

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ТУ

 Т.Р. Газизов

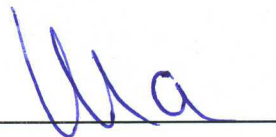
« 8 » 06 2018 г.

Руководство к лабораторной работе

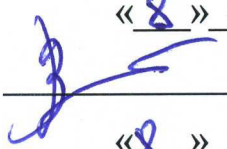
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

по дисциплинам: «Физические основы электроники», «Электроника»,
«Физические основы микроэлектроники», «Основы электроники» для
студентов направлений подготовки: 11.03.01 (Радиотехника), 11.03.02
(Инфокоммуникационные технологии и системы связи).

Разработчики:

 В.Д. Шалимов

« 8 » 06 2018 г.

 А.М. Заболоцкий

« 8 » 06 2018 г.

Томск 2018

Введение

Цель работы – исследование статических вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером, оценка статических параметров транзисторов.

1. Общие положения

1.1 Разновидности транзисторов

В настоящее время транзисторы и созданные на их основе линейные и цифровые интегральные схемы получили самое широкое распространение и стали основой современной радиоэлектроники. Отечественная промышленность выпускает биполярные транзисторы *n-p-n* и *p-n-p* типов, представляющие собой трехэлектродные двухпереходные полупроводниковые приборы, которые могут работать в трех схемах включения: общая база (ОБ), общий эмиттер (ОЭ), общий коллектор (ОК), причем в каждой из схем включения в трех режимах работы.

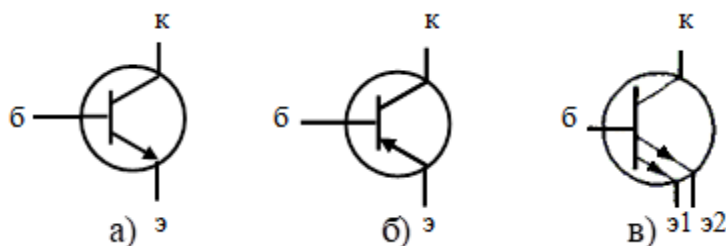


Рис. 1.1 Обозначения биполярных транзисторов: *n-p-n* (а) и *p-n-p* (б) типов, многоэмиттерный (в)

1.2 Статические вольт-амперные характеристики биполярных транзисторов в схеме с ОБ

Статические вольтамперные характеристики идеализированных биполярных транзисторов в схеме с общей базой описываются формулами Эберса – Молла

$$I_{\text{Э}} = I'_{\text{Э0}} \left(e^{U_{\text{ЭБ}}/\varphi_T} - 1 \right) - \alpha_1 I'_{\text{К0}} \left(e^{U_{\text{КБ}}/\varphi_T} - 1 \right), \quad (1.1)$$

$$I_{\text{К}} = \alpha_N I'_{\text{Э0}} \left(e^{U_{\text{ЭБ}}/\varphi_T} - 1 \right) - I'_{\text{К0}} \left(e^{U_{\text{КБ}}/\varphi_T} - 1 \right), \quad (1.2)$$

$$I_{\text{Б}} = I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}$$

где $I_{\text{К}}$, $I_{\text{Э}}$ – токи коллектора и эмиттера; $I'_{\text{Э0}}$, $I'_{\text{К0}}$ – тепловые токи коллекторного и эмиттерного переходов, измеренные при $U_{\text{ЭБ}} = 0$ и $U_{\text{КБ}} = 0$ соответственно; α_1 и α_N – коэффициенты передачи коллекторного и эмиттерного токов.

Так как задать прямое напряжение на эмиттерном *p-n* переходе трудно, целесообразно считать заданной величиной эмиттерный ток, а не эмиттерное напряжение.

Решив уравнение (2.2) относительно $I_{\text{К}}$, получим для схемы ОБ:

$$I_K = \alpha_N I_{\mathcal{E}} - I_{K0} (e^{U_{KB}/\varphi_T} - 1), \quad (1.3)$$

полагая, что $\alpha_N I_{\mathcal{E}0} = \alpha_I I_{K0}$ и $\alpha_N \approx \alpha_I$

Это уравнение описывает выходные характеристики транзистора $I_K = f(U_{KB})$ с параметром $I_{\mathcal{E}}$ (рис. 1.2, а).

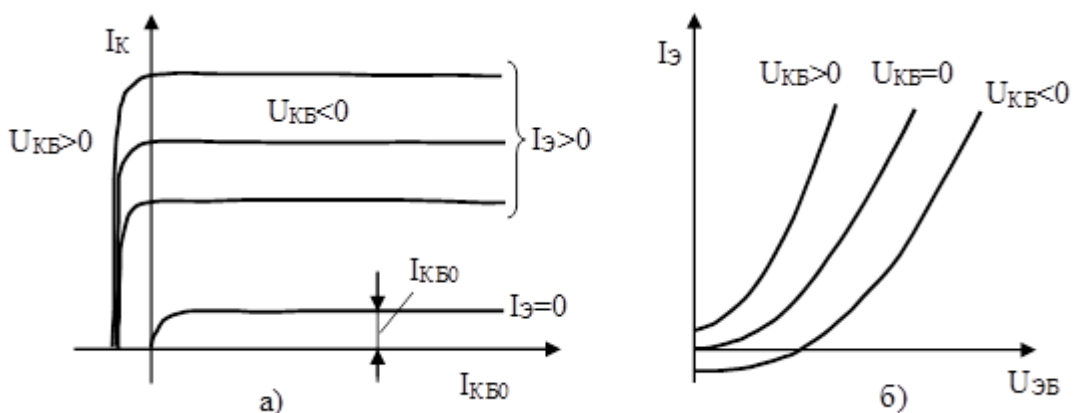


Рис. 1.2 – Статические характеристики идеализированного транзистора, включенного по схеме с ОБ: а – выходные; б – входные

Уравнение (1.4), решенное относительно $U_{ЭБ}$, дает выражение, характеризующее идеализированные входные характеристики транзистора $U_{ЭБ} = f(I_{\mathcal{E}})$:

$$U_{ЭБ} = \varphi_T \ln \left[I_{\mathcal{E}} / I'_{\mathcal{E}0} + 1 + \alpha_N (e^{U_{KB}/\varphi_T} - 1) \right], \quad (1.5)$$

Входные характеристики транзистора показаны на рис. 1.2б.

На (рис. 1.2, а) ясно видны две области: активного режима ($U_{KB} > 0$) и режима насыщения ($U_{KB} < 0$).

Для активного режима, когда $(1 - \alpha_N) \approx 0$, $U_{KB} \gg \varphi_T$ и ($U_{KB} < 0$), выражения (1.3) и (1.5) можно упростить и записать в виде:

$$I_K = \alpha I_{\mathcal{E}} + I_{K0}, \quad (1.6)$$

$$U_{ЭБ} \approx \varphi_T \ln(I_{\mathcal{E}} / I'_{\mathcal{E}0}), \quad (1.7)$$

1.3 Реальные статические вольт-амперные характеристики биполярных транзисторов в схеме с ОБ

В формулах Молла – Эберса не учитывается целый ряд факторов, таких, как эффект Эрли (модуляция толщины базы при изменении коллекторного напряжения), пробой перехода, зависимость α от тока и др. Реальные коллекторные характеристики показаны на рис. 1.3. Кривые коллекторного семейства имеют конечный, хотя и очень небольшой, наклон, который в области, близкой к пробую, резко увеличивается. Расстояние между кривыми немного уменьшается при больших токах из-за уменьшения α .

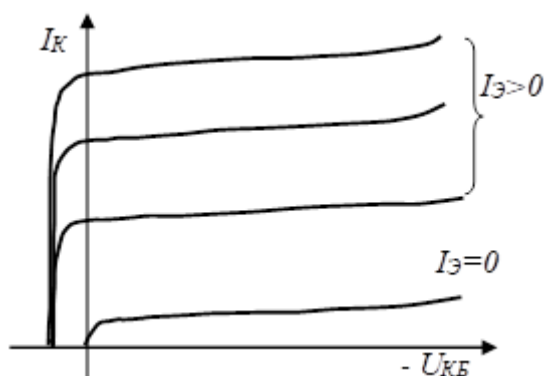


Рис. 1.3 – Реальные вольтамперные характеристики биполярного транзистора в схеме с ОБ

В активном режиме (1-й квадрант), усредняя нелинейное сопротивление $r_{к}$, можно характеризовать коллекторное семейство в схеме с ОБ достаточно строгим соотношением:

$$I_K = \alpha I_{Э} + I_{КБ0} + (U_{КЭ} / r_{кдиф}), \quad (1.8)$$

где $r_{кдиф} = \frac{\partial U_{КЭ}}{\partial I_K} |_{I_{Э}=const}$ - дифференциальное сопротивление коллекторного $p-n$ -перехода.

1.4 Статические вольт-амперные характеристики биполярных транзисторов при включении с общим эмиттером

При включении транзисторов с общим эмиттером входным током является ток базы, который и принят за параметр семейства выходных характеристик рис. 1.4.

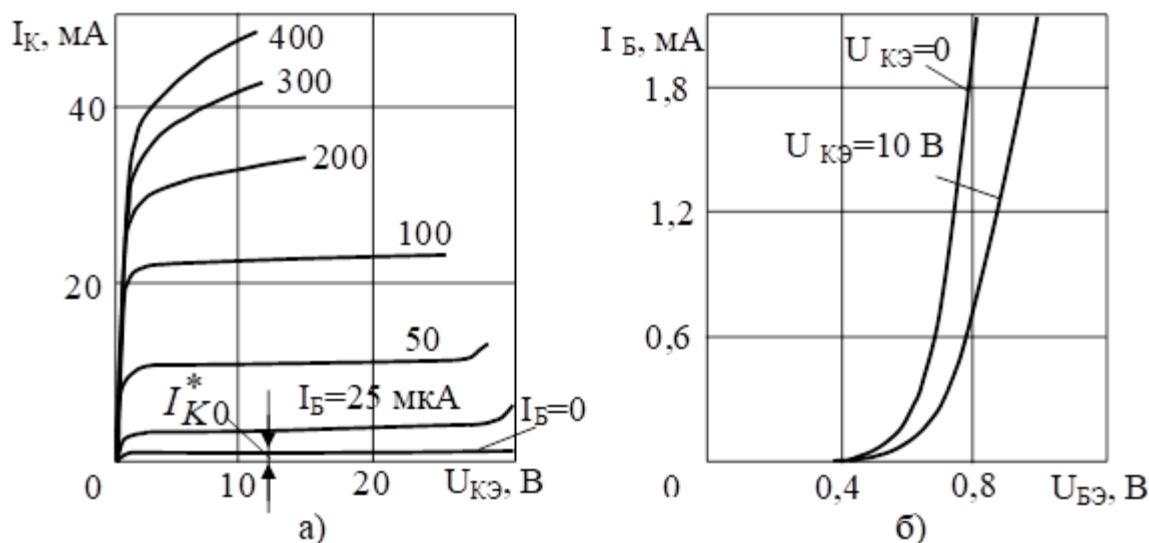


Рис. 1.4 – Выходные (а) и входные (б) характеристики транзистора для схемы с ОЭ

$$I_K = \beta I_B + I_{К0}^* + U_{КЭ} / r_{кдиф}^*, \quad (1.9)$$

где $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$; $I_{К0}^* = I_{КБ0} (1 + \beta)$; $r_{кдиф}^* = r_{кдиф} / (1 + \beta)$; $I_{К0}^*$ - обратный ток коллекторного перехода при $I_B = 0$.

Семейства входных и выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ, приведены на рис. 1.4.

Следует обратить внимание на то, что в схеме с ОЭ влияние тока $I_{КБ0}$ и сопротивления $r_{к\text{ диф}}$ на коллекторный ток увеличивается в $1+\beta$ раз по сравнению со схемой с ОБ.

Коллекторный ток $I_K = I_{КБ0}$ получается, если $I_B = -I_{КБ0}$. Следовательно, в диапазоне от $I_B = 0$ до $I_B = -I_{КБ0}$ транзистор управляется «отрицательным» входным током.

2. Описание лабораторного макета

Для исследования статических вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером используется схема, изображенная в правой части лабораторного макета рис. 2.1. С помощью переключателя П5б выбирается исследуемый транзистор. С помощью переключателя П3, меняя сопротивление резистора R_B (грубо), и переменного резистора $R_{Б\text{ под}}$ (плавно) можно установить ток базы I_B при работе с биполярными транзисторами. Измерение тока базы производится стрелочным миллиамперметром, включаемым в базовую цепь переключателем П7. Чувствительность прибора устанавливается переключателем П6.

При работе с полевым транзистором с помощью переключателей П3 и П8 (грубо) и переменного резистора $R_{Б\text{ под}}$ (плавно) можно установить управляющее напряжение на затворе транзистора.

Изменять величину коллекторного напряжения можно переключателем П4, меняя величину резистора ($R_{К1} \div R_{К10}$) в цепи коллектора. Напряжение на коллекторе транзистора измеряется осциллографом, а ток, протекающий через транзистор, измеряется стрелочным миллиамперметром, включаемым в коллекторную цепь переключателем П7.

Перечень биполярных транзисторов, исследуемых при проведении лабораторной работы, приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Наименование	T1	T2
Тип	МП16	МП104

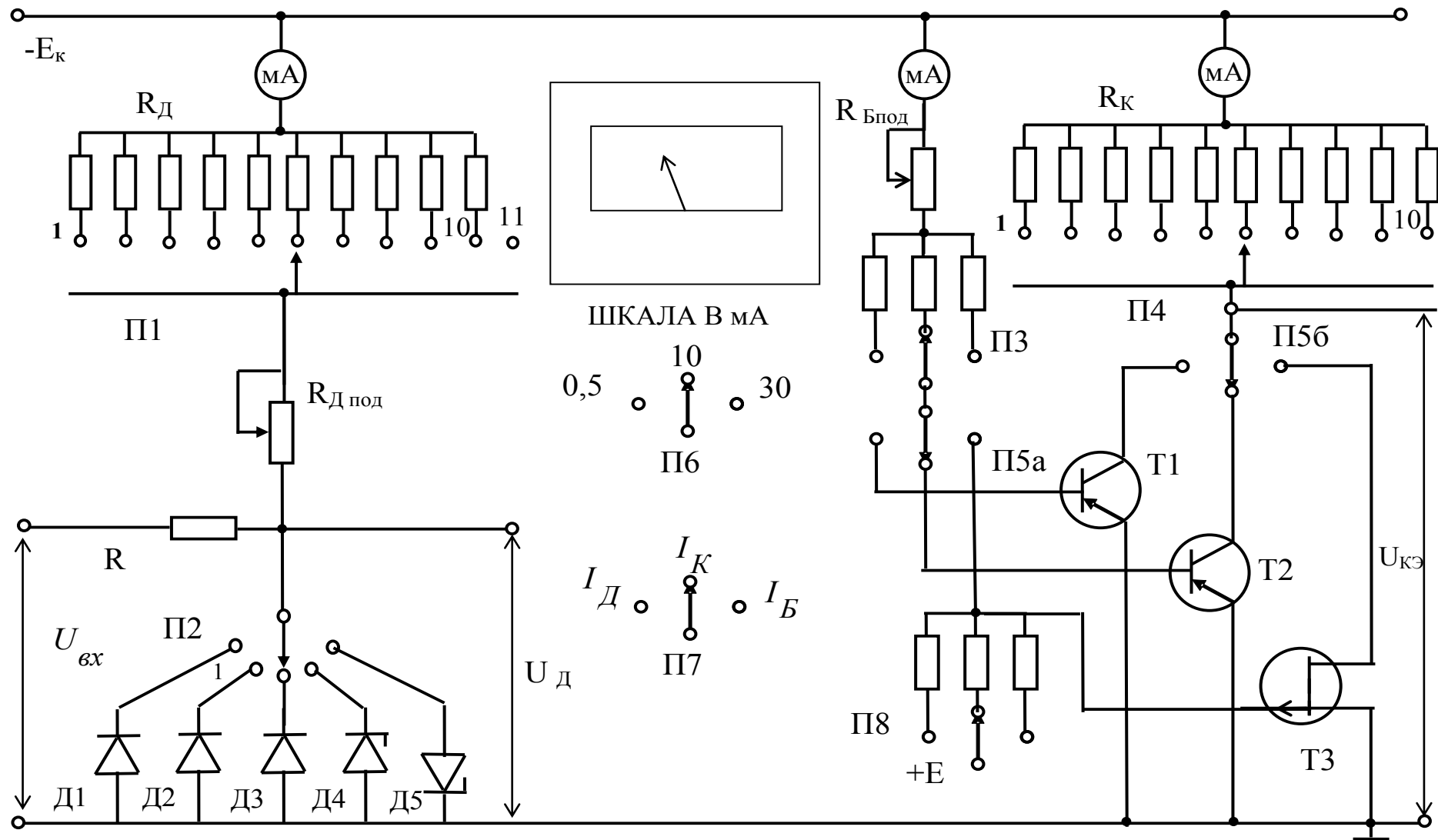


Рис. 2.1 – Лицевая панель макета для исследования диодов и транзисторов

4. Порядок выполнения работы

Для исследования выходных вольтамперных характеристик транзисторов в схеме с общим эмиттером необходимо:

- 1) Включить источник питания макета;
- 2) Переключатель П5б установить в положение 1, подключив транзистор Т1;
- 3) Переключатель П7 установить в положение ток базы $I_{\bar{b}}$;
- 4) Переключатель П6 установить в положение 0,5 мА;
- 5) С помощью переключателя П3 (грубо) и переменного резистора $R_{\bar{b} \text{ под}}$ (плавно) установить ток базы $I_{\bar{b}}$ равным 50 мкА;
- 6) Переключатель П6 установить в положение 10 мА, переключатель П7 в положение ток коллектора $I_{\bar{K}}$;
- 7) Вход осциллографа присоединить к коллектору исследуемого транзистора для измерения постоянного напряжения на коллекторе $U_{\bar{K}\bar{Э}}$;
- 8) Изменяя переключателем П4 резисторы $R_{\bar{K}1} \div R_{\bar{K}10}$ и тем самым величину коллекторного напряжения, снять зависимость $I_{\bar{K}} = f(U_{\bar{K}\bar{Э}})$ при токе базы $I_{\bar{b}}$ равном 50 мкА. Результаты измерений занесите в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Примечание
$I_{\bar{K}}$, мА											$I_{\bar{b}}=50$ мкА
$U_{\bar{K}\bar{Э}}$, В											
$I_{\bar{K}}$, мА											$I_{\bar{b}}=100$ мкА
$U_{\bar{K}\bar{Э}}$, В											
$I_{\bar{K}}$, мА											$I_{\bar{b}}=150$ мкА
$U_{\bar{K}\bar{Э}}$, В											

9) Снять зависимости $I_{\bar{K}} = f(U_{\bar{K}\bar{Э}})$ при токе базы $I_{\bar{b}}$ равном 100 и 150 мкА. Результаты измерений занесите в таблицу 3.1.

10) Переключатель П5б установить в положение 2, подключив транзистор Т2 и повторить пункты 3 – 9 для транзистора Т2. Результаты измерений занесите в таблицу 2, аналогичную таблице 1.

11) Выключить источник питания макета.

12) Построить выходные вольт-амперные характеристики транзисторов Т1 и Т2. $I_{\bar{K}} = f(U_{\bar{K}\bar{Э}})$, при $I_{\bar{b}} = const$.

13) По построенным графикам для одного из транзисторов определить дифференциальную и интегральную величины коэффициента усиления тока базы β при напряжении $U_{КЭ} = 5$ В.

14) Построить зависимость дифференциального сопротивления коллекторного p - n -перехода $r_{\kappa}^* = f(U_{КЭ})$ при токе базы транзистора Т1 $I_B = 100$ мкА, где дифференциальное сопротивление $r_{\kappa \text{ диф}}^* = \frac{\partial U_{КЭ}}{\partial I_{\kappa}}$ при $I_B = \text{const}$.

15) Оформить отчет и сделать выводы по работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ицкович В.М. Электроника. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 360 с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.- 488 с.