

Цифровая схемотехника и архитектура компьютера

второе издание

Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис

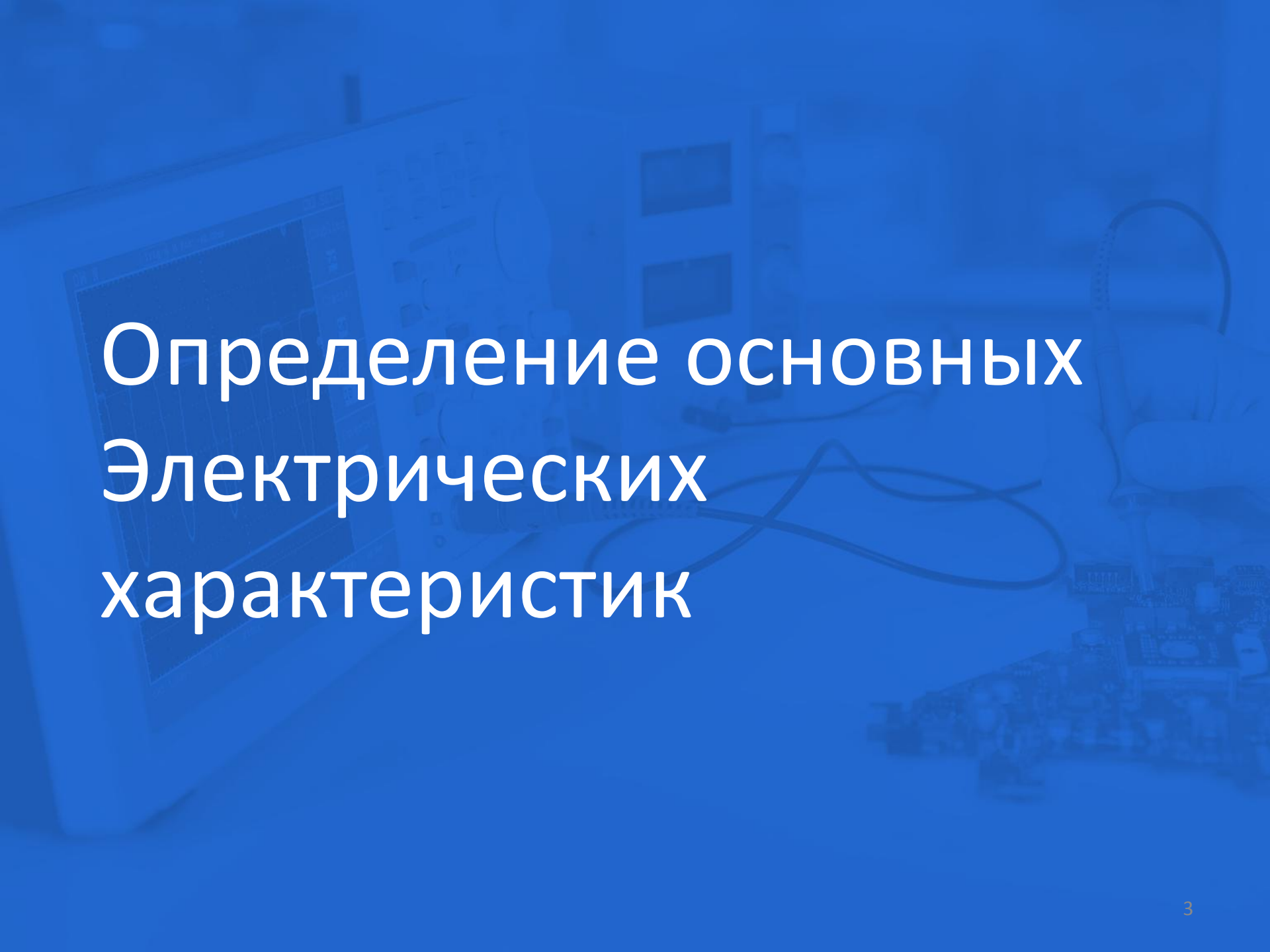


Издательство
Morgan Kaufman
© English Edition 2013



Спонсор перевода - Imagination Technologies
www.imgtec.com
Переведено командой из компаний
и университетов России, Украины, США
и Великобритании

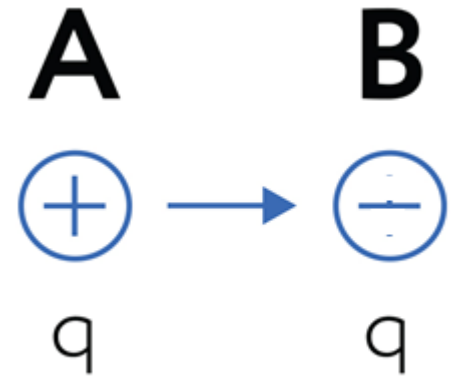
Электронные компоненты цифровых устройств

The background of the slide is a blue-tinted photograph of electronic test equipment. On the left, a portion of a computer monitor is visible, displaying a dark screen with some faint, illegible text. To the right of the monitor, there is a piece of electronic equipment with several vertical slots, possibly a power supply or a module rack. In the foreground on the right, there is a circuit board with various components, and several black cables are connected to it. The overall scene suggests a laboratory or workshop environment for electronics testing.

Определение основных Электрических характеристик

Напряжение/потенциал

Напряжение - разность потенциалов
между точками A и B



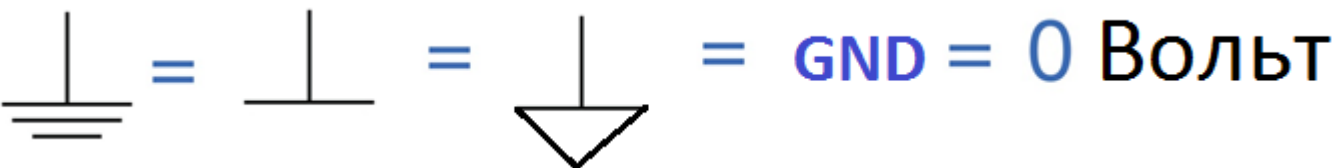
$$U = \frac{A_{AB}}{q} = \varphi_A - \varphi_B$$

Потенциал и напряжение измеряется **в вольтах**.

Напряжение имеет направление от **+**  **-**

Напряжение

Потенциал земли принимается равным 0 вольт.



В электронных устройствах выбирается некоторая общая точка, потенциал которой считается равным 0 (схемная земля GND (Ground) или общий COM (Common)).

Все остальные напряжения измеряются относительно этой точки.

Напряжение может быть :

- постоянным («V=»);
- переменным («V~»).

| ATX Main Power Connector | | | |
|--------------------------|--|-------|--------|
| | | Pin 1 | |
| +3.3V | | | +3.3V |
| -12V | | | +3.3V |
| COM | | | COM |
| PS_ON | | | +5V |
| COM | | | COM |
| COM | | | +5V |
| COM | | | COM |
| N/C | | | PWR_OK |
| +5V | | | +5Vsb |
| +5V | | | +12V |
| +5V | | | +12V |
| COM | | | +3.3V |

20-pin ATX connector

24-pin ATX connector



Электрический ток

Электрический ток — направленное движение электрически заряженных частиц под воздействием напряжения электрического поля.

Заряженными частицами могут быть:

- в проводниках — электроны;
- в электролитах — ионы (положительно или отрицательно заряженный атомы),
- в полупроводниках — электроны и дырки (дырка — это отсутствие электрона в электронной оболочке атома.)

Сила тока — **измеряется в амперах или долях ампер**).

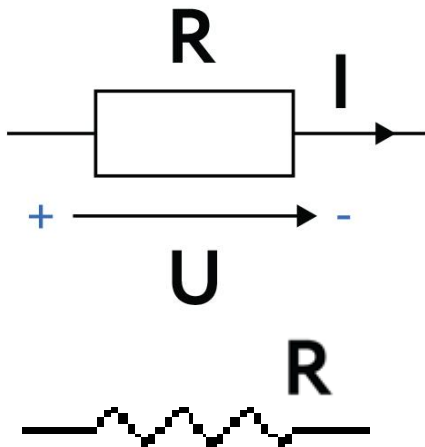
Постоянный ток — движение частиц в одном направлении

Переменный ток — движение частиц сначала в одном в одном направлении, потом в обратном

Электрическое сопротивление/резистор

Сопротивление (R) – это свойство вещества препятствовать протеканию электрического тока.

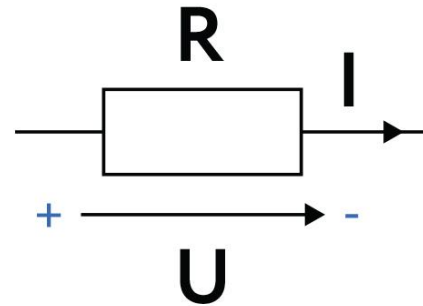
Элементы, которые задают нужное сопротивление называются **резисторами** и обозначаются:



Законы Ома

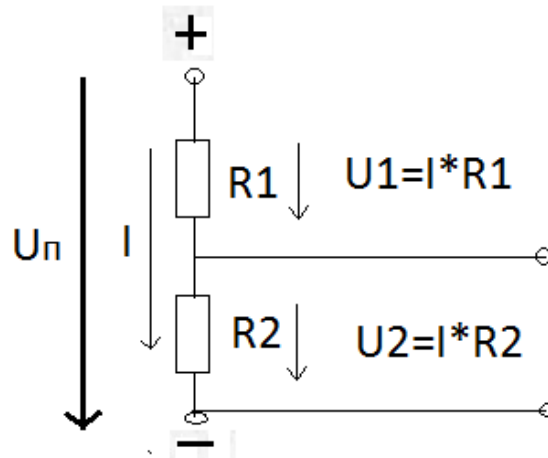
- Закон Ома для участка цепи:

$$U = I \cdot R$$



- 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)

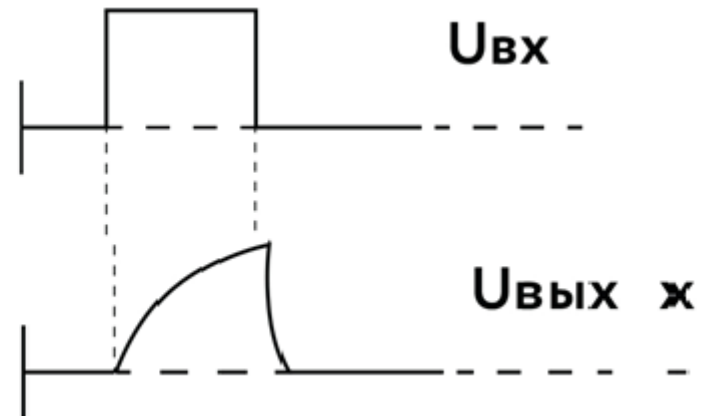
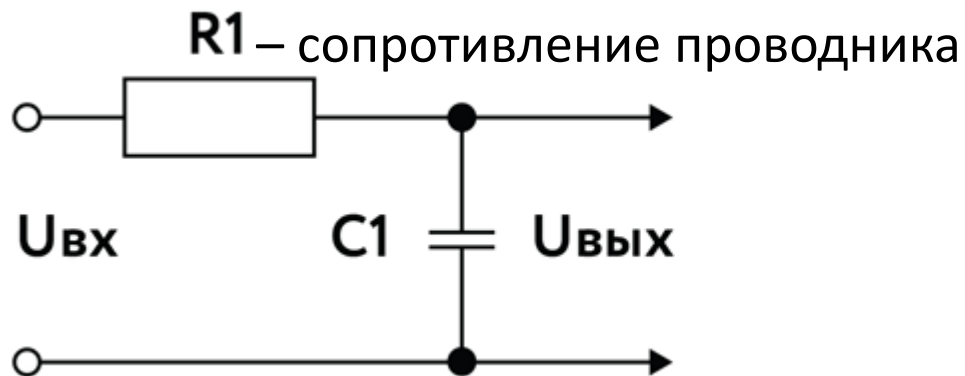
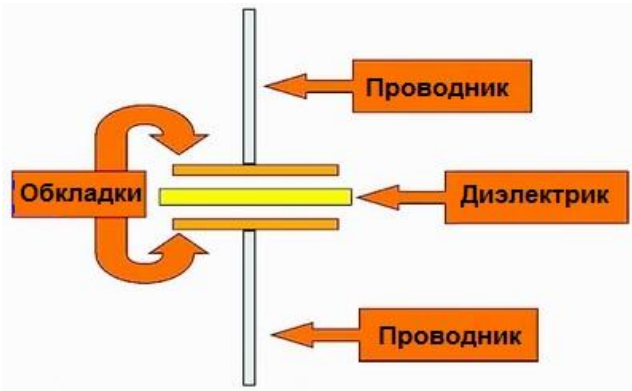
Мощность электрического тока — это отношение произведенной им работы ко времени в течение которого совершена работа.

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

Мощность выделяемая на сопротивлении R пропорциональна квадрату протекающего через него тока

Ёмкость/конденсатор

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



- «Пропускает» только переменный ток
- Конденсатор «затягивает» /искажает фронты цифрового сигнала

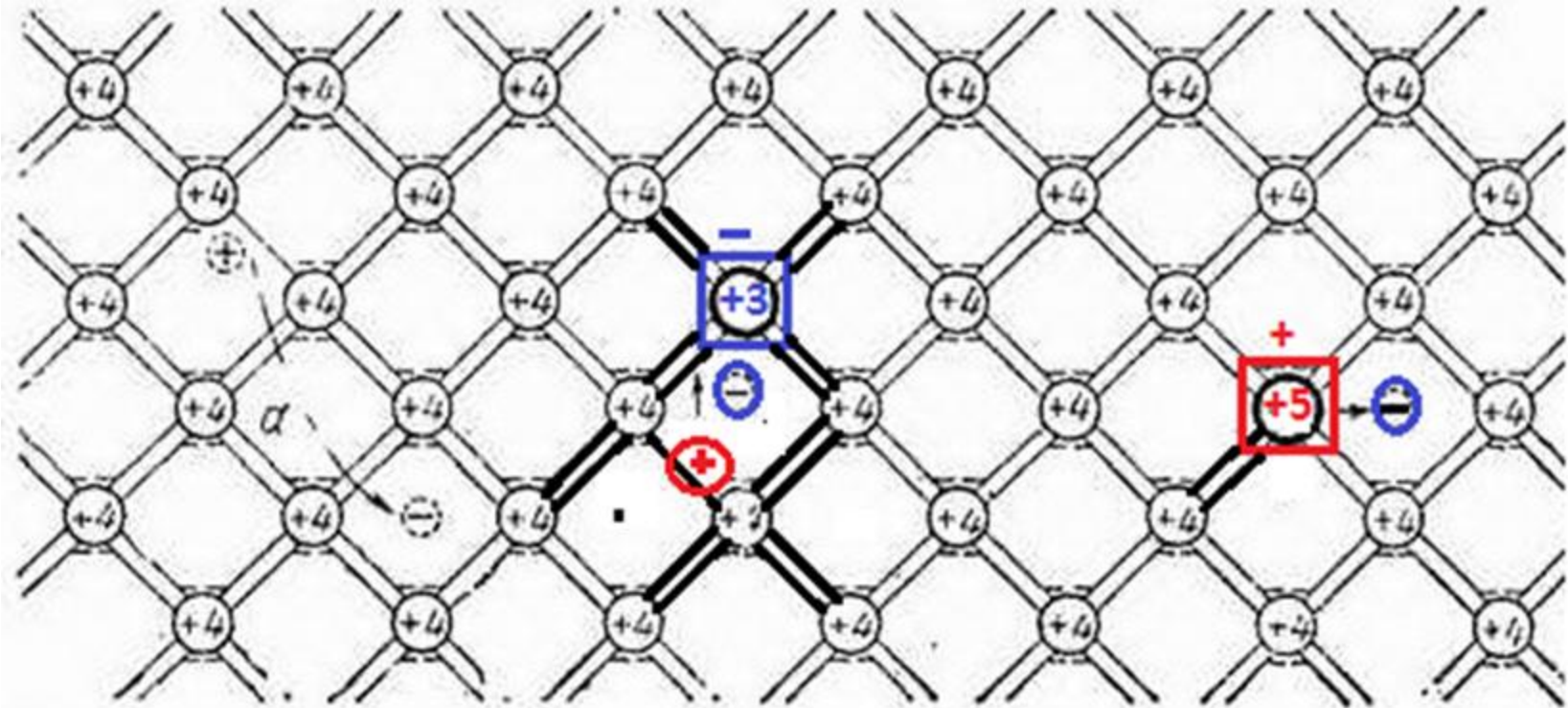
Конденсатор

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

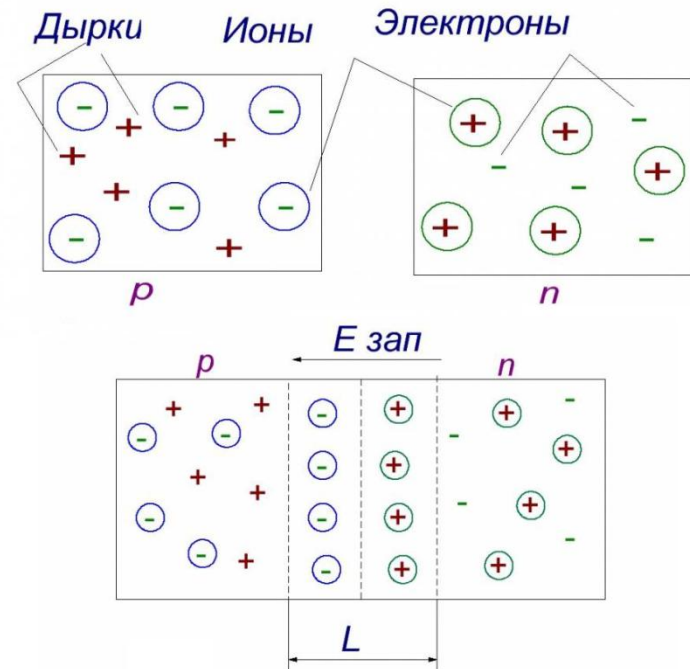
Полупроводник с избытком электронов называется полупроводником **N-типа**

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

Пояснения к предыдущему слайду

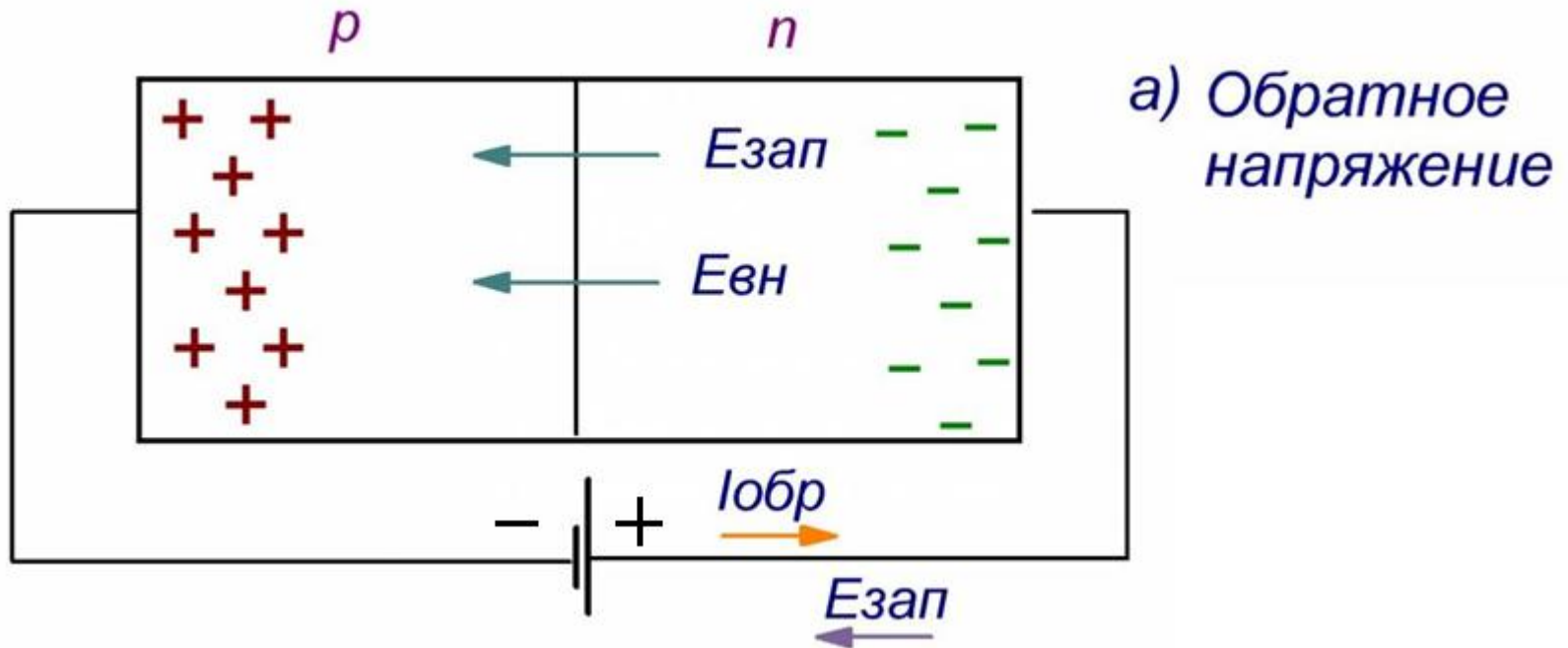
- Атом состоит из:
- Ядра (протоны+нейтроны) и электронов. Электроны находятся на разных орбитах. Электроны, которые находятся на самых крайних орбитах называются валентными и служат для образования парных связей с ядрами других атомов.
- Валентный электрон может отрываться от атом и становится свободными, 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



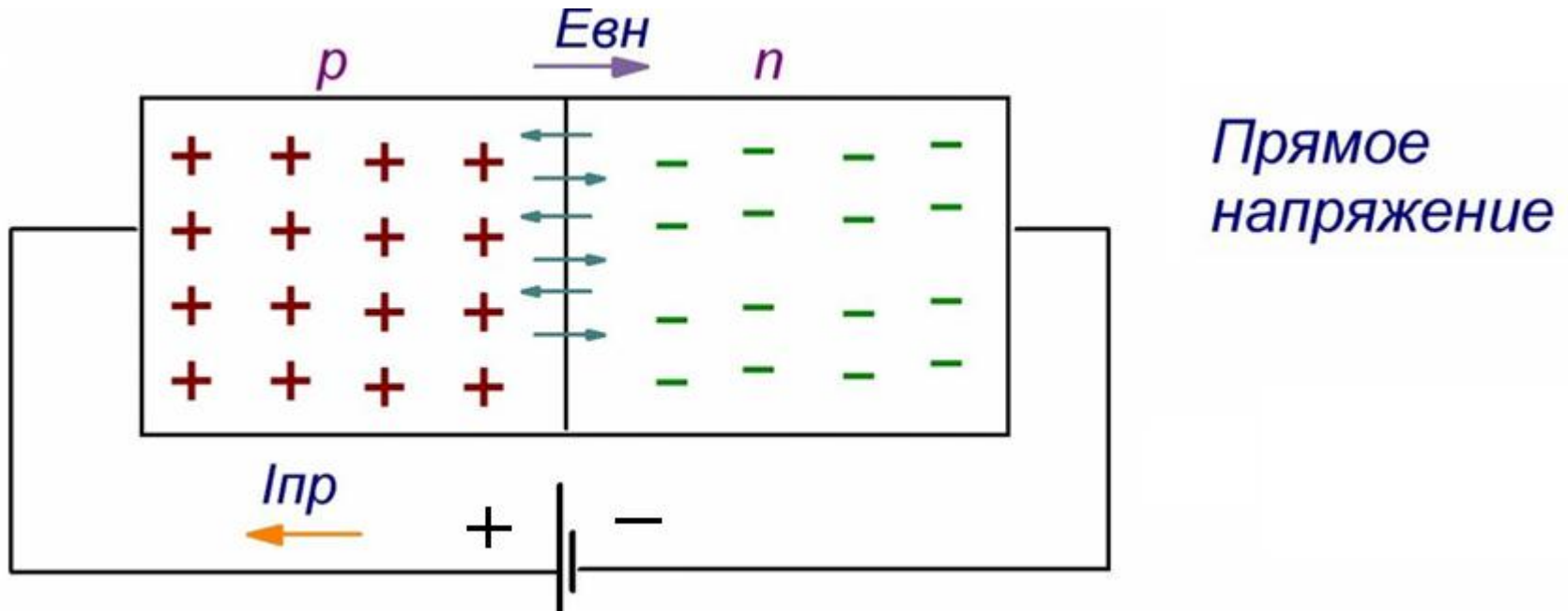
При соединении двух полупроводников дырки и электроны начинают двигаться на встречу друг другу и взаимно уничтожаются (рекомбинируют), образуя нейтральные атомы, в результате на границе образуется обедненный слой в котором отсутствуют дырки и электроны, а остаются положительно и отрицательно заряженные 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



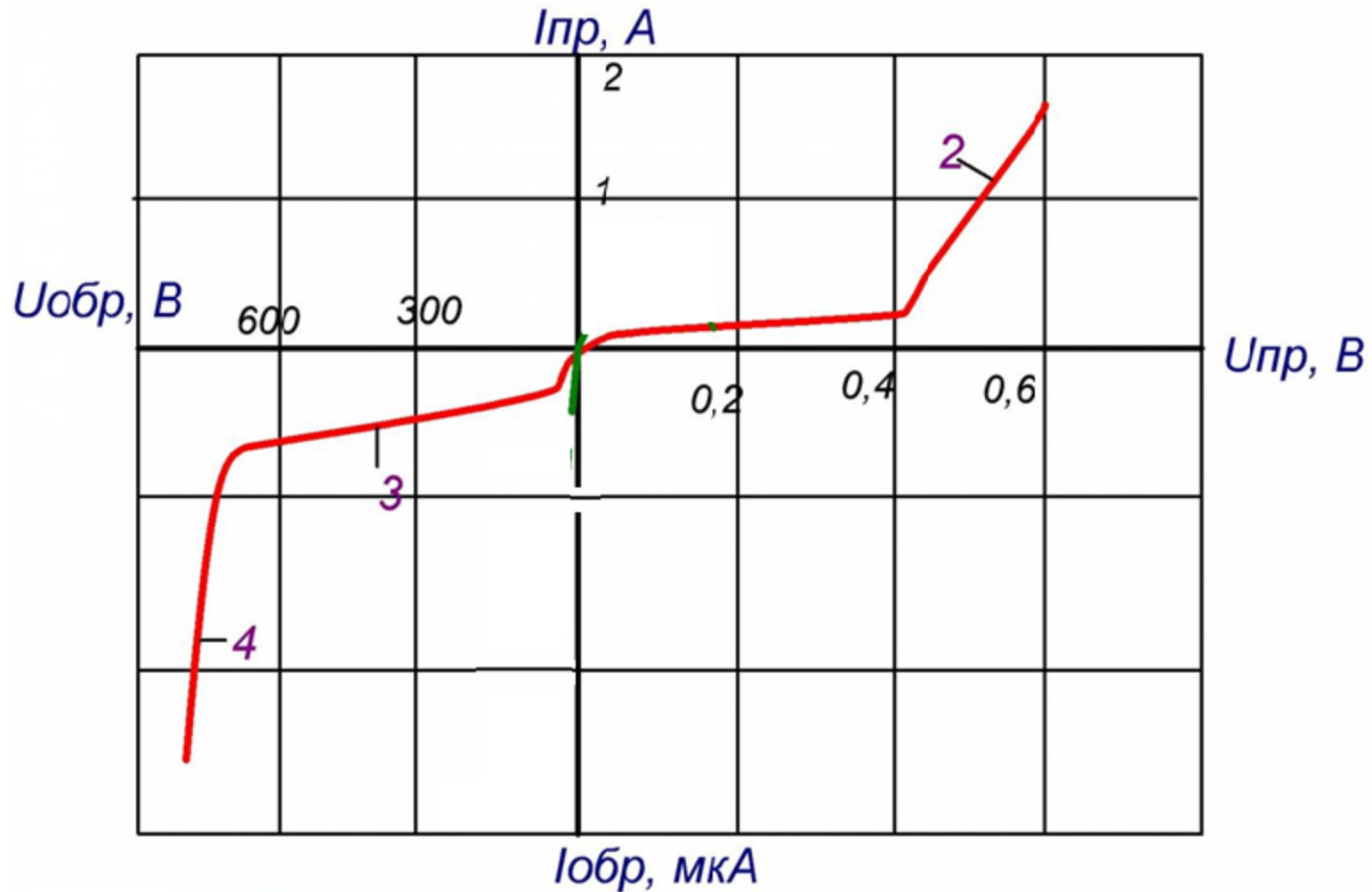
При подаче на р-n переход внешнего напряжения, совпадающего по направлению с начальным запирающим напряжением, запирающий слой расширяется и переход закрывается. Тока нет.

Свойства р—n перехода



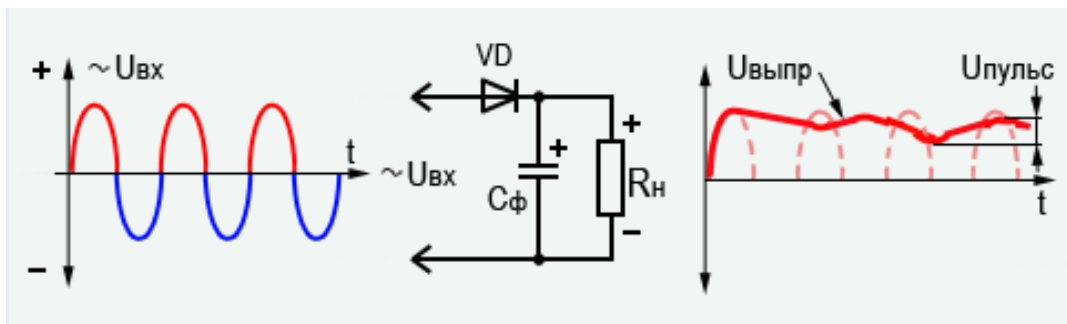
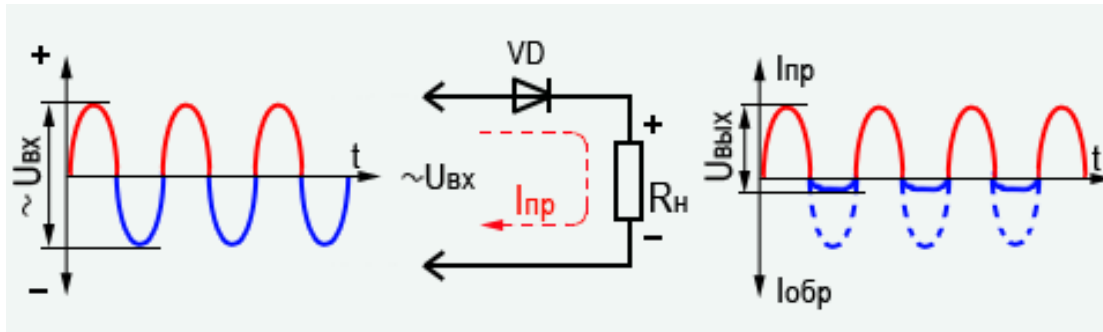
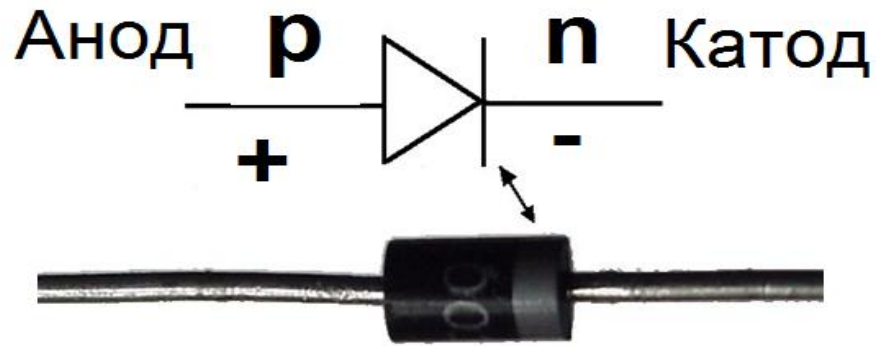
При подаче на р-n переход внешнего напряжения (0,3-0,6) Вольт, противоположного по направлению к начальному запирающему напряжению, запирающий слой уменьшается и переход открывается и через него течет ток. Величина тока зависит от приложенного на переход тока.

p—n переход = диод



Вольт-амперная характеристика
p-n-перехода

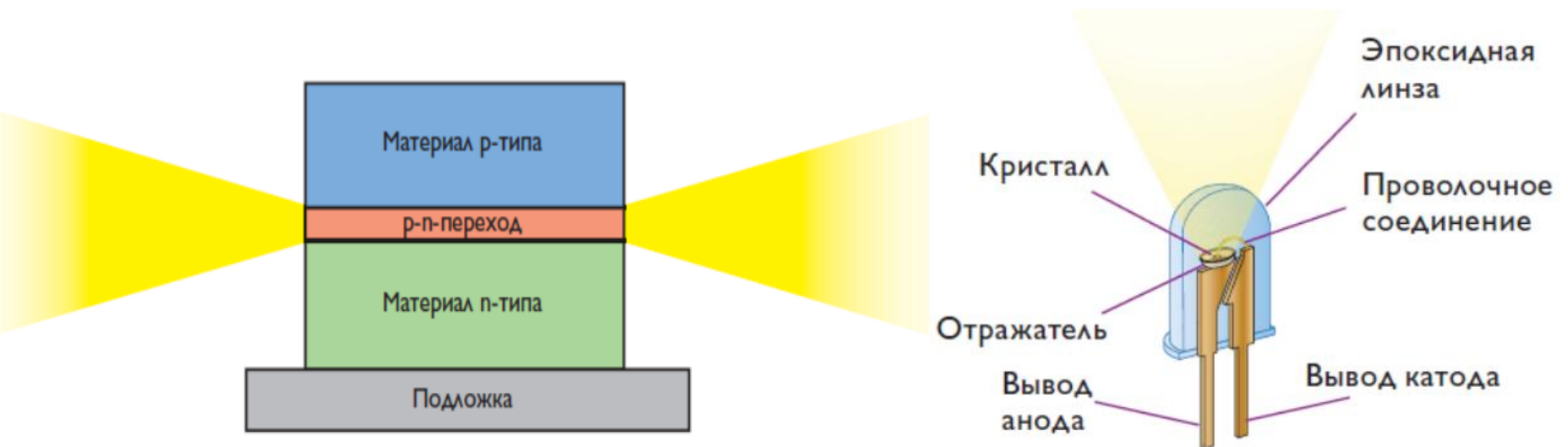
Диод-выпрямитель преобразует переменное напряжение в постоянное



Светодиоды

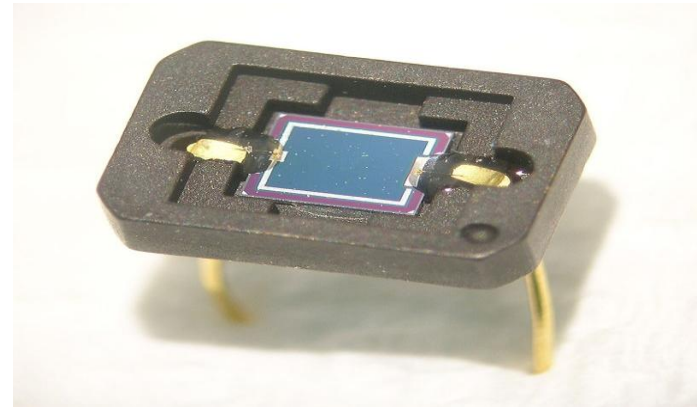
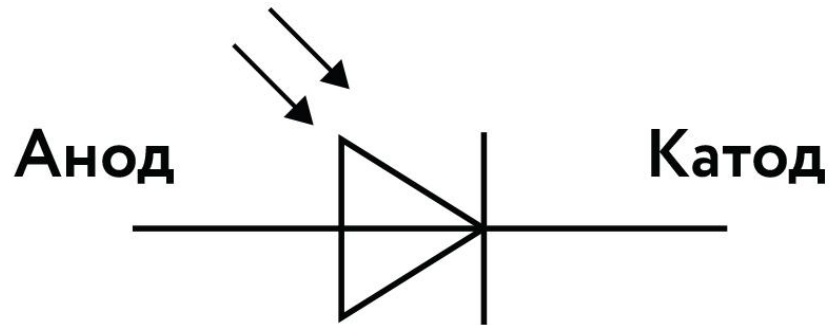
Когда избыточные электроны переходят из материала n-типа в материал p-типа и рекомбинируют (объединяются) с дырками, происходит выделение энергии в виде фотонов, элементарных частиц (квантов) электромагнитного излучения.

Разные полупроводниковые материалы испускают фотоны разного цвета.

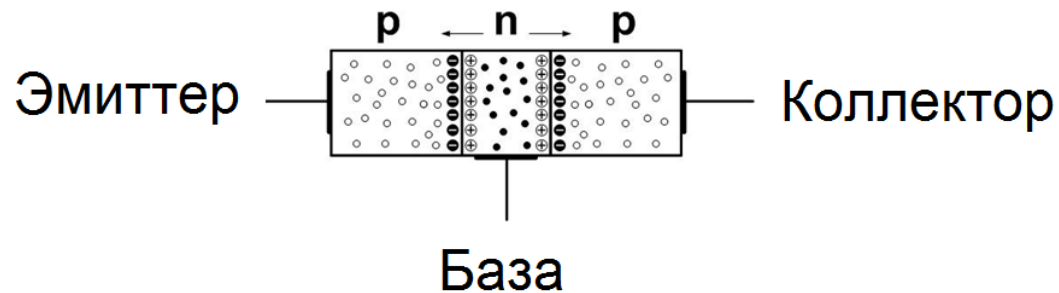


Фотодиод

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

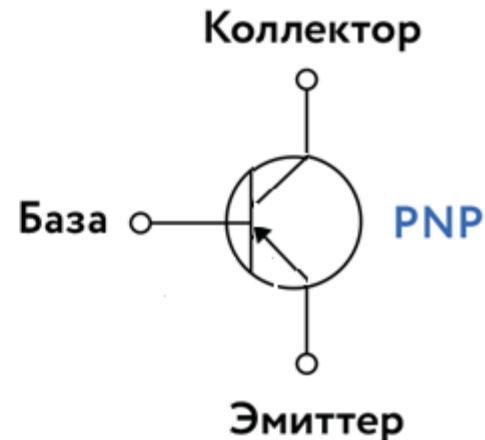
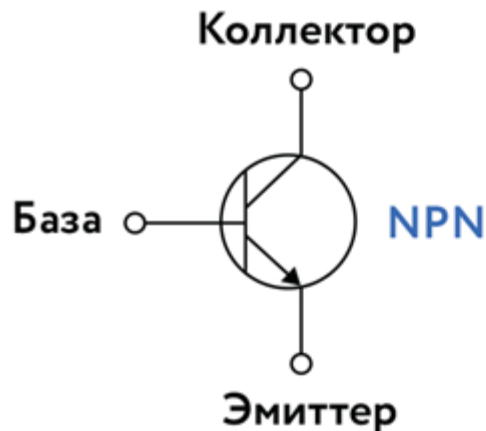


Биполярный транзистор (1947 год)

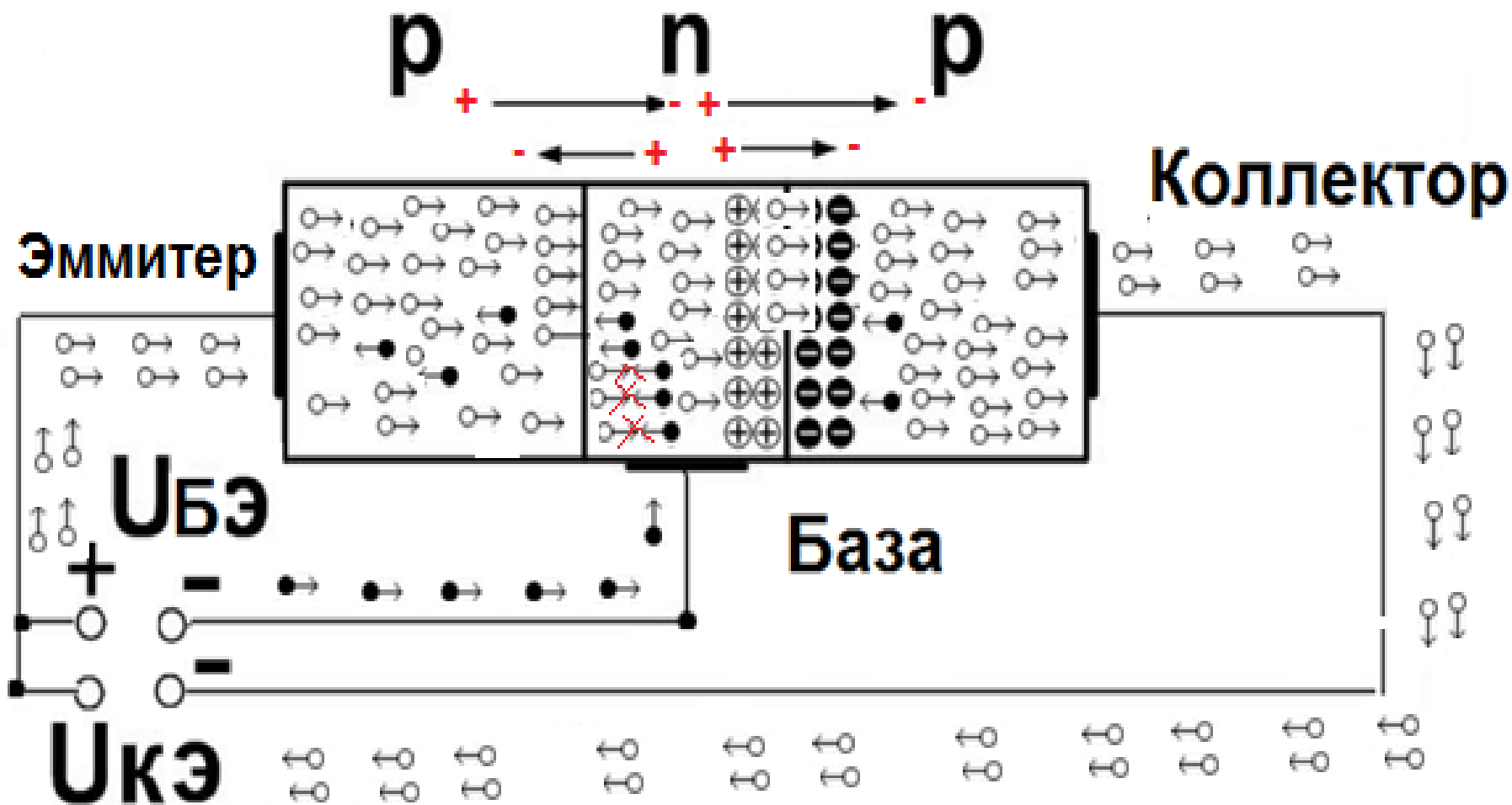


Транзистор представляет собой два включенных последовательно р-п –перехода:

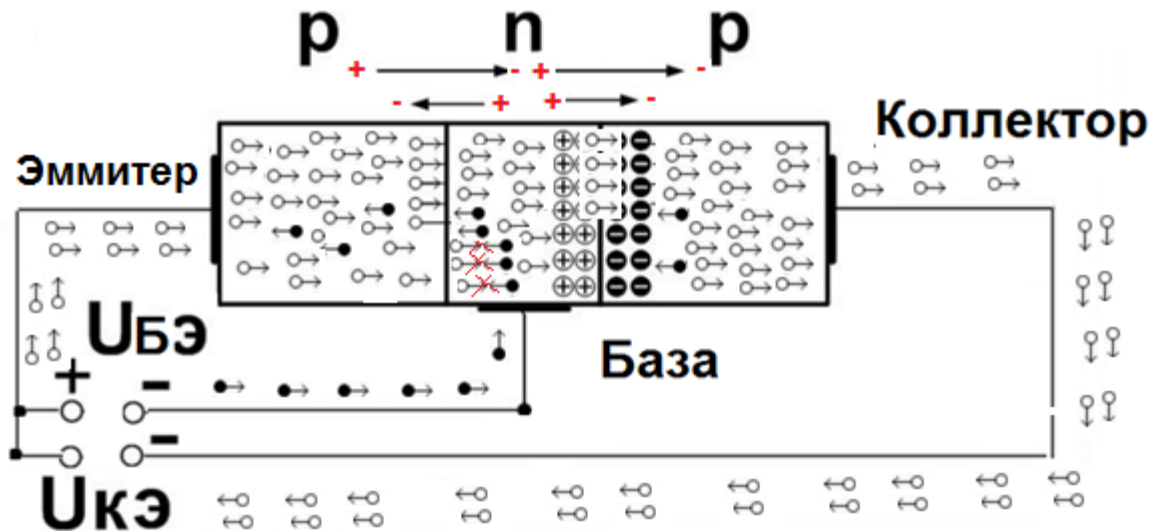
- база -- эмиттер;
- база -- коллектор.



Транзистор



Биполярный транзистор (1947 год)



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

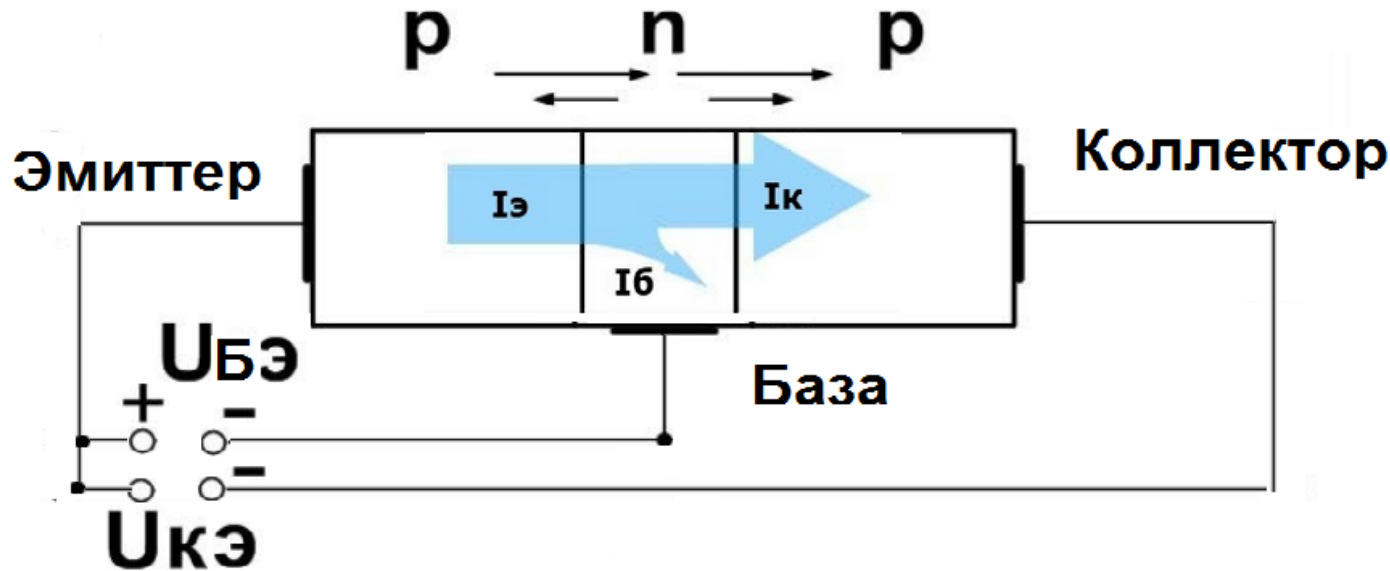
- база -- эмиттер;
- база -- коллектор.

$$U_{Бк} \gg U_{Бэ}$$

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.
- База тонкая и электронов изначально немного (задается при изготовлении). При переходе через p-n переход б/э часть дырок заполняется электронами (самоуничтожаются), а так как дырки поступают постоянно, они создают избыточный положительный заряд, который втягивают электроны от источника питания через вывод базы и образуют незначительный ток базы.

Биполярный транзистор



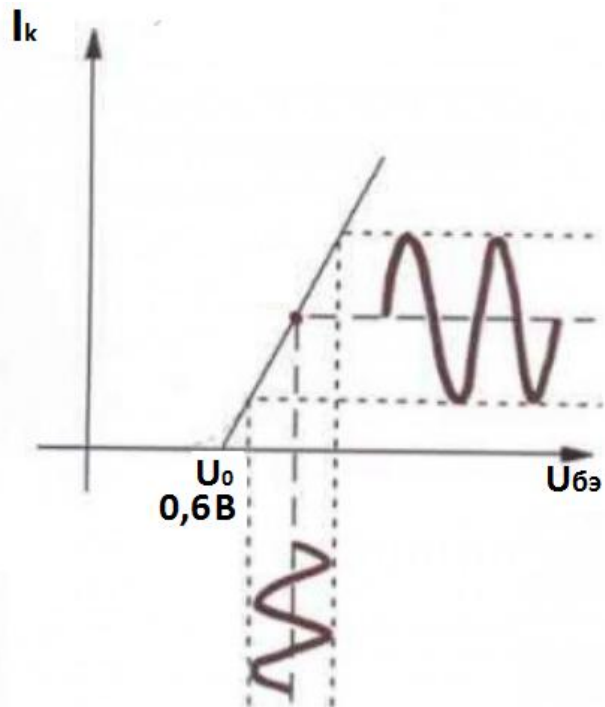
Количество основных носителей в базе делают не большим, поэтому ток базы намного меньше тока эмиттера.

«Малый ток базы управляет «большим током коллектора»»

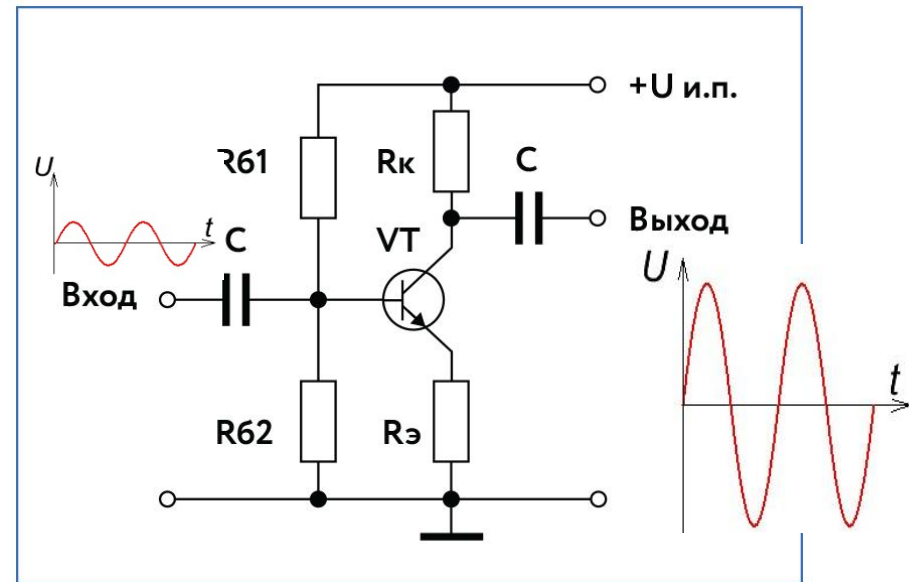
$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}}$$

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

Передаточная характеристика б.п. транзистора

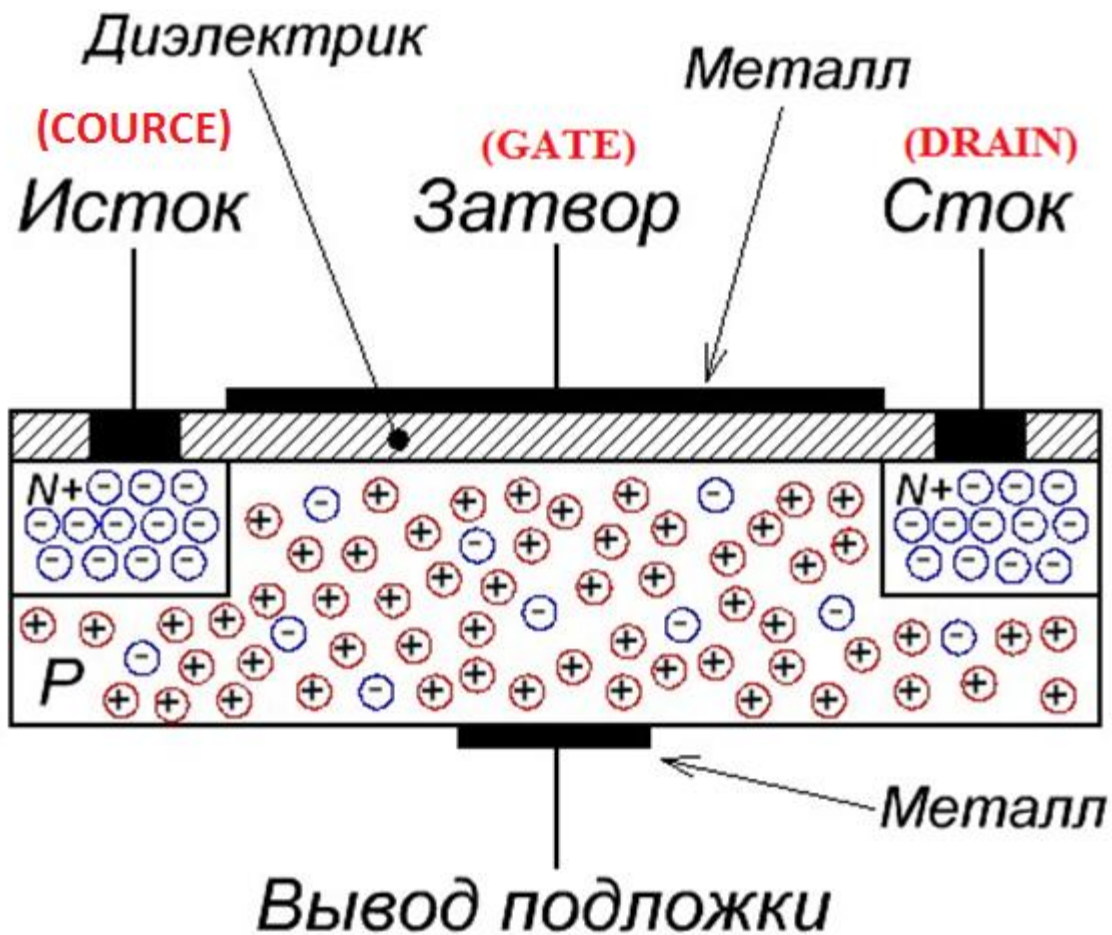


Передаточная характеристика

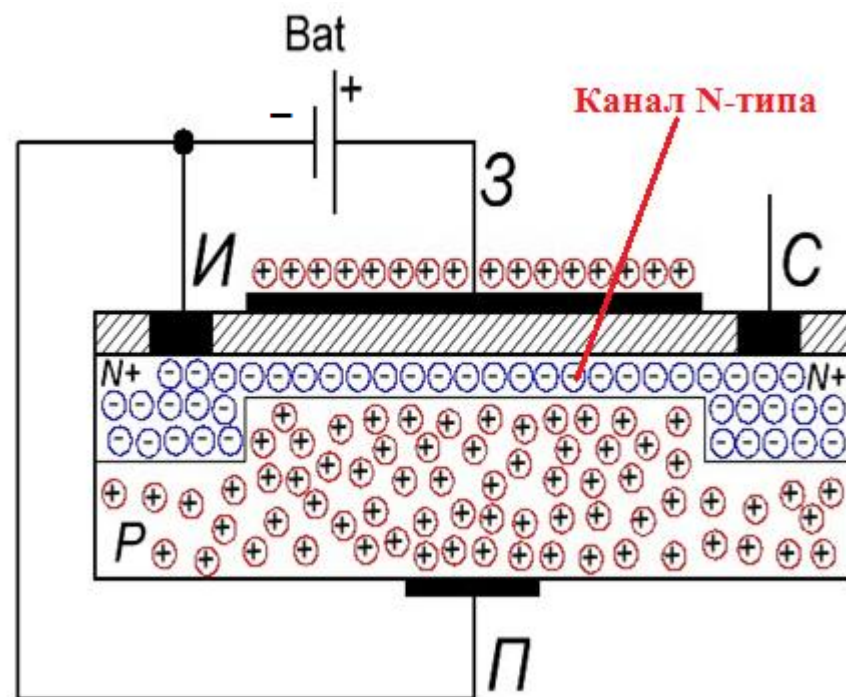
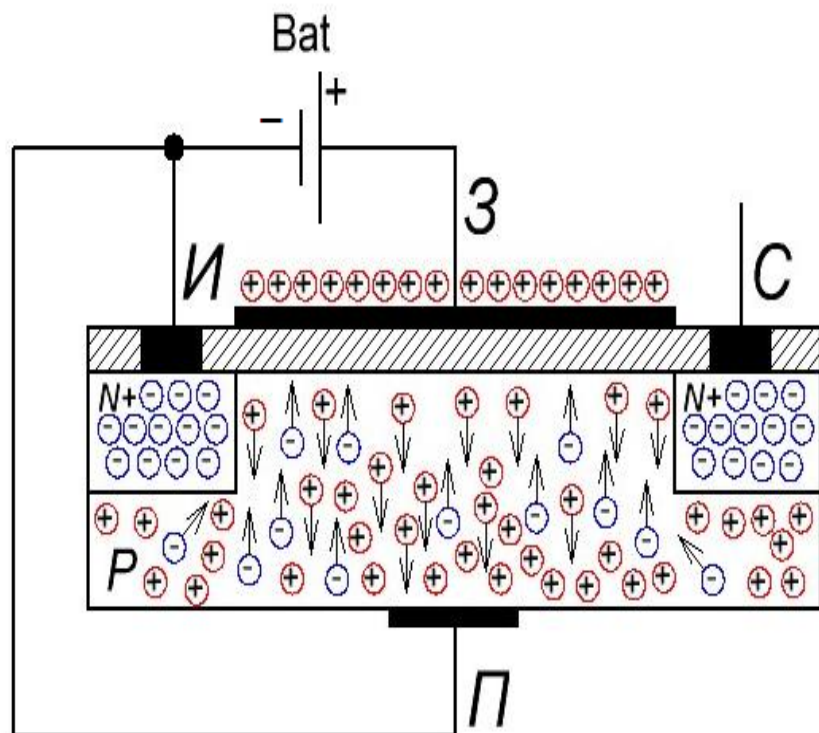


Усилительный каскад

Полевой транзистор

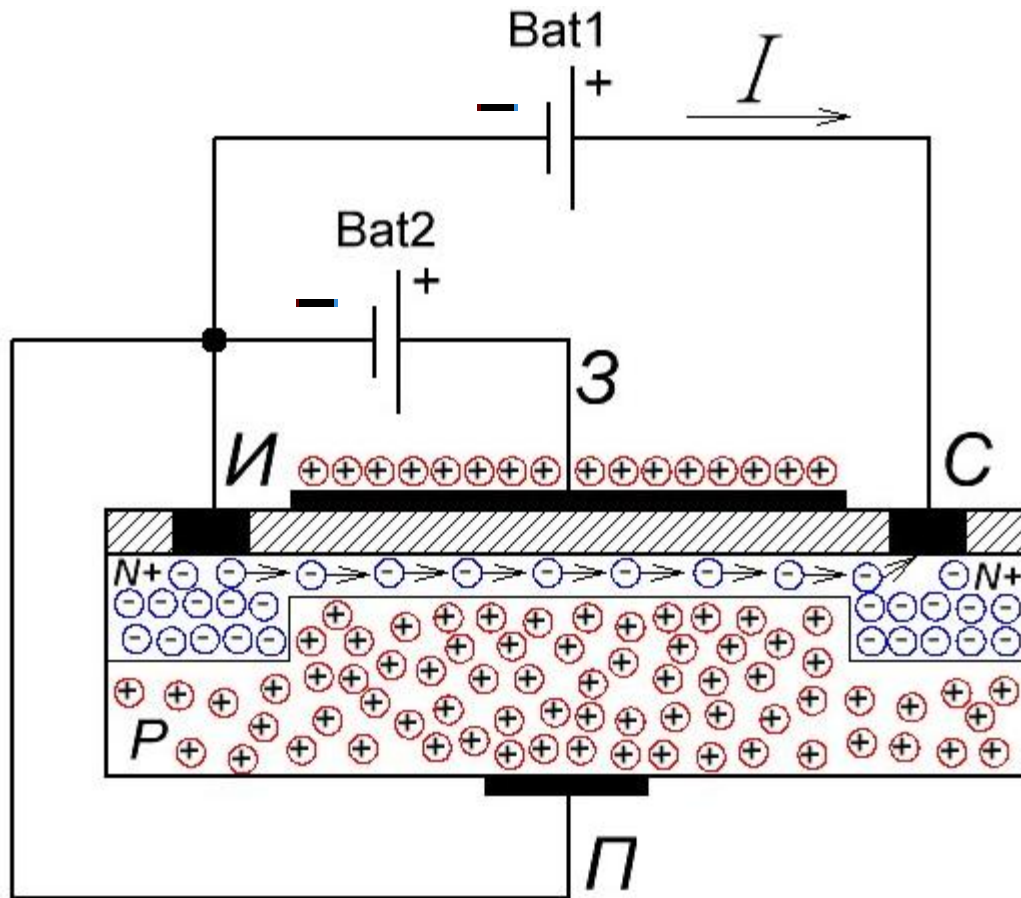


Образование канала



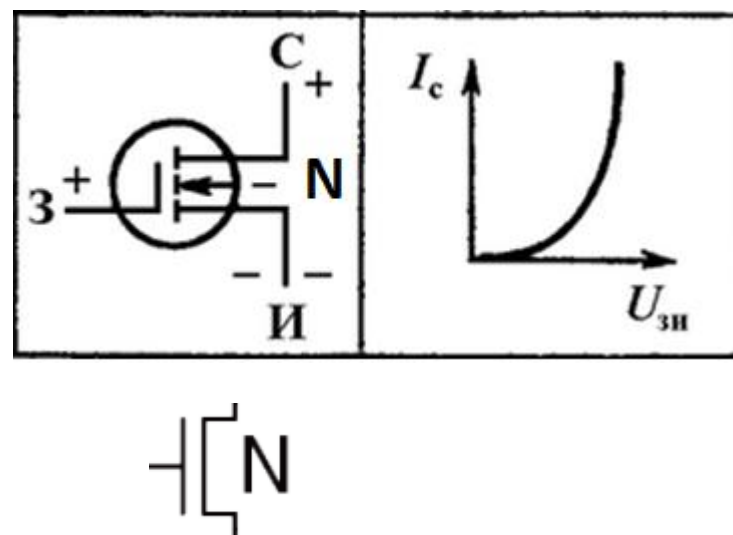
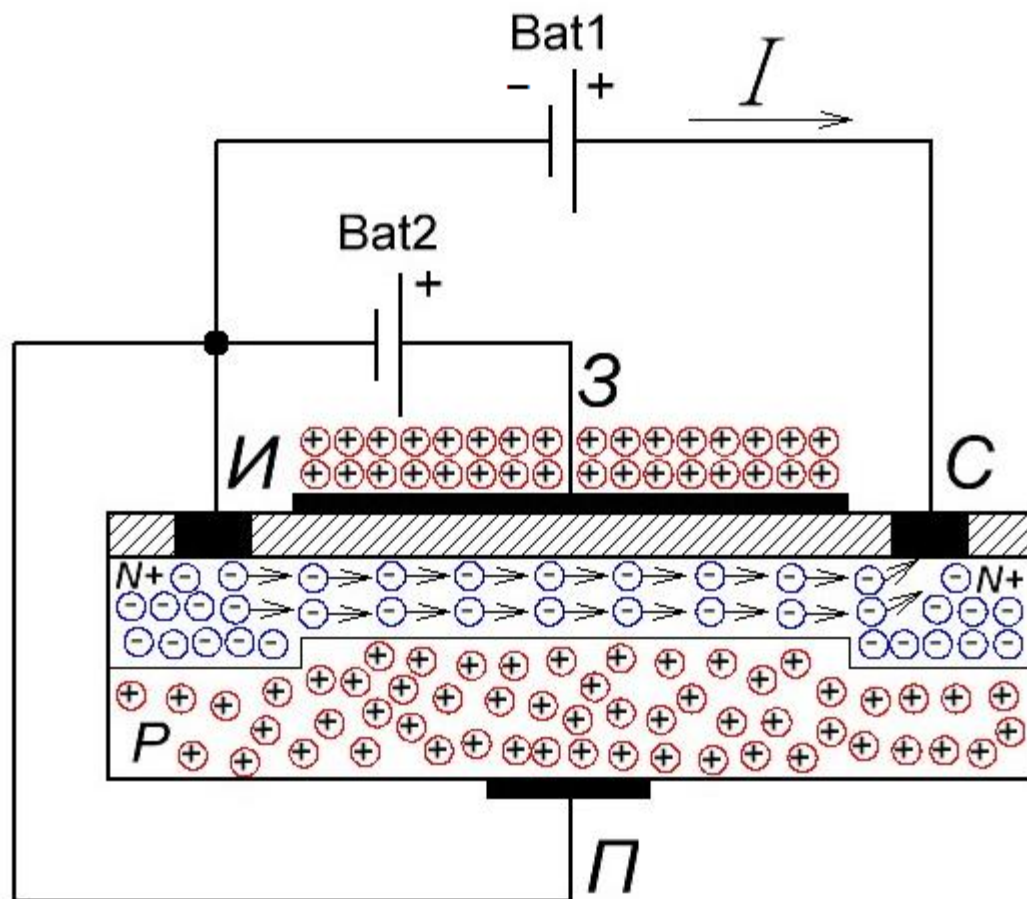
При подаче напряжения (2-4 вольта) на **затвор** более положительного относительно **истока** под диэлектриком образуется поле , которое притягивает электроны из Р области и отталкивает дырки - **появляется токопроводящий канал N - типа**

Ток канала



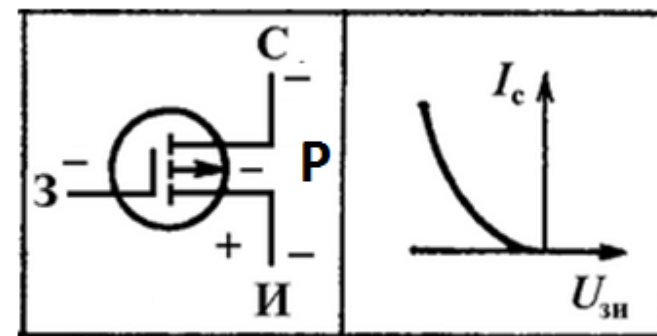
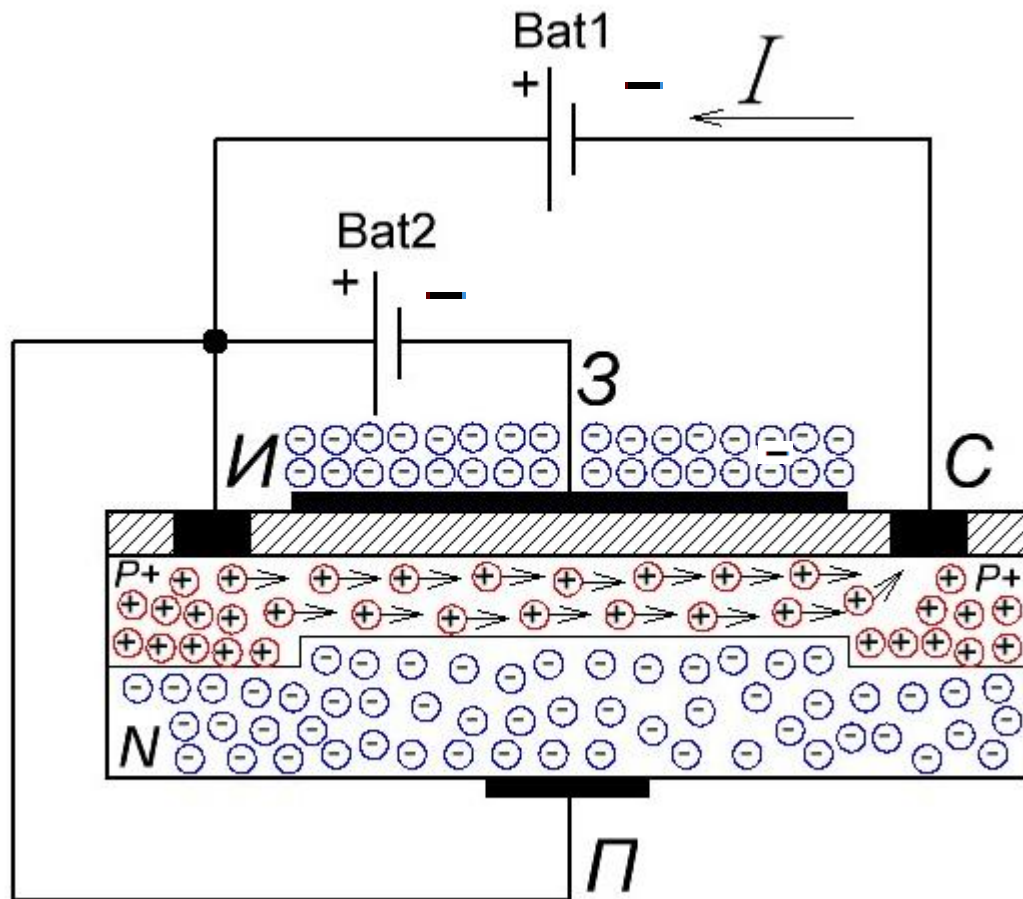
- При подаче более положительного напряжения на **сток** относительно истока, электроны от истока начинают двигаться **по каналу** к стоку, появляется ток.

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

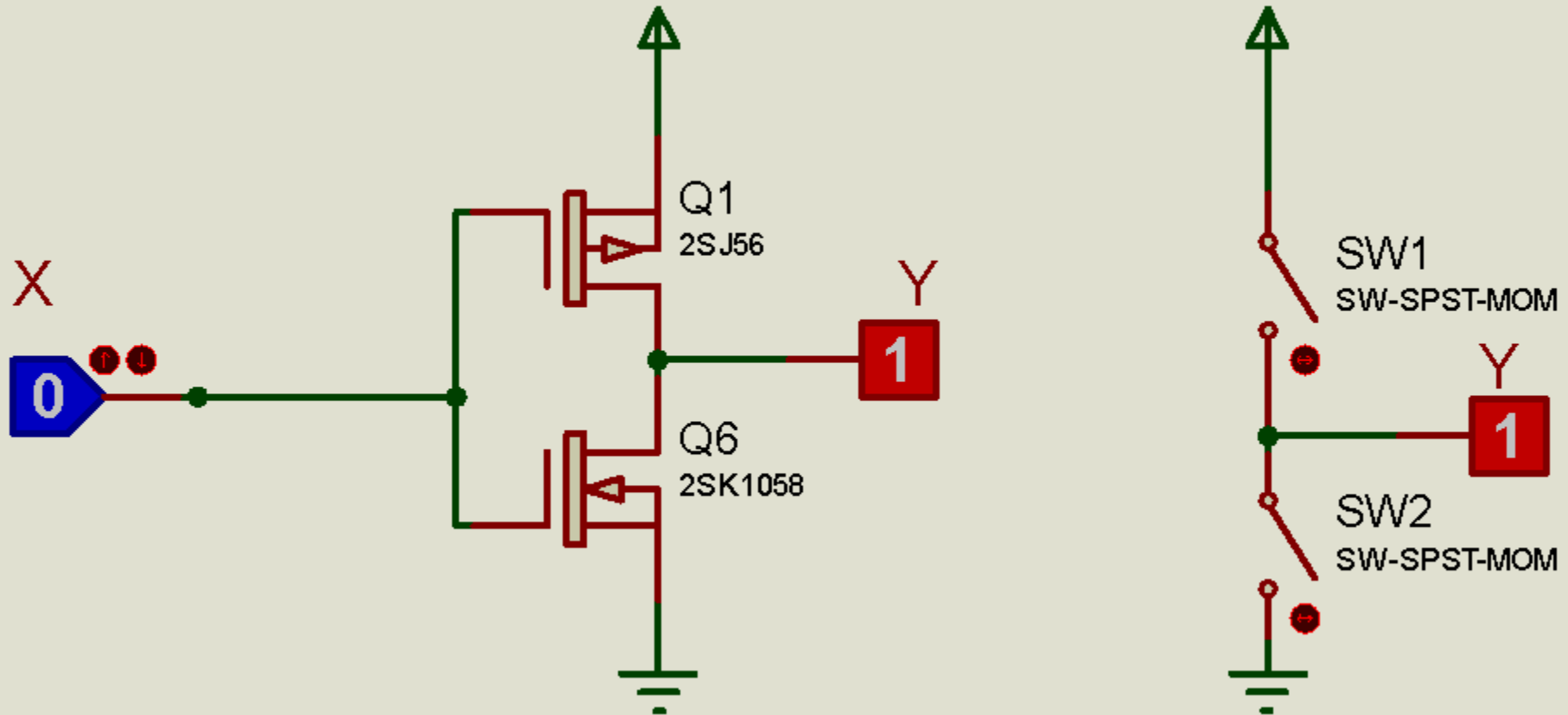
В зависимости от способа организации управляющего поля полевые транзисторы бывают трех типов.

| 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

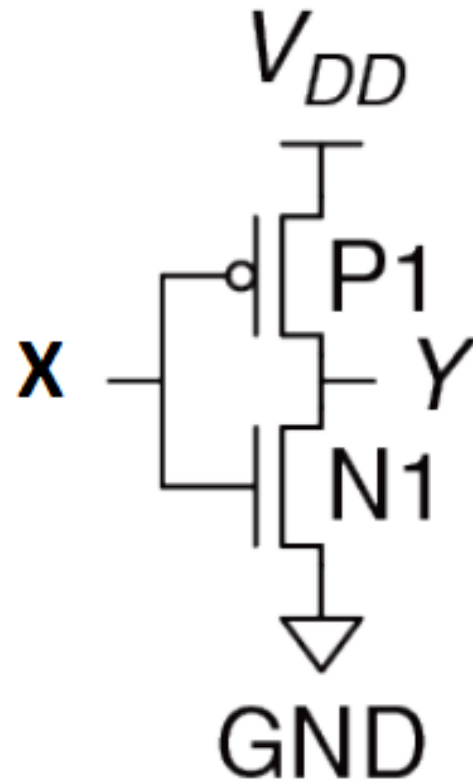
- **Меньшее потребление мощности**
 - полевые транзисторы управляются электрическим полем, управляющий ток затвора значительно меньше управляющего тока базы биполярного транзистора, поэтому они потребляют меньше мощности
- **При изготовлении занимают меньше места на кристалле.**
- **Микросхемы цифровой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

Элемент НЕ

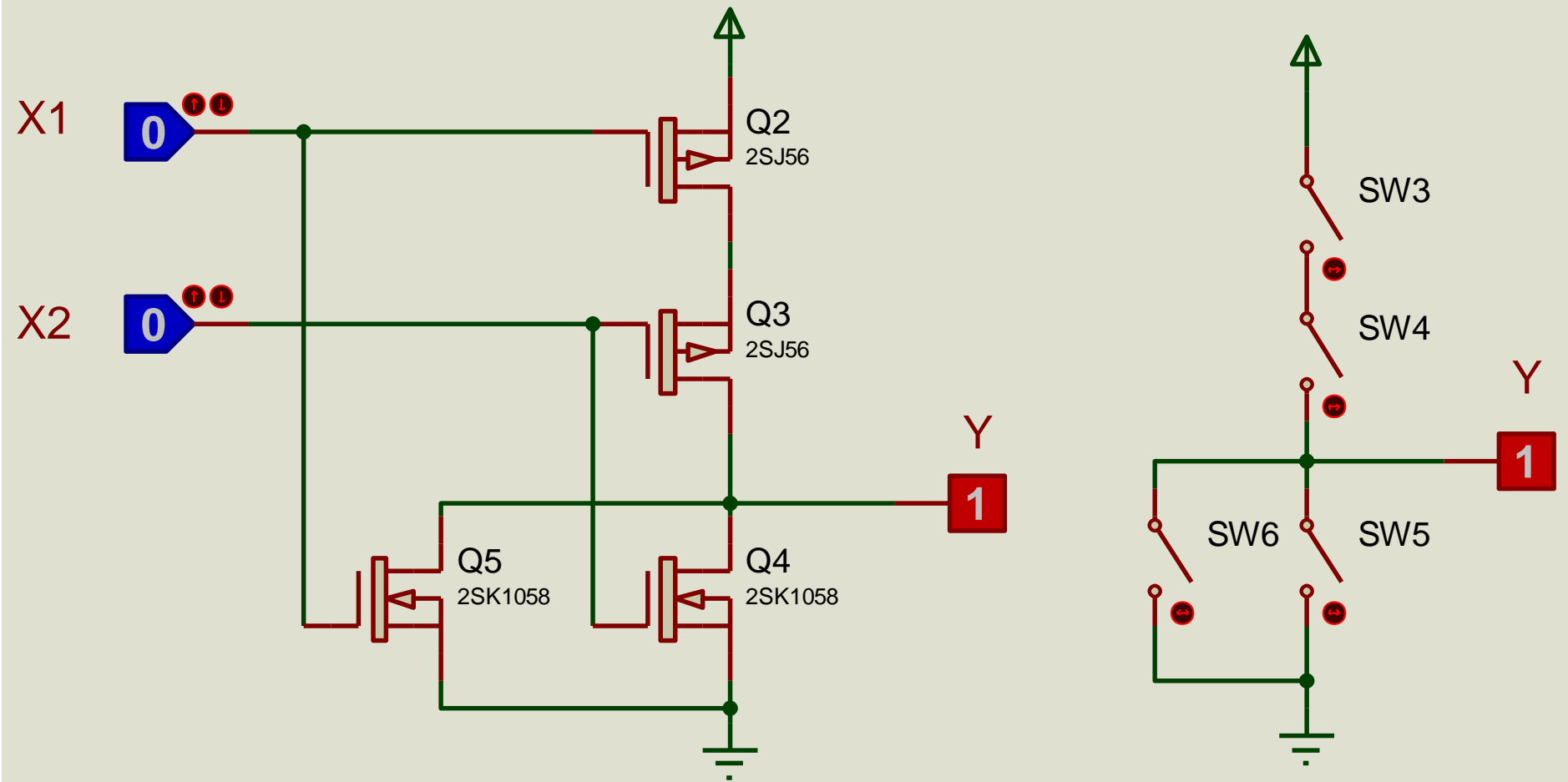


- При подаче $X=0$ открывается $Q1$ и 5 вольт поступает на выход
- При подаче $X=1$ открывается $Q6$ и 0 вольт поступает на выход

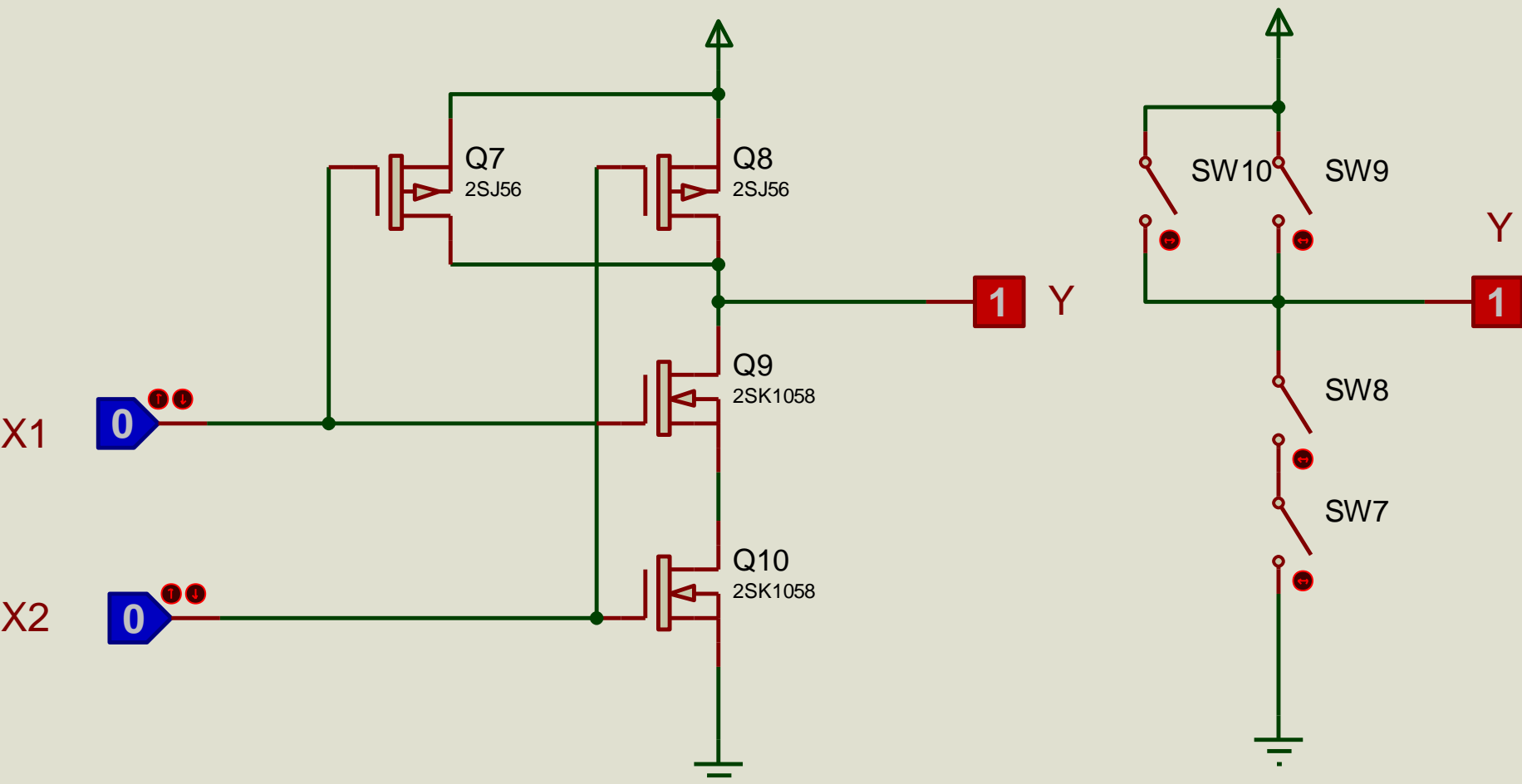
Инвертор



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;

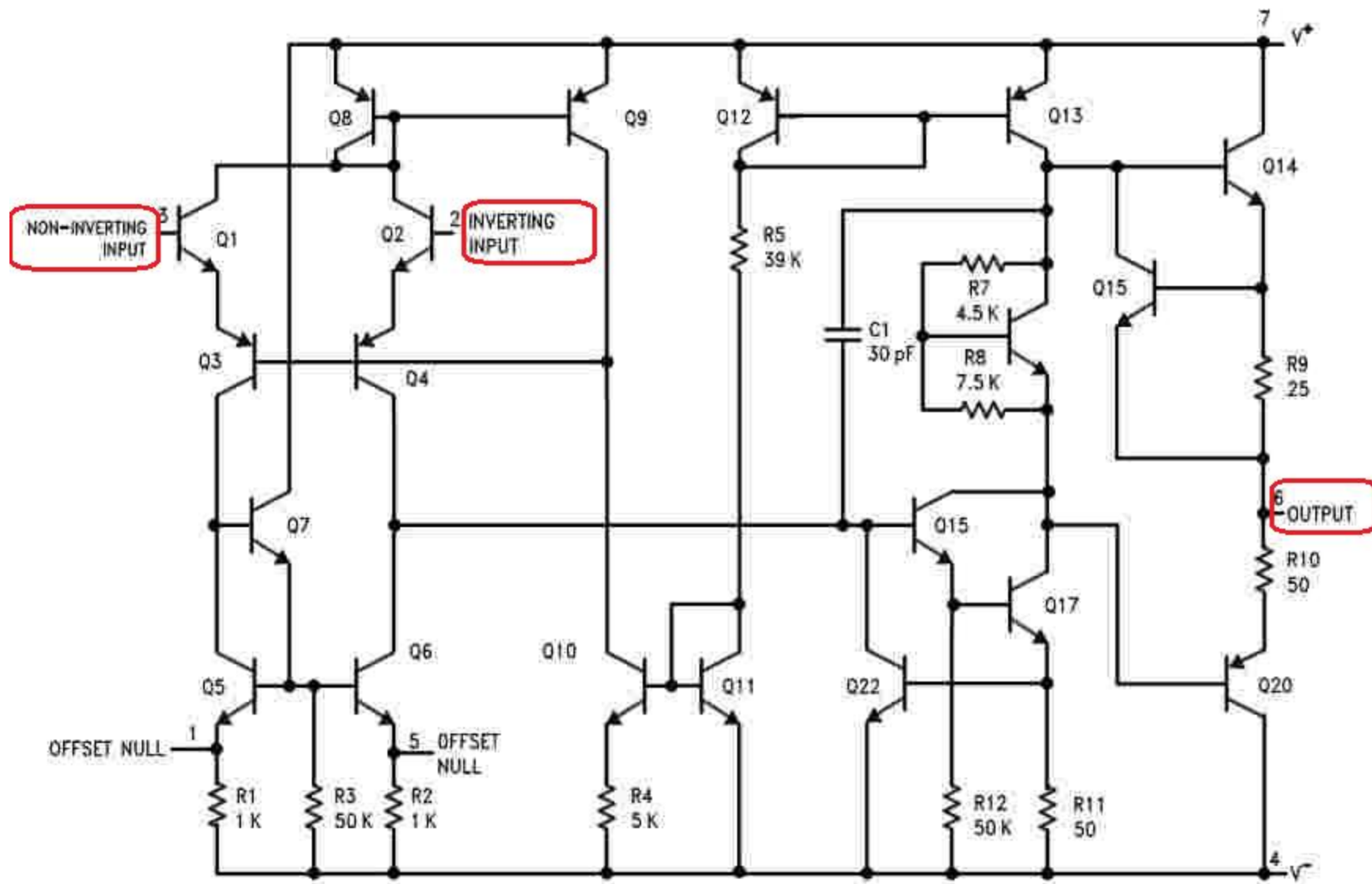
- для уменьшения потребляемой мощности;

Не все элементы могут взаимодействовать друг с другом.

Особенности транзисторов

- Входное сопротивление должно быть максимальным (входной ток минимальным).
- Транзистор должен обладать по возможности большим коэффициентом усиления
- Ток через транзистор не должен зависеть от температуры
- Для получения этих параметров несколько транзисторов объединяют в одну схему в одном корпусе – **операционный усилитель**

Операционный усилитель – сборище транзисторов



AD820

FEATURES

True single-supply operation

Output swings rail-to-rail

Input voltage range extends below ground

Single-supply capability from 5 V to 30 V

Dual-supply capability from ± 2.5 V to ± 15 V

Excellent load drive

Capacitive load drive up to 350 pF

Minimum output current of 15 mA

Excellent ac performance for low power

800 μ A maximum quiescent current

Unity-gain bandwidth: 1.8 MHz

Slew rate of 3 V/ μ s

Excellent dc performance

800 μ V maximum input offset voltage

2 μ V/ $^{\circ}$ C typical offset voltage drift

25 pA maximum input bias current

Low noise: 13 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 10 kHz

AD820



ANALOG DEVICES

PIN CONFIGURATIONS

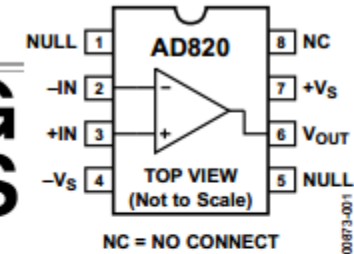


Figure 1. 8-Lead PDIP

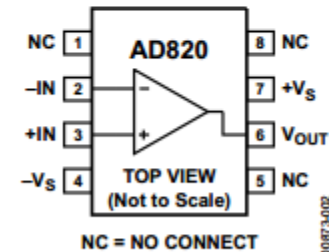
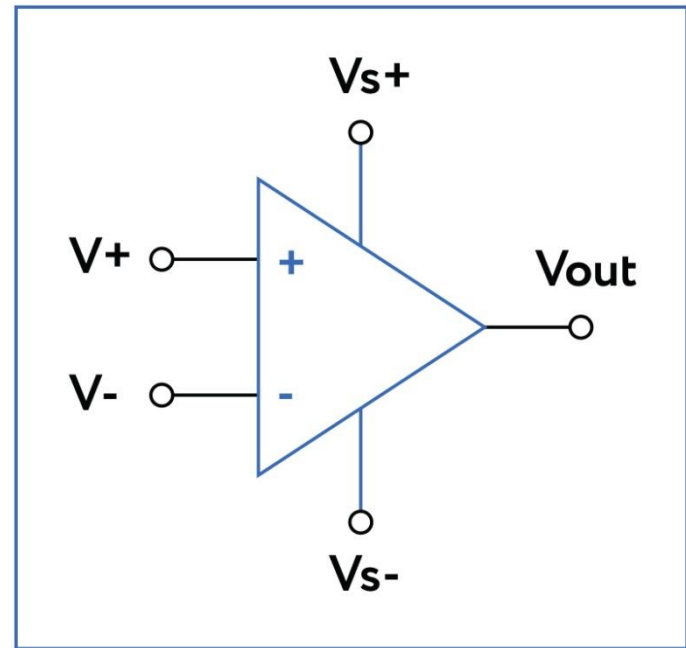


Figure 2. 8-Lead SOIC_N and 8-Lead MSOP

Операционный усилитель

Условные обозначения :

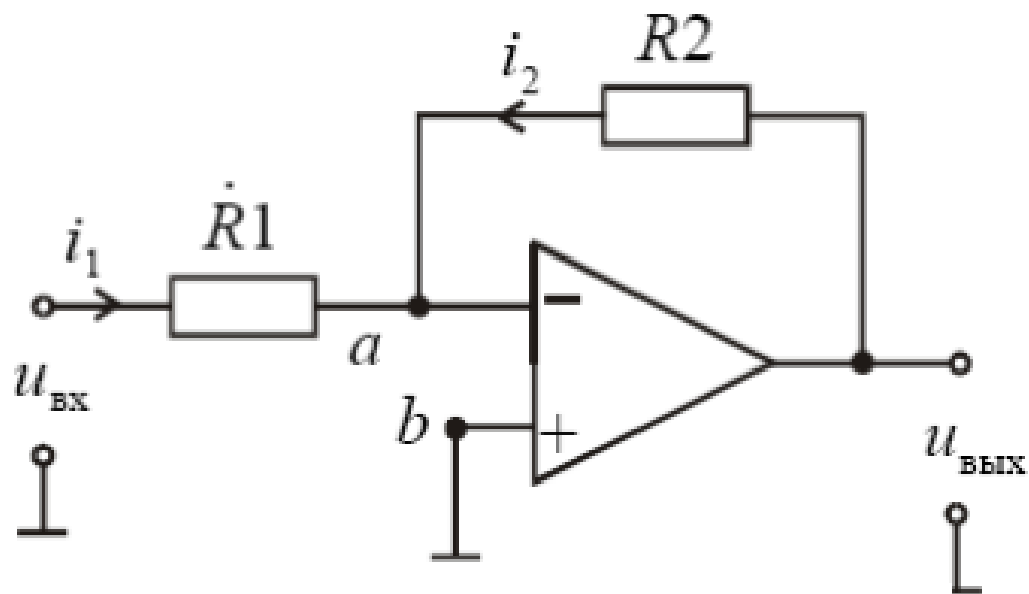
- V_+ — не инвертирующий вход
- V_- — инвертирующий вход
- V_{out} — выход
- V_{s+} — плюс напряжения питания
- V_{s-} — минус напряжения питания



Условное графическое обозначение
операционного усилителя

- Усиливает только разность входных напряжений.
- Коэффициент усиления стремится к бесконечности

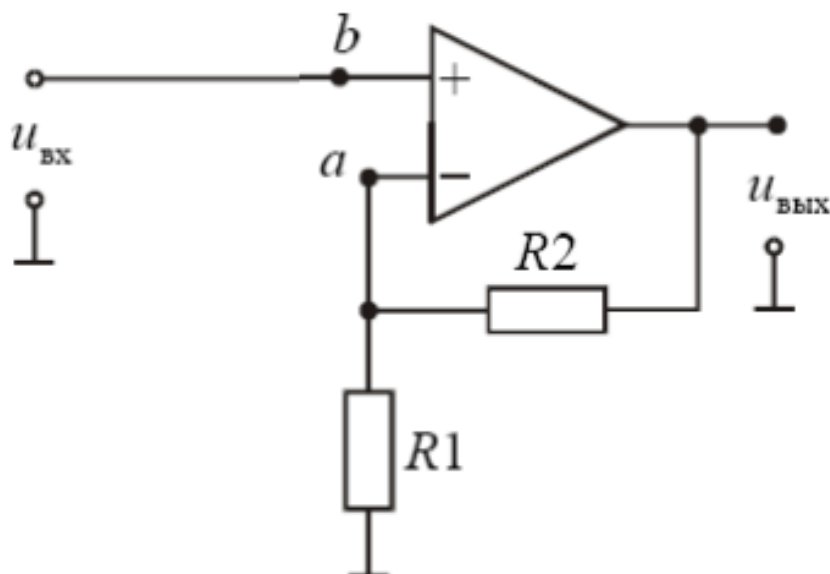
Инвертирующее включение



$$u_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R2}{R1} u_{\text{ВХ}}$$

$$K = -\frac{R2}{R1}$$

Не инвертирующий усилитель



$$u_{\text{ВЫХ}} = \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) u_{\text{ВХ}}$$

$$K = 1 + \frac{R2}{R1}$$