стабилизации

Более высокую стабильность точки покоя обеспечивает схема эмиттерной стабилизации, находящая более широкое применение (2.4). Эта схема может обеспечить работоспособность каскада при изменении $h_{21э}$ в 5 – 10 раз и изменений его температуры на 70 – 100 °С . Здесь стабилизация осуществляется ООС по току, снимаемой с резистора $R_э$, включенного в цепь эмиттера, а необходимое отрицательное смещение на базу относительно эмиттера подается с делителя, состоящего из резисторов $R1$ и $R2$, подключенного параллельно источнику коллекторного питания. Для устранения обратной связи в рабочей полосе частот, снижающей усиление каскада, резистор $R_э$ обычно шунтируют конденсатором $C_э$ большой емкости, практически «закорачивающим» $R_э$ для частот сигнала. Действует схема эмиттерной стабилизации следующим образом: при стремлении тока покоя выходной цепи сильно возрасти от влияния какого-либо фактора, растет падение напряжения на $R_э$; в результате смещения база-эмиттер, равное в этой схеме разности напряжения на $R2$ и падения напряжения на $R_э$, сильно уменьшается, что эффективно подавляет возрастание выходного тока, стабилизируя его значение.

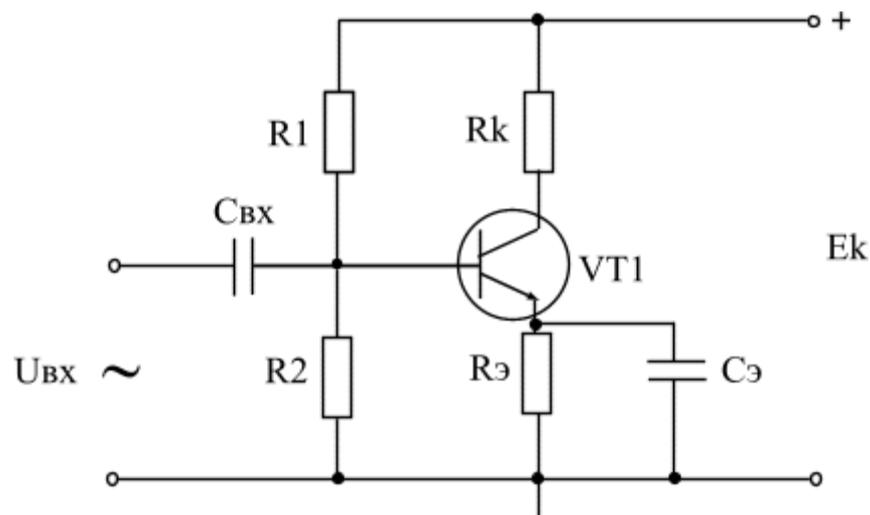


Рисунок 2.4 - Схема эмиттерной стабилизации

Стабилизирующее действие эмиттерной стабилизации увеличивается с увеличением сопротивления резистора $R_э$ и с уменьшением сопротивления делителя $R1, R2$ [2].

2.2.5. Схема коллекторно - эмиттерной стабилизации

Данная схема (рис. 2.5) представляет собой комбинацию способов, рассмотренных в п.п. 2.2.3 и 2.2.4. Она имеет место, например, при включении в каскад с эмиттерной стабилизацией резистора фильтра R_{ϕ} и обеспечивает стабильность выходного тока, даже немного большую, чем схема эмиттерной стабилизации [2].

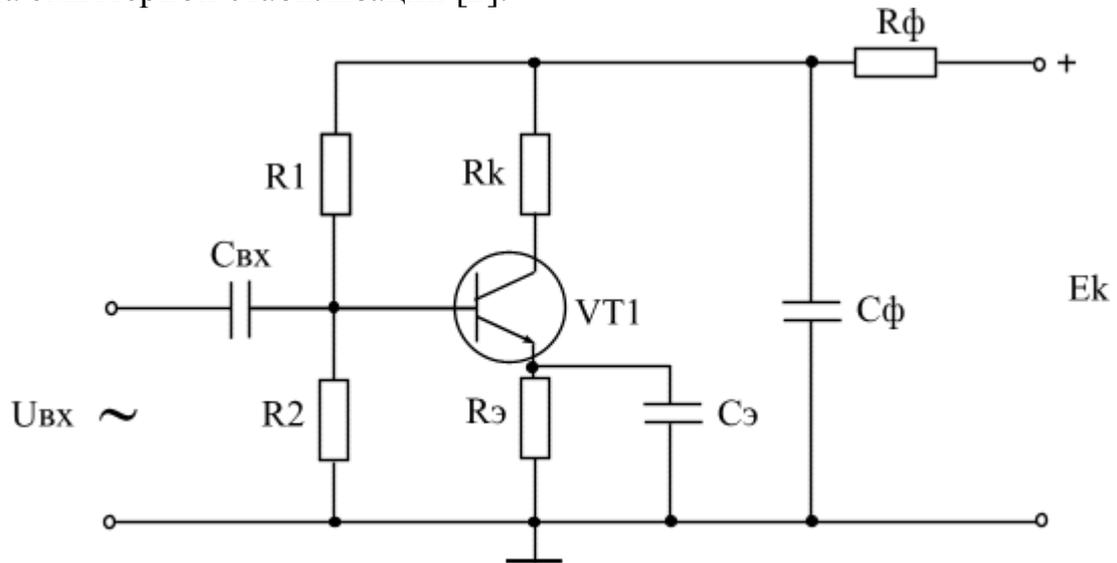


Рисунок 2.5 - Схема коллекторно-эмиттерной стабилизации

2.2.6. Схема стабилизации термочувствительным элементом

Основное преимущество использования нелинейных термочувствительных элементов (рис. 2.6) для стабилизации рабочей точки транзистора заключается в лучшей стабилизации и в расширении диапазона рабочих температур до 80°C . Недостаток этого метода стабилизации состоит в большой стоимости термочувствительных элементов.

Плоскостной германиевый диод, работающий в режиме обратного смещения, имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления.

При увеличении температуры обратное сопротивление диода уменьшается, ток через него возрастает. Эту нелинейную характеристику можно использовать для стабилизации рабочей точки транзистора. Следует брать плоскостной диод, имеющий такую же тепловую постоянную времени, как и транзистор. Еще лучше в качестве стабилизирующего диода использовать второй транзистор в диодном включении. Оба транзистора должны быть одного и того же типа, что

позволяет получить с хорошим приближением равенство тепловых постоянных времени усилительного и компенсирующего элементов [2].

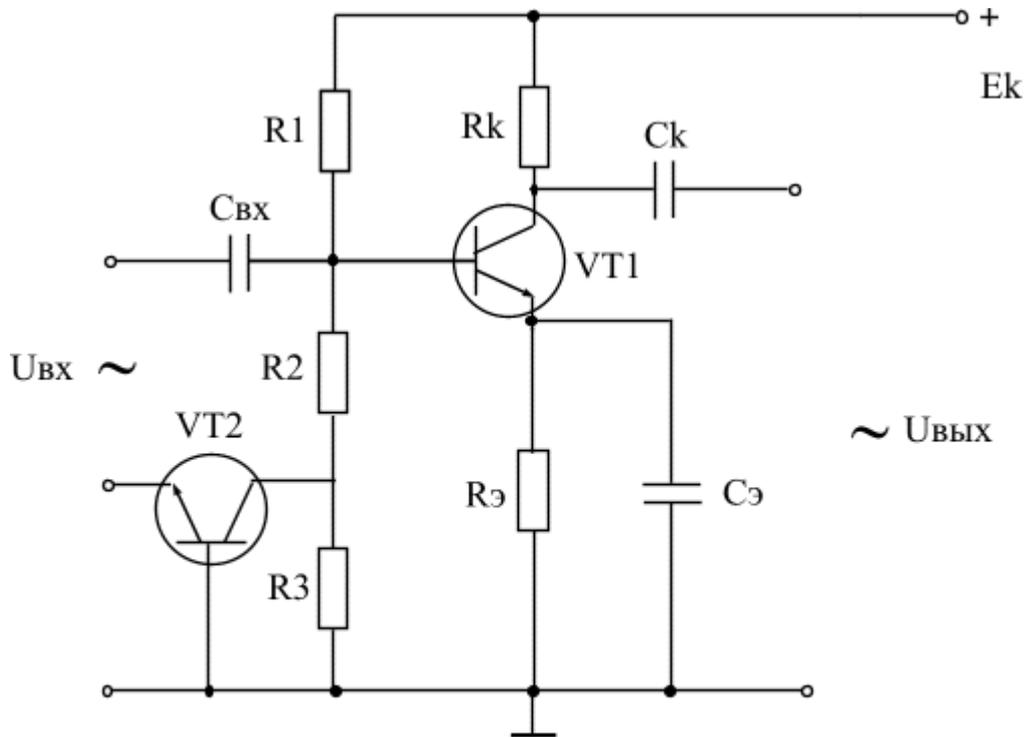


Рисунок 2.6 - Схема стабилизации термочувствительным элементом

2.3 Вторичный источник питания (ВИП) лабораторной установки

Для питания элементов лабораторной установки применяется ВИП на основе регулируемого компенсационного стабилизатора напряжения КР142ЕН18А с выходным напряжением $1,2 \div 26,5$ В и выходным током до 1 А [3]. Типовая схема включения микросхемы показана на рис. 2.7.

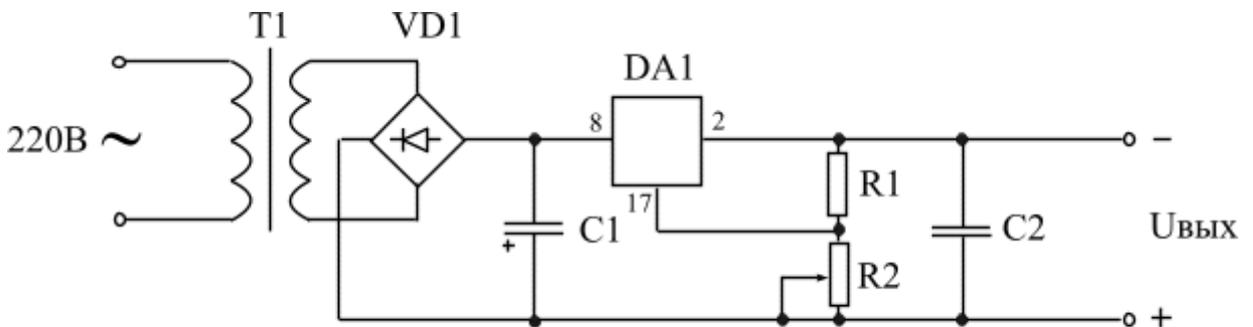


Рисунок 2.7 - ВИП - схема электрическая принципиальная

В схеме применены следующие элементы:

T1 – трансформатор кадровой развертки телевизионного приемника

ТВК110ЛМ;

VD1 – диодный мост КЦ402А;

DA1 – микросхема КР 142ЕН18А;

C1,C2 – электролитические конденсаторы емкостью не менее 2 мкФ.

Выходное напряжение устанавливают выбором номиналов резисторов R1 и R2. Они связаны соотношением:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых min}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.3)$$

$$\frac{U_{\text{вых}}}{(R_1 + R_2)} = 5 \text{ мА} \quad (2.4)$$

2.4 Расчетная часть

Для расчета схем термостабилизации были использованы паспортные параметры маломощного транзистора КТ 315, структуры n-p-n. На выходных характеристиках данного транзистора была построена нагрузочная прямая, выбрана рабочая точка, соответствующая току коллектора $I_k = 20 \cdot 10^{-3}$ А.

2.4.1. Расчет схемы питания с фиксированным током базы

Исходные данные: $U_n = 12$ В, $I_{ko} = 10^{-6}$ А.

Коэффициент усиления транзистора в схеме с общим эмиттером β вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{I_k}{I_{\bar{o}}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 80, \quad (2.5)$$

где I_k – ток коллектора, А;

$I_{\bar{o}}$ – ток базы, А.

Коэффициент усиления транзистора в схеме с общей базой α вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{\beta}{(1 + \beta)} = \frac{80}{81} = 0,988. \quad (2.6)$$

Ток базы $I_{\bar{o}}$ определяется по формуле

$$I_{\bar{o}} = \frac{I_k(1-\alpha)}{\alpha} = \frac{20 \cdot 10^{-3}(1-0,988)}{0,988} = 0,243 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad (2.7)$$

где I_k – ток коллектора, А;

α – коэффициент усиления в схеме с общей базой.

Для вычисления номинала резистора R1 (рис. 2.1) применяют формулу

$$R_1 = \frac{\alpha(U_n - U_{\bar{эб}})}{I_k(1-\alpha) - I_{кo}} = \frac{0,988(12 - 0,5)}{20 \cdot 10^{-3}(1 - 0,988) - 10^{-6}} = 47,54 \text{ кОм}, \quad (2.8)$$

где U_n – напряжение источника питания, В;

$U_{\bar{эб}}$ – напряжение эмиттер-база, В;

$I_{кo}$ – обратный (тепловой) ток коллектора, А.

2.4.2. Расчет схемы питания с фиксированным напряжением эмиттер

Для данной схемы термостабилизации (рис. 2.2) задаемся током делителя R1, R2: $I_{\bar{o}} = (0,3 \div 3)I_{\bar{o}m}$, где $I_{\bar{o}m}$ – амплитуда тока сигнала цепи базы при максимальном расчетном сигнале [4].

Для определения номинала резистора R1 применяют формулу

$$R_1 = \frac{U_n - U_{\bar{эб}}}{I_{\bar{o}} + I_{\bar{o}}} = \frac{12 - 0,5}{(0,25 + 3 \cdot 0,25) \cdot 10^{-3}} = 11,5 \text{ кОм}, \quad (2.9)$$

где U_n – напряжение источника питания, В;

$U_{\bar{эб}}$ – напряжение эмиттер-база, В;

$I_{\bar{o}}$ – ток базы, А;

$I_{\bar{o}}$ – ток делителя, А.

Для определения номинала резистора R2 применяют формулу

$$R_2 = \frac{U_{\bar{эб}}}{I_{\bar{o}}} = \frac{0,5}{3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}} = 666,66 \text{ Ом}. \quad (2.10)$$

2.4.3. Расчет схемы коллекторной стабилизации

Для данной схемы стабилизации (2.3) необходимо рассчитать номинал резистора R1, зависящий от номинала резистора R_k , подбираемого в зависимости от требуемых параметров (обычно $3 \div 10$ кОм) [4].

Для определения номинала резистора R1 применяют формулу

$$R_1 = \frac{\beta_{\min} (U_n - U_{эб}) - (1 + \beta_{\min}) R_k \cdot I_k}{I_{ко}}, \quad (2.11)$$

где β_{\min} - минимальный коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером;

U_n - напряжение источника питания, В;

$U_{эб}$ - напряжение эмиттер-база, В;

I_k - ток коллектора, А;

$I_{ко}$ - обратный (тепловой) ток коллектора, А.

2.4.4. Расчет схемы эмиттерной стабилизации

Для схемы эмиттерной стабилизации (рис. 2.4) необходимо задаться следующими параметрами: $\beta_{\min} \approx 50$ (для КТ 315 Б, Г, Е); $T_{\min} = 20$ °С [4].

$$U_{эб\max} = U_{эб} + 22 \cdot 10^{-4} (20 - T_{\min}) \approx U_{эб}, \quad (2.12)$$

где $U_{эб\max}$ - максимальное напряжение эмиттер-база, В;

T_{\min} - минимальная температура корпуса, °С.

Для определения номинала резистора R₃ применяют формулу

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{0,1 \cdot U_n}{(I_k + I_б)} = \frac{1,2}{(20 + 0,25) \cdot 10^{-3}} = 59,25 \text{ Ом}, \quad (2.13)$$

где U_n - напряжение источника питания, В;

I_k - ток коллектора, А;

$I_б$ - ток базы, А.

Для определения номинала резистора R2 применяют формулу

$$R_2 = \frac{(U_3 + U_{эб})}{I_0} = \frac{(1,2 + 0,5)}{3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}} = 2,267 \text{ кОм}, \quad (2.14)$$

где U_3 - напряжение на эмиттере, В;

$U_{эб}$ - напряжение эмиттер-база, В;

I_0 - ток делителя, А.

Для определения номинала резистора R1 применяют формулу

$$R_1 = \frac{R_2 (\beta_{\min} (U_n - U_{эб\max}) - (1 + \beta_{\min}) R_3 \cdot I_k)}{(1 + \beta_{\min}) (R_3 + R_2) I_k - \beta_{\min} (R_2 \cdot I_k - U_{эб\max})} = \frac{2267(50(12 - 0,5) - 51 \cdot 59,25 \cdot 0,02)}{51(59,25 + 2267) \cdot 0,02 - 50(2267 \cdot 0,02 - 0,5)} = 8,92 \text{ кОм}, \quad (2.15)$$

где β_{min} - минимальный коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером;

U_n – напряжение источника питания, В;

$U_{эбmax}$ – максимальное напряжение эмиттер-база, В;

I_k – ток коллектора, А.

2.4.5. Расчет схемы коллекторно-эмиттерной (комбинированной) стабилизации

Для схемы коллекторно-эмиттерной стабилизации (рис. 2.5) необходимо рассчитать номиналы резисторов R1, R2, R_э, причем, номинал резистора R1, рассчитывается также, как в схеме эмиттерной стабилизации [4].

Для определения номинала резистора R_э применяют формулу

$$R_э = \frac{U_э}{I_э} = \frac{U_э}{I_k + I_б} = \frac{0,1 \cdot 12}{(0,25 + 20) \cdot 10^{-3}} = 59,25 \text{ Ом}, \quad (2.16)$$

где $U_э$ – напряжение на эмиттере, В;

I_k – ток коллектора, А;

$I_б$ – ток базы, А.

Для определения номинала резистора R2 применяют формулу

$$R_2 = \frac{(U_э + U_{эб})}{I_д} = \frac{(1,2 + 0,5)}{3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}} = 2,267 \text{ кОм}, \quad (2.17)$$

где $U_э$ – напряжение на эмиттере, В;

$U_{эб}$ – напряжение эмиттер-база, В;

$I_д$ – ток делителя, А.

Величина резистора фильтра R_ф обычно лежит в пределах (0,3 ÷ 1) кОм.

2.5 Описание схемы лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.8. Данная схема позволяет реализовать 6 схем стабилизации рабочей точки биполярного транзистора:

- 1) схему питания с фиксированным током базы;
- 2) схему питания с фиксированным напряжением база-эмиттер;
- 3) схему стабилизации параллельной ООС по напряжению (коллекторная стабилизация);
- 4) схему эмиттерной стабилизации;
- 5) схему коллекторно-эмиттерной (комбинированной) стабилизации;

б) схему стабилизации термочувствительным элементом.

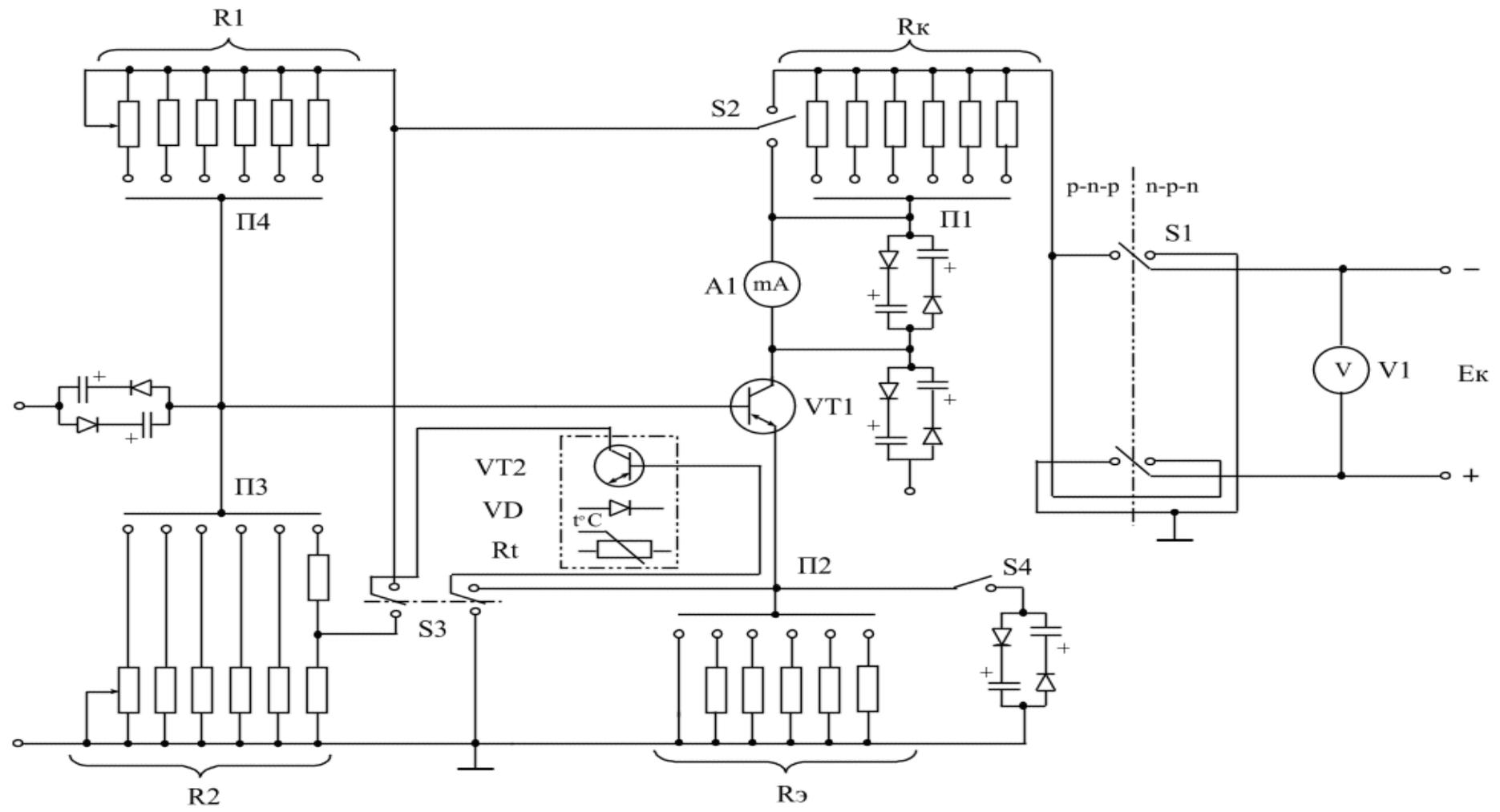


Рисунок 2.8 - Функциональная схема лабораторного стенда

Переключатель S1 предназначен для изменения полярности питающего напряжения (транзисторы типа n-p-n и p-n-p). Коллекторное напряжение измеряется вольтметром V1. Ток коллектора фиксируется миллиамперметром A1 со «средним нулем», зашунтированным диодно-конденсаторной цепочкой. Подобные применяются в схеме лабораторного стенда для того, чтобы отсекал постоянную составляющую в сигнале.

Переключатели П1, П2, П3, П4 – пакетные, предназначены для смены номиналов резисторов для разных стабилизации рабочей точки. Элементы схемы Rt, VD1, VT2 – термочувствительные, применяются в схеме стабилизации рабочей точки термочувствительным элементом.

2.6 Контрольные вопросы

1. В чем причина нестабильности рабочей точки транзистора?
2. Почему включение малого сопротивления между базой и «общей точкой» улучшает температурную стабилизацию?
3. Почему включение большого сопротивления между эмиттером и «общей точкой» улучшает температурную стабилизацию?
4. Почему транзистор, включенный по схеме с общей базой, имеет большую температурную стабильность, чем транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером?

3 Экспериментальная часть

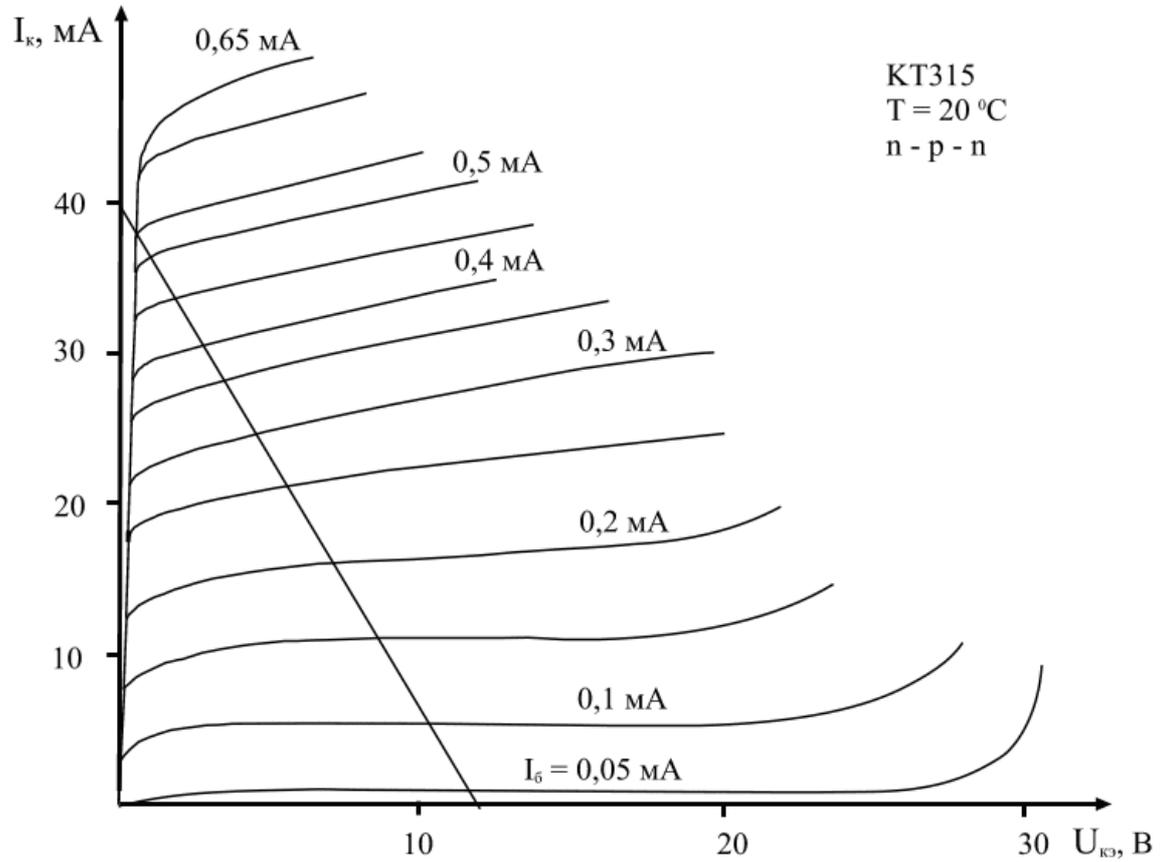
1. Ознакомиться со стендом и собрать схему стабилизации рабочей точки.
2. Вычислить параметры компенсирующей схемы по заданным значениям режима транзистора.
3. Снять экспериментальную зависимость основных параметров схемы в интервале температур 20 – 60 °С.
4. Вычислить экспериментально полученные значения и сравнить их с заданными значениями.
5. Результаты работы оформить в виде отчета по проведенному эксперименту.

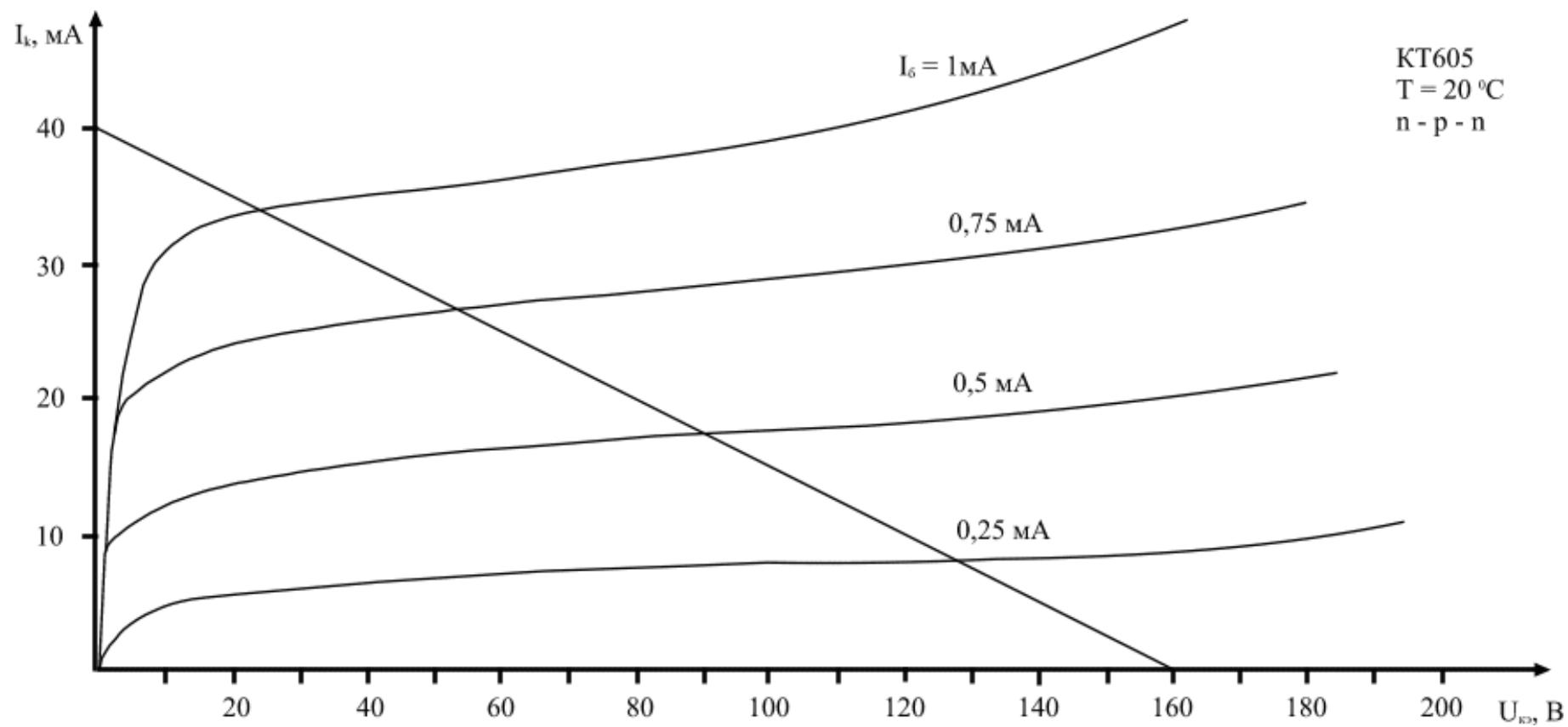
4 Список используемой литературы

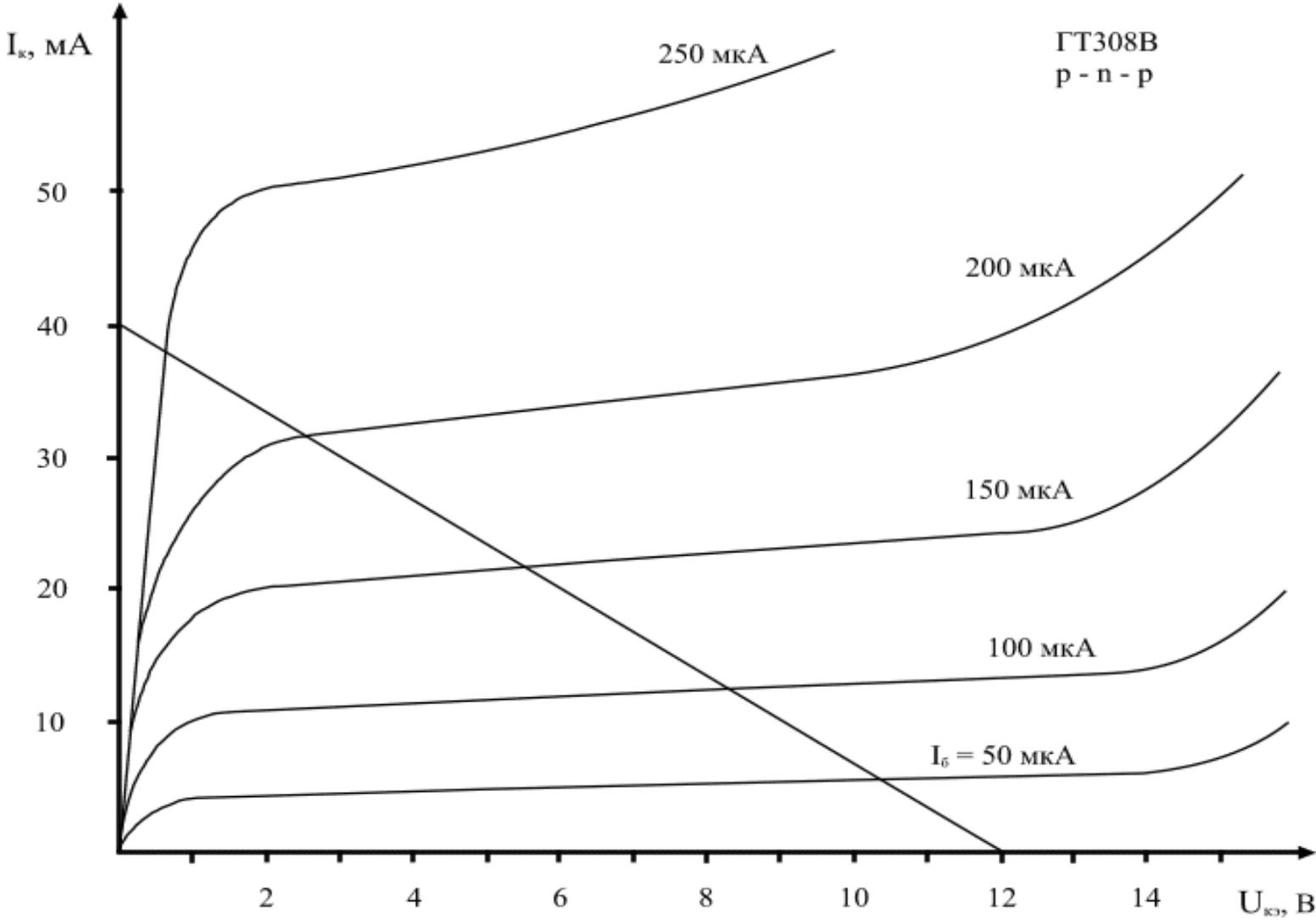
1. Электронные приборы : Учебник для вузов / Анатолий Леонидович Булычев, Петр Михайлович Лямин, Евгений Станиславович Тулинов. - М. : Лайт Лтд., 2000. - 416 с.
2. Электронные приборы и устройства на их основе : Справочная книга / Юрий Александрович Быстров, Сергей Анатольевич Гамкрелидзе, Евгений Борисович Иссерлин, Вадим Павлович Черепанов; Ред. Юрий Александрович Быстров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : РадиоСофт, 2002. - 656 с. : ил, табл. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 5-93037-082-6

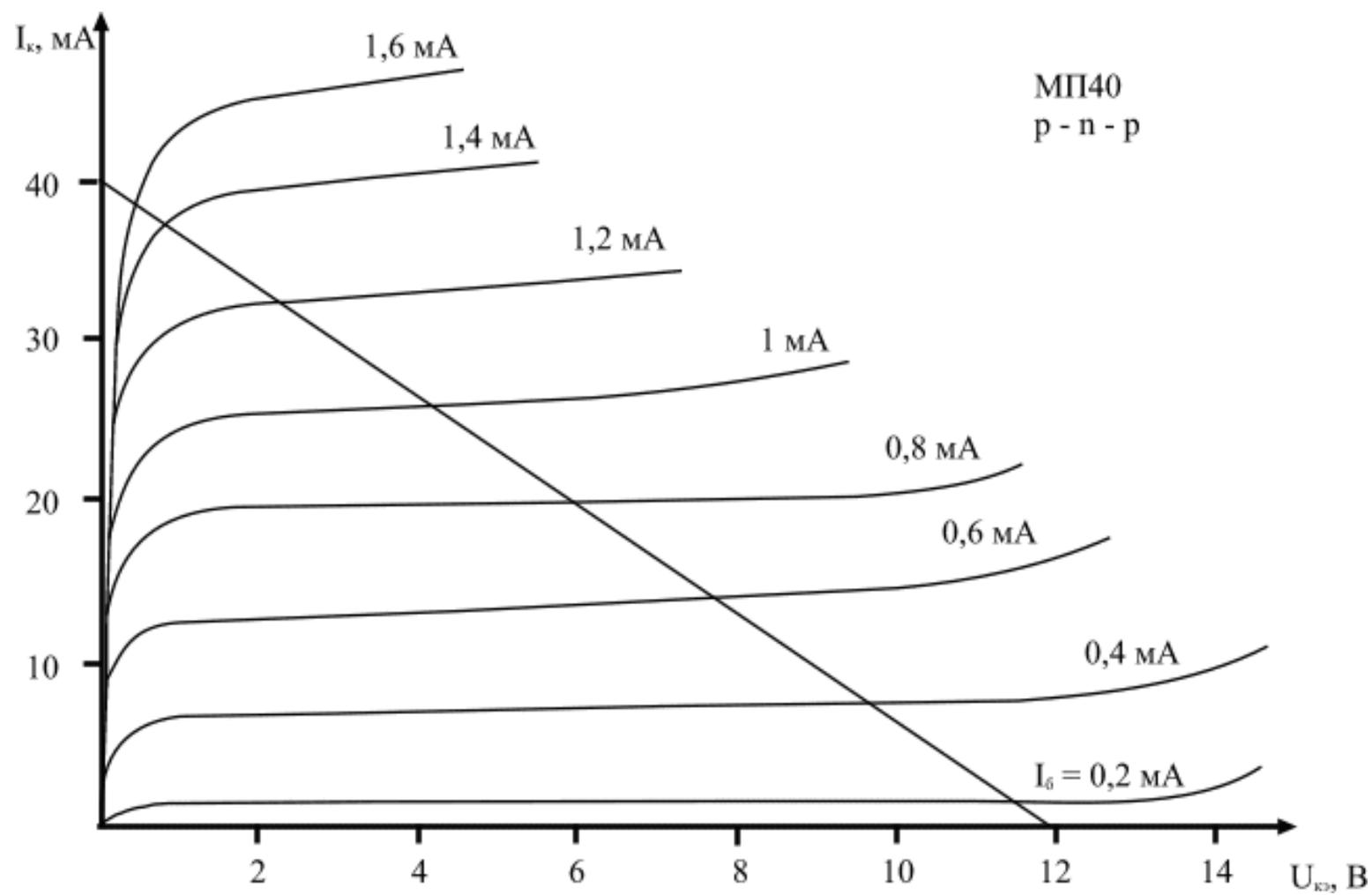
3. Основы теории транзисторов и транзисторных схем : / И. П. Степаненко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1977. - 671 с
4. Импульсные устройства : Учебное пособие для вузов / Юрий Николаевич Ерофеев. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1989. - 527 с

Приложение А
(справочное)
Выходные характеристики транзисторов

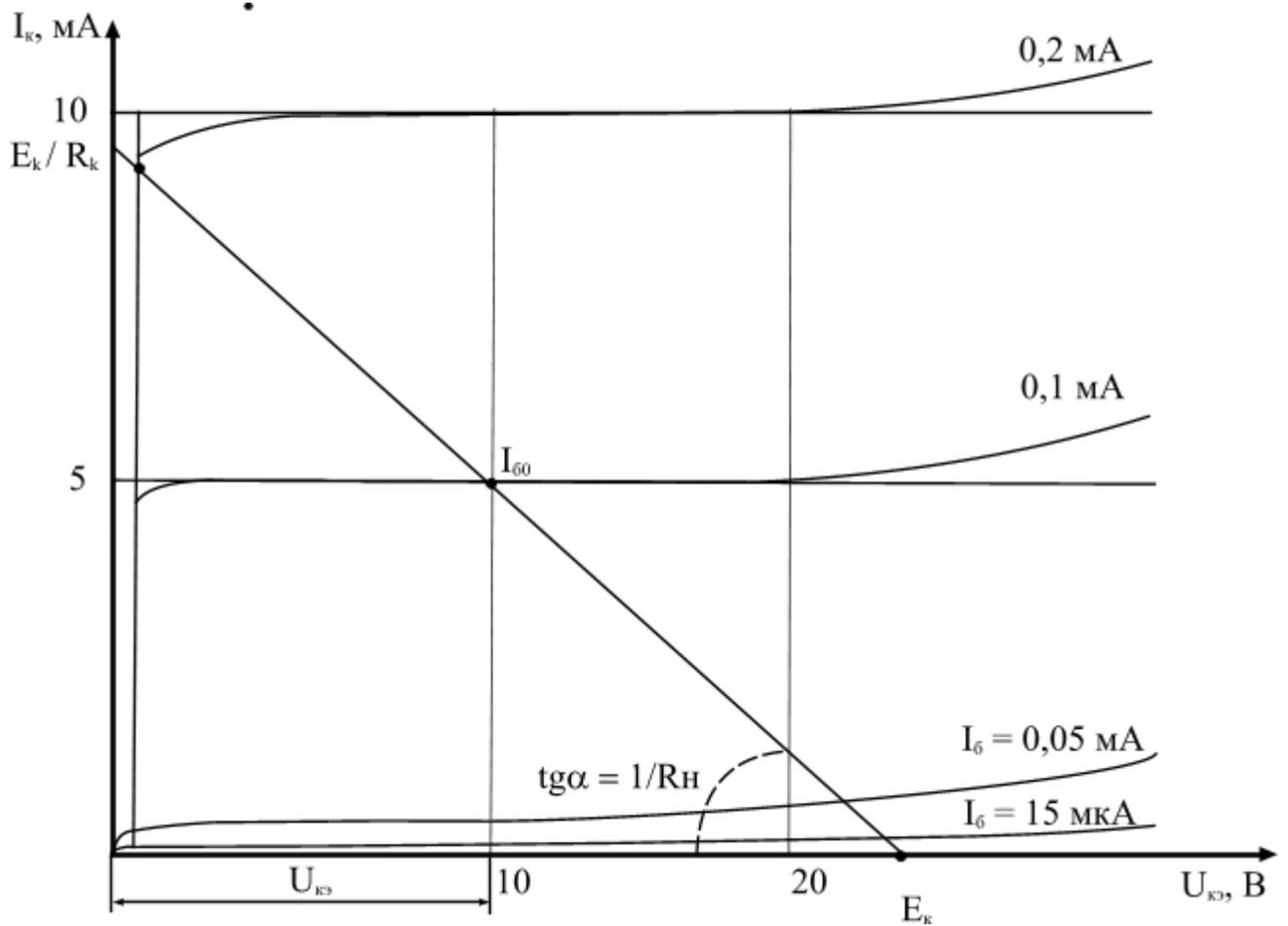


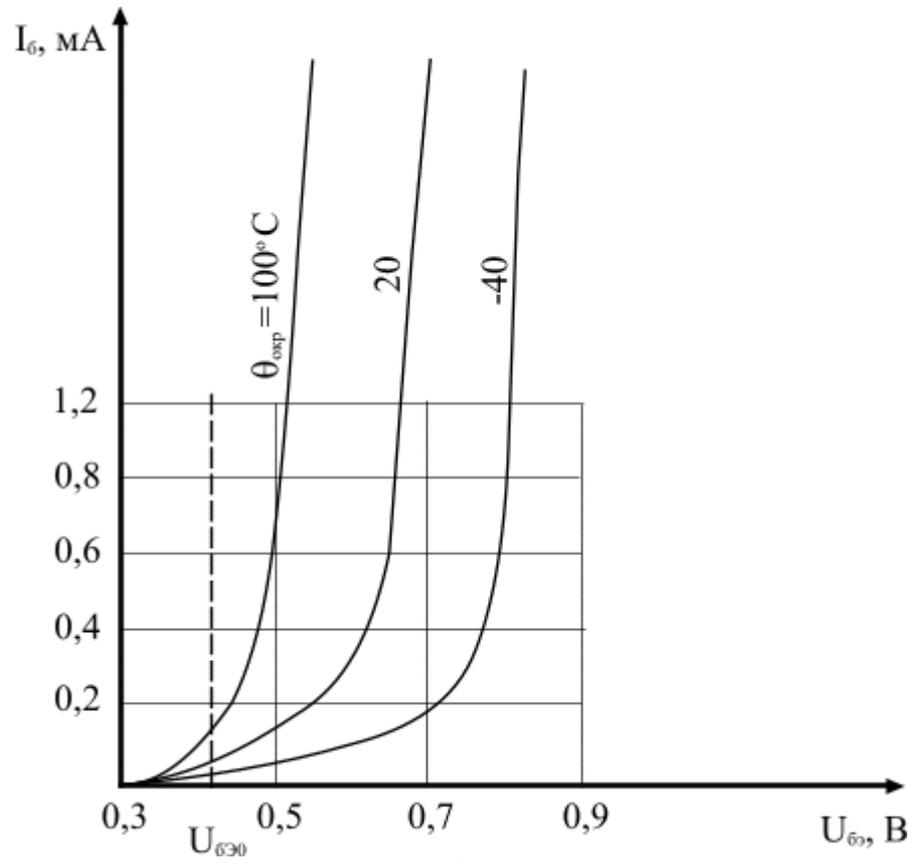






Приложение Б
(справочное)
Определение нагрузочного сопротивления





Учебное пособие

Шангин А.С.

Исследование рабочих точек биполярного транзистора

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40