

# Транзисторы

# Транзисторы

Транзистор – это полупроводниковый прибор, способный усиливать электрическую мощность

## ТРАНЗИСТОРЫ

```
graph TD; A[ТРАНЗИСТОРЫ] --> B[БИПОЛЯРНЫЕ (БПТ)]; A --> C[УНИПОЛЯРНЫЕ (УТ)];
```

### БИПОЛЯРНЫЕ (БПТ)

Физические процессы связаны с движением носителей двух видов: **электронов и дырок**.

Неотъемлемой частью является **взаимодействие двух р-п** переходов.

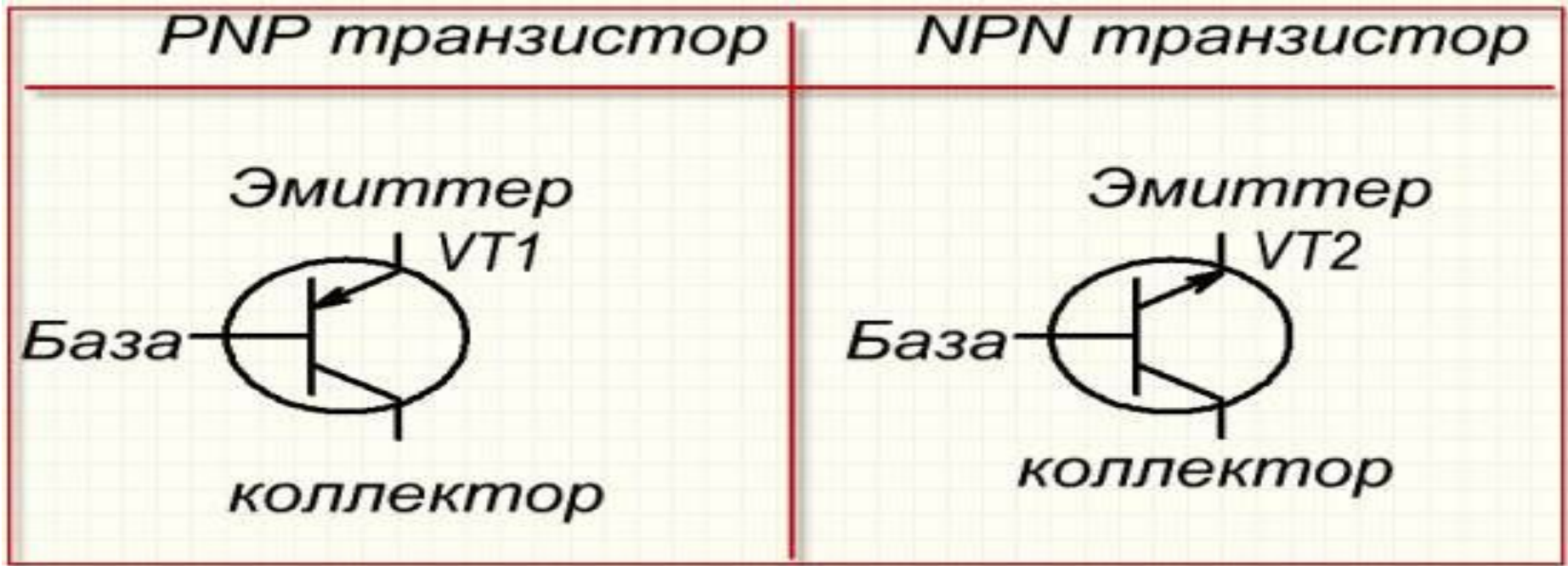
### УНИПОЛЯРНЫЕ (УТ)

Физические процессы связаны с движением носителей только одного типа: **электронов** или **дырок**.

**Основной** способ движения носителей - это **дрейф** носителей в электрическом поле

# **Биполярные транзисторы**

Биполярные транзисторы имеют три вывода и конструктивно выглядят совершенно по-разному, но на электрических схемах они выглядят всегда одинаково.



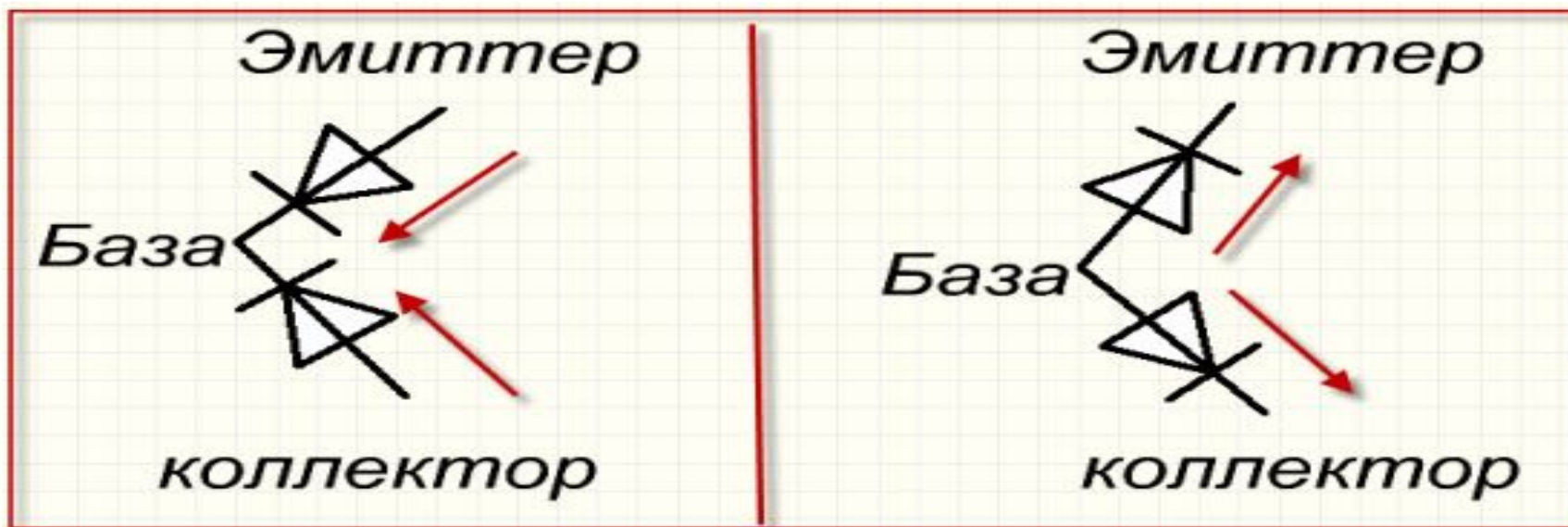
Это изображение называют УГО  
(Условное графическое обозначение)

# Отличие n-p-n транзистора от p-n-p транзистора

- состоит лишь в том **что** является «переносчиком» электрического заряда (электроны или «дырки» ).
- Т.е. для p-n-p транзистора электроны перемещаются от эмиттера к коллектору и управляются базой.
- Для n-p-n транзистора электроны идут уже от коллектора к эмиттеру и управляются базой.

**Вывод:** для того чтобы в схеме заменить транзистор одного типа проводимости на другой достаточно изменить полярность приложенного

- Выводы транзисторов определяют по справочнику, но можно просто [прозвонить транзистор мультиметром](#).
- Выводы транзистора звонятся как два диода, соединенные в общей точке (в области базы).



- Слева изображена картинка для транзистора p-n-p типа, при прозвонке создается ощущение (посредством показаний мультиметра), что перед вами два диода которые соединены в одной точке своими катодами.
- Для транзистора n-p-n типа диоды в точке базы соединены своими анодами.

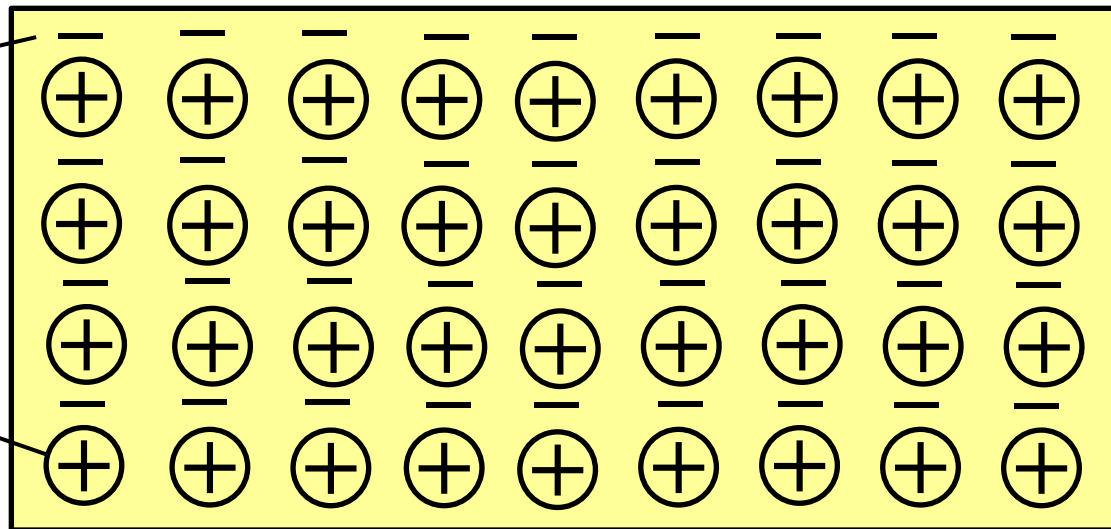
## Полупроводник **n-типа** называют

**полупроводником с электронной проводимостью.**

При добавлении в четырехвалентный полупроводник (Si) пятивалентного элемента (фосфор P) в структуре примесного полупроводника появляются свободные электроны, при этом атомы фосфора становятся неподвижными положительными ионами.

Свободный  
электрон

Неподвижный  
ион

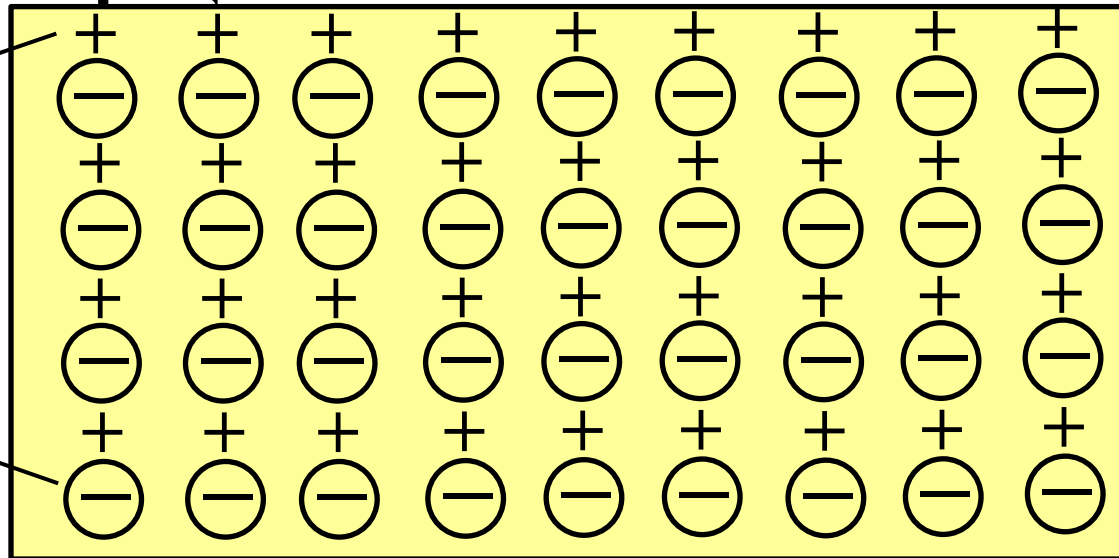


## Полупроводник **p-типа** называют полупроводником с дырочной проводимостью

При добавлении в четырехвалентный полупроводник (Si) трехвалентного элемента (индий In) в структуре примесного полупроводника образуются положительные подвижные заряды - «дырки», при этом атомы индия становятся неподвижными отрицательными ионами.

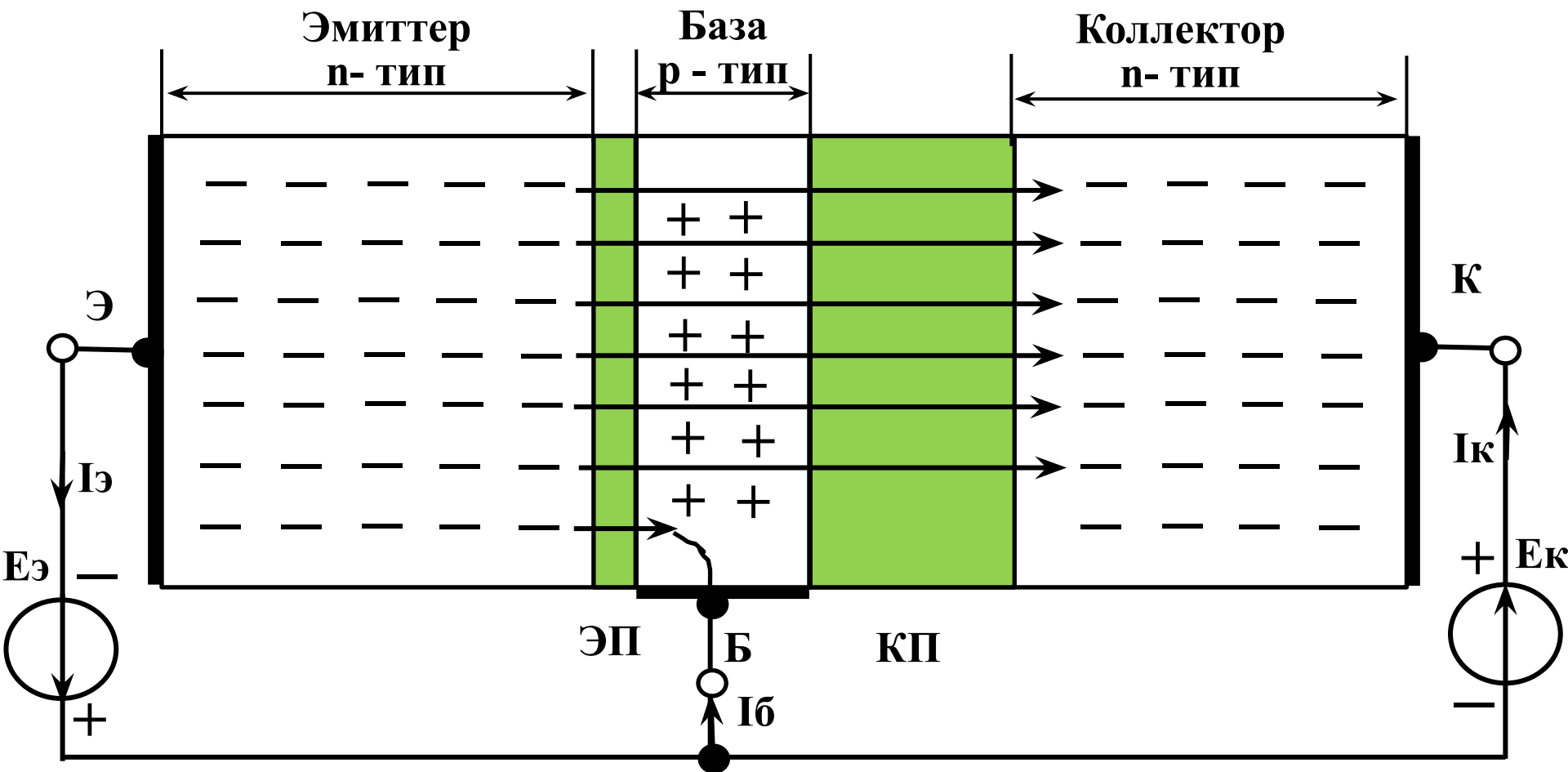
•  
Свободная дырка

Неподвижный ион





# Структура БПТ



Э - эмиттер  
К - коллектор  
Б - база

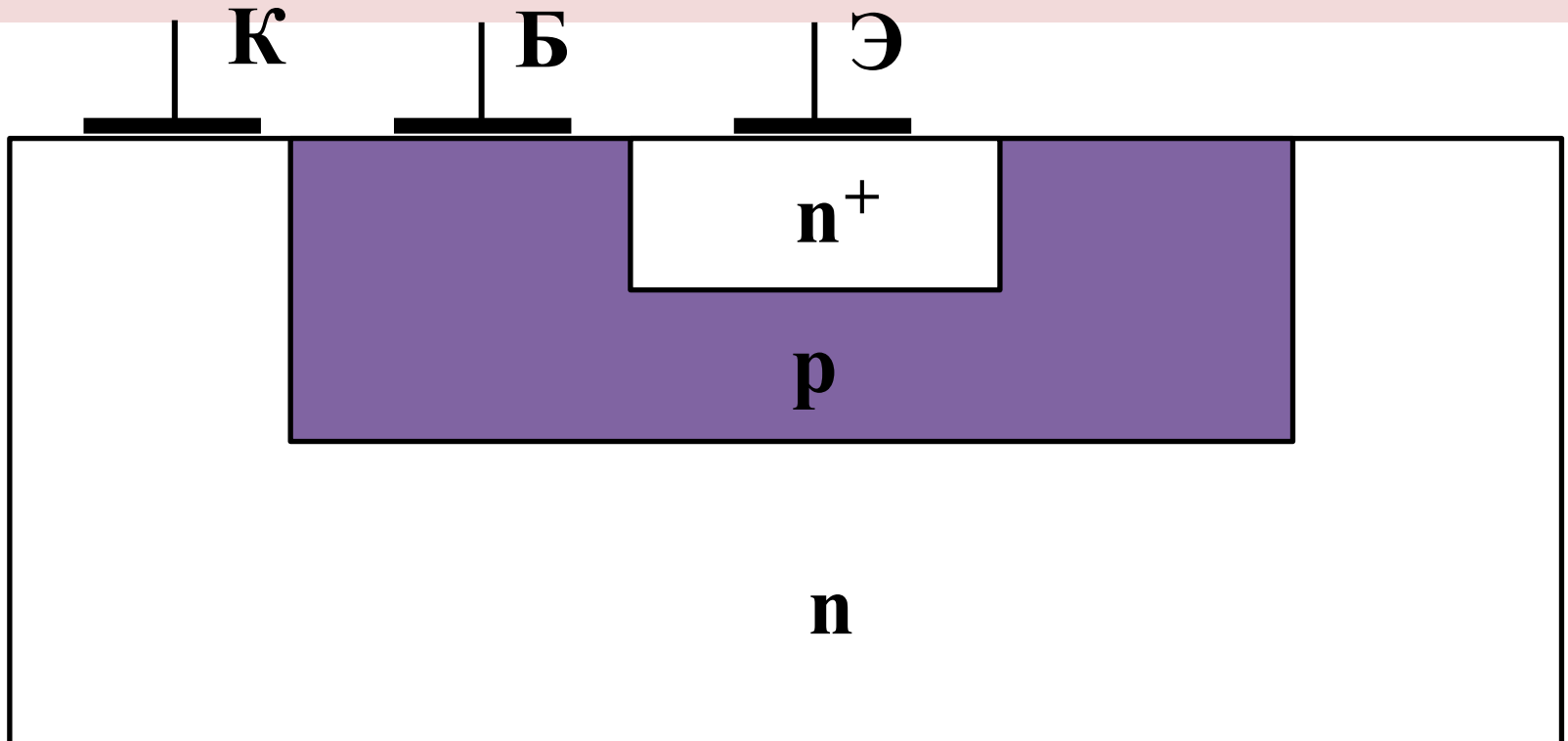
Электроды  
транзистора

ЭП – эмиттерный переход  
КП – коллекторный переход

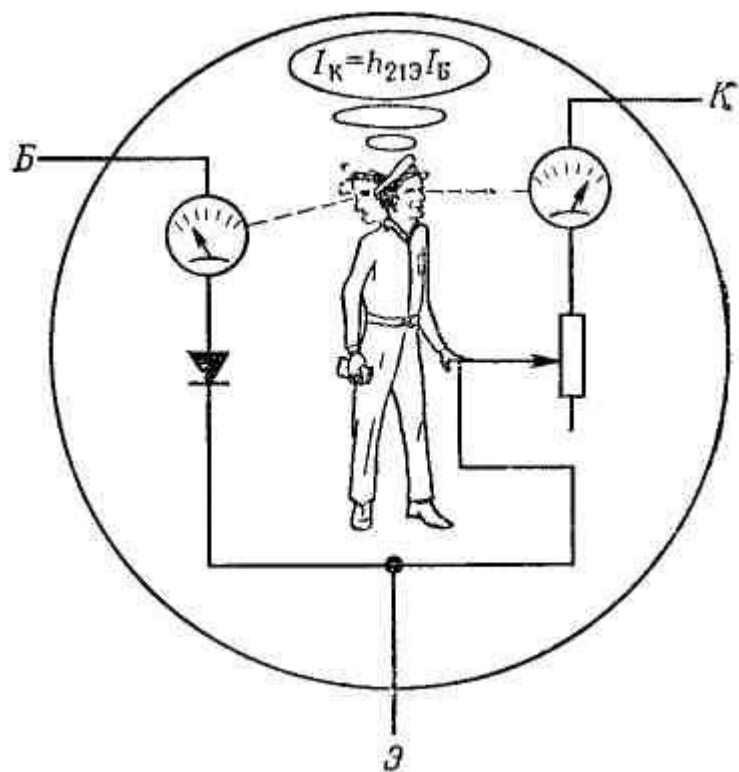
# Конструктивное исполнение БПТ

Площадь коллекторного перехода (р-п) больше площади эмиттерного перехода ( $n^+ - p$ ).

Эмиттер значительно сильнее легирован чем коллектор, поэтому поток электронов в базу будет значительно больше, чем встречный поток дырок при прямом включении эмиттерного перехода.



# Как работает транзистор?

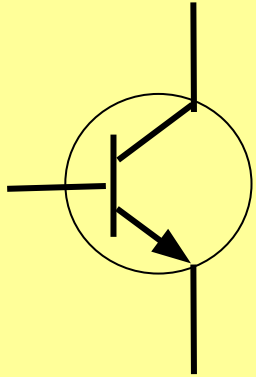


На этом изображении человек посредством реостата управляет током коллектора. Он смотрит на ток базы, если ток базы растет то человек также увеличивает ток коллектора с учетом коэффициента усиления транзистора  $h_{21Э}$ . Если ток базы падает, то ток коллектора также будет снижаться — человек

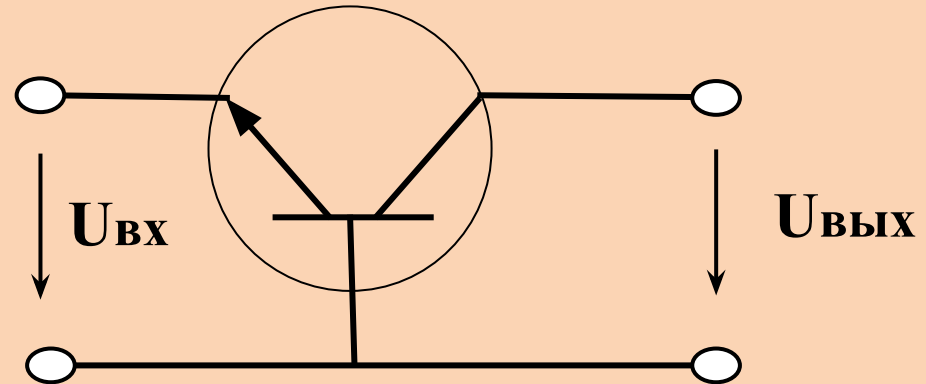
Эта аналогия не имеет ничего общего с реальной работой транзистора, но она облегчает понимание принципов его работы посредством реостата.

# Обозначение и схемы включения БПТ

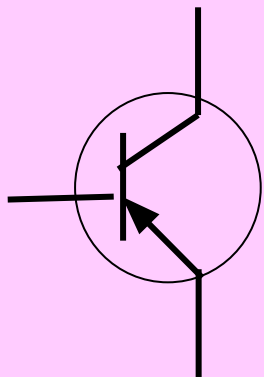
**п-р-п типа**



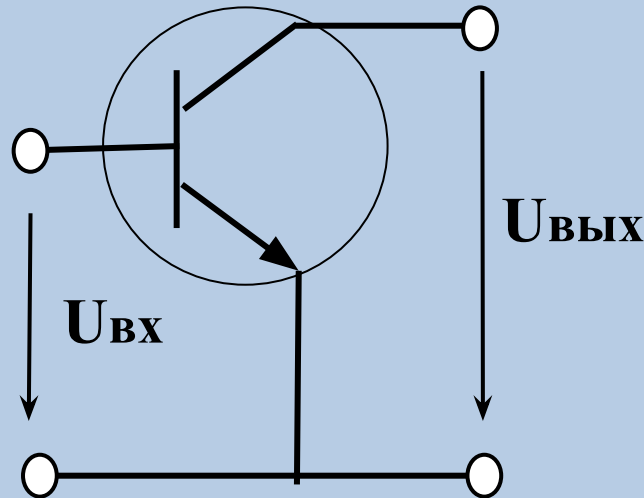
**С общей базой**



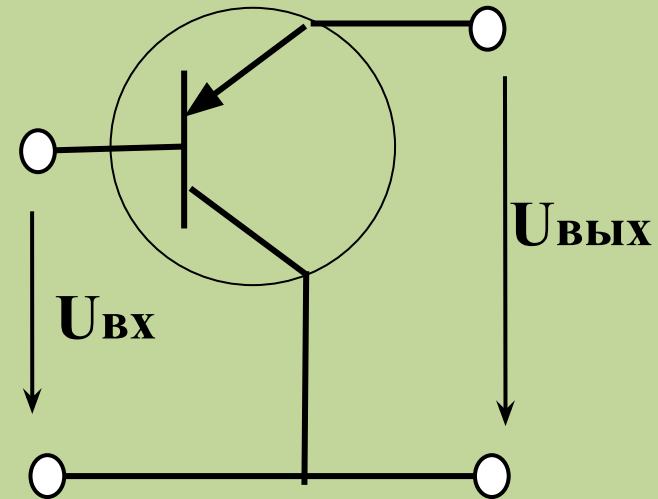
**р-п-р типа**



**С общим эмиттером**



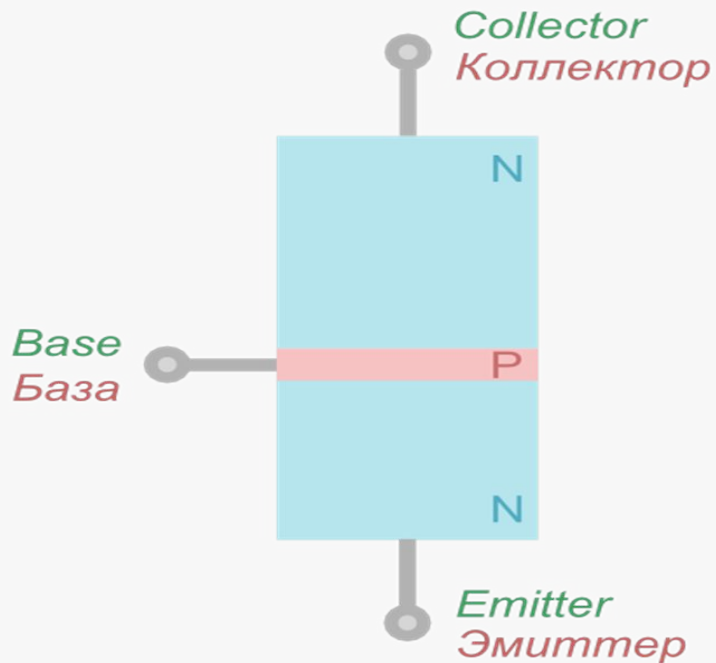
**С общим коллектором**



## Физические процессы, происходящие во время работы биполярного транзистора.

- Для примера возьмем модель NPN. Принцип работы транзистора PNP аналогичен, только полярность напряжения между коллектором и эмиттером будет противоположной.
- В полупроводниках, в веществе P-типа находятся положительно заряженные ионы - дырки. Вещество N-типа насыщено отрицательно заряженными электронами.

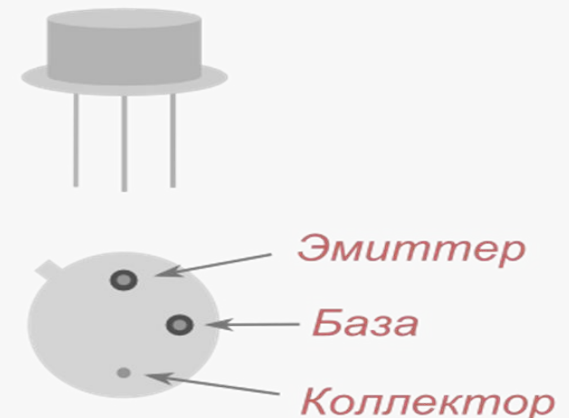
# Работа биполярного транзистора



Физическая модель биполярного транзистора



Обозначение на схеме биполярного транзистора



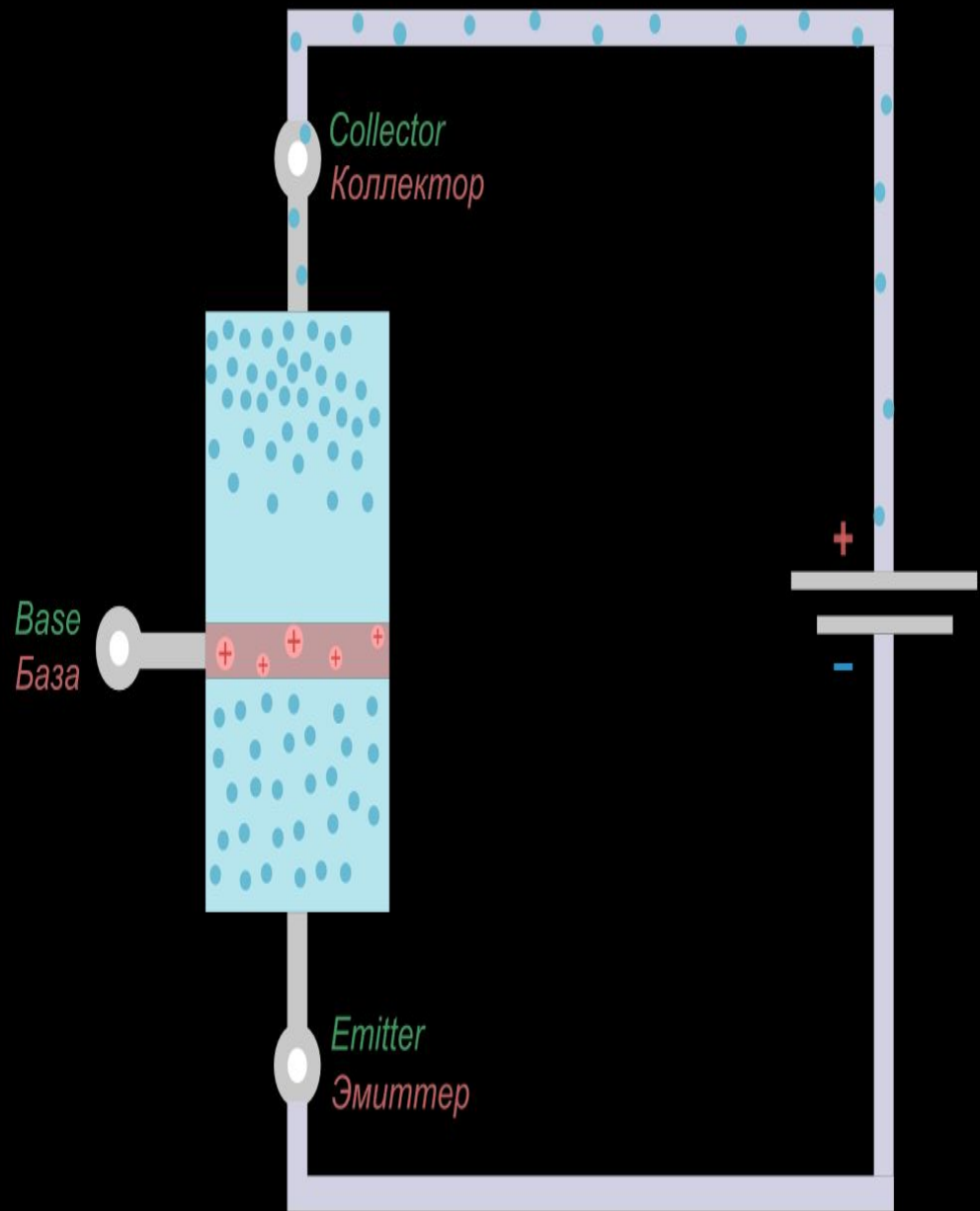
Биполярный транзистор в корпусе ТО типа

Подключим источник напряжения между коллектором и эмиттером ВКЭ (VCE).

Под его действием, электроны из верхней N части начнут притягиваться к плюсу и собираться возле коллектора.

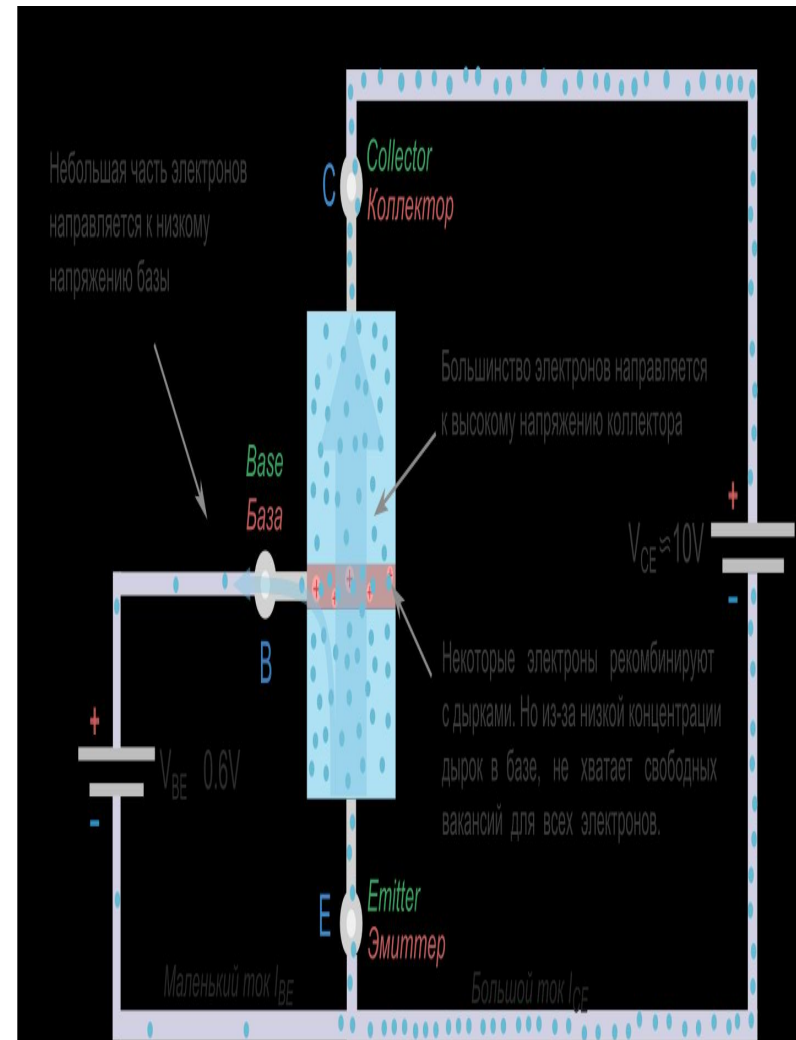
Однако ток не сможет идти, потому что электрическое поле источника напряжения не достигает эмиттера.

Этому мешает толстая прослойка полупроводника коллектора плюс прослойка полупроводника базы.



Подключение напряжения между коллектором и эмиттером

эмиттером, но значительно ниже чем коллектором и эмиттером (для кремниевых транзисторов минимальное необходимое  $V_{BE} - 0.6V$ ). Поскольку прослойка P очень тонкая, плюс источника напряжения подключенного к базе, сможет "дотянуться" своим электрическим полем до N области эмиттера. Под его действием электроны направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать). Другая часть не найдет себе свободную дырку, потому что концентрация дырок в базе гораздо ниже концентрации электронов в эмиттере. В результате центральный слой базы обогащается свободными электронами. Большинство из них направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше. Так же этому способствует очень маленькая толщина центрального слоя. Какая-то часть электронов, хоть гораздо меньшая, все равно потечет в



Подключение двух источников питания:

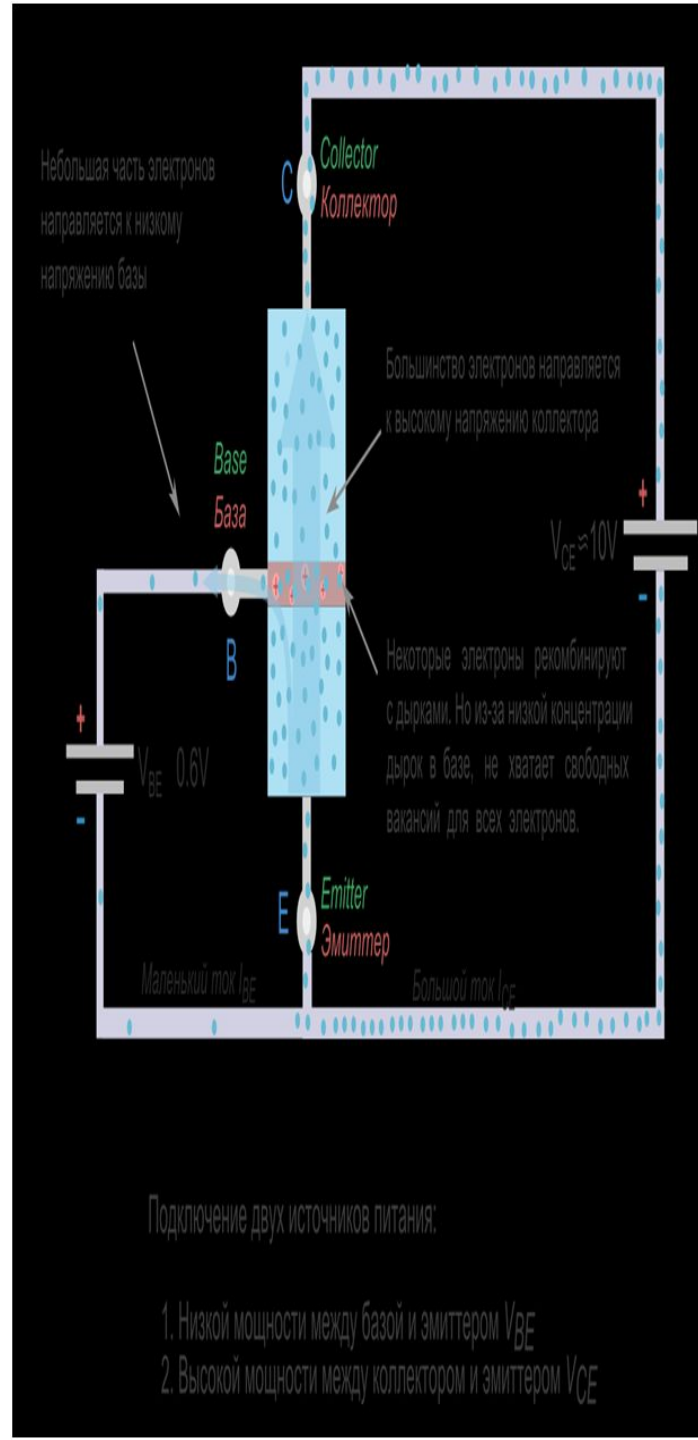
1. Низкой мощности между базой и эмиттером  $V_{BE}$
2. Высокой мощности между коллектором и эмиттером  $V_{CE}$



## В итоге мы получаем два тока:

маленький - от базы к эмиттеру  $I_{BE}$ , и большой - от коллектора к эмиттеру  $I_{CE}$ .

Если увеличить напряжение на базе, то в прослойке P соберётся ещё больше электронов. В результате немного усилится ток базы, и значительно усилится ток коллектора. Таким образом, при небольшом изменении тока базы  $I_B$ , сильно меняется ток коллектора  $I_C$ . Так и происходит усиление сигнала в биполярном транзисторе. Соотношение тока коллектора  $I_C$



## Для транзисторов можно отметить правила, которые призваны помочь облегчить понимание.

- Коллектор имеет более положительный потенциал, чем эмиттер
- Цепи база — коллектор и база — эмиттер работают как диоды
- Каждый транзистор характеризуется предельными значениями, тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер.

$$I_K = h_{21Э} I_B = \beta I_B$$

- В том случае если правила 1-3 соблюдены то ток коллектора  $I_K$  прямо пропорционален току базы  $I_B$ . Такое соотношение можно записать в виде формулы.

Из этой формулы определено оси  $h_{21Э}$  свойство  $\beta$  транзистора — небольшой ток базы управляет большим током коллектора.

# Режимы работы БПТ

Режим отсечки

Режим насыщения

Активный режим

Инверсный режим

Отличаются режимы друг от друга тем, в каком состоянии (прямое или обратное смещение) находятся эмиттерный и коллекторный переходы транзистора.

# Инверсный режим транзистора

— этот режим используется крайне редко. В этом режиме коллектор и эмиттер транзистора меняют местами. В результате таких манипуляций коэффициент усиления транзистора очень сильно страдает. Транзистор изначально проектировался не для того, чтобы он работал в таком особенном режиме.

# Режим отсечки транзистора

— в этом режиме переход база-эмиттер закрыт, такое может произойти когда напряжение база-эмиттер недостаточное. В результате ток базы отсутствует и следовательно ток коллектора тоже будет отсутствовать.

# Режим насыщения

## транзистора

— в этот режим транзистор переходит тогда, когда ток базы становится настолько большим, что мощности источника питания просто не хватает для дальнейшего увеличения тока коллектора. В этом режиме ток коллектора не может увеличиваться вслед за увеличением тока базы.

# Активный режим транзистора

— это нормальный режим работы транзистора. В этом режиме напряжение база-эмиттер достаточно для того, чтобы переход база-эмиттер открылся. Ток базы достаточно и ток коллектора тоже имеется. Ток коллектора равняется току базы умноженному на коэффициент усиления.

# Работа БПТ в активном режиме

В активном режиме электроны из эмиттера поступают в базу. Так как база выполнена достаточно тонкой, то большинство электронов проходят ее, попадают под действие обратно смещенного коллекторного перехода и переходят в коллектор, а далее до коллекторного вывода и далее образуя коллекторный ток.

Часть электронов рекомбинирует в базе транзистора, вызывая ток во внешней цепи базы  $I_b$ .

Таким образом: 
$$I_э = I_к + I_б$$

## Параметры транзистора:

1.  $\alpha = \Delta I_к / \Delta I_э$  - коэффициент передачи эмиттерного тока;
2.  $\beta = \Delta I_к / \Delta I_б$  - коэффициент передачи тока базы.

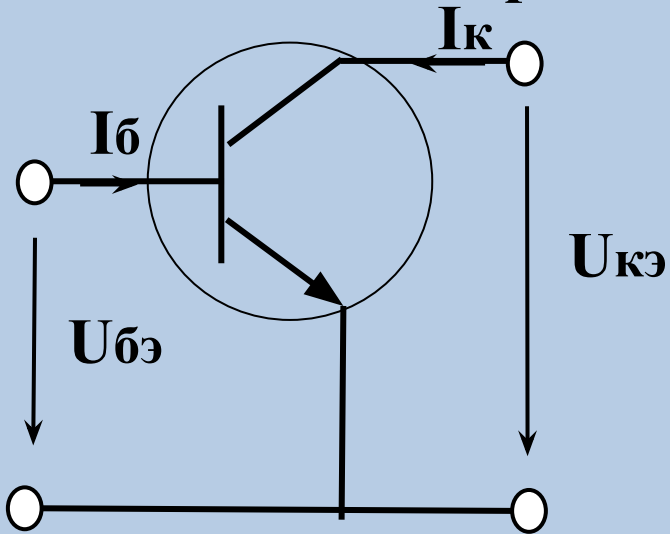
Полный ток коллектора  $I_к = \alpha I_э + I_{к0}$ ,

где  $I_{к0}$  – тепловой ток коллекторного перехода

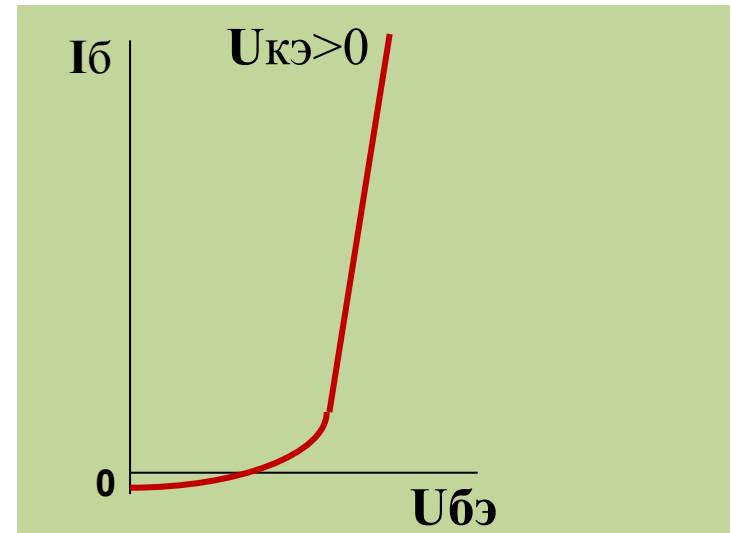


# Вольтамперные характеристики БПТ

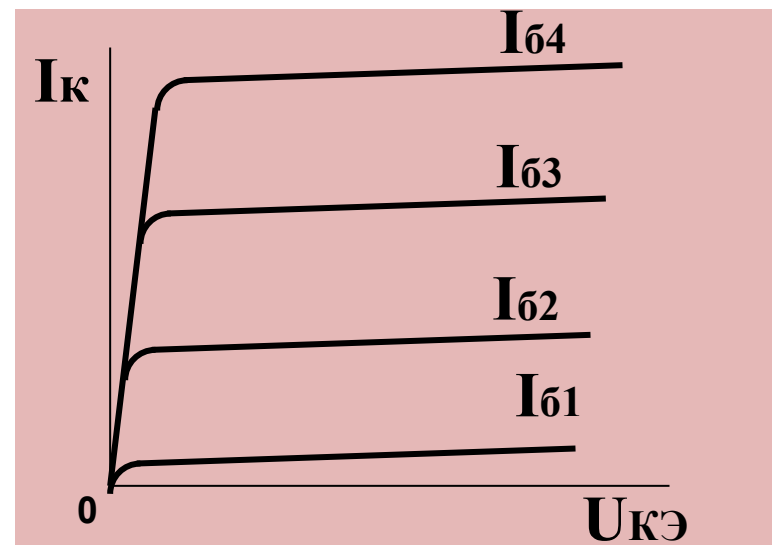
С общим эмиттером



$$I_{\text{б}} = F(U_{\text{бэ}}) \text{ при } U_{\text{кэ}} = \text{const}$$



$$I_{\text{к}} = F(U_{\text{кэ}}) \text{ при } I_{\text{б}} = \text{const}$$



Предельные параметры БПТ:

1.  $I_{\text{кmax}}$  - максимально допустимое значение коллекторного тока;
2.  $U_{\text{кmax}}$  - максимально допустимое значение коллекторного напряжения;
3.  $P_{\text{max}} \approx U_{\text{кэ}} I_{\text{к}}$  - допустимая мощность рассеяния

# Схема усилительного каскада на биполярном транзисторе

