

Лабораторная работа № 04

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

- Изучение работы усилительного каскада,
- экспериментальное определение основных параметров каскада,
- изучение основных характеристик каскада.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторный макет включает схему усилительного каскада с общим эмиттером ОЭ (рис. 1).

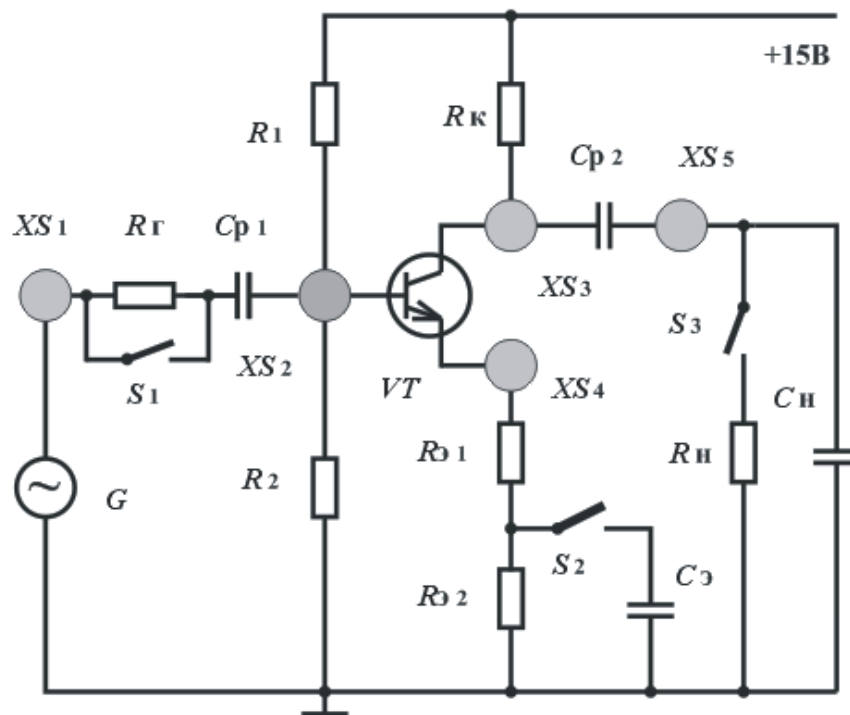


Рис. 1. Схема усилительного каскада с общим эмиттером

$R_1=10\text{ кОм}$, $R_2=2.4\text{ кОм}$, $R_K=390\text{ Ом}$, $R_{Э1}=51\text{ Ом}$, $R_{Э2}=51\text{ Ом}$, $R_{Г}=1\text{ кОм}$,
 $R_{Н}=1\text{ кОм}$, $C_{p1}=2.2\text{ мкФ}$, $C_{p2}=2.2\text{ мкФ}$, $C_3=47\text{ мкФ}$, $C_{Н}=10\text{ нФ}$,
транзистор КТ315Б

Источником сигнала служит многофункциональный генератор сигналов GFG-3015, который подключен к гнезду XS_1 .

Ключ S_1 позволяет подключить сопротивление R_r , что дает возможность найти входное сопротивление каскада.

Ключ S_2 позволяет подключать конденсатор C_3 и тем самым блокировать по переменному току сопротивление в цепи эмиттера $R_{э2}$.

Ключ S_3 подключает сопротивление нагрузки R_n , что позволяет определить выходное сопротивление схемы.

Выводы транзистора (база, коллектор, эмиттер) соединены с гнездами XS_2 , XS_3 , XS_4 . Это позволяет определить рабочий режим схемы.

Усиленное напряжение снимается с гнезда XS_5 .

3. Подготовка к работе

1. Для схемы усилительного каскада ОЭ (рис. 1), используя указанные параметры элементов схемы и найденные в лабораторной работе № 3 значения параметров транзистора, на снятых в этой работе характеристиках рассчитать рабочий режим транзистора **графическим методом**.
2. Нарисовать малосигнальную схему замещения усилительного каскада ОЭ в h -параметрах. Рассчитать основные параметры каскадов ($K_{и\ хх}$, $K_{и\ 0}$, $R_{вх}$, $R_{вых}$). Расчет провести для двух случаев: включенного и отключенного конденсатора C_3 . При расчете использовать значения параметров малосигнальной схемы замещения транзистора, найденные при выполнении лабораторной работы № 3.
3. Рассчитать нижнюю частоту полосы пропускания усилителя для двух случаев: включенного и отключенного конденсатора C_3 .
4. Разработать алгоритм практического определения входного сопротивления усилителя (п. 4 рабочего задания).

4. Рабочее задание

1. С помощью генератора и осциллографа проверить работоспособность каскада и определить коэффициент усиления $K_{u\text{ хх}}$ каскада при отключенном и включенном конденсаторе C_3 (R_T выключить). Увеличивая напряжение на входе добиться появления на выходе искажений формы сигнала. Записать значение амплитуды входного сигнала, при котором появились искажения.
2. Снять и построить амплитудную характеристику усилительного каскада ОЭ при включенных сопротивлениях R_T и R_H . Частоту входного сигнала установить 5-10 кГц (в середине полосы пропускания). Определить динамический диапазон усилительного каскада. Повторить эксперимент дважды: для случаев включенного и выключенного блокирующего конденсатора C_3 .
3. С помощью программы **АСН** снять амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада ОЭ при включенных сопротивлениях R_T и R_H . По построенной АЧХ определить коэффициент усиления K_{u0} и полосу пропускания усилителя ($f_H \dots f_B$). Повторить эксперимент дважды: для случаев включенного и выключенного блокирующего конденсатора C_3 .
4. Определить входное сопротивление каскада ОЭ при включенном и выключенном конденсаторе C_3 . Частоту входного сигнала установить 5-10 кГц (в середине полосы пропускания).
5. Сделать вывод о влиянии отрицательной обратной связи на параметры усилителя: коэффициент усиления, полосу пропускания и входное сопротивление.

5. Методические указания для подготовки

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:

$$K_{u \cdot \text{XX}} = -h_{21\text{э}} \cdot \frac{R_{\text{к}}}{h_{11\text{э}} + (1 + h_{21\text{э}})R_{\text{э}}},$$

$$K_{u0} = K_{u \cdot \text{XX}} \cdot \xi_{\text{ВХ}} \cdot \xi_{\text{ВЫХ}},$$

$$\xi_{\text{ВХ}} = \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Г}} + R_{\text{ВХ}}}, \quad \xi_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{Н}} + R_{\text{ВЫХ}}}$$

$$R_{\text{ВХ}} = (h_{11\text{э}} + (h_{21\text{э}} + 1)R_{\text{э}}) \parallel R_{\text{б}},$$

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

В этих формулах $R_{\text{э}} = R_{\text{э1}}$ или $R_{\text{э}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}$ в зависимости от того, включен или выключен блокирующий конденсатор $C_{\text{э}}$, $R_{\text{б}} = R_1 \parallel R_2$, $R_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки.

Для определения нижней частоты $f_{\text{Н}}$ надо найти постоянную времени усилителя для диапазона низких частот $\tau_{\text{Н}}$. Эту постоянную можно определить по формуле:

$$- \tau_{\text{Н}} = \left(\frac{1}{\tau_{\text{Н1}}} + \frac{1}{\tau_{\text{Н2}}} \right)^{-1}, \text{ если конденсатор отключен,}$$

$$- \tau_{\text{Н}} = \left(\frac{1}{\tau_{\text{Н1}}} + \frac{1}{\tau_{\text{Н2}}} + \frac{1}{\tau_{\text{Сэ}}} \right)^{-1}, \text{ если конденсатор включен}$$

$$\text{где } \tau_{\text{Н1}} = C_{\text{р1}}(R_{\text{Г}} + R_{\text{ВХ}}), \tau_{\text{Н2}} = C_{\text{р2}}(R_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{Н}}),$$

$$\tau_{\text{Сэ}} = C_{\text{э}}(R_{\text{э2}} \parallel r_{\text{ТР.э}}); \quad r_{\text{ТР.э}} = \frac{h_{11\text{э}} + (R_{\text{б}} \parallel R_{\text{Г}})}{1 + h_{21\text{э}}} + R_{\text{э1}}.$$

Учитывая, что постоянная времени связана с частотой следующим образом: $\tau_n = \frac{1}{\omega_n} = \frac{1}{2\pi f_n}$, можно найти величину нижней граничной частоты усилителя.

6. Методические указания для рабочего задания

1. Основные параметры усилительных каскадов измеряются при подаче на вход синусоидального сигнала такой амплитуды, чтобы усилитель не выходил за границы линейного режима, т.е. выходной сигнал не должен иметь видимых искажений. Поэтому при выполнении соответствующих пунктов лабораторной работы канал II осциллографа должен быть всегда подключен к выходу усилительного каскада.
2. Основные параметры усилительных каскадов измеряются в полосе пропускания усилителя (область средних частот). В данной лабораторной работе экспериментальное определение основных параметров можно проводить на частоте 5...10кГц.
3. Входное сопротивление каскада можно определить экспериментально, определив коэффициент усиления для двух значений сопротивления $R_{г1}$ (в макете $R_{г1}=1$ кОм и $R_{г2}=0$).

$$R_{вх} = R_{г1} \frac{K_{u1}}{K_{u2} - K_{u1}}.$$

4. Выходное сопротивление можно определить экспериментально, определив выходное напряжение для двух значений сопротивления $R_{н1}$ (в макете $R_{н1}=1$ кОм и $R_{н2}=\infty$).

$$R_{вых} = \left(\frac{U_{вых\ xx}}{U_{вых}} - 1 \right) R_{н1}.$$

7. Теоретическая справка

Основными параметрами усилительного каскада являются коэффициент усиления, входные и выходные сопротивления. Определим эти параметры, используя малосигнальную схему замещения с h – параметрами. **При отсутствии обратной связи по переменной составляющей**, то есть при наличии шунтирующего конденсатора C_3 , можно использовать малосигнальную схему, представленную на рис. 7.3.

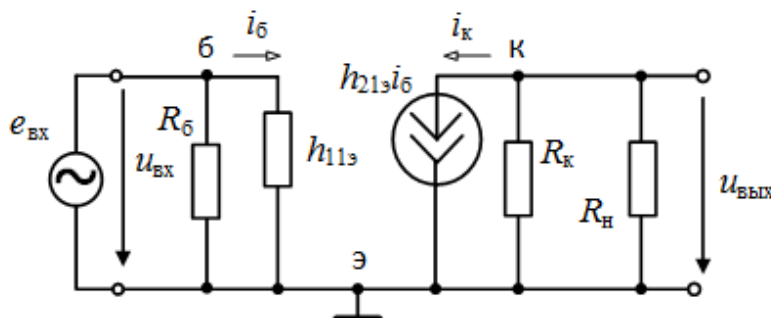


Рис. 7.3

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = \frac{-h_{21э}(R_k \parallel R_n)}{h_{11э}} = -S(R_k \parallel R_n),$$

где $S = \frac{dI_k}{dU_{6э}} = \frac{I_{к0}}{\varphi_T} e^{\frac{U_{6э}}{\varphi_T}} = \frac{I_k}{\varphi_T}$ – крутизна, $\varphi_T \approx 25$ мВ.

Коэффициент усиления базового тока $h_{21э} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6} = \beta$

Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = \frac{u_{\text{ВХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = R_6 \parallel h_{11э}$

Выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВЫХ}}} = R_k$

При наличии обратной связи по переменной составляющей, то есть при отсутствии шунтирующего конденсатора C_3 , можно использовать малосигнальную схему, представленную на рис. 7.4.

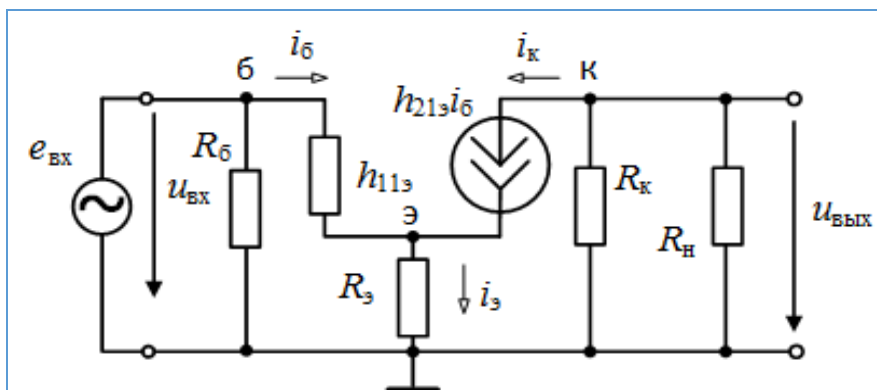


Рис. 7.4

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \frac{u_{\text{вых}}}{u_{\text{вх}}} = -h_{21э} \frac{R_к \parallel R_н}{h_{11э} + R_э(1 + h_{21э})}.$$

Коэффициент усиления базового тока $h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \beta$.

Входное сопротивление $R_{\text{вх}} = \frac{u_{\text{вх}}}{i_{\text{вх}}} = R_б \parallel [h_{11э} + (1 + h_{21э})R_э].$

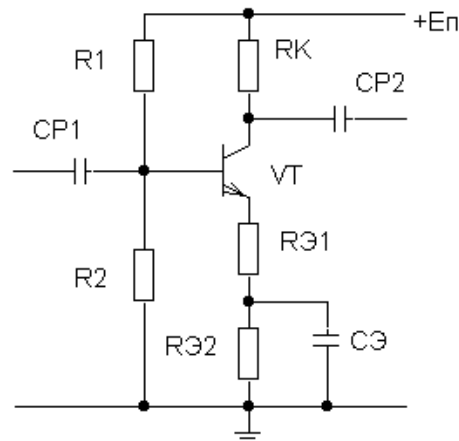
Выходное сопротивление $R_{\text{вых}} = \frac{u_{\text{вых}}}{i_{\text{вых}}} = R_к.$

8. Контрольные вопросы и задачи

1. Коэффициент усиления напряжения каскада ОК всегда меньше 1. Показать на примерах эффективность применения эмиттерного повторителя. Какие свойства каскада при этом используются?
2. Доказать, что в схеме усилительного каскада с заземленным эмиттером при выборе рабочей точки на середине линии нагрузки ($U_{кэ} = 0,5E_{\text{пит}}$) максимальный коэффициент усиления напряжения $K_{u \text{ хх}}$ в относительных единицах примерно равен $20E_{\text{пит}}$, где $E_{\text{пит}}$ – напряжение источника питания в вольтах.
3. Для усилительного каскада ОЭ на биполярном транзисторе (рис. 3 – 6):
 - нарисовать схему для расчета рабочего режима;
 - определить коллекторный ток транзистора $I_к$;
 - нарисовать малосигнальную схему замещения каскада;
 - определить основные параметры усилительного каскада $R_{\text{вх}}, R_{\text{вых}}, K_U$.

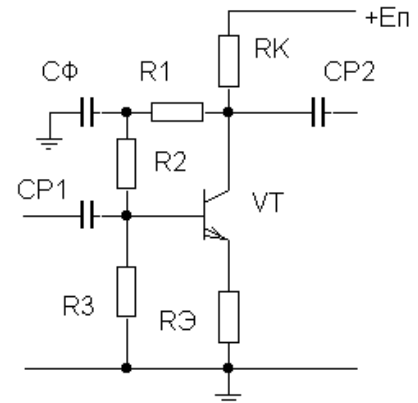
4. Для усилительного каскада ОЭ на биполярном транзисторе (рис. 3):

- нарисовать малосигнальную схему замещения каскада для области нижних частот;
- определить нижнюю граничную частоту усиления $f_{н.гр}$.



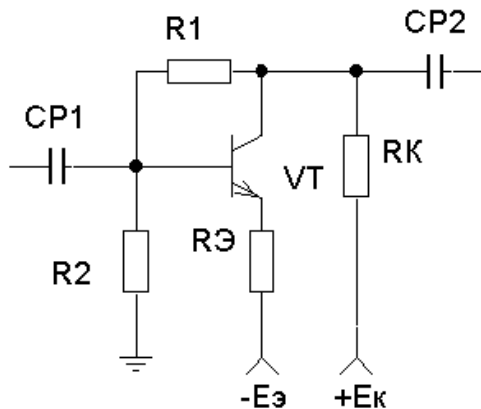
$E_{п}=12В,$ $R_1=7,5кОм,$ $C_{p1}=22мкФ,$
 $R_k=510Ом,$ $R_2=2кОм,$ $C_{p2}=22мкФ,$
 $R_{э1}=2кОм,$ $R_{э2}=51 Ом,$ $C_э=220мкФ,$
 $\beta=50,$ $R_{э2}=130Ом.$

Рис. 3



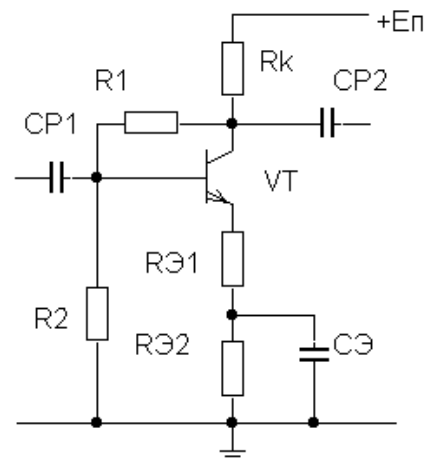
$E_{п}=15В,$ $R_1=5кОм,$ $R_э=180 Ом,$
 $R_k=820Ом,$ $R_2=5кОм,$ $R_{э1}=5кОм,$
 $\beta=35,$ $R_3=5кОм.$

Рис. 4



$E_{к}=20В,$ $R_{к}=2,4кОм,$ $R_1=100кОм,$
 $E_э=5В,$ $R_э=3000Ом,$ $R_2=51кОм,$
 $R_{э1}=2кОм,$ $\beta=35.$

Рис. 5



$E_{п}=15В,$ $R_{к}=820Ом,$ $R_1=10кОм,$
 $R_{э1}=2кОм,$ $R_{э2}=82 Ом,$ $R_2=5кОм,$
 $\beta=35,$ $R_{э2}=100 Ом.$

Рис. 6

9. 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: Учебное пособие для ВУЗов. / 2-ое изд. -М.: Лаборатория Базовых Знаний. 2001. -488с.