

# Биполярные транзисторы

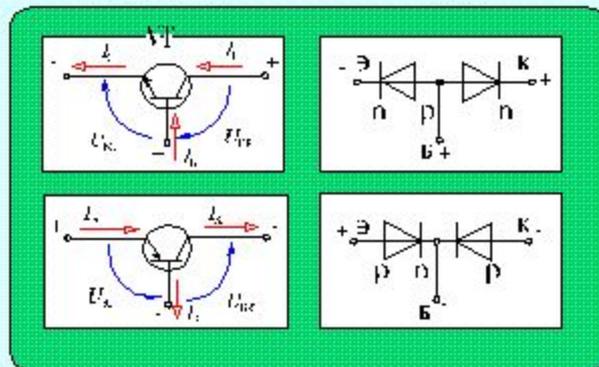
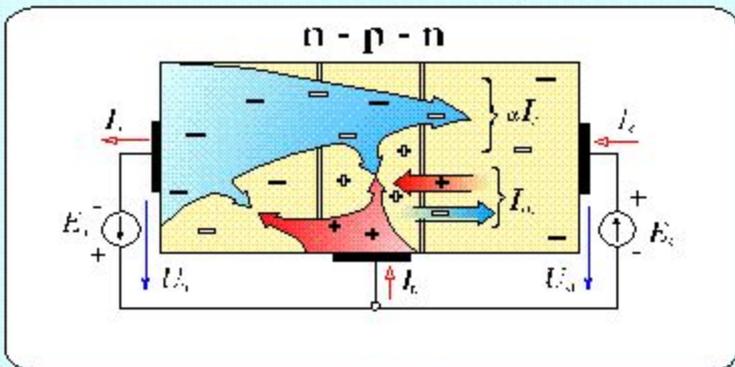
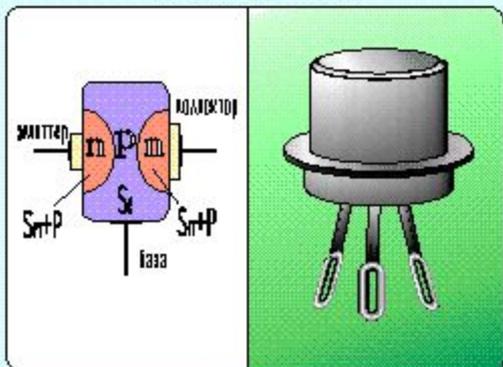
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР (VT)

УСТРОЙСТВО

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ С ОБЩЕЙ БАЗОЙ

УСТРОЙСТВО  
СТРУКТУРА

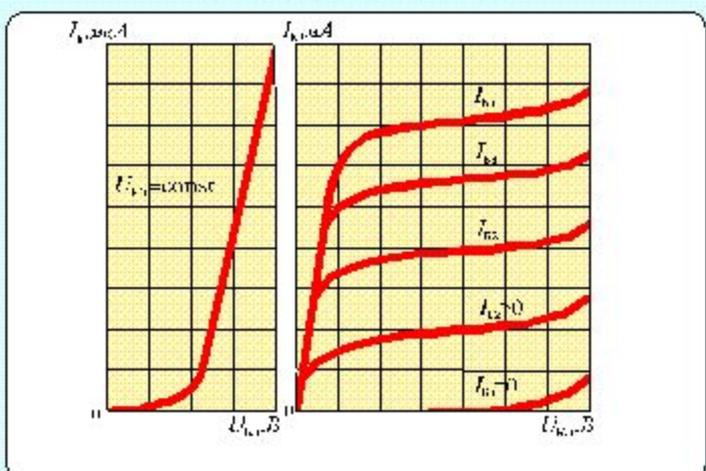
УСТРОЙСТВО  
СХЕМА



ХАРАКТЕРИСТИКИ

КОЭФФИЦИЕНТ  
ПЕРЕДАЧИ ТОКА  $\alpha$

УРАВНЕНИЯ И СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ  
В h-ПАРАМЕТРАХ С ОЭ



$\alpha = 0.9 \dots 0.995$   
 $\alpha = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} \Big|_{U_{кб} = \text{const}}$   
 основные параметры VT с ОЭ  
 $S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{кб}} \Big|_{I_{кб} = \text{const}}$  крутизна  
 $R_{вых} = \frac{\Delta U_{кб}}{\Delta I_c} \Big|_{I_{кб} = \text{const}}$  выходное сопротивление  
 $R_{вх} = \frac{\Delta U_{кб}}{\Delta I_e} \Big|_{I_{кб} = \text{const}}$  входное сопротивление

$\Delta U_{кб} = h_{11} \Delta I_b + h_{12} \Delta U_{кв}$   
 $\Delta I_c = h_{21} \Delta I_b + h_{22} \Delta U_{кв}$

$h_{11} = \frac{\Delta U_{кб}}{\Delta I_b} \Big|_{U_{кв} = \text{const}}$   
 $h_{12} = \frac{\Delta U_{кб}}{\Delta U_{кв}} \Big|_{I_b = \text{const}}$   
 $h_{21} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \Big|_{U_{кв} = \text{const}}$   
 $h_{22} = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{кв}} \Big|_{I_b = \text{const}}$

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ ТРАНЗИСТОРОВ И ТИРИСТОРОВ ПО ГОСТ - 113369-19-81

**К Т 8 0 8 А**  
 классификация по параметрам  
 порядковый номер разработки (включенное состояние прибора)  
 функциональные возможности  
 класс прибора (Т-биполярные, П-полевые транзисторы, Н-диодные, В-тиристоры)  
 исходный материал (Г или 1-германий, К или 2-кремний, А или 3-соединения арсенида галлия, И или 4-соединения индия)

# 1) Классификация и маркировка транзисторов

**Транзистором** называется полупроводниковый преобразовательный **прибор**, имеющий не менее трёх выводов и способный усиливать мощность. **Классификация** транзисторов производится по следующим признакам:

- **По материалу полупроводника** – обычно германиевые или кремниевые;
- **По типу проводимости областей** (только биполярные транзисторы): с прямой проводимостью (р-п-р - структура) или с обратной проводимостью (п-р-п -структура);
- **По принципу действия** транзисторы подразделяются на биполярные и полевые (униполярные);
- **По частотным свойствам**;  
НЧ (<3 МГц);  
СрЧ (3 ÷ 30 МГц);  
ВЧ и СВЧ (>30 МГц);
- **По мощности**. Маломощные транзисторы ММ (<0,3 Вт), средней мощности СрМ (0,3 ÷ 3Вт), большой мощности (>3 Вт).

## Маркировка

Г	Т	313	А
К	П	103	Л
I	II	III	IV

I – материал полупроводника: Г – германий, К – кремний.

II – тип транзистора по принципу действия: Т – биполярные, П – полевые.

III – три или четыре цифры – группа транзисторов по электрическим параметрам. Первая цифра показывает частотные свойства и мощность транзистора в соответствии с ниже приведённой таблицей.

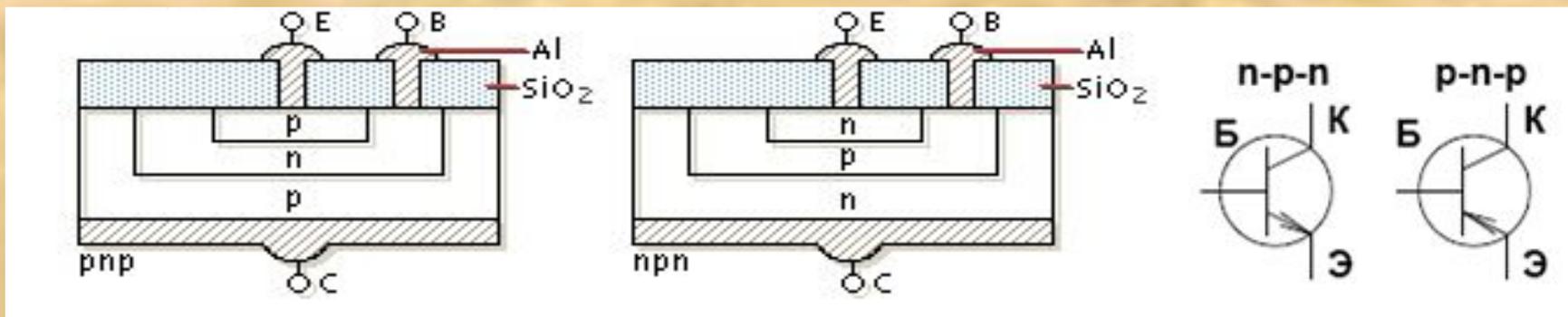
$P \setminus f$	$<3$ МГц НЧ	$3 \div 30$ МГц СрЧ	$>30$ МГц Вч и СВЧ
ММ $<0,3$ Вт	1	2	3
СрМ $0,3 \div 3$ Вт	4	5	6
БМ $>3$ Вт	7	8	9

IV – модификация транзистора в 3-й группе.

# Устройство биполярных транзисторов

**Основой** биполярного транзистора является **кристалл** полупроводника р-типа или n-типа проводимости, который также как и вывод от него называется базой.

Диффузией примеси или сплавлением с двух сторон от базы образуются области с противоположным типом проводимости, нежели база.

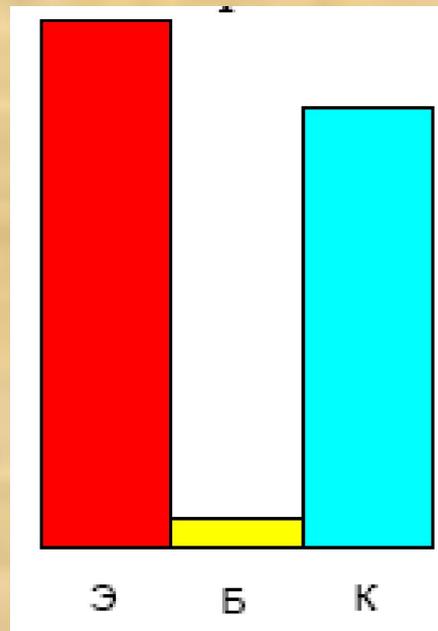


**Область**, имеющая **большую** площадь **p-n перехода**, и вывод от неё называют коллектором.

**Область**, имеющая **меньшую** площадь **p-n перехода**, и вывод от неё называют **эмиттером**.

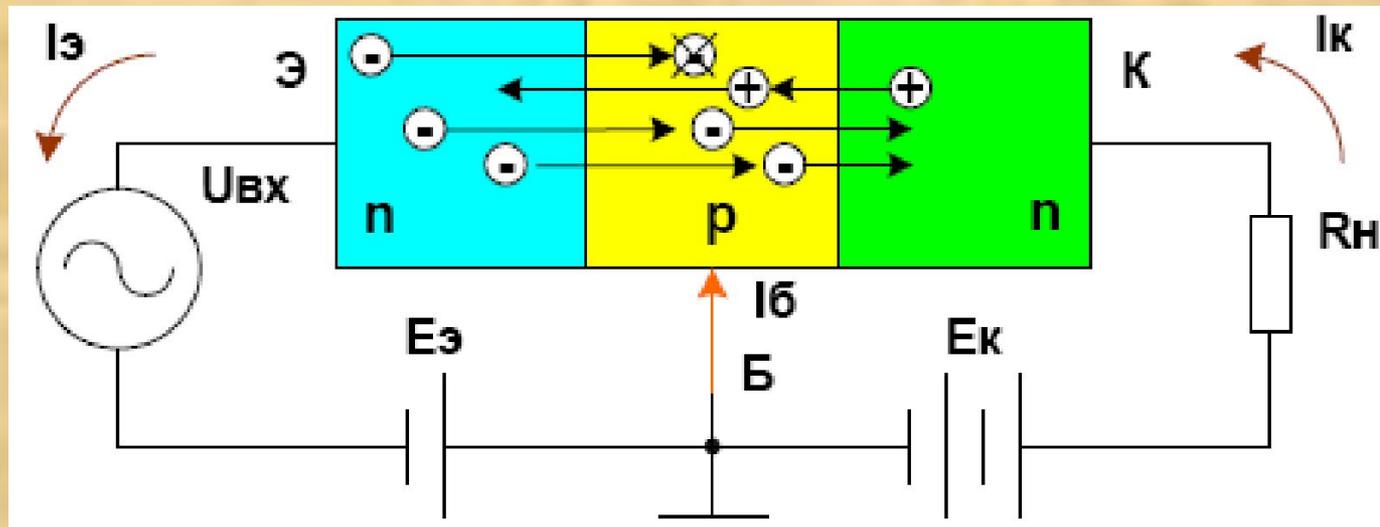
p-n переход между коллектором и базой называют коллекторным переходом, а между эмиттером и базой – эмиттерным переходом.

Направление стрелки в транзисторе показывает **направление протекающего тока**. Основной особенностью устройства биполярных транзисторов является **неравномерность концентрации основных носителей зарядов** в эмиттере, базе и коллекторе. **В эмиттере** концентрация носителей заряда максимальная. **В коллекторе** – несколько меньше, чем в эмиттере. **В базе** – во много раз меньше, чем в эмиттере и коллекторе



# Принцип действия биполярных транзисторов

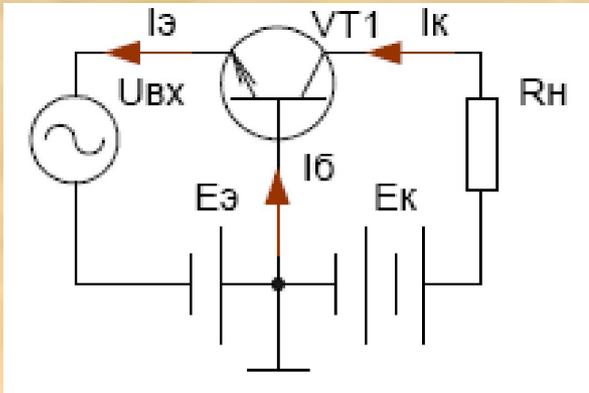
При работе транзистора в усилительном режиме эмиттерный переход открыт, а коллекторный – закрыт. Это достигается соответствующим включением источников питания.



Так как эмиттерный переход открыт, то через него будет протекать ток эмиттера, вызванный переходом электронов из эмиттера в базу и переходом дырок из базы в эмиттер. Следовательно, ток эмиттера будет иметь две составляющие – электронную и дырочную



## Схема включения с общей базой



Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- коэффициент усиления по току схемы с общей базой  $I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}=I_{\text{к}}/I_{\text{э}}=\alpha$  [ $\alpha < 1$ ]
- входное сопротивление  $R_{\text{вхб}}=U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}=U_{\text{бэ}}/I_{\text{э}}$ .

### Недостатки схемы с общей базой:

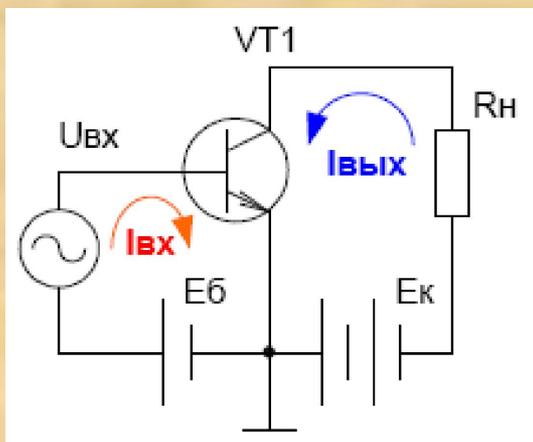
Схема не усиливает ток  $\alpha < 1$

Малое входное сопротивление

Два разных источника напряжения для питания.

**Достоинства** – хорошие температурные и частотные свойства.

## Схема включения с общим эмиттером.



Эта схема, изображенная на рисунке, является наиболее распространённой, так как она даёт **наибольшее усиление по мощности**.

$$I_{вх} = I_{б} \quad I_{вых} = I_{к}$$

$$U_{вх} = U_{бэ} \quad U_{вых} = U_{кэ}$$

$$\beta = I_{вых} / I_{вх} = I_{к} / I_{б} \quad (n: 10 \div 100)$$

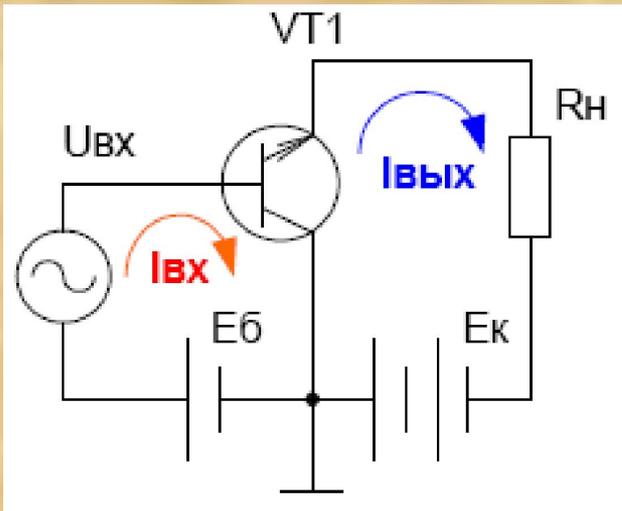
$$R_{вх.э} = U_{вх} / I_{вх} = U_{бэ} / I_{б} \quad [Ом] \quad (n: 100 \div 1000)$$

### Достоинства схемы с общим эмиттером:

- Большой коэффициент усиления по току
- Большее, чем у схемы с общей базой, входное сопротивление
- Для питания схемы требуются два однополярных источника, что позволяет на практике обходиться одним источником питания.

Недостатки: худшие, чем у схемы с общей базой, **температурные и частотные свойства**. Однако за счёт преимуществ схема с ОЭ применяется наиболее часто.

## Схема включения с общим коллектором.



$$I_{вх} = I_{б}$$

$$I_{вых} = I_{э}$$

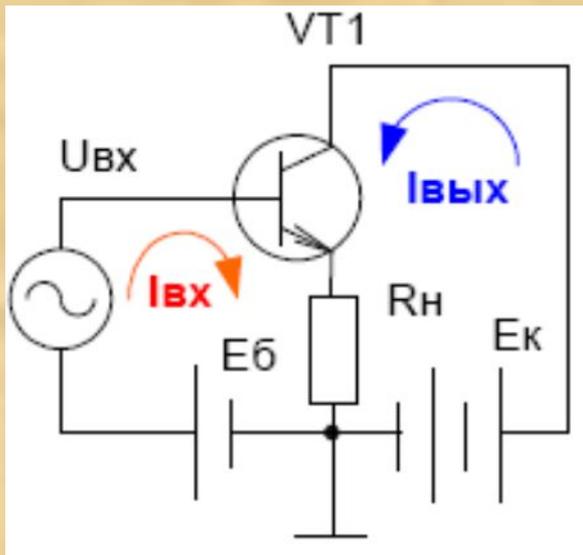
$$U_{вх} = U_{бк}$$

$$U_{вых} = U_{кэ}$$

$$I_{вых} / I_{вх} = I_{э} / I_{б} = (I_{к} + I_{б}) / I_{б} = \beta + 1 = \eta$$

$$\eta = 10 \dots 100$$

$$R_{вх} = U_{бк} / I_{б} = \eta (10 \div 100) \text{ кОм}$$



Достоинства схемы:

Входное сопротивление каскада по схеме ОК составляет десятки килоом, выходное сопротивление схемы с ОК сравнительно небольшое, обычно единицы килоом или сотни ом.

Недостатком схемы является то, что она не усиливает напряжение – коэффициент усиления чуть меньше 1.

## Сводная таблица параметров схем включения биполярных транзисторов

Тип цепи	Входное сопротивление	Выходное сопротивление	Усиление по напряжению	Усиление по току	Усиление по мощности
<b>ОБЩАЯ БАЗА ОБ</b>	Низкое	Высокое	Высокое	Меньше 1	Среднее
<b>ОБЩИЙ ЭМИТТЕР ОЭ</b>	Среднее	Среднее	Среднее	Среднее	Высокое
<b>ОБЩИЙ КОЛЛЕКТОР ОК</b>	Высокое	Низкое	Меньше 1	Среднее	Среднее

## Усилительные свойства биполярного транзистора

Независимо от схемы включения, транзистор характеризуется тремя **коэффициентами усиления**:

$K_I = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$  – по току;

$K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = (I_{\text{вых}} \cdot R_{\text{н}}) / (I_{\text{вх}} \cdot R_{\text{вх}}) = K_I \cdot R_{\text{н}} / R_{\text{вх}}$  – по напряжению;

$K_P = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}} = (U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{вых}}) / (U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{вх}}) = K_I \cdot K_U$  – по мощности.

**Для схемы с общей базой:**

$K_I = I_{\text{к}} / I_{\text{э}} = \alpha$  ( $\alpha < 1$ )  $K_U = \alpha \cdot (R_{\text{н}} / R_{\text{вх}})$

$R_{\text{н}} \approx n \cdot 1 \text{кОм}$        $R_{\text{вх}} \approx n \cdot 10 \Omega$

$K_U \approx n \cdot 100$        $K_P = K_U \cdot K_I = n \cdot 100$

**Для схемы с общим коллектором:**

$K_I = I_{\text{э}} / I_{\text{б}} = \beta + 1 = n$        $K_U = \beta \cdot (R_{\text{н}} / R_{\text{вх}}) \approx n$        $K_U < 1$

**Для схемы с общим эмиттером:**

$K_I = I_{\text{к}} / I_{\text{б}} = \beta = n$  ( $10 \div 100$ )

$K_U = \beta \cdot (R_{\text{н}} / R_{\text{вх}})$        $K_P = K_I \cdot K_U = n \cdot (1000 \div 10000)$