

## I. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Контрольные работы (КР) выполняются на формате А4 и должны быть написаны от руки. Рисунки можно выполнять на миллиметровой бумаге. КР № 1 выполняется по теме «Полупроводниковые диоды».

Всем вариантам:

1. Дать определение следующих терминов: диффузия, дрейф, генерация носителей заряда, рекомбинация, собственные полупроводники, примесные полупроводники, акцептор, донор, энергия ионизации акцептора, энергия ионизации донора, р-n-переход, переход Шотки.
2. Нарисовать структуру и описать принцип действия заданных диодов.
3. Дать определение основных параметров, специфичных для заданных диодов.
4. Описать область применения заданных диодов.

Таблица 1.1

Вариант	Тип диода
1	Выпрямительный, переключательный
2	Стабилитрон, детекторный
3	Стабистор, импульсный
4	Импульсный, диод Шотки
5	Выпрямительный, смесительный
6	Смесительный, стабистор
7	Детекторный, стабилитрон
8	Переключательный, ЛПД
9	ЛПД, туннельный
0	Туннельный, выпрямительный

Номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки.

Плановая трудоемкость – 2 академических часа.

При выполнении КР № 1 рекомендуется пользоваться литературой [1, с. 11-53].

## II. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Тема "Биполярные транзисторы".

При выполнении КР № 2 рекомендуется пользоваться литературой [1, с. 54-88].

Номер варианта соответствует предпоследней цифре номера зачетной книжки. Характеристика и параметры транзистора представлены в приложении.

Плановая трудоемкость – 5 академических часов.

1. В соответствии с табл. 2.1 произвести расчет соответствующих параметров усилителя (рис. 1).

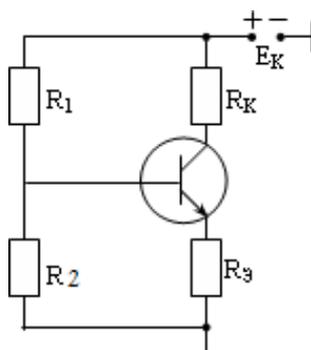


Рис. 1

В КР № 2 использовать систему единиц СИ.

Таблица 2.1

Вариант	$\beta$	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$R_k$ , кОм	$R_3$ , Ом	$E_k$ , В	Рассчитать	Ответ
1	50	51	51	1.0	100	10	$U_k$	1,83 В
2	49	39	39	0.91	91	15	$U_3$	1,4 В
3	60	100	51	1.2	100	10	$I_3$	51,6 мА
4	70	110	62	0.62	150	12	$I_k$	6 мА
5	75	91	30	0.75	200	15	$I_6$	0,1 мА
6	80	100	100	1.1	210	10	$I_k, I_3$	5,67 мА 5,6 мА
7	40	82	43	1.0	300	15	$U_3$	1,6 В
8	45	47	47	1.3	330	12	$I_k, I_6$	0,15 мА 7 мА
9	65	100	47	1.5	91	10	$U_k$	2,2 В
0	70	82	51	0.72	150	15	$I_6$	0,14 мА

### Пример

Дано:  $\beta = 100$ ,  $R_1 = 100$  кОм,  $R_2 = 100$  кОм,  $R_k = 1$  кОм,  $R_3 = 100$  Ом,  $E_k = 20$  В.

Рассчитать  $U_{кз}$ .

Преобразуем схему, представленную на рис. 1, в вид (рис. 2):

$$E_{\text{экв}} = \frac{E_k}{R_1 + R_2} \cdot R_2; \quad E_{\text{экв}} = \frac{20}{100 + 100} \cdot 100 = 10 \text{ В}$$

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad R_{\text{экв}} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ кОм}$$

$$I_{\text{б}} = \frac{E_{\text{экв}}}{R_{\text{экв}} + (1 + \beta)R_{\text{э}}}; \quad I_{\text{б}} = \frac{10}{50 + (1 + 100) \cdot 0,1} = 0,17 \text{ мА}$$

$$I_k = \beta \cdot I_{\text{б}}; \quad I_{\text{э}} = (1 + \beta) \cdot I_{\text{б}}; \quad I_k = 100 \cdot 0,17 = 17 \text{ мА}$$

$$I_{\text{э}} = (1 + 100) \cdot 0,17 = 17,17 \text{ мА}$$

$$U_k = E_k - I_k R_k; \quad U_k = 20 - 17,1 = 3 \text{ В};$$

$$U_{\text{э}} = I_{\text{э}} R_{\text{э}}; \quad U_{\text{э}} = 17,17 \cdot 0,1 = 1,7 \text{ В};$$

$$U_{\text{кэ}} = U_k - U_{\text{э}}; \quad U_{\text{кэ}} = 3 - 1,7 = 1,3 \text{ В};$$

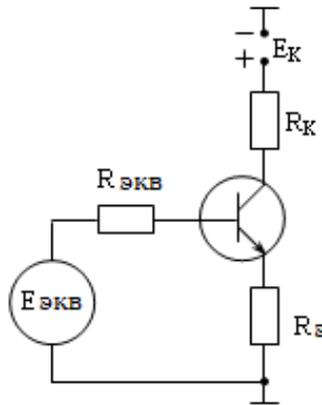


Рис. 2

2. В соответствии с табл. 2.2 для схемы, изображенной на рис. 3, выполнить следующее:

а). Построить нагрузочную прямую постоянного тока и указать на ней точку покоя А.

б). Определить ток коллектора  $I_k$  и напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ}$ .

в). Определить значение  $R_{\text{б}}^*$ , обеспечивающее заданную в табл. 2.2 степень насыщения S.

г). Указать положение новой точки покоя  $A^*$  на входных и выходных характеристиках.

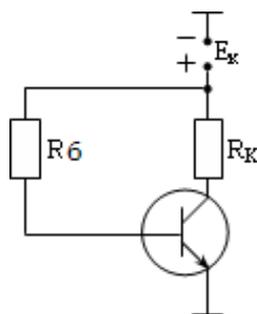


Рис. 3

Таблица 2.2

Вариант	$R_{\text{б}}$ , кОм	$R_{\text{к}}$ , Ом	$E_{\text{к}}$ , В	S	Ответ
1	100	1000	10	1	$I_{\text{б}} = 100 \text{ мкА};$ $R_{\text{б}}^* = 50 \text{ кОм};$
2	20	200	10	1.1	$I_{\text{б}} = 500 \text{ мкА};$ $R_{\text{б}}^* = 7,5 \text{ кОм};$
3	300	910	12	1.2	$I_{\text{б}} = 40 \text{ мкА};$ $R_{\text{б}}^* = 80 \text{ кОм};$
4	3	30	30	1.05	$I_{\text{б}} = 10 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 0,48 \text{ кОм};$
5	8	120	25	1	$I_{\text{б}} = 3,1 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 6,25 \text{ кОм};$
6	51	720	20	1.1	$I_{\text{б}} = 0,39 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 46 \text{ кОм};$
7	51	510	40	1.05	$I_{\text{б}} = 0,75 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 31,7 \text{ кОм};$
8	0.82	1.3	16	1.1	$I_{\text{б}} = 19 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 0,22 \text{ кОм};$
9	1.25	18	100	1	$I_{\text{б}} = 80 \text{ мА};$ $R_{\text{б}}^* = 0,83 \text{ кОм};$
10	0.25	10	100	1.2	$I_{\text{б}} = 0,4 \text{ А};$ $R_{\text{б}}^* = 91 \text{ Ом};$

Примечание:

1) входные и выходные характеристики транзистора и предельно - допустимые параметры указаны в прил. 1;

2) при изображении схемы (рис. 3) необходимо обратить внимание на тип БТ (n-p-n или p-n-p).

Методические указания

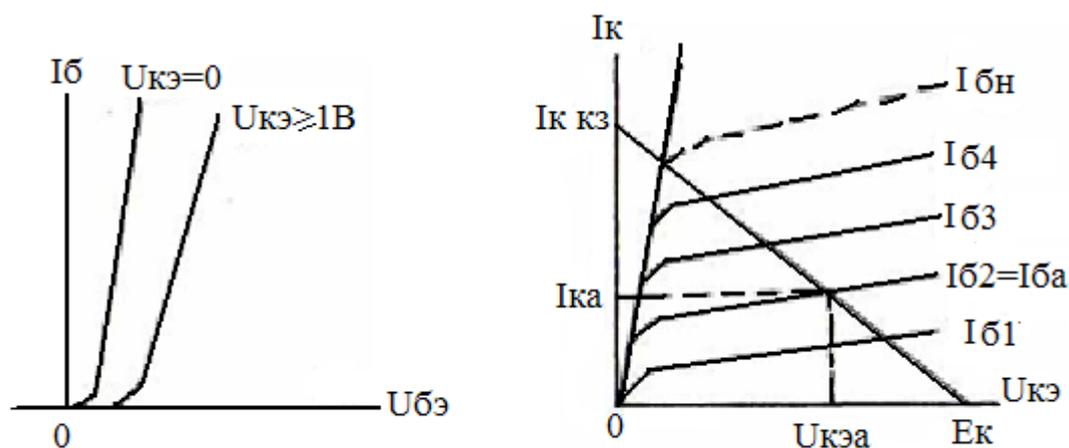


Рис. 4

Нагрузочная прямая постоянного тока строится по двум точкам:  $U_{кэ} = E_k$ ,  $I_k = 0$ ;  $U_{кэ} = 0$ ,  $I_{ккз} = E_k / R_k$ .

Координаты точки покоя А находятся по току базы:

$$I_{бА} = E_k / R_б.$$

Ток базы насыщения  $I_{бн}$  определяется как параметр кривой, исходящей из точки  $M_N$ .

Сопротивление  $R_б^*$  находится по формуле:

$$R_б^* = \frac{E_k}{S \cdot I_{бн}}$$

Пример

Транзистор № 1 приложения:  $E_k = 10$  В,  $R_k = 1$  кОм,  $R_б = 100$  кОм,  $S = 1$ .

Нагрузочная прямая:  $E_k = 10$  В,  $I_{ккз} = \frac{10}{1} = 10$  мА; точка покоя  $I_б = \frac{10}{100} = 0,1$  мА;

$I_{бн} = 0,2$  мА;  $R_б^* = 50$  кОм;

3. Построить нагрузочную прямую переменного тока (рис.5, табл.2.3).

Таблица 2.3

Вариант (приложение)	$I_B$ , мА	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$R_5$ , Ом	$E_k$ , В	Ответ $I_{ККЗ}$
1	0.1	1000	100	1000	10	20мА
2	0.5	200	30	200	10	100мА
3	0.04	910	51	910	12	26,7мА
4	10	30	5	30	30	2А
5	3	120	10	120	25	0,4А
6	400	720	51	720	20	55мА
7	0.8	510	20	510	40	157мА
8	20	1.3	0.5	1.3	16	25,6А
9	100	18	0.5	18	100	11,1А
0	400	10	1.0	10	100	20А

Примечание: сопротивление емкостей  $X_c = 0$ ; в варианте № 6 ток базы в мкА.

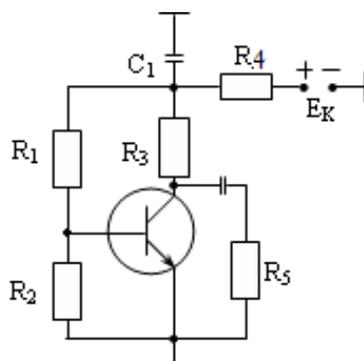


Рис. 5

### Методические указания

Далее приводится последовательность действий:

- 1) Определить сопротивление постоянному току  $R_{\Sigma} = R_3 + R_4$ .
- 2) Построить нагрузочную прямую для  $R_{\Sigma}$ .
- 3) Указать точку покоя А (по току базы).
- 4) Найти сопротивление переменному току  $R_{\approx} = \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5}$ .
- 5) Построить вспомогательную прямую по координатам:

$$U_{кэ} = E_k, I_k = 0; \quad U_{кэ} = 0, I'_{ккз} = \frac{E_k}{R_{\approx}}$$

б) Построить нагрузочную прямую  $R_{\approx}$  переносом вспомогательной прямой таким образом, чтобы она проходила через точку покоя.

Пример

Транзистор № 2 приложения:  $I_6=0,5$  мА;  $R_3=200$  Ом;  $R_4=30$  Ом;  $R_5=200$  Ом;  $E_k=10$  В;

$$R_{\approx} = 200 + 30 = 230 \text{ Ом};$$

$$I_{ккз} = \frac{10}{230} = 43 \text{ мА};$$

точка покоя А;

$$I_6 = 0,5 \text{ мА};$$

$$R_{\approx} = \frac{200 \cdot 200}{200 + 200} = 100 \text{ Ом};$$

$$I'_{ккз} = \frac{10}{100} = 100 \text{ мА}$$

4. Построить зону безопасной работы заданного транзистора. Она ограничена линиями насыщения, допустимых тока и напряжения на электродах транзистора и мощностью рассеяния на коллекторе.

Пример

Транзистор № 3 приложения. Строится прямоугольник с координатами  $U_{кэ, пред} = 15$  В;  $I_{к, пред} = 15$  мА и гипербола по точкам.

$U_{кэ}$  задаётся произвольно, например: 10 В, 5 В, 2 В.

$$I_{к1} = \frac{P_{к, пред}}{U_{к1}} = \frac{60}{10} = 6 \text{ мА}; \quad I_{к2} = \frac{60}{5} = 12 \text{ мА}; \quad I_{к3} = \frac{60}{2} = 30 \text{ мА}$$

*Ответ:* одна точка гиперболы:  $U_{кэ}, I_k$ .

Вариант	$I_k$	$U_{кэ}, \text{ В}$
1	6 мА	10
2	10 мА	17
3	12 мА	5
4	100 мА	60
5	50 мА	24
6	2 А	25
7	10 мА	60
8	3,5 А	20
9	1 А	120
0	330 мА	120

5. Рассчитать  $h$ - параметры по характеристикам заданного транзистора в точке покоя.

Расчеты производить по формулам:

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}} \Big|_{U_{кэ}=\text{const}} ;$$

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} \Big|_{I_{б}=\text{const}} ;$$

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} \Big|_{U_{кэ}=\text{const}} ;$$

$$h_{22э} = \Delta I_{к} / \Delta U_{кэ} \Big|_{I_{б}=\text{const}}.$$

### Пример

Транзистор № 4 приложения:

$$h_{11э} = \frac{1,5 - 1,4}{20 - 10} \Big|_{\geq 1B} = 10B ;$$

$$h_{12э} = \frac{1,5 - 0,5}{1 - 0} \Big|_{20mA} = 1 ;$$

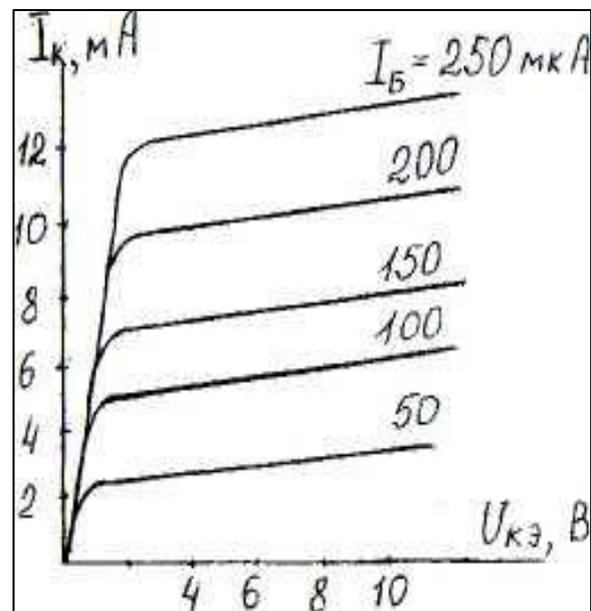
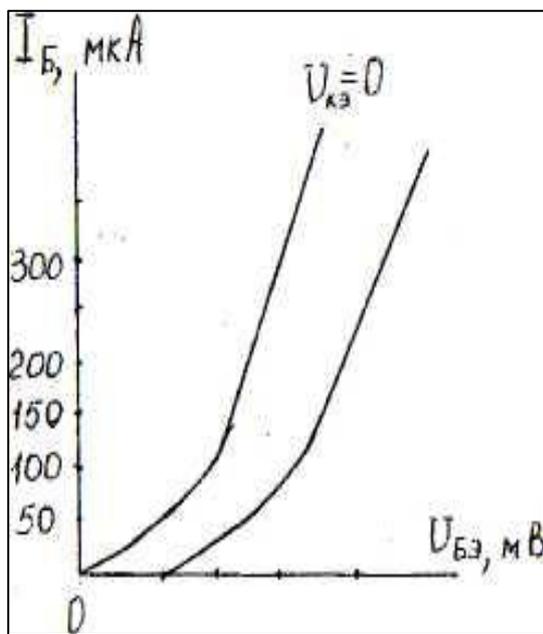
$$h_{21э} = \frac{400 - 300}{15 - 10} \Big|_{18B} = 20 ;$$

$$h_{22э} = \frac{350 - 300}{28 - 18} \Big|_{10mA} = 5mCm ;$$

Ответ:

Вариант	$h_{21э}$
1	40
2	50
3	50
4	20
5	75
6	20
7	100
8	200
9	44
0	15

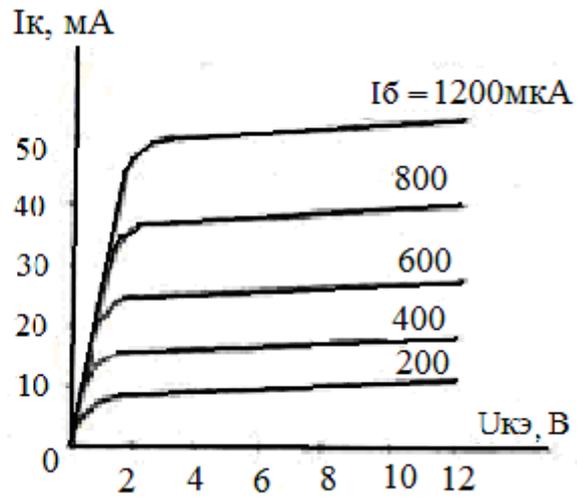
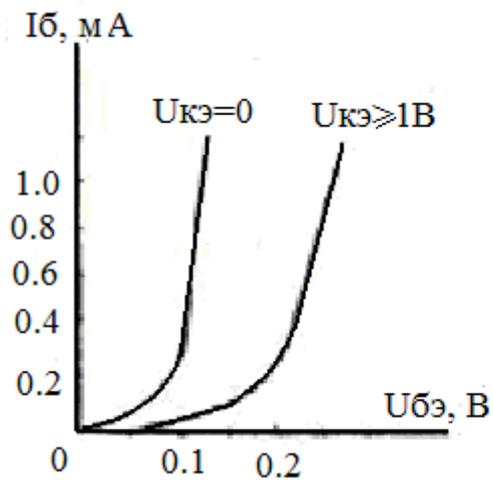
№ 1  
Транзистор малой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, mA.....	10
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	10
Мощность на коллекторе, мВт.....	60

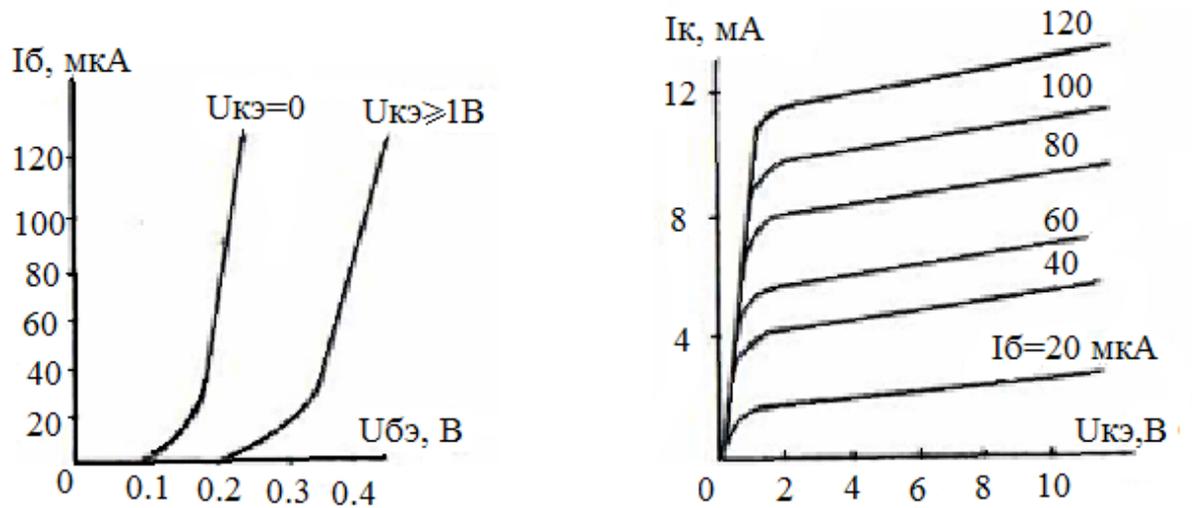
№ 2  
Транзистор малой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, мА.....	55
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	12
Мощность на коллекторе, мВт.....	170

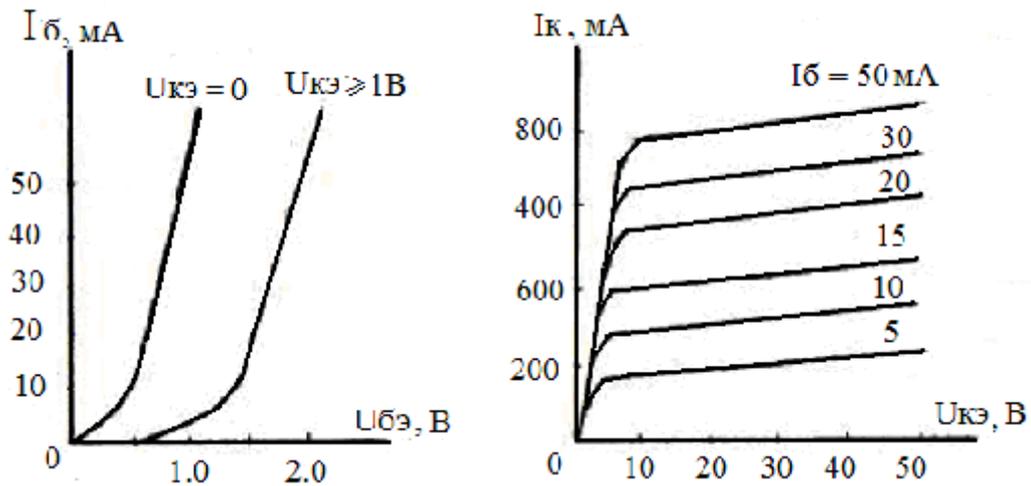
№ 3  
Транзистор малой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, мА.....	15
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	15
Мощность на коллекторе, мВт.....	60

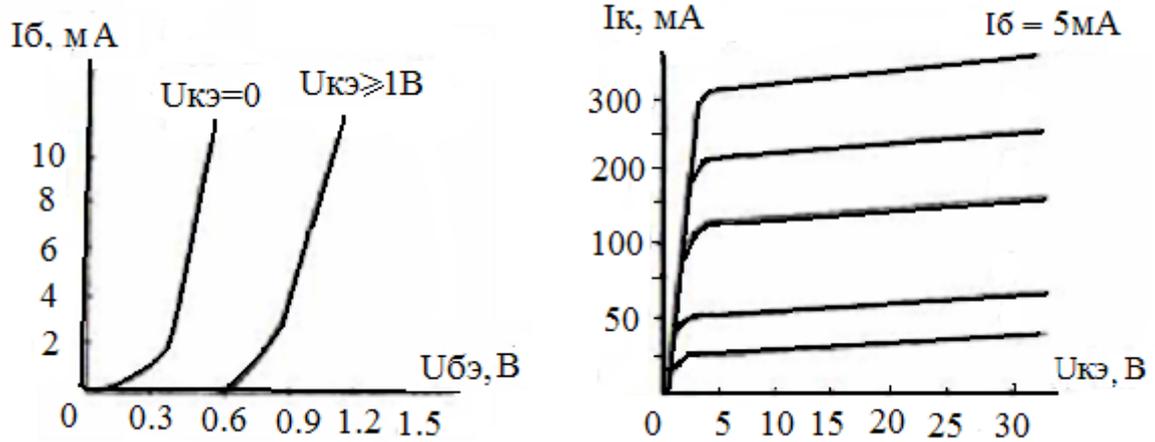
№ 4  
Транзистор средней мощности



Пределные эксплуатационные данные

Ток коллектора, мА.....1000  
 Напряжение коллектор-эмиттер, В.....50  
 Мощность на коллекторе, Вт.....6

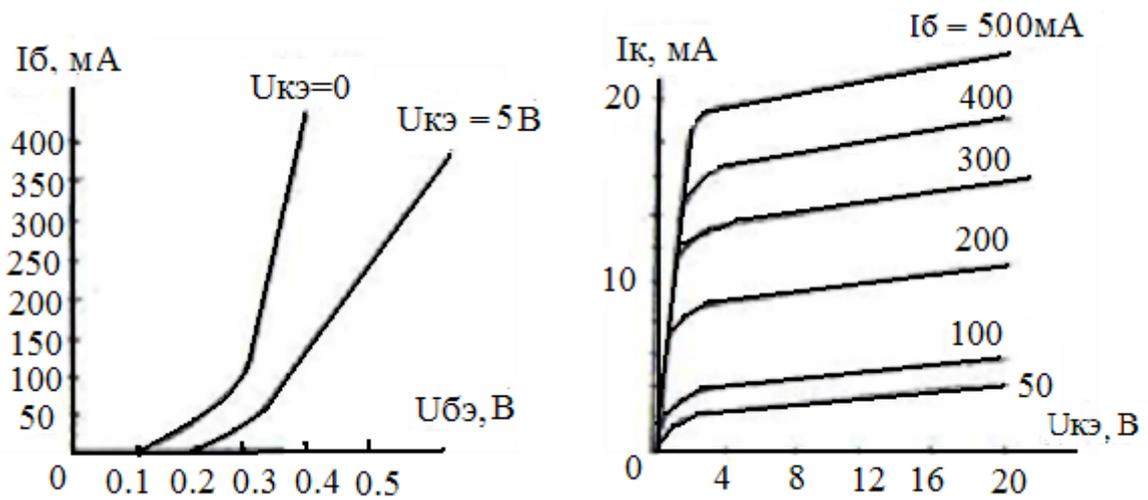
№ 5  
Транзистор средней мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, мА.....	250
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	30
Мощность на коллекторе, Вт.....	1,2

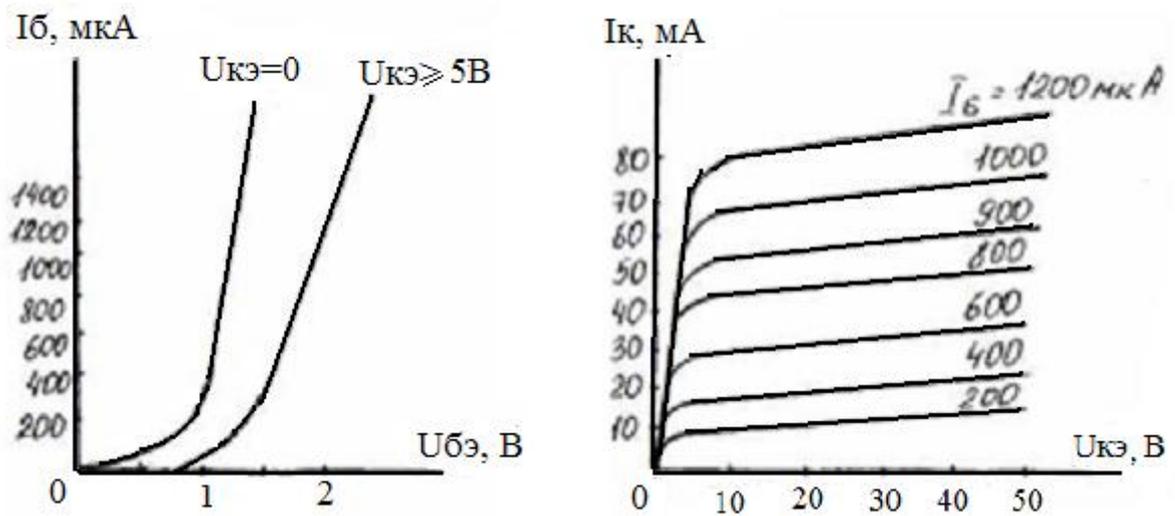
№ 6  
Транзистор большой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, А.....	20
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	30
Мощность на коллекторе, Вт.....	50

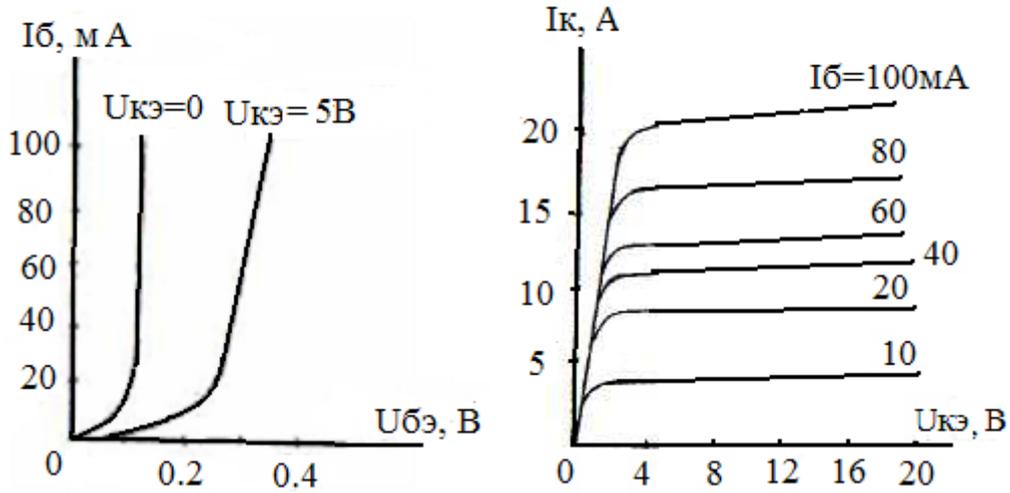
№ 7  
Транзистор средней мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, мА.....	70
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	50
Мощность на коллекторе, Вт.....	6

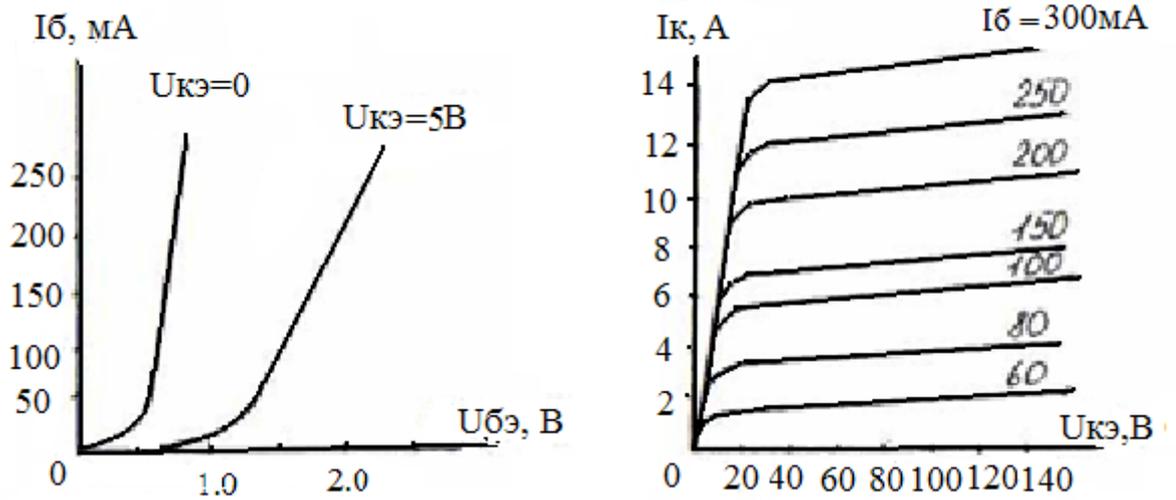
№ 8  
Транзистор большой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, А.....	20
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	20
Мощность на коллекторе, Вт.....	70

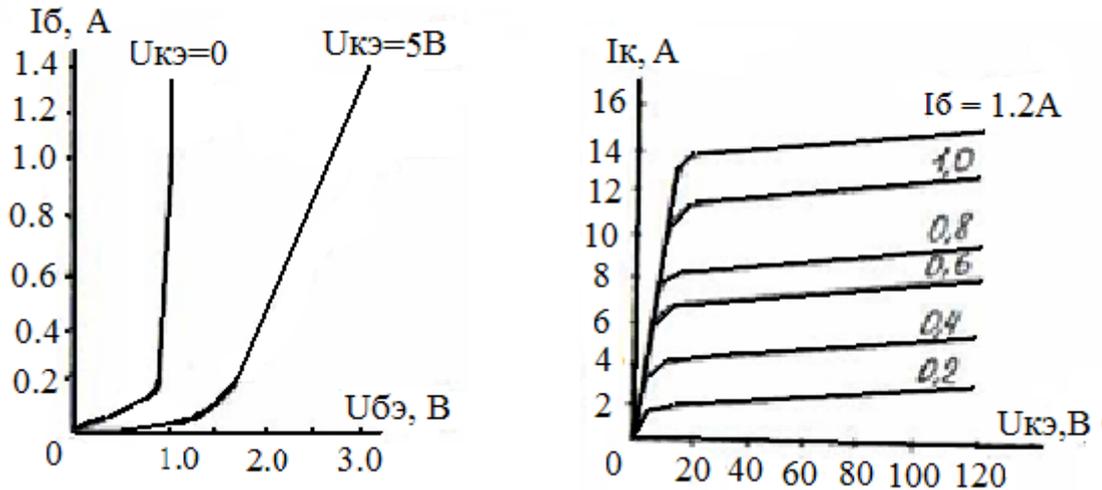
№ 9  
Транзистор большой мощности



Предельные эксплуатационные данные

Ток коллектора, А.....	7
Напряжение коллектор-эмиттер, В.....	120
Мощность на коллекторе, Вт.....	120

№ 0  
Транзистор большой мощности



Пределные эксплуатационные данные

Ток коллектора, А.....15  
 Напряжение коллектор-эмиттер, В.....120  
 Мощность на коллекторе, Вт.....40

ЛИТЕРАТУРА

1. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника. - Ростов-на-Дону, 2005.