

Биполярные транзисторы

**Устройство, классификация и
принцип действия биполярных
транзисторов**

Классификация и маркировка транзисторов.

Транзистором называется полупроводниковый преобразовательный прибор, имеющий не менее трёх выводов и способный усиливать мощность.

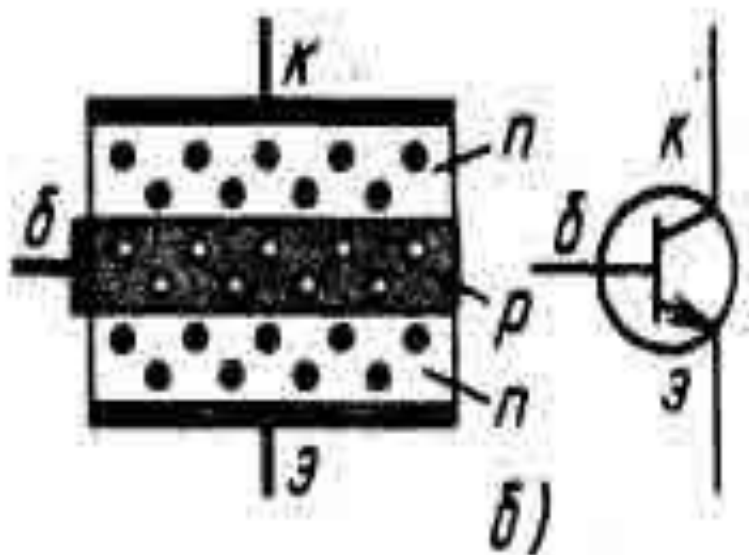
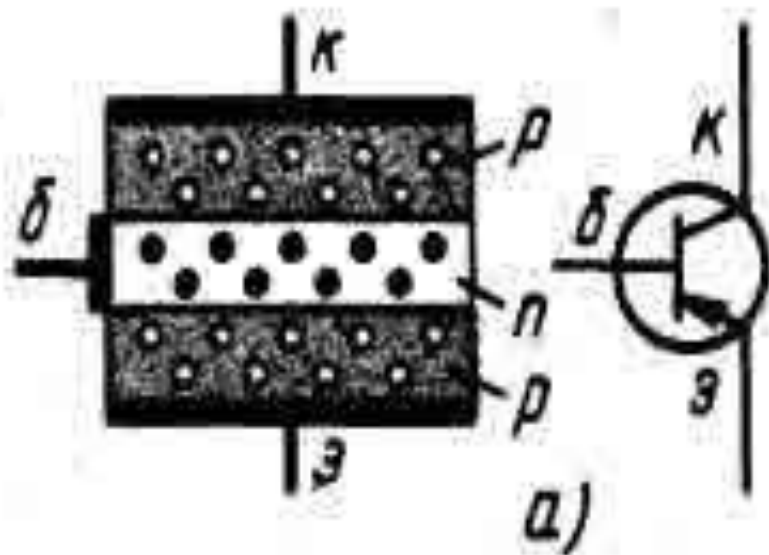
- Транзистор поверхностного монтажа на печатной плате



**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);**

Транзисторы разной проводимости



- По принципу действия транзисторы подразделяются на биполярные и полевые (униполярные);
- По частотным свойствам;
 - НЧ (<3 МГц);
 - СЧ (3÷30 МГц);
 - ВЧ и СВЧ (>30 МГц);

По мощности.

- **Маломощные транзисторы ММ ($<0,3\text{Вт}$),**
- **Средней мощности СрМ ($0,3\text{-}3\text{Вт}$),**
- **Мощные ($>3\text{ Вт}$).**

Маркировка транзисторов

Г Т - 313 А

К П - 103 Л

І ІІ - ІІІ ІV

- **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 \ f	<3 МГц НЧ	3 –30МГц СЧ	>30 МГц ВЧ и СВЧ
ММ <0,3 Вт	1	2	3
СрМ 0,3 ÷3 Вт	4	5	6
М >3 Вт	7	8	9

Третий элемент — трехзначное число от 101 до 999 — указывает порядковый номер разработки и назначение прибора. Это число присваивается транзистору по признакам, приведенным в таблице. Примеры расшифровки обозначений по этой системе :

ГТ109А — германиевый маломощный низкочастотный транзистор, разновидность А;

ГТ404Г — германиевый средней мощности низкочастотный транзистор, разновидность Г;

КТ315В — кремниевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность В

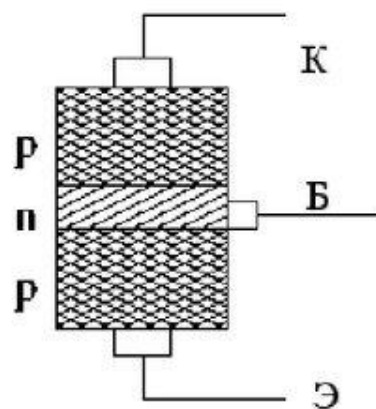
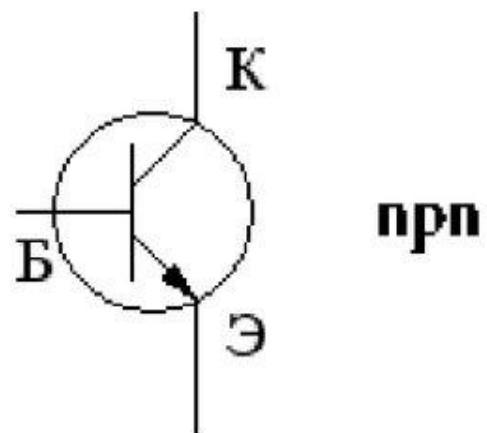
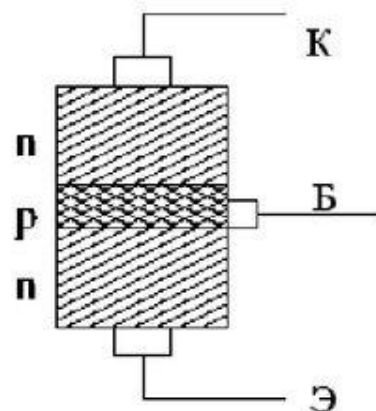
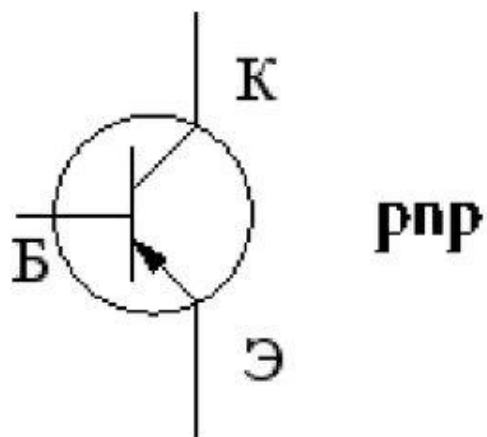
Транзистор P_{max} , Вт	Низкая частота (до 3 МГц)	Средняя частота (3–30 МГц)	Высокая частота (свыше 30 МГц)
Малой мощности (до 0,3 Вт)	101–199	201–299	301–399
Средней мощности (0,3–3 Вт)	401–499	501–599	601–699
Большой мощности (свыше 3 Вт)	701–799	801–899	901–999

Устройство биполярных транзисторов.

Основой биполярного транзистора является кристалл полупроводника **p-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.**

Обозначения транзистора



Обозначение биполярных транзисторов на схемах

Простейшая наглядная схема устройства транзистора

- **Область, имеющая большую площадь р-п перехода, и вывод от неё называют коллектором.**
- **Область, имеющая меньшую площадь р-п 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

Принцип действия биполярных транзисторов.

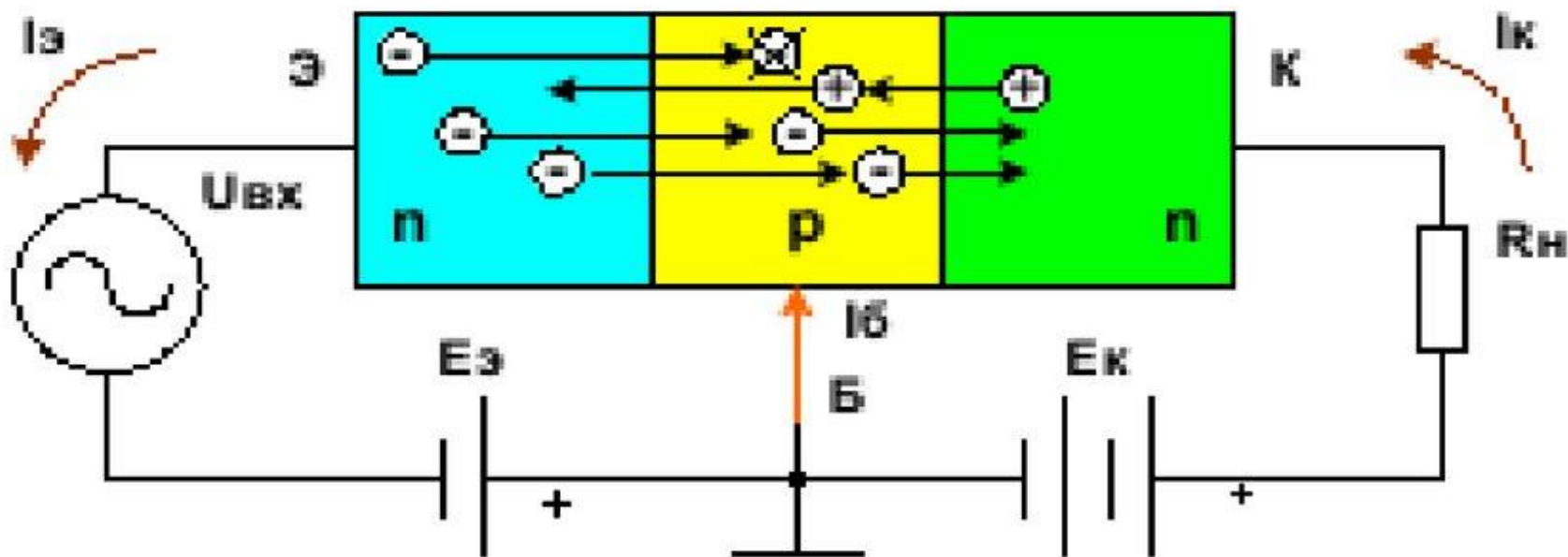


Рис. 63

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.

Эффективность эмиттера оценивается коэффициентом инжекции.

Инжекцией зарядов называется переход носителей зарядов из области, где они были основными в область, где они становятся неосновными

В базе электроны рекомбинируют, а их концентрация в базе пополняется от «+» источника $E_э$, за счёт чего в цепи базы будет протекать очень малый ток. Оставшиеся электроны, не успевшие рекомбинировать в базе, под ускоряющим действием поля закрытого коллекторного перехода как неосновные носители будут переходить в коллектор, образуя ток коллектора.

Переход носителей зарядов из области, где они были не основными, в область, где они становятся основными, называется экстракцией зарядов. Степень рекомбинации носителей зарядов в базе оценивается коэффициентом перехода носителей зарядов δ

Основное соотношение токов в транзисторе:

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{К}} + I_{\text{Б}}$$

$$I_{\text{К}} = \alpha \cdot I_{\text{Э}}$$

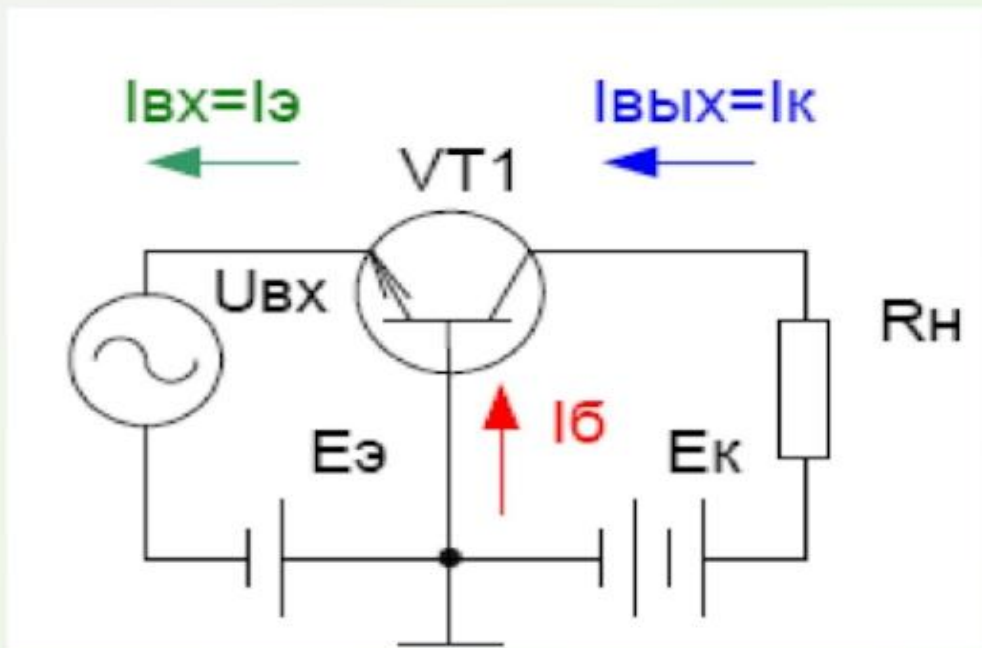
α – коэффициент передачи тока транзистора или коэффициент усиления по току.

**Дырки из коллектора как
неосновные носители зарядов будут
переходить в базу, образуя обратный
ток коллектора $I_{кбо}$.**

$$I_k = \alpha \cdot I_{э} + I_{кбо}$$

Схемы включения биполярных транзисторов

1. Схемы включения биполярных транзисторов с общей базой (ОБ)



- **Схема включения транзистора с общей базой характеризуется двумя основными показателями:**
- **- коэффициент усиления по току $I_{вых}/I_{вх}$ (для схемы с общей базой $I_{вых}/I_{вх}=I_{к}/I_{э}=\alpha$ [$\alpha<1$])**
- **- входное сопротивление $R_{вхб}=U_{вх}/I_{вх}=U_{бэ}/I_{э}$**

Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и составляет десятки Ом, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

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

3. Схемы включения биполярных транзисторов с общим эмиттером (ОЭ)

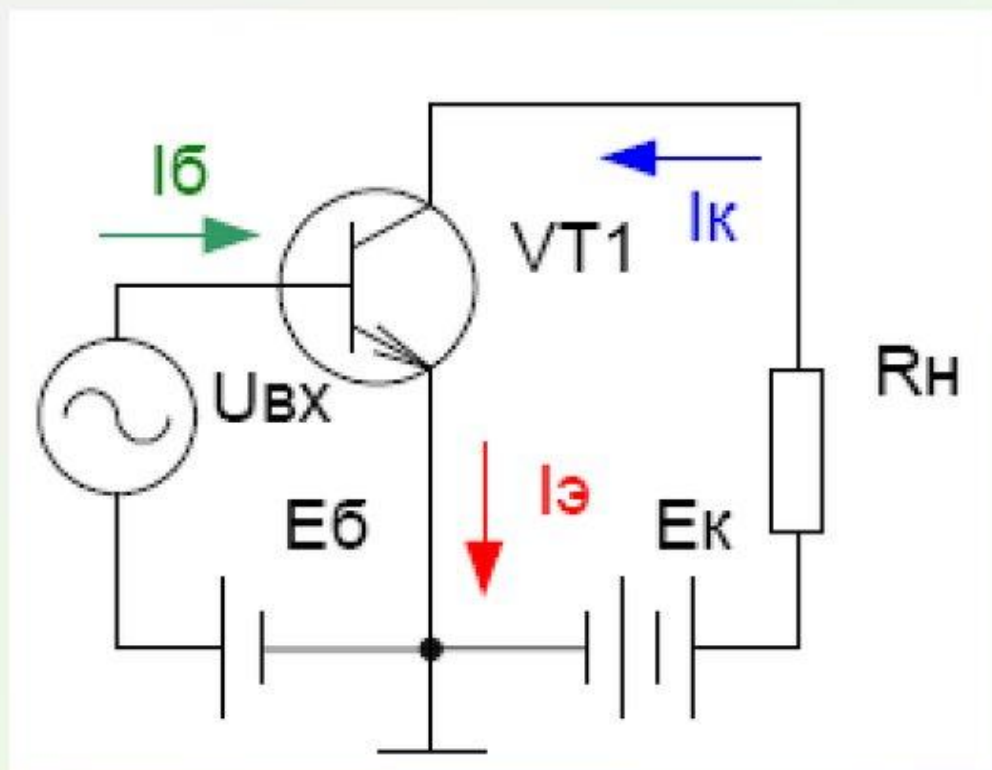


Схема включения с общим эмиттером. Эта схема является наиболее распространённой, так как она даёт наибольшее усиление по мощности

- $I_{BX} = I_b$
- $I_{BXX} = I_K$
- $U_{BX} = U_{bэ}$
- $U_{BXX} = U_{Kэ}$
- $\beta = I_{BXX} / I_{BX} = I_K / I_b$ (n: 10.100)
- $R_{BX.э} = U_{BX} / I_{BX} = U_{bэ} / I_b$ [Ом] (n: 100.1000)

Коэффициент усиления по току такого каскада представляет собой отношение амплитуд (или действующих значений) выходного и входного переменного тока, то есть переменных составляющих токов коллектора и базы. Поскольку ток коллектора в десятки раз больше тока базы, то коэффициент усиления по току составляет десятки единиц.

Коэффициент усиления каскада по напряжению равен отношению амплитудных или действующих значений выходного и входного переменного напряжения. Входным является переменное напряжение база - эмиттер $U_{бэ}$, а выходным - переменное напряжение на резисторе нагрузки R_n или, что то же самое, между коллектором и эмиттером - $U_{кэ}$:

Напряжение база - эмиттер не превышает десятых долей вольта, а выходное напряжение при достаточном сопротивлении резистора нагрузки и напряжении источника E_k достигает единиц, а в некоторых случаях и десятков вольт

Поэтому коэффициент усиления каскада по напряжению имеет значение от десятков до сотен. Отсюда следует, что коэффициент усиления каскада по мощности получается равным сотням, или тысячам, или даже десяткам тысяч.

Этот коэффициент представляет собой отношение выходной мощности к входной. Каждая из этих мощностей определяется половиной произведения амплитуд соответствующих токов и напряжений

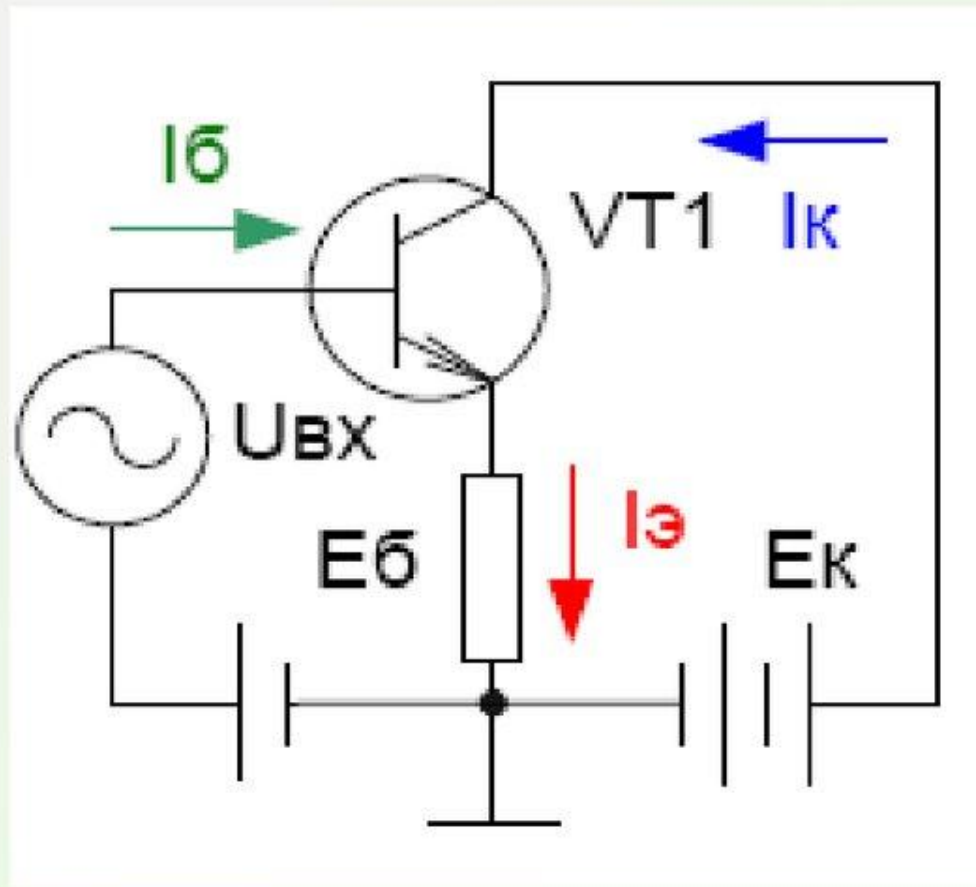
Входное сопротивление схемы с общим эмиттером мало (от 100 до 1000 Ом). Каскад по схеме ОЭ при усилении переворачивает фазу напряжения, т. е. между выходным и входным напряжением имеется фазовый сдвиг 180° .

Достоинства схемы с общим эмиттером:

- Большой коэффициент усиления по току**
- Больше, 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.

2. Схемы включения биполярных транзисторов с общим коллектором (ОК) (эмиттерный повторитель)



- **Схема включения с общим коллектором**
- $I_{ВХ} = I_{Б}$
- $I_{ВЫХ} = I_{Э}$
- $U_{ВХ} = U_{БК}$
- $U_{ВЫХ} = U_{КЭ}$
- $I_{ВЫХ} / I_{ВХ} = I_{Э} / I_{Б} = (I_{К} + I_{Б}) / I_{Б} = \beta + 1 = n$
- $n = 10 \dots 100$
- $R_{ВХ} = U_{БК} / I_{Б} = n (10.100) \text{ кОм}$

**В схеме с ОК коллектор является
общей точкой входа и выхода,
поскольку источники питания Еб и
Ек всегда шунтированы
конденсаторами большой ёмкости и
для переменного тока могут
считаться короткозамкнутыми**

Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь. Нетрудно видеть, что входное напряжение равно сумме переменного напряжения база - эмиттер $U_{бэ}$ и выходного напряжения.

Коэффициент усиления по току каскада с общим коллектором почти такой же, как и в схеме с ОЭ, т. е. равен нескольким десяткам.

Однако, в отличие от каскада с ОЭ, коэффициент усиления по напряжению схемы с ОК близок к единице, причем всегда меньше её.

Переменное напряжение, поданное на вход транзистора, усиливается в десятки раз (так же, как и в схеме ОЭ), но весь каскад не даёт усиления. Коэффициент усиления по мощности равен примерно нескольким десяткам

Рассмотрев полярность переменных напряжений в схеме, можно установить, что фазового сдвига между $U_{вых}$ и $U_{вх}$ нет. Значит, выходное напряжение совпадает по фазе с входным и почти равно ему. То есть, выходное напряжение повторяет входное. Именно поэтому данный каскад обычно называют эмиттерным повторителем

Эмиттерным называется потому, что резистор нагрузки включен в провод вывода эмиттера и выходное напряжение снимается с эмиттера (относительно корпуса). Так как входная цепь представляет собой закрытый коллекторный переход, входное сопротивление каскада по схеме ОК составляет десятки кОм, что является важным достоинством схемы

Выходное сопротивление схемы с ОК, наоборот, получается сравнительно небольшим, обычно единицы кОм или сотни Ом. Эти достоинства схемы с ОК побуждают использовать её для согласования различных устройств по входному сопротивлению

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

Спасибо за внимание