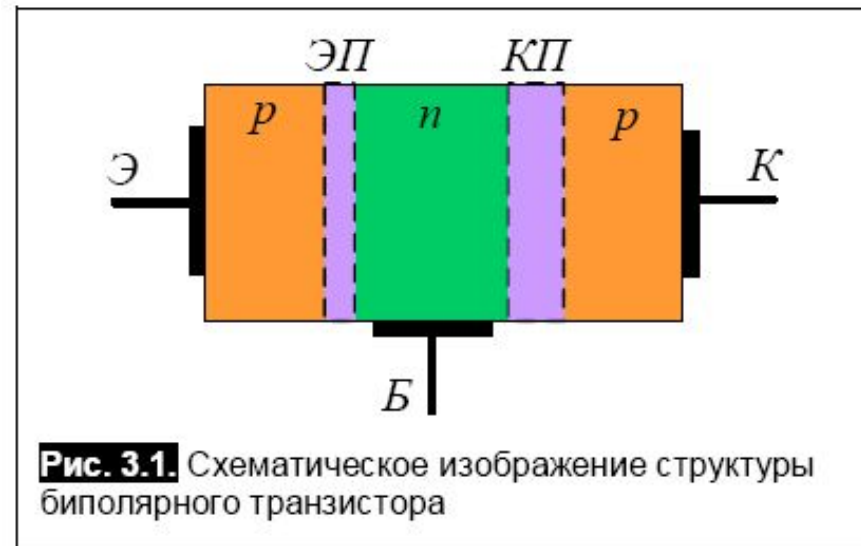


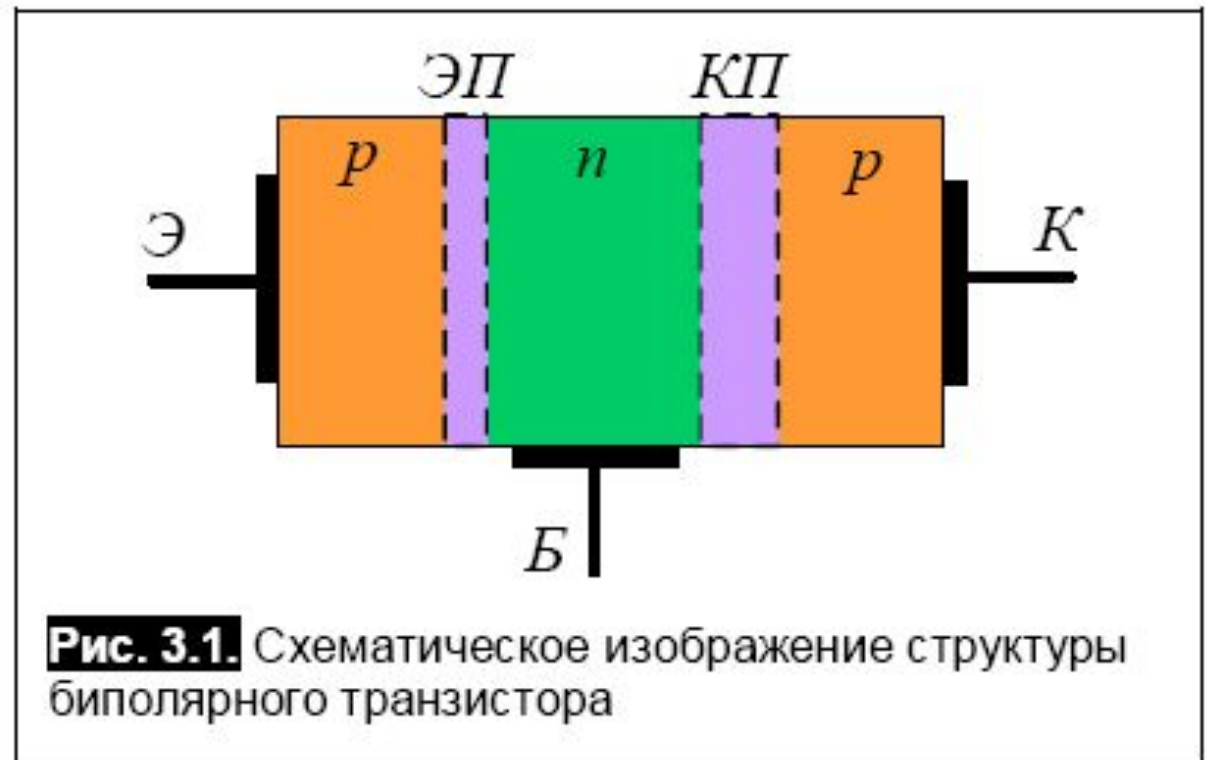
БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

- *Биполярный транзистор* – это полупроводниковый прибор с двумя *p-n*-переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов.

- Представляет собой монокристалл полупроводника, в котором созданы три области с чередующимися типами электропроводности.
- На границах этих областей возникают p - n -переходы.
- От каждой области полупроводника сделаны токоотводы (омические контакты).



- Среднюю область транзистора, расположенную между электронно-дырочными переходами, называют базой (Б).



- Область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в базу, называют *эмиттером (Э)*, а p – n -переход между базой и эмиттером – *эмиттерным (ЭП)*.

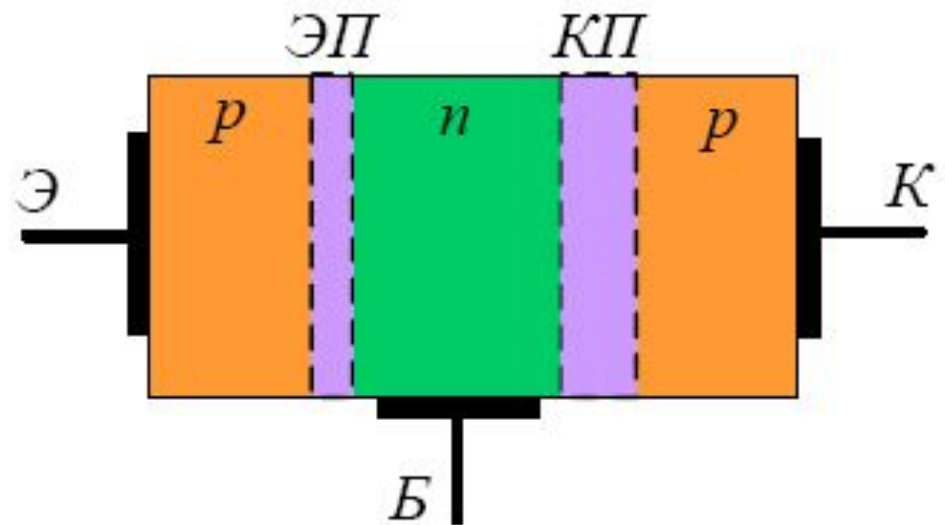
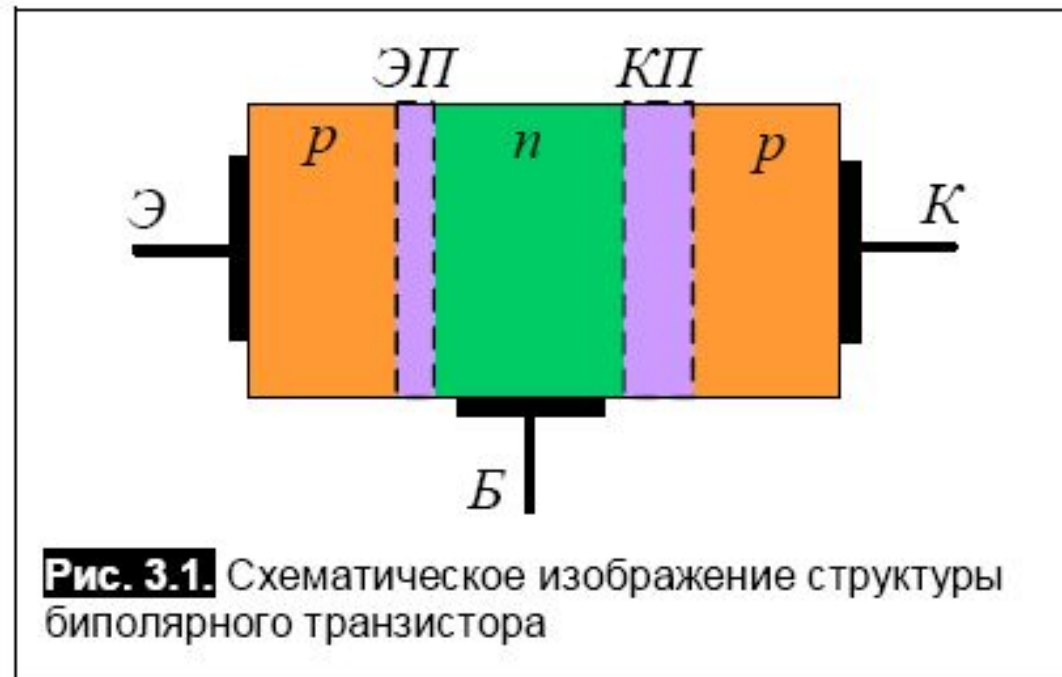
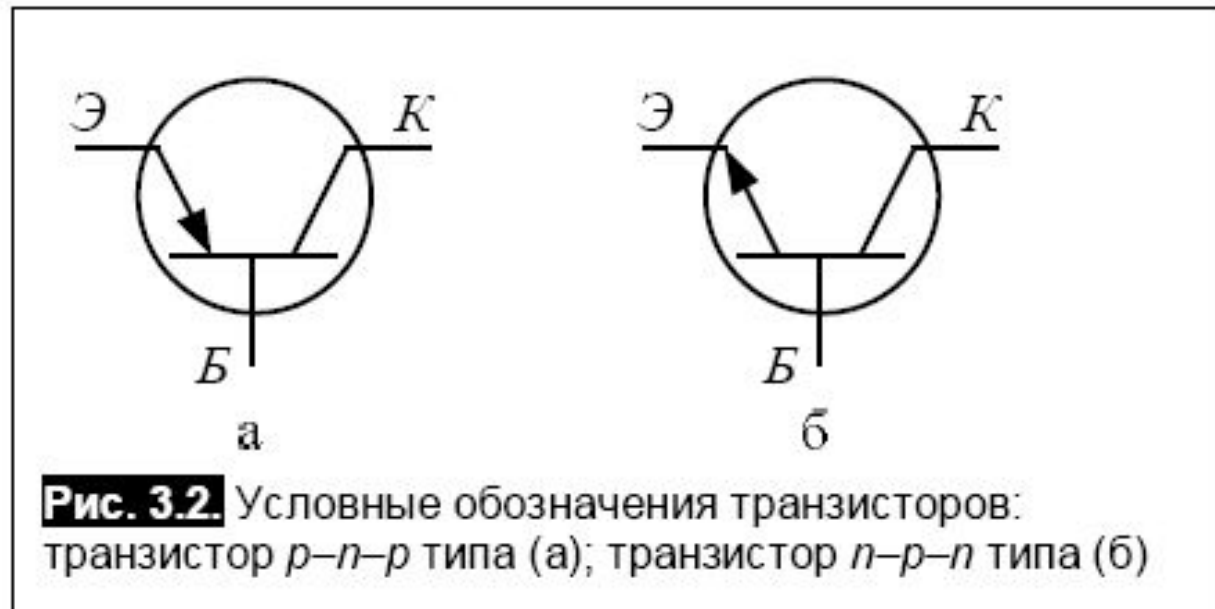


Рис. 3.1. Схематическое изображение структуры биполярного транзистора

- Область транзистора, основным назначением которой является собирание, экстракция носителей заряда из базы, называют *коллектором (К)*, а p – n -переход между базой и коллектором – *коллекторным (КП)*.

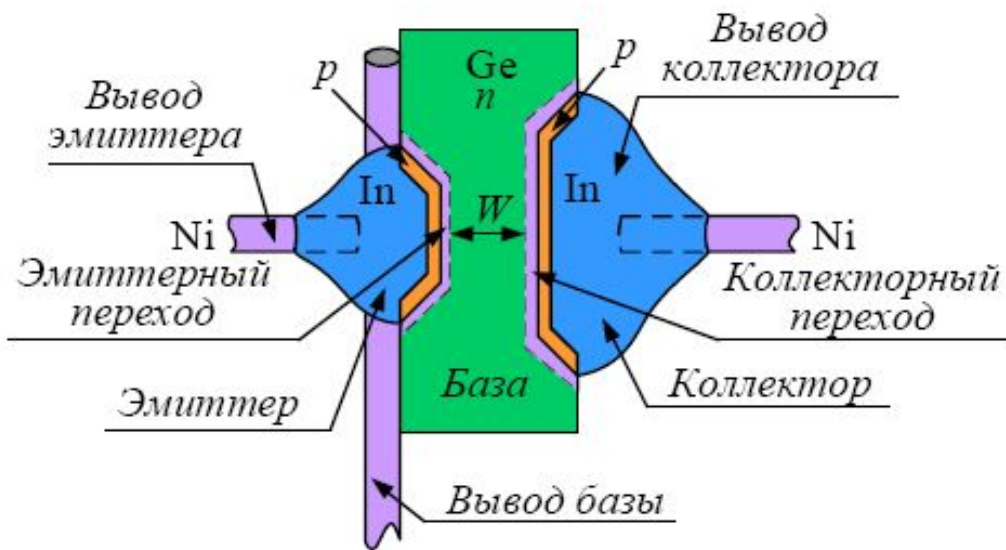
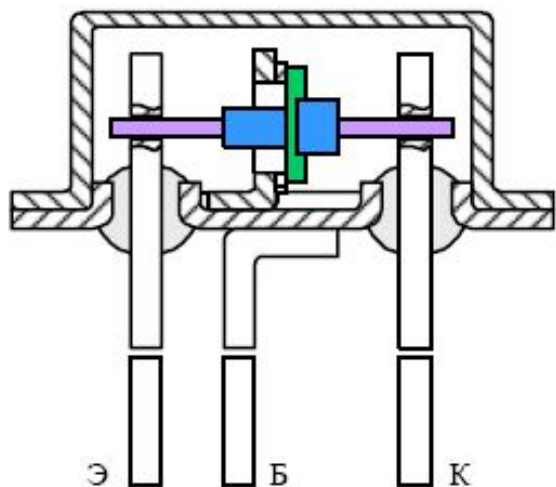


- В зависимости от типа электропроводности крайних слоев (эмиттера и коллектора) различают транзисторы $p-n-p$ и $n-p-n$ типа. В обоих типах транзисторов физические процессы аналогичны, они различаются только типом инжектируемых и экстрагируемых носителей и имеют одинаково широкое применение.





а



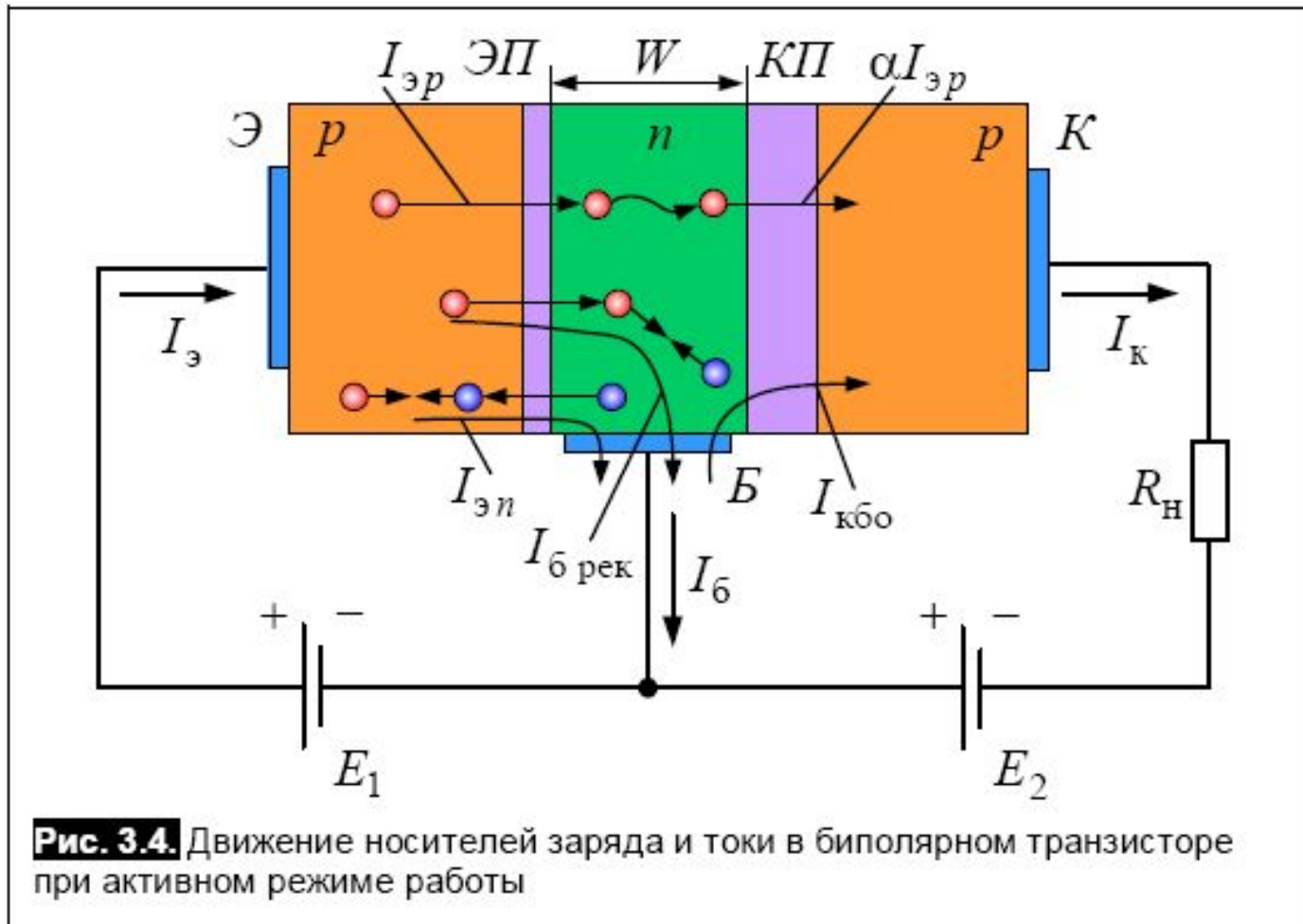
б

Рис. 3.3. Общий вид (а) и конструктивное оформление одного из биполярных транзисторов (б)

Режимы работы биполярного транзистора

Эмиттерный переход	Коллекторный переход	Режим работы транзистора
<i>прямое</i>	<i>обратное</i>	<i>активный (усилительный)</i>
<i>прямое</i>	<i>прямое</i>	<i>насыщения</i>
<i>обратное</i>	<i>обратное</i>	<i>отсечки</i>
<i>обратное</i>	<i>прямое</i>	<i>инверсный</i>

Физические процессы в биполярном транзисторе



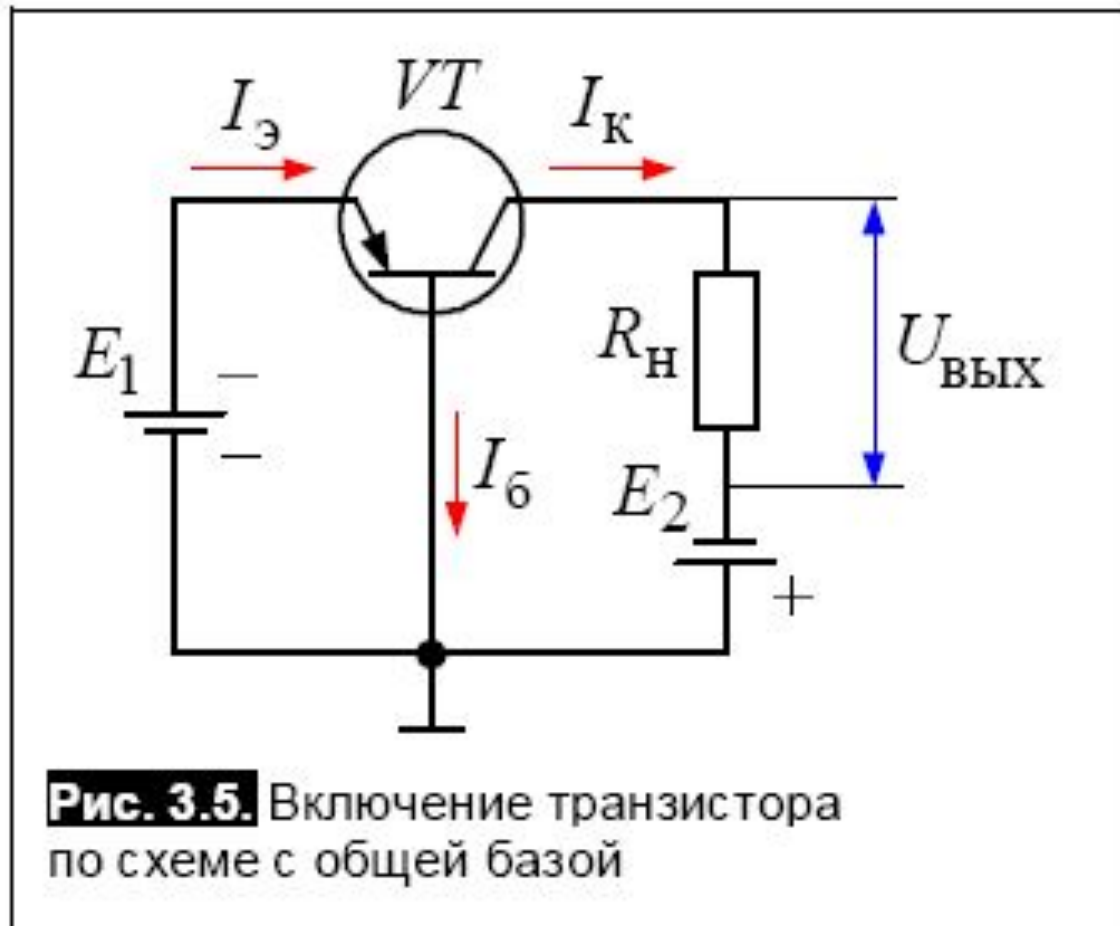
- ЭДС E_1 подключается так, чтобы эмиттерный переход был смещен в прямом направлении, а ЭДС E_2 должна смещать коллекторный переход в обратном направлении.
- Дырки из эмиттера будут инжектироваться в область базы, где они становятся уже неосновными носителями.
- Затем будут переброшены через границу раздела в область коллектора (область p -типа), где дырки уже являются основными носителями.

- Не все носители, инжектированные из эмиттера в базу, достигают коллекторного перехода; часть из них рекомбинирует в базе.
- Поэтому ток коллектора I_K меньше тока эмиттера $I_э$.
- Отношение этих токов характеризует коэффициент передачи по току:

$$\alpha = \frac{I_K}{I_э} .$$

- Для увеличения коэффициента передачи по току
- область базы делают тонкой (чтобы меньшее количество носителей рекомбинировало в ней),
- площадь коллекторного перехода делают больше площади эмиттерного перехода (чтобы улучшить процесс экстракции носителей из базы).
- Удастся достичь величины коэффициента передачи по току $\alpha = 0,95 \dots 0,99$ и более.

Схемы включения транзистора



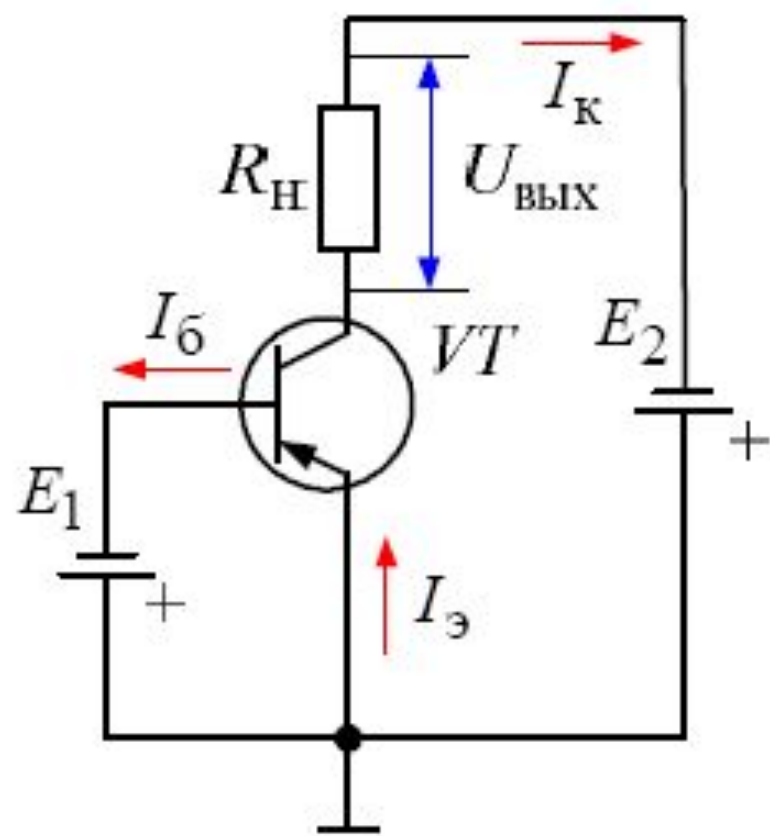


Рис. 3.6. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

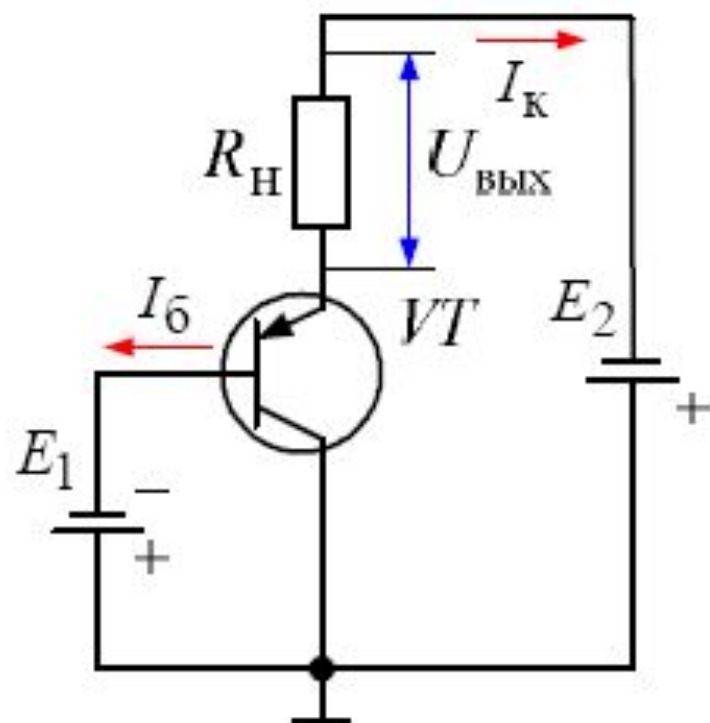


Рис. 3.7. Включение транзистора по схеме с общим коллектором

Статические характеристики для схемы с общим эмиттером

- 1. Семейство входных статических характеристик представляет собой зависимость

$$I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}}) \Big|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}}$$

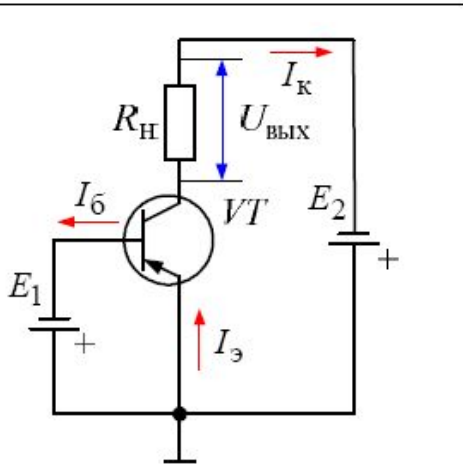


Рис. 3.6. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

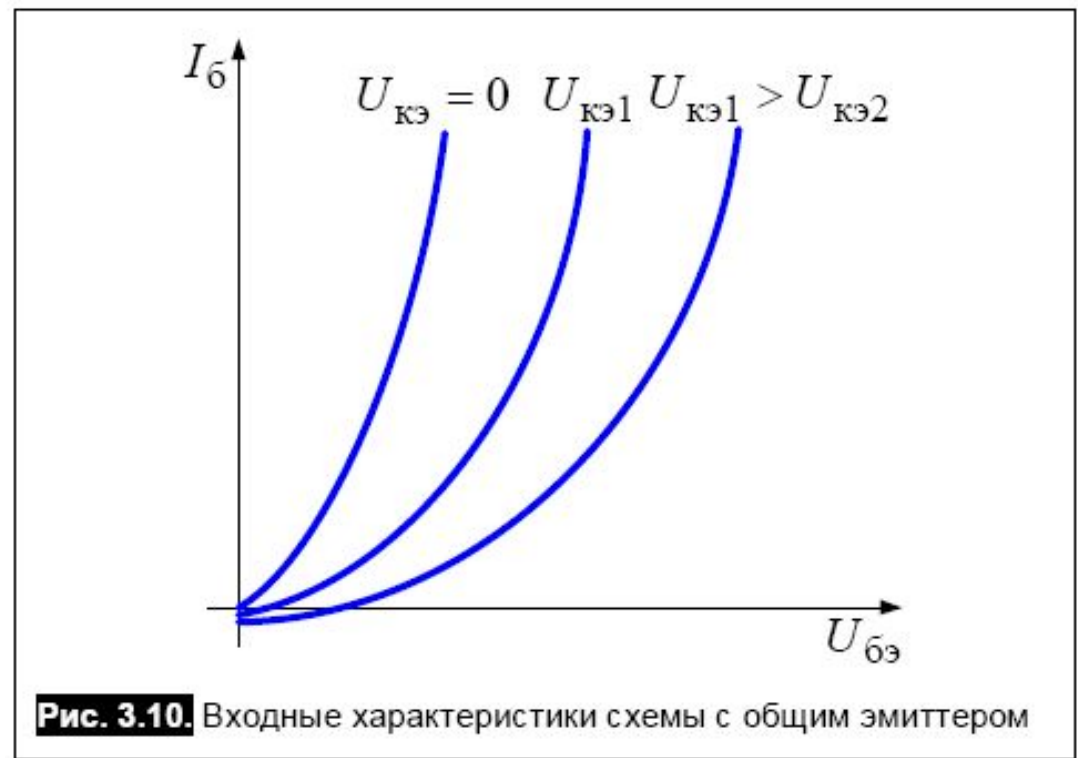


Рис. 3.10. Входные характеристики схемы с общим эмиттером

- При $U_{кэ} = 0$ эта характеристика представляет собой прямую ветвь вольт-амперной характеристики эмиттерного перехода. При этом коллекторный переход оказывается включенным в прямом направлении на напряжение источника E_1 .
- При включении источника E_2 ($U_{кэ} < 0$) характеристика пойдет несколько ниже предыдущей.

- 2. Выходные статические характеристики представляют собой зависимости

$$I_K = f(U_{КЭ}) \Big|_{I_Б = \text{const}}$$

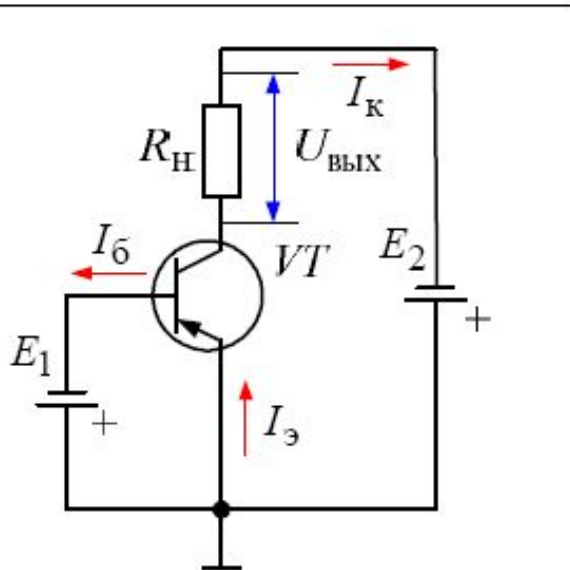


Рис. 3.6. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

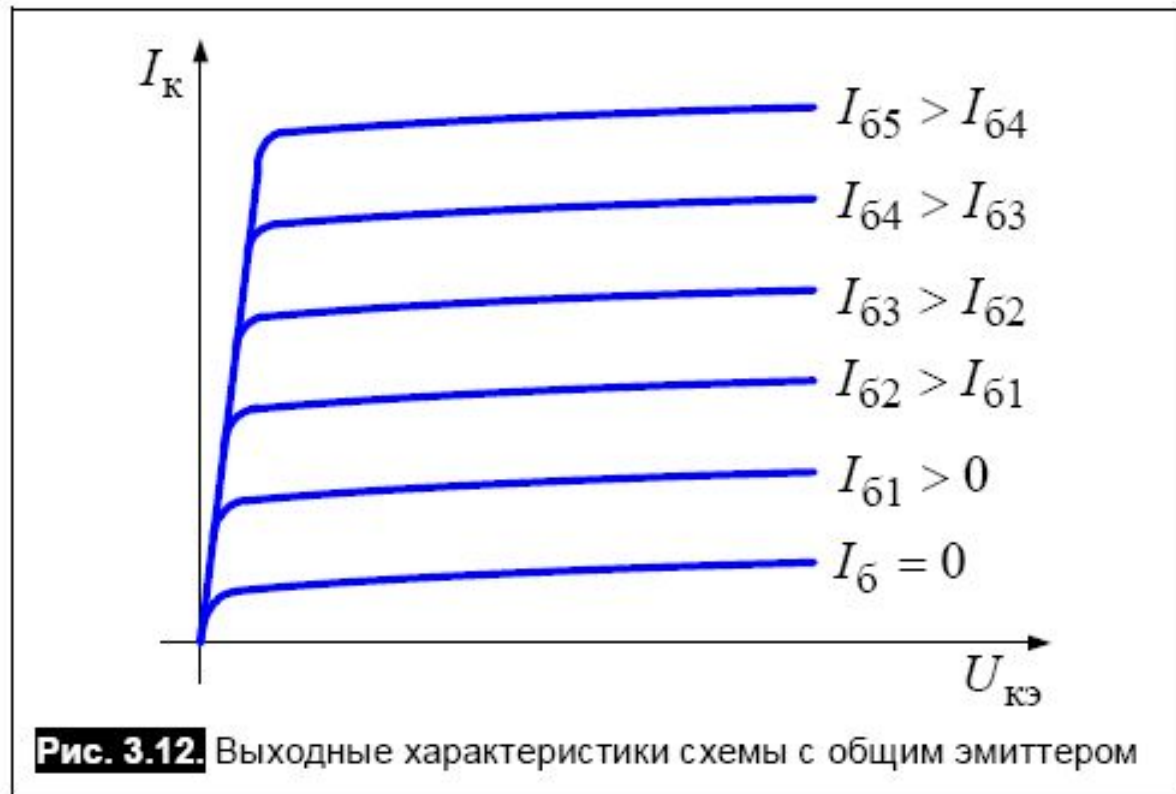


Рис. 3.12. Выходные характеристики схемы с общим эмиттером

- При $I_{\text{б}} = 0$ эта характеристика представляет собой обратную ветвь вольт-амперной характеристики коллекторного перехода.
- При $I_{\text{б}} > 0$ характеристики имеют большую крутизну в области малых значений $U_{\text{кэ}}$, т.к. при условии $E_2 < E_1$ сопротивление коллекторного переход незначительно и достаточно небольшого изменения напряжения на нем, чтобы ток $I_{\text{к}}$ изменился значительно.

- При больших значениях $U_{кэ}$ характеристики идут значительно выше, так как практически все носители, инжектированные из эмиттера в базу, принимают участие в образовании коллекторного тока и дальнейшее увеличение $U_{кэ}$ не приводит к пропорциональному росту тока I_k .
- Небольшой наклон характеристики все же имеется, так как с увеличением $U_{кэ}$ увеличивается ширина коллекторного перехода, а ширина базовой области, уменьшается. Это приводит к уменьшению числа рекомбинаций инжектированных в базу носителей и, следовательно, к увеличению количества носителей, переброшенных в область коллектора.

- Кроме того, по этой же причине несколько снижается базовый ток $I_{\text{б}}$, а поскольку характеристики снимаются при условии $I_{\text{б}} = \text{const}$, то при этом необходимо несколько увеличивать напряжение $U_{\text{бэ}}$, что приводит к некоторому возрастанию тока эмиттера $I_{\text{э}}$ и, следовательно, тока коллектора $I_{\text{к}}$.

- Биполярные транзисторы характеризуются *h*-параметрами.
- Входное сопротивление транзистора

$$h_{11} = \frac{dU_{бэ}}{dI_б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

- Коэффициент передачи по напряжению

$$h_{12} = \frac{dU_{бэ}}{dU_{кэ}} \text{ при } I_б = \text{const.}$$

- Коэффициент усиления по току

$$h_{21} = \frac{dI_{\kappa}}{dI_{\delta}} \text{ при } U_{\kappa\varepsilon} = \text{const.}$$

- Выходная проводимость транзистора

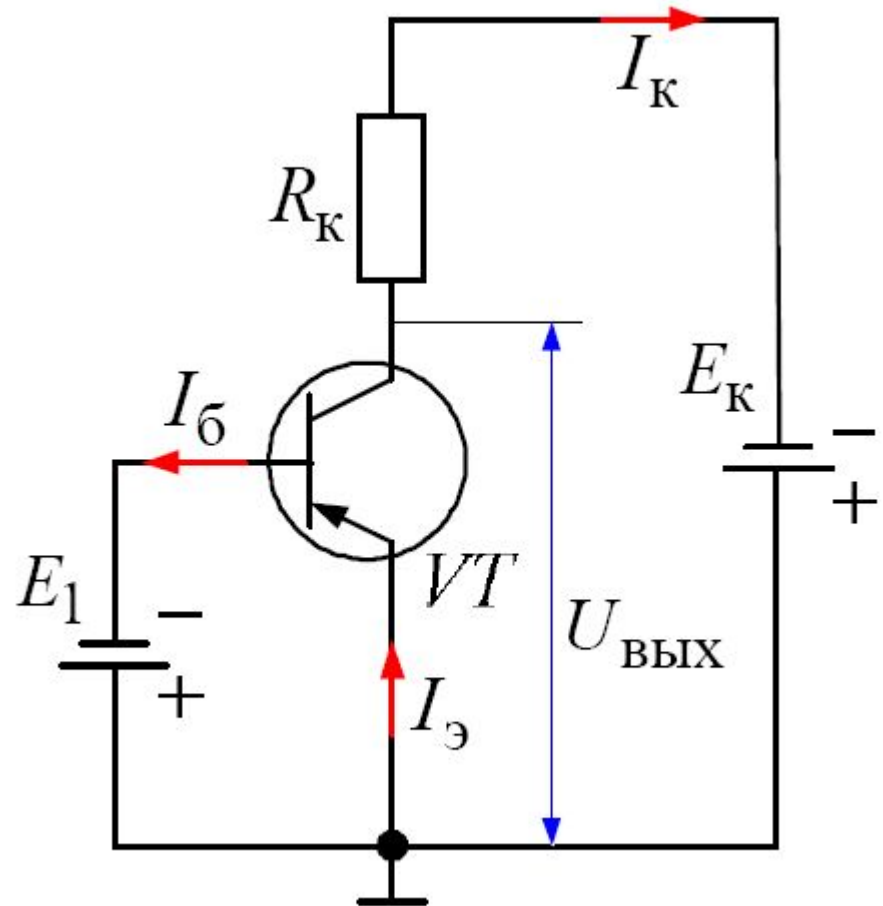
$$h_{22} = \frac{dI_{\kappa}}{dU_{\kappa\varepsilon}} \text{ при } I_{\delta} = \text{const.}$$

- Численные значения h -параметров обычно составляют:

- $h_{11} = 10^3 - 10^4 \text{ Ом}$; $h_{12} = 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$; $h_{21} = 20 - 200$; $h_{22} = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ См}$.

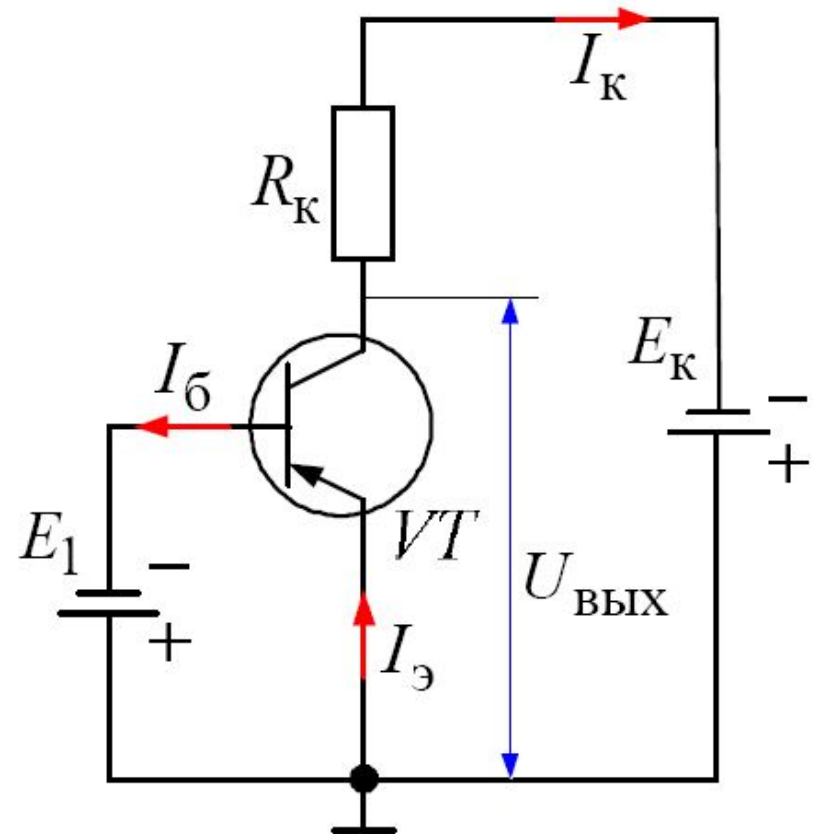
Режимы работы транзистора

- Рассмотрим каскад усиления на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.

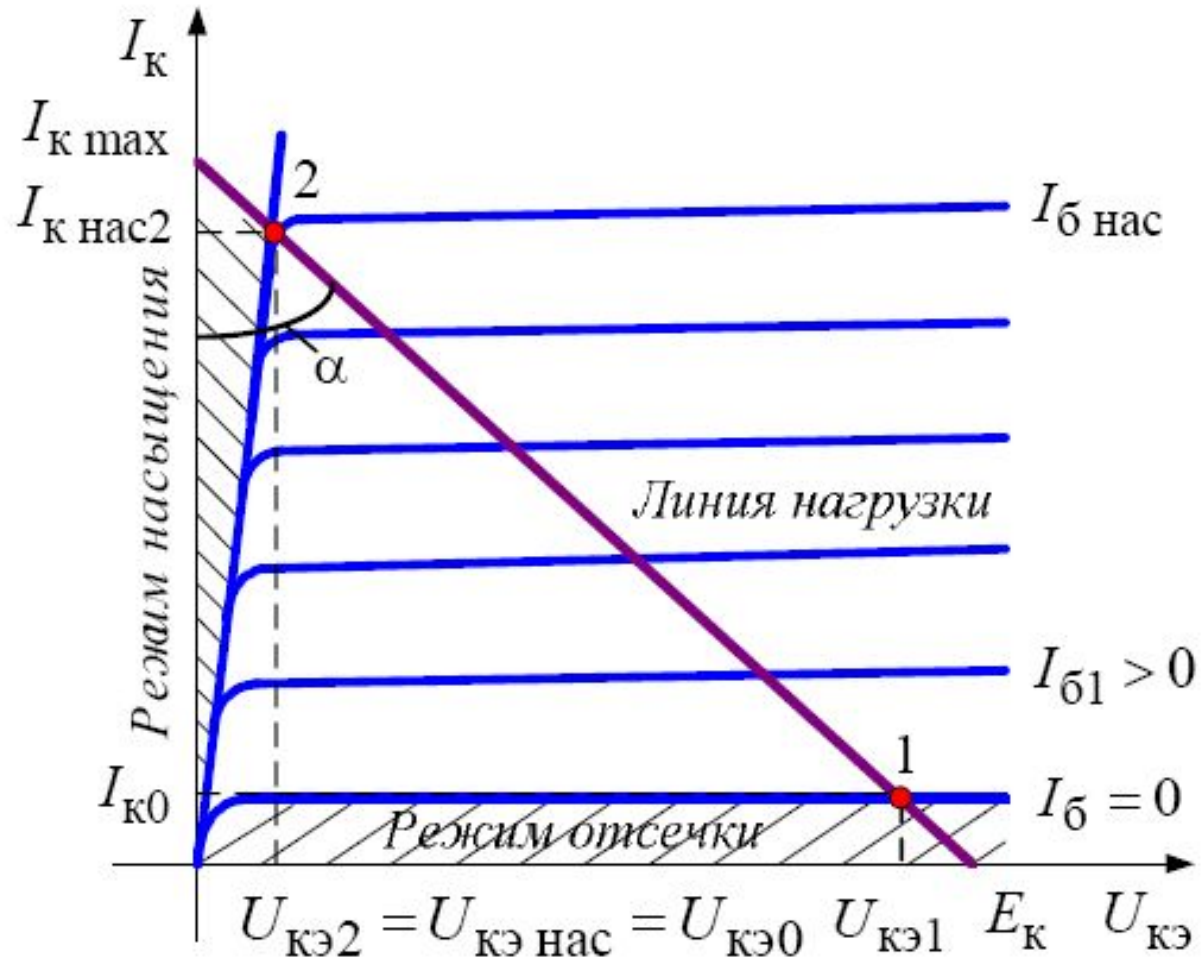


- При изменении величины входного сигнала будет изменяться ток базы $I_{\text{б}}$. Ток коллектора $I_{\text{к}}$ изменяется пропорционально току базы:

- $I_{\text{к}} = \beta I_{\text{б}}$.



- Изменение тока коллектора можно проследить по выходным характеристикам транзистора.



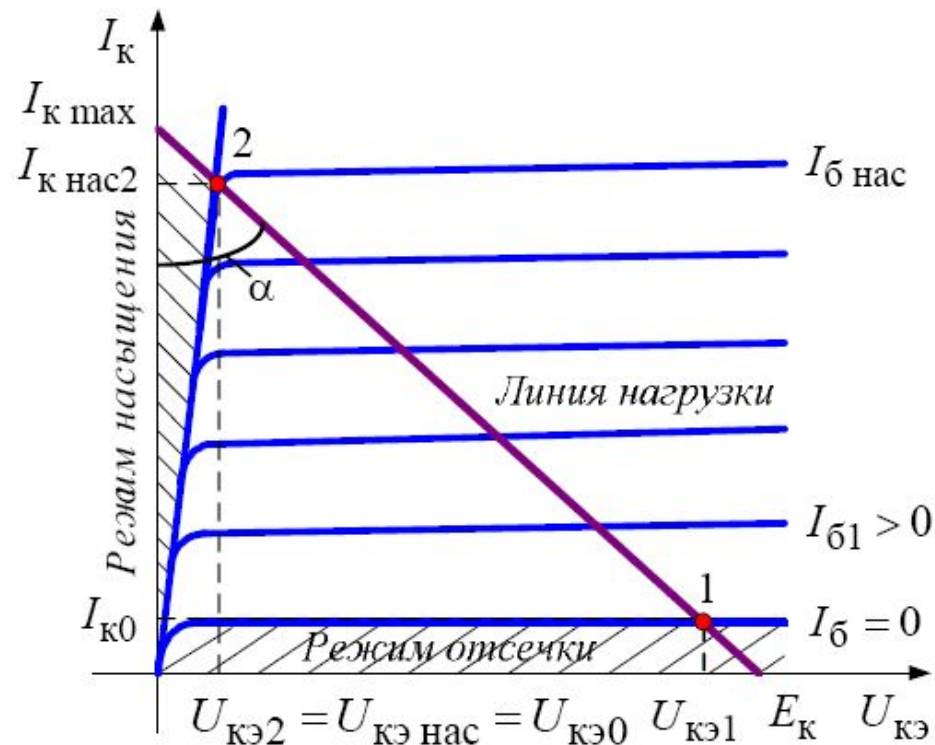
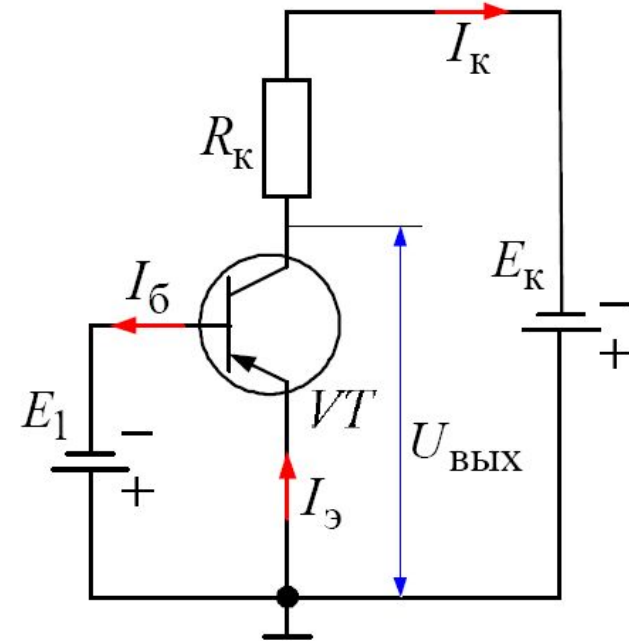
- *Линия нагрузки*

описывается уравнением:

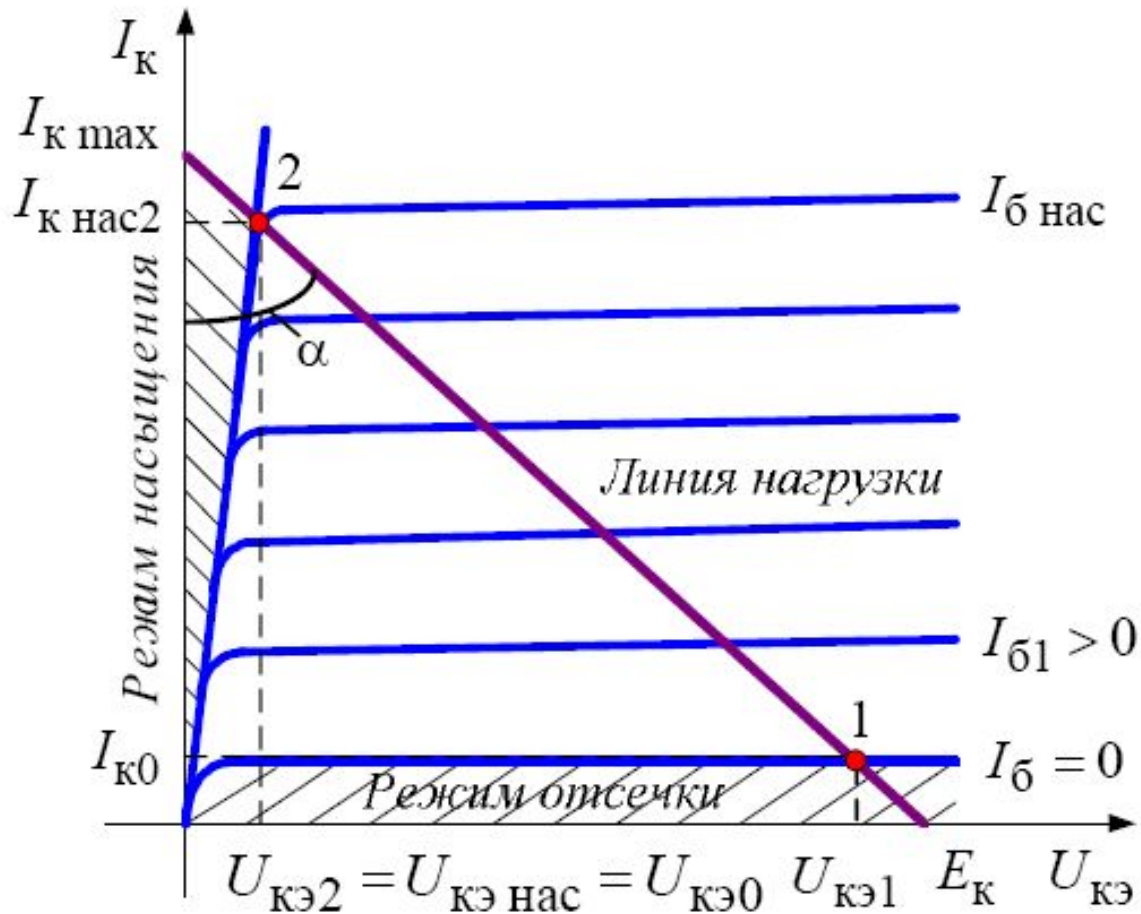
$$I_K = \frac{E_K - U_{КЭ}}{R_K}$$

- Наклон линии нагрузки определяется сопротивлением R_K .

$$R_K = \frac{E_K}{I_{K \max}} = \operatorname{tg} \alpha .$$



- В зависимости от тока базы I_B , протекающего во входной цепи транзистора, **рабочая точка** транзистора, определяющая его коллекторный ток и напряжение $U_{кэ}$, будет перемещаться вдоль линии нагрузки.

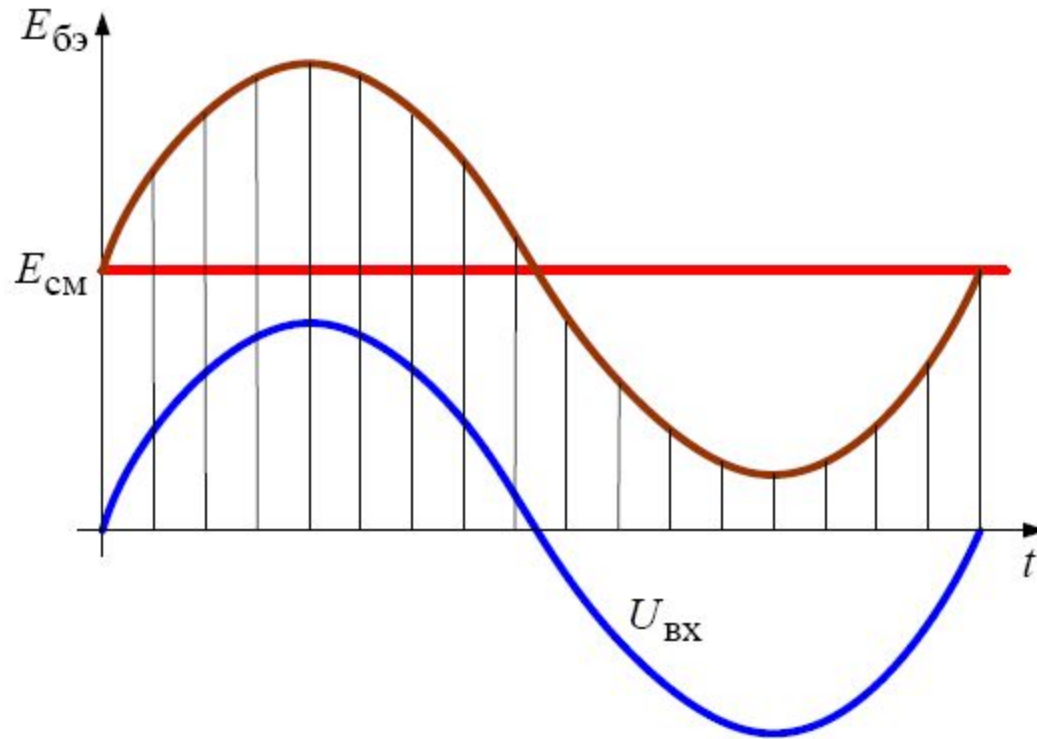


- *Зона отсечки* характеризуется тем, что оба перехода транзистора – эмиттерный и коллекторный смещены в обратном направлении.
- *Зоной насыщения* характеризуется тем, что оба перехода транзистора смещены в прямом направлении; ток коллектора достигает максимального значения и почти равен максимальному току источника коллекторного питания.
- Промежуточное положение рабочей точки между зоной отсечки и зоной насыщения определяет работу транзистора в режиме усиления, а область, где она находится, называется *активной областью*. При работе в этой области эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

Динамические характеристики транзистора

- В большинстве случаев транзистор усиливает сигналы переменного тока, т. е. на вход транзистора подается знакопеременный сигнал. Но поскольку эмиттерный $p-n$ -переход обладает вентиляльными свойствами, то через него пройдет только положительная полуволна входного сигнала, а отрицательная полуволна будет им срезана. Для того чтобы этого не было, чтобы усилить весь сигнал, во входную цепь транзистора вводят так называемое *смещение*.

Смещение усиленного сигнала

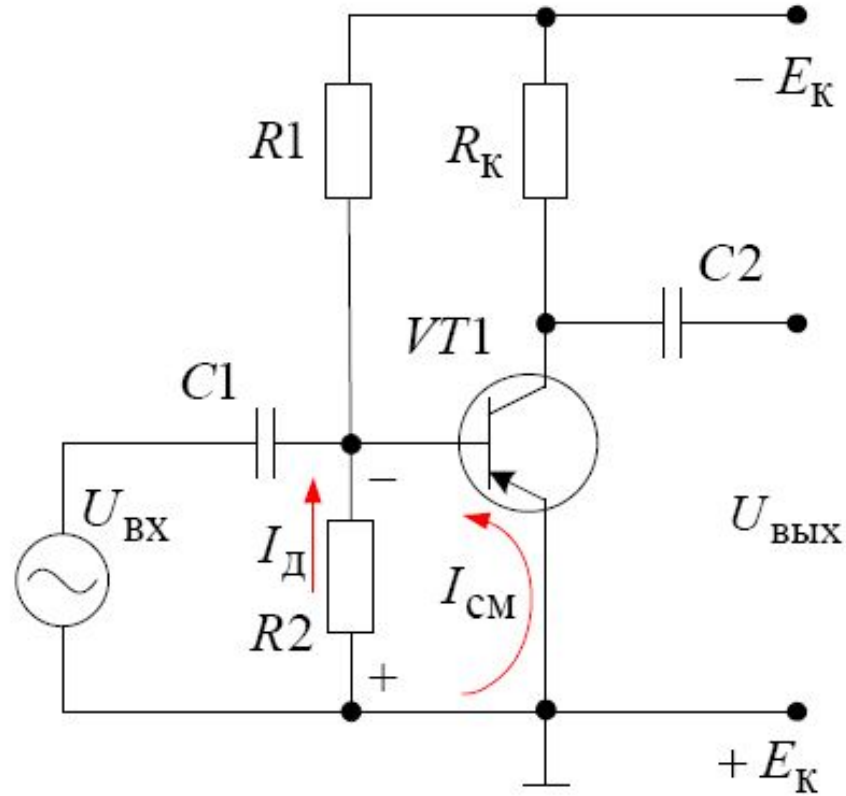
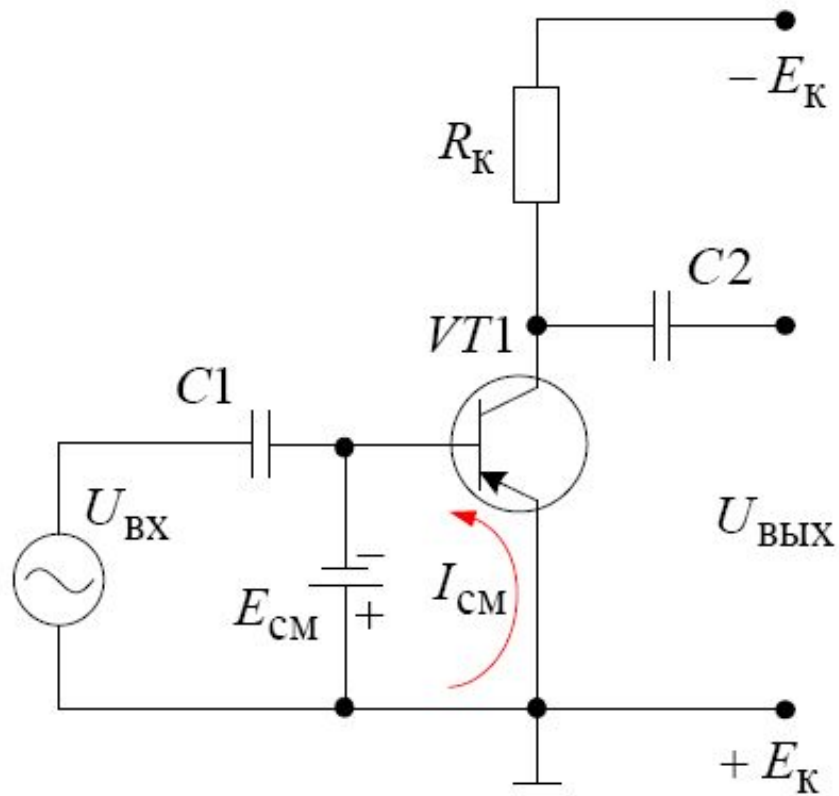


- Источник напряжения смещения создает во входной цепи транзистора постоянный по величине ток смещения $I_{см}$. Для исключения влияния источника $E_{см}$ на источник входного сигнала в цепь вводится разделительный конденсатор C_1 , который пропускает переменный входной сигнал, но не пропускает его постоянную составляющую. Для такой же цели служит выходной разделительный конденсатор C_2 . Смещение может вводиться как при помощи отдельного источника $E_{см}$, так и с использованием для этой цели источника коллекторного питания E_k .

- Это можно сделать при помощи делителя напряжения R_1 и R_2 . Ток I_d , протекающий по делителю напряжения R_1 - R_2 под действием источника питания E_k , создает на резисторе R_2 падение напряжения

- $U_{R_2} = I_d R_2$,

- которое должно быть равно требуемой величине напряжения смещения $E_{см}$.



- Характеристики транзистора, когда в его выходную цепь включают различные виды нагрузок, называют **динамическими**, а режимы, возникающие при этом, — *динамическими режимами*.

