

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ УСИЛЕНИЯ

#### Теоретические сведения

Биполярный транзистор может работать в трех режимах: отсечки, насыщения и активном. В режиме отсечки транзистор заперт и ток через него не течет. В режиме насыщения транзистор открыт и через него течет неуправляемый ток. В активном режиме через транзистор течет ток, управляемый током базы. Между токами транзистора в схеме включения с ОЭ в активном режиме выполняются следующие соотношения:

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{К}} + I_{\text{Б}}; \quad I_{\text{К}} = \alpha I_{\text{Э}}; \quad I_{\text{К}} = \beta I_{\text{Б}}$$

Отношение тока коллектора к току эмиттера называют *коэффициентом передачи тока эмиттера*

$$\alpha \approx I_{\text{К}} / I_{\text{Э}} \big|_{U_{\text{БЭ}} = \text{const}} = 0,96 \dots 0,995 < 1,$$

Коэффициент, связывающий токи базы и коллектора, называют *коэффициентом передачи тока базы*

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) = I_{\text{К}} / I_{\text{Б}}. \text{ Значение } \beta \gg 1 \text{ (при } \alpha = 0,99 \text{ } \beta \approx 100).$$

ВАХ при включении транзистора по схеме с общим эмиттером (ОЭ) имеют вид (Рис.1а,1б).

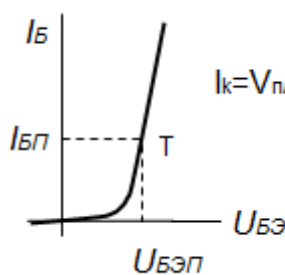


Рис.1а

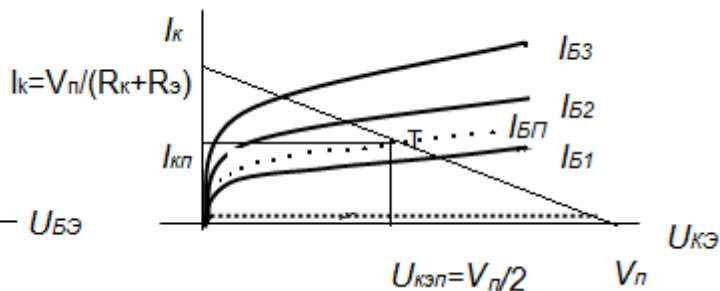


Рис.1б

Рис.1 Входная (а) и выходные (б) характеристики биполярного транзистора.

Для того, чтобы транзистор находился в активном режиме на базу (Б), коллектор (К) и эмиттер (Э) *n-p-n* транзистора подается постоянное напряжение  $U_{\text{БЭ}} > U_0$ ;  $U_{\text{КЭ}} > 0$  ( $U_{\text{БК}} < 0$ ) (Рис.2). Значения напряжений  $U_{\text{БЭп}}$ ,  $U_{\text{КЭп}}$  и токов  $I_{\text{Кп}}$ ,  $I_{\text{Бп}}$  определяют положение рабочей точки *Т* транзистора на его ВАХ (См. Рис 1б).

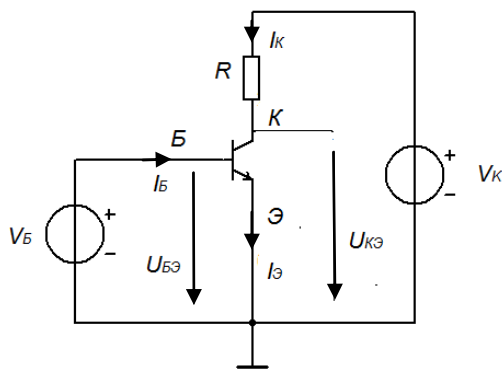


Рис.2.

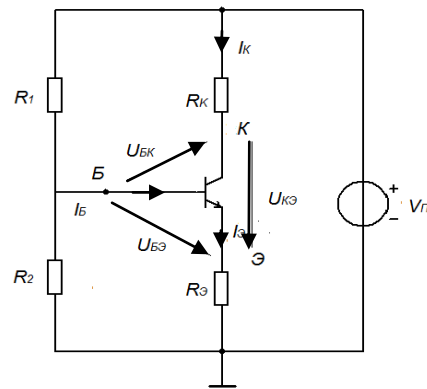


Рис.3

Наиболее часто используют схему с единственным источником питания, в которой напряжение смещения на базу подается с резистора  $R_2$  делителя напряжения  $R_1$ - $R_2$ . Рис.3. Параметры элементов схемы рассчитывают исходя из выбранной рабочей точки. В схеме с транзистор, работающий в активном режиме, усиливает входной ток  $I_B$ . Выходной ток  $I_K = \beta I_B$ . Транзистор в активном режиме используется также для усиления переменного сигнала (Рис.4).

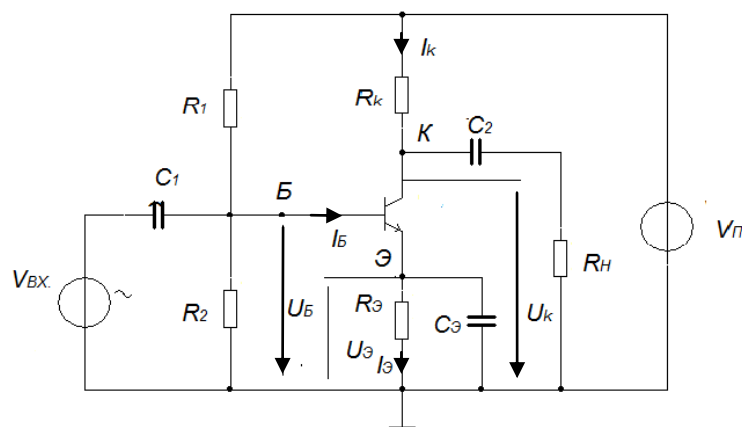


Рис.4 . Усилительный каскад на биполярном транзисторе с ОЭ.

Усиливаемое входное переменное напряжение  $U_{ВХ}$  от источника  $V_{вх}$  подается на базу транзистора. Между источником и транзистором включают разделительную емкость  $C_1$ . Выходное напряжение  $U_{ВВХ}$  снимают с нагрузки – резистора  $R_H$ , который подключают к коллектору транзистора также через разделительную емкость  $C_2$ . Назначение разделительных емкостей  $C_1$  и  $C_2$  – отфильтровать постоянную составляющую напряжения. Емкость  $C_3$  шунтирует сопротивление эмиттера по переменному току. Приведенная на Рис.4 схема представляет собой усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером, который используется для линейного усиления переменного напряжения.

В режиме линейного усиления форма выходного сигнала не искажается по сравнению с формой входного сигнала. Для этого рабочую точку транзисторного каскада выбирают посередине линейного участка ВАХ. Для определения рабочей

точки строят линию нагрузки каскада постоянному току по уравнению, которое получают из записи закона Кирхгофа для контура:  $V_{\pi}$ ,  $R_K$ ,  $U_{KЭ}$ ,  $R_{Э}$ .

$$U_{KЭ} = V_{\pi} - (R_K + R_{Э})I_K$$

Линия нагрузки строится на выходной ВАХ по двум точкам : при  $U_{KЭ}=0$   $I_K=V_{\pi}/(R_K+R_{Э})$ . При  $I_K=0$   $U_{KЭ} = V_{\pi}$ .

Рабочая точка Т принадлежит как линии нагрузки, так и семейству выходных ВАХ. Положение рабочей точки выбирают принимая  $U_{KЭП} = V_{\pi} / 2$  на пересечении линии нагрузки и кривой  $I_K (U_{KЭ})$  при  $I_B = I_{БП}$ . ( см. Рис.1).

Характеристиками каскада являются:

- коэффициент усиления по напряжению  $K = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$ .
- амплитудная (проходная) характеристика  $U_{ВЫХ} (U_{ВХ})$ ;
- частотная ЛАЧХ  $L(f)$ ,  $L [Дб] = 20 \log K$ ;
- входное сопротивление каскада  $R_{ВХ}$ ;
- выходное сопротивление каскада  $R_{ВЫХ}$ .

Рабочее задание.

### 1. Исследование активного режима транзистора.

В работе исследуется типовой биполярный транзистор, тип которого задается преподавателем. Модель транзистора находится в базе компонентов в разделе **Transistors**, источники в разделе **Sources**, измерительные приборы в разделе **Indicators** или через пиктограммы на панели библиотек электронных элементов, приборы – на вертикальной панели инструментов справа.

#### 1.1. Снять ВАХ биполярного транзистора с использованием характериографа **IV ANALYZER**.

Схема содержит характериограф X1V1 - построитель ВАХ диодов и транзисторов (**IV ANALYZER**), который содержится в библиотеке **Instruments**. Он также вызывается через пиктограмму на панели инструментов. Характериограф активизируется двойным щелчком левой кнопки мыши на его изображении. Тип исследуемого транзистора выбирают в разделе **Transistors** в окне **Выбор Компонента** в соответствии с вариантом задания, представленном в таблице 1. Элемент подключают в соответствии со схемой подключения. На лицевой панели устройства выбирается масштаб шкалы тока (А) и напряжения (V) – линейный (ЛИН) или логарифмический (ЛОГ). Для получения ВАХ устанавливают линейный масштаб. Нажатием кнопки **Моделирование** открывается диалоговое окно настройки параметров моделирования, в котором устанавливают интервал изменения переменных по осям X и Y, а также шаг приращения. Для транзистора по оси X (Источник  $V_{ce}$ ) устанавливают интервал изменения напряжения  $U_{KЭ}$ : начало -0В, окончание 12.0В, приращение 50мВ при изменении тока базы X (Источник  $I_b$ ): начало – 10мкА, окончание 100.0мкАВ, приращение 10.

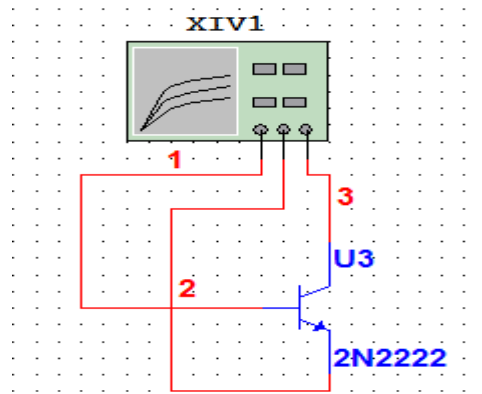


Рис.1

Скопировать и поместить в отчет выходную ВАХ транзистора. Определить коэффициент передачи тока базы  $\beta$

1.2 Собрать схему, обеспечивающую активный режим работы транзистора (Рис.2).

Для обеспечения активного режима работы *n-p-n* транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ), + источника постоянного напряжения  $V_1$  подключен к коллектору транзистора через резистор  $R_3$ . Напряжение на базу транзистора подается с резистора  $R_2$  делителя напряжения  $R_1 - R_2$ . Резисторы  $R_4$  и  $R_5$  включены в цепь эмиттера для температурной стабилизации работы транзистора. Ампермеры  $U_3$ ,  $U_4$ ,  $U_5$  и вольтметры  $U_6$ ,  $U_7$ ,  $U_8$ , работающие в режиме постоянного тока, предназначены для измерения токов и напряжений базы, эмиттера и коллектора транзистора.

1.2.1 Задать параметры элементов схемы в соответствии с вариантом задания (Таблица1).

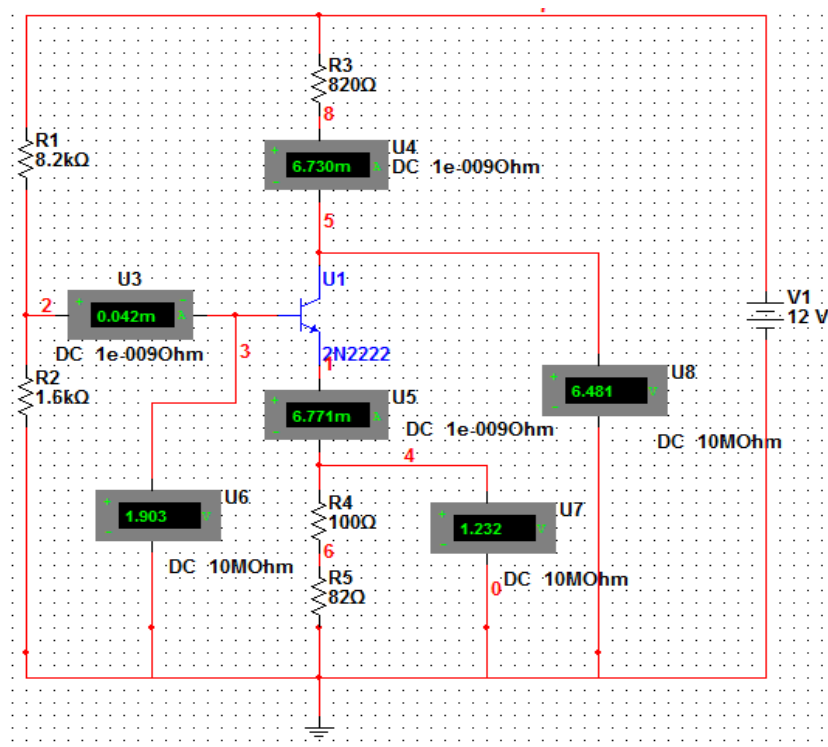


Рис.2

Таблица 1.

| № | Марка транзистора | $R_1$<br>кОм | $R_2$<br>кОм | $R_3$<br>Ом | $R_4$<br>Ом | $R_5$<br>Ом | $V_1$<br>В |
|---|-------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 2N2222            | 8.4          | 1.6          | 820         | 82          | 100         | 10         |
| 2 | 2N2369            | 7.5          | 2.4          | 510         | 51          | 130         | 12         |
| 3 | 2N2219            | 12.0         | 2.2          | 380         | 39          | 62          | 10         |
|   |                   |              |              |             |             |             |            |
| 5 | 2N2222            | 15           | 5.1          | 470         | 47          | 150         | 10         |
| 6 | 2N2219            | 24           | 4.3          | 430         | 43          | 39          | 12         |
| 7 | 2N2369            | 8.4          | 1.6          | 820         | 82          | 100         | 10         |

1.2.2 Провести моделирование. Показания приборов занести в таблицу 2.

Таблица 2.

| $I_B$ , мА | $I_E$ , мА | $I_K$ , мА | $U_B$ , В | $U_E$ , В | $U_K$ , В | $U_{BЭ}$ , В | $U_{КЭ}$ , В |
|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
|            |            |            |           |           |           |              |              |

Записать соотношения между токами транзистора. Определить коэффициенты передачи тока базы  $\beta$  и эмиттера  $\alpha$ . Вычислить и занести в таблицу 2 значения  $U_{BЭ} = U_B - U_E$  и  $U_{КЭ} = U_K - U_E$ .

1.2.3 Зафиксировать на ВАХ рабочую точку транзистора.

## 2 Исследование работы транзистора в режиме усиления переменного сигнала

2.1 Собрать схему Рис.3.

Для этого скопировать в новый файл схему Рис.2 и удалить из нее измерительные приборы. Подключить источник переменного синусоидального сигнала  $V_2$  через разделительную емкость  $C_1$  к базе и нагрузочный резистор  $R_6$  через разделительную емкость  $C_2$  к коллектору транзистора. Параллельно резистору  $R_5$  подключить шунтирующую емкость  $C_3$ . Полученная схема представляет **усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером**. Для регистрации напряжения на входе и выходе усилительного каскада включить в схему двухканальный осциллограф XSC1. Он также вызывается через пиктограмму на панели инструментов. Подключить канал **A** осциллографа ко входу усилителя - источнику усиливаемого переменного напряжения  $V_2$ , а канал **B** - выходу усилительного каскада – нагрузке  $R_6$ .

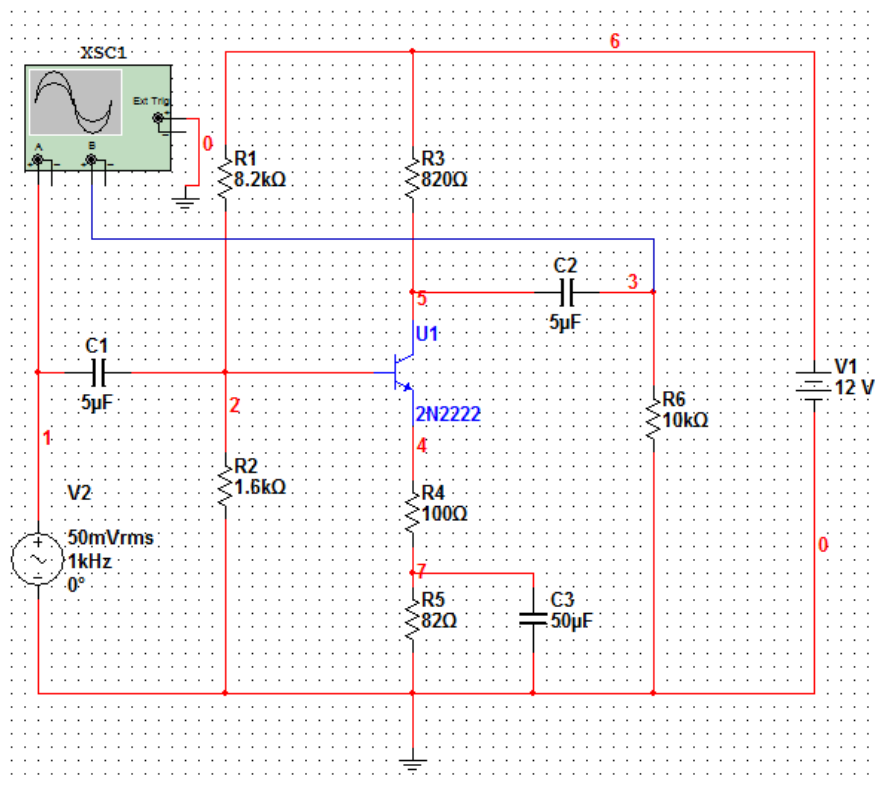


Рис.3

Установить значение  $C_1=5$  мкФ,  $C_2=5$  мкФ,  $C_3=50$  мкФ,  $R_6 = 10$  кОм. Задать параметры источника  $V_2$ : амплитуда – 100 мВ, частота – 1 кГц.

2.2 Запустить процесс моделирования. Настроить осциллограф, получить и зафиксировать в отчете осциллограммы входного и выходного напряжения.

2.3 На ВАХ транзистора построить линию нагрузки постоянному току и выбрать рабочую точку каскада. Линия нагрузки постоянному току усилительного каскада строится по уравнению  $U_{кэ} = V_{п} - (R_k + R_э)I_k$ , где напряжение источника питания  $V_{п} = V_1$ , сопротивление коллектора  $R_k = R_3$ , сопротивление эмиттера  $R_э = R_4 + R_5$ . Рабочая точка каскада принадлежит линии нагрузки при значении  $U_{кэ} = V_{п}/2$ .

Результаты сравнить с полученными в п. 1.2.3.

### 3. Определение характеристик усилительного каскада.

3.1 Определить коэффициент усиления каскада  $K_U = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$ , используя осциллограммы напряжений, полученные в п.2.2.

3.1 Снять и построить амплитудную (проходную) характеристику каскада  $U_{ВЫХ}(U_{ВХ})$ . Для этого, изменять амплитуду напряжения источника  $V_2$  от 100 до 700 мВ с шагом 100 мВ. Произвести измерения амплитуды выходного сигнала по осциллограмме. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

|                     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{BX}, \text{мВ}$ | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| $U_{BIX}, \text{В}$ |     |     |     |     |     |     |     |

Зафиксировать значение  $U_{BX, \text{MAX}}$ , при котором возникают искажения формы выходного сигнала. На характеристике отметить участок линейного усиления входного сигнала.

3.3 Снять частотную характеристику каскада. Для этого подключить согласно схеме Рис.4 построитель частотных характеристик (Плоттер Боде) **ХВР1**.

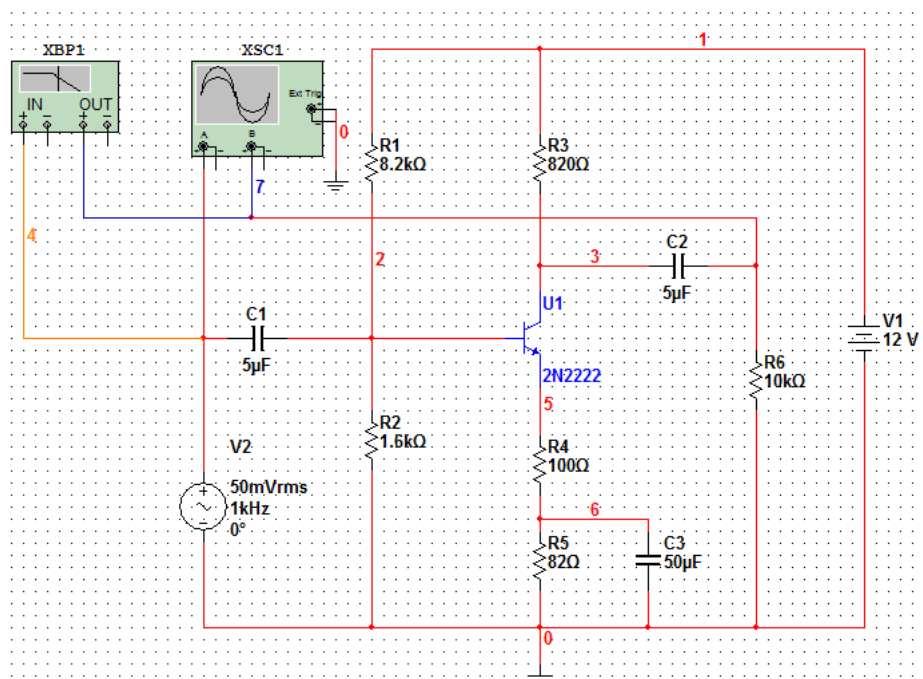


Рис.4

3.4 Настроить Плоттер Боде для получения логарифмической амплитудной частотной характеристики (ЛАЧХ). Для этого установить режим **Амплитуда**, по горизонтали пределы изменения частоты в **Log** масштабе от нижнего значения  $f = 1 \text{ Гц}$  до  $f = 1 \text{ Гига Гц}$ ; по вертикали изменения коэффициента усиления  $K_U$  в **Log** масштабе от нижнего значения  $L = -20 \text{ Дб}$  до  $F = 10 \text{ Дб}$ .

1.4 Получить на панели построителя частотных характеристик (Плоттер Боде) **ХВР1** ЛАЧХ и скопировать ее в отчет. Определить значение коэффициента усиления  $K_U$  [Дб] и граничных частот  $f_H$  и  $f_B$ , которыми ограничен диапазон частот усиливаемых сигналов.

Граничные частот  $f_H$  и  $f_B$  определяют по ЛАЧХ для  $K_U$  [Дб] =  $K_{U, \text{MAX}}$  [Дб] - 3 Дб