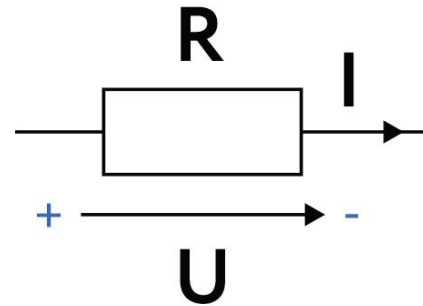


Электронные компоненты цифровых устройств

Законы Ома

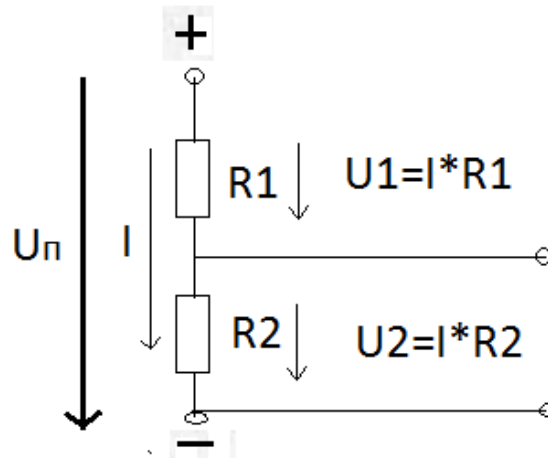
- Закон Ома для участка цепи:

$$U = I \cdot R$$



- Закон Ома для полной цепи:

- Сумма падений напряжений на отдельных участках цепи равна приложенному напряжению питания



$$U_n = U_1 + U_2 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

$$U_2 = U_n - U_1 = U_n - I \cdot R_1$$

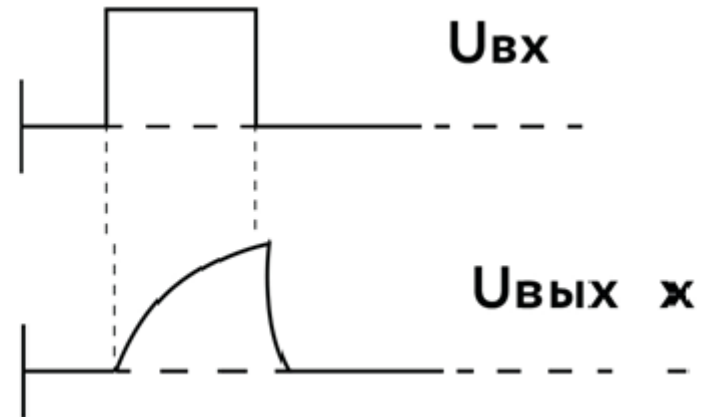
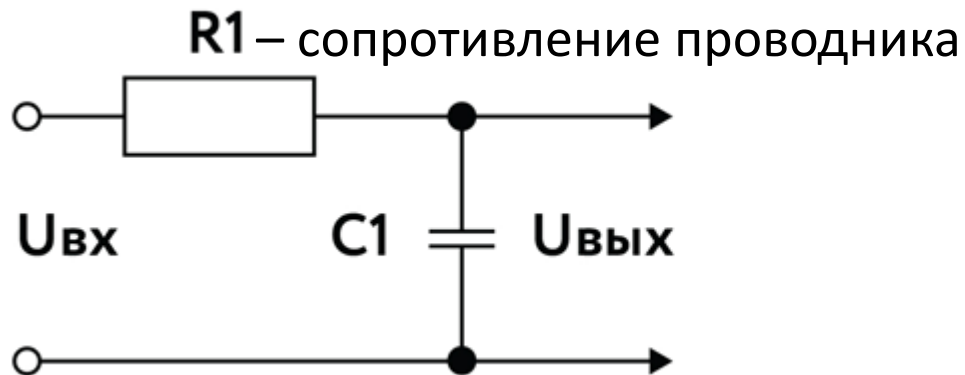
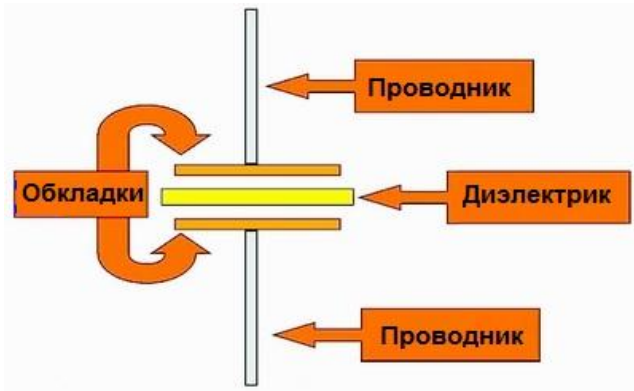
Мощность тока (постоянного)

- **Мощность электрического тока** выделяемая на сопротивлении R пропорциональна квадрату протекающего через него тока

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Ёмкость/конденсатор

Конденсатор – система, состоящая из проводников и диэлектрика, служащая для накопления заряда.



- Конденсатор «затягивает» /искажает фронты цифрового сигнала

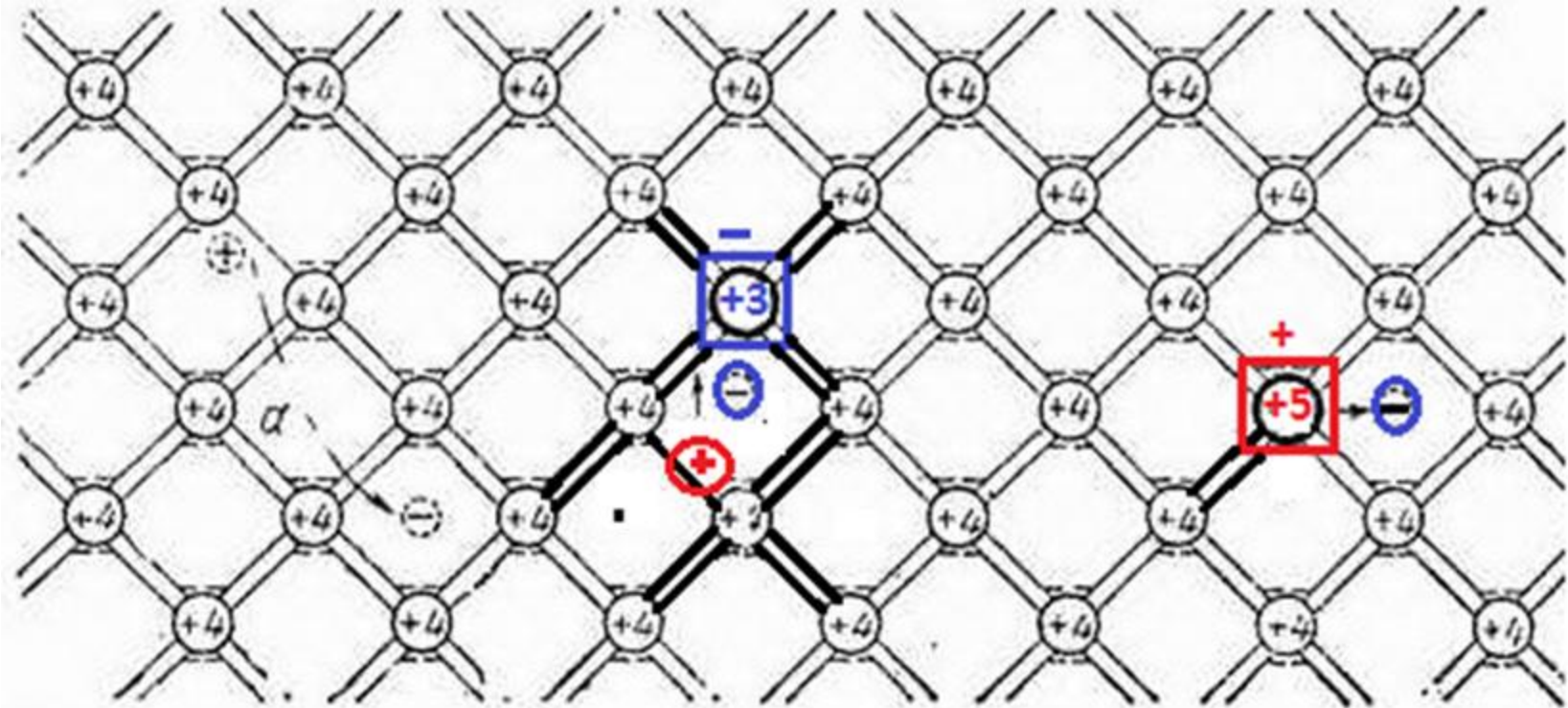
Конденсатор

При некачественном диэлектрике в конденсаторе возникают сквозные постоянные токи, которые приводят к «закипанию» и взрыву конденсатора.



Активные элементы электронных устройств

Электроны и дырки



Si Кремний - 4 электрона

As Мышьяк - 5 электронов

In Индий - 3 электрона

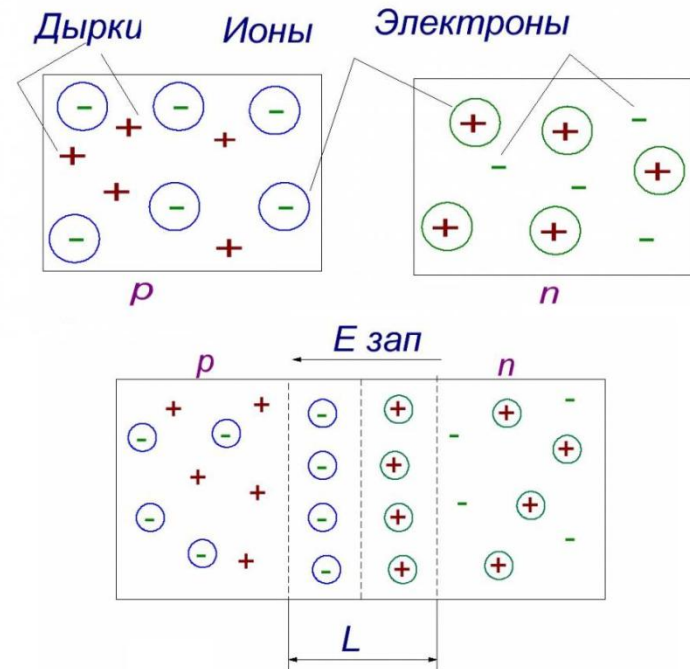
Полупроводник с избытком электронов называется полупроводником **N-типа**

Полупроводник с избытком дырок называется полупроводником **P-типа**

Пояснения к предыдущему слайду

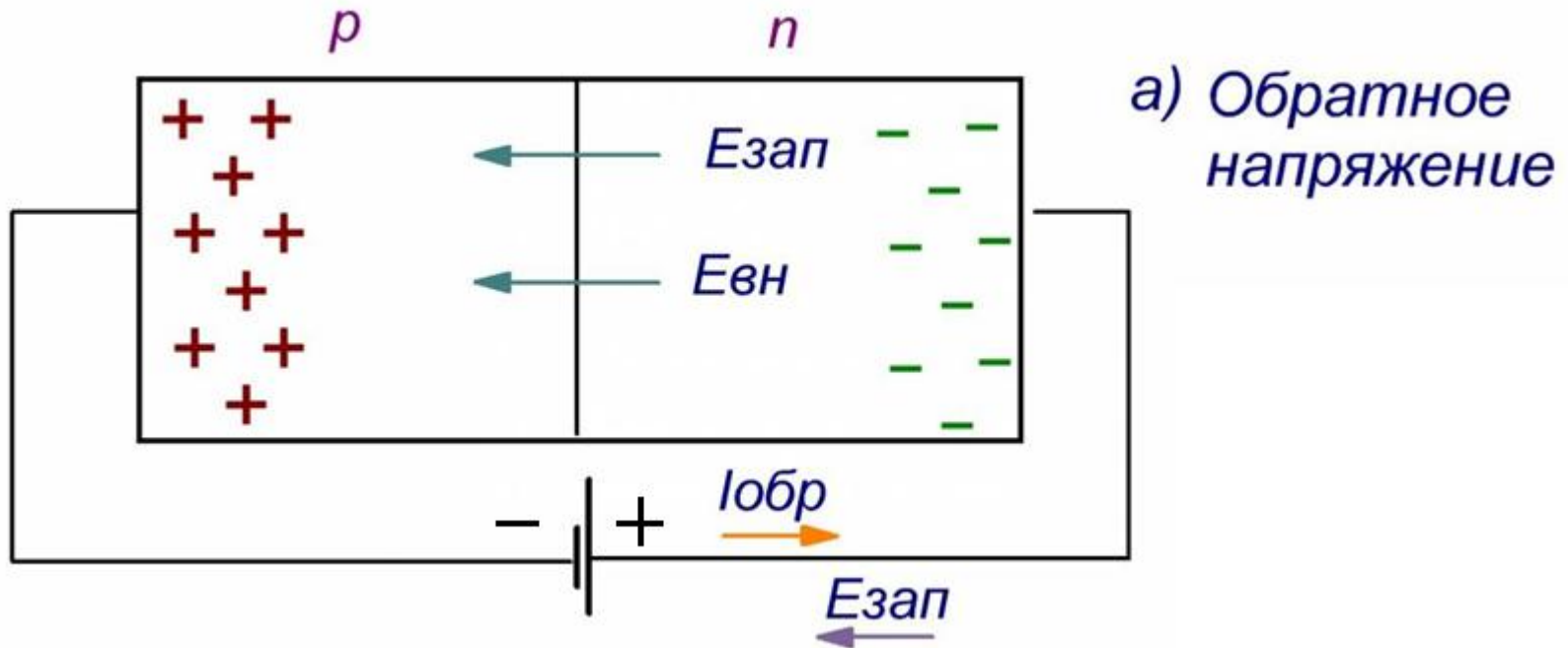
- Атом состоит из:
- Ядра (протоны+нейтроны) и электронов. Электроны находятся на разных орбитах. Электроны, которые находятся на самых крайних орбитах называются валентными и служат для образования парных связей с ядрами других атомов.
- Валентный электрон может отрываться от атом и становится свободными, а на его месте образуется дырка и атом становится положительно заряженным ионом. При нормальных условиях количество свободных электронов и дырок в полупроводниках не велико.
-
- У атома кремния всего 14 электрона, но четыре из них валентные.
-
- Если в кремний добавить примесь, Например мышьяк, у которого 5 валентных электронов, то атомы мышьяка заменят атомы кремния и четыре из пяти электронов мышьяка образуют парные (ковалентные связи) с соседними атомами кремния, а пятый становится свободным. При этом атом примеси, потерявший электрон становится положительно заряженным (ионом). Количество дырок при этом не увеличивается. Такой полупроводник называется полупроводником n-типа.
- Если в кремний добавить индий, у которого три валентных электрона, то он образует три парные связи с соседними атомами, а четвертая связь будет не заполненной. И тогда электроны из соседних атомов могут заполнять эту связь. В результате на месте электрона образуется дырка. При этом атом индия с дополнительным электроном становится отрицательно заряженным (ионом). Такой полупроводник называется полупроводником p-типа

Свойства p—n перехода



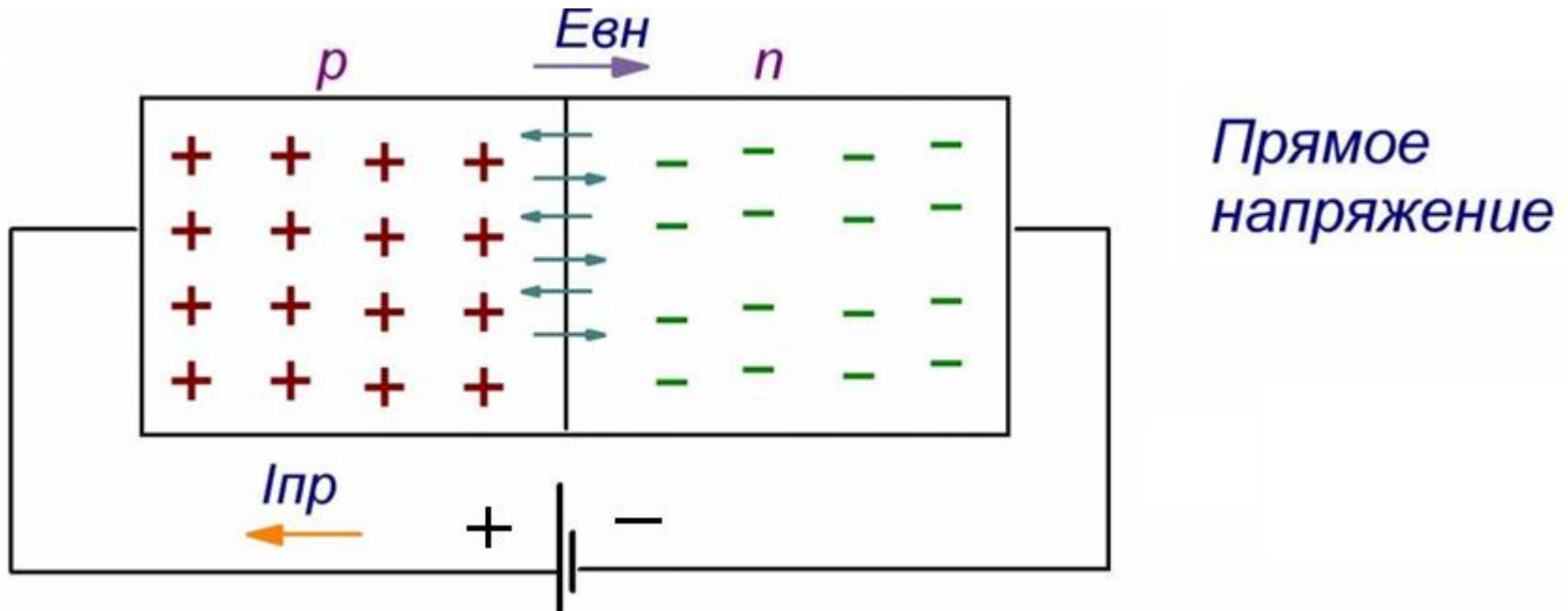
При соединении двух полупроводников дырки и электроны начинают двигаться на встречу друг другу и взаимно уничтожаются (рекомбинируют), образуя нейтральные атомы, в результате на границе образуется обедненный слой в котором отсутствуют дырки и электроны, а остаются положительно и отрицательно заряженные атомы (ионы) примеси, которые создают запирающий слой (запирающее напряжение **$E_{\text{зап}} = 0.3-0.6$ Вольт**) и ток ток через p-n переход уменьшается.

Свойства р—n перехода



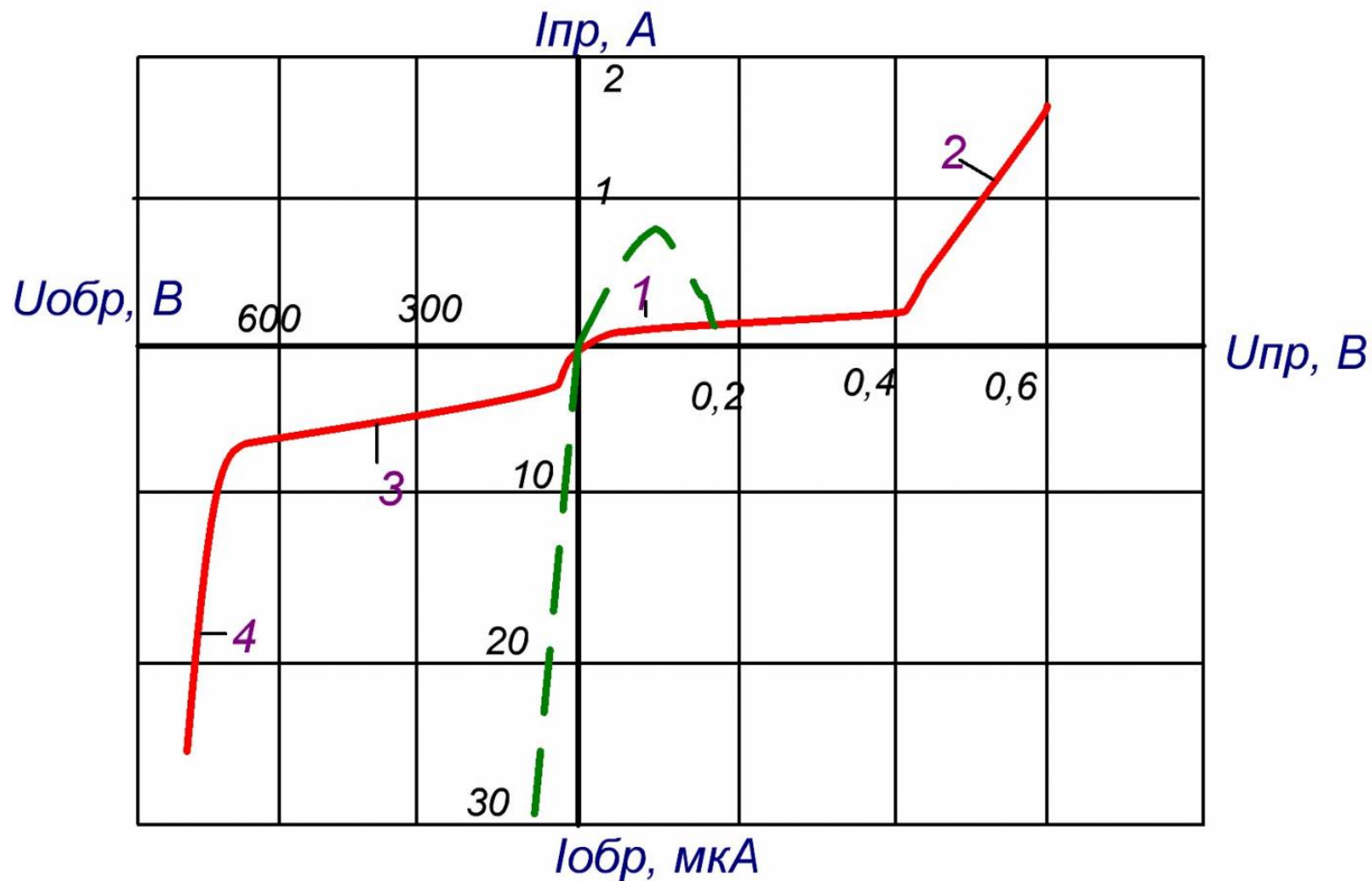
При подаче на р-п переход внешнего напряжения, совпадающего по направлению с начальным запирающим напряжением, запирающий слой расширяется и переход закрывается. Тока нет.

Свойства р—n перехода



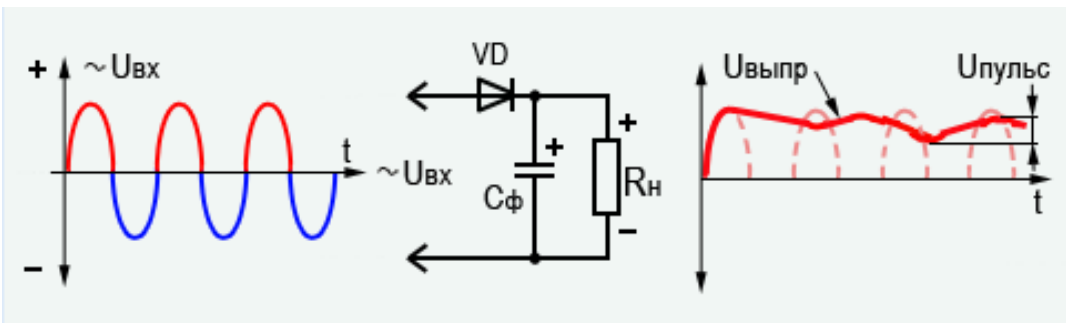
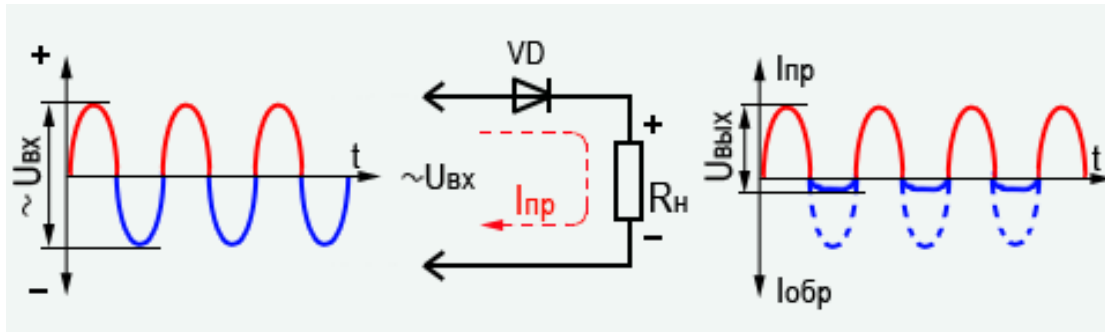
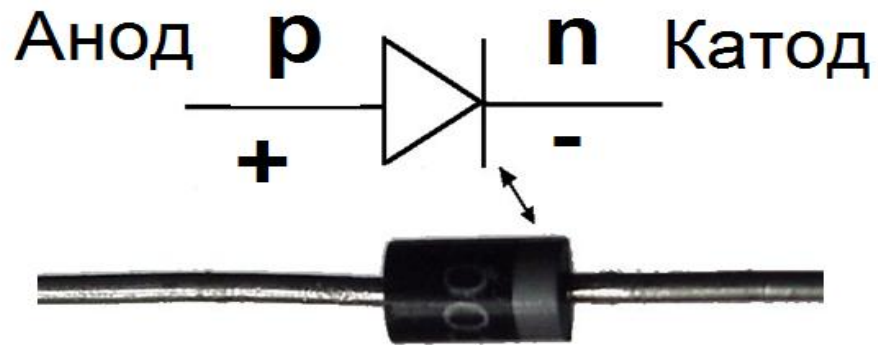
При подаче на р-п переход внешнего напряжения (0,3-0,6) Вольт, противоположного по направлению к начальному запирающему напряжению, запирающий слой уменьшается и переход открывается и через него течет ток.

p—n переход = диод



Вольт-амперная характеристика
p-n-перехода

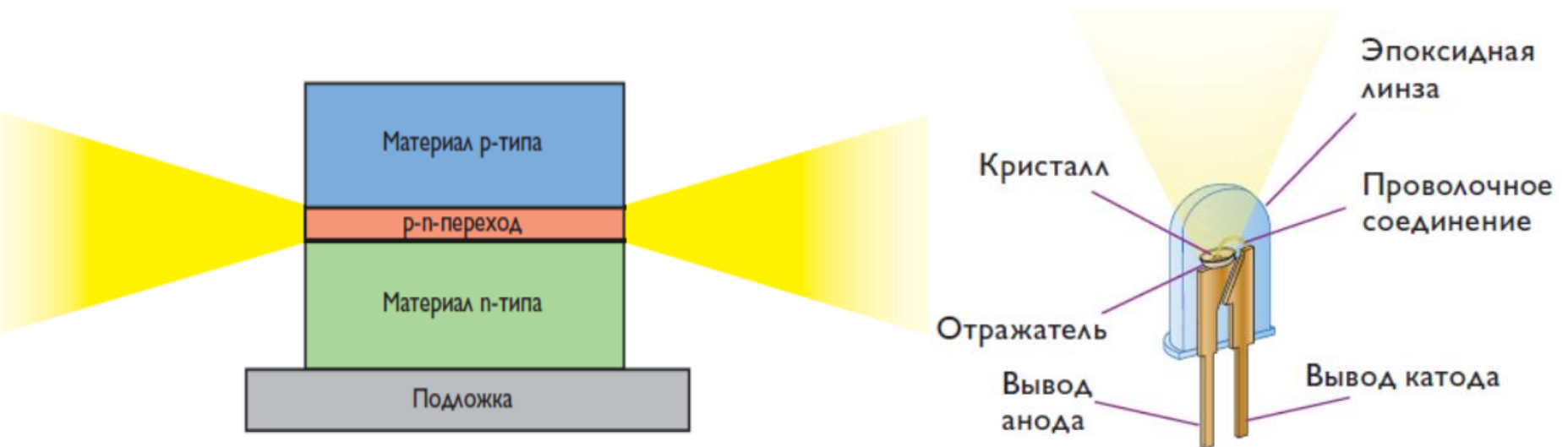
Диод-выпрямитель



Светодиоды

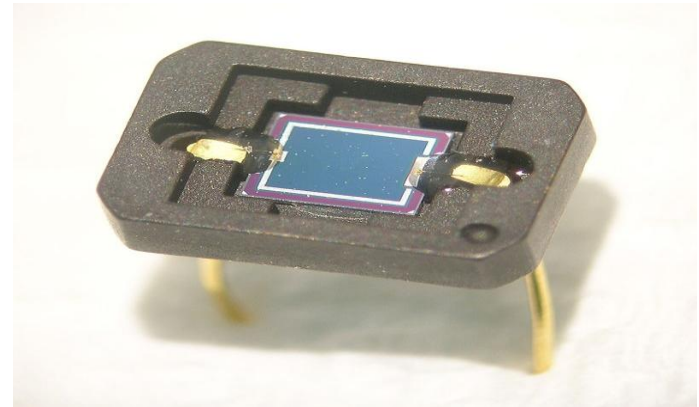
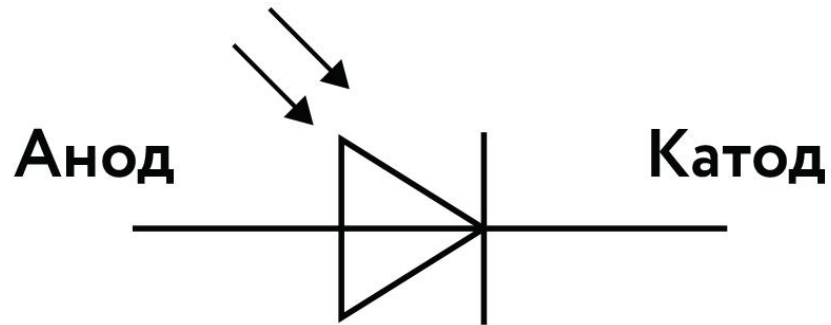
Когда избыточные электроны переходят из материала n-типа в материал p-типа и рекомбинируют (объединяются) с дырками, происходит выделение энергии в виде фотонов, элементарных частиц (квантов) электромагнитного излучения.

Разные полупроводниковые материалы испускают фотоны разного цвета.

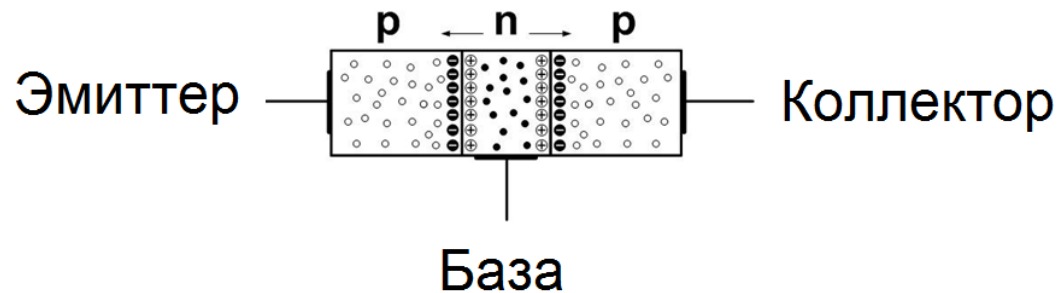


Фотодиод

Фотодиод — это элемент в котором протекающий через светодиод ток будет зависеть от падающего на р-n – переход света (детектор изображения).



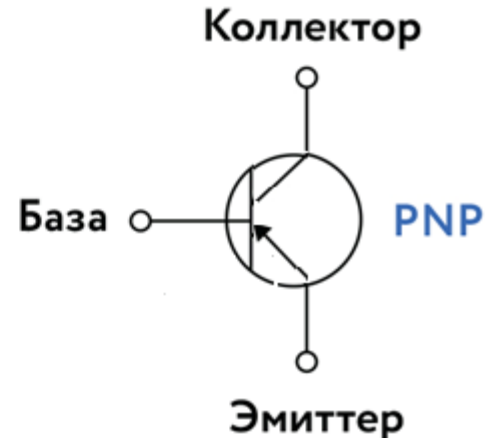
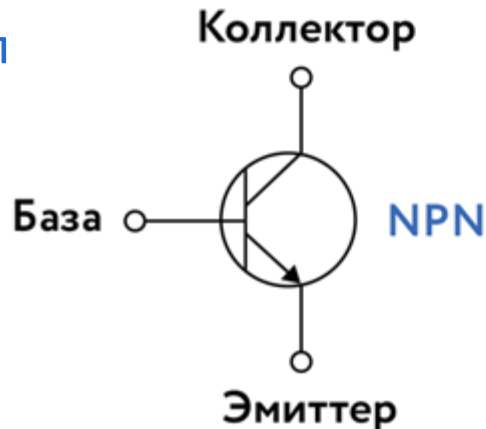
Биполярный транзистор (1947 год)



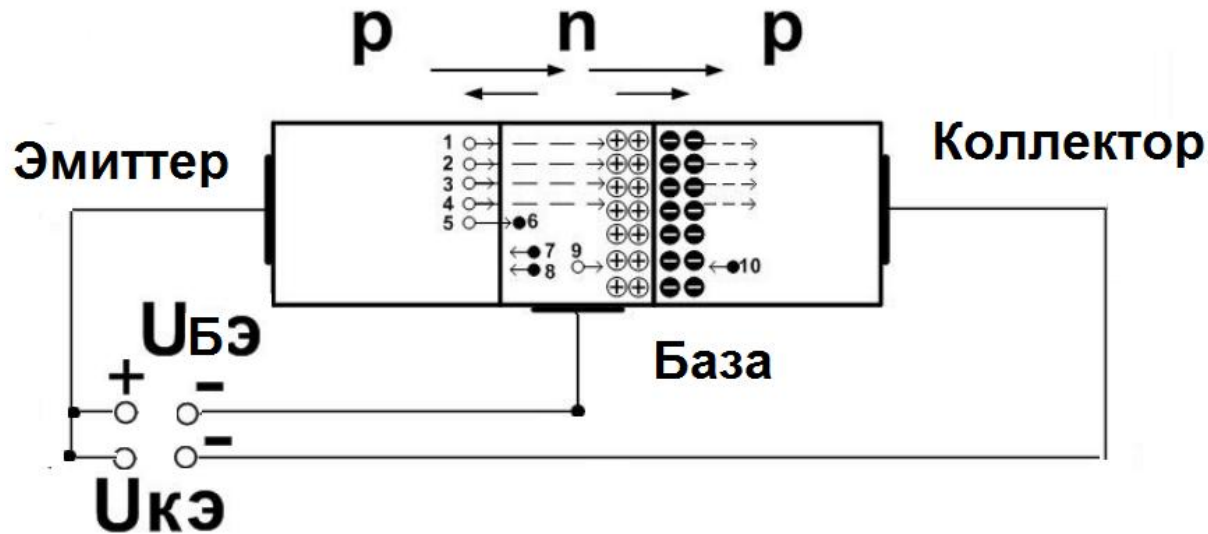
Транзистор представляет собой два включенных последовательно р-n –перехода:

- база -- эмиттер;
- база -- коллектор.

Без вх нап



Биполярный транзистор (1947 год)

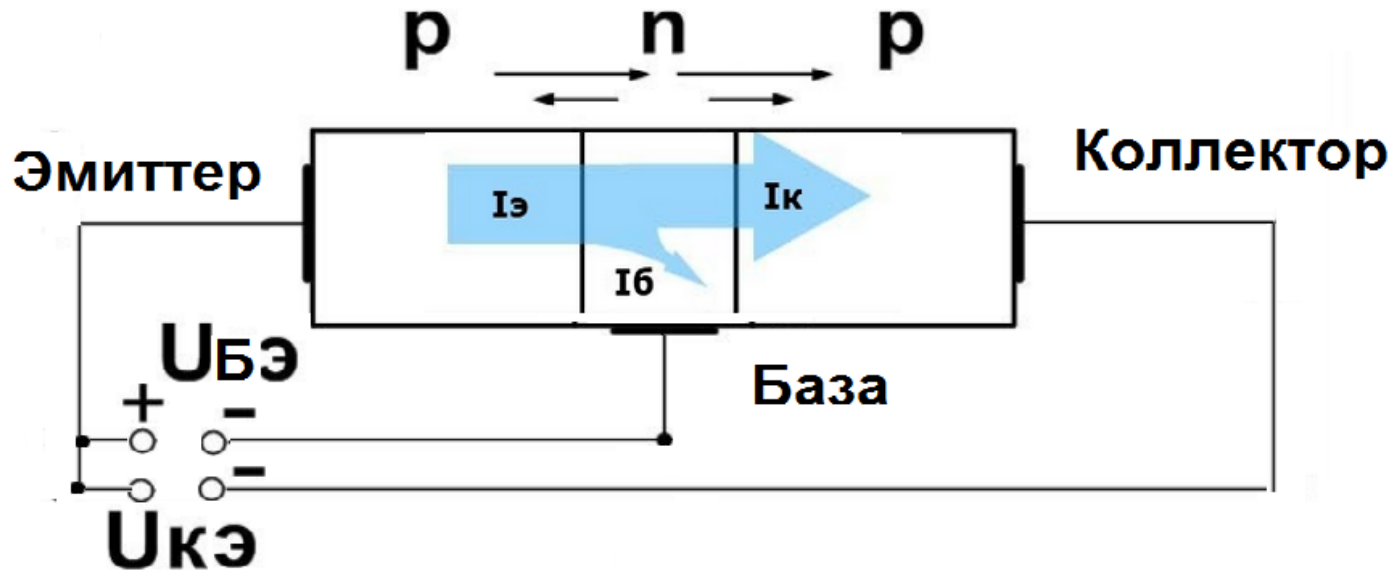


Транзистор представляет собой два включенных последовательно р-п –перехода:

- база -- эмиттер;
- база -- коллектор.

$$U_{Бк} \gg U_{Бэ}$$

Биполярный транзистор



Количество основных носителей в базе делают не большим, поэтому ток базы намного меньше тока эмиттера.

«Малый ток базы управляет «большим током коллектора»»

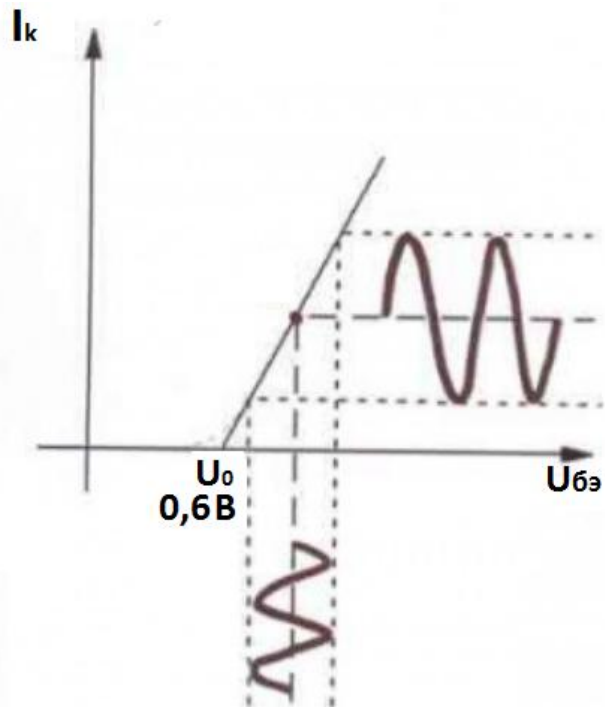
$$I_{Э} = I_{Б} + I_{К}$$

$$b = \frac{I_{Э}}{I_{Б}} \text{ - коэффициент усиления по току}$$

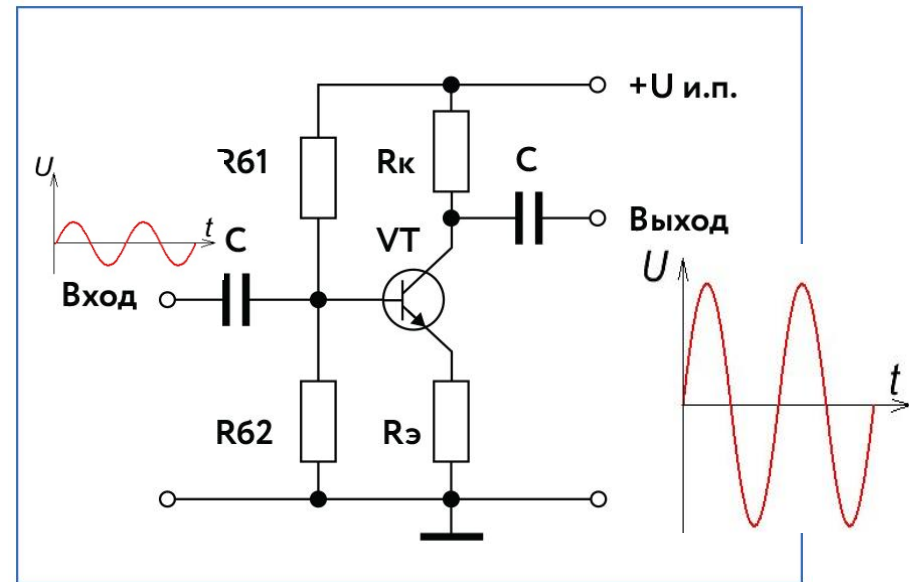
Пояснения к работе транзистора

- При подаче напряжения смещения $U_{бэ}$ (прямое) и $U_{бк}$ (обратное) ($U_{бк} \gg U_{бэ}$) на транзистор, переход база – эмиттер открывается, а переход база - коллектор закрывается.
- Свободные носители (в нашем примере дырки) проникают с эмиттера в базу, где подхватываются большим напряжением коллектора и проходят через закрытый переход база – коллектор.
- Через транзистор течет ток
- Изменяя напряжение $U_{бэ}$ изменяется ширина запирающего слоя и ток через транзистор.
- Концентрация примесей в базе маленькая, т.е. в p-n-p электронов мало, то при открытом базовом переходе если дырки рекомбинируют электроны базы, новые приходят с электрода базы от источника питания. Так как электронов не много, то и ток базы будет малым

Передаточная характеристика б.п. транзистора

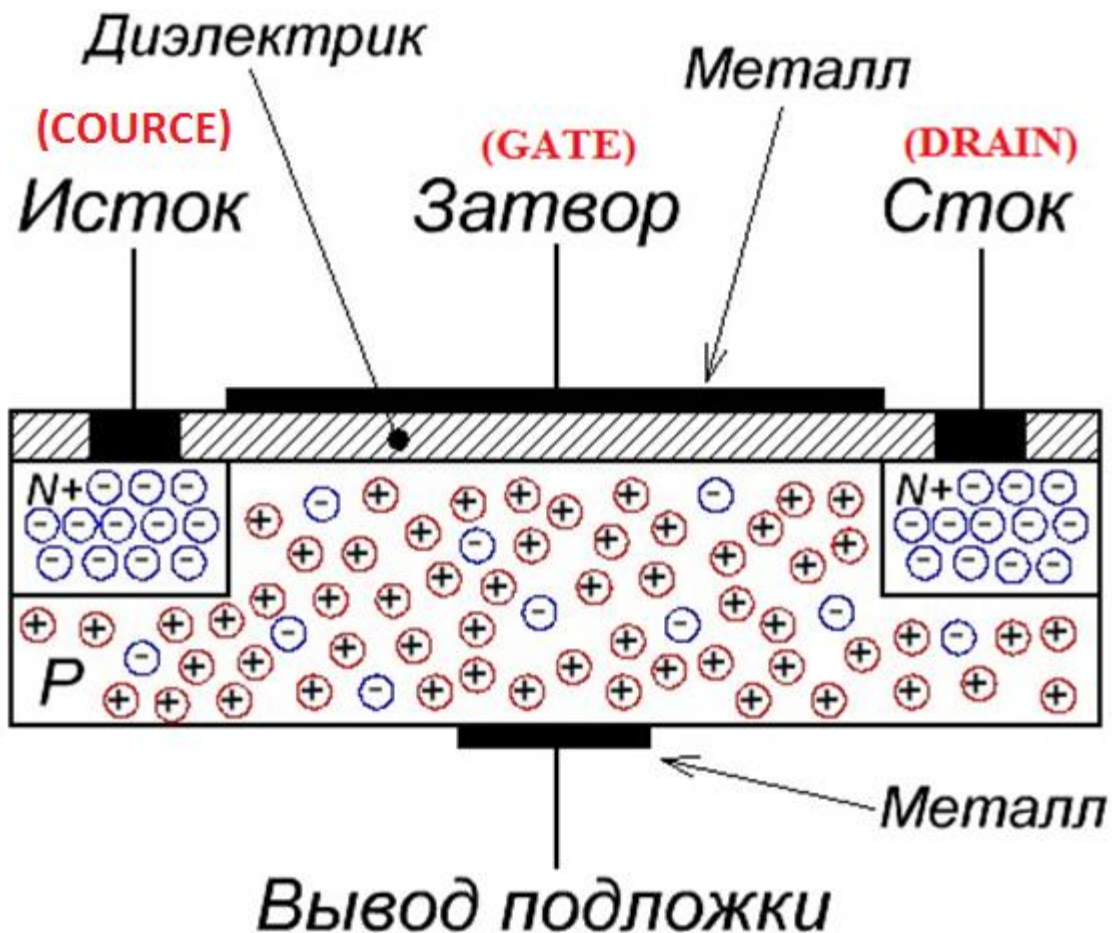


Передаточная характеристика

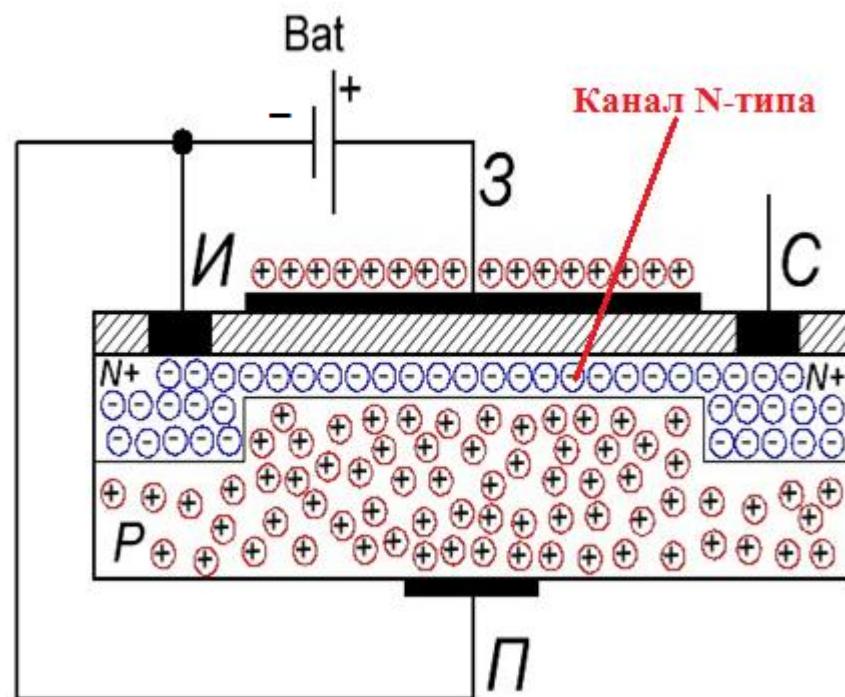
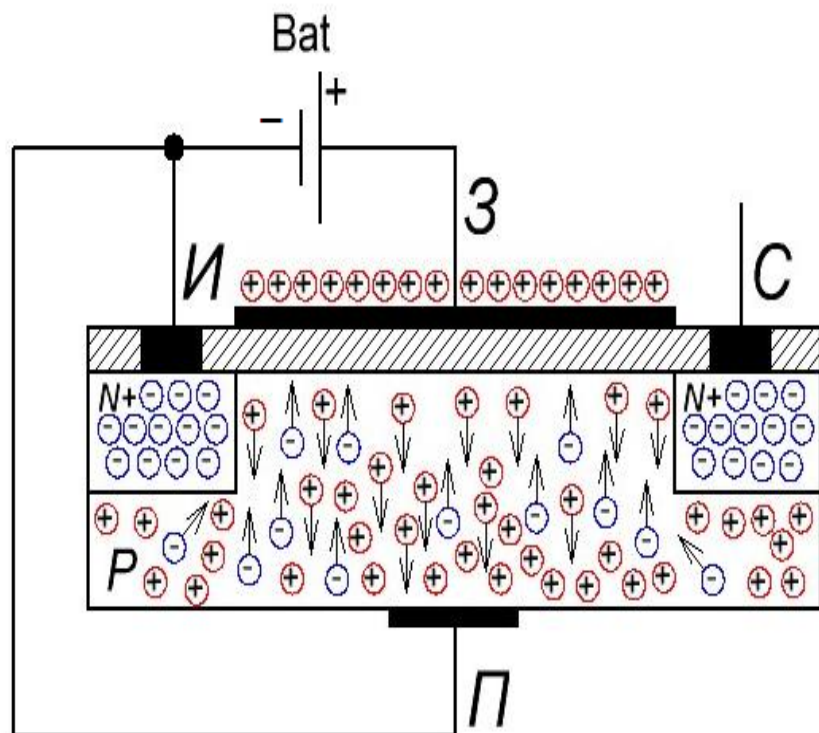


Усилительный каскад

Полевой транзистор

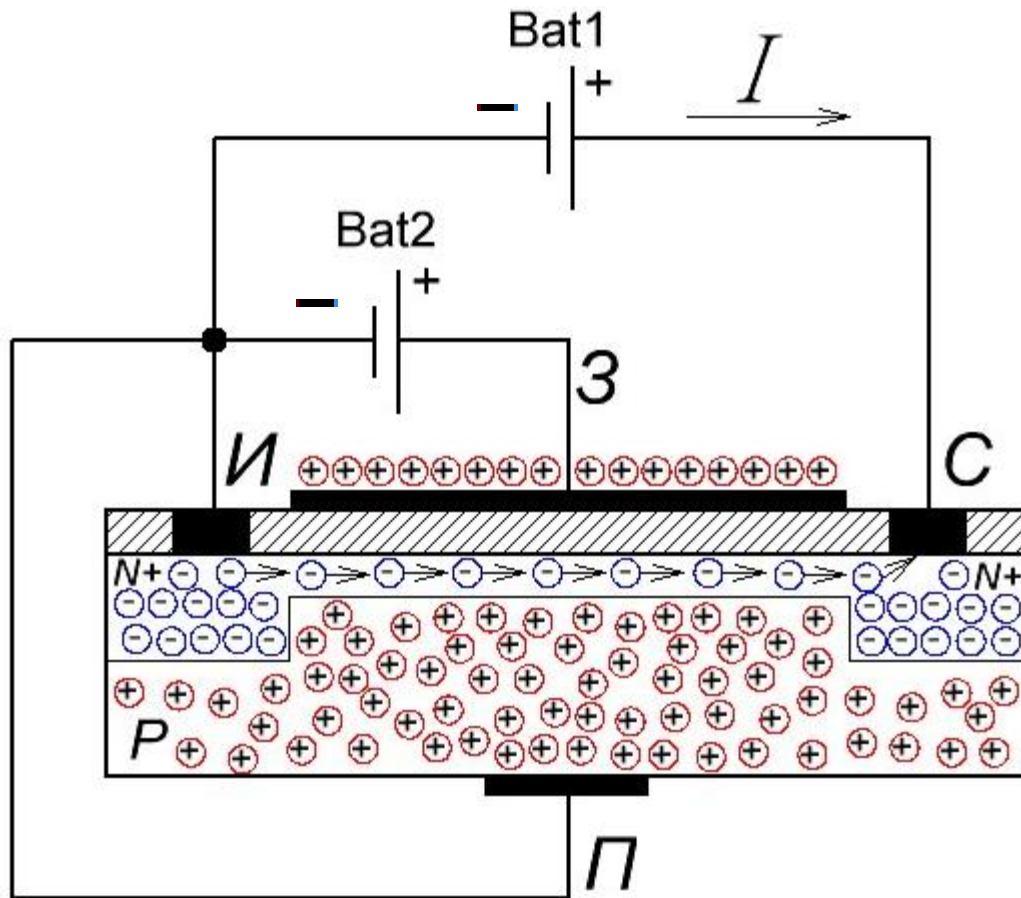


Образование канала



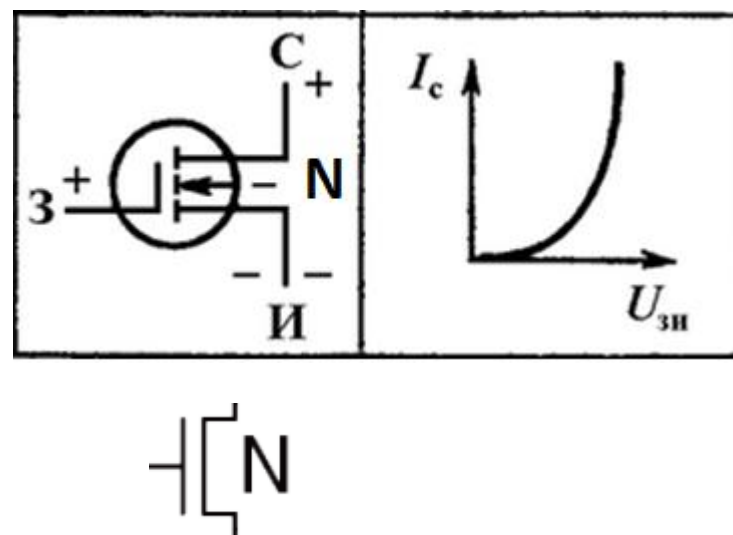
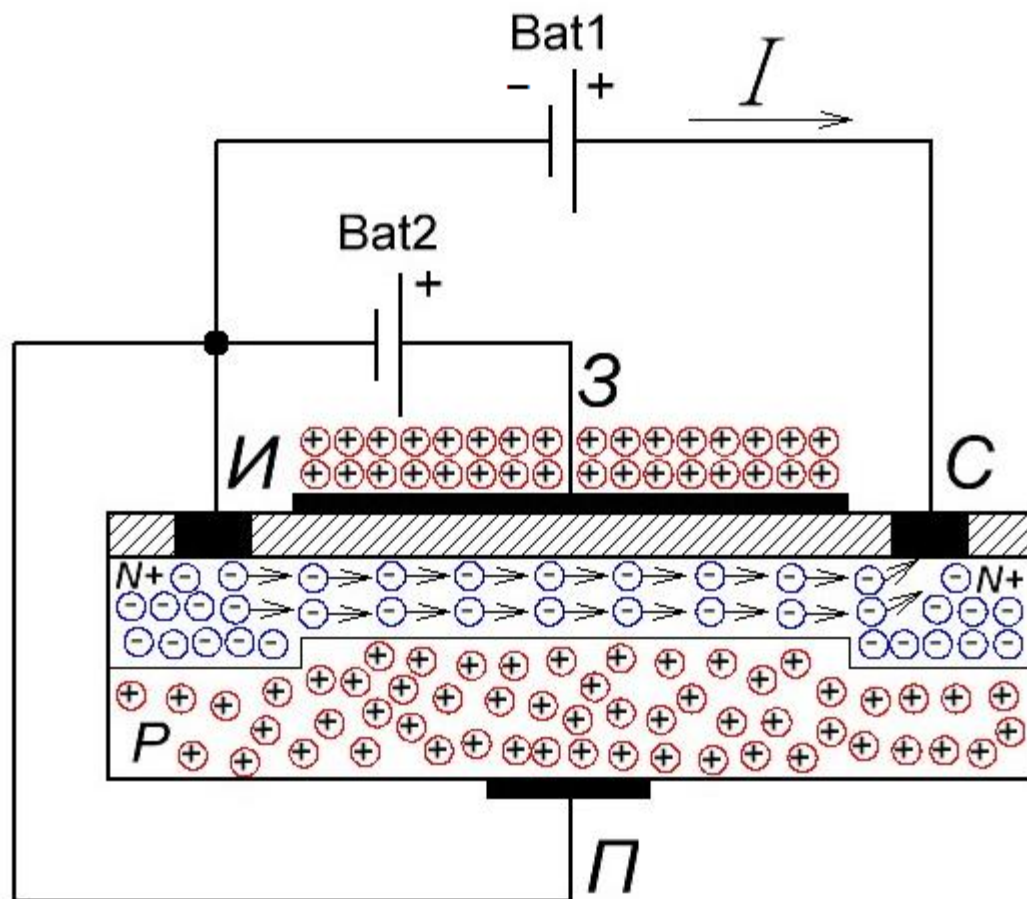
При подаче напряжения (2-4 вольта) на затвор более положительного относительно истока под диэлектриком образуется поле, которое притягивает электроны из P области и отталкивает дырки - **появляется токопроводящий канал N - типа**

Ток канала



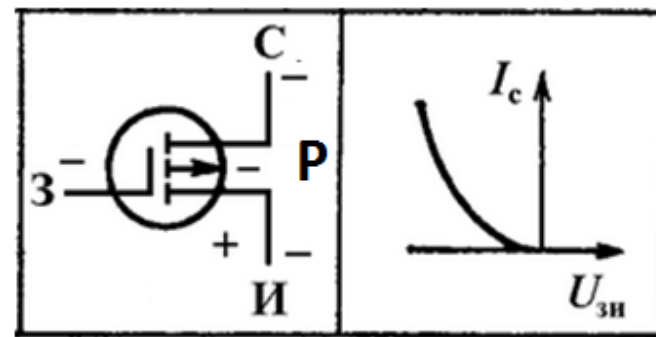
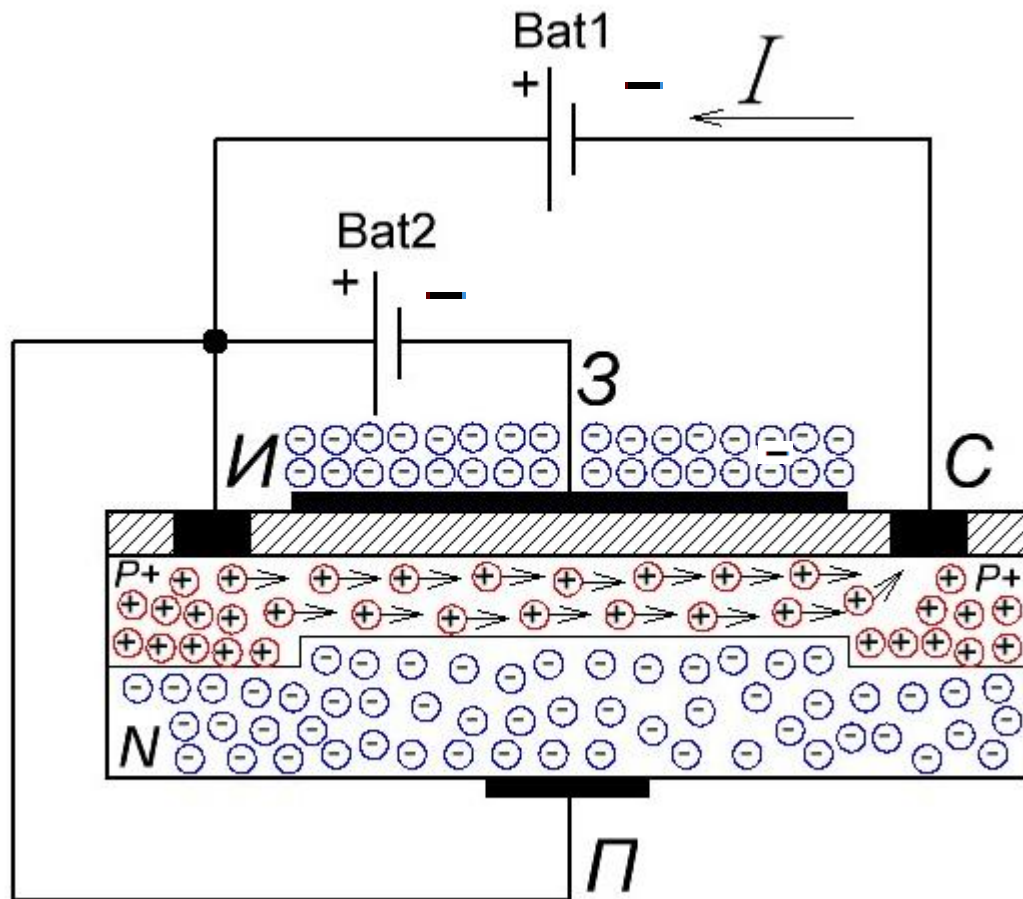
- При подаче положительного напряжения на сток электроны от истока начинают двигаться **по каналу** к стоку, появляется ток.

Полевой транзистор N-типа



- Чем больше напряжение на затворе, тем шире канал и больше ток

Полевой транзистор Р-типа



Транзистор с **каналом Р**- типа образуется дырками при подаче на затвор напряжения более отрицательного, относительно истока и отрицательного напряжения на сток

Типы полевых транзисторов

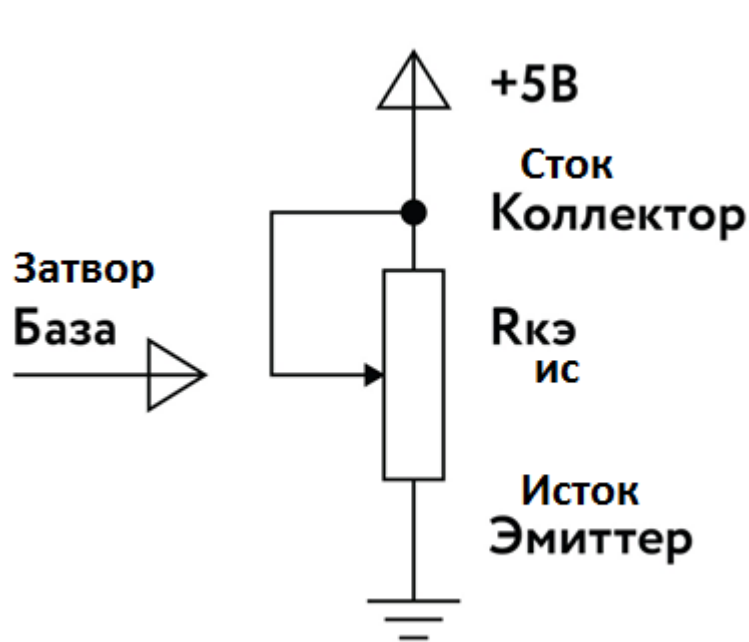
В зависимости от способа организации управляющего поля полевые транзисторы бывают трех типов.

Тип транзистора	С каналом n-типа		С каналом p-типа	
	Полярность напряжений	Вольт-амперная характеристика	Полярность напряжений	Вольт-амперная характеристика
С управляющим p-n-переходом				
МДП со встроенным каналом				
МДП с индуцированным каналом				

Достоинства полевых транзисторов

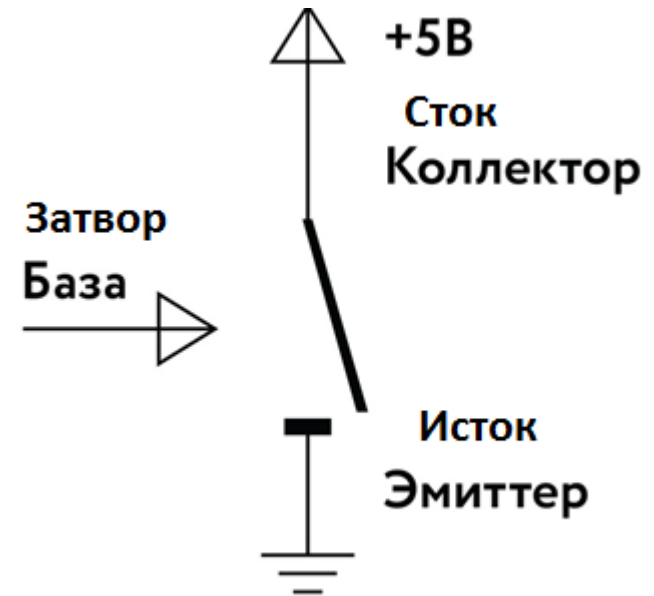
- **Меньшее потребление мощности**
 - полевые транзисторы управляются электрическим полем, управляющий ток затвора значительно меньше управляющего тока базы биполярного транзистора, поэтому они потребляют меньше мощности
- **При изготовлении занимают меньше места на кристалле.**
- **Микросхемы цифровой техники чаще изготавливаются на основе полевых транзисторов.**

Режимы работы транзистора



Линейный режим

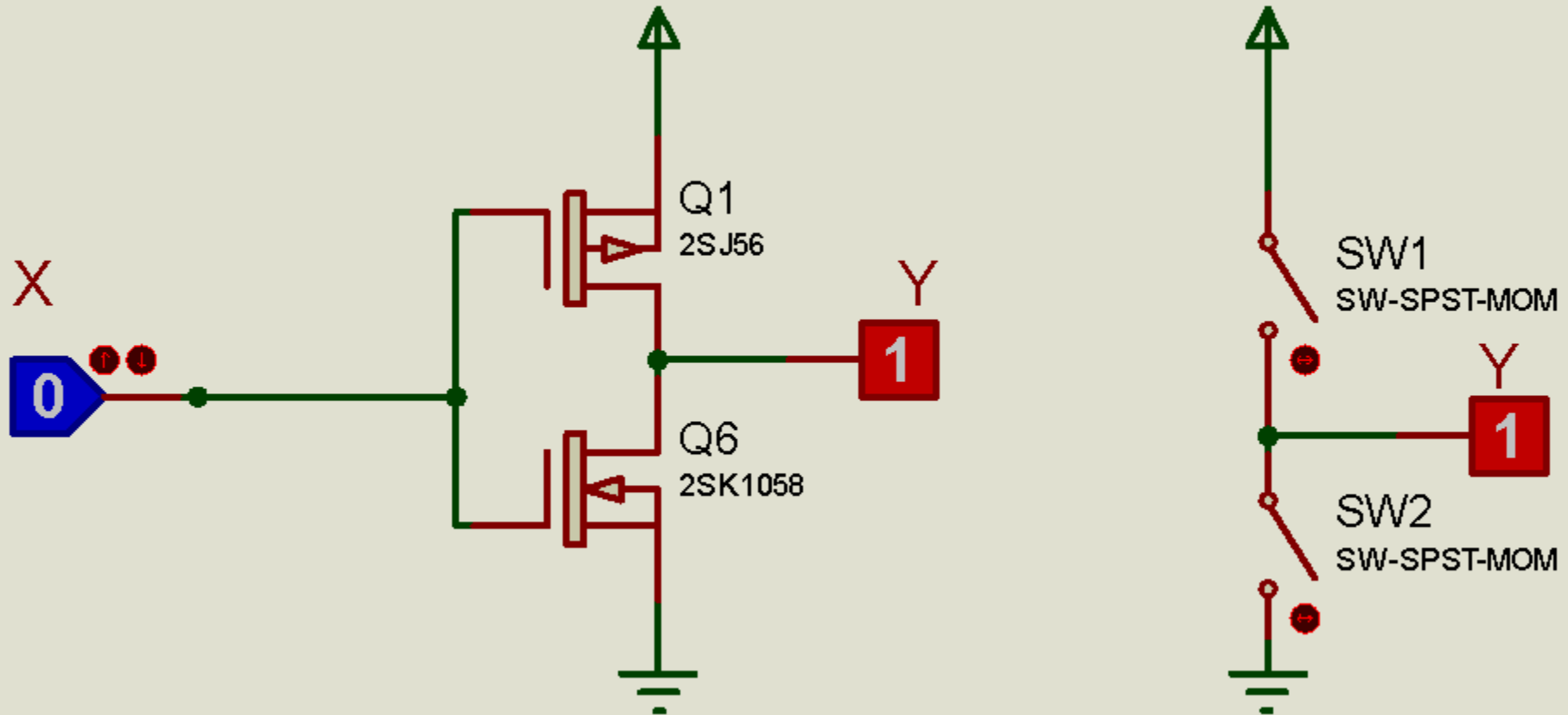
- Для усиления аналоговых (непрерывных) сигналов.
- Рассеиваемая на транзисторе мощность максимальна.



Ключевой режим

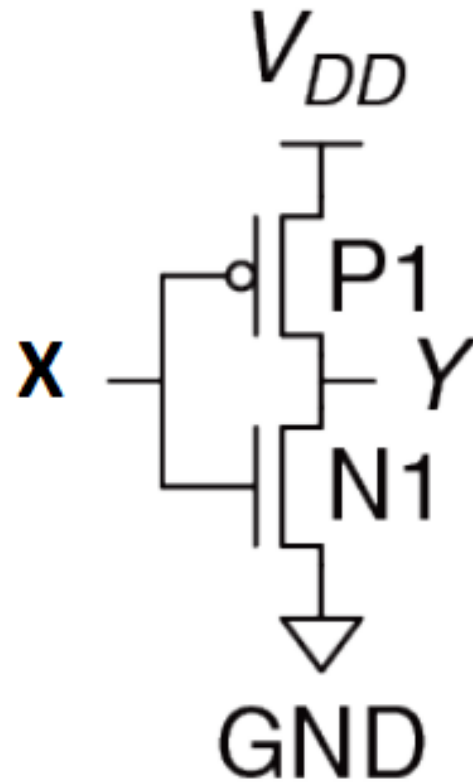
- Для работы с цифровыми сигналами.
- Рассеиваемая мощность минимальна.

Элемент НЕ

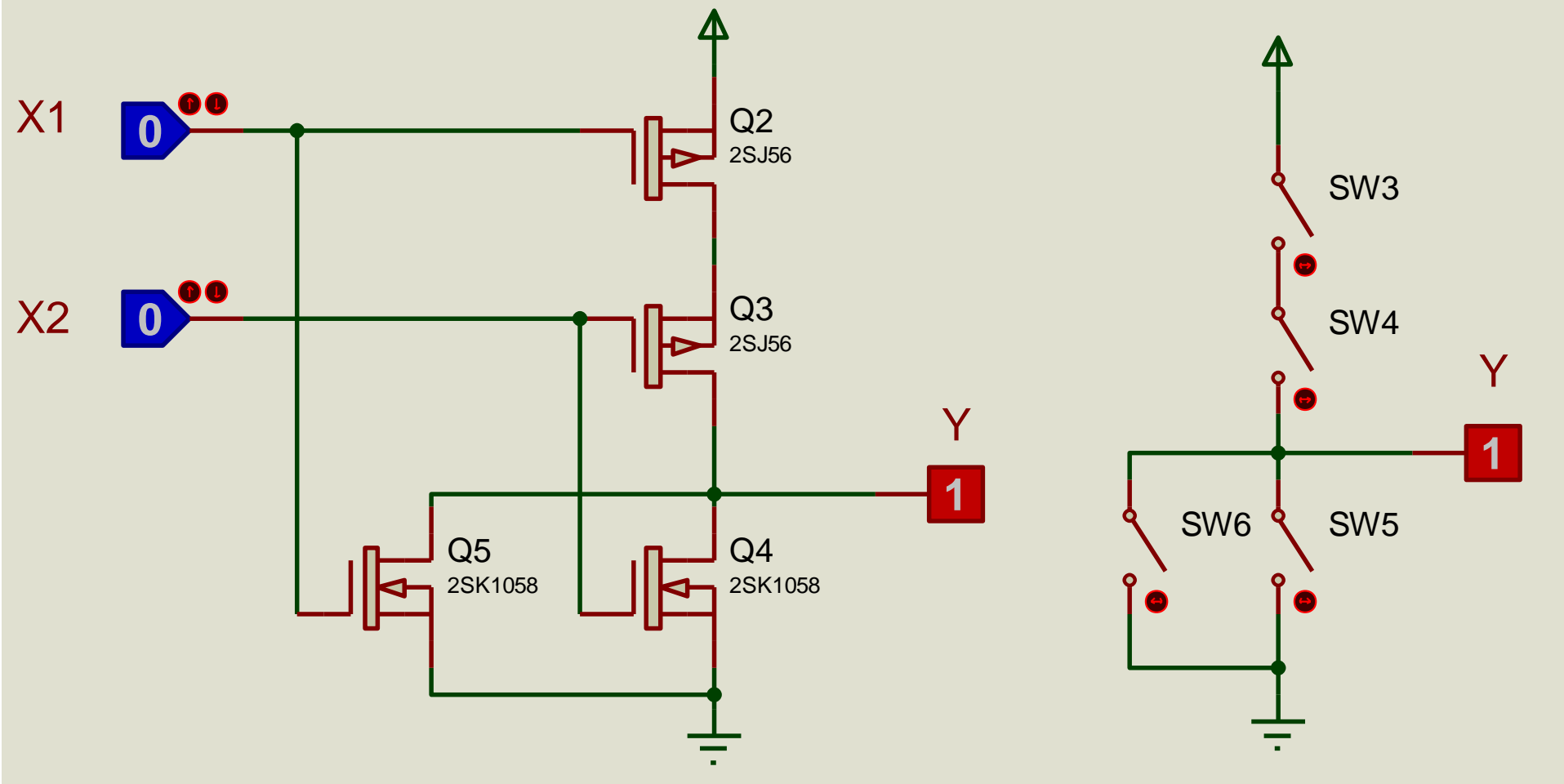


- При подаче $X=0$ открывается $Q1$ и 5 вольт поступает на выход
- При подаче $X=1$ открывается $Q6$ и 0 вольт поступает на выход

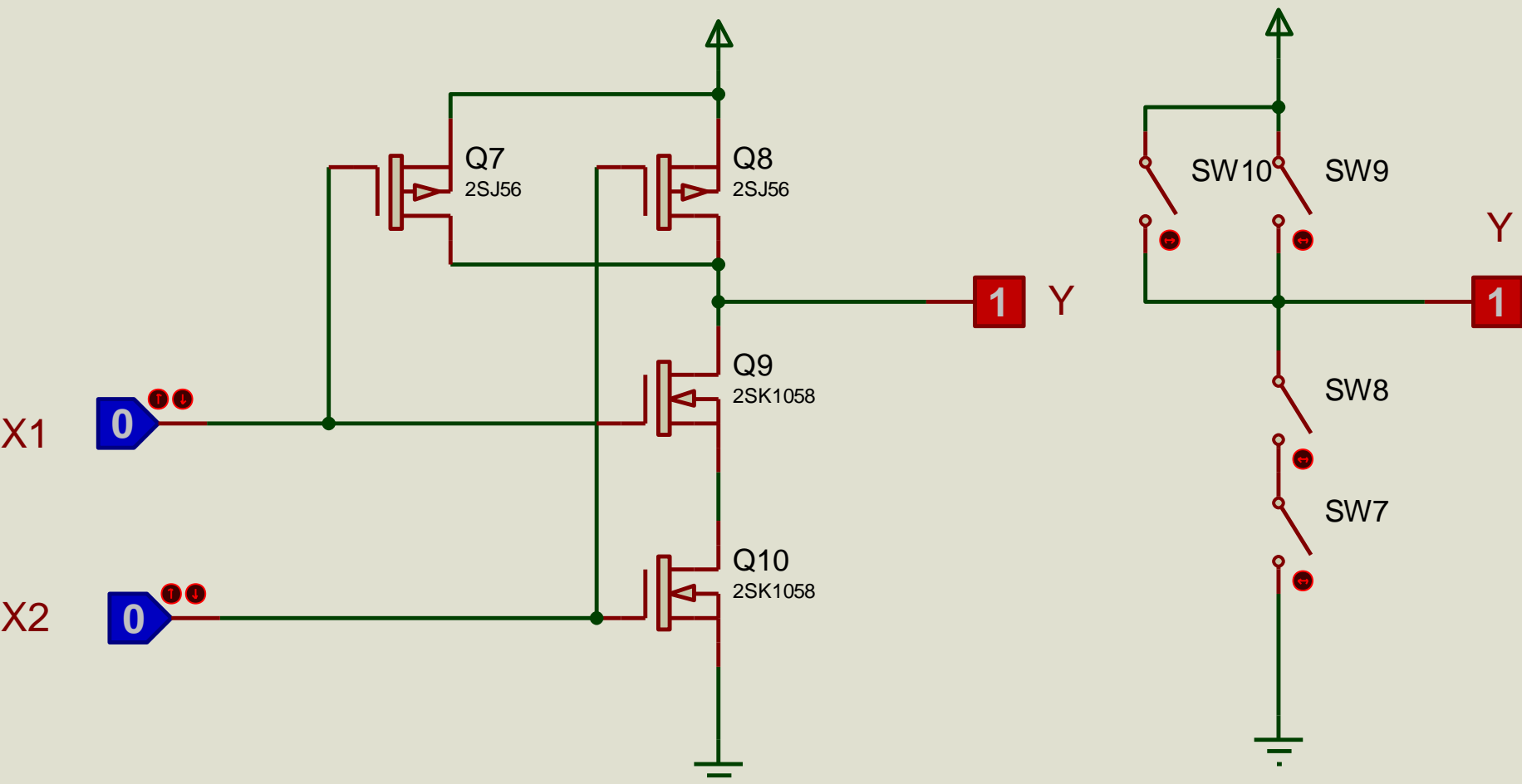
Инвертор



Элемент ИЛИ-НЕ



Элемент И-НЕ



Семейства логических элементов

Можно выделить следующие семейства логических элементов:

- **ТТЛ** – транзисторно – транзисторная логика (*Transistor-Transistor Logic*, или *TTL*) на биполярных транзисторах
- **КМОП** – логика, построенная на МОП - транзисторах (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Logic*, или *CMOS*)
- **НТТЛ** – низковольтная транзисторно-транзисторная логика (*Low-Voltage Transistor-Transistor Logic*, или *LVTTL*)
- **НКМОП** – низковольтная логика на комплементарной структуре металл-оксид-полупроводник (*Low-Voltage Complementary Metal-Oxide Semiconductor Logic*, или *LVC MOS*).

Напряжение питания

С переходом на транзисторы меньшего размера, *напряжение питания* последовательно снижали до 3,3В; 2,5В; 1,8В; 1,5В В;1,2В

Причины:

- для избежания перегрева транзисторов;
- для уменьшения потребляемой мощности;