

## Лабораторная работа № 3

### Вольтамперные характеристики биполярных транзисторов

#### 1. Цель работы

- Изучение принципа работы биполярного транзистора,
- получение основных характеристик транзистора, определение его параметров.

#### 2. Описание лабораторной установки

Схема экспериментальной установки для снятия ВАХ приведена на рис. 1. В работе снимаются входные и выходные характеристики биполярного транзистора КТ315Б.

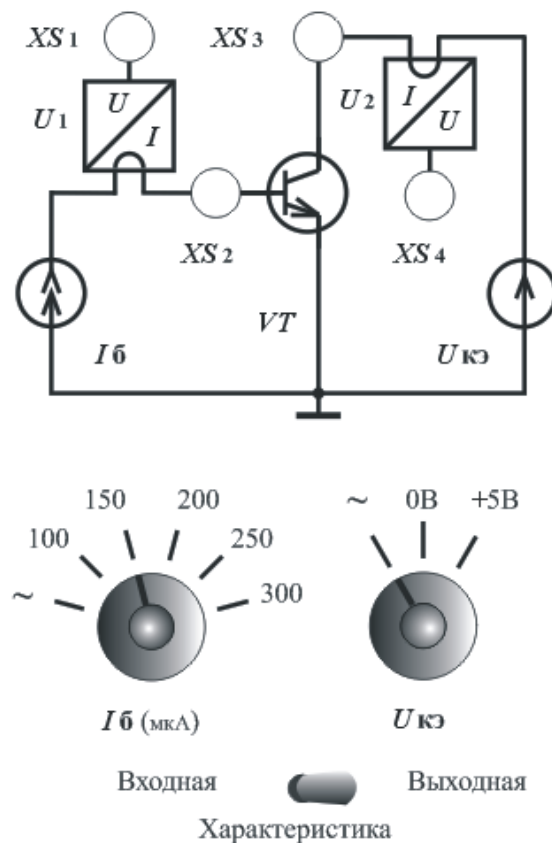


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для получения ВАХ биполярного транзистора

Переключатель  $I_6$  задает режим базовой цепи: постоянный ток (100, 150, 200, 250, 300) мкА или однополярный переменный ток с

амплитудным значением 500мкА. Переключатель  $U_{кз}$  определяет режим коллекторной цепи: задает постоянное напряжение коллектор-эмиттер (0 или 5 В) или переменное однополярное напряжение с амплитудой 10 В. Частота переменных напряжения и тока – 50 Гц.

Выводы базы и коллектора подключены к гнездам  $XS_2$  и  $XS_3$ . К гнездам  $XS_1$  и  $XS_4$  подключены преобразователи напряжение-ток, выходные напряжения которых пропорциональны току базы и току коллектора соответственно. Коэффициент преобразования тока базы  $R_{нб} = 10 \text{ кОм}$ , а тока коллектора –  $R_{нк} = 100 \text{ Ом}$ .

По экспериментальным данным рассчитываются:

- рабочая точка транзистора в схеме усилительного каскада ОЭ (рис. 2),
- параметры транзистора в рабочей точке.

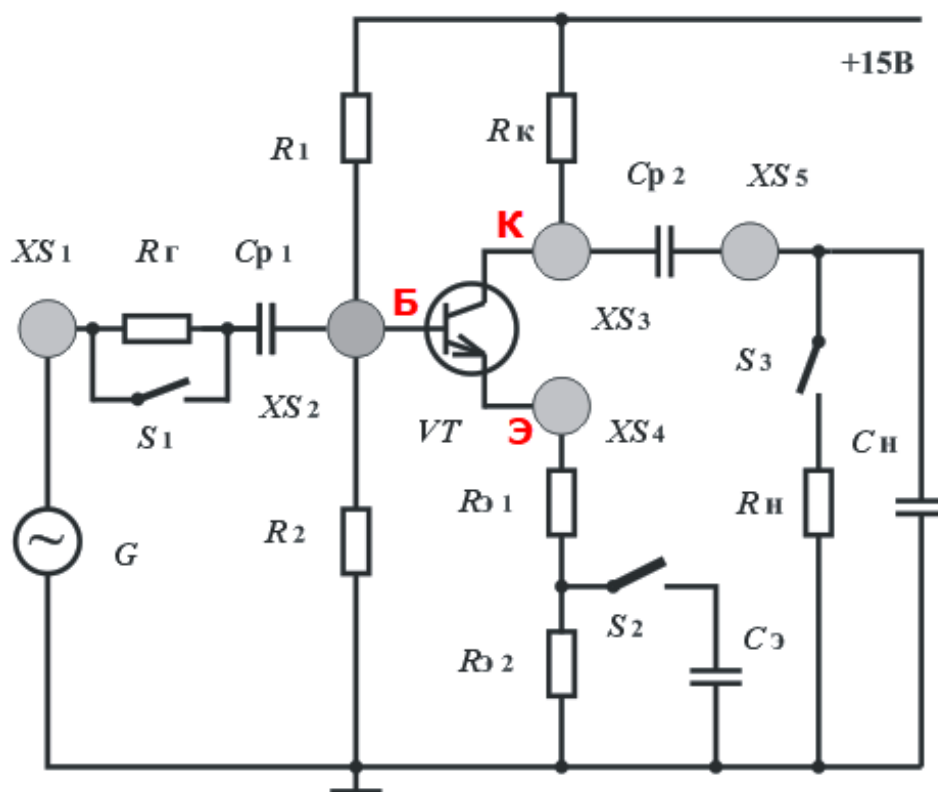


Рис. 2. Схема усилительного каскада с общим эмиттером

$R_1=10 \text{ кОм}$ ,  $R_2=2.4 \text{ кОм}$ ,  $R_k=390 \text{ Ом}$ ,  $R_{э1}=51 \text{ Ом}$ ,  $R_{э2}=51 \text{ Ом}$ ,  $R_r=1 \text{ кОм}$ ,  
 $R_n=1 \text{ кОм}$ ,  $C_{p1}=2.2 \text{ мкФ}$ ,  $C_{p2}=2.2 \text{ мкФ}$ ,  $C_э=47 \text{ мкФ}$ ,  $C_n=10 \text{ нФ}$ ,  
 $VT - \text{KT315Б}$

### 3. Подготовка к работе

1. Изучить рекомендуемую литературу и описание лабораторной работы.
2. Разработать схемы для получения семейства входных и выходных характеристик транзистора. В качестве измерительных приборов использовать миллиамперметр и вольтметр.
3. Показать, как по вольтамперным характеристикам транзистора определить  $h$ -параметры ( $h_{11э}$  и  $h_{21э}$ ) его малосигнальной схемы замещения.
4. В лабораторном макете усилительного каскада ОЭ (рис. 2) можно измерить только потенциалы на выводах транзистора  $\varphi_э$ ,  $\varphi_к$  и  $\varphi_б$ . Написать формулы, с помощью которых по этим данным определить рабочий режим транзистора ( $U_{кэ А}$ ,  $I_{к А}$ ,  $U_{кэ А}$ ).
5. Для схемы усилительного каскада ОЭ (рис. 2) и указанных параметров элементов схемы рассчитать рабочий режим транзистора ( $I_{к А}$  и  $U_{кэ А}$ ). При расчете считать, что коэффициент передачи тока базы в коллектор  $\beta=120$ .

#### 4. Рабочее задание

1. Включить осциллограф GDS-2062 и рабочую панель стенда. **Генератор GFG-3015 на протяжении всей работы не включать.**
2. Снять семейство входных характеристик биполярного транзистора  $U_{бэ}(I_б)$  при фиксированных значениях напряжения  $U_{кэ}=0$  В и  $U_{кэ}=5$  В.
3. Снять семейство выходных характеристик  $I_к(U_{кэ})$  при фиксированных значениях тока базы  $I_б = 100$  мкА, 150 мкА, 200 мкА, 250 мкА и 300 мкА.
4. Для схемы однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером (рис. 2) с помощью осциллографа рабочий режим транзистора. Для этого измерить потенциалы на выводах транзистора. По результатам измерений рассчитать напряжения  $U_{бэ А}$  и  $U_{кэ А}$  и ток  $I_к А$ . Записать полученные результаты в таблицу. Сравнить с расчетом (см. п. 5 подготовки к работе).
5. Нанести найденную рабочую точку на выходные характеристики транзистора. В рабочей точке по характеристикам определить коэффициент усиления транзистора  $h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}$ .
6. Зная значения тока базы для соседних к рабочей точке выходных характеристик, перенести рабочую точку на входную характеристику транзистора. В рабочей точке определить входное сопротивление транзистора  $h_{11э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б}$ .

### 5. Методические указания для подготовки

Рабочий режим схемы усилительного каскада ОЭ (рис.2) на биполярном транзисторе можно определить из следующей системы уравнений:

$$U_{\text{пит}} = I_{\text{к}} R_{\text{к}} + U_{\text{кэ}} + I_{\text{э}} R_{\text{э}},$$

$$E_{\text{см}} = I_{\text{б}} R_{\text{б}} + U_{\text{бэ}} + I_{\text{э}} R_{\text{э}},$$

здесь  $E_{\text{см}}$  и  $R_{\text{б}}$  — эквивалентный источник питания и эквивалентное сопротивление в цепи базы, которые соответственно равны:

$$E_{\text{см}} = U_{\text{пит}} R_2 / (R_1 + R_2),$$

$$R_{\text{б}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

В систему уравнений необходимо включить уравнения, описывающие работу транзистора в активном режиме:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}},$$

$$I_{\text{к}} = \beta I_{\text{б}},$$

$$U_{\text{бэ}} \approx 0.7 \text{ В.}$$

Последнее равенство учитывает, что в активном режиме напряжение  $U_{\text{бэ}}$  существенно не меняется (входная вольтамперная характеристика поднимается круто).

## 6. Методические указания для рабочего задания

1. Чтобы получить на экране осциллографа входную характеристику транзистора (п. 2 рабочего задания), необходимо:
  - I-ый канал осциллографа подключить к гнезду XS2, а II-ой канал – к гнезду XS1;
  - тумблер «Характеристика» перевести в положение «Входная»;
  - переключатель « $I_{\phi}$ » – в положение « $\sim$ »;
  - переключатель « $U_{кз}$ » установить в положение «0 В» или «+5 В»;
  - нажать на осциллографе кнопку «Автоустановка» и получить на экране устойчивые осциллограммы напряжения;
  - перевести осциллограф в режим «X-Y», последовательно нажав кнопки «Меню горизонт» и «X-Y»;
  - установить масштабные коэффициенты осциллографа такими, чтобы изображение ВАХ занимало почти весь экран;
  - определить центр координат ВАХ, поочередно заземляя входы усилителей вертикального отклонения (кнопки «Кан1» или «Кан2» и «F1»). Начало координат надо установить в ближайшем перекрестии экранной сетки так, чтобы характеристика была отражена на экране осциллографа полностью;
  - включить режим «Накопление» (кнопка «Дисплей») и получить семейство входных характеристик.
2. С помощью программы **FreeWave** получить характеристики на экране осциллографа, сохранить на своей флешке. Затем надо обработать характеристики, нарисовав и подписав оси, указав масштабы по осям, (для вертикальной оси надо учесть, что преобразователь  $U_1$  (рис. 1) имеет коэффициент преобразования  $R_{пб} = 10 \text{ кОм}$ ).
3. Для вывода на экран осциллографа семейства выходных характеристик (п. 3 рабочего задания), необходимо:
  - I-ый канал осциллографа подключить к гнезду XS3, а II-ой канал – к гнезду XS4;
  - тумблер «Характеристика» перевести в положение «Выходная»;
  - переключатель « $U_{кз}$ » установить в положение в положение « $\sim$ »;
  - установить переключатель « $I_{\phi}$ » в положение «300мА» (максимальное значение тока, при котором характеристика отражена на экране полностью);

- дальнейшие действия аналогичны написанным в п. 1.
- 4. С помощью программы **FreeWave** получить характеристики на экране осциллографа и сохранить их на своей флешке. Затем надо обработать характеристики, нарисовав и подписав оси, указав масштабы по осям (для вертикальной оси надо учесть, что преобразователь  $U_2$  (рис. 1) имеет коэффициент преобразования  $R_{\text{пк}} = 100 \text{ Ом}$ ).
- 5.  $h$ -параметры транзистора в рабочей точке для режима малого сигнала можно определить по приращениям на линейном участке характеристик или построив в рабочей точке касательную (если участок нелинейный):
  - входное сопротивление транзистора  $h_{11\text{э}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}}$  по входной рабочей характеристике транзистора;
  - коэффициент усиления транзистора  $h_{21\text{э}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}$  по выходным характеристикам транзистора.

#### Параметры транзисторов серии КТ315.

Транзистор	Тип	$U_{\text{кэ м}}$ , В	$I_{\text{к max}}$ , мА	$P_{\text{max (т)}}$ , мВт	$h_{21\text{э}}$	$I_{\text{кб0}}$ , мкА	$f_{\text{гр}}$ , МГц	$U_{\text{кэ н}}$ , В
КТ315А	n-p-n	20	100	150	20-90	1	250	<0.4
КТ315Б		15	100	150	50-250	1	250	<0.4
КТ315В		30	100	150	20-90	1	250	<0.4
КТ315Г		25	100	150	50-250	1	250	<0.4

$U_{\text{кэ м}}$  – максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер, коллектор-эмиттер,

$I_{\text{к max}}$  – максимально допустимый постоянный ток коллектора,

$P_{\text{max т}}$  – максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора с теплоотводом,

$h_{21\text{э}}$  – статический коэффициент передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером,

$I_{\text{кб0}}$  – обратный ток коллектора,

$f_{\text{гр}}$  – граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером,

$U_{\text{кэ н}}$  – напряжение насыщения коллектор-эмиттер.

## **7. Литература**

1. **Кобяк А.Т., Новикова Н.Р., Паротькин В.И., Титов А.А.** Применение системы Design Lab 8.0 в курсах ТОЭ и электроники: Метод. пособие. –М.: Издательство МЭИ, 2001. –128с. (УДК 621.3 П–764).
2. **Электротехника и электроника.** Учебник для вузов. - В 3-х кн. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники/ Г.П. Гаев, В.Г. Герасимов, О.М. Князьков и др.; Под ред. проф. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998. (УДК 621.3; Э45).
3. **Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.** Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов /Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. –768с.: ил. (О-60 УДК 621.396.6).
4. **Степаненко И.П.** Основы микроэлектроники: Учебное пособие для ВУЗов. / 2-ое изд. -М.: Лаборатория Базовых Знаний. 2001. - 488с.