

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Кафедра АТМ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ЭЛЕКТРОНИКА

Вариант № _____

Выполнил: студент группы _____ / _____ /

Проверил канд. техн. наук, доцент _____ / А. И. Ишемгужин /

Принял _____ / А. И. Ишемгужин /

Уфа 2024

Лабораторная работа № 1

БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕЖИМ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Цель работы: исследование характеристик транзистора и изучение методов анализа схем, содержащих транзистор, получение навыков моделирования и исследования электронных схем с помощью программы Electronics Workbench.

Краткие сведения из теории

Статический коэффициент передачи тока определяется как отношение тока коллектора I_K к току базы I_B :

$$b_{CT} = \frac{I_K}{I_B}.$$

Коэффициент передачи тока β на переменном токе определяется отношением приращения ΔI_K коллекторного тока к приращению ΔI_B базового тока:

$$b = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}.$$

Дифференциальное входное сопротивление $r_{вх}$ транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ) определяется при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению ΔI_B тока базы:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{Б2} - I_{Б1}}.$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с ОЭ через параметры транзистора определяется выражением:

$$r_{BX} = (r_B + (1 + b)(r_{Эдиф} + R_{Э1})),$$

где r_B – распределенное сопротивление базовой области полупроводника, $r_{Э}$ – дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, определяемое из выражения: $r_{Э} = 25/I_{Э}$, где $I_{Э}$ – постоянный ток эмиттера в миллиамперах, $R_{Э1}$ – значение сопротивления в цепи эмиттера, к которому параллельно не подключен конденсатор.

Порядок выполнения работы

1. Построение статических характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ

1.1. Составить схему для снятия статических характеристик транзистора с общим эмиттером (ОЭ) (рис.1).

1.2. Снять **входные характеристики** транзистора $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ для значений $U_{КЭ} = 0 \text{ В}, 5 \text{ В}, 10 \text{ В}$. Для того чтобы обеспечить равенство $U_{КЭ}$ нулю, необходимо отключить проводник от амперметра и подсоединить его к общему прово-

Задавая ряд значений $U_{кз}$, в соответствии с таблицей 2 измерять ток I_K . В процессе эксперимента необходимо следить за постоянством тока базы. Для обеспечения $I_б = 0$ разорвем цепь питания базы. Ток коллектора при этом обозначается как $I_{кэ0}$. По полученным данным необходимо построить семейство выходных вольтамперных характеристик биполярного транзистора.

2. Расчет схемы усилителя с ОЭ на постоянном токе

2.1. Рассчитать и выбрать номинальные значения элементов, усилителя с ОЭ на постоянном токе (рис.2). Исходные данные находятся в пределах:

$$E_K = (10 - 20) \text{ В}; \quad I_{K\max} = (5 - 15) \text{ мА}; \quad R_H = (5 - 10) \text{ кОм};$$

$$R_r = (500 - 1000) \text{ Ом}, \quad f_H = (20 - 100) \text{ Гц}.$$

Конкретные значения определяются по номеру варианта.

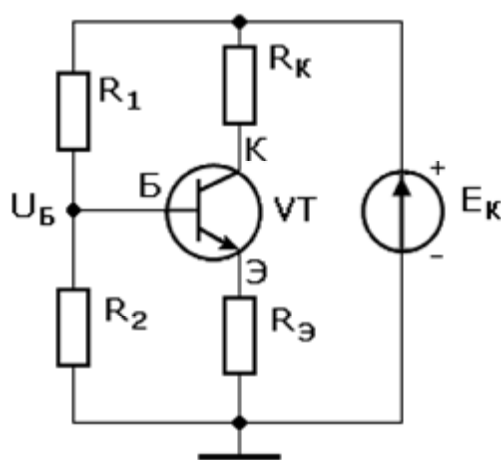


Рис.2. Схема усилителя на постоянном токе

Последовательность расчета следующая. Отметить на осях координат семейства выходных характеристик (рис.3) заданные значения E_K , $I_{K\max}$, соединить их прямой.

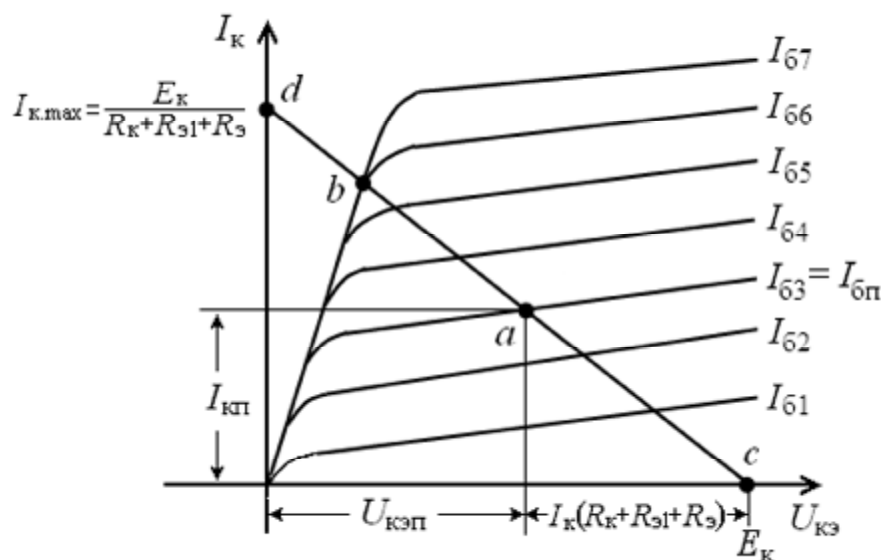


Рис. 3. Построение нагрузочной прямой по постоянному току.

Эта прямая является **нагрузочной прямой по постоянному току**, угол наклона которой определяет сумму значений резисторов R_K и $(R_э + R_{э1})$:

$$R_K + R_э + R_{э1} = E_K / I_{K\max}.$$

На нагрузочной прямой выделяем рабочий участок bc и примерно на середине этого участка отмечаем точку покоя a и находим ее координаты $U_{кЭП}, I_{кП}, I_{БП}$.

По входной характеристике по известному току $I_{БП}$ найдем $U_{БЭП}$.

Далее рассчитываем значения элементов $R_э, R_1, R_2$, чтобы обеспечить выбранный режим по постоянному току.

Сначала находим: $U_{ЭП} = 0.15 \cdot E_K$, затем значение сопротивления резистора

$R_э + R_{э1}$:

$$R_э + R_{э1} = U_{ЭП} / I_{ЭП} \gg U_{ЭП} / I_{кП}.$$

Задаемся током через R_2 :

$$I_{R2} = 5 \cdot I_{БП}.$$

Находим значение R_2 :

$$R_2 = (U_{БЭП} + U_{ЭП}) / I_{R2}.$$

Определяем значение R_1 :

$$R_1 = (E_K - U_{БЭП} - U_{ЭП}) / (I_{R2} + I_{БП}).$$

Определяем значение R_K :

$$R_K = E_K / I_{Kmax} - (R_э + R_{э1}).$$

Резистор $R_{э1}$ обычно выбирают равным 100 Ом.

Все резисторы выбираются из ряда номинальных значений по ряду E24: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91.

РАСЧЕТЫ И ПОСТРОЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПОЛНЯЮТСЯ В MATHCAD.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПРОВЕРЯЮТСЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ ELECTRONICS WORKBENCH.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

1. Схему для снятия статических характеристик биполярного транзистора;
2. Таблицы с полученными результатами;
3. Входные и выходные статические характеристики транзистора;
4. Расчет схемы усилителя с на постоянном токе;
5. Результаты экспериментальной проверки с помощью программы Electronics Workbench.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните структуру и принцип действия биполярного транзистора.
2. Дайте определение входных и выходных вольт – амперных характеристик.
3. Сопоставьте входные характеристики транзистора с физическими процессами, протекающими в нем. Дайте объяснение виду входных характеристик.
4. Выделите на выходных характеристиках характерные участки, объясните их вид, связав с физическими процессами, протекающими в транзисторе.

5. Какой режим работы транзистора называют режимом покоя? Как графически определить координаты точки покоя?

Варианты к лабораторным работам №1 и №2 – в таблице 3.

Таблица 3

$V_n := \begin{pmatrix} E_{K_n} \\ I_{K_n} \\ R_{L_n} \\ R_{i_n} \\ f_n \\ V_{T_n} \\ e_n \end{pmatrix}$	$V_1 = \begin{pmatrix} 20 \\ 15 \\ 10 \\ 600 \\ 90 \\ 5 \end{pmatrix}$	$V_2 = \begin{pmatrix} 18 \\ 13 \\ 8 \\ 500 \\ 100 \\ 4 \end{pmatrix}$	$V_3 = \begin{pmatrix} 15 \\ 10 \\ 9 \\ 900 \\ 50 \\ 2 \end{pmatrix}$	$V_4 = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 6 \\ 500 \\ 60 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_5 = \begin{pmatrix} 20 \\ 13 \\ 10 \\ 700 \\ 70 \\ 2 \end{pmatrix}$
	$V_6 = \begin{pmatrix} 15 \\ 13 \\ 9 \\ 1 \times 10^3 \\ 90 \\ 2 \end{pmatrix}$	$V_7 = \begin{pmatrix} 18 \\ 12 \\ 6 \\ 600 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_8 = \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 9 \\ 800 \\ 60 \\ 2 \end{pmatrix}$	$V_9 = \begin{pmatrix} 17 \\ 10 \\ 8 \\ 700 \\ 70 \\ 4 \end{pmatrix}$	$V_{10} = \begin{pmatrix} 16 \\ 12 \\ 10 \\ 500 \\ 60 \\ 4 \end{pmatrix}$
	$V_{11} = \begin{pmatrix} 19 \\ 10 \\ 5 \\ 900 \\ 100 \\ 1 \end{pmatrix}$	$V_{12} = \begin{pmatrix} 17 \\ 10 \\ 9 \\ 500 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_{13} = \begin{pmatrix} 16 \\ 10 \\ 7 \\ 900 \\ 100 \\ 5 \end{pmatrix}$	$V_{14} = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 5 \\ 800 \\ 60 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_{15} = \begin{pmatrix} 15 \\ 13 \\ 6 \\ 900 \\ 90 \\ 1 \end{pmatrix}$
	$V_{16} = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 7 \\ 900 \\ 60 \\ 4 \end{pmatrix}$	$V_{17} = \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 7 \\ 900 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_{18} = \begin{pmatrix} 19 \\ 12 \\ 7 \\ 500 \\ 50 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_{19} = \begin{pmatrix} 18 \\ 10 \\ 8 \\ 800 \\ 90 \\ 4 \end{pmatrix}$	$V_{20} = \begin{pmatrix} 20 \\ 13 \\ 6 \\ 500 \\ 90 \\ 3 \end{pmatrix}$
	$V_{21} = \begin{pmatrix} 19 \\ 10 \\ 10 \\ 900 \\ 100 \\ 5 \end{pmatrix}$	$V_{22} = \begin{pmatrix} 15 \\ 14 \\ 5 \\ 900 \\ 100 \\ 2 \end{pmatrix}$	$V_{23} = \begin{pmatrix} 19 \\ 10 \\ 8 \\ 500 \\ 50 \\ 1 \end{pmatrix}$	$V_{24} = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 7 \\ 800 \\ 100 \\ 3 \end{pmatrix}$	$V_{25} = \begin{pmatrix} 16 \\ 13 \\ 5 \\ 700 \\ 80 \\ 2 \end{pmatrix}$

$$V_{26} = \begin{pmatrix} 15 \\ 14 \\ 7 \\ 500 \\ 50 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{27} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 10 \\ 900 \\ 60 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{28} = \begin{pmatrix} 16 \\ 15 \\ 5 \\ 700 \\ 70 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{29} = \begin{pmatrix} 16 \\ 13 \\ 9 \\ 1 \times 10^3 \\ 80 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{30} = \begin{pmatrix} 19 \\ 14 \\ 9 \\ 900 \\ 80 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{31} = \begin{pmatrix} 18 \\ 11 \\ 9 \\ 500 \\ 80 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{32} = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 6 \\ 800 \\ 70 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{33} = \begin{pmatrix} 19 \\ 10 \\ 9 \\ 600 \\ 90 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{34} = \begin{pmatrix} 16 \\ 14 \\ 6 \\ 600 \\ 90 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{35} = \begin{pmatrix} 15 \\ 11 \\ 5 \\ 500 \\ 70 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{36} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 7 \\ 1 \times 10^3 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{37} = \begin{pmatrix} 16 \\ 13 \\ 10 \\ 500 \\ 70 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{38} = \begin{pmatrix} 19 \\ 11 \\ 10 \\ 800 \\ 100 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{39} = \begin{pmatrix} 17 \\ 14 \\ 5 \\ 700 \\ 90 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{40} = \begin{pmatrix} 17 \\ 10 \\ 9 \\ 900 \\ 50 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{41} = \begin{pmatrix} 19 \\ 13 \\ 9 \\ 500 \\ 90 \\ 5 \end{pmatrix} \quad V_{42} = \begin{pmatrix} 18 \\ 15 \\ 9 \\ 700 \\ 90 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{43} = \begin{pmatrix} 19 \\ 11 \\ 8 \\ 700 \\ 60 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{44} = \begin{pmatrix} 16 \\ 14 \\ 8 \\ 800 \\ 50 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{45} = \begin{pmatrix} 16 \\ 10 \\ 10 \\ 500 \\ 100 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$V_{46} = \begin{pmatrix} 19 \\ 15 \\ 7 \\ 800 \\ 50 \\ 5 \end{pmatrix} \quad V_{47} = \begin{pmatrix} 19 \\ 13 \\ 8 \\ 500 \\ 50 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{48} = \begin{pmatrix} 16 \\ 15 \\ 10 \\ 900 \\ 50 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{49} = \begin{pmatrix} 17 \\ 11 \\ 7 \\ 700 \\ 80 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{50} = \begin{pmatrix} 19 \\ 11 \\ 6 \\ 900 \\ 50 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$V_{51} = \begin{pmatrix} 18 \\ 11 \\ 6 \\ 600 \\ 50 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{52} = \begin{pmatrix} 17 \\ 15 \\ 7 \\ 600 \\ 60 \\ 5 \end{pmatrix} \quad V_{53} = \begin{pmatrix} 16 \\ 14 \\ 7 \\ 900 \\ 50 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{54} = \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 8 \\ 800 \\ 70 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{55} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 6 \\ 500 \\ 90 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{56} = \begin{pmatrix} 18 \\ 12 \\ 5 \\ 700 \\ 80 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{57} = \begin{pmatrix} 16 \\ 12 \\ 6 \\ 500 \\ 70 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{58} = \begin{pmatrix} 17 \\ 11 \\ 10 \\ 600 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{59} = \begin{pmatrix} 16 \\ 10 \\ 6 \\ 600 \\ 50 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{60} = \begin{pmatrix} 15 \\ 13 \\ 7 \\ 600 \\ 60 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$V_{61} = \begin{pmatrix} 16 \\ 14 \\ 6 \\ 800 \\ 50 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{62} = \begin{pmatrix} 20 \\ 13 \\ 8 \\ 700 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{63} = \begin{pmatrix} 17 \\ 10 \\ 6 \\ 600 \\ 60 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{64} = \begin{pmatrix} 18 \\ 10 \\ 8 \\ 500 \\ 60 \\ 5 \end{pmatrix} \quad V_{65} = \begin{pmatrix} 18 \\ 13 \\ 7 \\ 900 \\ 50 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$V_{66} = \begin{pmatrix} 16 \\ 10 \\ 7 \\ 800 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{67} = \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 9 \\ 700 \\ 80 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{68} = \begin{pmatrix} 19 \\ 11 \\ 6 \\ 700 \\ 50 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{69} = \begin{pmatrix} 19 \\ 15 \\ 5 \\ 900 \\ 60 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{70} = \begin{pmatrix} 17 \\ 10 \\ 9 \\ 700 \\ 100 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$$V_{71} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 6 \\ 800 \\ 90 \\ 5 \end{pmatrix} \quad V_{72} = \begin{pmatrix} 18 \\ 15 \\ 9 \\ 1 \times 10^3 \\ 90 \\ 2 \end{pmatrix} \quad V_{73} = \begin{pmatrix} 19 \\ 14 \\ 8 \\ 600 \\ 100 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{74} = \begin{pmatrix} 19 \\ 14 \\ 9 \\ 700 \\ 60 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{75} = \begin{pmatrix} 15 \\ 13 \\ 6 \\ 700 \\ 80 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{76} = \begin{pmatrix} 19 \\ 15 \\ 8 \\ 700 \\ 80 \\ 1 \end{pmatrix} \quad V_{77} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 10 \\ 900 \\ 60 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V_{78} = \begin{pmatrix} 15 \\ 12 \\ 5 \\ 600 \\ 80 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{79} = \begin{pmatrix} 16 \\ 10 \\ 9 \\ 500 \\ 50 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V_{80} = \begin{pmatrix} 19 \\ 11 \\ 5 \\ 600 \\ 100 \\ 3 \end{pmatrix}$$

+

Ек – напряжение питания усилителя, В; Ік – максимальный ток коллектора транзистора усилителя, мА; R_L – сопротивление нагрузки усилителя, кОм; R_i – внутреннее сопротивление источника входного сигнала, Ом; f – нижняя частота среза усилителя, Гц; VT – марка транзистора. VT₁ – 2N2218, VT₂ – 2N2222, VT₃ – 2N3904, VT₄ – 2N4401. VT₅ – 2N2222A.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панфилов Д. И., Иванов В. С., Чепурнин И. Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях – Т2: Электроника. – М.: Издательство МЭИ, 2004.–332 с.

2. Латышев Л.Н. Основы электроники: учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016.– 206 с.

3. Игумнов Д. В., Костюнина Г. П. Основы полупроводниковой электроники. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011.– 394 с.