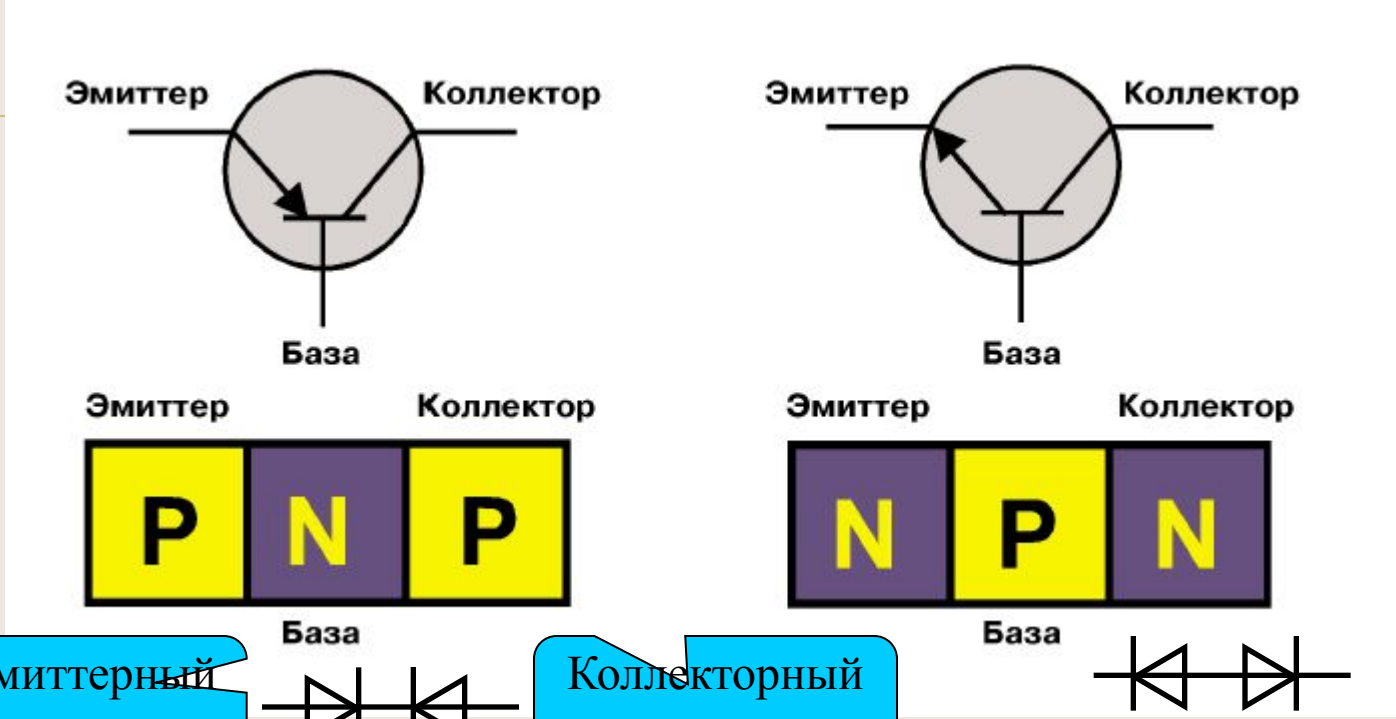
Лекция 3

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Устройство, принцип действия биполярного транзистора

- *Биполярный транзистор (БТ)* – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими *p-n* переходами и тремя выводами.
- БТ представляет собой пластину полупроводника, в которой созданы три области с чередующимся типом проводимости. *В зависимости от порядка их расположения* различают БТ типа *n-p-n* и *p-n-p*.

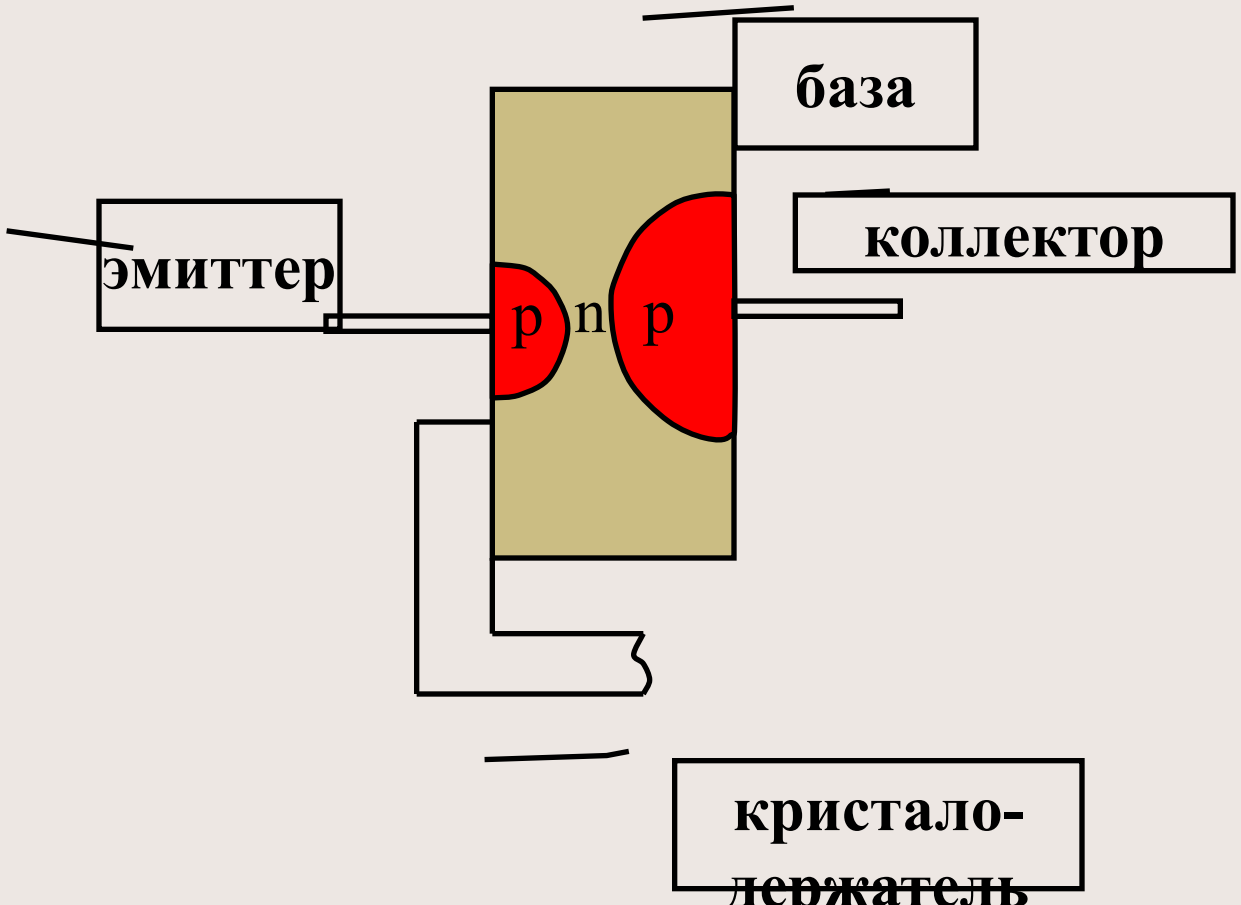
Структуры БТ и их УГО



P-n переход между эмиттером и базой называют ***эмиттерным***, а ***переход*** между коллектором и базой – ***коллекторным***.

Стрелка эмиттера на УГО БТ показывает направление тока при прямом напряжении на эмиттерном переходе

Конструкция транзистора структуры p-n-p

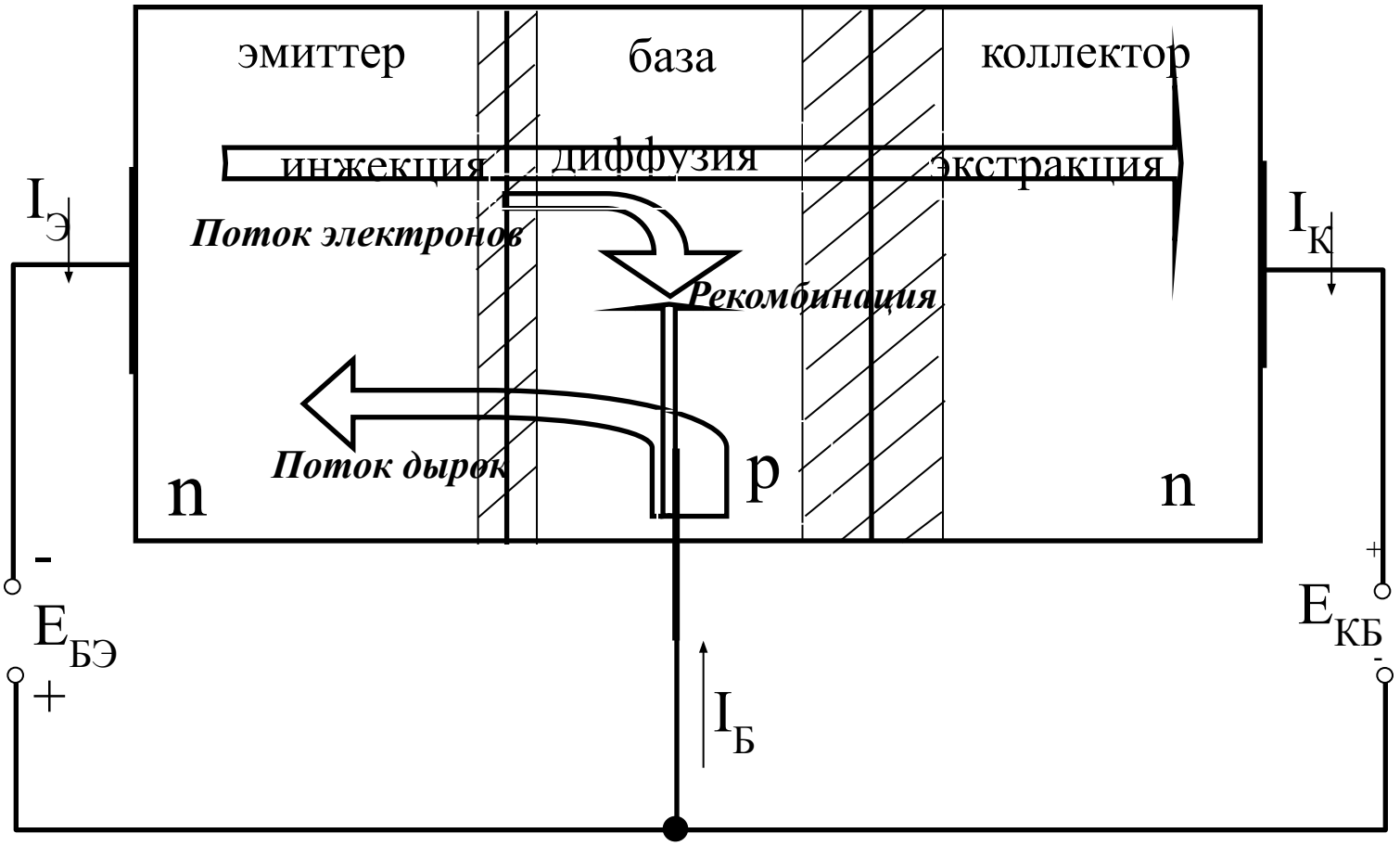


- В настоящее время большинство БТ изготавливаются на основе ***кремния*** и как правило имеют n-p-n структуру, так как в этих транзисторах основную роль играют электроны, а их подвижность в несколько раз выше подвижности дырок.
- Транзисторы n-p-n имеют лучшие частотные характеристики и большее усиление по сравнению с транзисторами p-n-p типа.

В электрической схеме к каждому *p-n* переходу подключается внешнее постоянное напряжение, смещающее переход в том или ином направлении. При этом могут иметь место **три режима работы БТ**:

- ***активный*** режим (эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном);
- режим ***насыщения*** (оба перехода прямо смещены);
- режим ***отсечки*** (оба перехода обратно смещены).

Активный режим БТ



- Сопротивление эмиттерного перехода мало ($E_{БЭ}$ – десятые доли вольта);
- Сопротивление коллекторного перехода велико ($E_{КБ}$ – от единиц до десятков вольт);

По закону Кирхгофа:

$$I_Э = I_К + I_Б$$

- Из эмиттера в базу инжектируются электроны, а из базы в эмиттер – дырки.
- Электроны движутся к коллектору, стремясь равномерно распределиться по всему объему базы. Т.к. толщина базы намного меньше диффузионной длины, почти все электроны достигают коллекторного перехода.
- Вблизи коллектора они попадают под действие электрического поля обратно смещенного коллекторного перехода.
- Т.к. в базе электроны неосновные носители, то происходит переброс их через переход в область коллектора – экстракция. В коллекторе электроны становятся основными носителями и легко доходят до коллекторного вывода, создавая ток во внешней выходной цепи БТ.

- Различают 3 схемы включения БТ:

- с общей базой (ОБ),

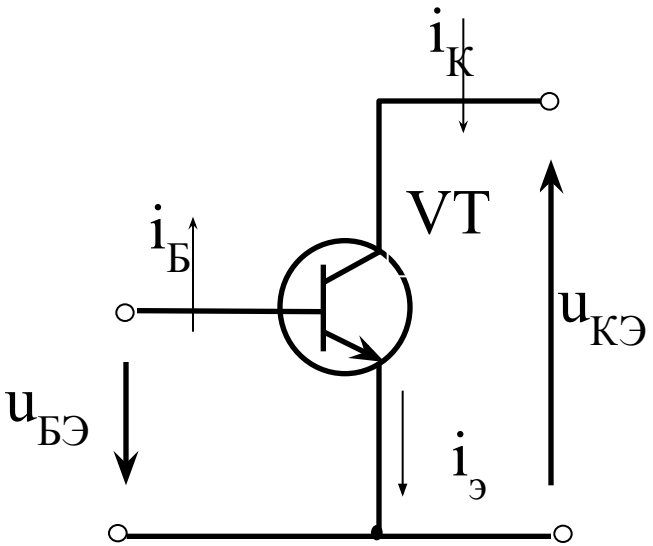
- с общим эмиттером (ОЭ),

- с общим коллектором (ОК).

- В этих схемах один электрод является общей точкой входа и выхода схемы.

Надо помнить: под входом и выходом понимают точки, между которыми действуют входные и выходные переменные напряжения.

Схема с ОЭ



•*Коэффициент усиления по току* k_i представляет собой отношение амплитуд (или действующих значений) выходного и входного переменных токов:

$$k_i = I_{m\ ВЫХ} / I_{m\ ВХ} = I_{m\ К} / I_{m\ Б} >>1$$

•*Коэффициент усиления по напряжению* k_u :

$$k_u = U_{mВЫХ} / U_{mВХ} = U_{mКЭ} / U_{mБЭ} >>1$$

•*Коэффициент усиления по мощности* k_p

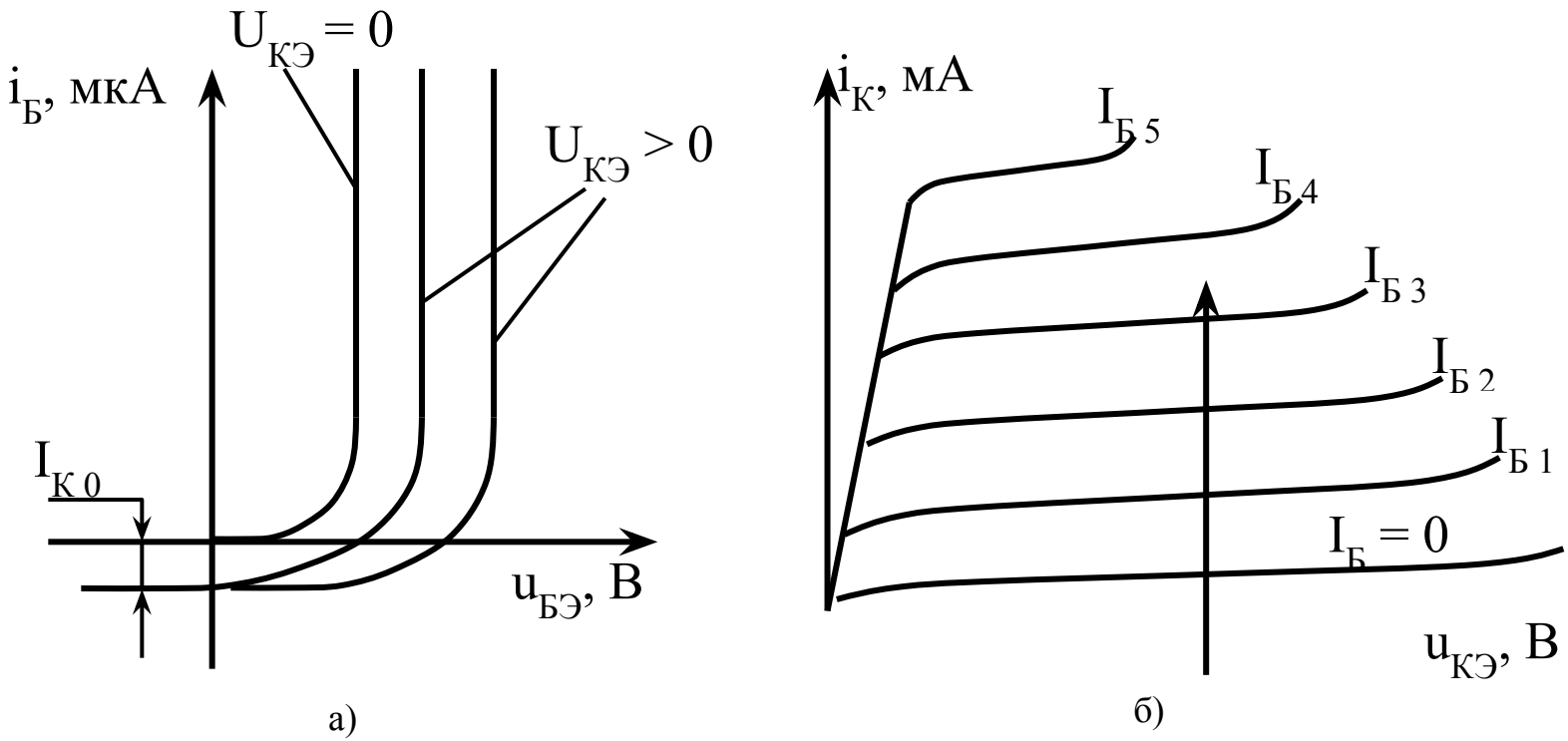
$k_P = P_{ВЫХ}/P_{ВХ} = I_{mВЫХ}\ U_{mВЫХ} / (I_{mВХ}\ U_{mВХ}) = = k_i\ k_u >>1$

•*входное сопротивление транзистора* $R_{ВХ}$:

$$R_{ВХ} = U_{m\ ВХ} / I_{m\ ВХ} = U_{m\ БЭ} / I_{m\ Б}$$

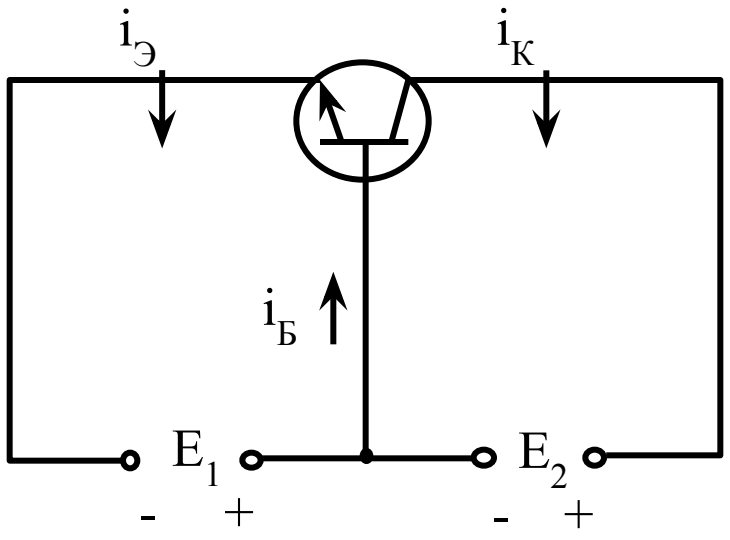
(от *сотен Ом до единиц кОм*)

Семейство входных (а) и выходных (б) характеристик транзистора



$i_Б = f(u_{БЭ})$, $U_{КЭ} = const$ $i_К = f(u_{КЭ})$, $I_Б = const$

Схема с ОБ



- *Коэффициент усиления по току* k_i :

$$k_i = I_{mВЫХ} / I_{mВХ} = I_{mК} / I_{mЭ} \approx 1$$

- *Коэффициент усиления по напряжению* k_u :

$$k_u = U_{mВЫХ} / U_{mВХ} = U_{mКБ} / U_{mЭБ} >> 1$$

- *Коэффициент усиления по мощности* k_p

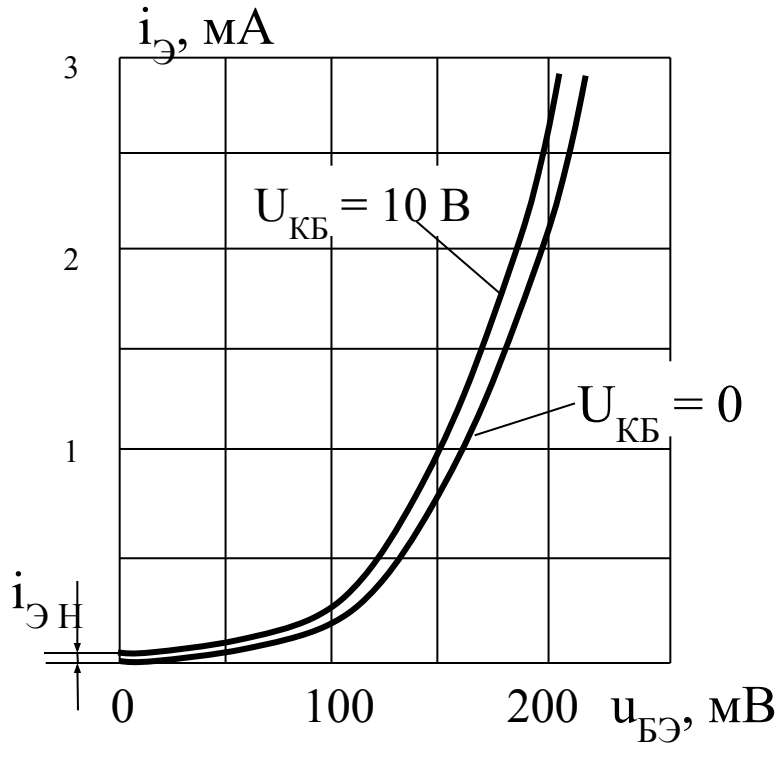
$$k_P = P_{ВЫХ}/P_{ВХ} = I_{mВЫХ}\, U_{mВЫХ} / (I_{mВХ}\, U_{mВХ}) = k_i\, k_u >> 1$$

- *Входное сопротивление транзистора* $R_{ВХ}$:

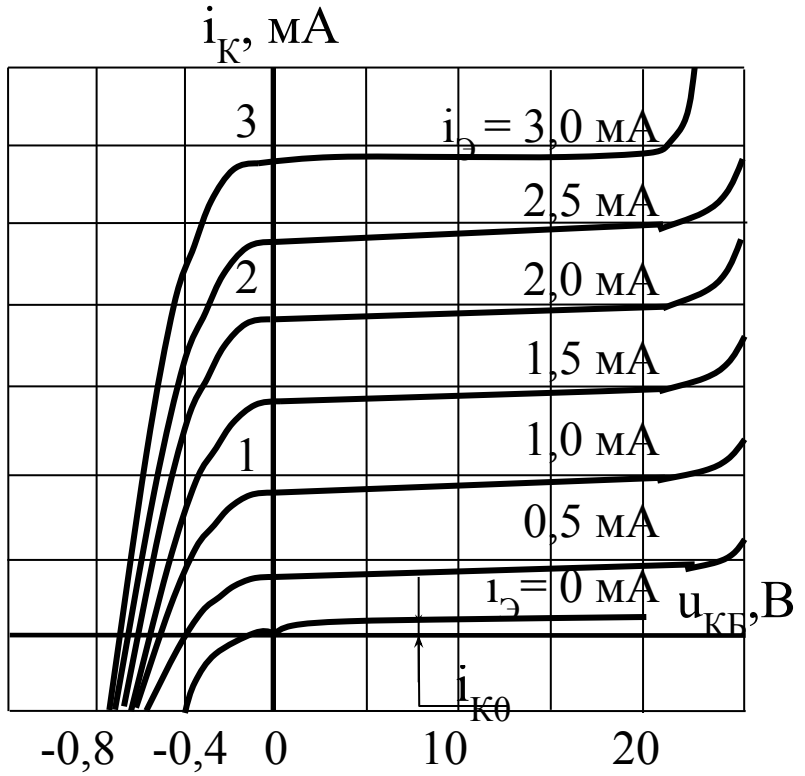
$$R_{ВХ} = U_{m\ ВХ} / I_{m\ ВХ} = U_{m\ ЭБ} / I_{m\ Э}$$

(*в десятки раз меньше, чем в схеме с ОЭ*)

Семейство входных (а) и выходных (б) характеристик транзистора



а)



б)

$i_Э=f(u_{БЭ})$, $U_{КБ}=const$ $i_К=f(u_{КБ})$, $I_Э=const$

- ***Пояснения для входной характеристики***:

При увеличении $U_{КБ}$ коллекторный переход расширяется за счет базы (обратно смещенный p-n переход). Уменьшение толщины базы приводит к уменьшению сопротивления перехода.

- ***Пояснения для выходной характеристики:***

Если $U_{КБ} > 0$, то p-n переход обратно смещен и $I_К \approx I_Э$.

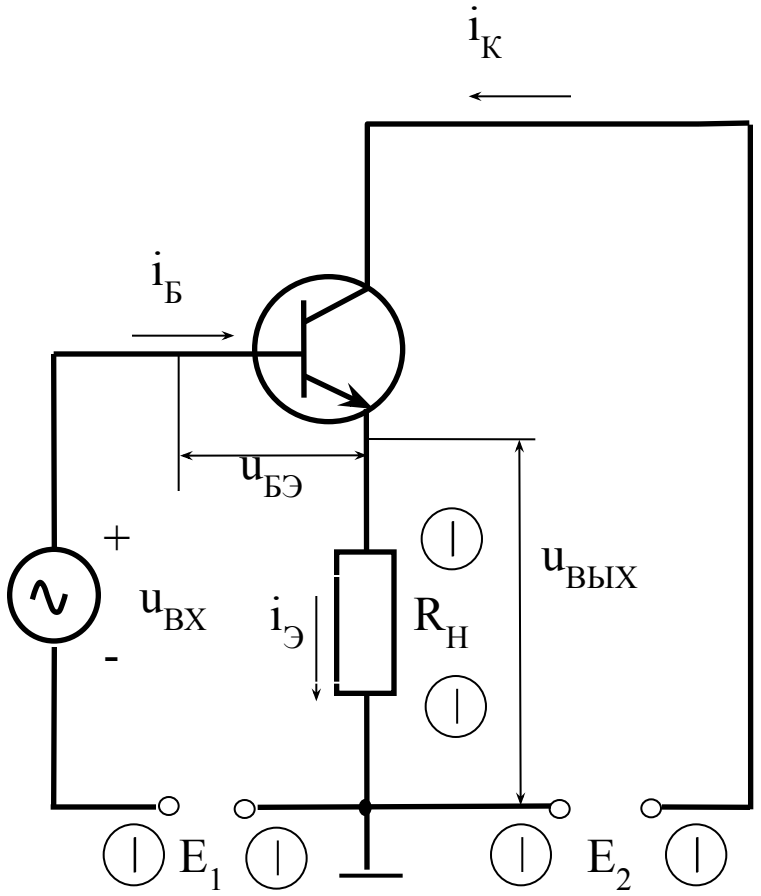
Если $U_{КБ} < 0$, то p-n переход прямо смещен, $I_К = 0$, т. к. начинается инжекция электронов из коллектора в базу. Это компенсирует переход электронов из базы в коллектор.

$I_К = 0$ при $U_{КБ} = - 0{,}75$ В

Вывод

- Хотя схема включения транзистора с ОБ дает значительно меньшее усиление по мощности и имеет еще меньшее входное сопротивление, чем схема с ОЭ, все же она находит применение, т.к. по своим частотным и температурным свойствам она значительно лучше схемы с ОЭ

Схема с ОК (эмиттерный повторитель)



- *Коэффициент усиления по току* k_i :

$$k_i = I_{m\,Э} / I_{m\,Б} = (I_{m\,К} + I_{m\,Б}) / I_{m\,Б} = = I_{m\,К} / I_{m\,Б} + 1 >> 1$$

- *Коэффициент усиления по напряжению* k_u :

$$k_u = U_{mВЫХ} / U_{mВХ} = = U_{m\,ВЫХ} / (U_{m\,БЭ} + U_{m\,ВЫХ}) < 1$$

- *Коэффициент усиления по мощности* k_p

$$k_p = k_i k_u \approx k_i$$

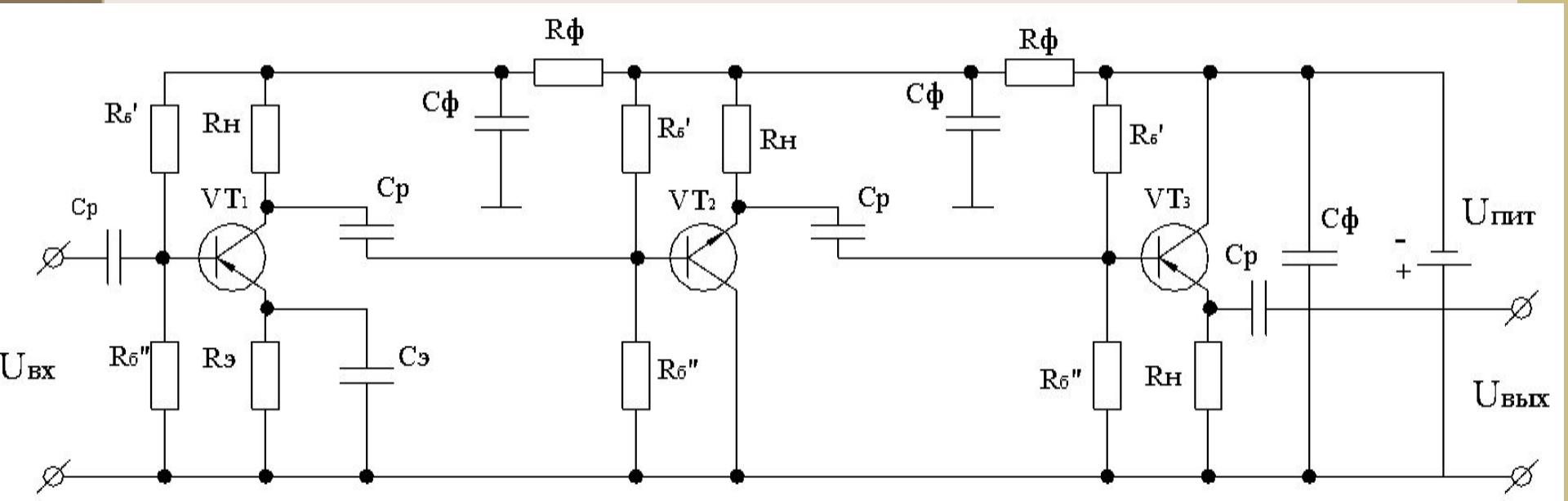
- *Входное сопротивление транзистора* $R_{ВХ}$:

$$R_{ВХ} = (U_{m\,БЭ} + U_{m\,ВЫХ}) / I_{m\,Б}$$

(*десятки кОм*)

- В схеме с ОК выходное напряжение повторяет входное. Именно поэтому данный каскад называют *эмиттерным повторителем*. Эмиттерным потому, что резистор нагрузки включен в цепь эмиттера.
- *Достоинством* схемы ОК является высокое входное сопротивление.

Сравнительный анализ различных схем включения БТ

Параметр	Схема ОЭ	Схема ОБ	Схема ОК
k_i	Десятки - сотни	Несколько меньше единицы	Десятки - сотни
k_u	Десятки - сотни	Десятки - сотни	Несколько меньше единицы
k_p	Сотни – десятки тысяч	Десятки - сотни	Десятки - сотни
$R_{ВХ}$	Сотни Ом – единицы кОм	Единицы – десятки Ом	Десятки – сотни кОм
$R_{ВЫХ}$	Единицы – десятки кОм	Сотни кОм – единицы МОм	Сотни Ом – единицы кОм
Фазовый сдвиг между $u_{ВЫХ}$ и $u_{ВХ}$	180°	0	0

Определить схему включения транзисторов VT1, VT2, VT3 в схеме многокаскадного усилителя НЧ.