

Лабораторная работа № 2

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

Изучение работы усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером ОЭ и определение его основных параметров.

2. Методика исследования схем

В работе исследуются усилительный каскад на биполярном транзисторе ОЭ. Рабочая схема усилительного каскада ОЭ приведена на рис. 1. Работа схемы исследуется методом моделирования в СхСАПР *Orcad 9.2*.

3. Подготовка к работе

1. Изучить рекомендуемую литературу [1] и описание данной лабораторной работы.
2. Для схемы усилительного каскада ОЭ (рис. 1) и указанных параметров элементов (табл. 1) рассчитать:
 - коэффициент усиления каскада в режиме холостого хода ($K_{и\ хх}$);
 - входное сопротивление каскада ($R_{вх}$);
 - выходное сопротивление каскада ($R_{вых}$).

Результаты занести в таблицу.

Таблицу 1.

	Расчет	Эксперимент
$K_{и\ хх}$		
$R_{вх}, \text{кОм}$		
$R_{вых}, \text{Ом}$		

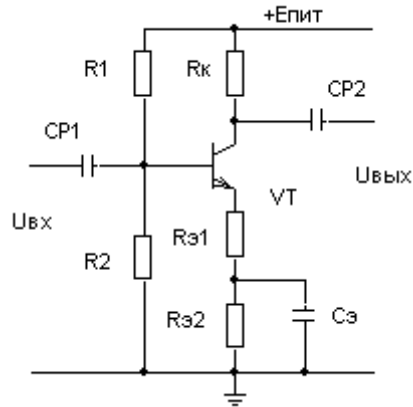


Рис. 1. Схема усилительного каскада ОЭ

Таблица 2

Исходные данные для расчета усилительного каскада ОЭ

№	β	$E_{пит}, В$	$R_{1, кОм}$	$R_{2, кОм}$	$R_{к, Ом}$	$R_{э1, Ом}$	$R_{э2, Ом}$
1	35	10	8.4	1.6	820	82	100
2	50	12	7.5	2.4	510	51	130
3	70	15	12	2.2	390	39	62
4	75	10	8.4	1.6	200	20	30
5	80	12	15	5.1	470	47	150
6	120	15	24	4.3	430	43	39
7	100	10	18	3.3	820	100	100
8	45	12	20	6.2	510	82	100
9	120	15	36	6.2	390	39	51
10	35	10	8.4	1.6	820	82	100
11	50	12	7.5	2.4	510	100	82
12	70	15	12	2.2	390	51	51
13	75	10	8.4	1.6	200	30	20
14	80	12	15	5.1	470	82	120
15	120	15	24	4.3	430	39	39
16	100	10	18	3.3	820	150	51
17	45	12	20	6.2	510	82	100
18	120	15	36	6.2	390	62	30
19	35	12	8.4	1.6	820	82	100
20	50	15	7.5	2.4	510	51	130
21	70	18	12	2.2	390	39	62
22	75	15	8.4	1.6	200	20	30
23	80	15	15	5.1	470	47	150
24	120	18	24	4.3	430	43	39
25	100	15	18	3.3	820	100	100

4. Рабочее задание

1. Собрать схему согласно рис. 2. Редакторе схем программного пакета СхСАПР ORCAD 9.2 - «Schematics».

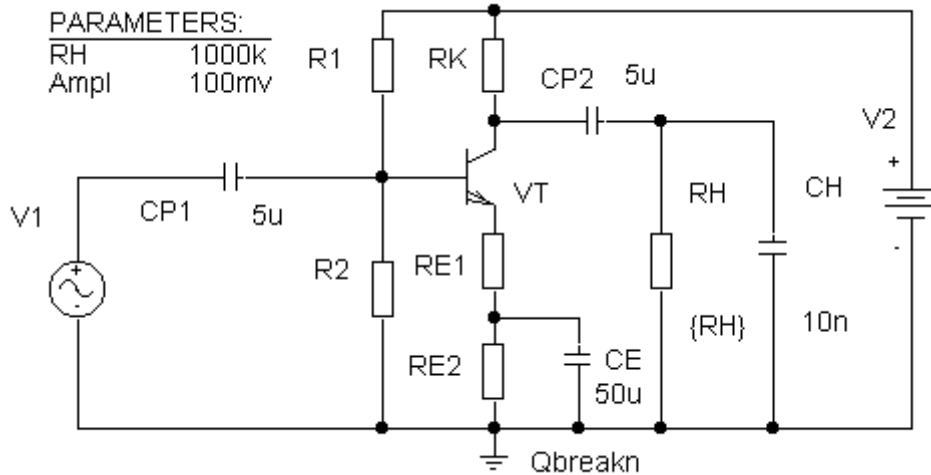


Рис. 2. Рабочая схема каскада общий эмиттер

- Открыть библиотеку элементов (*Draw – GetNewPart*) и из нее вытянуть на рабочее поле все требуемые элементы: резисторы – R , конденсаторы – C , источник питания – VDC , источник входного сигнала – $VSIN$, биполярный транзистор npn -типа – $Q2N2222$, земля – $EGND$.
- Расположить элементы на рабочем поле, а затем соединить их в соответствии с принципиальной схемой.
- Установить параметры резисторов и источника питания в соответствии с рабочим заданием (табл.1). Емкости конденсаторов: $C_{p1}=5\mu$, $C_{p2}=5\mu$, $C_E=50\mu$, $C_H=10n$. Сопротивление нагрузки $R_H=100k$. Напряжение источника питания VDC установить равным $9v$.
- Для синусоидального источника входного сигнала установить: $AC=1$; $DC=0$; $VOFF=0$; $VAMPL=100mv$; $FREQ=1k$.
- Сохранить схему, присвоив файлу имя в латинице.

Примечание: Файл схемы категорически запрещается сохранять на «Рабочем столе» операционной системы.




- Установить режим расчета схемы по постоянному току (*Analysis – Setup – Bias Point Detail*).
- Запустить программу расчета *PSpice (F11)* или .
- Определить напряжение на коллекторе, базе и эмиттере транзистора, нажав на пиктограмму .
- Для определения токов нажать на пиктограмму .
- Результаты токов и напряжений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$I_K, \text{ mA}$	
$U_K, \text{ B}$	

2. Подав на вход синусоидальный сигнал с частотой $f=1k\text{Гц}$ и амплитудой $U_m=100\text{мВ}$, проверить работоспособность усилительного каскада. Определить коэффициент усиления $K_{u\text{xx}}$. Сравнить с расчетом.




- Установить режим расчета схемы во временной области (*Analysis – Setup – Transient...*) с параметрами: *PrintStep=20us*; *Final Time=5ms*.
 - Установить на входе и выходе схемы маркеры для вывода осциллограмм напряжения ();
 - Запустить программу расчета *PSpice* (). В окне программы с помощью электронных курсоров определить амплитуду входного и выходного синусоидального сигнала. Курсоры доступны после нажатия на пиктограмму , и их можно перемещать левой или правой кнопками мыши. В окошке **Probe Cursor** первая колонка цифр - для оси абсцисс (X), вторая колонка для оси ординат (Y). Для более точных измерений любой элемент графика можно увеличить с помощью окна, доступного после команд *View - Area*. Размеры окна регулируются при нажатой левой кнопки мыши. Для возвращения в программу *Schematics* нужно закрыть окна программ *Probe* и *PSpice*. Коэффициент усиления каскада в режиме холостого хода ($RH = 100k$) определяется как отношение амплитуд неискаженного выходного сигнала к входному ($K_u = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta U_{\text{ВХ}}$).
3. Увеличивая амплитуду входного сигнала до 1В, наблюдать за изменением амплитуды и формы выходного сигнала. Для этого можно воспользоваться глобальным параметром *Ampl* и повторять п.3 рабочего задания требуемое количество раз. Однако лучше автоматизировать этот процесс. Для этого:
- Установить (*Analysis - Setup*) режим *PARAMETRIC* со следующими параметрами: *Global Parameter*; *Linear*; *Name = AMPL*; *Start Value = 100mV*; *End Value = 1V*; *Increment = 100mV*.
 - Произвести расчет схемы (*F11*) и получить набор графиков входного синусоидального напряжения и выходного сигнала. При запросе системы о выборе графика для вывода на экран "нажать" кнопку *OK*. В левой нижней части экрана расположены цветные идентификаторы для каждого из графиков. При активизации электронных курсоров перенос курсора с одного графика на другой производится щелчком кнопки мыши на выбранном идентификаторе. Определить как положительные, так и отрицательные максимальные значения выходного напряжения.

Таблица 3

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$U_{\text{ВЫХ}}^+, \text{В}$										
$U_{\text{ВЫХ}}^-, \text{В}$										

- Результаты свести в таблицу и построить зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}})$ – амплитудную характеристику. Определить динамический диапазон входного сигнала.

4. Снять частотную характеристику усилительного каскада и определить коэффициент усиления усилителя в полосе пропускания $K_{иХХ}$ и граничные частоты усиления f_H и f_B .
- Отключить режимы *PARAMETRIC* и *TRANSIENT*. Установить режим анализа по переменному току (*AC Sweep*) с параметрами: *Decade*, *Pts/Decade* = 101, *Start Freq* = 10, *End Freq* = 1Meg.
 - Отключить маркер входного сигнала, а к выходу схемы подключить специальный маркер для измерения коэффициента передачи в децибелах (*Markers - Mark Advanced - Vdb*). В этом случае выходной сигнал равен коэффициенту усиления, т.к. $U_{вх}=1В$. Однако коэффициенту усиления в этом случае измеряется в децибелах: $K(дБ)=20Lg(U_{вЫХ}/U_{вХ})$.
 - Запустить схему на расчет и получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя.
 - С помощью электронных курсоров определить коэффициент усиления в области средних частот, а на уровне $-3дБ$ определить граничные частоты.

Таблица 4

$K_{иХХ}$	f_H , Гц	f_B , кГц

5. Определить входное сопротивление каскада $R_{вХ}$, сравнить с расчетом.
- Для определения входного сопротивления необходимо нанести (*Trace - Add*) график зависимости входного сопротивления от частоты (остальные графики удалить). Это можно сделать, записав в командной строке окна *Trace Expression* выражение: $V(V1:+)/I(V1)$, где *V1* – условное обозначение источника входного сигнала.
 - Определить входное сопротивление в области средних частот и сравнить с расчетом.
6. Меняя сопротивление нагрузки в диапазоне 0,1...10 кОм, построить график $K_u(R_H)$. Определить выходное сопротивление усилителя.
- Установить режим *PARAMETRIC* с параметрами: *Name=RL*; *Decade*; *Start Value=100*; *End Value=10k*; *Pts/Decade=2*.
 - Запустить схему на расчет и получить семейство амплитудно-частотных характеристик усилителя.
 - В области средних частот определить коэффициент усиления для всех значений нагрузки и затем построить график $K_u(R_H)$.
 - Выходное сопротивление усилителя можно определить из соотношения $R_{аио} = [(K_{иоо}/K) - 1]R_i$ или с помощью графика $K_u(R_H)$ по уровню $0,5K_{иХХ}$.

Таблица 5

R_H , кОм	0	0.1	0.32	1	3.2	10	∞
K_u , дБ							
K_u							

5. Методические указания

К основным параметрам усилительных каскадов относятся:

$K_u = (\Delta U_{\text{ВЫХ}}/\Delta U_{\text{ВХ}})$ - коэффициент усиления напряжения;

$R_{\text{ВХ}} = (\Delta U_{\text{ВХ}}/\Delta I_{\text{ВХ}})$ - входное сопротивление каскада;

$R_{\text{ВЫХ}} = (\Delta U_{\text{ВЫХ}}/\Delta I_{\text{ВЫХ}})$ - выходное сопротивление каскада.

Основные параметры каскадов можно рассчитать, используя h -параметры малосигнальной схемы замещения транзистора:

$$K_u = -\frac{h_{21э} [R_k \parallel R_H \parallel (1/h_{22э})]}{h_{11э} + (h_{21э} + 1)R_{э1}}$$

$$R_{\text{ВХ}} = [h_{11э} + (h_{21э} + 1)R_{э1}] \parallel R_б$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_k \parallel (1/h_{22э})$$

В современных справочниках h -параметры не задаются. В этом случае их можно приближенно определить через рабочий ток транзистора I_k (см. описание лабораторной работы № 4) и коэффициент усиления β следующим образом:

$$h_{11э} \approx \beta \frac{\varphi_T}{I_k}, \quad h_{21э} = \beta, \quad h_{22э} \approx 0.$$

Здесь φ_T - тепловой потенциал, который для комнатной температуры $+20^\circ\text{C}$ примерно равен 25 мВ.

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. -М.: Сов.радио. 1980. -424с.