

Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э.Баумана

ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Электроника и схемотехника»

Лабораторная работа №2. «ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА»

Цель работы – изучить, как влияют различные способы включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.

Теоретическая часть

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Электронный усилитель – устройство, увеличивающее мощность (напряжение, ток) входного сигнала за счет энергии внешнего источника питания посредством усилительных элементов (полупроводниковых приборов, электронных ламп и др.).

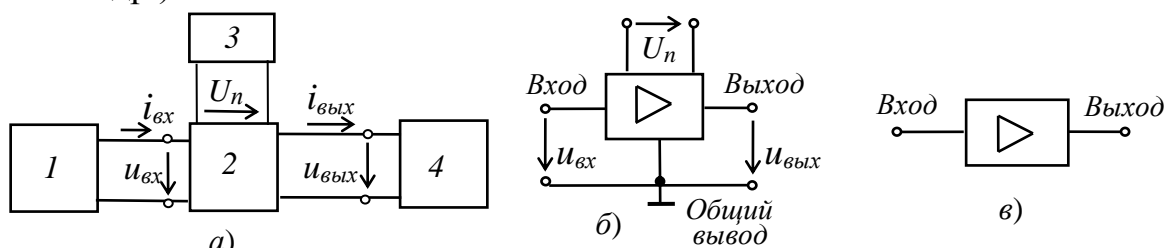


Рис.1

На рис. 1, а представлена структурная схема включения усилителя в цепь усиления электрического сигнала, где 1 – источник входного сигнала; 2 – усилитель; 3 – источник энергии; 4 – нагрузка. В качестве источников питания усилителя используют стабильные источники энергии постоянного тока. Источник входного сигнала (датчик) формирует изменяющееся во времени напряжение $u_{вх}$ (ток $i_{вх}$) различной амплитуды, частоты и формы. Нагрузка усилителя – устройство, которое можно представить в виде линейного пассивного двухполюсника. Сам усилитель с парой входных и парой выходных зажимов иногда представляют в виде нелинейного четырехполюсника вследствие нелинейности характеристик входящих в него элементов.

Условное обозначение усилителей на схемах изображено на рис. 1, б. Напряжение входа $u_{вх}$ и напряжение выхода $u_{вых}$ измеряют относительно общего вывода. При упрощенном изображении усилителя в виде прямоугольника, на нем изображают только вход и выход (рис. 1, в), опуская выводы напряжения питания U_n и общий вывод.

Важнейшим параметром усилителя является коэффициент усиления по мощности, равный отношению изменения мощности выходного сигнала к изменению мощности входного сигнала, т. е. $K_p = \Delta P_{вых} / \Delta P_{вх}$. Помимо коэффициента усиления по мощности вводят также коэффициент усиления по напряжению $K_u = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх}$ и коэффициент усиления по току $K_i = \Delta I_{вых} / \Delta I_{вх}$. Тогда коэффициент $K_p = K_u K_i$.

Важнейшими характеристиками усилителя являются амплитудная и частотные. Амплитудная характеристика (рис. 2, а) – это зависимость амплитуды (или действующего значения) выходного напряжения от амплитуды (или действующего значения) входного синусоидального напряжения, т. е. $U_{вых} = f(U_{вх})$, где $u_{вх} = U_m \sin \omega t$, $U_m = var$, $\omega = const$.

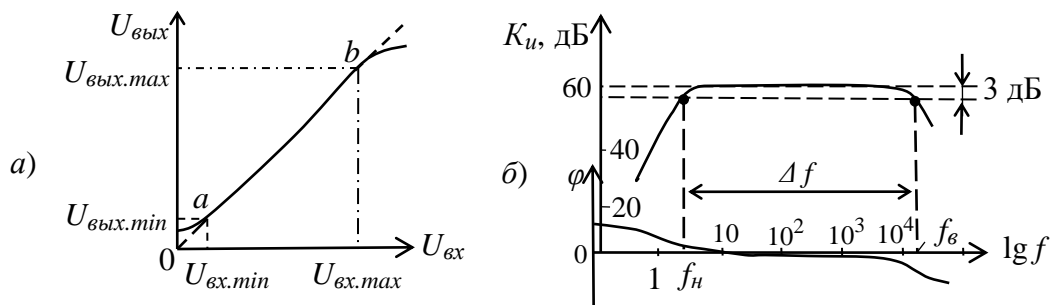


Рис. 2

Пунктиром показана амплитудная характеристика идеального усилителя. Отклонение реальной характеристики от идеальной объясняется наличием шумов и нелинейностями характеристик усилительных элементов при слабых и больших входных сигналах.

Динамическим диапазоном усилителя в децибелах называют отношение максимального значения входного напряжения к минимальному на линейном участке ab амплитудной характеристики (см. рис. 2, а):

$$D = 20 \lg \frac{U_{вх.max}}{U_{вх.min}}.$$

Коэффициент усиления по напряжению на этом участке

$$K_u = \frac{U_{вых.max} - U_{вых.min}}{U_{вх.max} - U_{вх.min}} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}}.$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя – это зависимость коэффициента усиления, например, по напряжению K_u от частоты f входного сигнала, т. е. $K_u(f)$ при $u_{вх} = U_m \sin \omega t$, $U_m = const$; $\omega = var$.

Обычно АЧХ строят на двойной логарифмической сетке: по оси ординат откладывают значения K_u в децибелах, а по оси абсцисс – частоты в логарифмическом масштабе, однако около делений записывают значения частот без логарифма (рис. 2, б).

Полоса пропускания усилителя определяет диапазон частот Δf (или $\Delta \omega$), в пределах которого коэффициент усиления K_u (на средней частоте) не снижается ниже $1/\sqrt{2} \approx 0,707$ (3 дБ) своего уровня, т. е. $\Delta f = f_v - f_n$, где f_v и f_n – верхняя и нижняя частоты среза АЧХ усилителя.

Фазочастотная характеристика $\varphi(f)$ – это зависимость угла сдвига фаз φ между выходным и входным напряжениями усилителя от частоты (см. рис. 2, б). Фазовые искажения в усилителе отсутствуют, когда фазовый сдвиг φ линейно зависит от частоты.

Входное и выходное сопротивления усилителя:

$$\underline{Z}_{\text{ex}} = \underline{U}_{\text{ex}} / \underline{I}_{\text{ex}} = R_{\text{ex}} + jX_{\text{ex}}; \quad \underline{Z}_{\text{ввх}} = \underline{U}_{\text{ввх}} / \underline{I}_{\text{ввх}} = R_{\text{ввх}} + jX_{\text{ввх}}.$$

При сопротивлении нагрузки R_H выходная мощность $P_{\text{ввх}} = R_H I_{\text{ввх}}^2$.

2. Усилитель с общим эмиттером (ОЭ)

Одним из наиболее распространённых усилителей на биполярных транзисторах является усилитель с *общим эмиттером* (ОЭ). В этом усилителе эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей (рис. 3, а). Входное напряжение u_{ex} от источника сигнала E_c с внутренним сопротивлением R_c подаётся на усиливаемый каскад на биполярном транзисторе VT через конденсатор связи C_1 , предотвращающий прохождение постоянной составляющей тока от источника сигнала. Усиленное выходное напряжение подаётся на нагрузку R_H через разделительный конденсатор C_2 , т. е. подаётся только переменная составляющая напряжения $u_{\text{ввх}}$.

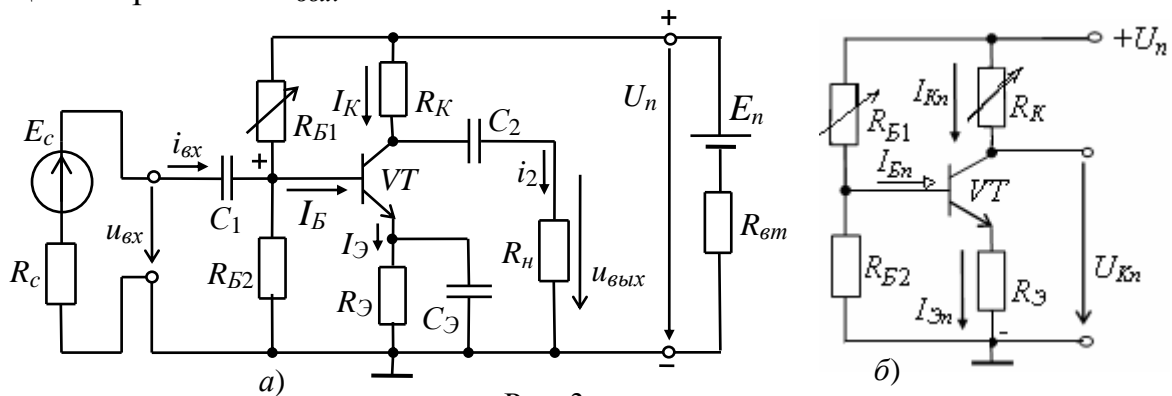


Рис. 3

В усилителе, кроме источника переменного сигнала, действует источник напряжения с ЭДС E_n (обычно напряжение $U_n = 10...30$ В) с внутренним сопротивлением $R_{\text{вт}}$. Сопротивление резистора R_K выбирают, исходя из требований усиления входных сигналов и ограничения тока коллектора I_K транзистора VT . Обычно сопротивление R_K составляет $0,2...5$ кОм для транзисторов малой мощности и порядка 100 Ом для транзисторов средней мощности. Резисторы R_{B1} и R_{B2} делителя напряжения питания U_n предназначены для установки тока базы I_B транзистора (по постоянному току), соответственно рабочей точки (точки покоя) на линии нагрузки.

С помощью резистора R_E создаётся обратная отрицательная связь усилителя по постоянному току, обеспечивающая температурную стабилизацию его режима усиления. Так, при увеличении температуры возрастают постоянные составляющие токов коллектора I_K и эмиттера I_E и падение напряжения $R_E I_E$. В результате, напряжение $U_{БЭ}$ уменьшается, что вызывает уменьшение тока базы I_B , и, следовательно, тока I_K , стабилизируя его.

Конденсатор C_E большой ёмкости (десятки микрофард) шунтирует сопротивление резистора R_E по переменному току, что исключает ослабление усиливаемого сигнала по переменному току цепью обратной связи.

Для удобства анализа работы усилителя отдельно рассматривают его схемы замещения по постоянному (рис. 3, б) и переменному току (рис. 5). В режиме работы усилителя по *постоянному току* для получения наименьших нелинейных

искажений усиленного сигнала рабочую точку a (рис. 4) выбирают посередине рабочего участка bc линии нагрузки по постоянному току, описываемой уравнением

$$I_{Kn} = (U_n - U_{Kn}) / R_K, \text{ где } U_{Kn} = U_{KЭ} + R_{Э} I_{Эn}.$$

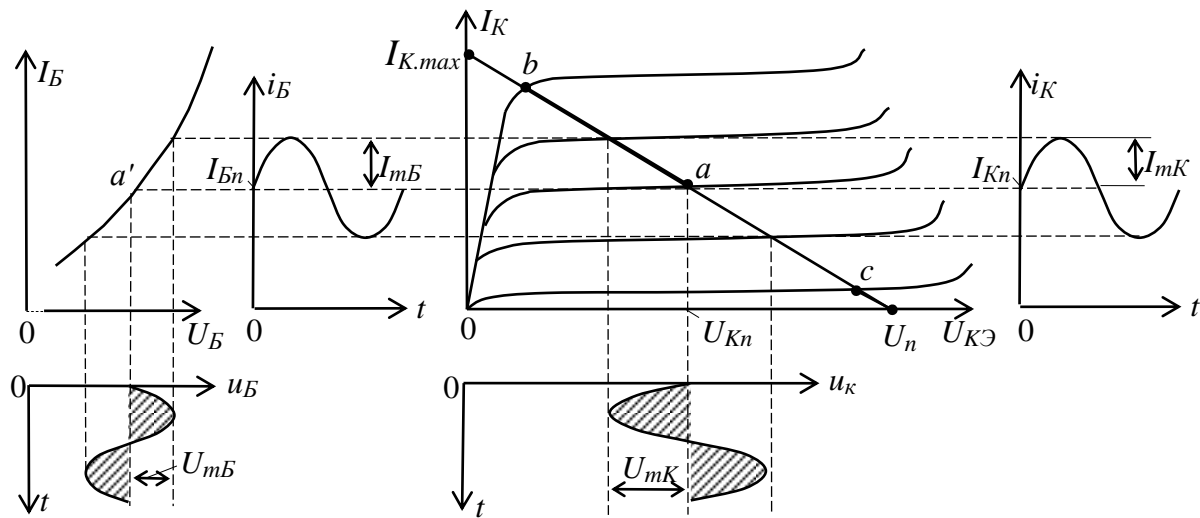


Рис. 4

Линию нагрузки строят следующим образом. Из приведенного уравнения следует, что при $I_{Kn} = 0$, $U_{Kn} = U_n$, а при $U_{Kn} = 0$, $I_{K,max} = U_n / R_K$.

Через две найденные точки проводят прямую (нагрузочную) линию. Задав ток базы в режиме покоя I_{Bn} , находят на пересечении линии нагрузки по постоянному току с выходной характеристикой транзистора при $I_B = I_{Bn}$ точку покоя $a(U_{Kn}, I_{Kn})$.

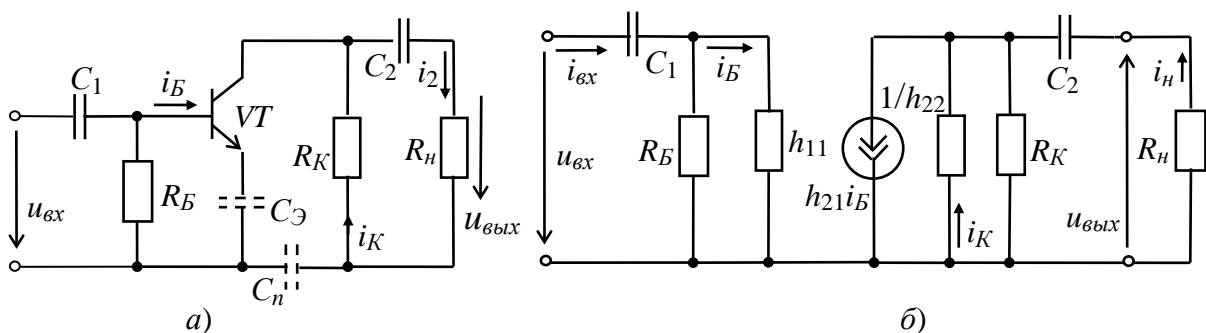


Рис. 5

При подаче на вход усилителя *переменного напряжения* $u_{вх}$ происходит изменение тока базы i_B , тока коллектора i_K и напряжения на коллекторе $u_K = U_n - R_K i_K$ (см. рис. 4). Амплитуда переменного коллекторного тока I_{mK} примерно в h_{21} раз больше амплитуды тока базы I_{mB} , а амплитуда коллекторного напряжения U_{mK} во много раз больше амплитуды входного напряжения. Таким образом, в схеме усилителя с ОЭ усиливается ток и напряжение входного сигнала.

Пользуясь графиками, изображенными на рис. 4, нетрудно определить входное сопротивление и коэффициенты усиления каскада.

При этом положительному полупериоду входного напряжения $u_{вх}$ соответствует отрицательный полупериод выходного напряжения $u_K \approx u_{вых}$. Иначе говоря, между входным и выходным напряжениями существует сдвиг фаз, равный 180° , т. е. схема усилителя с ОЭ является инвертирующим устройством, усиливающим и изменяющим фазу входного напряжения на 180° .

Обычно рассмотренный тип усилительного каскада работает в режиме усиления слабых сигналов (постоянные составляющие тока базы и коллектора существенно превосходят аналогичные переменные составляющие). Эти особенности позволяют использовать аналитические методы расчета параметров усилительного каскада на низких частотах по известным h -параметрам транзистора (рис. 5, б), полагая, что транзистор работает в линейном режиме. При этом сигнал, поданный на вход усилителя, практически не искажается (по форме) на его выходе.

Наличие в усилителе ёмкостей C_1 и C_2 (см. рис. 3, а) приводит к частотным искажениям усиливаемых сигналов в области нижних частот: с уменьшением частоты входного сигнала увеличивается сопротивление конденсатора $X_{C1} = 1/\omega C_1$, падение напряжения u_{C1} на нем, следовательно, снижается входное $u_{вх}$ и выходное $u_{вых}$ напряжения. Это приводит к уменьшению коэффициента усиления K_u с уменьшением частоты (см. рис. 2, б), а наличие в усилителе междуэлектродных ёмкостей транзистора и монтажных ёмкостей приводит к возникновению частотных искажений усиливаемых сигналов в области высоких частот. С учётом ёмкости C_K коллекторного p - n -перехода, условно включаемой между коллектором и базой, входное сопротивление каскада в области верхних частот

$$\underline{Z}_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{R_{Б1} \cdot h_{11}}{R_{Б1} + h_{11}(1 + j\omega C_K R_{Б1})}.$$

Входное сопротивление усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОЭ обычно имеет значение порядка нескольких сотен ом. Выходное сопротивление обычно на порядок больше входного.

Реальный коэффициент усиления по напряжению K_u всегда меньше коэффициента усиления ненагруженного усилителя ($R_H \gg R_K$). Это различие тем заметнее, чем больше выходное сопротивление усилителя и меньше сопротивление нагрузки R_H . На практике реальный коэффициент усиления каскада K_u может достигать нескольких сотен, а коэффициент усиления по мощности $K_p = K_u K_i$ в схеме с ОЭ – нескольких тысяч.

2. Усилитель с общей базой (ОБ)

На Рис. 6 приведена схема усилителя на биполярном транзисторе, включенном с общей базой (ОБ), а также эквивалентная схема.

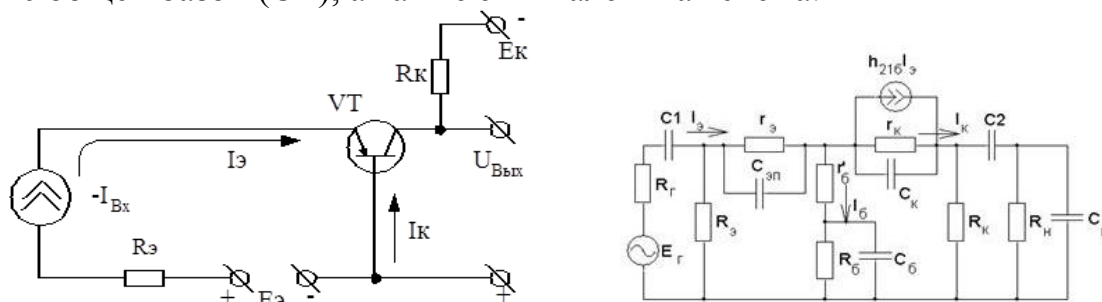


Рис. 6

Резистор R_K является нагрузкой транзистора и определяет его усилительные свойства. Если $R_K=0$ то эффект усиления напряжения не происходит, т.к. $U_{KB}=E_K=const$. С увеличением R_K растет коэффициент усиления схемы по напряжению, однако существует ограничение на R_K сверху.

Коэффициент усиления по току k_I меньше 1, $k_I \approx (0.5 \div 0.95)$.

Следовательно, схема с ОБ усиливает напряжение, мощность, но не усиливает ток.

Режим работы схемы по постоянному току определяется элементами: R_K , R_3 , E_K , E_3 и характеристиками транзистора VT. Запишем уравнения Кирхгофа для выходной цепи:

$$\begin{cases} E_K = I_K \cdot R_K + U_{KB} & (1); \\ U_{KB} = \Psi(I_3, I_K) & (2). \end{cases}$$

На рис. 7 уравнение (1) представляет собой уравнение прямой, которую называют нагрузочной прямой, а уравнение (2) представляет семейство выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой. На основании определенных критериев может быть выбран тип транзистора, при этом по справочнику определим его входные и выходные характеристики.

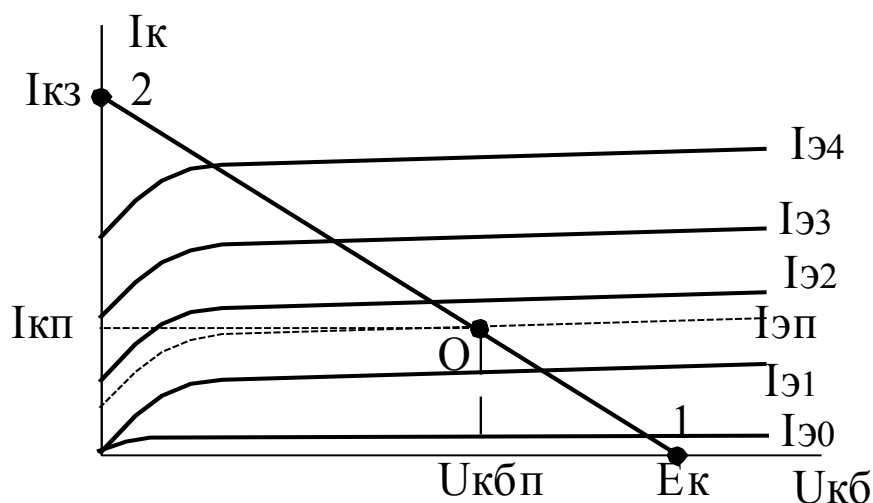


Рис. 7

Для обеспечения работы усилителя в точке покоя "О" нужно обеспечить (входной ток) $I_{Эп}$.

Аналогично выходной цепи опишем входную цепь системой уравнений:

$$\begin{cases} E_{Э} = I_{Э} \cdot R_{Э} + U_{ЭБ} & (1)'; \\ U_{ЭБ} = \varphi(I_{Э}, U_{КБ}) & (2)'. \end{cases}$$

Уравнение 1' нагрузочной прямой по входу, а уравнение 2' – входными характеристиками транзистора. Для построения нагрузочной линии используем режимы холостого хода и короткого замыкания:

На рис.8 положение рабочей точки на нагрузочной прямой можно определить по току $I_{Эп}$ или по напряжению $U_{КБп}$. Координаты рабочей точки определяют напряжение между базой и эмиттером по постоянному току $Э_{Бп}$.

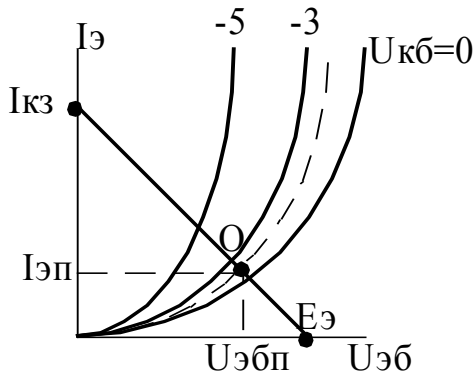


Рис. 8

Принципиальная схема усилителя имеет вид, приведенный на Рис. 9.

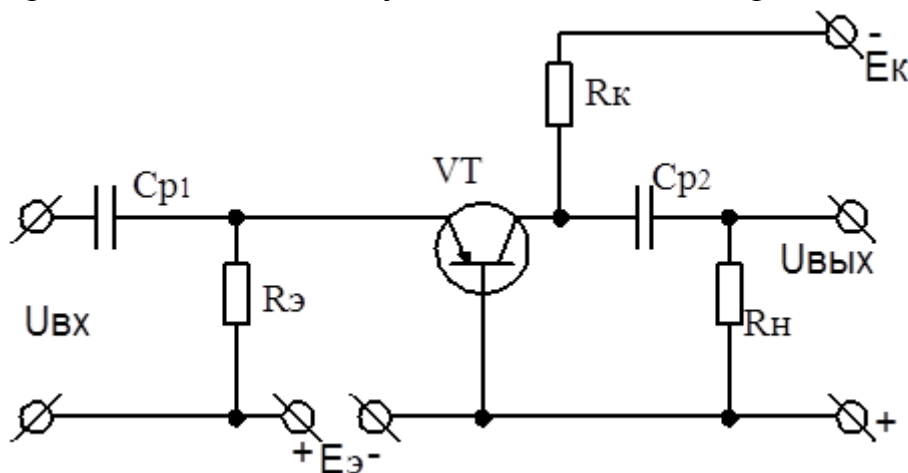


Рис. 9.

Разделительные конденсаторы C_{P1} и C_{P2} нужны для того, чтобы:

- 1) источник входного сигнала и нагрузка не изменяли режим работы транзистора по постоянному току;
- 2) не пропускать на вход и в нагрузку постоянные составляющие, в которых нет информации о переменном входном сигнале.

3. Эмиттерный повторитель

В каскаде, собранном на биполярном транзисторе с общим коллектором, называемым *эмиттерным повторителем*, выходное напряжение $u_{вых}$ (через разделительный конденсатор C_2) снимается с резистора $R_Э$, включенного в цепь эмиттера (рис. 10, а).

Значения сопротивлений резисторов $R_{Б1}$ и $R_{Б2}$ выбирают такими, чтобы рабочая точка в режиме покоя находилась примерно посередине рабочего участка входной характеристики транзистора VT . При подаче переменного входного сигнала $u_{вх}$ появляется переменная составляющая $i_Э$ эмиттерного тока, которая создает на резисторе $R_Э$ выходное напряжение $u_{вых} = R_Э i_Э$.

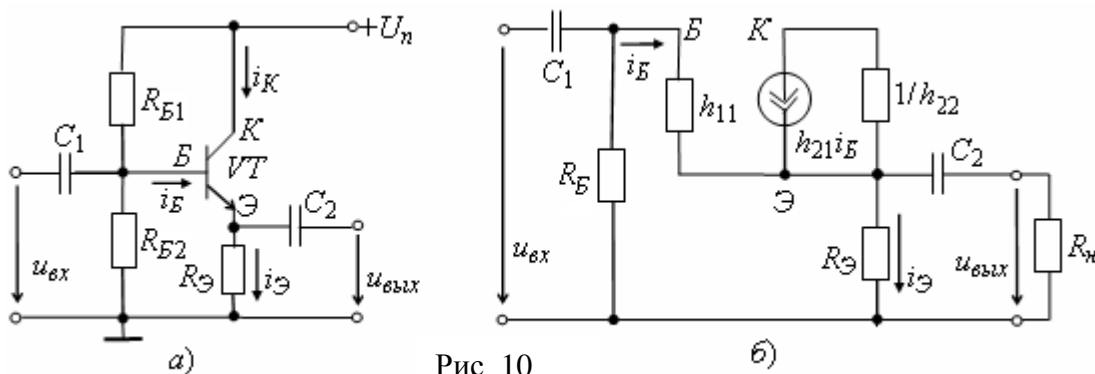


Рис. 10

Входное сопротивление повторителя значительно больше входного сопротивления транзистора h_{11} и достигает нескольких десятков и сотен килоом. С учетом сопротивлений резисторов $R_{Б1}$ и $R_{Б2}$ входное сопротивление повторителя $R_{вх.р} = R_{вх} R_B / (R_{вх} + R_B)$.

Выходное сопротивление $R_{вых} \approx h_{11} / (1 + h_{21})$ имеет значение порядка нескольких единиц или десятков ом. Таким образом, эмиттерный повторитель обладает большим входным и малым выходным сопротивлениями, что упрощает согласование высокоомного источника сигнала и низкоомной нагрузки с усилительным устройством.

Эмиттерные повторители применяют при передаче напряжения без изменения формы, амплитуды и фазы, но при значительном усилении тока и мощности сигнала: эмиттерный повторитель усиливает ток входного сигнала в $h_{21} + 1$ раз и в h_{21} раз его мощность.

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Задание 1 Собрать на рабочем поле среды Multisim схему для испытания усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОЭ (рис. 11), ознакомиться с порядком расчёта параметров схемы.

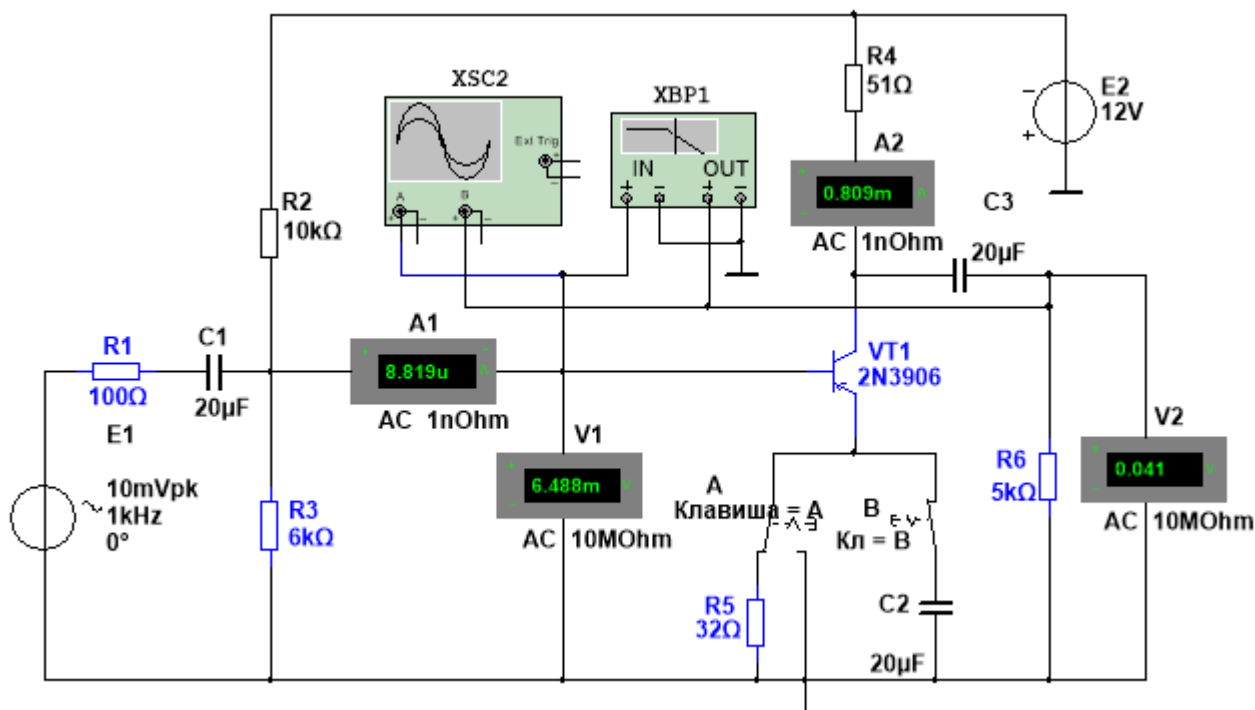


Рис. 11

Скопировать схему (рис. 11) , а также показания приборов на страницу отчета по работе.

Усилитель на транзисторе **VT1** с ОЭ (типа **2N3906(КТ361Г)** с параметрами: $U_{K.max} = 40$ В; $I_{K.max} = 0,2$ А; $C_K = 4,5$ пФ; $h_{21эмин} = 30$; $h_{21эмах} = 300$; $f_{гр} = 300$ МГц; $\tau_K \leq 500$ пс; $R_{кэ}$ равно от 40 до 60 Ом (в режиме насыщения); $I_{ко} = 7,5$ мА; $P_K = 0,625$ Вт. Включены постоянные резисторы **R1, R2, R3, R4, R5, R6**, конденсаторы **C1, C2, C3**, переключатель **A** и ключ **B**.

В качестве источника энергии использован генератор постоянного напряжения **E2** с ЭДС E_2 , а в качестве источника входного сигнала – генератор синусоидального напряжения **E1**. Для визуализации результатов испытания в схему включены амперметры **A1** и **A2**, вольтметры **V1** и **V2**, двухканальный осцилло-

граф **XSC2** и плоттер **XBP1** (построитель АЧХ и ФЧХ усилителя по напряжению).

Физическая эквивалентная схема транзистора, представляющая собой электрическую модель транзистора и, которая может использоваться для расчетов, может быть представлена в следующем виде:

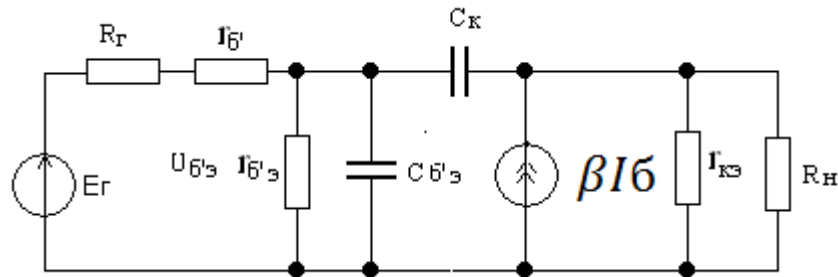


Рис.12

Расчёт параметров схемы выполним с помощью следующих соотношений:

- 1) Определяем значение параметра $h_{11э}$:

$$h_{11э} = r_{б'} + r_{б'э} ,$$

где: $r_{б'}$ - сопротивление базы транзистора, представляющее собой распределенное (объемное) сопротивление участка кристалла, примыкающего к электроду;

$r_{б'э}$ – сопротивление эмиттерного перехода;

$$r_{б'} = \tau_k / C_k ,$$

$$r_{б'э} = \frac{1 + h_{21э}}{\gamma \cdot I_{k_0}} ,$$

где $\gamma = \frac{1}{\varphi_T}$, φ_T -температурный потенциал, равный 26 мВ при комнатной температуре.

- 2) Определяем среднее значение параметра $h_{21э}$:

$$h_{21э} = \sqrt{h_{21э_{мин}} \cdot h_{21э_{max_x}}} ,$$

- 3) Определим расчетное значение входного сопротивления усилительного каскада с учетом сопротивлений $R_{б1}$ и $R_{б2}$:

$$R_{вх} = \frac{h_{11э} \cdot R_{б}}{h_{11э} + R_{б}}$$

$$\text{где: } R_{б} = \frac{R_{б1} \cdot R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}$$

- 4) Определим значение выходного сопротивления транзистора усилительного каскада.

$$R_{вых} = R_{кэ} \cdot \left(1 + \frac{h_{21э} \cdot r_{э}}{r_{э} + r_{б'}}$$

где: $r_{э} = \frac{\varphi_T}{I_{к0}} = \frac{26}{7,5} = 3,5 \text{ Ом}; \quad R_{кэ} = 60 \text{ Ом};$

- 5) Определим коэффициент усиления по напряжению K_u :

$$K_u = \frac{h_{21э} \cdot R_k}{h_{11э}},$$

- 6) Коэффициент усиления по току K_i для схемы с ОЭ составляет $K_i = h_{21э},$

- 7) Определим величину коэффициента усиления по мощности: $K_p = K_u \cdot K_i.$

Полученные значения параметров внести в табл. 1.

Используя показания амперметров **A1** и **A2**, вольтметров **V1** и **V2**, двухканального осциллографа **XSC2** вычислить $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_u , K_i , K_p для области средних частот. Данные внести в табл. 1, сравнить с рассчитанными по формулам. Копию экрана осциллографа привести в отчете.

Снять с помощью плоттера **XBP1** амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада. **Скопировать** экран плоттера на страницу отчёта по работе.

Задание 2 Собрать на рабочем поле среды Multisim схему для испытания усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОБ (рис. 13), ознакомиться с порядком расчёта параметров схемы.

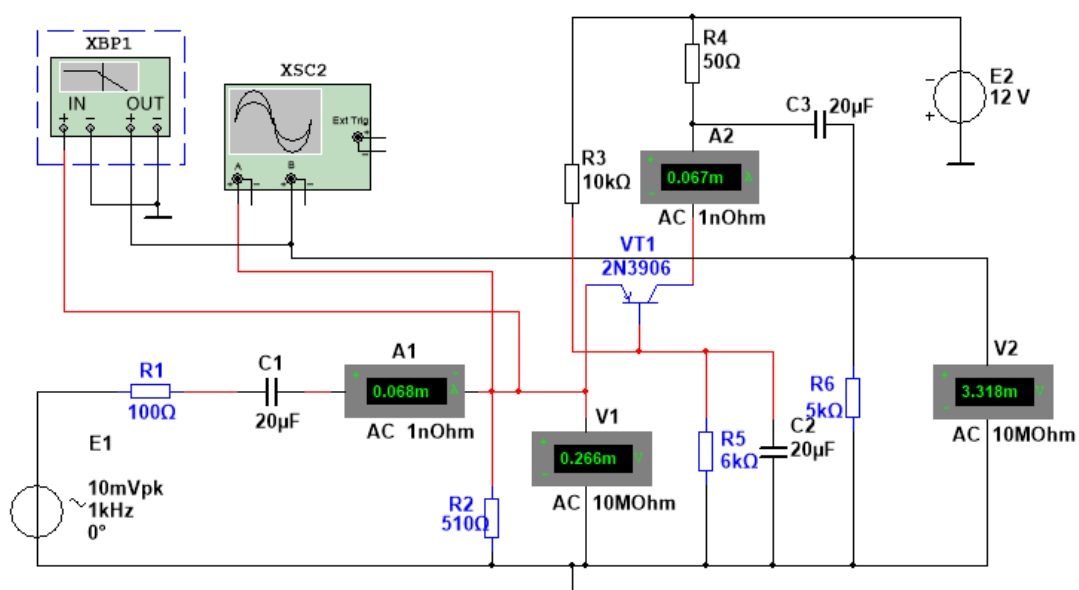


Рис. 13

Скопировать схему (рис. 13) , а также показания приборов на страницу отчета по работе.

При расчете используются основные параметры, найденные при предыдущем расчете.

- 1) Определим статический коэффициент усиления по току для схемы с ОБ:

$$h_{21\epsilon} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}$$

- 2) Определим параметр $h_{11\epsilon}$: (входное сопротивление транзистора в схеме с

$$\text{ОБ: } h_{11\epsilon} = \frac{h_{11э}}{1 + h_{21э}}$$

- 3) Определим расчетное значение входного сопротивления усилительного каскада (с учетом параллельного соединения сопротивлений $R_{б1}$, $R_э$ и $h_{11\epsilon}$).

- 4) Определим значение выходного сопротивления транзистора усилительного каскада (как параллельное соединение $h_{22\epsilon}$ и сопротивления R_k , $h_{12э}=0,009$, $h_{22э}= 1,5$ мСим).

$$h_{22\epsilon} = \frac{h_{22э}}{1 - h_{12э} + h_{21э}}$$

- 5) Коэффициент усиления усилителя по току K_i составляет:

$$K_i = \frac{R_э}{R_э + h_{11\epsilon}} \cdot \frac{h_{21\epsilon}}{1 + h_{22\epsilon} \cdot R_k}$$

- 6) Определим коэффициент усиления по напряжению K_u :

$$K_u = \frac{h_{21\epsilon} \cdot R_k}{h_{11\epsilon}}$$

- 7) Определим величину коэффициента усиления по мощности:

$$K_p = K_u \cdot K_i$$

Полученные значения параметров внести в табл. 1.

Используя показания амперметров **A1** и **A2**, вольтметров **V1** и **V2**, двухканального осциллографа **XSC2** вычислить $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_u , K_i , K_p для области средних частот. Данные внести в табл. 1, сравнить с рассчитанными по формулам. Копию экрана осциллографа привести в отчете.

Снять с помощью плоттера **XBP1** амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада. **Скопировать** экран плоттера на страницу отчёта по работе.

Задание 3 Собрать на рабочем поле среды Multisim схему для испытания *усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОК* (рис. 14), ознакомиться с порядком расчёта параметров схемы.

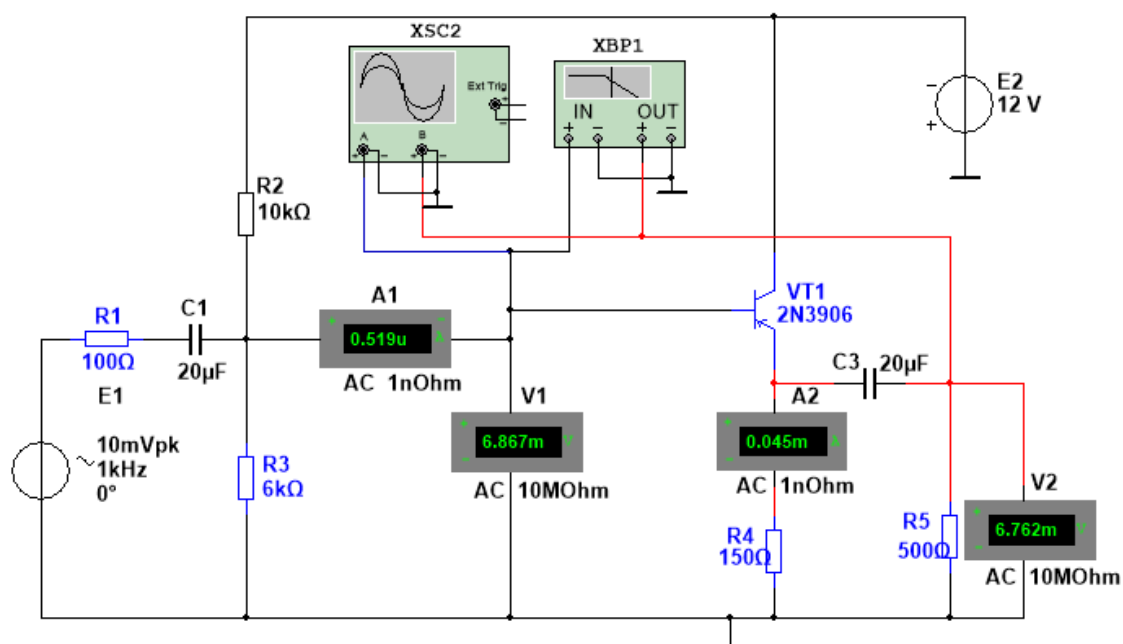


Рис. 14

Скопировать схему (рис. 14) , а также показания приборов на страницу отчета по работе.

- 1) Коэффициент усиления по напряжению K_u составляет:

$$K_u = \frac{(1 + h_{21э})R_э}{h_{11э} + (1 + h_{21э})R_э}$$

- 2) Определим коэффициент усиления по току K_i :

$$K_i = h_{21к} = 1 + h_{21э}$$

- 3) Определим величину коэффициента усиления по мощности:

$$K_p = K_u \cdot K_i$$

- 4) Определим расчетное значение входного сопротивления усилителя:

$$R_{вх} = h_{11э} + (1 + h_{21э}) \cdot R_э$$

- 5) Определим расчетное значение выходного сопротивления усилителя:

(как параллельное соединение $R_э$ и $h_{22к}$, для транзистора 2N3906 $h_{22э} = h_{22к} = 1,5$ мСим).

Полученные значения параметров внести в табл. 1.

Используя показания амперметров **A1** и **A2**, вольтметров **V1** и **V2**, двухканального осциллографа **XSC2** вычислить $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_u , K_i , K_p для области

средних частот. Данные внести в табл. 1, сравнить с рассчитанными по формулам. Копию экрана осциллографа привести в отчете.

Снять с помощью плоттера **ХВР1** амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада. **Скопировать** экран плоттера на страницу отчёта по работе.

Таблица 1.

Параметр	Схема включения транзистора					
	ОЭ		ОБ		ОК	
$R_{вх}$	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.
K_i	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.
K_u	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.
$R_{вых}$	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.	Теор.	Экспер.

Варианты заданий при моделировании в Multisim :

Вариант	E_1 мВ	F_{E1} кГц	R_H кОм	E_2 В
1,6,11,16,21,26	20	1	1	10
2,7,12,17,22,27	10	2	2	11
3,8,13,18,23,28	15	2,5	1	9
4,9,14,19,24,29	25	3	2	12
5,10,15,20,25,30	30	1.5	1.5	13

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем испытания простейших усилителей на биполярных транзисторах.
4. Таблицы результатов измерений и расчётов параметров усилительных каскадов.
5. Графики амплитудно-частотных характеристик усилителей.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какова малосигнальная эквивалентная схема транзистора, транзисторных каскадов ОЭ, ОБ, ОК?
2. Чем отличаются между собой усилительные каскады ОЭ, ОБ, ОК (схемные различия, различия в параметрах и характеристиках)?
3. Как измерить входное и выходное сопротивления усилителя, усиление по напряжению, току, мощности?
4. Назначение элементов схемы.
5. Принцип работы биполярного транзистора.
6. Принцип работы усилителя на семействе входных и выходных статических характеристик.
7. Понятие рабочей точки, напряжение смещения.
8. Условия линейного усиления.
9. Графически объяснить работу усилителя по переменному току.
10. Укажите тип усилительного каскада, у которого коэффициент усиления по току меньше единицы.
11. Укажите тип усилительного каскада, у которого коэффициент усиления по напряжению меньше единицы.
12. Укажите, какую роль в схеме транзисторного усилителя с ОЭ играет конденсатор $C_{\text{э}}$, резистор $R_{\text{э}}$ включенные в цепь эмиттера.