

Лабораторная работа № 2 «Исследование усилительных каскадов на биполярных транзисторах»

Цель работы – практическое ознакомление с особенностью усилительных каскадов с общим эмиттером (ОЭ), общей базой (ОБ), общим коллектором (ОК) или эмиттерным повторителем

Усилительные каскады на биполярных транзисторах

В транзисторных схемах источник сигнала может включаться в цепь базы или эмиттера, нагрузка – в цепь коллектора или эмиттера, а третий электрод транзистора оказывается общим для входной и выходной цепи. В зависимости от того, какой электрод транзистора оказывается общим, различают схемы ОЭ (с общим эмиттером), ОБ (с общей базой) и ОК (с общим коллектором), показанные на рис. 1.

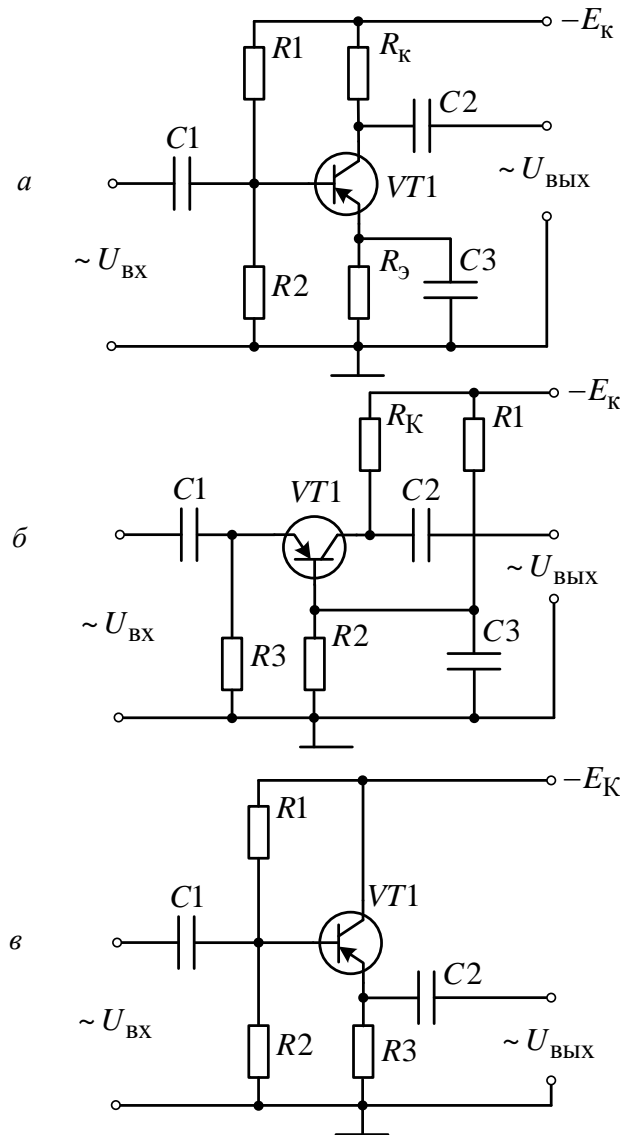


Рис. 1. Принципиальные схемы каскадов:
 а - с общим эмиттером (ОЭ);
 б - с общей базой (ОБ);
 в - с общим коллектором (ОК)

В этих схемах конденсаторы $C1$ и $C2$ служат для связи каскада с источником сигнала и нагрузкой на переменном токе и исключают в то же время влияние источника сигнала и нагрузки на режим работы каскада по постоянному току. Резисторы $R1, R2, R_{к1}, R_3$ обеспечивают выбранный режим работы транзистора в активной области, т.е. выбранное положение рабочей точки на вольт-амперных характеристиках транзистора.

Конденсатор $C3$ выполняет роль блокировочного конденсатора, исключая из работы на переменном токе резистор R_3 (каскад ОЭ) или делитель напряжения в цепи базы $R1, R2$ (каскад ОБ), и тем самым обеспечивает присоединение эмиттера (базы) к общей точке схемы.

Для анализа транзисторных схем важно знать, как связаны электронные токи и напряжения между выводами транзистора, т.е. знать вольт-амперные характеристики.

Основными характеристиками биполярного транзистора являются:

- 1) входные характеристики $i_{вх} = f(U_{вх}) \Big|_{U_{вых} = \text{const}}$;
- 2) выходные характеристики $i_{вых} = f(U_{вых}) \Big|_{i_{вх} = \text{const}}$.

Для каждой схемы включения транзистора (ОЭ, ОБ, ОК) смысл входных и выходных токов напряжений меняется.

Для схемы с ОЭ (рис. 3.1, а) $U_{вх} = U_{бэ}, i_{вх} = i_б, U_{вых} = U_{кэ}, i_{вых} = i_к$.

Для схемы с ОБ (рис. 3.1, б) $U_{вх} = U_{бэ}, i_{вх} = i_э, U_{вых} = U_{кэ}, i_{вых} = i_к$.

Для схемы с ОК (рис. 3.1, в) $U_{вх} = U_{бк}, i_{вх} = i_б, U_{вых} = U_{эк}, i_{вых} = i_э$.

Основными показателями качества, характеризующими работу любого усилительного каскада являются: входное ($R_{вх}$) и выходное ($R_{вых}$) сопротивления; коэффициенты передачи по напряжению (k_U), току (k_I) и мощности (k_P). Они могут быть определены либо по данным экспериментальных исследований, либо из расчета схемы с учетом применяемой в ней элементов и параметров транзистора. В первом случае расчетными формулами являются:

$$R_{вых} = \frac{U_2 - U_{вых}}{i_{вых}} = \frac{(U_2 - U_{вых})R_H}{U_{вых}} = R_H \left(\frac{U_2}{U_{вых}} - 1 \right),$$

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{i_{вх}}, k_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, k_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}} = \frac{k_U R_{вх}}{R_H}, k_P = k_U k_I.$$

где U_2 – напряжение холостого хода (определяется при максимальном сопротивлении нагрузки); $I_{вх}, U_{вх}$ – входные ток и напряжения усилителя; $U_{вых}$ – напряжение на нагрузке.

Во втором случае, например для схемы с ОЭ, расчетные формулы имеют вид

$$R_{вх} = R1 \parallel R2 \parallel h_{11э}, R_{вых} = R3 \parallel \left(\frac{1}{h_{22э}} \right), k_U = \frac{h_{21э} R_H}{h_{11э}}, k_I = h_{21э},$$

где h -параметры определяются с учетом справочных параметров транзистора по соотношениям

$$h_{11э} = r_б + \frac{r_э}{(1-\alpha)}, h_{22э} = \frac{1}{r_k(1-\alpha)}, h_{21э} = \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}, h_{12э} = \frac{r_э}{r_k(1-\alpha)}.$$

Описание макета лабораторной установки

Схема макета лабораторной установки представлена на рис. 2.

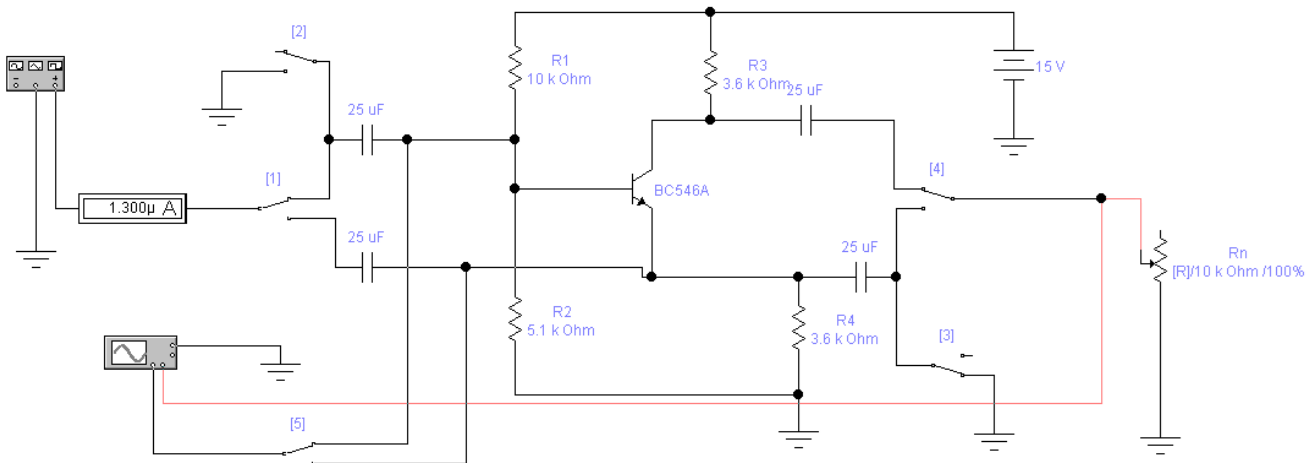


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования трех схем включения биполярного транзистора

В зависимости от положения переключателей SA1–SA4 она позволяет получить одну из трех исследуемых схем. Входной гармонический сигнал на вход усилительного каскада подается от функционального генератора. В качестве биполярного транзистора в макете используется прибор типа BC 546A, имеющий следующие технические параметры: $R_б = 8,25 \text{ Ом}$; $R_э = 2,06 \text{ Ом}$; $R_k = 0,825 \text{ Ом}$; $C_э = 1,18 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$; $C_k = 4,09 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $\beta = 182$; $f_{\max} = 1 \text{ МГц}$.

Напряжение источника питания $E_{п} = 15 \text{ В}$. Остальные элементы схемы составляют: $R1 = 10 \text{ кОм}$; $R2 = 5,1 \text{ кОм}$; $R3 = 3,6 \text{ кОм}$; $R4 = 3,6 \text{ кОм}$; $R_n = 10 \text{ кОм}$; $C1 = C2 = C3 = C4 = 25 \text{ мкФ}$. Клавиши, активизирующие переключатели SA1–SA4 и сопротивление нагрузки R_n указаны в модели, а также в разделе «Задания на лабораторную работу». В качестве измерительной и регистрирующей аппаратуры используются двухлучевой осциллограф и миллиамперметр переменного тока с внутренним сопротивлением $R = 0$.

Задания на лабораторную работу

Задание 1: Схема с ОЭ

1.1. С помощью переключателей SA1–SA4 собрать схему усилителя с ОЭ (рис. 1, а).

1.2. Установить на выходе функционального генератора синусоидальное напряжение $f = 2 \text{ кГц}$ (средняя частота для усилителя) и величину напряжения $U_{3Г} = 3,5 \text{ мВ}$.

1.3. Установить напряжение источника питания $E_{П} = 15 \text{ В}$.

1.4. Запустить схему и последовательно изменяя сопротивление нагрузки $R_{Н}$ от 0 до 10 кОм (клавиша активизации [6]) измерить с помощью осциллографа и миллиамперметра в соответствующих контрольных точках действующие значения входного тока и выходного напряжения. Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

$R_{Н}$, кОм					
$U_{ВЫХ}$, В					
$I_{ВЫХ}$, мА					
k_I					
k_U					
k_P					
$R_{ВХ}$					
$R_{ВЫХ}$					

1.5. Заполнить раздел "измеренные величины" в таблице для схемы с ОЭ и построить зависимости параметров k_I , k_U , k_P , $R_{ВХ}$, $R_{ВЫХ}$ от сопротивления $R_{Н}$.

Задание 2: Схема с ОБ.

2.1. С помощью переключателей собрать схему с ОБ (рис. 1, б).

2.2. Установить на выходе функционального генератора напряжение $f = 2 \text{ кГц}$, $U_{3Г} = 3,5 \text{ мВ}$.

2.3. Установить напряжение источника питания $E_{к} = 15 \text{ В}$.

2.4. Последовательно, изменяя сопротивление нагрузки $R_{Н}$ повторить пункты 1.4–1.5 задания и заполнить таблицу для схемы с ОБ.

2.5. Заполнить измеренные величины в таблице для схемы с ОБ и построить зависимости параметров k_I , k_U , k_P , $R_{ВХ}$, $R_{ВЫХ}$ от сопротивления $R_{Н}$.

Задание 3: Схема с ОК.

3.1. С помощью переключателей SA1–SA4 собрать схему с ОК (рис. 1, в).

3.2. Установить на выходе функционального генератора напряжение $f = 2 \text{ кГц}$, $U_{3Г} = 3,5 \text{ мВ}$.

3.3. Запустив схему подать на вход усилителя с ОК сигнал с выхода генератора.

3.4. Последовательно изменяя сопротивление нагрузки R_H с помощью активизации его клавишей [6] измерить величины напряжений и токов с помощью миллиамперметра и осциллографа в соответствующих контрольных точках.

3.5. Заполнить измеренные величины в таблице для схемы с ОК и построить зависимости параметров k_I , k_U , k_P , $R_{вх}$, $R_{вых}$ от сопротивления R_H .

Контрольные вопросы

1. Для чего служат делители напряжения в цепи базы усилительных каскадов?
2. Когда происходит искажение выходного сигнала и почему?
3. Почему уменьшается коэффициент усиления на низких частотах?
4. В чем особенность эмиттерного повторителя?
5. Какие выводы можно сделать об усилительном каскаде ОБ?
6. На чем основано усиление электрических сигналов с помощью транзистора?
7. Почему схема с общим эмиттером нашла наибольшее применение?