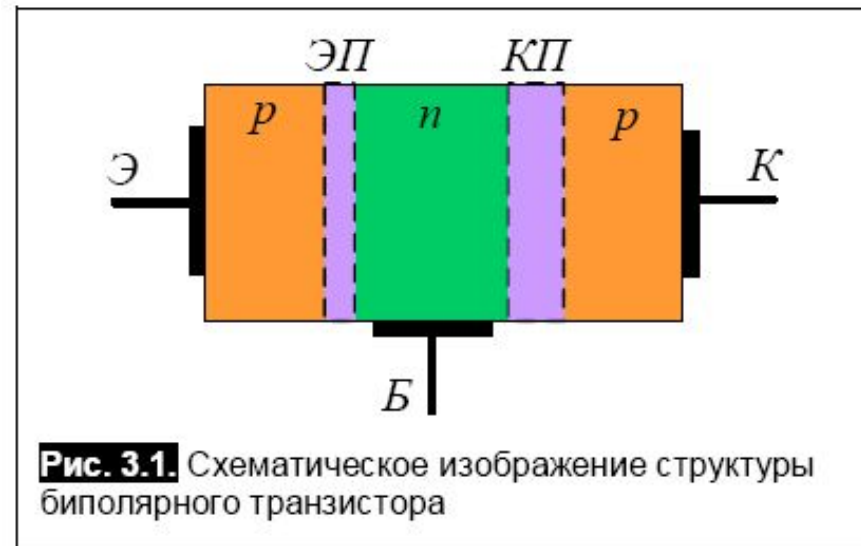


# **БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ**

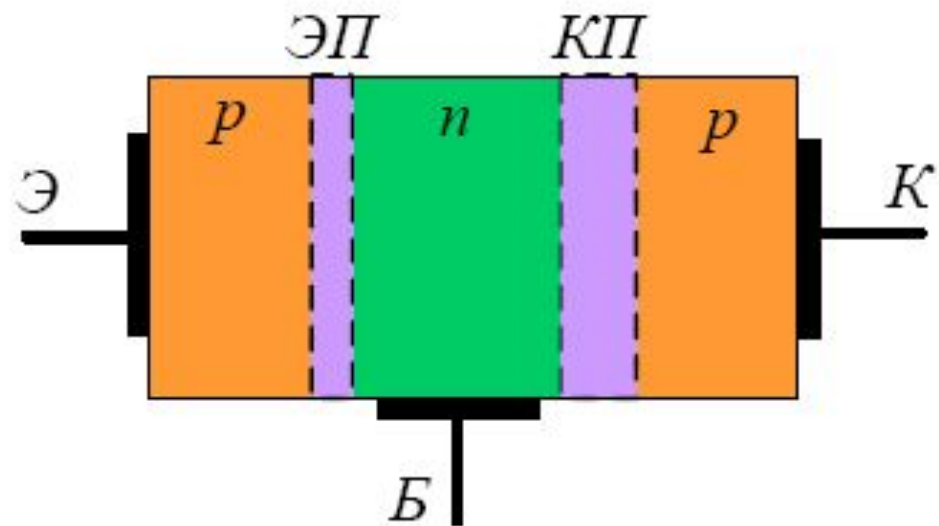
- *Биполярный транзистор* – это полупроводниковый прибор с двумя *p-n*-переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов.

- 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).



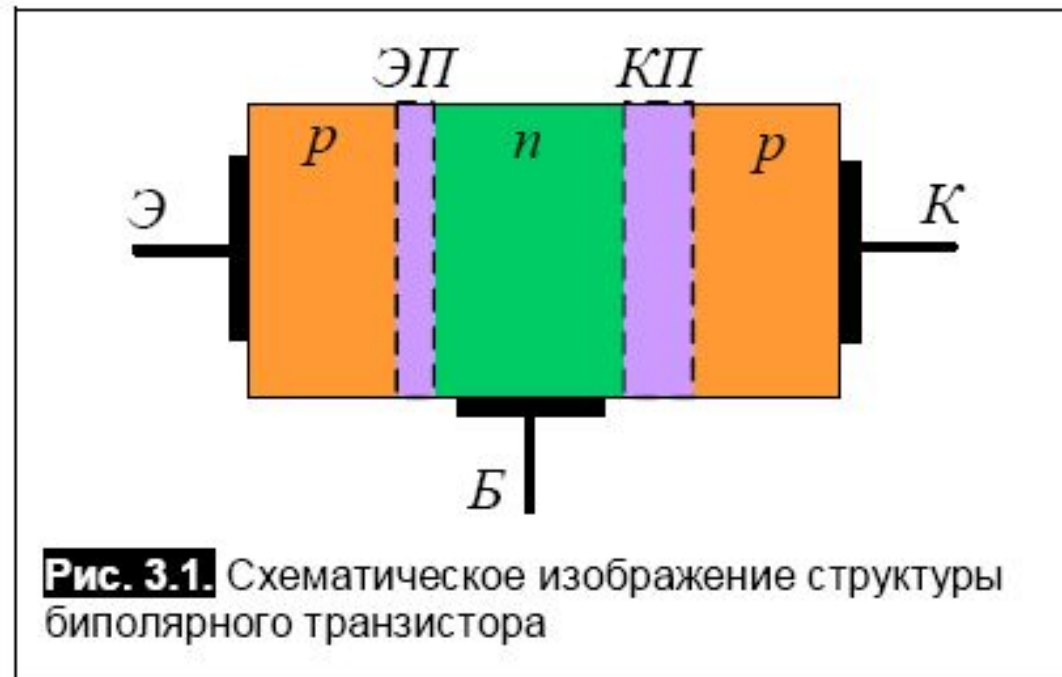


- Область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в базу, называют *эмиттером (Э)*, а  $p-n$ -переход между базой и эмиттером – *эмиттерным (ЭП)*.

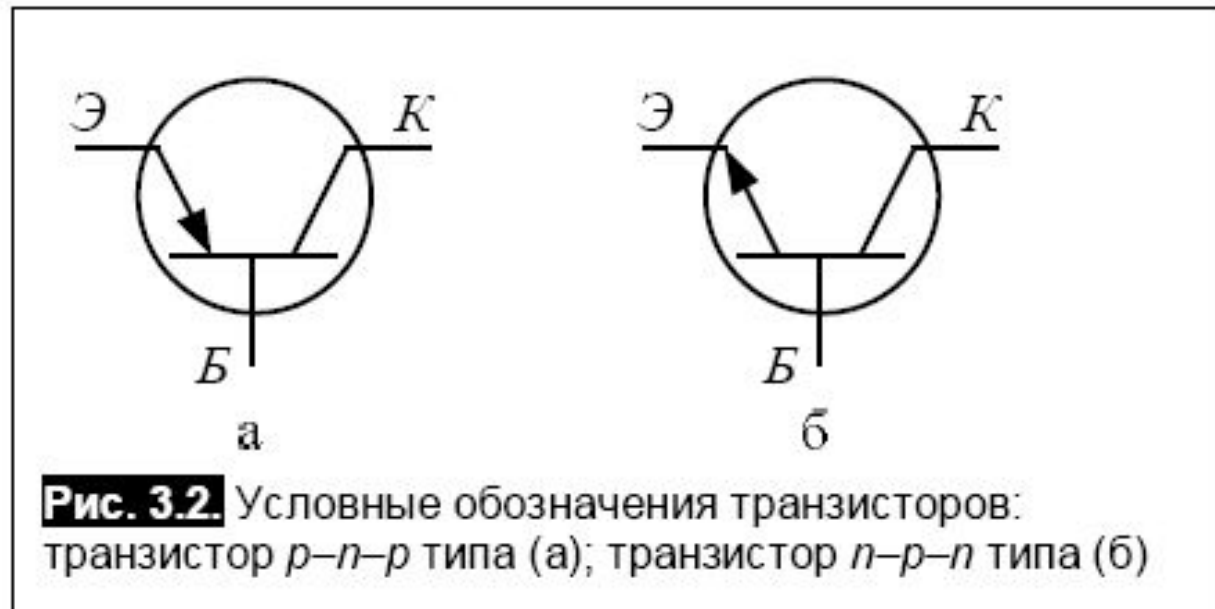


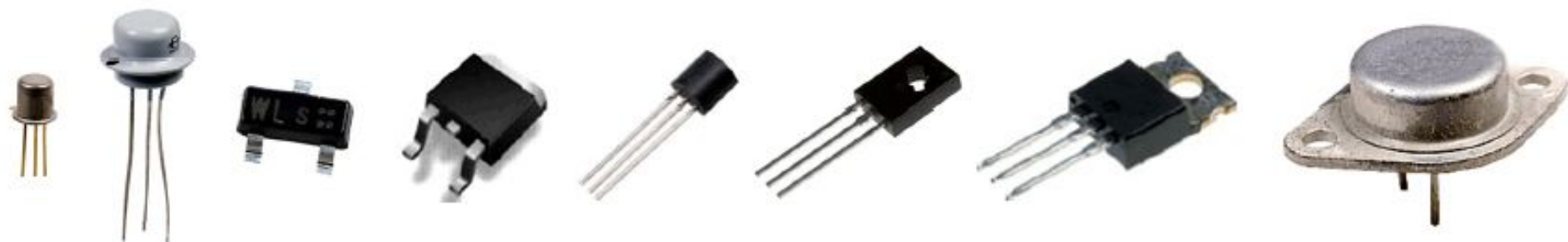
**Рис. 3.1.** Схематическое изображение структуры биполярного транзистора

- 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)*.

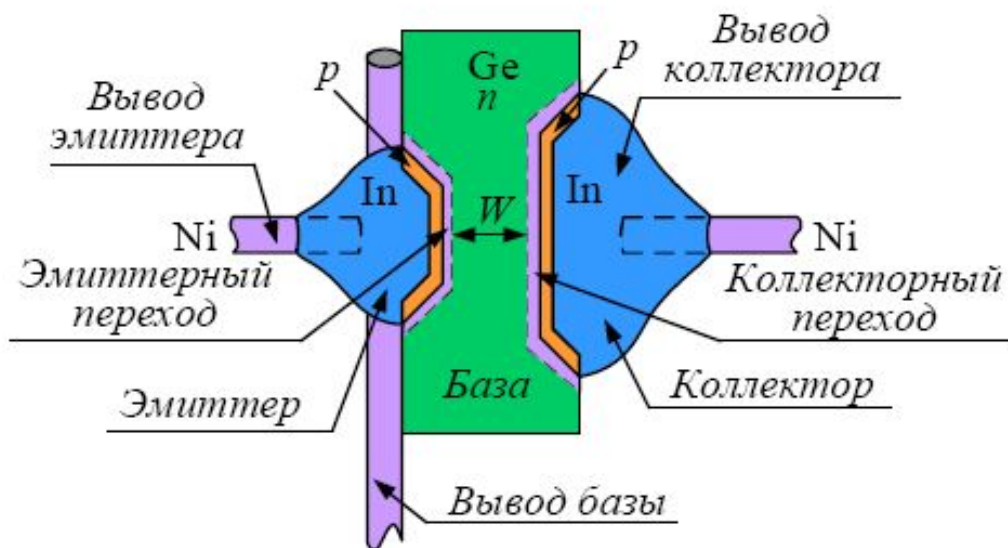
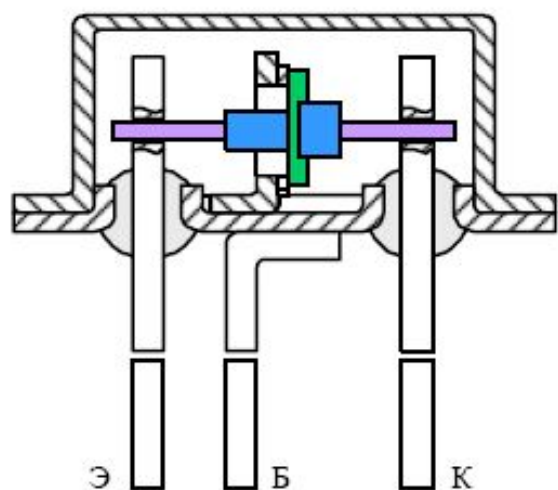


- В зависимости от типа электропроводности крайних слоев (эмиттера и коллектора) различают транзисторы  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типа. В обоих типах транзисторов физические процессы аналогичны, они различаются только типом инжектируемых и экстрагируемых носителей и имеют одинаково широкое применение.





а



б

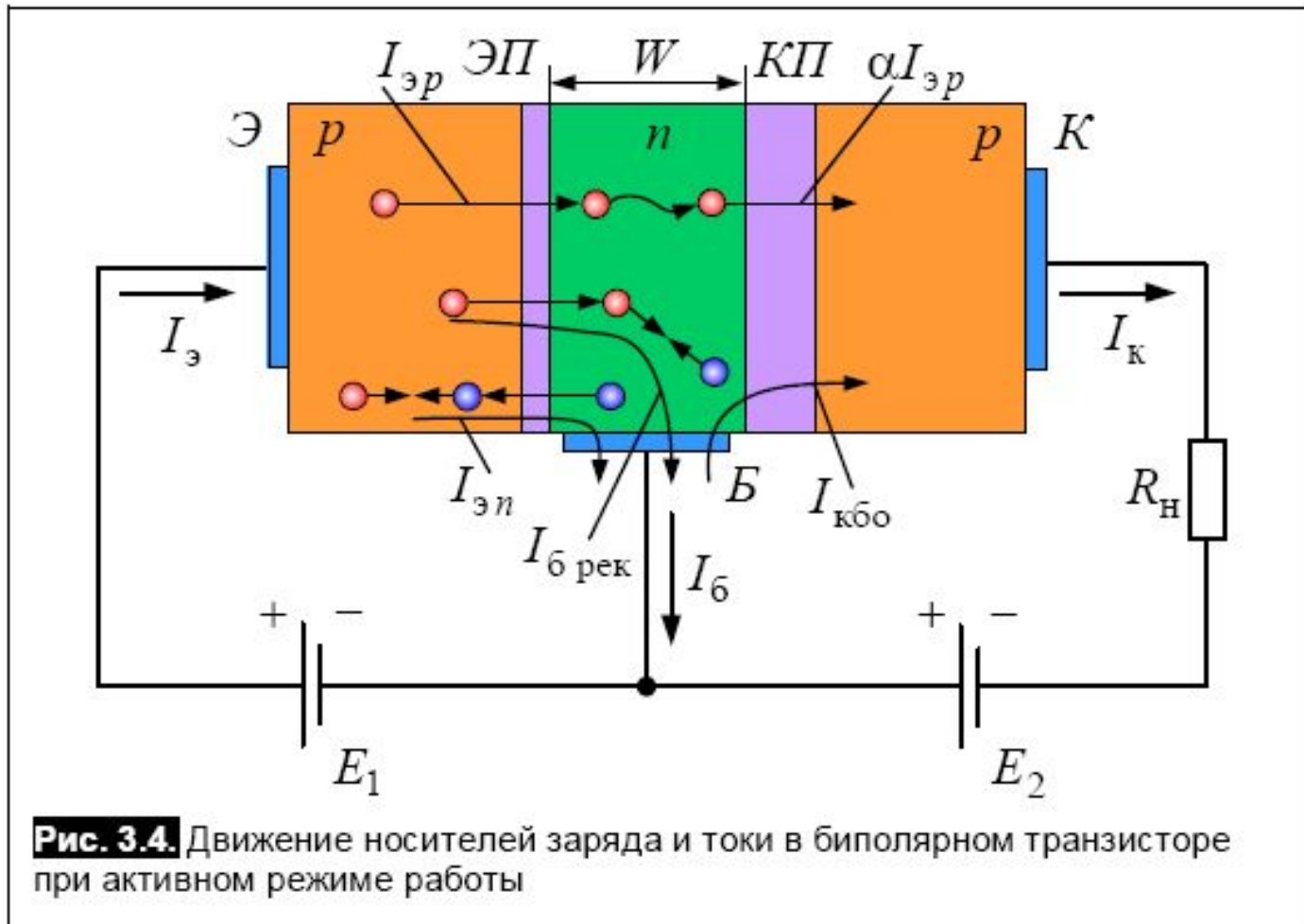
**Рис. 3.3.** Общий вид (а) и конструктивное оформление одного из биполярных транзисторов (б)



### Режимы работы биполярного транзистора

<b>Эмиттерный переход</b>	<b>Коллекторный переход</b>	<b>Режим работы транзистора</b>
<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



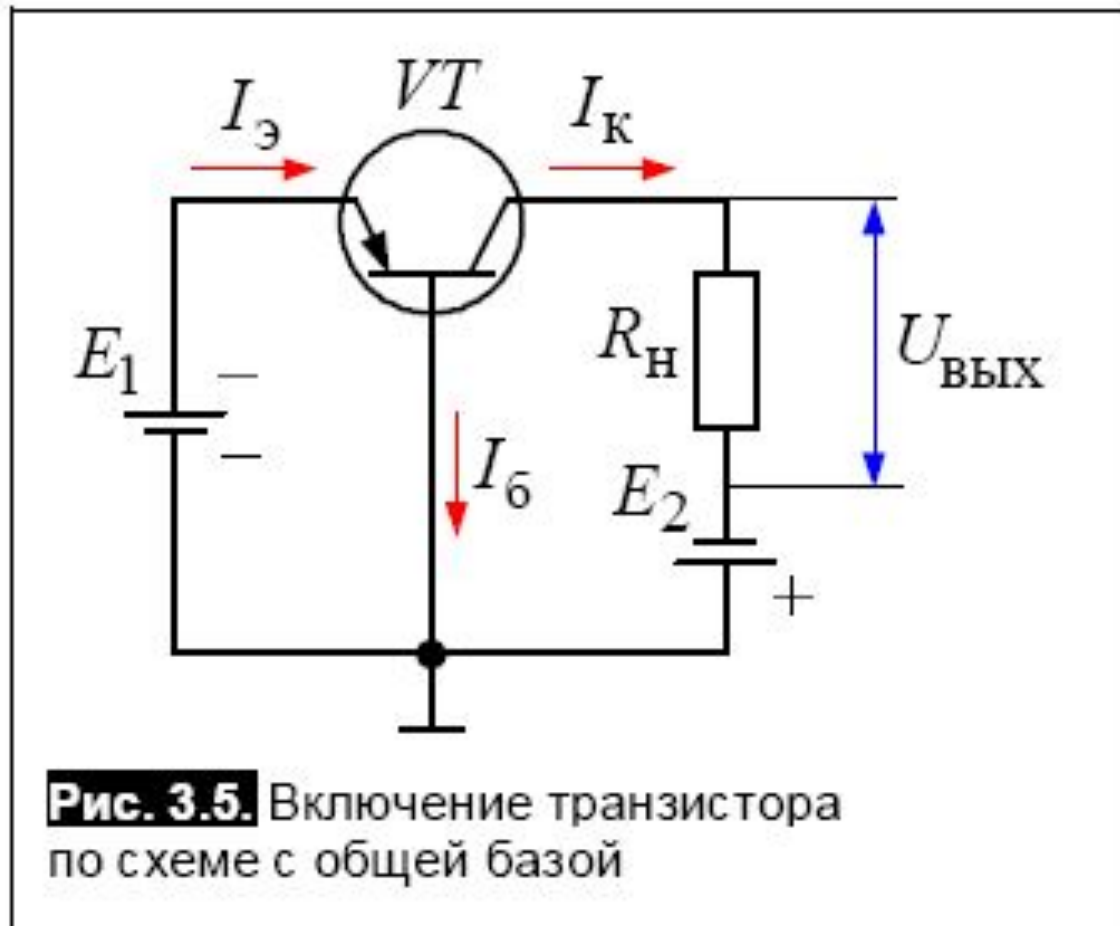
- ЭДС  $E_1$  подключается так, чтобы эмиттерный переход был смещен в прямом направлении, а ЭДС  $E_2$  должна смещать коллекторный переход в обратном направлении.
- Дырки из эмиттера будут инжектироваться в область базы, где они становятся уже неосновными носителями.
- Затем будут переброшены через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

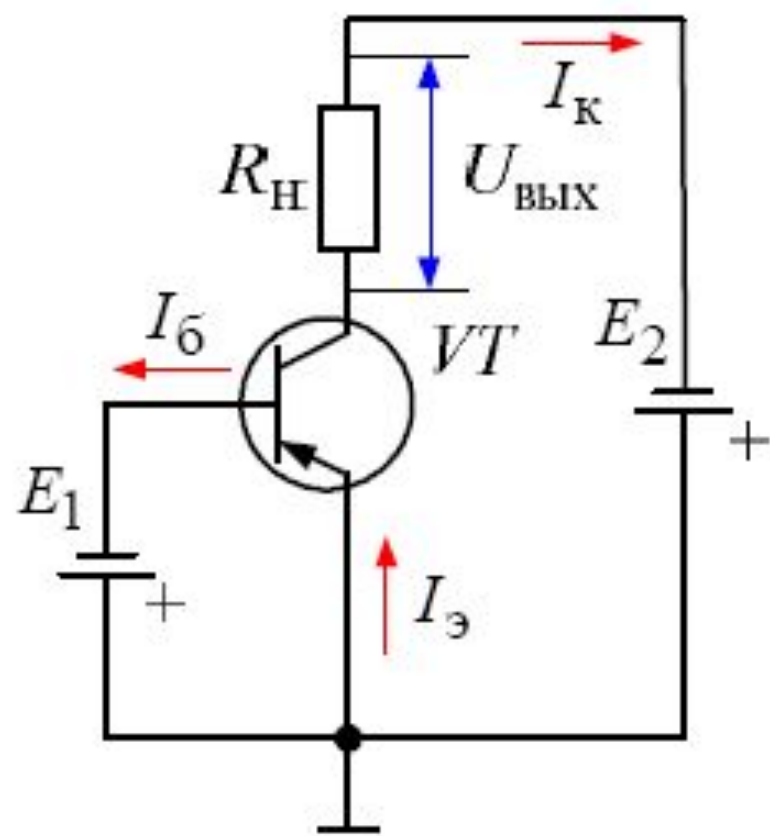
- Не все носители, инжектированные из эмиттера в базу, достигают коллекторного перехода; часть из них рекомбинирует в базе.
- Поэтому ток коллектора  $I_K$  меньше тока эмиттера  $I_э$ .
- Отношение этих токов характеризует коэффициент передачи по току:

$$\alpha = \frac{I_K}{I_э} .$$

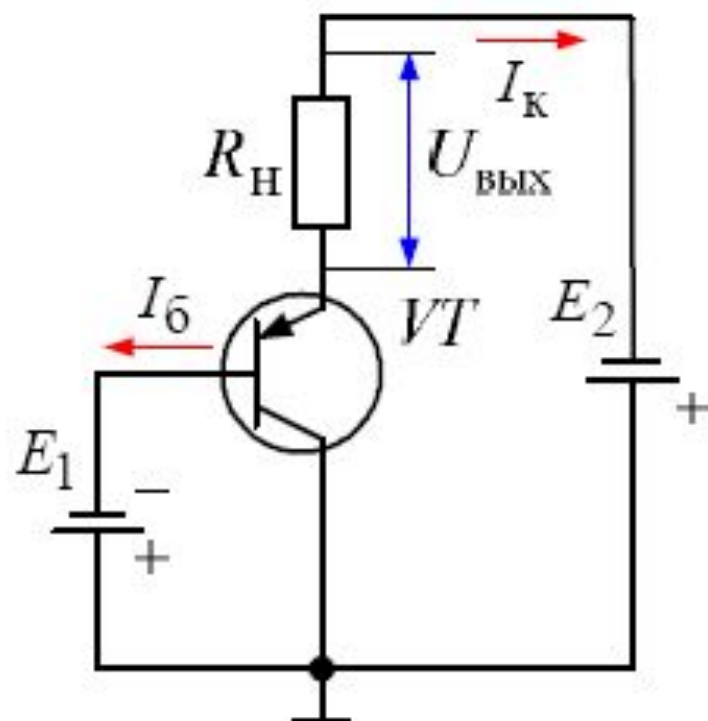
- Для увеличения коэффициента передачи по току
- область базы делают тонкой (чтобы меньшее количество носителей рекомбинировало в ней),
- площадь коллекторного перехода делают больше площади эмиттерного перехода (чтобы улучшить процесс экстракции носителей из базы).
- Удастся достичь величины коэффициента 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

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

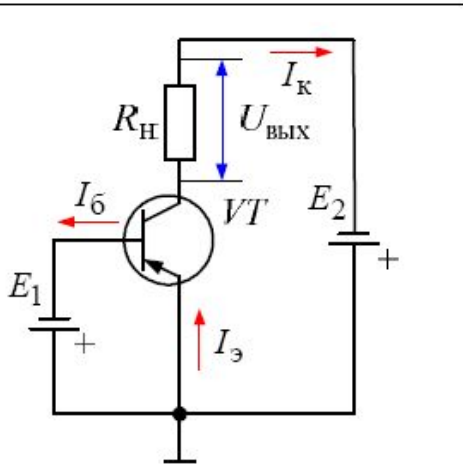


Рис. 3.6. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

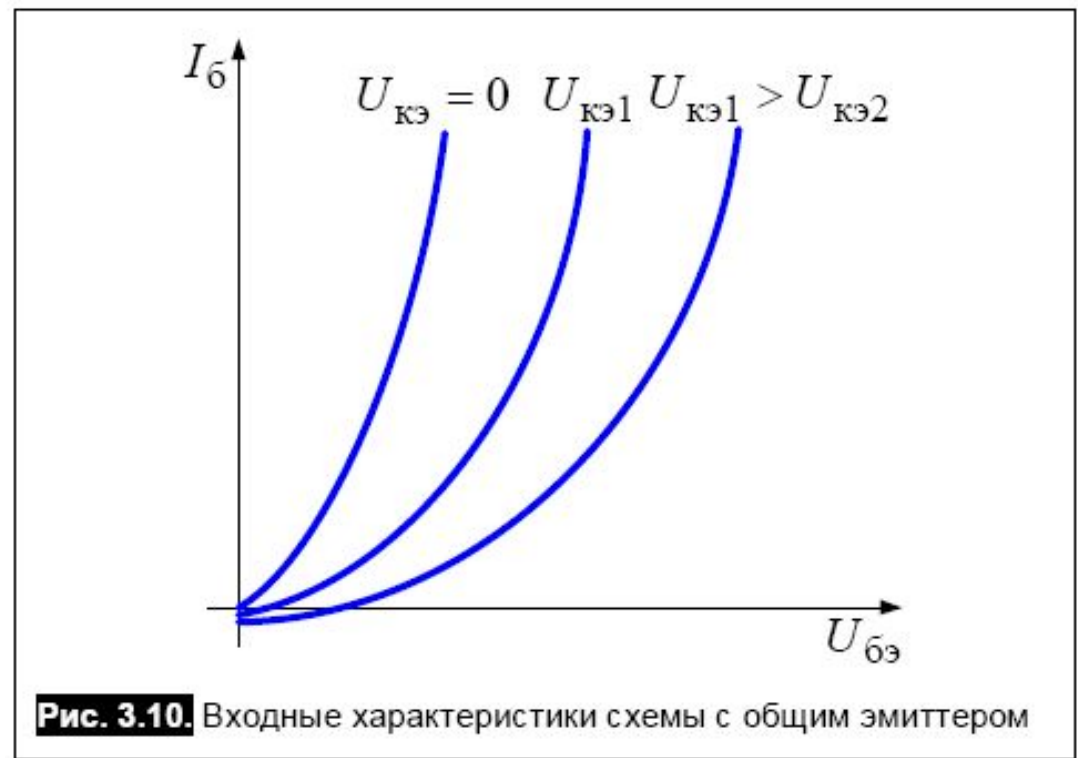
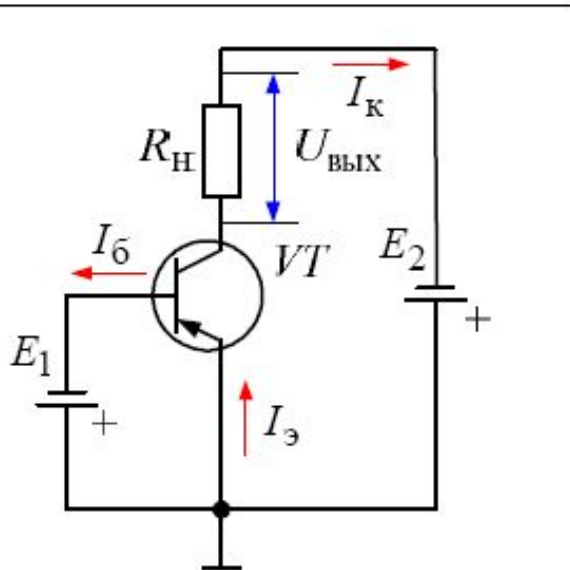


Рис. 3.10. Входные характеристики схемы с общим эмиттером

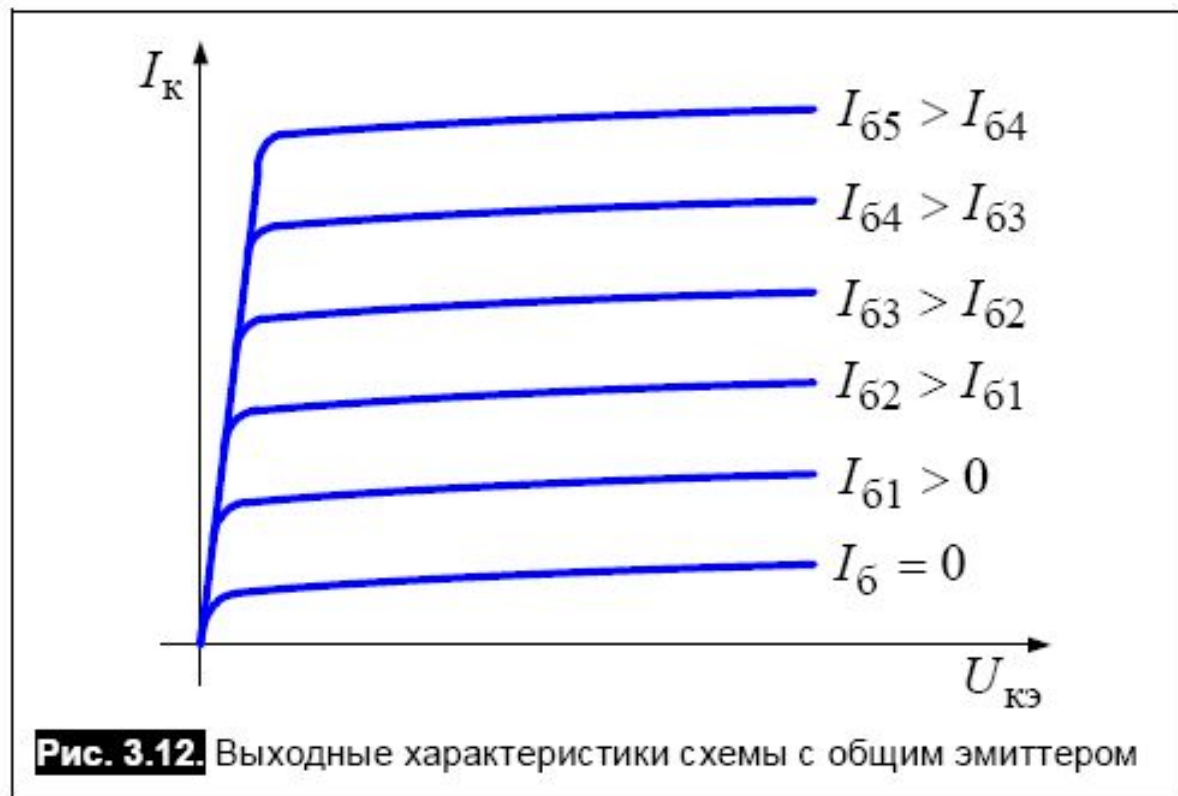
- При  $U_{кэ} = 0$  эта характеристика представляет собой прямую ветвь вольт-амперной характеристики эмиттерного перехода. При этом коллекторный переход оказывается включенным в прямом направлении на напряжение источника  $E_1$ .
- При включении источника  $E_2$  ( $U_{кэ} < 0$ ) характеристика пойдет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

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

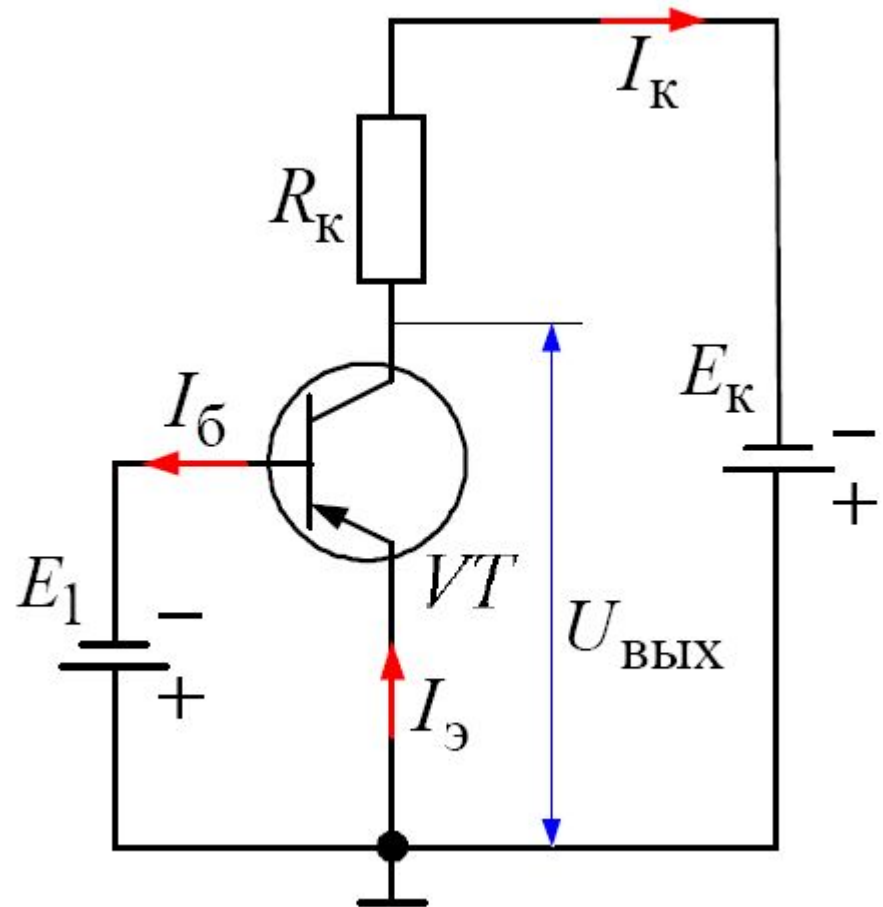
- Численные значения  $h$ -параметров обычно составляют:

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



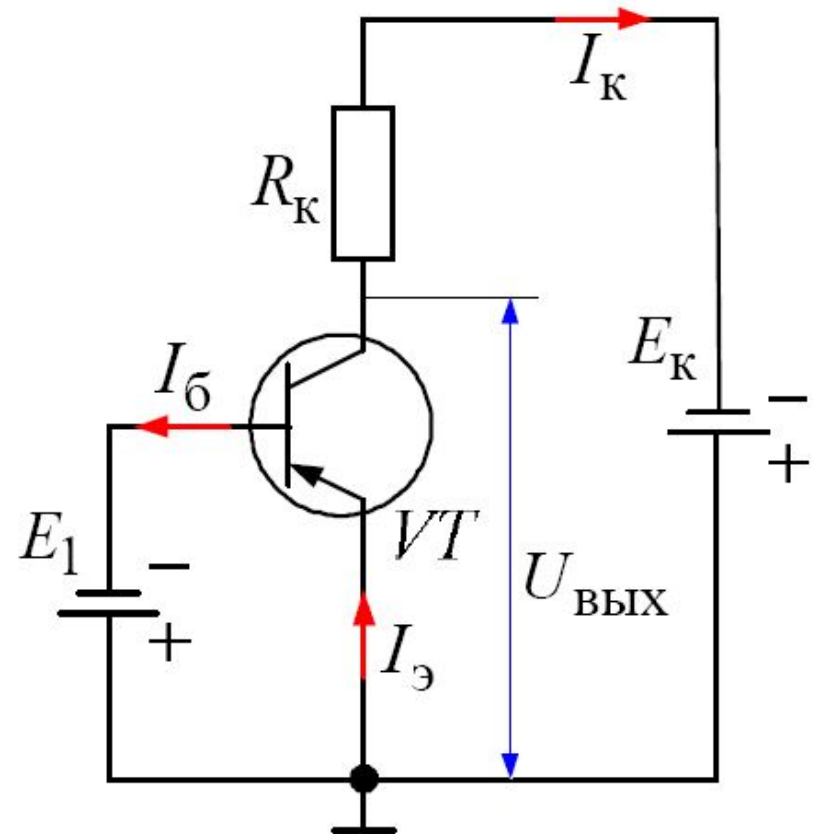
# Режимы работы транзистора

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

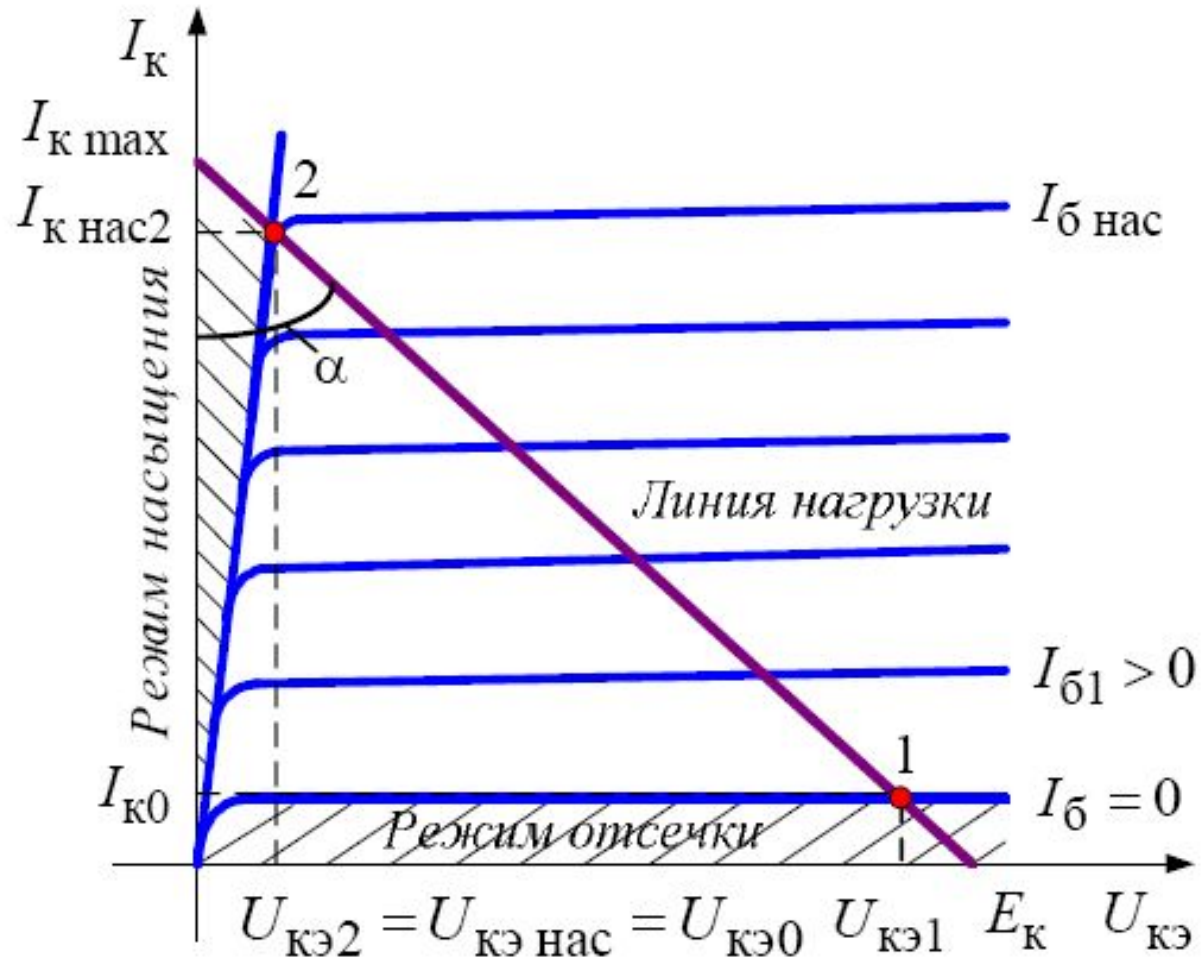


- При изменении величины входного сигнала будет изменяться ток базы  $I_{\text{б}}$ . Ток коллектора  $I_{\text{к}}$  изменяется пропорционально току базы:

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



- Изменение тока коллектора можно проследить по выходным характеристикам транзистора.



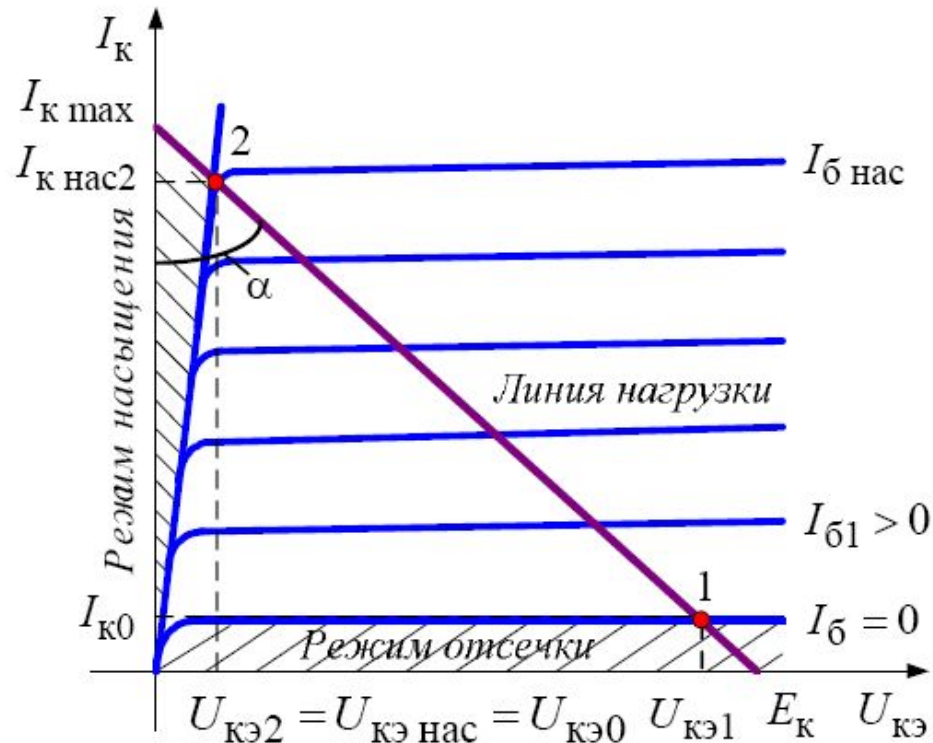
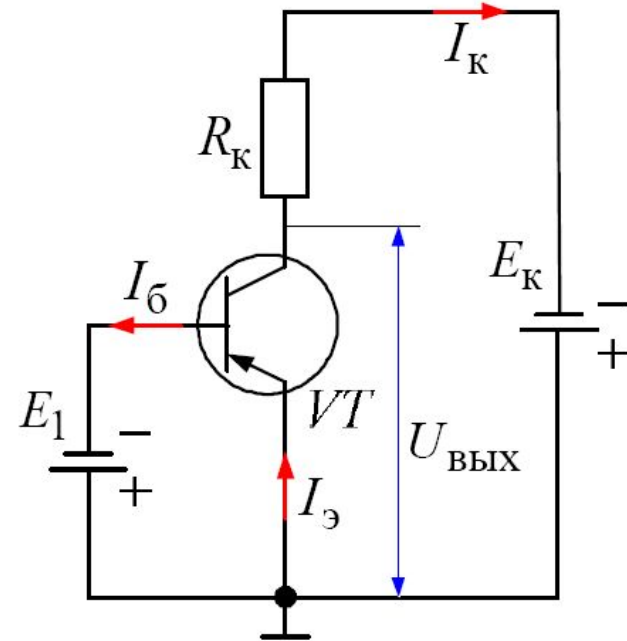
- *Линия нагрузки*

описывается уравнением:

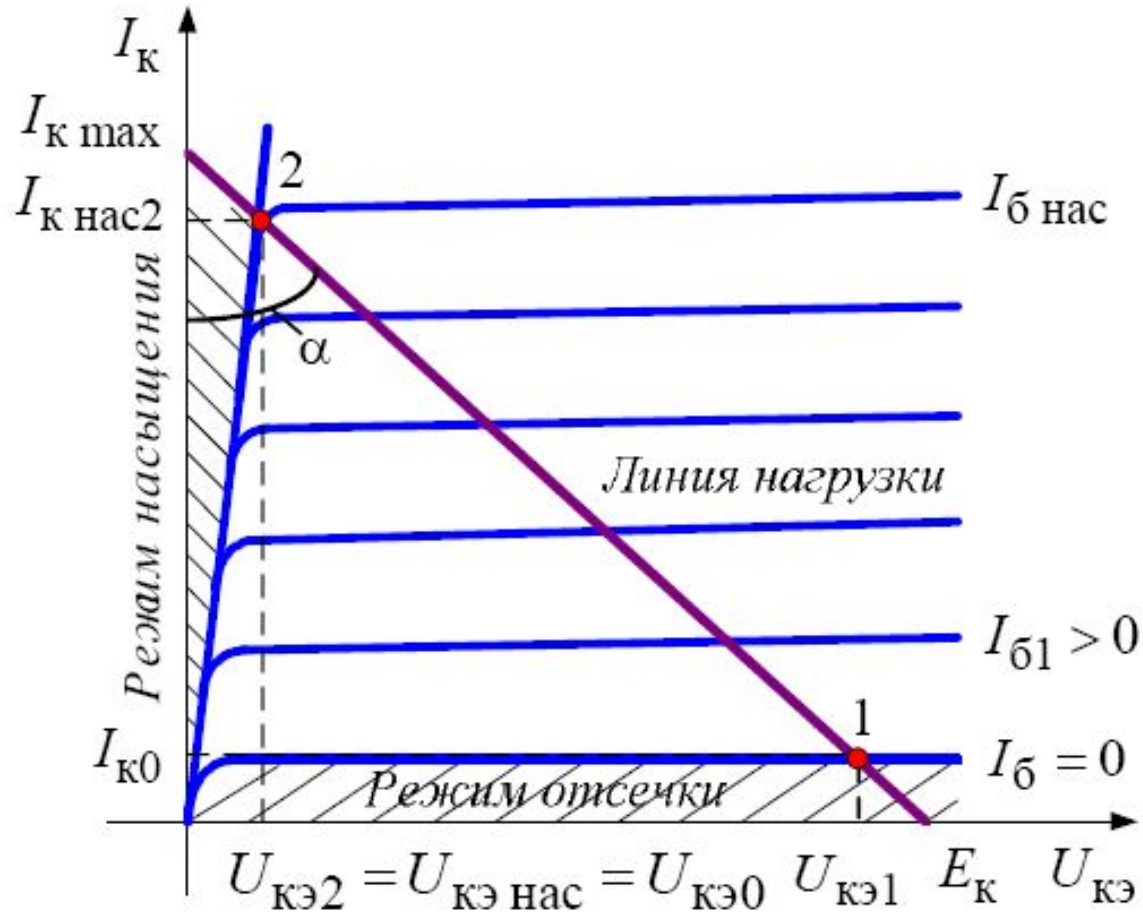
$$I_K = \frac{E_K - U_{КЭ}}{R_K}$$

- 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.

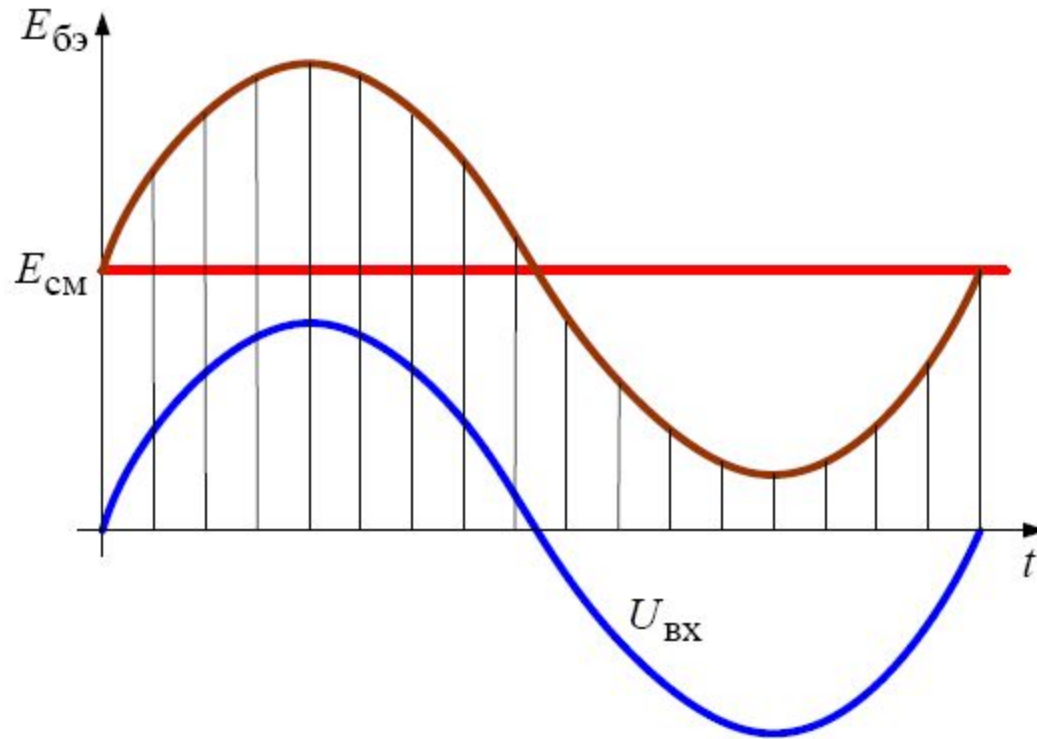


- *Зона отсечки* характеризуется тем, что оба перехода транзистора – эмиттерный и коллекторный смещены в обратном направлении.
- *Зоной насыщения* характеризуется тем, что оба перехода транзистора смещены в прямом направлении; ток коллектора достигает максимального значения и почти равен максимальному 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



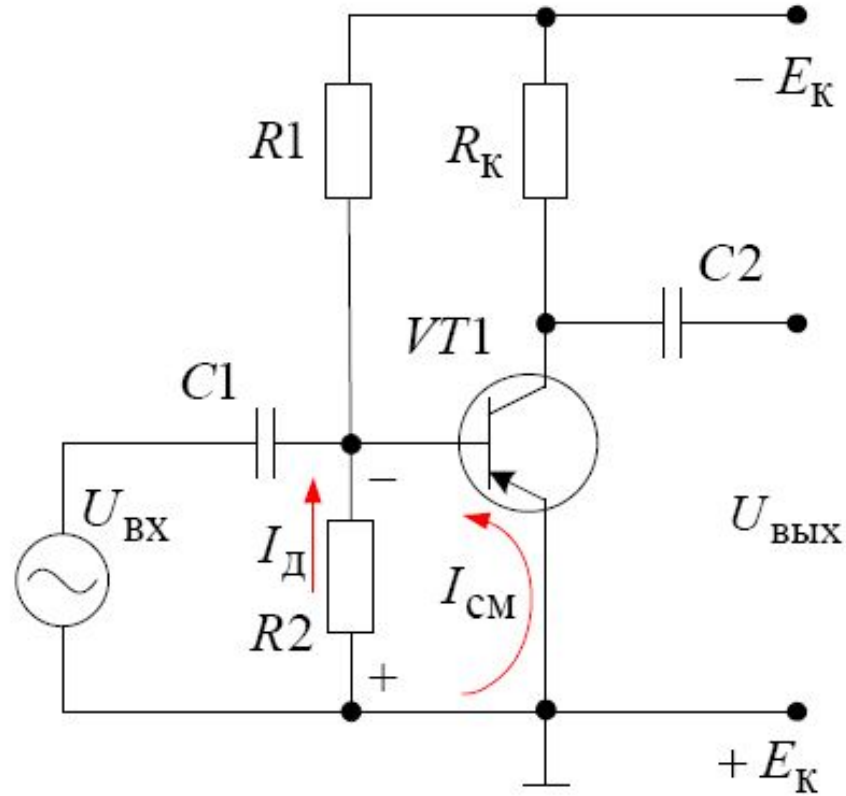
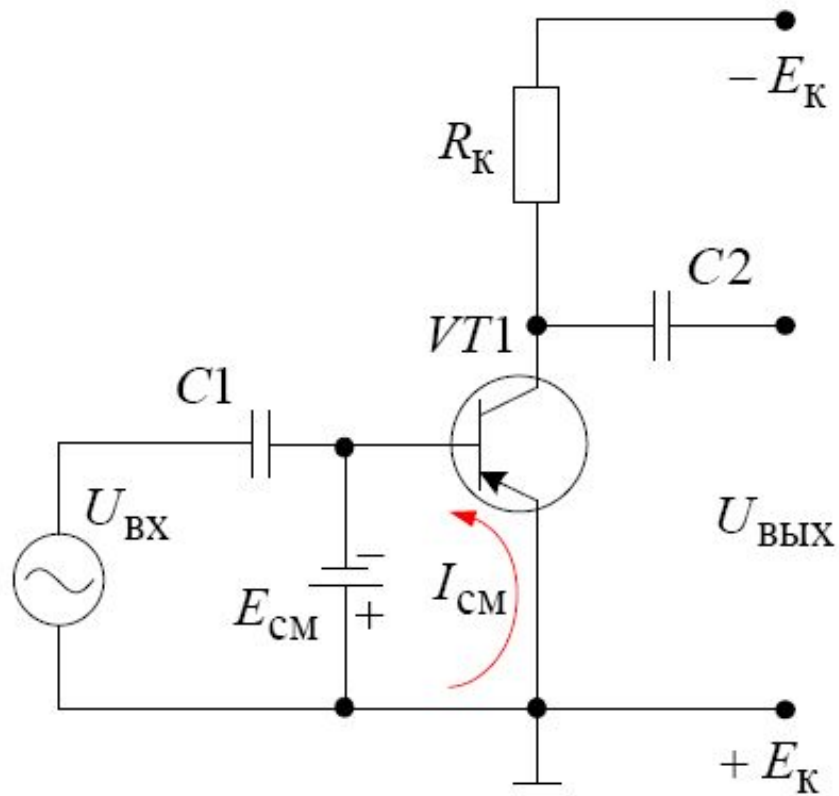


- Источник напряжения смещения создает во входной цепи транзистора постоянный по величине ток смещения  $I_{см}$ . Для исключения влияния источника  $E_{см}$  на источник входного сигнала в цепь вводится разделительный конденсатор  $C_1$ , который пропускает переменный входной сигнал, но не пропускает 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***.

