

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
кафедра электротехники, О8

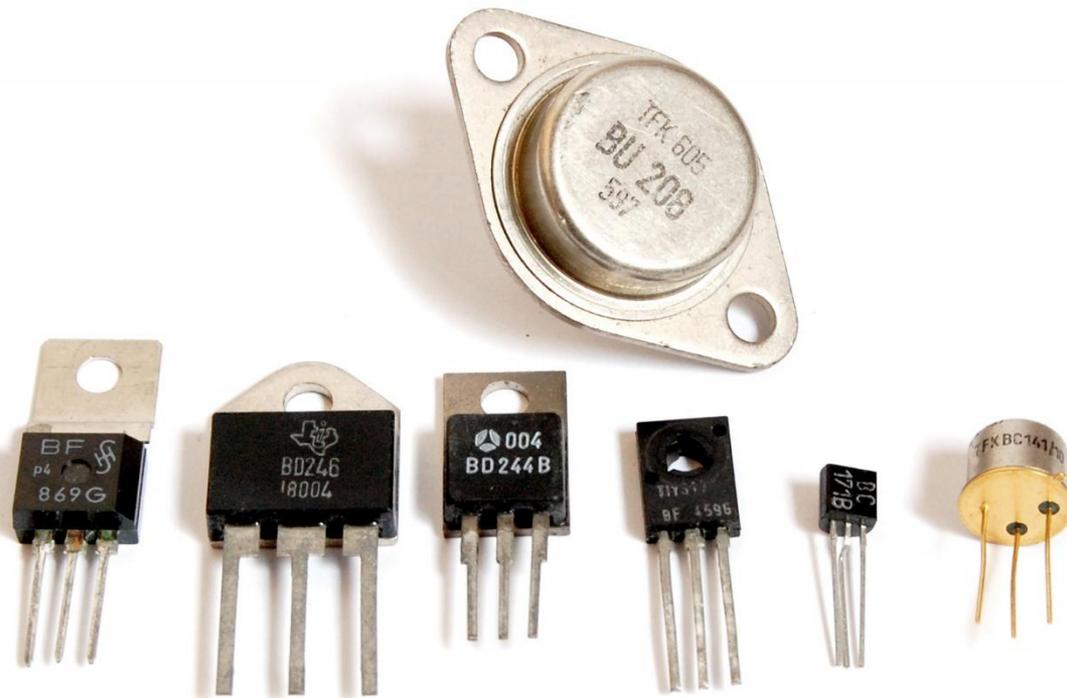
Лекция 16

Электроника

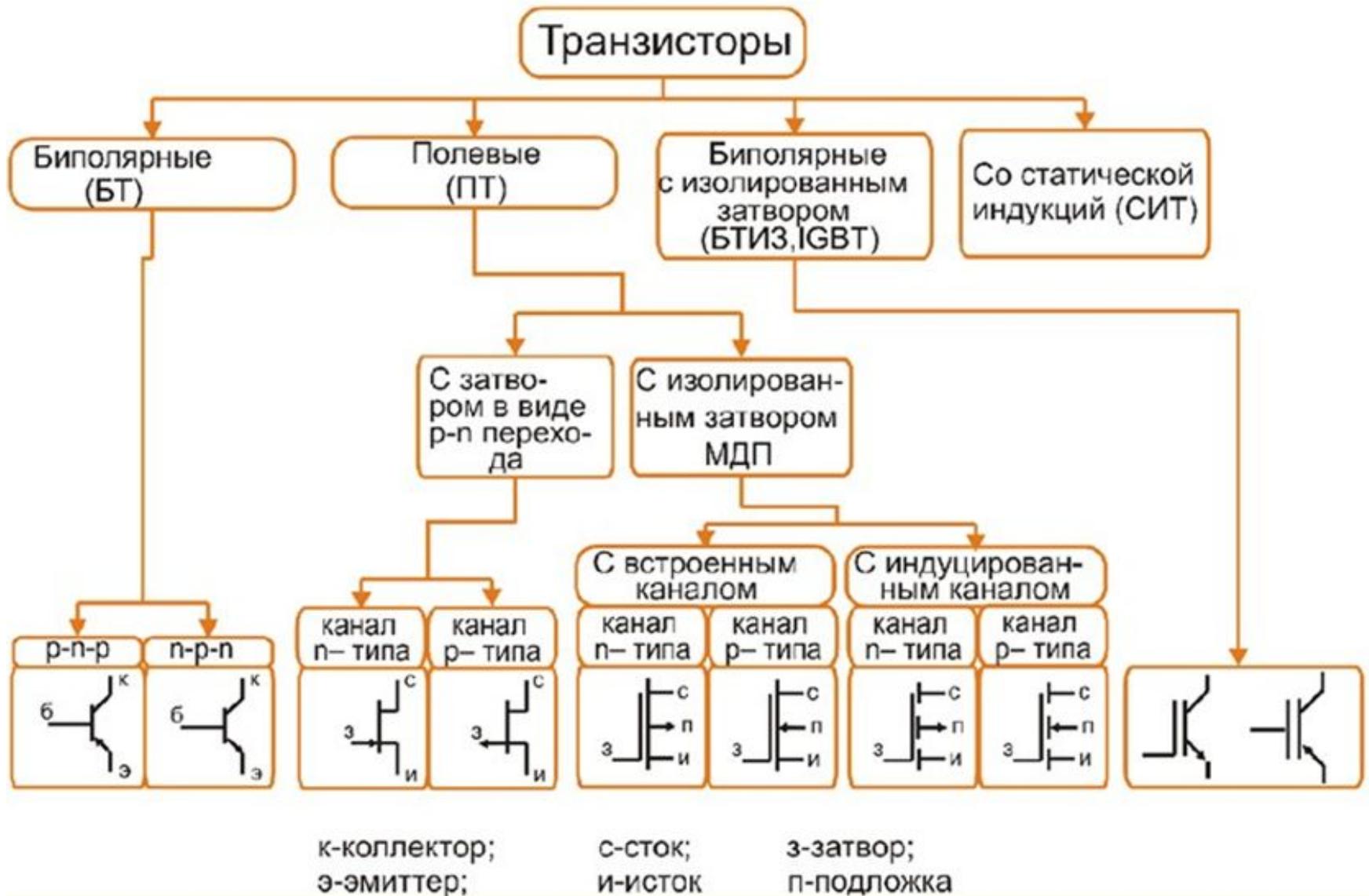
Транзисторы,
Операционные усилители

Транзисторы

Транзисторы – полупроводниковые управляемые элементы, предназначенные для усиления электрических сигналов.

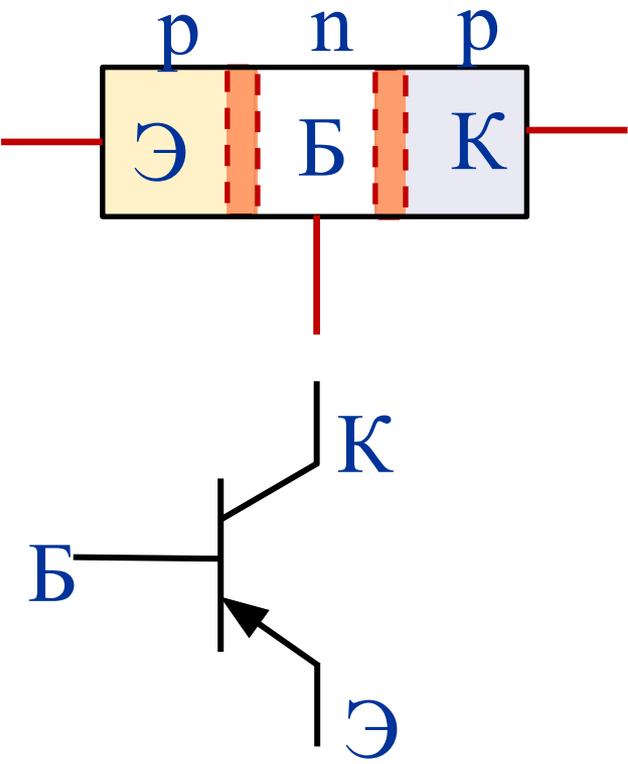


Классификация транзисторов

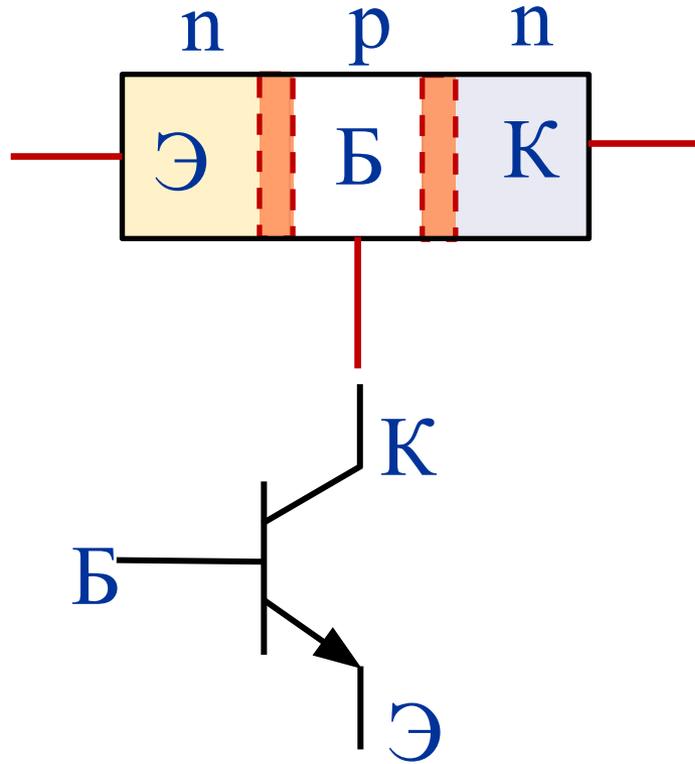


Биполярный транзистор

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих **p-n** перехода, образованные в едином кристалле полупроводника. Он широко используется как усилительный элемент, так и как переключающий элемент.



pnp -транзистор



npn -транзистор

К-коллектор **Э**-эмиттер **Б**-база

Классификация биполярных транзисторов

В зависимости от назначения транзисторы делятся:

- малой мощности (до 1 Вт рассеиваемой мощности);
- силовые транзисторы;
- коммутирующие (ключевые) транзисторы;
- СВЧ транзисторы;
- фототранзисторы.

В передаче тока участвуют обе типа носителей, и электроны и дырки, поэтому транзисторы называются *биполярными*.

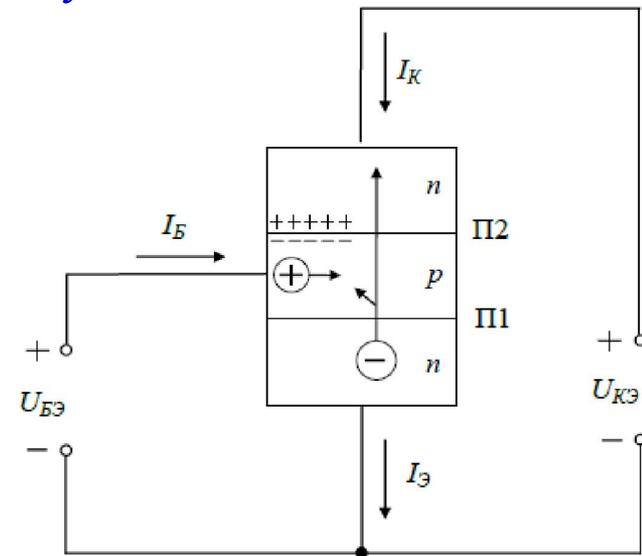
Принцип работы биполярного транзистора

Внешние напряжения двух источников питания $U_{бэ}$ и $U_{кэ}$ подключают к транзистору таким образом, чтобы обеспечивалось смещение эмиттерного перехода Π_1 в *прямом направлении*, а коллекторного перехода Π_2 – в *обратном направлении*. Такой режим работы транзистора называют *активным или усилительным*.

Из-за прямого смещения перехода Б-Э ширина перехода уменьшается. Поскольку переход база-коллектор включен в обратном направлении, электроны вытекающие из эмиттера «вытягиваются» сильным электрическим полем коллектора. Ток коллектора становится усиленным и прямо пропорционален току базы:

$$I_k = h_{21} I_{б}$$

h_{21} – коэффициент передачи по току



Основные параметры биполярных транзисторов

Биполярные транзисторы характеризуются ***h*-параметрами**.

Входное сопротивление транзистора $h_{11} = \frac{dU_{\text{бэ}}}{dI_{\text{б}}}$ при $U_{\text{кэ}} = \text{const}$.

Коэффициент передачи по напряжению $h_{12} = \frac{dU_{\text{бэ}}}{dU_{\text{кэ}}}$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$.

Коэффициент усиления по току $h_{21} = \frac{dI_{\text{к}}}{dI_{\text{б}}}$ при $U_{\text{кэ}} = \text{const}$.

Выходная проводимость транзистора $h_{22} = \frac{dI_{\text{к}}}{dU_{\text{кэ}}}$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$.

Численные значения *h*-параметров обычно составляют:

$$h_{11} = 10^3 - 10^4 \text{ Ом};$$

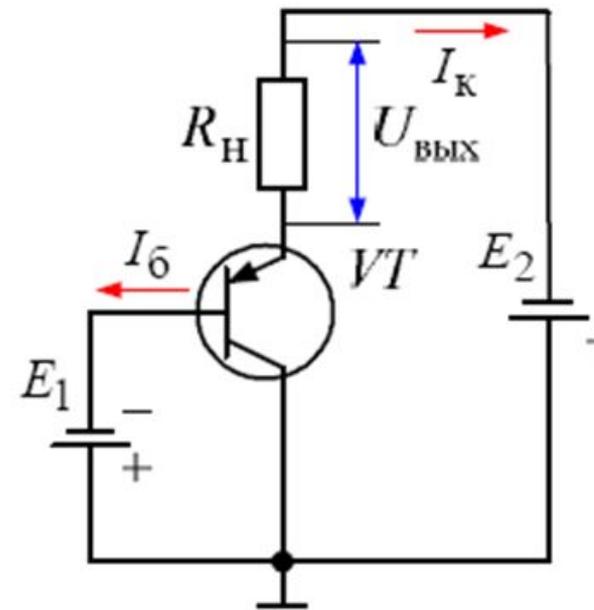
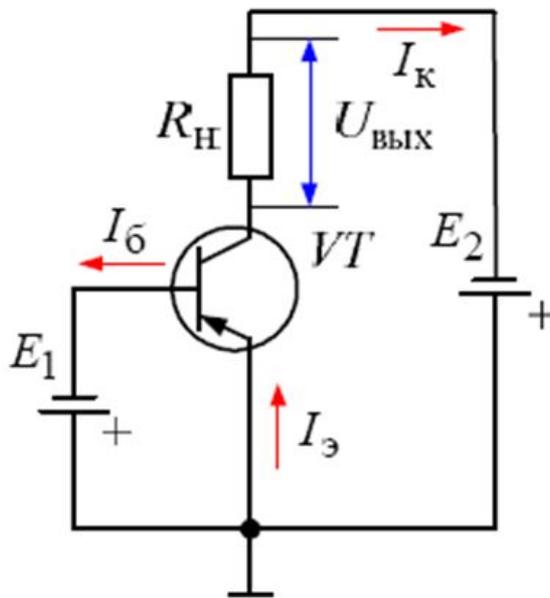
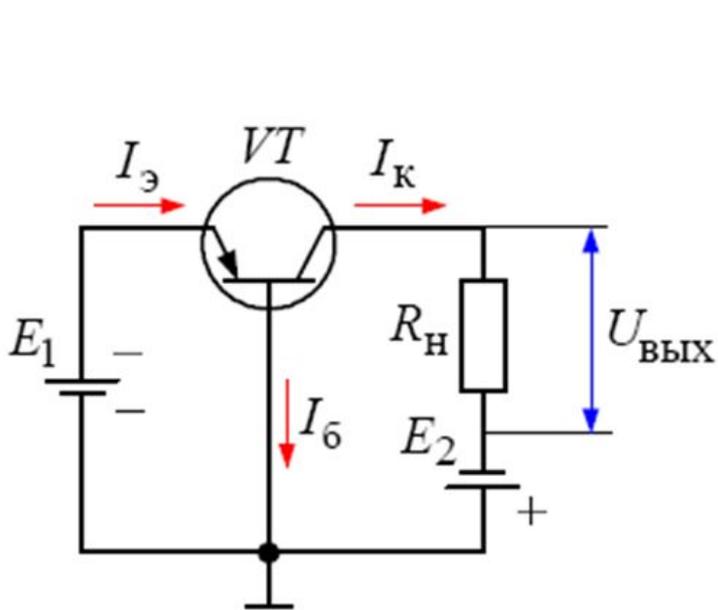
$$h_{12} = 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3};$$

$$h_{21} = 20 - 2000;$$

$$h_{22} = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ См}.$$

Схемы включения биполярного транзистора

- общей базой (ОБ);
- с общим эмиттером (ОЭ);
- с общим коллектором (ОК).



Режимы работы биполярного транзистора

Рассмотрим каскад усиления на транзисторе, включенном по схеме с **общим эмиттером**.

При изменении величины входного сигнала будет изменяться ток базы $I_{\text{б}}$. Ток коллектора $I_{\text{к}}$ изменяется пропорционально току базы:

$$I_{\text{к}} = h_{21} I_{\text{б}}$$
$$I_{\text{к}} = \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{кэ}}}{R_{\text{к}}}$$

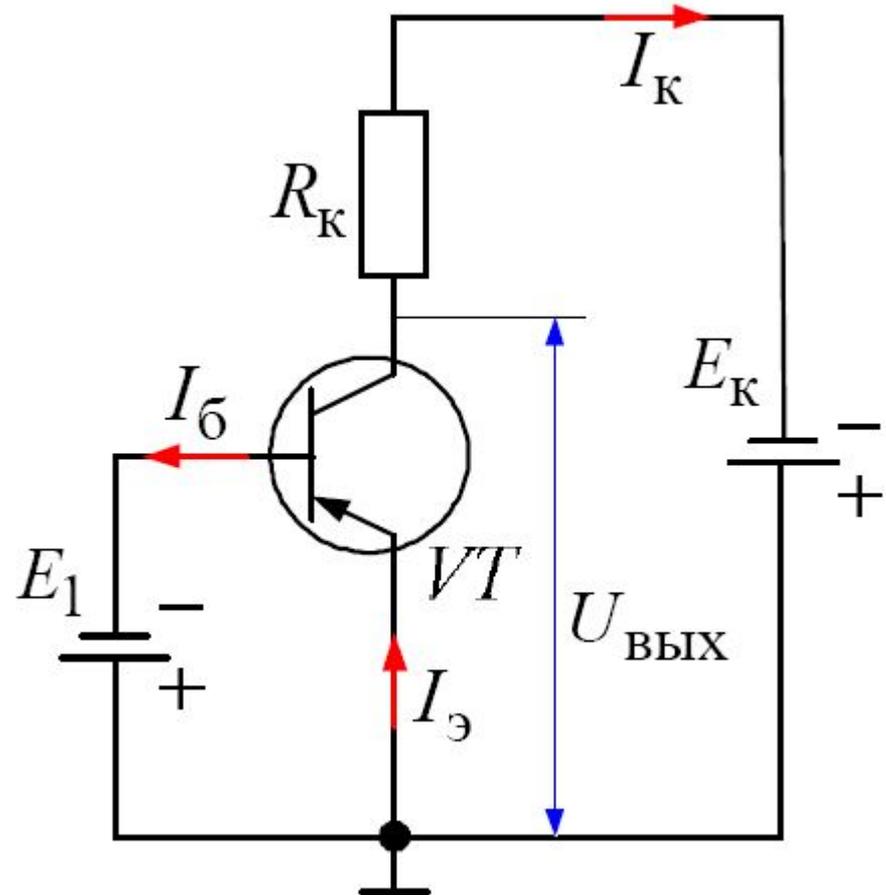
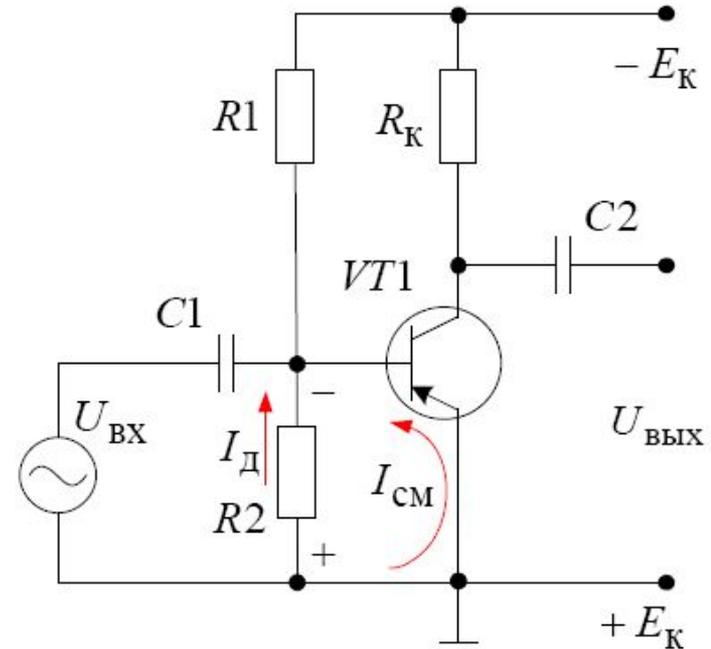
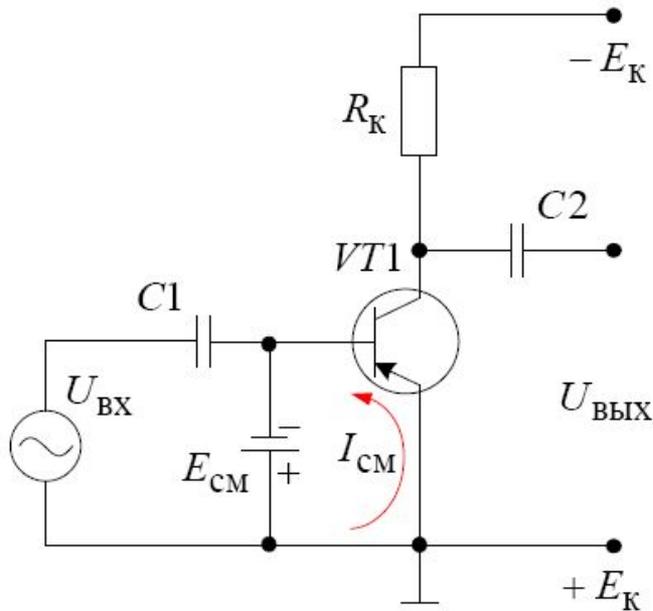


Схема усиления переменного сигнала



На базу транзистора подают *смещенный* сигнал. Это можно сделать при помощи делителя напряжения R_1 и R_2 . Ток I_D , протекающий по делителю напряжения $R1$ - $R2$ под действием источника питания E_K , создает на резисторе R_2 падение напряжения

$$U_{R2} = I_D R_2 ,$$

которое должно быть равно требуемой величине напряжения смещения $E_{СМ}$.

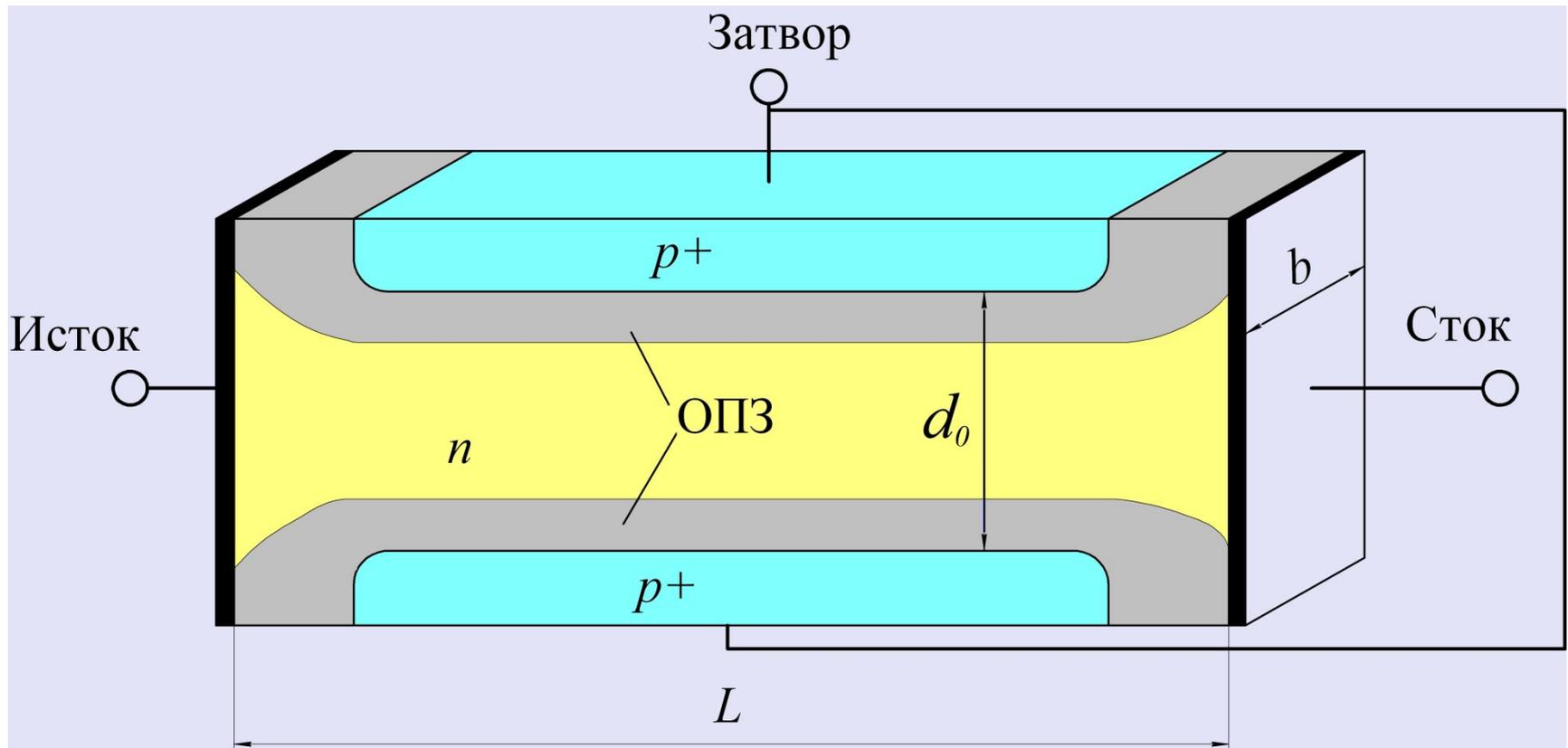
Полевые транзисторы (Униполярные транзисторы)

Различают два вида полевых транзисторов:

- с управляющим *p-n*-переходом
- со структурой металл-диэлектрик-полупроводник

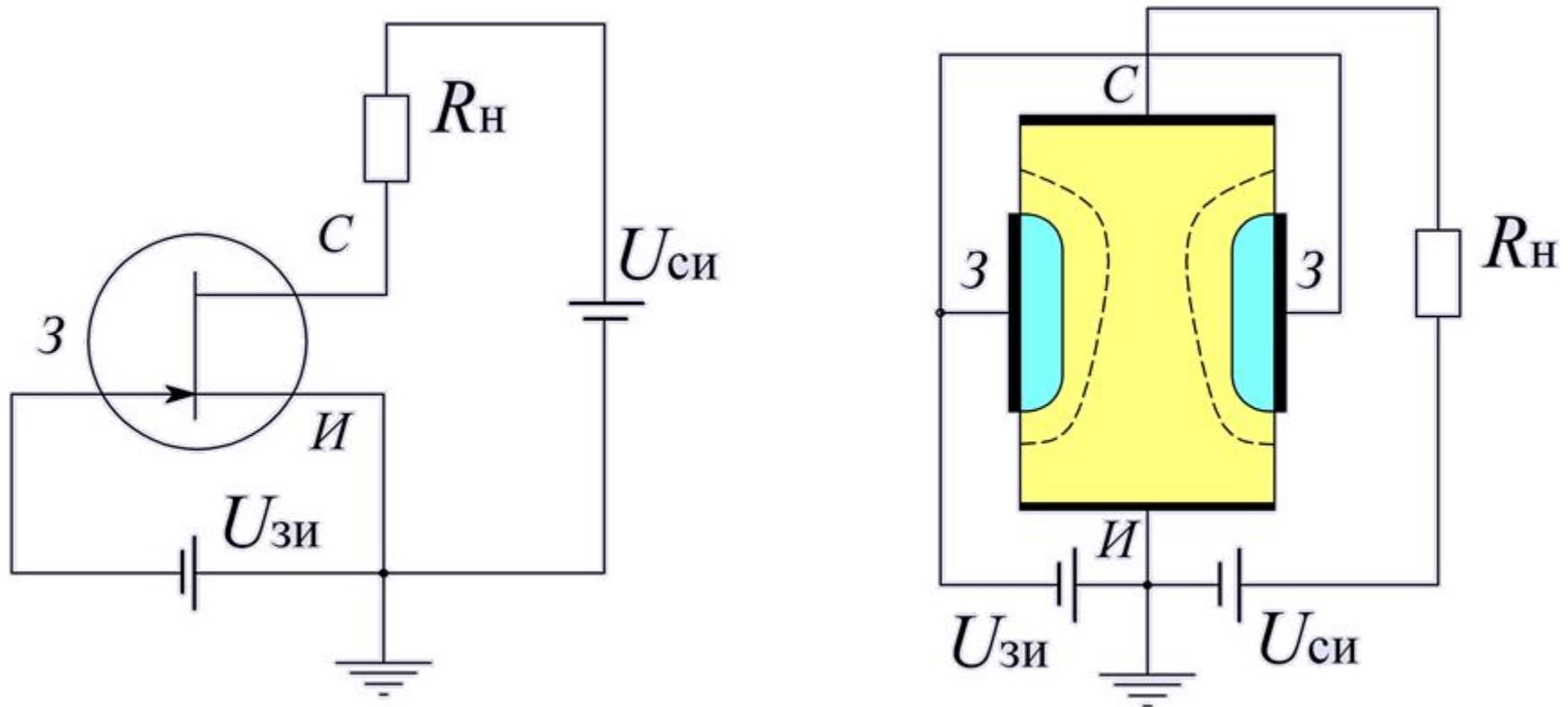
(МДП- транзисторы)

Структура транзистора с управляющим p - n -переходом



С помощью p - n -перехода, включенного в обратном направлении, возможно в объеме кристалла создать область с управляемым сечением, **каналом**, представляющим собой слаболегированный слой полупроводника.

Обозначение и схема включения полевого транзисторов



На управляющий $p-n$ -переход можно подавать только *обратное напряжение*, и поэтому полевой транзистор работает в режиме обеднения канала носителями заряда.

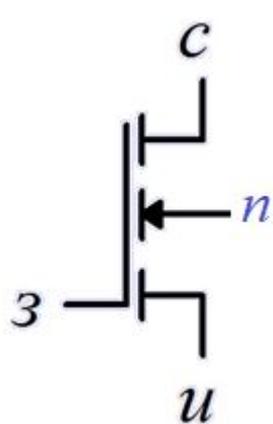
При некотором значении $U_{зи}$ Объем пространственных зарядов (ОПЗ) занимает весь канал ($2w=d_0$) – происходит так называемая *отсечка канала*.

МДП-транзистор

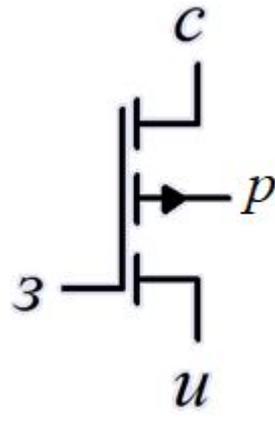
МДП-транзистор называют также *транзистором с изолированным затвором*, так как в отличие от ПТ затвор от полупроводника изолирован окислом.

Условные обозначения МДП-транзисторов

С индуцированным каналом

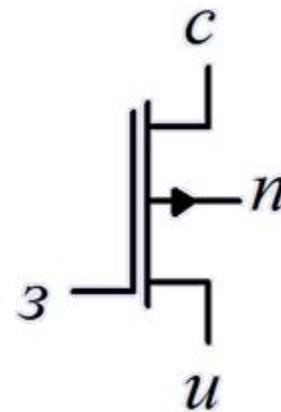


n -канальный

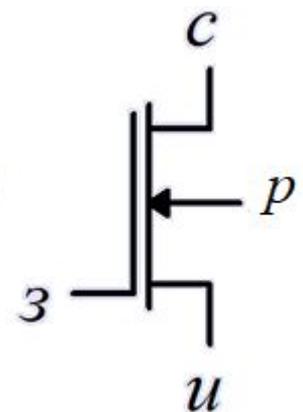


p -канальный

Со встроенным каналом

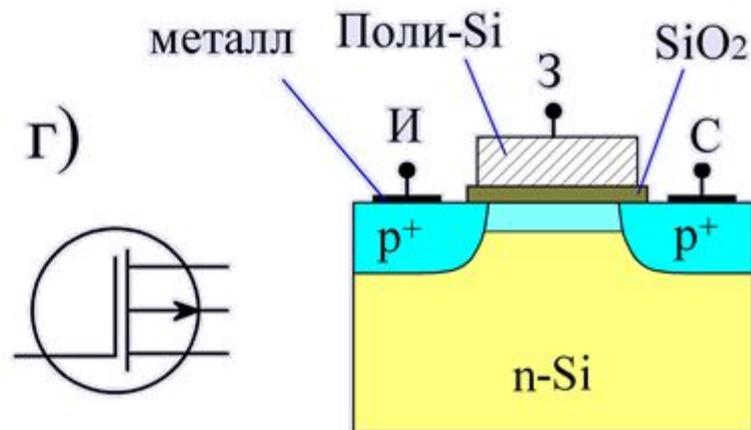
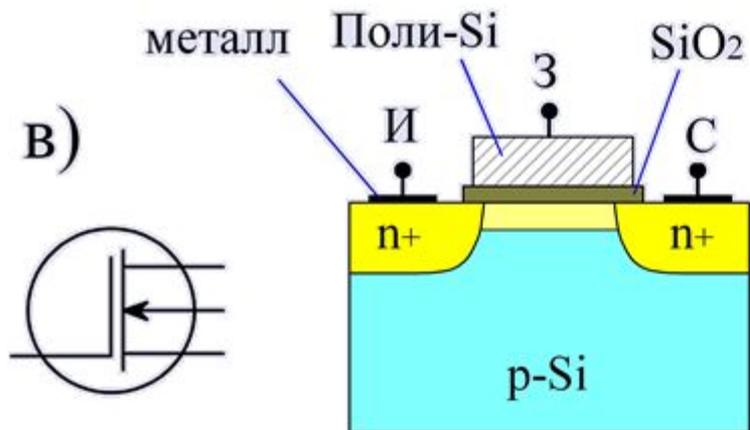
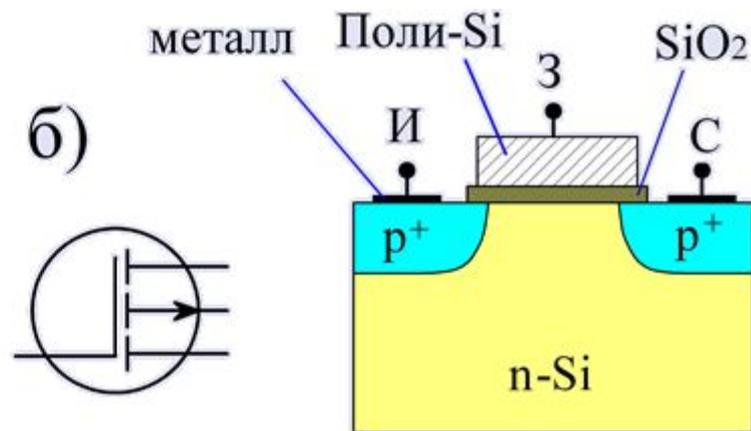
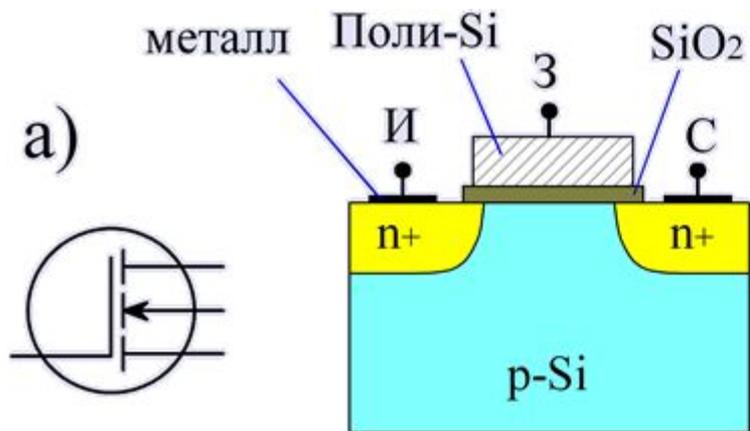


n -канальный



p -канальный

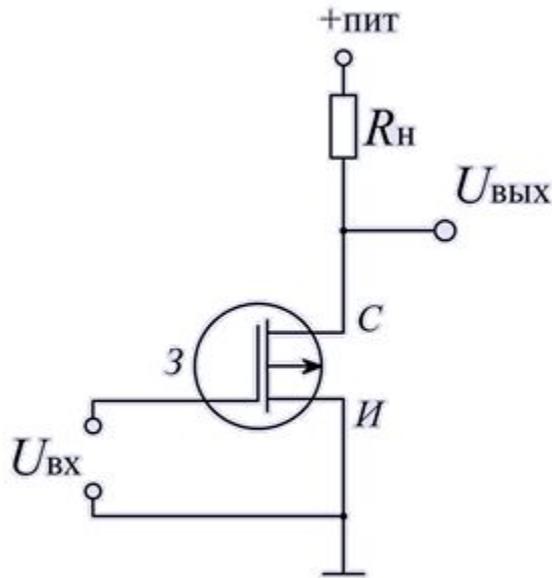
Структуры и обозначения МДП-транзисторов



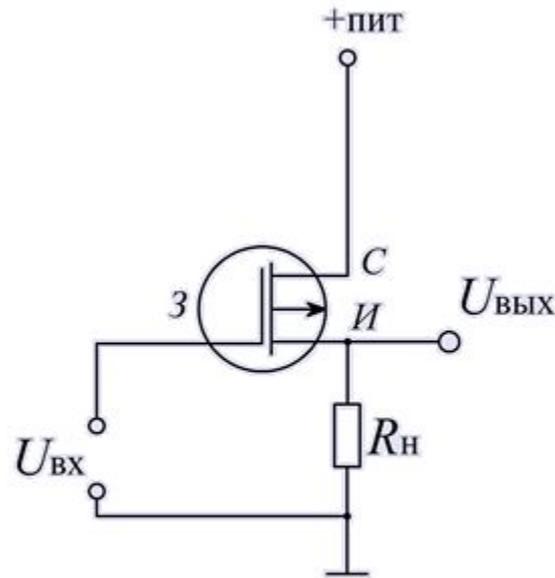
а, б – с индуцированным каналом

в, г – со встроенным каналом

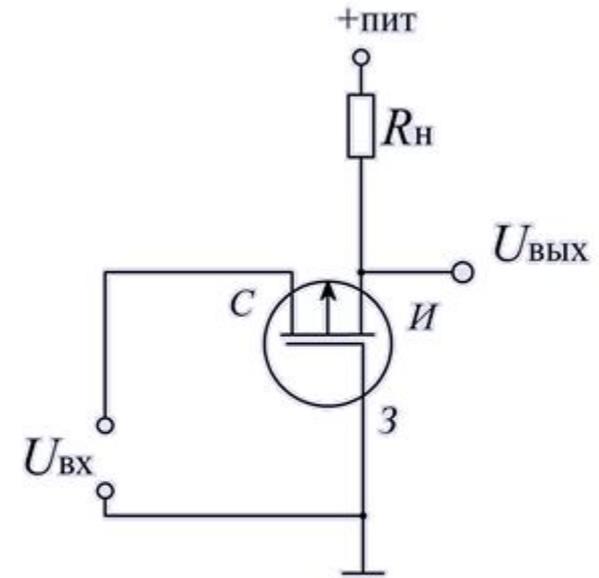
Варианты включения полевого транзистора



а) Общий исток



б) Общий сток

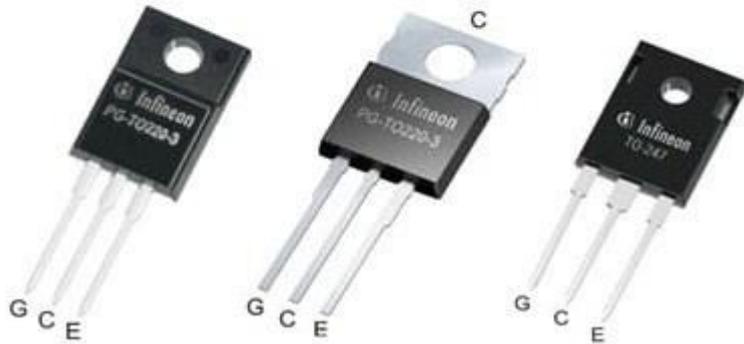
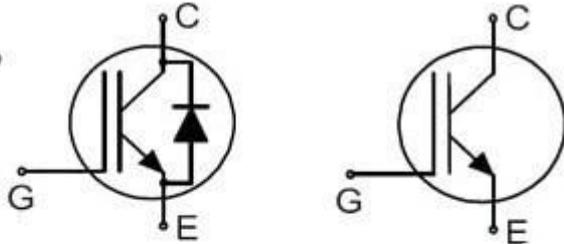


в) Общий затвор

Устройство и особенности работы IGBT - транзисторов

IGBT- биполярный транзистор с изолированным затвором

G - Затвор
C - Коллектор
E - Эмиттер



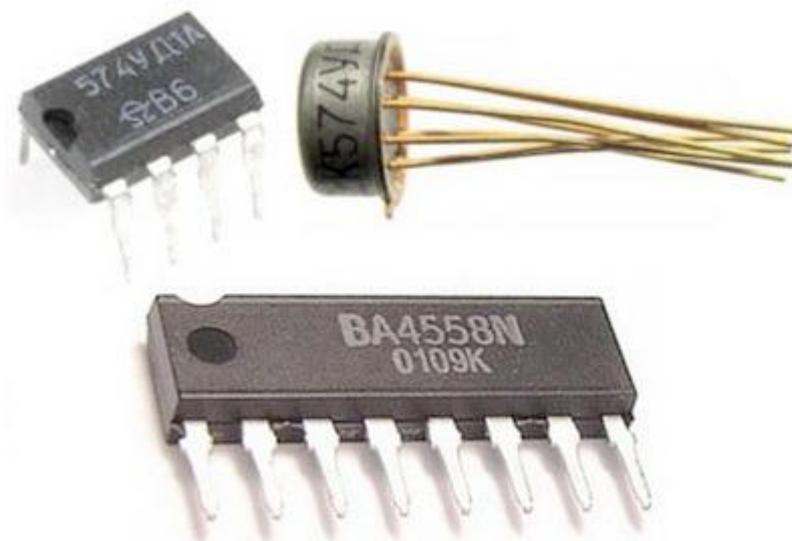
IGBT-

полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого трехслойная структура. Его включение и выключение осуществляются подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком.

Для IGBT с номинальным напряжением в диапазоне **600-4000 В** в полностью включённом состоянии прямое падение напряжения, так же как и для биполярных транзисторов, находится в диапазоне **1,5-3,5 В**.

Это значительно меньше, чем характерное падение напряжения на силовых MOSFET в проводящем состоянии с такими же номинальными напряжениями.

Операционные усилители

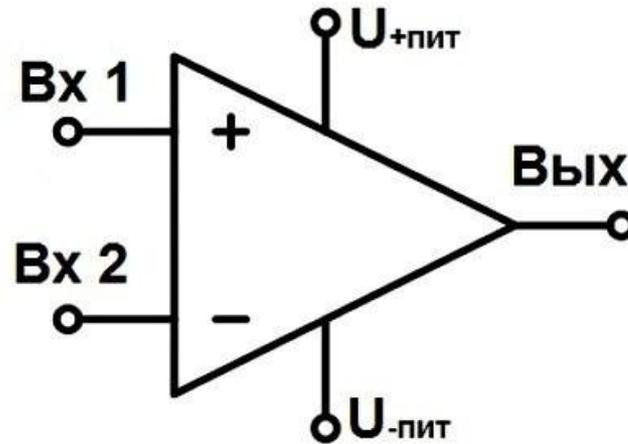
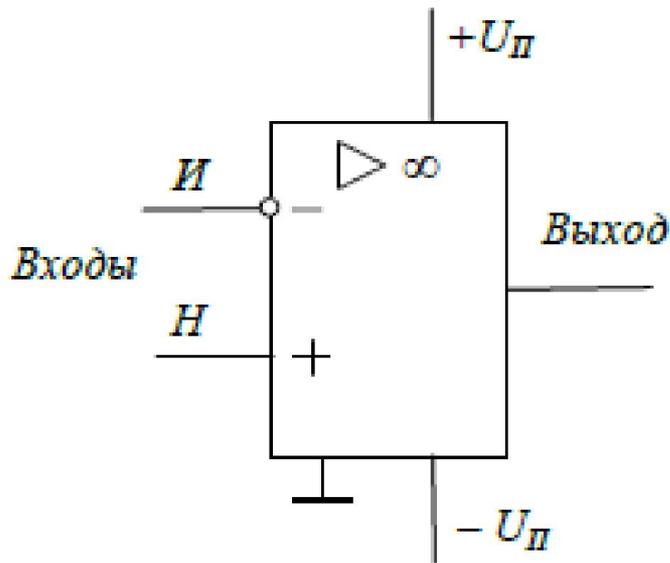


Операционный усилитель (ОУ) – универсальный функциональный элемент в интегральном исполнении (серии К140, К544, К533, КР1040УД, КР1435 и др.), который широко используется для усиления, формирования и преобразования сигналов.

Наименование «*операционный усилитель*» обусловлено тем, что, прежде всего, такие усилители получили применение для выполнения операций над сигналами:

- суммирование;
- дифференцирование;
- интегрирования;
- инвертирования;
- и т.д.

Операционные усилители



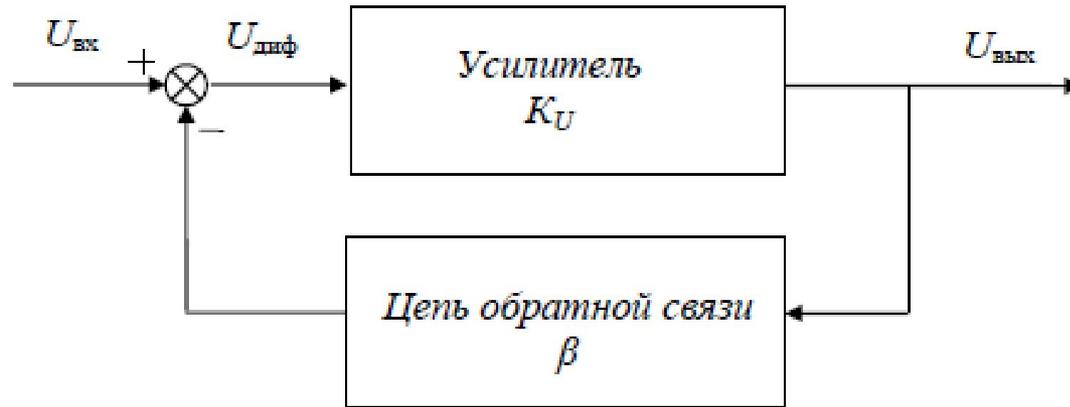
Операционный усилитель имеет два входа: *инвертирующий* (И) и *неинвертирующий* (Н). При подаче сигнала на неинвертирующий вход выходной сигнал совпадает по знаку (фазе) с входным сигналом. Если же сигнал подан на инвертирующий вход, то выходной сигнал имеет обратный знак (противоположный по фазе).

При подаче сигналов на оба входа сигнал на выходе равен:

$$U_{\text{диф}} = k(U_2 - U_1)$$

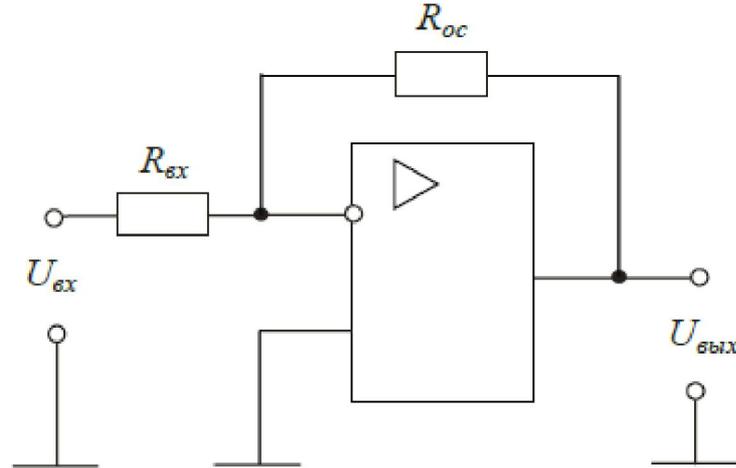
Операционные усилители

Нормальный режим работы операционного усилителя – это режим работы с *обратной связью*.



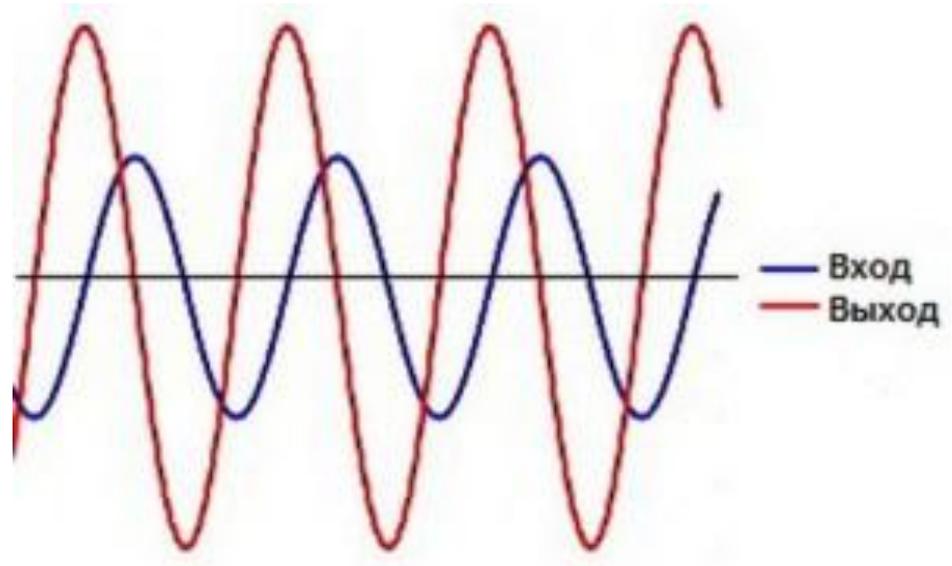
Часть выходного напряжения возвращается через цепь обратной связи к входу усилителя. Если, как это показано на рисунке, напряжение обратной связи вычитается из входного напряжения, обратная связь называется *отрицательной*.

Инвертирующий усилитель

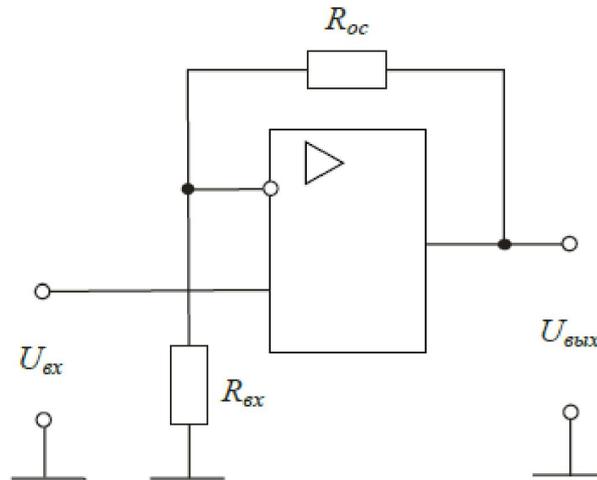


Коэффициент усиления по напряжению инвертирующего усилителя равен:

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{R_{ос}}{R_{ВХ}}$$



Неинвертирующий усилитель



Коэффициент усиления по напряжению инвертирующего усилителя равен:

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{R_{ОС}}{R_{ВХ}} + 1$$

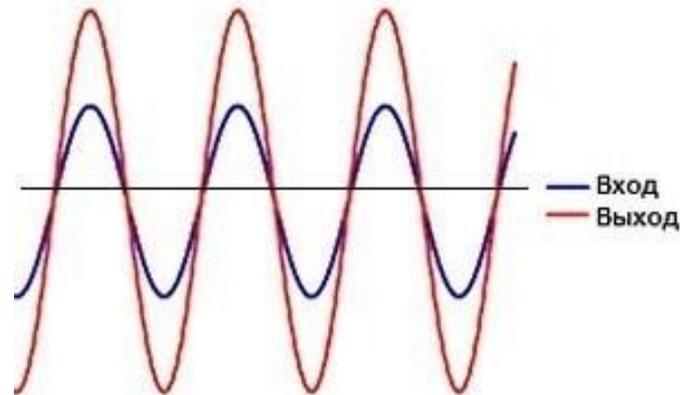
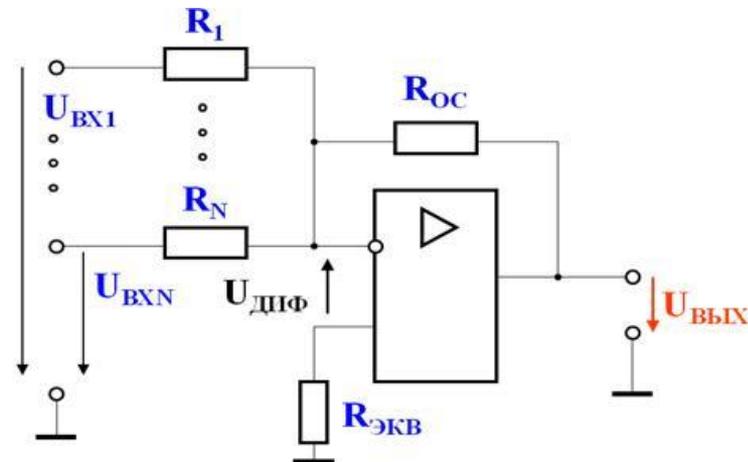


Схема суммирующего ОУ



$$U_{ВЫХ} = \sum U_{BX_i} \frac{R_{OC}}{R_i}$$

Схема интегратора на ОУ

