

Федеральное агентство связи
Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики
СибГУТИ

Лабораторная работа №5
Исследование биполярных транзисторов
Вариант 4

Выполнили: студенты 2 курса группы ИП-013
Иванов.Л.Д , Клопот.А.А
Преподаватель, ведущий занятие: Гонцова Александра Владимировна

Новосибирск, 2021 г.

Цель работы: С помощью учебного лабораторного стенда LESO3 ознакомиться с принципом действия биполярного транзистора (БТ). Изучить его вольтамперные характеристики в схемах включения с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ). Изучить особенности работы простейшего усилителя на биполярном транзисторе.

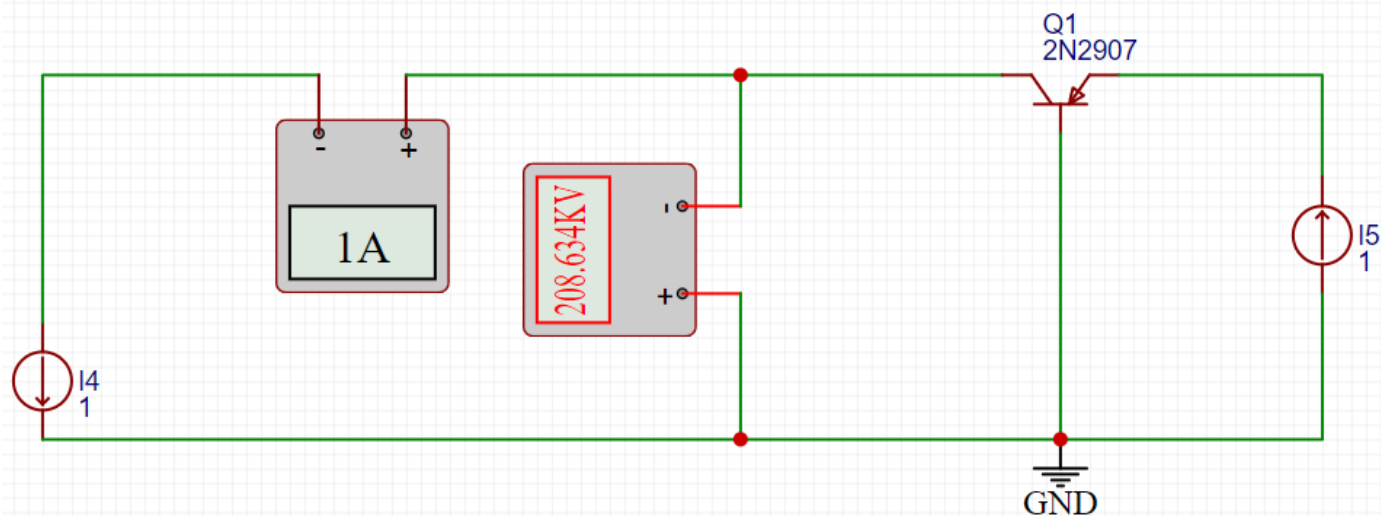


Рисунок 1 - Принципиальная схема исследования входных характеристик транзистора в схеме с ОБ

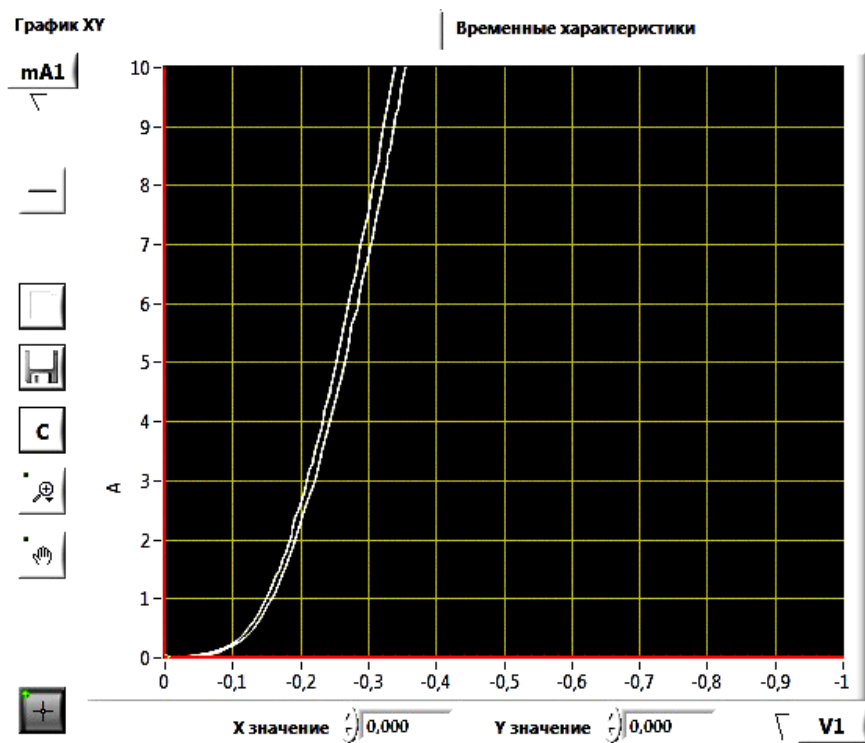


График 1 – Входные характеристики биполярного транзистора в схеме с ОБ

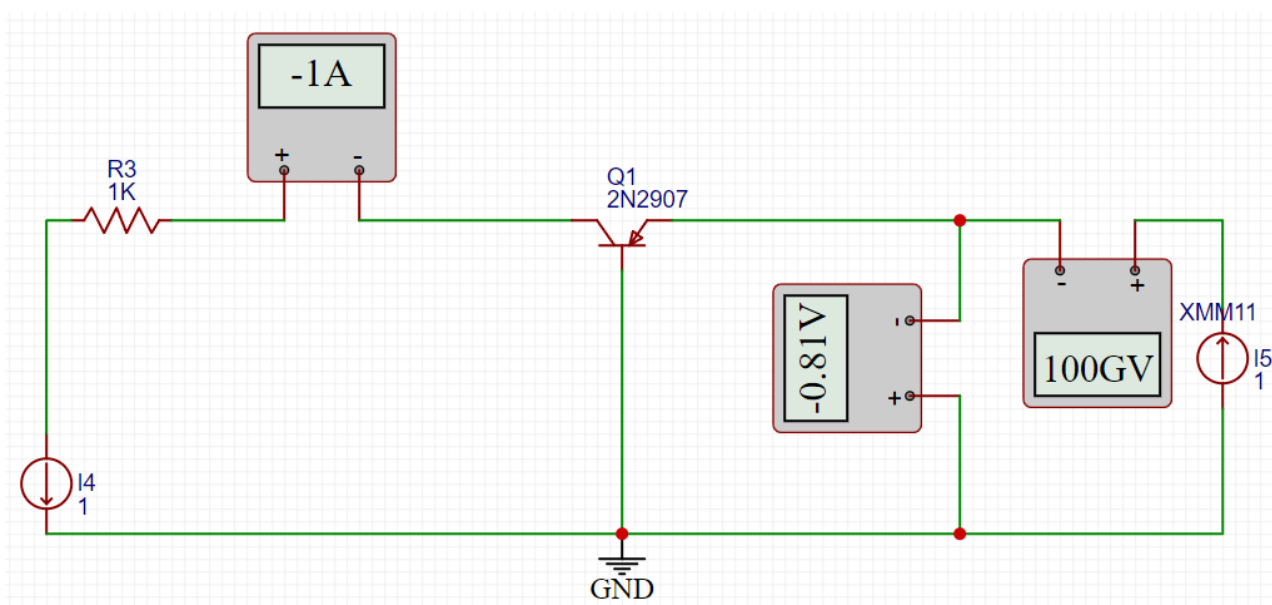


Рисунок 2 - принципиальная схема исследования выходных характеристик транзистора в схеме с ОБ

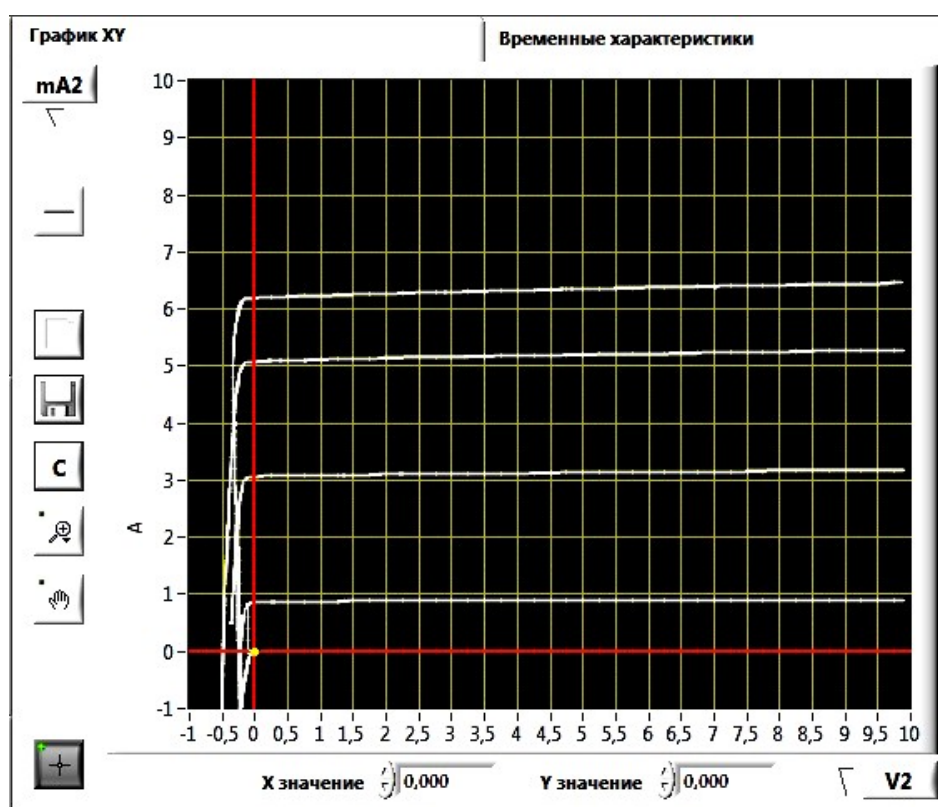


График 2 – Выходные характеристики биполярного транзистора в схеме с ОБ

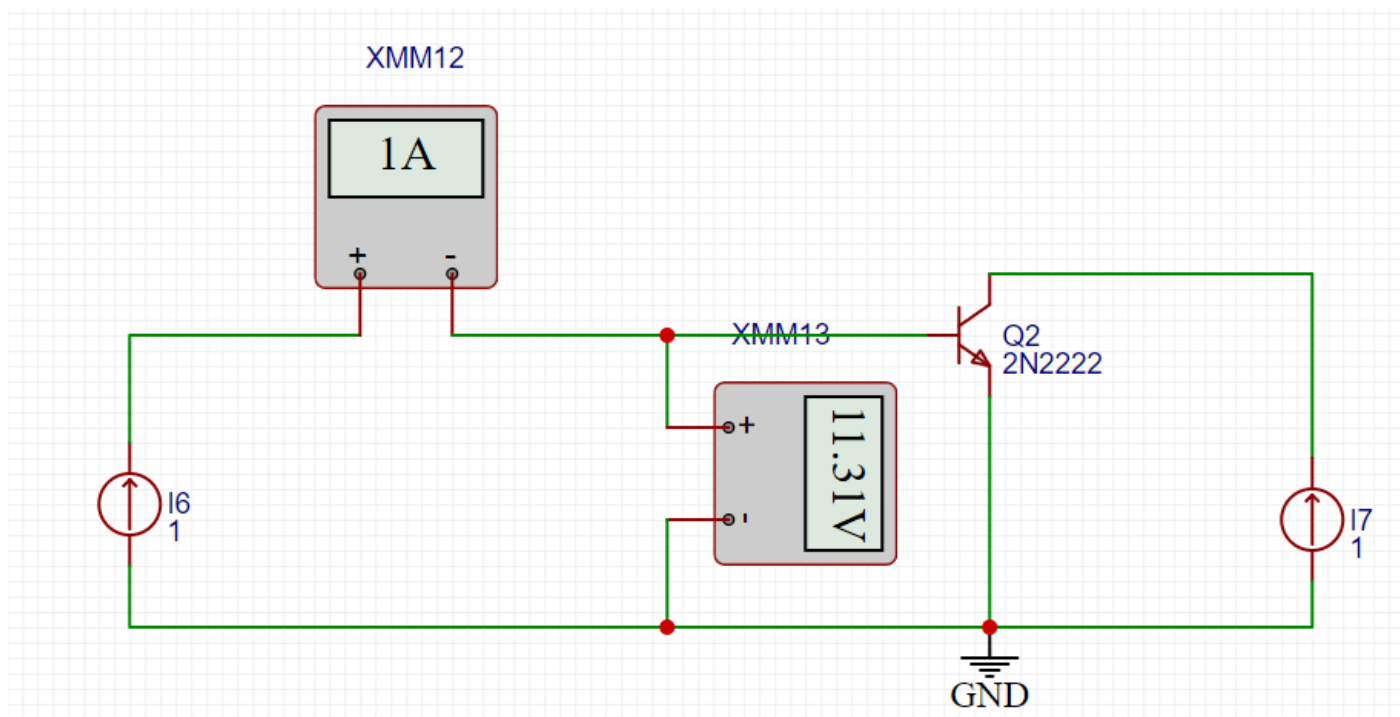


Рисунок 3 – принципиальная схема исследования входной характеристики транзистора в схеме с ОЭ

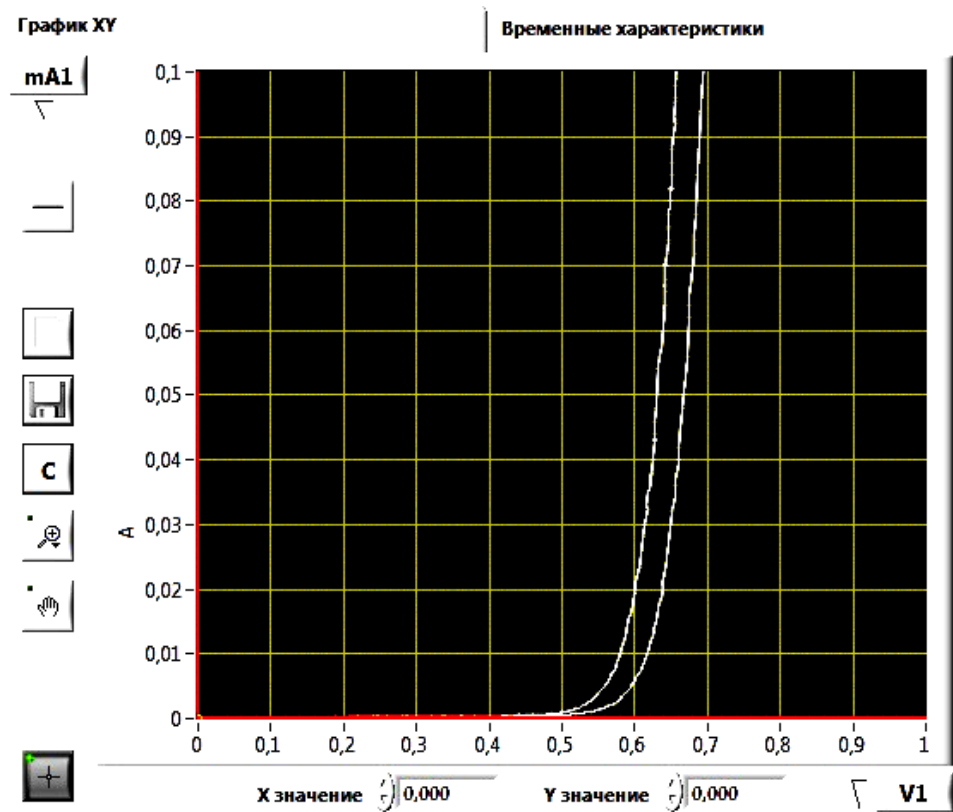


График 3 – входная характеристика транзистора в схеме с ОЭ

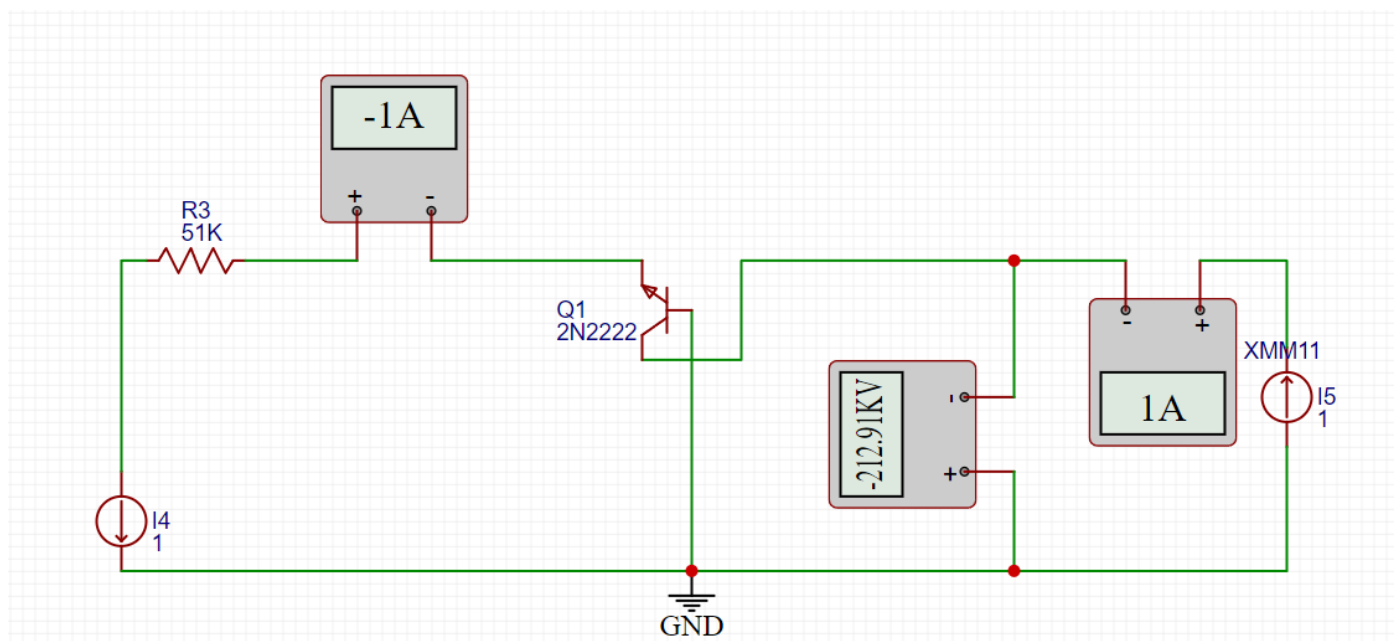


Рисунок 4 – схема исследования выходных характеристик транзистора в схеме с ОЭ

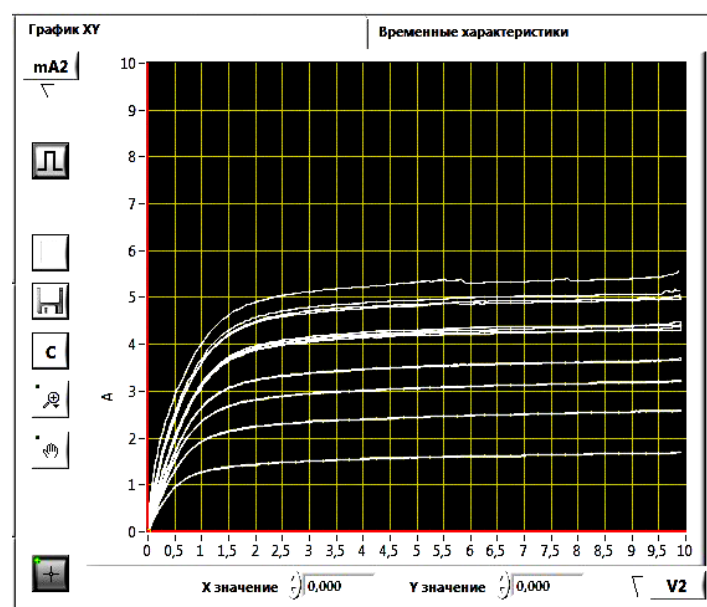


График 4 – выходные характеристики транзистора в схеме с ОЭ

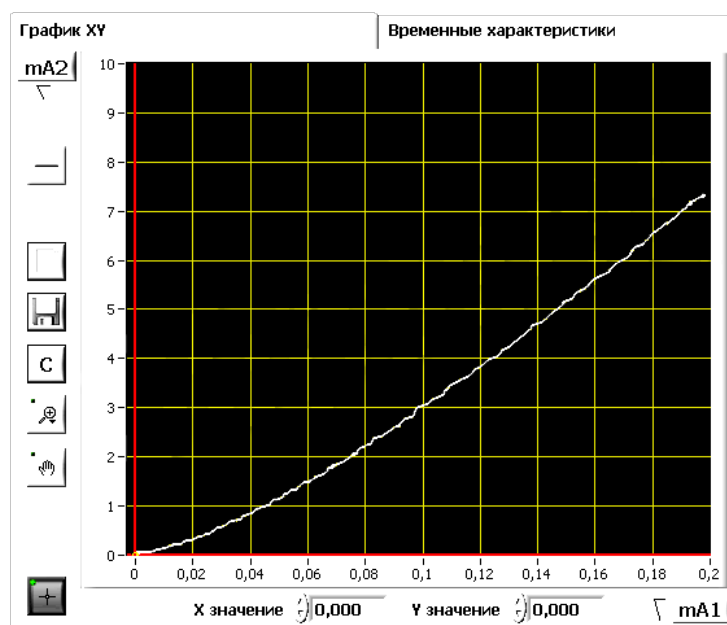


График 5 - передаточная характеристика БТ в схеме с ОЭ

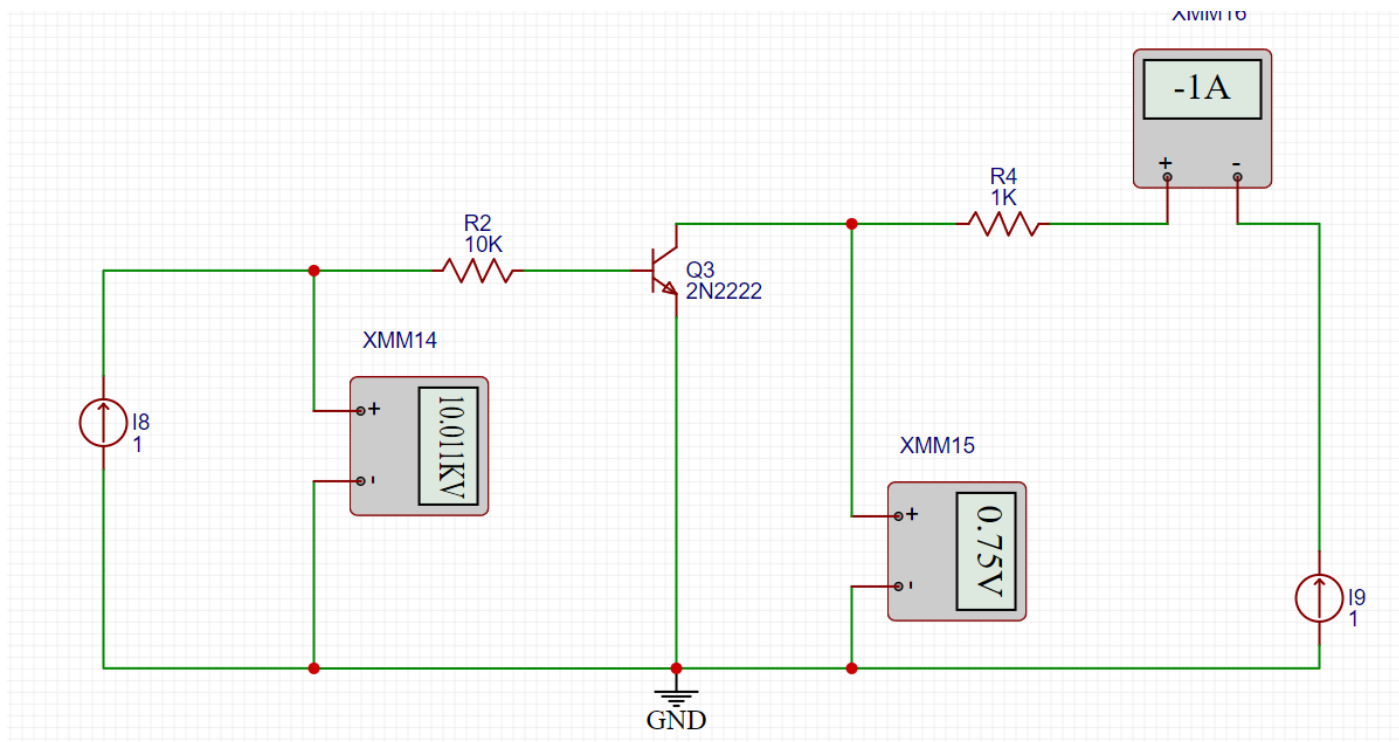


Рисунок 5 – принципиальная схема усилителя на транзисторе с общим эмиттером

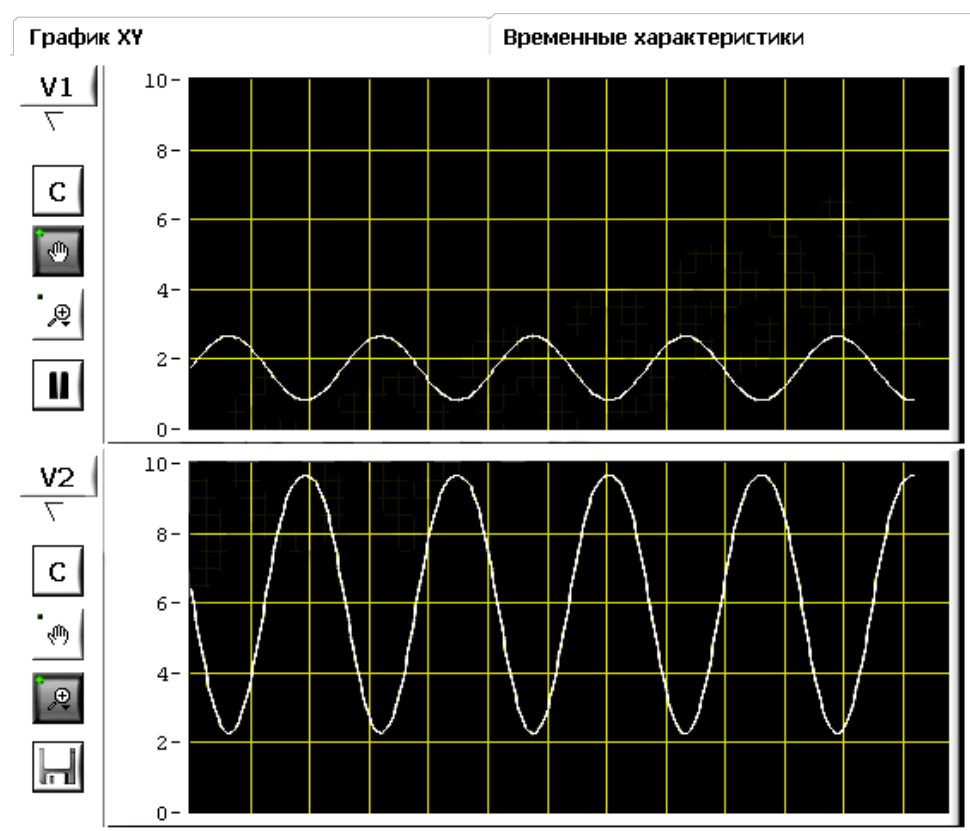


График 6 – сигнал на входе и выходе усилителя

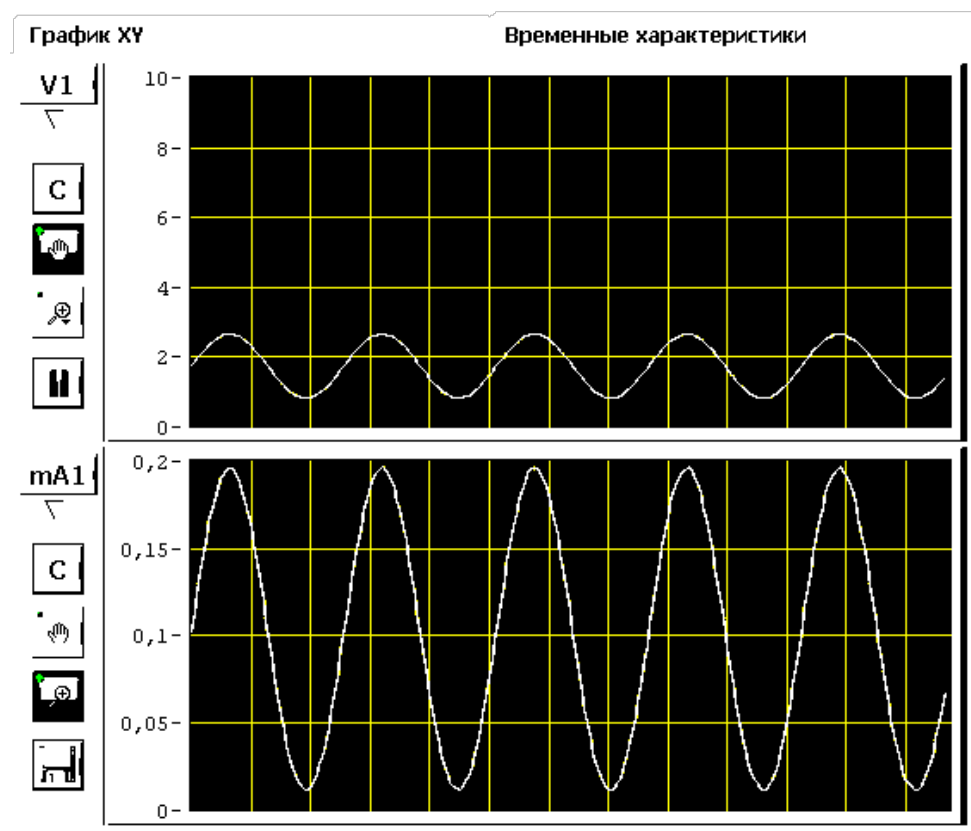


График 7 – осциллограмма входного тока усилителя

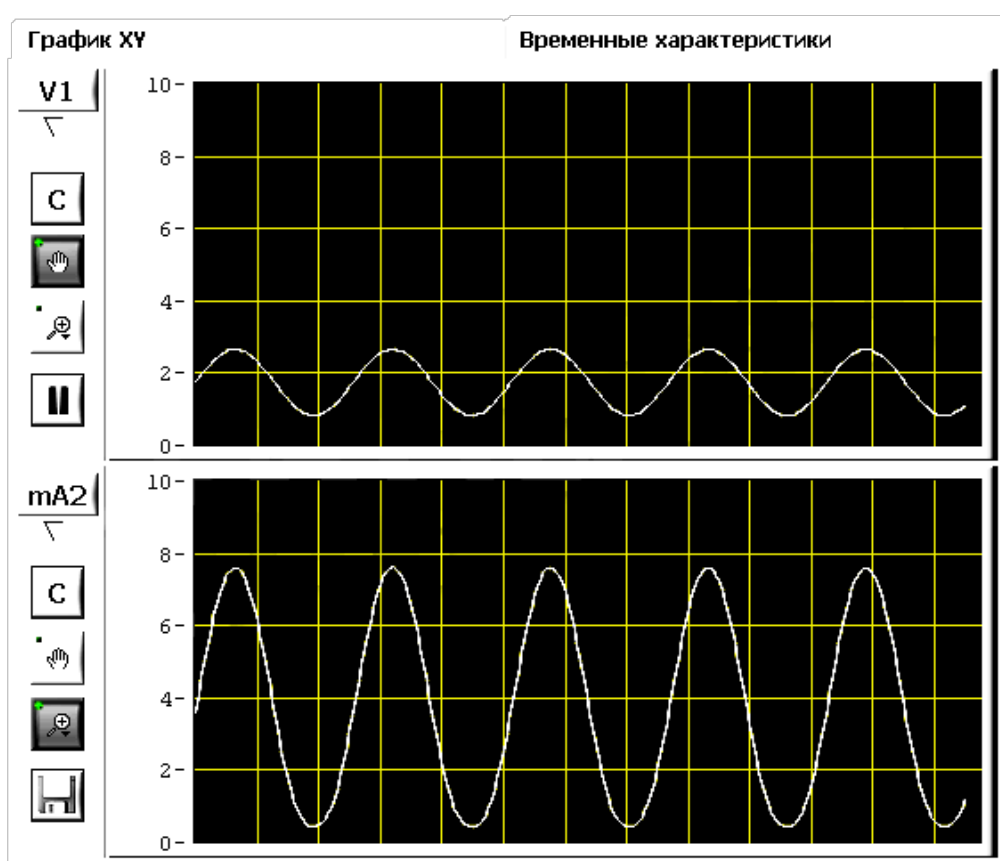


График 8 – осциллограмма выходного тока усилителя

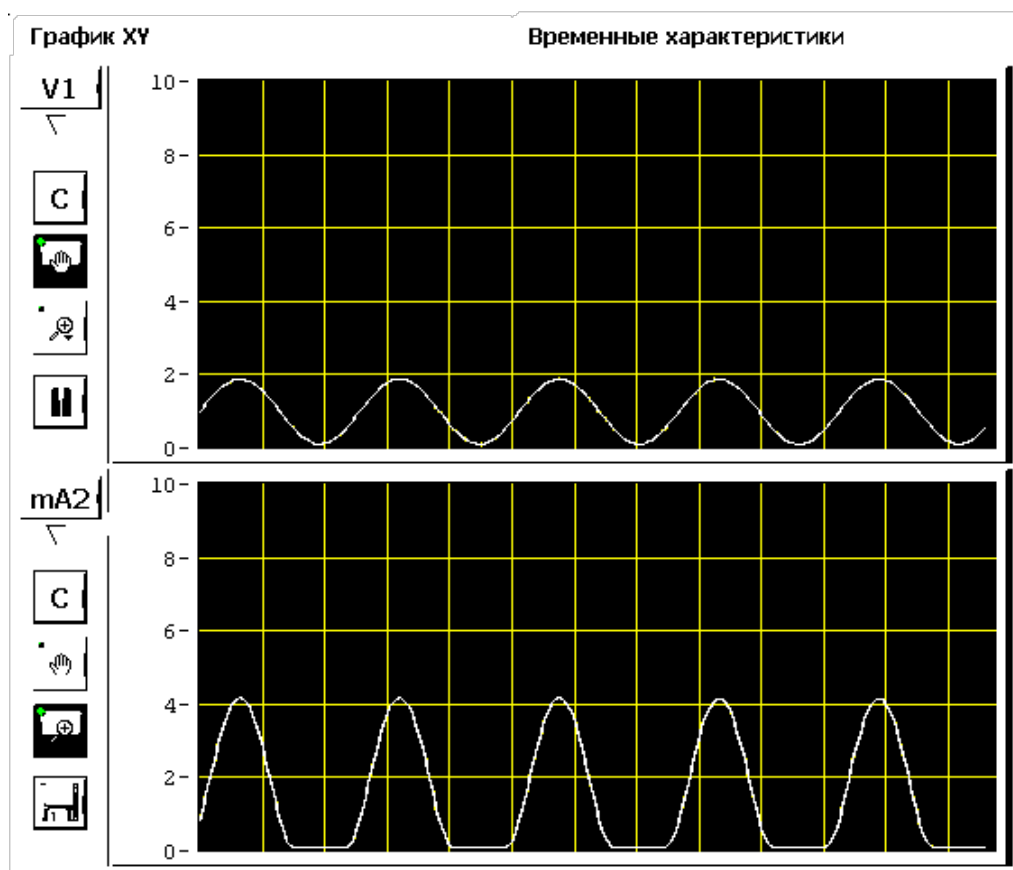


График 9 - осциллограмма выходного тока усилителя при искажениях снизу

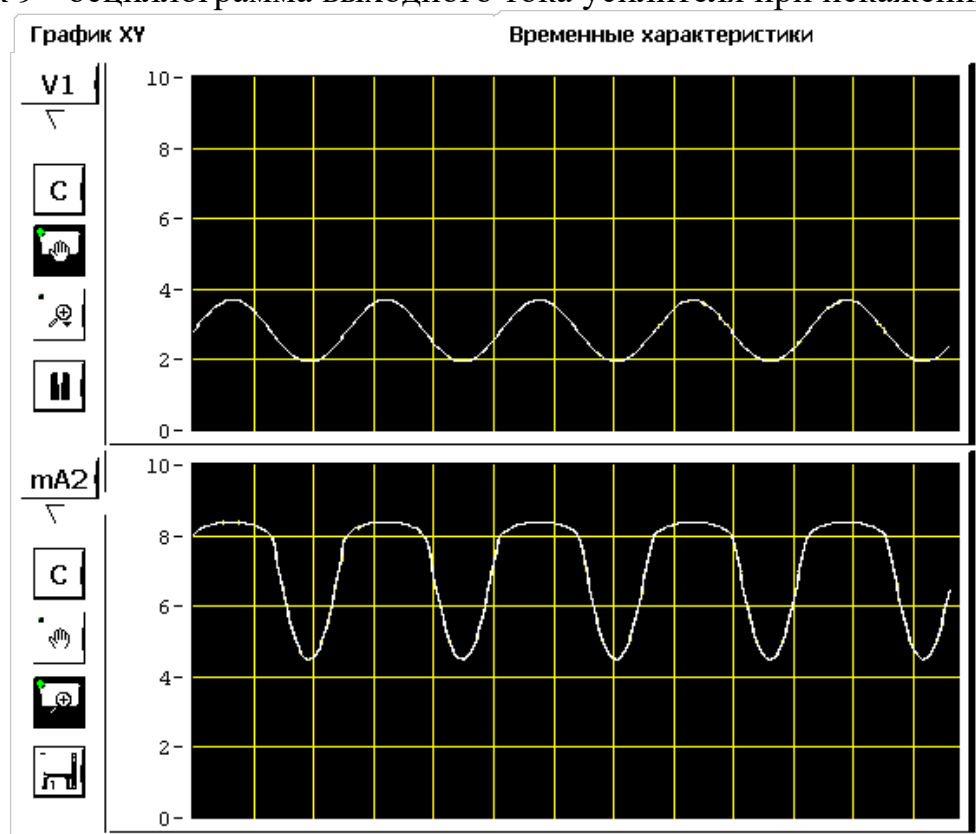


График 10 - осциллограмма выходного тока усилителя при искажениях сверху

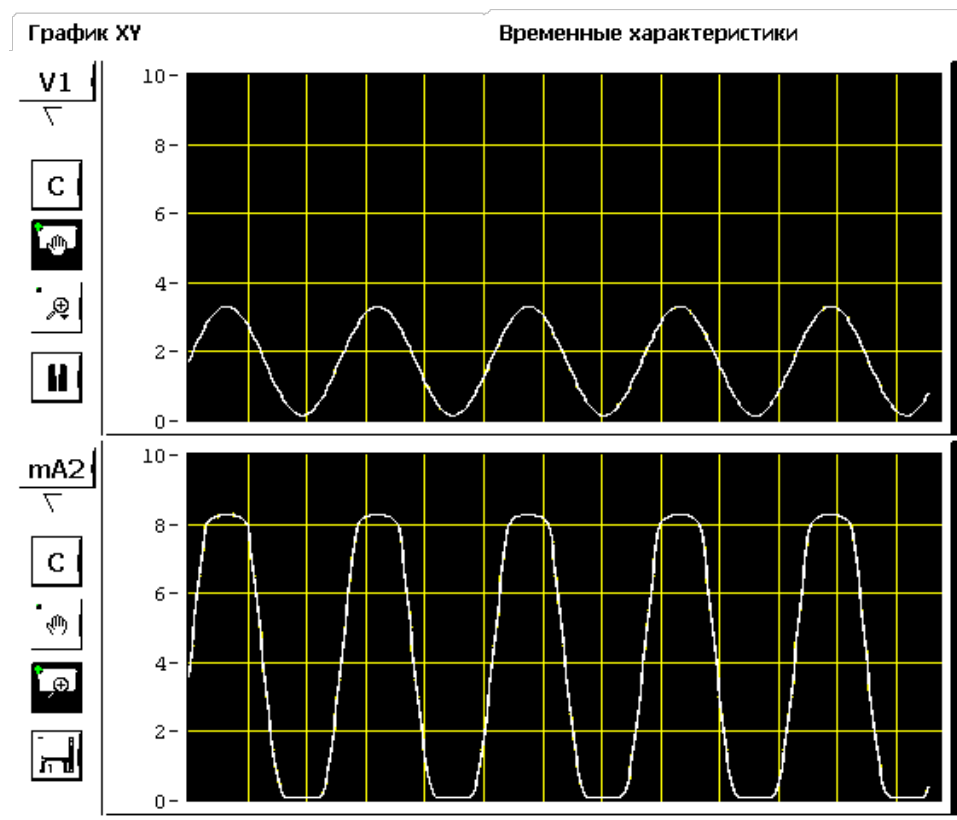


График 11 – осциллограмма выходного тока усилителя при искажениях сверху и снизу

Дифференциальные h-параметры для схем с ОБ:

1. Как известно, параметр h_{11} есть входное сопротивление. Он равен

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{BX}}{\Delta I_{ВВХ}} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta I_{Э}} = \frac{0,3 - 0,2}{7 - 3} = \frac{0,1}{4 * 10^{-3}} = 25 \text{ О м}$$

2. Параметр h_{12} есть коэффициент обратной связи по напряжению. Он равен

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{BX}}{\Delta U_{ВВХ}} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta U_K} = \frac{0,25 - 0,23}{5 - 0} = \frac{0,02}{5} = 0,004$$

Величина обратная h_{12} есть коэффициент усиления по напряжению.

$$\frac{1}{h_{12}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_{ЭБ}} = \frac{5}{0,02} = 250$$

3. Параметр h_{21} есть коэффициент усиления по току. Он равен

$$h_{21} = \frac{\Delta I_{ВВХ}}{\Delta I_{BX}} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_{Э}} = \frac{5,25 - 3,25}{4 - 2} = \frac{2}{2} = 1$$

4. Параметр h_{22} есть выходная проводимость. Он равен

$$h_{22} = \frac{\Delta I_{ВВХ}}{\Delta U_{ВВХ}} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} = \frac{5,2 - 5,1}{7 - 1} = \frac{0,1 * 10^{-3}}{6} = 0,0000167 \text{ С м}$$

Обратная величина h_{22} есть выходное сопротивление.

$$\frac{1}{h_{22}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta I_K} = \frac{1}{0,0000167} = 60 \text{ кО м}$$

Дифференциальные h-параметры для схем с ОЭ:

1. Входное сопротивление транзистора при коротком замыкании на выходе для переменной составляющей тока:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{0,65 - 0,62}{0,03 - 0,01} = \frac{0,03}{0,02 * 10^{-3}} = 1,5 \text{ кОм}$$

2. Коэффициент обратной связи по напряжению при разомкнутом входе для переменной составляющей тока:

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{0,65 - 0,62}{5 - 0} = \frac{0,03}{5} = 0,006$$

3. Коэффициент передачи по току при коротком замыкании на выходе для переменной составляющей тока:

$$h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{2,5 - 1,5}{2,5 - 2} = \frac{1 * 10^{-3}}{0,5 * 10^{-3}} = 2$$

4. Выходная проводимость транзистора при разомкнутом входе для переменной составляющей тока (холостой ход входной цепи):

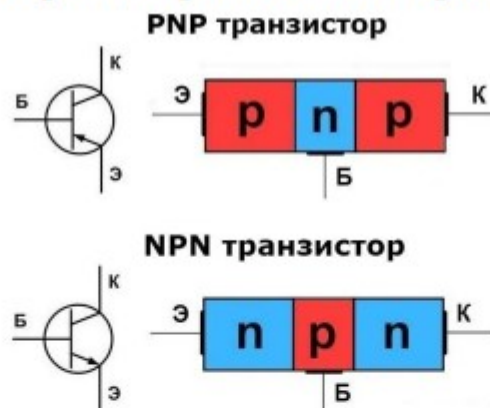
$$h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{2,5 - 1,5}{5 - 0} = \frac{1 * 10^{-3}}{5} = 0,0002 \text{ См}$$

Вывод: Ознакомились с принципом действия биполярного транзистора. Изучили его ВАХ в схемах включения с общей базой и общим эмиттером. А также, изучили особенности работы простейшего усилителя на биполярном транзисторе.

Контрольные вопросы

1. ТРАНЗИСТОР (от англ. transfer - переносить и резистор)- полупроводниковый прибор предназначен для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний, выполненный на основе монокристаллического полупроводника (преимущественно Si или Ge), содержащего не менее трех областей с различной - электронной (n) и дырочной (p) – проводимостью. По физической структуре и механизму управления током различают транзисторы биполярные (чаще называют просто транзисторами) и униполярные (чаще называют полевыми транзисторами). В биполярных транзисторах, содержащих два или более электронно-дырочных перехода, носителями заряда служат как электроны, так и дырки.

3. Принцип работы биполярного транзистора.

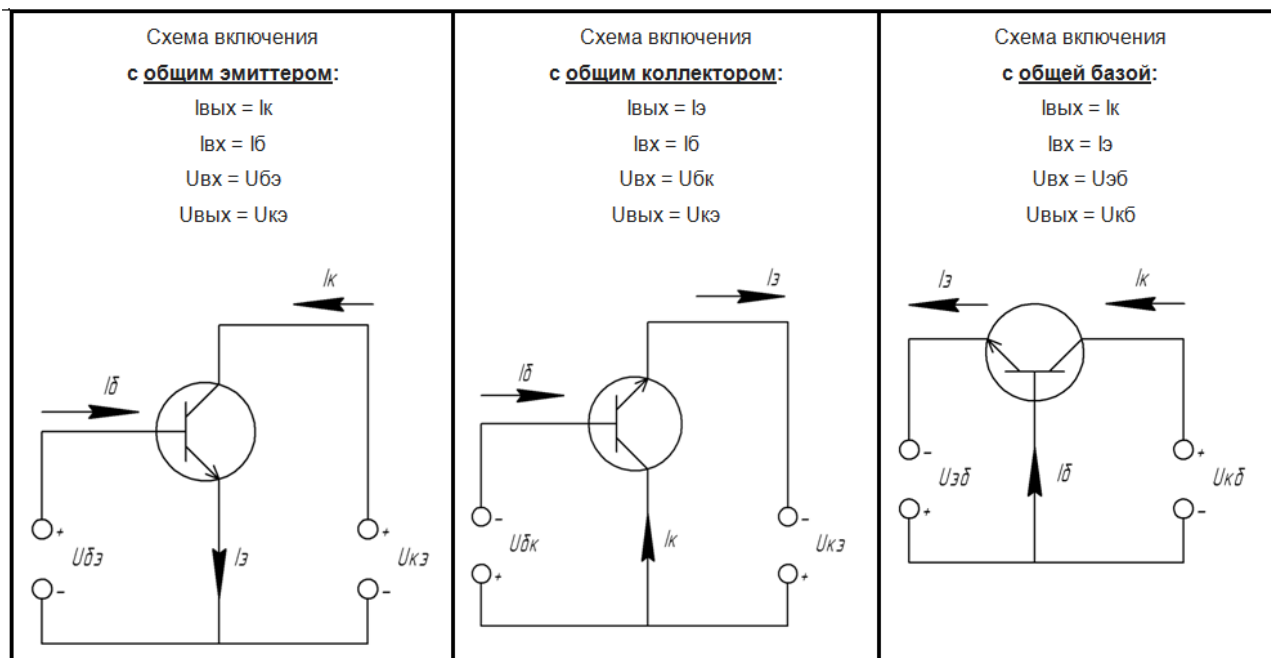


Эмиттером называется область, в которой происходит инжекция носителей заряда в базу.

Базой является область, в которую инжектируются эмиттером неосновные для этой области носители заряда.

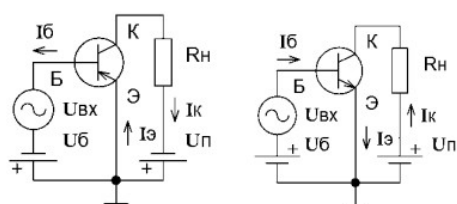
Коллектором называют область, в которой происходит экстракция носителей заряда из базы.

Условные обозначения n-p-n и p-n-p транзисторов отличаются только направлением стрелочки, обозначающей эмиттер. Она показывает течение тока в данном транзисторе.



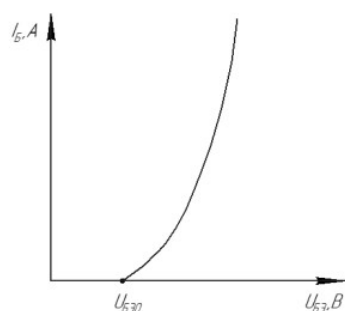
2.

3. Схема включения транзистора с общим эмиттером:

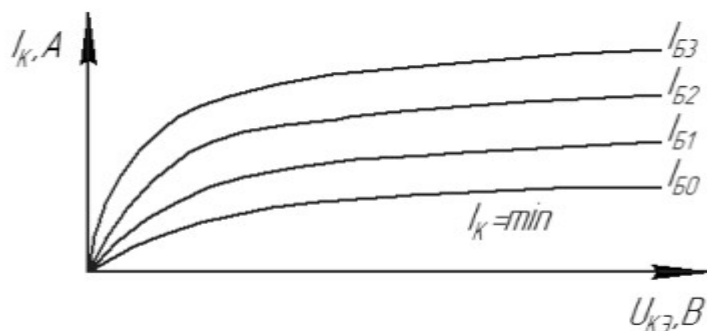


Вольт амперные характеристики биполярного транзистора.

Входная ВАХ – это зависимость тока базы ($I_{\text{б}}$) от напряжения база-эмиттер ($U_{\text{бэ}}$).



Выходная ВАХ – это зависимость тока коллектора ($I_{\text{к}}$) от напряжения коллектор-эмиттер ($U_{\text{кэ}}$).



Коэффициент усиления каскада равен отношению тока коллектора к току базы и обычно может достигать от десятков до нескольких сотен.

Транзистор, включённый по схеме с общим эмиттером, теоретически может дать максимальное усиление сигнала по мощности, относительно других вариантов включения транзистора.

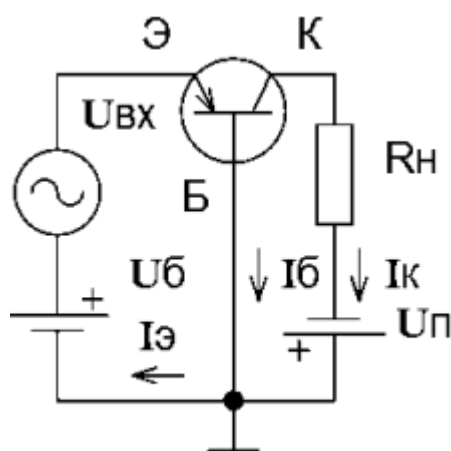
Входное сопротивление рассматриваемого каскада, равное отношению напряжения база-эмиттер к току базы, лежит в пределах от сотен до тысяч ом. Это меньше, чем у каскада с транзистором, подсоединённым по схеме с общим коллектором.

Выходной сигнал каскада с общим эмиттером обладает фазовым сдвигом в 180° относительно входного сигнала.

Флуктуации температуры оказывают значительное влияние на режим работы транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером, и поэтому следует применять специальные цепи температурной стабилизации.

В связи с тем, что сопротивление коллекторного перехода транзистора в рассмотренном каскаде выше, чем в каскаде с общей базой, то необходимо больше времени на рекомбинацию носителей заряда, а, следовательно, каскад с общим эмиттером обладает худшим частотным свойством.

Схема включения транзистора с общей базой:



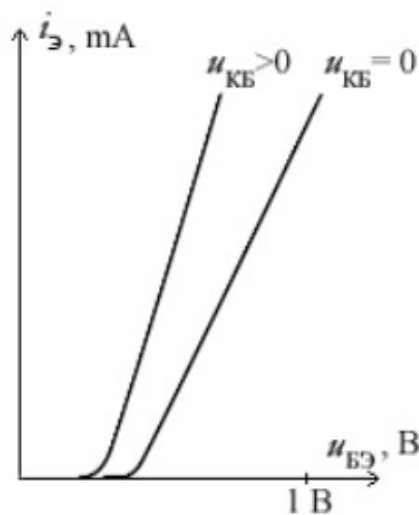
В данном случае эмиттерный переход открыт и велика его проводимость.

Входное сопротивление каскада невелико и обычно лежит в пределах от единиц до сотни ом, что относят к недостатку описываемого включения транзистора.

Для функционирования каскада с транзистором, включённым по схеме с общей базой, необходимо два отдельных источника питания, а коэффициент усиления каскада по току меньше единицы. Коэффициент усиления каскада по напряжению часто достигает от десятков до нескольких сотен раз.

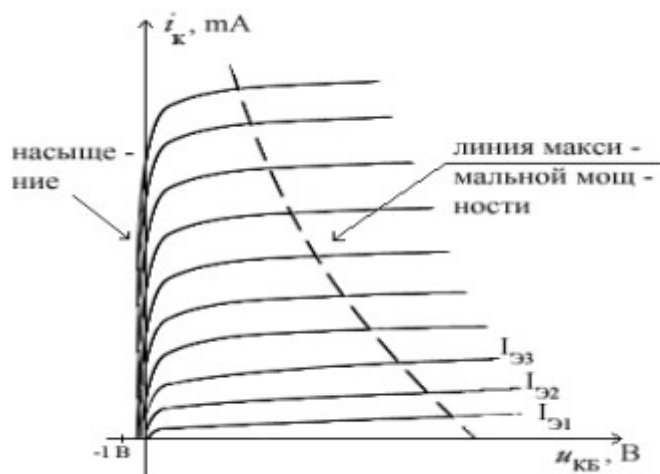
К достоинствам нужно отнести возможность функционирования каскада на существенно более высокой частоте по сравнению с двумя другими вариантами включения транзистора, и слабое влияние на работу каскада флуктуаций температуры. Именно поэтому каскады с транзисторами, включёнными по схеме с общей базой, часто используют для усиления высокочастотных сигналов

Входные ВАХ транзистора с общей базой:



Входные характеристики здесь в значительной степени определяются характеристикой открытого эмиттерного р - n -перехода, поэтому они аналогичны ВАХ диода, смещенного в прямом направлении. Сдвиг характеристик влево при увеличении напряжения $u_{КБ}$ обусловлен так называемым эффектом Эрли (эффектом модуляции толщины базы), заключающимся в том, что при увеличении обратного напряжения $u_{КБ}$ коллекторный переход расширяется, причем в основном за счет базы. При этом толщина базы как бы уменьшается, уменьшается ее сопротивление, что приводит к уменьшению падения напряжения $u_{БЭ}$ при неизменном входном токе.

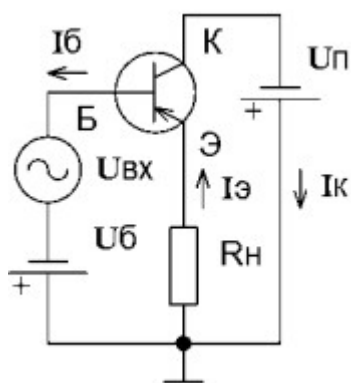
Выходные ВАХ транзистора с общей базой:



Ток коллектора становится равным нулю только при $u_{KB} < 0$, то есть только тогда, когда коллекторный переход смещен в прямом направлении. При этом начинается инжекция электронов из коллектора в базу. Эта инжекция компенсирует переход из базы в коллектор электронов эмиттера. Данный режим называют режимом насыщения. Линии в области $u_{KB} < 0$, называются линиями насыщения. Ток коллектора становится равным нулю при $u_{KB} < -0,75$ В. При $u_{KB} > 0$ и токе эмиттера, равном нулю, транзистор находится в режиме отсечки, который характеризуется очень малым выходным током, равным обратному току коллектора I_{K0} , то есть график ВАХ, соответствующий $i_{\Sigma} = 0$, практически сливается с осью напряжений.

Схема включения транзистора с общим коллектором:

К эмиттеру транзистора, включённого по схеме с общим коллектором, подсоединяют нагрузку, на базу подают входной сигнал. Входным током каскада является ток базы транзистора, а выходным током – ток эмиттера.



С нагрузочного резистора, включённого последовательно с выводом эмиттера, снимают выходной сигнал. Вход каскада обладает высоким сопротивлением, обычно от десятых долей мегаома до нескольких мегаом из-за того, что коллекторный переход транзистора заперт. А выходное сопротивление каскада – напротив, мало, что позволяет использовать такие каскады для согласования предшествующего каскада с нагрузкой. Каскад с транзистором, включённым по

схеме с общим коллектором, не усиливает напряжение, но усиливает ток (обычно в 10 ... 100 раз). Фаза входного напряжения сигнала, подаваемого на каскад, совпадает с фазой выходного напряжения, т.е. отсутствует его инверсия. Именно из-за сохранения фазы входного и выходного сигнала каскад с общим коллектором носит другое название – эмиттерного повторителя. Температурные и частотные свойства эмиттерного повторителя хуже, чем у каскада, в котором транзистор подключён по схеме с общей базой.

4. Режимы работы биполярного транзистора.

Нормальный активный режим;

переход эмиттер-база включен в прямом направлении (открыт),

переход коллектор-база включён в обратном направлении (закрит)

$U_{ЭБ} > 0$; $U_{КБ} < 0$ для транзистора p-n-p типа,

$U_{ЭБ} < 0$; $U_{КБ} > 0$ для транзистора n-p-n типа

Инверсный активный режим

Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое.

Режим насыщения

Оба p-n перехода смещены в прямом направлении (оба открыты).

Если эмиттерный и коллекторный p-n-переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении, транзистор будет находиться в режиме насыщения.

Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет частично ослабляться электрическим полем, создаваемым внешними источниками $U_{ЭБ}$ и $U_{КБ}$. В результате уменьшится потенциальный барьер, ограничивавший диффузию основных носителей заряда, и начнется проникновение (инжекция) дырок из эмиттера и коллектора в базу, то есть через эмиттер и коллектор транзистора потекут токи, называемые токами насыщения эмиттера ($I_{Э.нас}$) и коллектора ($I_{К.нас}$).

Режим отсечки.

В данном режиме оба р- n перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).

Режим

отсечки транзистора получается тогда, когда эмиттерный и коллекторный р-п-переходы подключены к внешним источникам в обратном направлении.

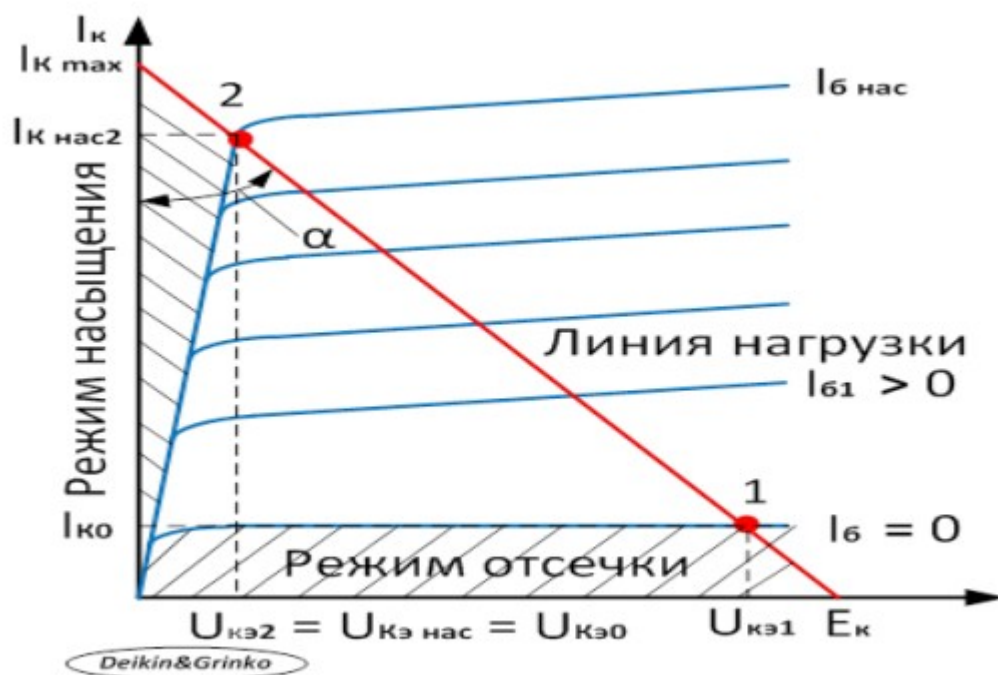
В этом случае через оба р-п-перехода протекают очень малые обратные токи эмиттера (ІЭБО) И коллектора (ІКБО). Ток базы равен сумме этих токов и в зависимости от типа транзистора находится в пределах от единиц микроампер — мкА (у кремниевых транзисторов) до единиц миллиампер — мА (у германиевых транзисторов).

Барьерный режим

В данном режиме база транзистора по постоянному току соединена накоротко или через небольшой резистор с его коллектором, а в коллекторную или в эмиттерную цепь транзистора включается резистор, задающий ток через транзистор.

В таком включении транзистор представляет из себя своеобразный диод, включенный последовательно с токозадающим резистором.

Подобные схемы каскадов отличаются малым количеством комплектующих, хорошей развязкой по высокой частоте, большим рабочим диапазоном температур, нечувствительностью к параметрам транзисторов.



5. ---

6. ---

7. В активном усилительном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении (закрит).