

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 61

УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ НА
ТРАНЗИСТОРЕ

Описание составил доц. Антипов С.Д.

Москва 2012 г.

Подготовил методическое пособие к изданию доцент Авксентьев Ю.И.

УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРЕ

Целью настоящей работы является изучение работы транзистора в качестве усилительного каскада по напряжению в схеме с общим эмиттером.

Введение

По своей сути транзистор является усилителем тока, так как небольшой по величине ток базы $J_{\bar{o}}$ управляет значительно большим током коллектора J_K , т.е. транзистор усиливает ток базы, $J_{\bar{o}} \approx 0.05 J_K$. Однако транзистор можно использовать и в качестве усилителя напряжения.

Одним из наиболее распространенных усилительных каскадов по напряжению является *каскад с общим эмиттером (ОЭ)*, когда эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей транзистора. Напряжения, приложенные к коллектору ($U_{K\bar{o}}$) и к базе ($U_{B\bar{o}}$) отсчитываются относительно эмиттера и называются соответственно выходным и входным (см. рис. 1).

Для любого усилительного устройства мерой усиления служит коэффициент усиления, который определяется как отношение выходной величины к входной.

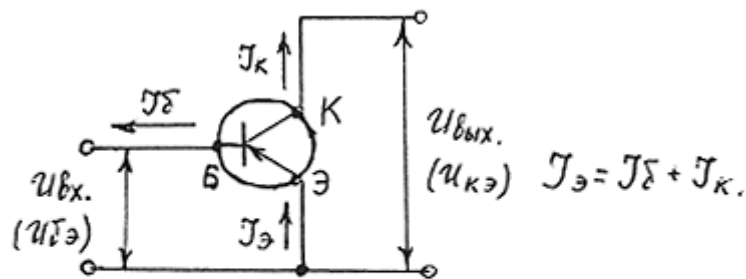


Рисунок 1.

Тогда коэффициент усиления по напряжению определяется так:

$$K_U = \frac{U_{\text{вых.}}}{U_{\text{вх.}}},$$

а коэффициент усиления по току:

$$K_J = \frac{J_{\text{вых.}}}{J_{\text{вх.}}}.$$

В усилительных каскадах с *ОЭ* обычно используется режим подачи напряжения на коллектор и базу такой, что $U_{K\bar{o}} < U_{B\bar{o}} < 0$ (для транзисторов типа *p-n-p*). В этом случае эмиттерный переход (*p-n*) открыт, а коллекторный (*n-p*) переход закрыт. Напряжения смещения $U_{B\bar{o}}$ и $U_{K\bar{o}}$ задаются с помощью потенциометров R_1 и R_2 , соответственно (см. рис. 2).

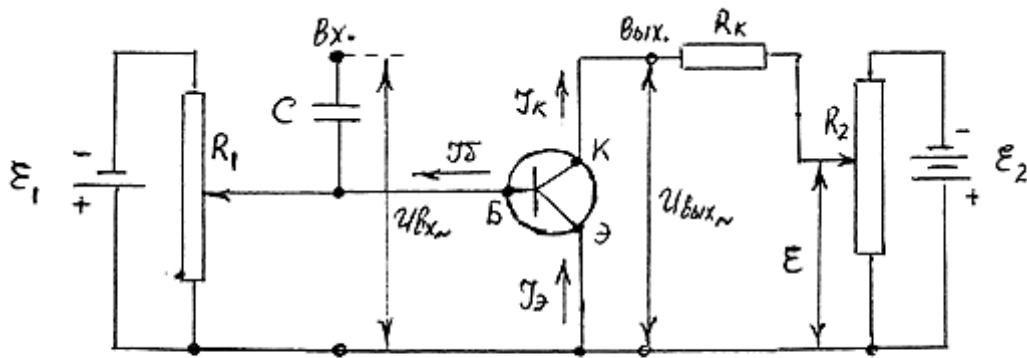


Рисунок 2.

Для того, чтобы постоянная составляющая входного сигнала $U_{вх}$ не влияла на величину $J_б$ напряжение $U_{вх\sim}$ подается на базу транзистора через разделительную емкость C . Переменный сигнал на входе транзистора будет усиливаться по напряжению только при включении в цепь коллектора сопротивления нагрузки R_k (см. рис. 2). Усиленное напряжение $U_{вых\sim}$ является переменным напряжением, снимаемым между коллектором и эмиттером транзистора (см. рис. 2). Напряжение смещения на коллекторе \mathcal{E} на коллекторе является постоянным, поэтому, согласно закону Кирхгофа, для напряжений $\mathcal{E} = R_k J_k + U_{вых\sim}$. Если происходит увеличение напряжения $U_{вх\sim}$, то ток коллектора

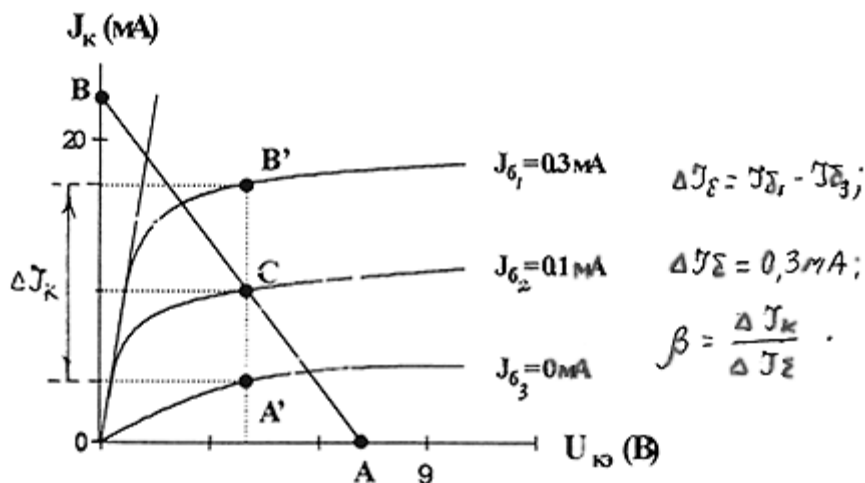


Рисунок 3.

J_k возрастает и, соответственно, т.к. $U_{вых\sim} = \mathcal{E} - R_k J_k$, то величина $U_{вых\sim}$ будет убывать. Напряжение $U_{вх\sim}$ имеет минимальное значение, когда напряжение $U_{вх}$ максимально, т.е. они сдвинуты по фазе на $\Delta\varphi = \pi$.

Обычно режим транзистора выбирается таким образом, что значение $U_{вых\sim}$

колеблется относительно напряжения $U_{кэ} = \varepsilon/2$ в пределах от $0 В$ при максимальном токе коллектора J_K до ε при $J_K = 0$. Это следует из уравнения прямой ($U_{кэ} \sim U_{вых}$): $U_{вых} = \varepsilon - R_K J_K$, которая называется *линией нагрузки*. Эта прямая определяет все возможные значения тока J_K и напряжения $U_{кэ}$ при любых изменениях базового тока $J_б$, если заданы величины ε и R_K . Обычно нагрузочная прямая строится на семействе выходных статических характеристик *Выходными статическими характеристиками* называют графически представленные зависимости между током и напряжением в выходных цепях транзистора при отсутствии сопротивления нагрузки $R_K = 0$ и при различных значениях тока $J_б$, т.е. зависимости типа $J_K = f(U_{кэ})|_{J_б = const}$ представленные на рисунке 3.

Для построения линии нагрузки на этом семействе выходных статических характеристик найдем точки пересечения прямой $U_{вкэ} = \varepsilon - R_K J_K$ с осями абсцисс и ординат:

$$(J_K = 0; U_{кэ} = \varepsilon) \quad - \text{ точка } A,$$

$$(U_{кэ} = 0; J_K = \varepsilon/R_K) \quad - \text{ точка } B.$$

Соединив точки A и B прямой, получим *нагрузочную прямую*.

Усилительный каскад по напряжению должен вносить минимальные искажения усищаемого сигнала $U_{вх}$. Для этого исходный режим транзистора выбирают таким образом, чтобы изменения J_K были возможны и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения на одинаковую величину ΔJ_K . Это условие выполняется, если рабочая точка находится посередине линии нагрузки (точка C на рис. 3), т.е. при $U_{кэ} = 0,5 \varepsilon$ и $J_K = 0,5 \varepsilon / R_K$. Тогда для коэффициента усиления по напряжению в схеме с общим эмиттером имеем:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{\Delta U_{кэ}}{\Delta U_{бэ}} = \frac{\Delta(\varepsilon - J_K)}{\Delta J_б R_{вх}} = \frac{\Delta J_K R_K}{\Delta J_б R_{вх}} = \beta \frac{R_K}{R_{вх}}, \quad (1)$$

где $R_{вх}$ - входное сопротивление в рабочей точке C , β - коэффициент усиления по току в схеме с ОЭ в рабочей точке C .

Величина β в точке C (см. рис. 3) находится следующим образом. Через точку C проводится перпендикуляр к оси напряжений $U_{кэ}$ (вертикальный пунктир) Из точек пересечения этого перпендикуляра с двумя ближайшими характеристиками над точкой C и под ней (точки B и A) проводятся прямые (горизонтальные пунктиры), параллельные оси напряжений, которые определяют на оси J_K величину ΔJ_K . Изменение $\Delta J_б$ равно разности значений базового тока для двух ближайших характеристик.

Величина $R_{вх}$, входящая в выражение (1), определяется соотношением:

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta J_б} |_{U_{кэ} = const}.$$

Эта величина находится по статической входной характеристике (см. рис. 4) $J_{\bar{o}} =$

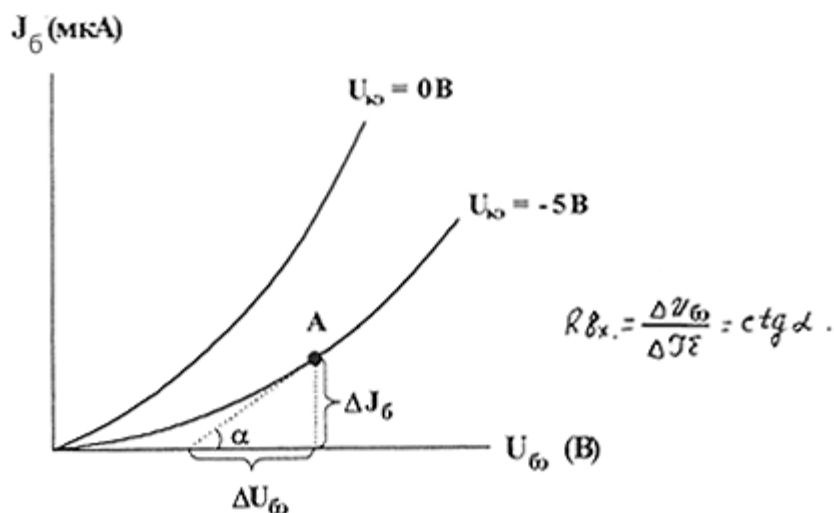


Рисунок 4.

$f(U_{\bar{o}\bar{z}})|_{J_{K\bar{z}}}$.

Пусть точка на характеристике $J_{\bar{o}}(U_{\bar{o}\bar{z}})$ при $U_{K\bar{z}} = -5V$ является рабочей. Для нахождения $R_{\bar{g}x}$ в этой точке проводим касательную к входной характеристике (пунктирная прямая) до пересечения с осью абсцисс. Величина $R_{\bar{g}x}$ определяется котангенсом угла α наклона касательной в точке A к оси напряжений $U_{\bar{o}\bar{z}}$.

Из выражения (1) видно, что коэффициент усиления каскада по напряжению растет с уменьшением входного сопротивления R_{Bx} .

Величину K_U можно измерить непосредственно. Для этого используется источник переменного напряжения амплитудой $U_{Bx\sim}^0 = 10 мВ$, (частота $f = 1 кГц$) и осциллограф. Сигнал с генератора переменного напряжения подается на вход усилительного каскада. С помощью осциллографа измеряется амплитуда напряжения $U_{\bar{g}x}^0$, а затем $U_{\bar{b}lx}^0$. Тогда $K_U = U_{\bar{b}lx}^0 / U_{\bar{g}x}^0$ и эту величину можно сравнивать с результатом, полученным по формуле (1).

В данной работе с использованием осциллографа определяется K_U и находятся зависимости $K_U = f(R_K)$ и $K_U = f(R_{\bar{g}x})$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Собирается усилительный каскад на базе транзистора типа $p - n - p$ (КТ 814) и элементов, входящих в состав модулей МО2, МО1 комплекса ЛКЭ - 1.

2. При этом используются также следующие измерительные приборы комплекса:

- а) генератор напряжения ГСФ -1,
- б) осциллограф С1 - 131/1,
- в) мультиметр М 83013,

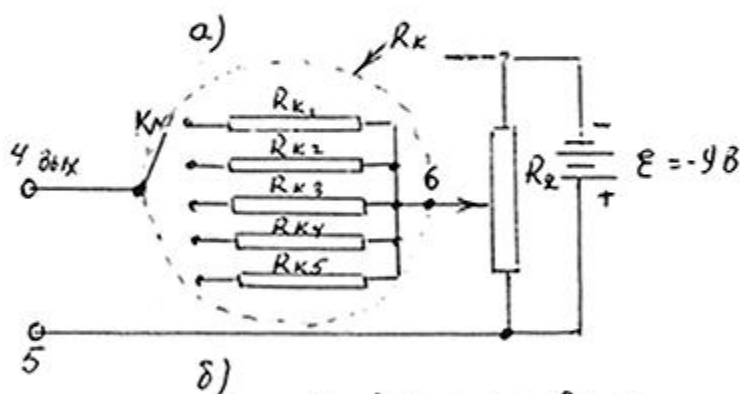
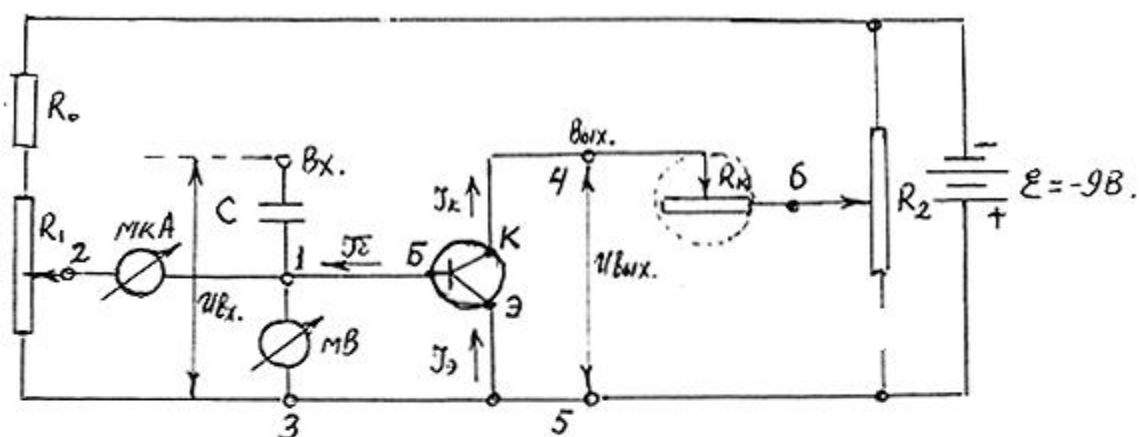
г) вольтметр $PB\ 7 - 22A$. При сборке электрической схемы усилительного каскада используются электрические кабели и провода со штекерами и разъемами.

Упражнение 1

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ (ПО НАПРЯЖЕНИЮ) В СХЕМЕ С ОЭ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКИ R_K : $K_U = f(R_K)$

Собирается установка по схеме, представленной на рисунке 5а.

Входной ток базы $J_{\bar{o}}$ (μA) измеряется микроамперметром (мультиметр $M83013$), включенным между точками 1-3. Величину входного напряжения изменяют с помощью потенциометра R_1 . Величина тока $J_{\bar{o}}$ не должна



Кл. - ключ, на рис. б) детализировано сопротивление R_K : $R_K = R_{K1}, R_{K2}, R_{K3}, R_{K4}, R_{K5}$.

Рисунок 5а, б.

превышать 1 мА , для чего служит ограничительное сопротивление R_0

Напряжение U_K задается с помощью потенциометра R_2 и измеряется

вольтметром (*PВ 7—22А*), включенным в точки 4 — 5. Сопротивление R_K в цепи коллектора изменяется ступенчато: $R_{K1} = 100 \text{ Ом}$; $R_{K2} = 400 \text{ Ом}$, $R_{K3} = 1.4 \text{ кОм}$, $R_{K4} = 4.4 \text{ кОм}$; $R_{K5} = 5.4 \text{ кОм}$.

Задание:

1. С помощью потенциометра R_2 установите величину $U_{кэ} = -5B$ (вольтметр *PВ 7 - 22А* между точками 4 и 5) и в дальнейшем при изменении $U_{бэ}$ она поддерживается постоянной.

- Установите с помощью потенциометра R_1 ток базы $J_б = 100 \text{ мкА}$.

- Включите между точками 4 и 6 сопротивление $R_{K1} = 100 \text{ Ом}$,

2. Подайте переменное напряжение $U_{\text{вх}}^0$ с выхода генератора *ГСФ-1* амплитудой $U_{\text{вх}}^0 = 10 \text{ мВ}$ и частотой $f = 1 \text{ кГц}$ на вход усилительного каскада (клеммы *Вх.* на схеме).

Измерьте амплитуду входного сигнала $U_{\text{вх}}^0$. Для этого вход осциллографа *СГ-131/1* подсоедините к клемме *Вх.* и измерьте амплитуду сигнала на экране осциллографа в делениях шкалы n_1 .

3. Измерьте амплитуду выходного сигнала $U_{\text{вых}}^0$. Для этого вход осциллографа *СГ-131/1* подсоедините к клемме *Вых.* и измерьте амплитуду сигнала на экране осциллографа в делениях шкалы n_2 .

4. Определите $K_U = \frac{U_{\text{вых}}^0}{U_{\text{вх}}^0} = \frac{n_1}{n_2}$ для $U_{кэ} = -5 B$ тока базы $J_б = 100 \text{ мкА}$, $R_{K1} = 100 \text{ Ом}$.

5. Оставляя величины $U_{кэ} = -5 B$ и $J_б = 100 \text{ мкА}$ постоянными, определите K_U для сопротивлений нагрузки R_K ; $R_{K2} = 400 \text{ Ом}$, $R_{K3} = 1.4 \text{ кОм}$, $R_{K4} = 4.4 \text{ кОм}$, $R_{K5} = 5.4 \text{ кОм}$, последовательно подсоединяя их между точками 4 и 6.

6. Постройте график зависимости $K_U = f(R_K)$.

Упражнение 2

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ (ПО НАПРЯЖЕНИЮ) В СХЕМЕ С ОЭ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКИ R_{BX} : $K_U = f(R_{BX})$

Задание:

1. Установите в цепи коллектора (точки 4 - 6 на схеме) сопротивление $R_{K1} = 100 \text{ Ом}$, $U_{кэ} = -5B$.

2. Снимите зависимость тока базы $J_б$ от напряжения $U_{бэ}$, задаваемого потенциометром R_1 . Снятие этой входной характеристики осложняется тем, что при изменении $U_{бэ}$ изменяется и $U_{кэ}$. Поэтому с помощью потенциометра R_2 $U_{кэ}$ поддерживается постоянным. Отсчеты проводите при значениях $U_{бэ}$ от 0 до 300 мВ

через 50 мВ .

3. Постройте график зависимости $J_{\bar{\sigma}} = f(U_{\bar{\sigma}\bar{\alpha}})|_{U_{K\bar{\alpha}} = -5 \text{ В}}$ для значений $J_{\bar{\sigma}} = 50, 100, 150, 200, 250, 300 \text{ мкА}$ определите входные сопротивления, пользуясь соотношением:

$$R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\bar{\sigma}\bar{\alpha}}}{\Delta J_{\bar{\sigma}}} \Big|_{U_{K\bar{\alpha}} = -5 \text{ В}} .$$

4. Определите K_U способом, описанным в упражнении 1 при значениях $J_{\bar{\sigma}} = 50, 100, 150, 200, 250, 300 \text{ мкА}$ $U_{K\bar{\alpha}} = -5 \text{ В}$ и $R_{K\bar{\alpha}} = 100 \text{ Ом}$.

5. Постройте график зависимости $K_U = f(R_{B\bar{\alpha}})$.

ЛИТЕРАТУРА

1. САВЕЛЬЕВ И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие в 5 кн. Кн.5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц - 4-е изд., перераб.- М.:Наука. Физматлит. 1998..
Глава 8. Электропроводность металлов и полупроводников.
8.6. Электропроводность полупроводников.
Глава 9. Контактные и термоэлектрические явления.
9.3. Контактная разность потенциалов.
9.5. Полупроводниковые диоды и триоды.