

Общие сведения.

Транзистор- полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов.

Используются оба типа носителей :

1. Основные.
2. Неосновные.

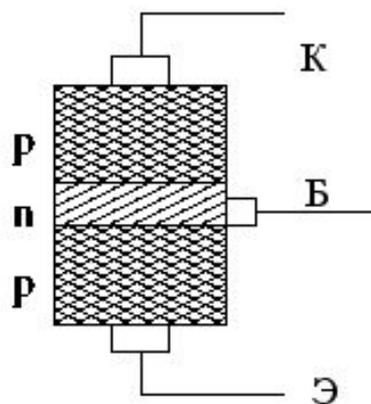
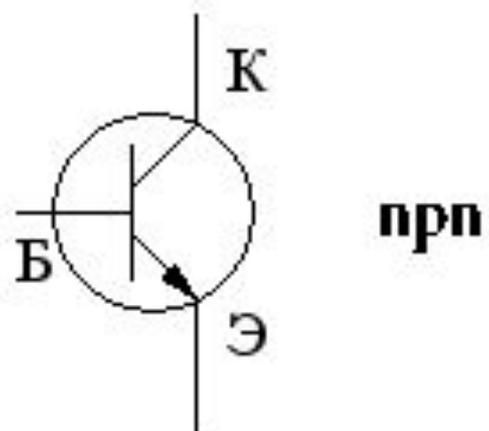
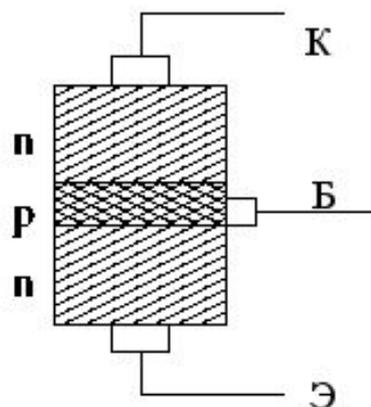
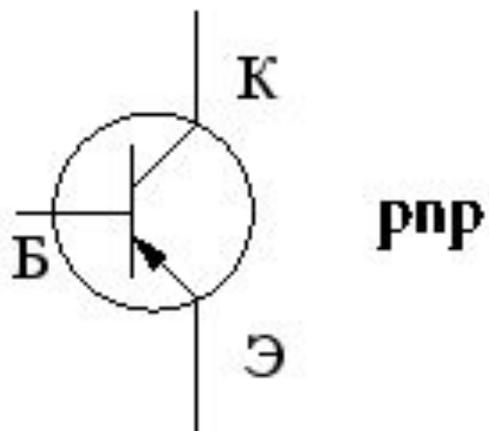
Поэтому его называют **биполярным**.

Биполярный транзистор состоит из трех областей монокристаллического полупроводника с разным типом проводимости: **эмиттера, базы и коллектора**.

Переход, который образуется на границе эмиттер-база, называется **эмиттерным**, а на границе база-коллектор - **коллекторным**.

В зависимости от типа проводимости крайних слоев различают транзисторы **p-n-p** и **n-p-n**

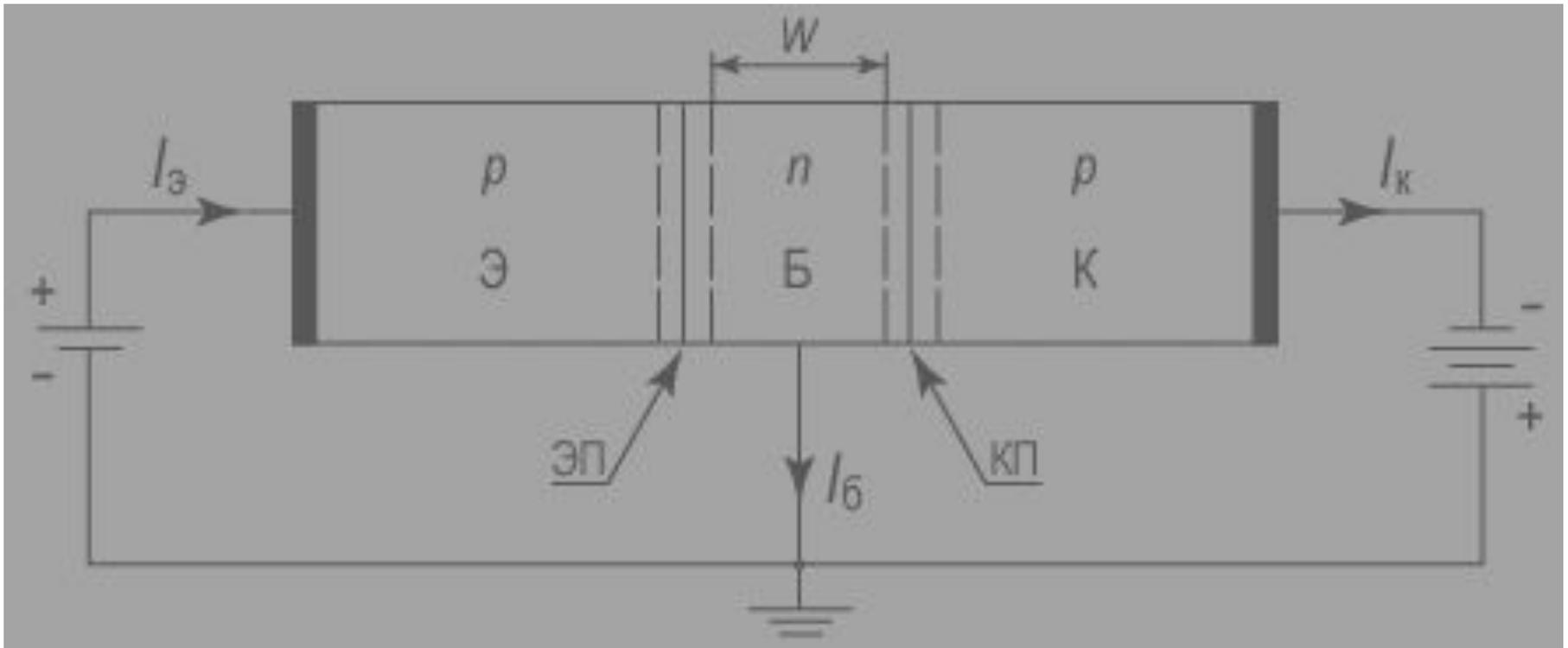
Обозначения транзистора



Обозначение биполярных транзисторов на схемах

Простейшая наглядная схема устройства транзистора

Схематическое изображение транзистора типа р-п-р:



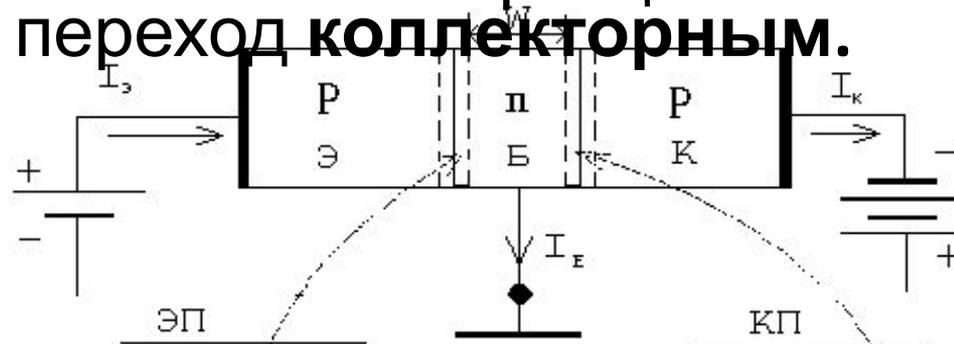
Схематическое изображение транзистора типа р-п-р.
Э - эмиттер, Б - база, К - коллектор, W- толщина базы,
ЭП - эмиттерный переход, КП - коллекторный переход

База (Б) - область транзистора, расположенная между переходами. Примыкающие к базе области чаще всего делают неодинаковыми.

Одну изготавливают так, чтобы из неё эффективно происходила инжекция в базу, а другую - так, чтобы соответствующий переход наилучшим образом осуществлял экстракцию инжектированных носителей из базы.

Эмиттер (Э) - область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей в базу, а соответствующий переход **эмиттерным**.

Коллектор (К) - область, основным назначением которой является экстракция носителей из базы, а переход **коллекторным**.



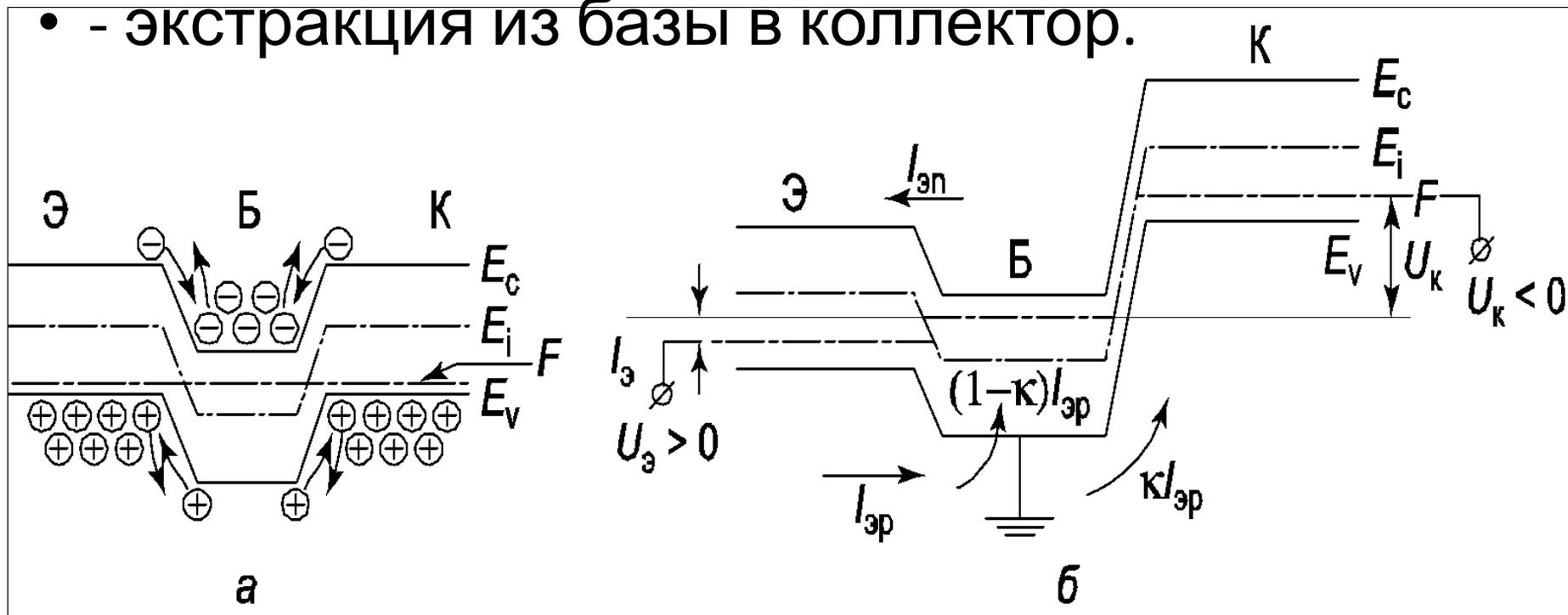
Каждый из переходов транзистора можно включить либо в прямом, либо в обратном направлении. В зависимости от этого различают три режима работы транзистора:

1. **Режим отсечки** - оба p-n перехода закрыты, при этом через транзистор обычно идёт сравнительно небольшой ток;
2. **Режим насыщения** - оба p-n перехода открыты;
3. **Активный режим** - один из p-n переходов открыт, а другой закрыт.

В режиме отсечки и режиме насыщения управление транзистором почти отсутствует. В активном режиме такое управление осуществляется наиболее эффективно

- Если на эмиттерном переходе напряжение прямое, а на коллекторном переходе – обратное, то включение транзистора считают **нормальным**, при противоположной полярности – **инверсным**.
- По характеру движения носителей тока в базе различают **диффузионные и дрейфовые биполярные транзисторы**.
- Если при отсутствии токов в базе существует электрическое поле, которое способствует движению неосновных носителей заряда от эмиттера к коллектору, то транзистор называют **дрейфовым**, если же поле в базе отсутствует – бездрейфовым (**диффузионным**).

- в БТ реализуются четыре физических процесса:
- - инжекция из эмиттера в базу;
- - диффузия через базу;
- - рекомбинация в базе;
- - экстракция из базы в коллектор.

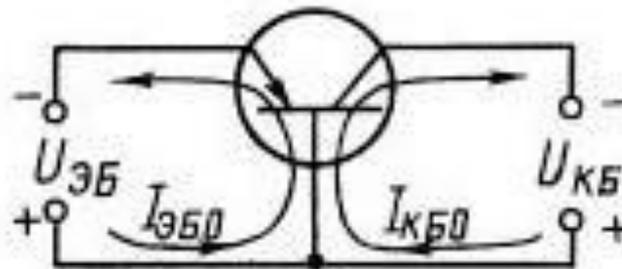
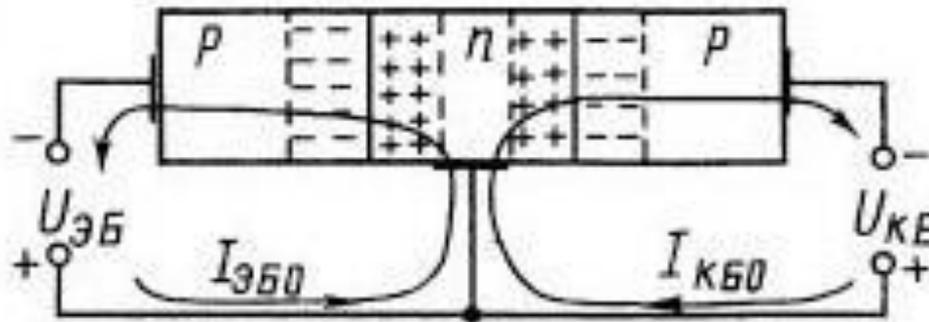


Режим отсечки

1. Эмиттерный и коллекторный р-п-переходы подключены к внешним источникам в обратном направлении.

Через оба р-п-перехода протекают очень малые обратные токи эмиттера ($I_{ЭБ0}$) и коллектора ($I_{КБ0}$).

$I_Б$ равен сумме этих токов и в зависимости от типа транзистора находится в пределах от единиц мкА (у кремниевых транзисторов) до единиц миллиампер — мА (у германиевых транзисторов)

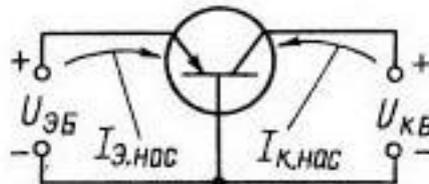
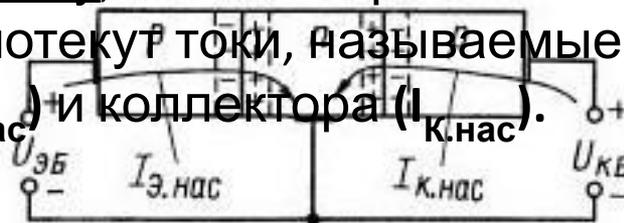


Режим насыщения

1. Эмиттерный и коллекторный p-n-переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении.

Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет 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 ($I_{К.нас}$).

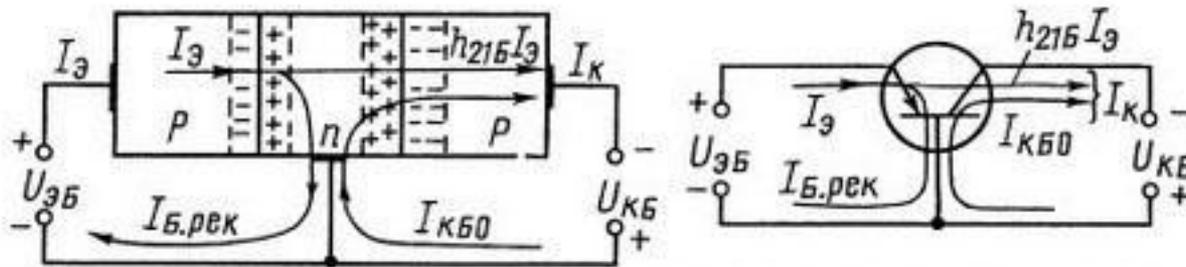


Активный режим

1. Применяется для усиления сигналов .
2. Эмиттерный переход включается в прямом, а коллекторный — в обратном направлениях.

Под действием прямого напряжения $U_{ЭБ}$ происходит инжекция дырок из эмиттера в базу. Попав в базу n-типа, дырки становятся в ней неосновными носителями заряда . Часть дырок в базе рекомбинирует (рекомбинирует) имеющимися в ней свободными электронами. Так как ширина базы небольшая (от нескольких ед. до 10 мкм), основная часть дырок достигает коллекторного p-n-перехода и его электрическим полем перебрасывается в коллектор.

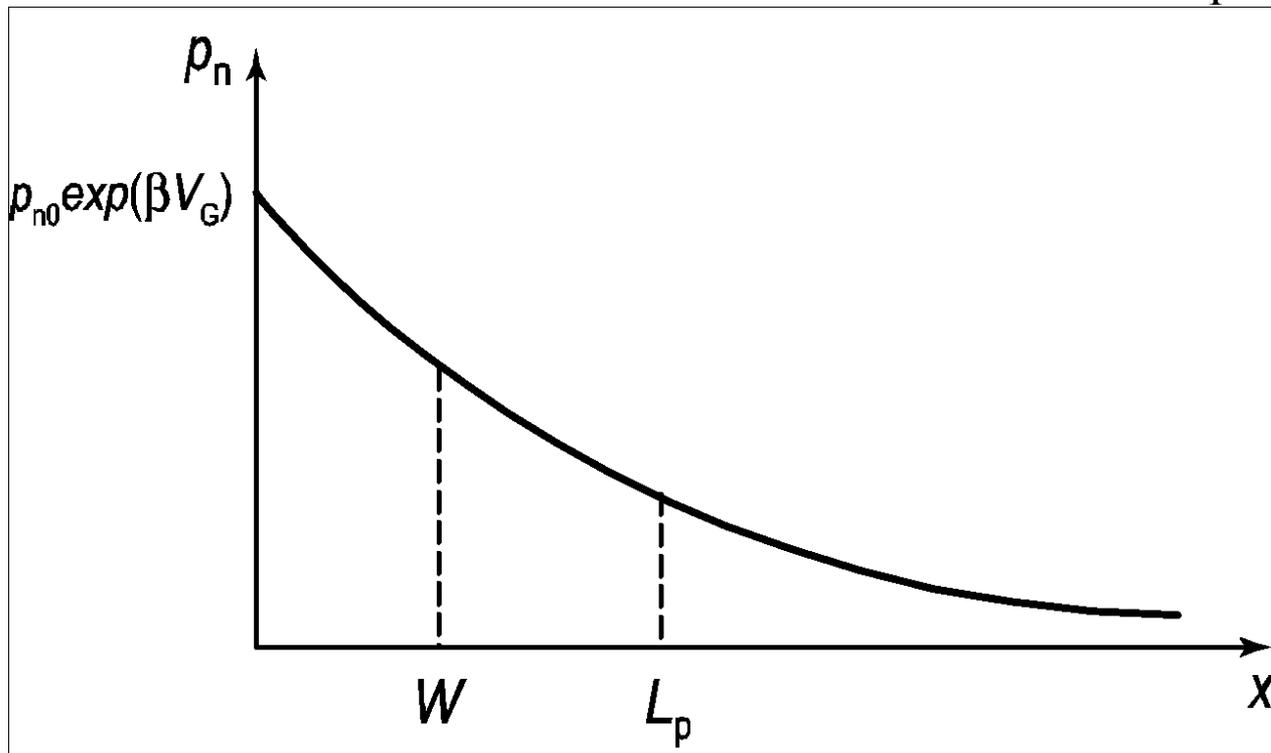
В активном режиме ток базы в десятки и сотни раз меньше тока коллектора и тока эмиттера



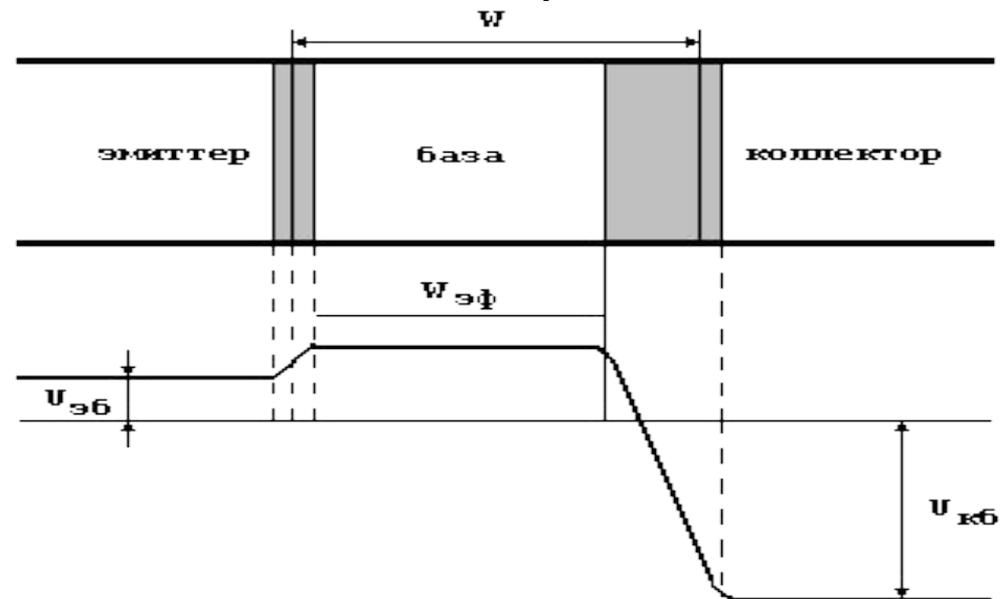
Включение транзистора в активном режиме работы по схеме с общей базой

Закон распределения инжектированных дырок $p_n(x)$ по базе .

$$p_n(x) = p_{n0} \cdot \exp(\beta V_G) \cdot \exp\left(-\frac{x}{L_p}\right)$$



- Процесс переноса инжектированных носителей через базу – **диффузионный**.
- Характерное расстояние, на которое неравновесные носители распространяются от области возмущения, – **диффузионная длина L_p** .
- Чтобы инжектированные носители достигли коллекторного перехода, длина базы W должна быть меньше диффузионной длины L_p .
- Условие $W < L_p$ является необходимым для **реализации транзисторного эффекта** – управления током во вторичной цепи через изменение тока в первичной цепи.



Схемы включения биполярного транзистора

1. В предыдущей схеме(см. активный режим) электрическая цепь, образованная источником $U_{ЭБ}$, эмиттером и базой транзистора, называется **входной**,
2. цепь, образованная источником $U_{КБ}$, коллектором и базой этого же транзистора, — **выходной**.
3. База - общий электрод транзистора для входной и выходной цепей, поэтому такое его включение называют схемой с общей базой

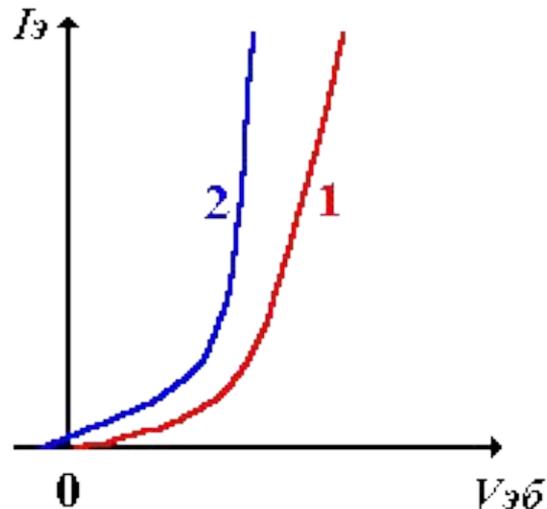


Рис. 2. Входные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общей базой: 1- $V_{КБ} = 0$; 2- $V_{КБ} < 0$

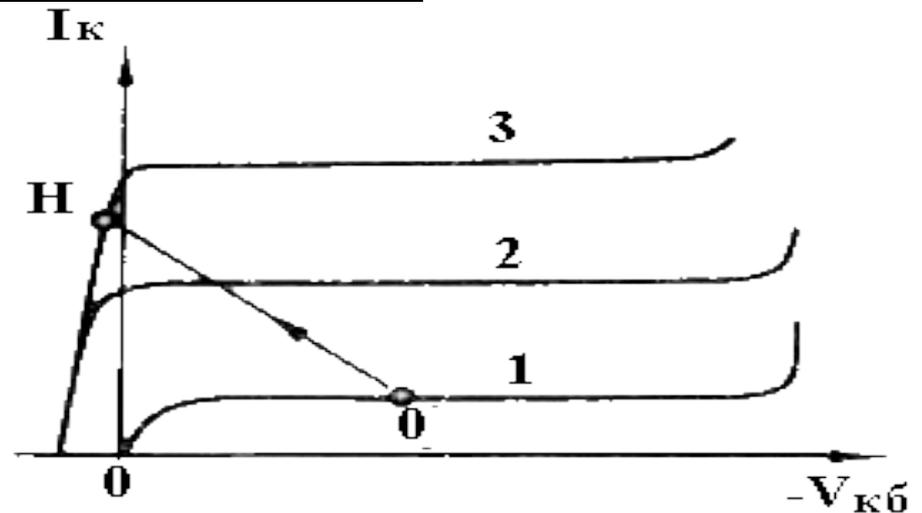
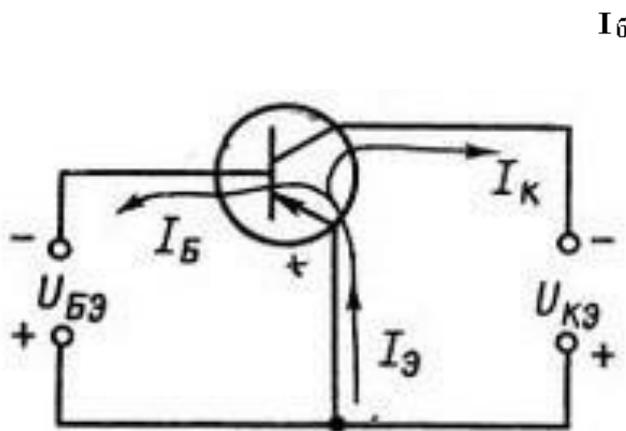


Рис. 3 Выходные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общей базой: 1 - $I_{Э} = 0$; 2 - $I_{Э2}$; 3 - $I_{Э2} > I_{Э1}$

Схемы включения биполярного транзистора

- На рисунке изображена схема, в которой общим электродом для **входной и выходной** цепей является эмиттер. Это схема включения с **общим эмиттером**,
1. **выходной** ток - коллектора I_K , незначительно отличающийся от тока эмиттера $I_Э$,
 2. **входной** — ток базы I_B , значительно меньший, чем коллекторный ток.
 3. Связь между токами I_B и I_K в схеме ОЭ определяется уравнением: $I_K = h_{21} I_B + I_{KЭ0}$



Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

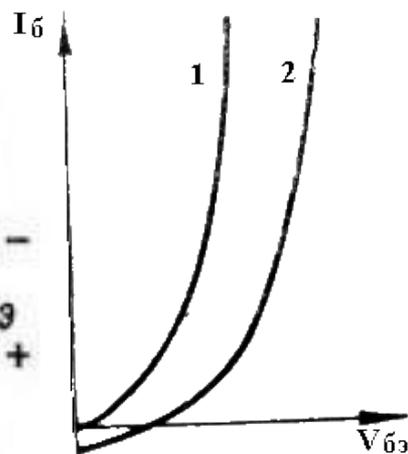


Рис. 5 Входные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:
1 - $U_{КЭ} = 0$; 2 - $U_{КЭ} < 0$

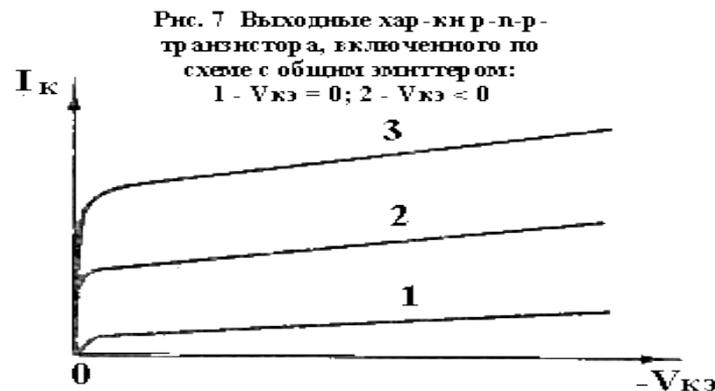


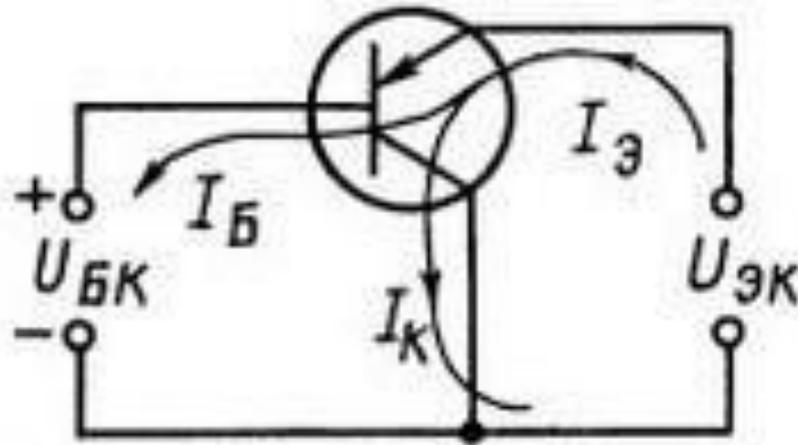
Рис. 7 Выходные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:
1 - $U_{БЭ} = 0$; 2 - $U_{БЭ} < 0$

Схемы включения биполярного транзистора

Схемы, в которых общим электродом для входной и выходной цепей транзистора является коллектор. Это схема включения с **общим коллектором** (эмиттерный повторитель).

Независимо от схемы включения транзистора для него всегда справедливо уравнение, связывающее токи его электродов:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$$



Включение транзистора по схеме с общим коллектором

Сравнительная оценка схем включения биполярных транзисторов

Схе- ма	Входное со- противление	Выходное со- противление	K_I	K_U	K_P	Основное применение схем
ОЭ	10 Ом–10 кОм	10 Ом–100 кОм	10–200	$10^2–10^4$	$10^3–10^4$	В качестве усилителя
ОБ	10–100 Ом	100 кОм–1 МОм	< 1	$10^2–10^4$	$10^4–10^3$	В качестве генератора
ОК	100 кОм–1 МОм	10 Ом–1 кОм	10–200	< 1	10–200	В качестве согласующе- го каскада

K_I - коэффициент усиления по току

K_U - коэффициент усиления по
напряжению

K_P - коэффициент усиления по
мощности

Влияние температуры на характеристики транзисторов

1. Недостаток транзисторов - зависимость их характеристик от изменения температуры
2. При **повышении** температуры **увеличивается электропроводность** полупроводников и токи в них **возрастают**. Возрастает обратный ток *p-n* перехода (начальный ток коллектора). Это приводит к изменению характеристик *p-n* перехода.
3. Схемы с общей базой и общим эмиттером имеют различные значения обратного тока ***I_{кбо}***. С увеличением температуры ***T*** обратные токи возрастают, но соотношение между ними остается **постоянным**.

Влияние температуры на характеристики транзисторов

- Температурные изменения оказывают влияние на величину коэффициентов передачи тока α и β
- Изменение обратных токов и коэффициентов усиления приводит к **смещению входных и выходных характеристик транзисторов**, что может привести к нарушению его нормальной работы или схемы на его основе.

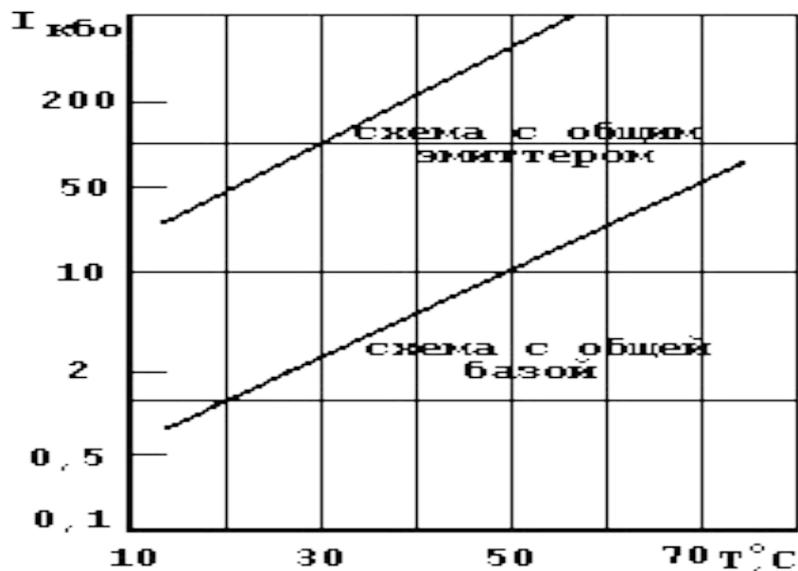


рис. 1 а

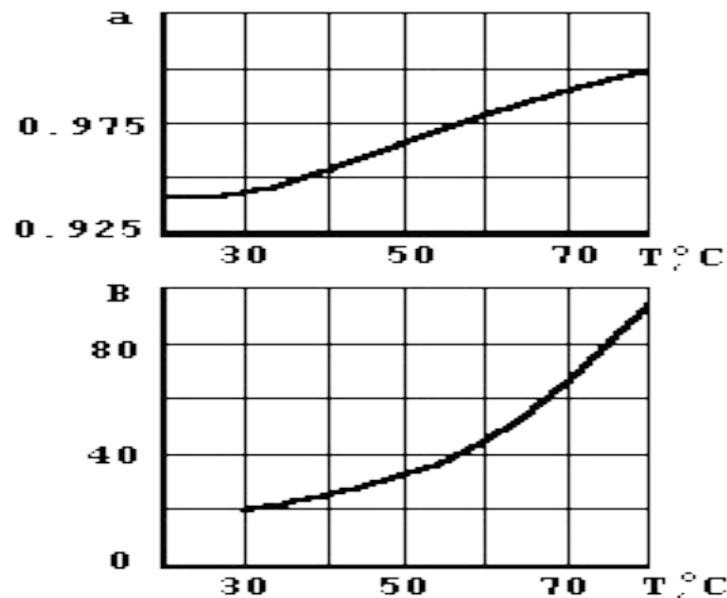
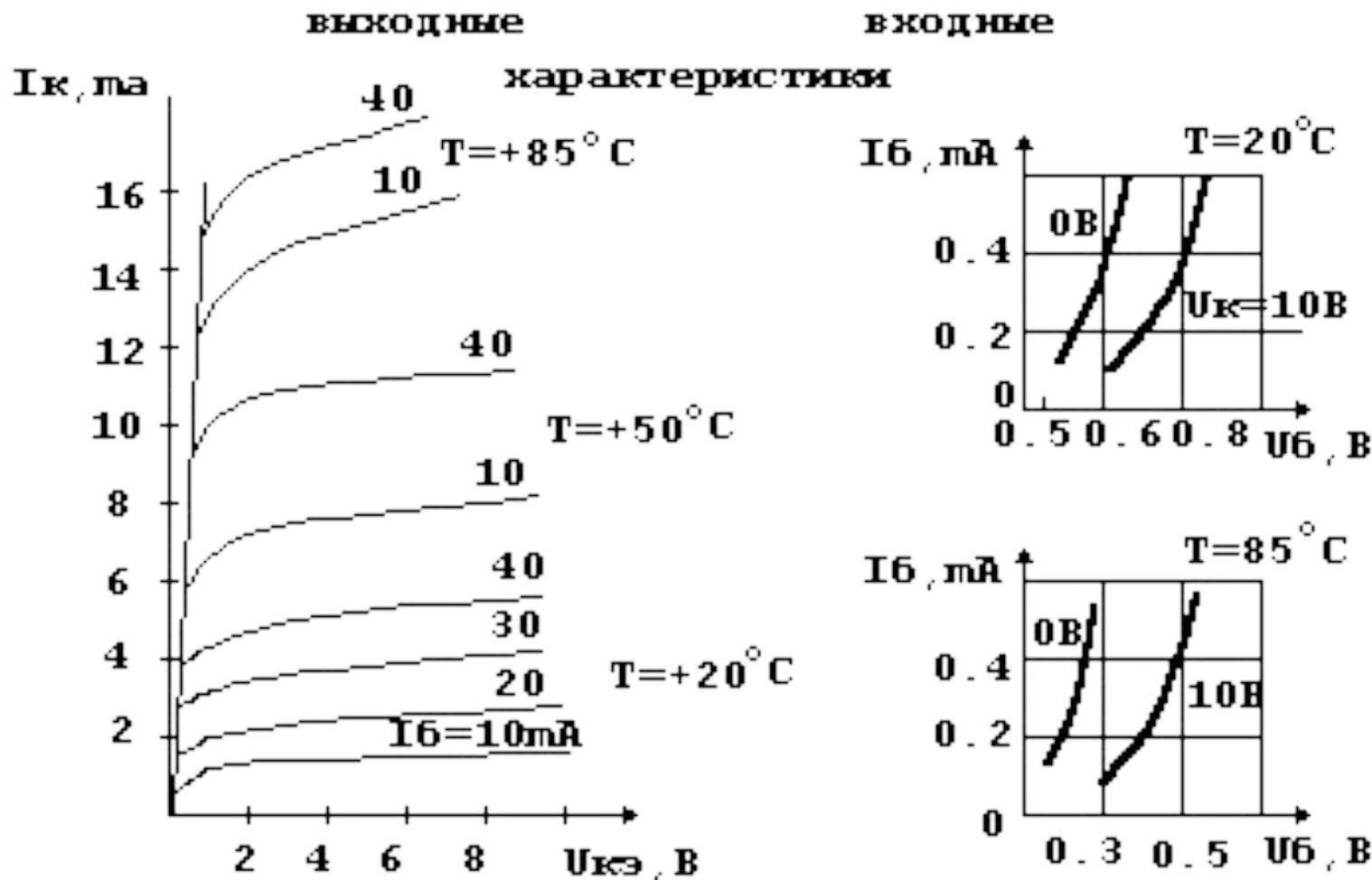


рис. 2 б

Выходная и входная характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером при различных температурах:



Классификация транзисторов

1. Транзисторы классифицируются по допустимой мощности рассеивания и по частоте.
2. Транзисторы по величине мощности, рассеиваемой коллектором, делятся на транзисторы **малой ($P_k 3000 \text{ мВт}$)**, **средней ($P_k 1,5 \text{ Вт}$)** и **большой ($P_k 1,5 \text{ Вт}$)** мощности.
3. По значению предельной частоты, на которой могут работать транзисторы, их делят на **низкочастотные (3 МГц)**, **среднечастотные (30 МГц)**, **высокочастотные (300 МГц)** и **сверхвысокочастотные ($> 300 \text{ МГц}$)**.
4. Низкочастотные маломощные транзисторы обычно изготавливают методом сплавления, поэтому их называют сплавными.