

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

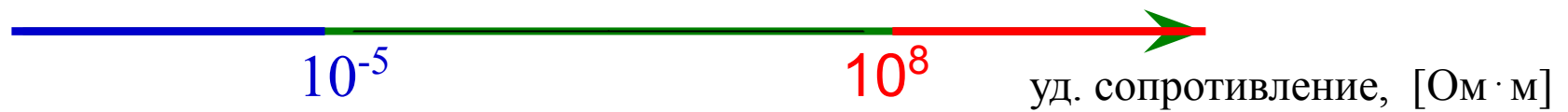
Лекция 15

Электроника

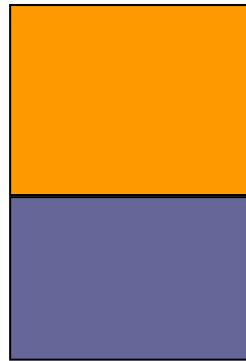
Полупроводники

Полупроводниковый диод

Элементы зонной теории электропроводности

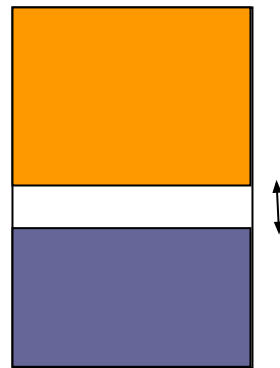


металл



$$\Delta E = 0$$

полупроводник



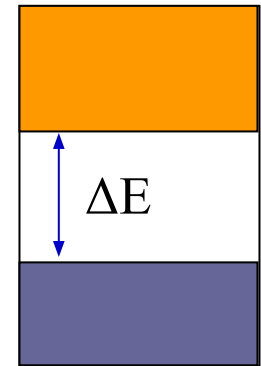
$$\Delta E < 3 \text{ эВ}$$

зона проводимости

запрещенная зона

валентная зона

диэлектрик



$$\Delta E > 3 \text{ эВ}$$

Металлы, полупроводники, диэлектрики отличаются типом химической связи, зонной диаграммой, величиной удельного сопротивления

Полупроводники

Полупроводники – это материалы, обладающие удельным электрическим сопротивлением в пределах $10^{-5} \dots 10^8$ Ом·м.

Из простых полупроводников распространены **германий** и **кремний**.

Используются для выпрямления и усиления эл. сигналов и превращения различных видов энергии в электрическую.

По электрическому сопротивлению полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Полупроводники – вещества, в которых количество свободных зарядов зависит от внешних условий (температура, напряженность, электрическое поле).

Полупроводники:

- Минералы;
- Оксиды;
- Сульфиды;
- Теллуриды;
- Германий;
- Кремний;
- Селен.

Применение полупроводников

Терморезисторы — сопротивления, величина которых изменяется от температуры. Используются как датчики температуры в различных схемах автоматики.

Термоэлементы — устройства, с помощью которых можно преобразовывать энергию электрического поля в тепловую энергию, и наоборот — тепловую в электрическую.

Фотоэлементы — элементы, служащие для преобразования световой энергии в электрическую. Используются в солнечных батареях, вентильных элементах. В основе фотоэлементов лежит **p—n**-переход

Фоторезисторы — элементы, сопротивления которых зависят от интенсивности светового потока, действующего на него.

Варисторы — элементы, сопротивление которых зависит от приложенного напряжения.

Варикапы — элементы, ёмкость которых зависит от приложенного напряжения.

Примеры полупроводниковых элементов



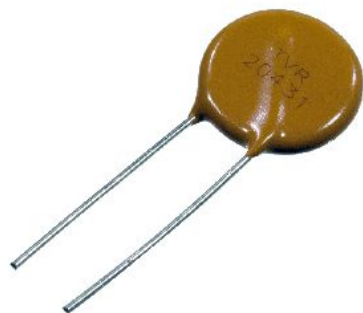
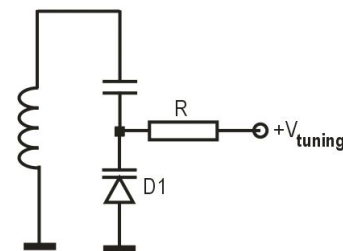
Фоторезистор



Терморезистор



Варикап



Варистор



Термоэлементы
Пельте

Полупроводники

Проводимость

```
graph TD; A[Проводимость] --> B[Собственная]; A --> C[Примесная]; B --> D[Электронная]; B --> E[Дырочная]; C --> F[Донорная]; C --> G[Акцепторная];
```

Собственная

Примесная

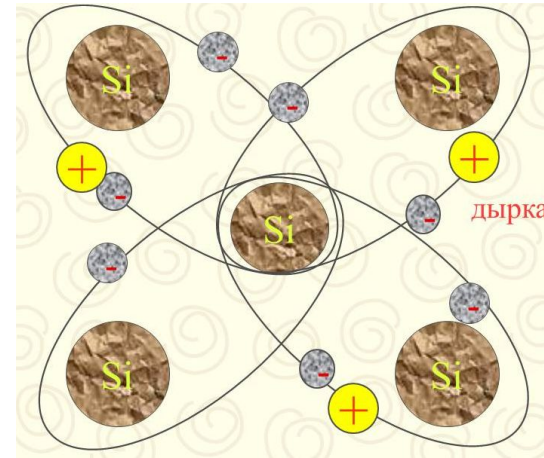
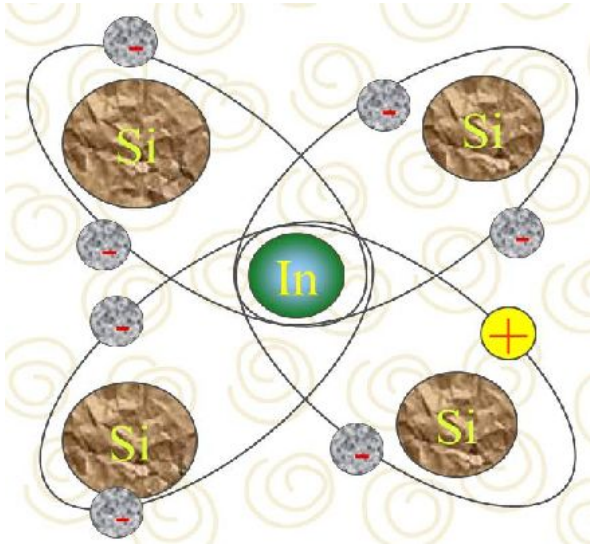
Электронная

Дырочная

Донорная

Акцепторная

Собственная проводимость полупроводников



При обычных условиях (невысоких температурах) в полупроводниках отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому полупроводник не проводит **электрический ток**.

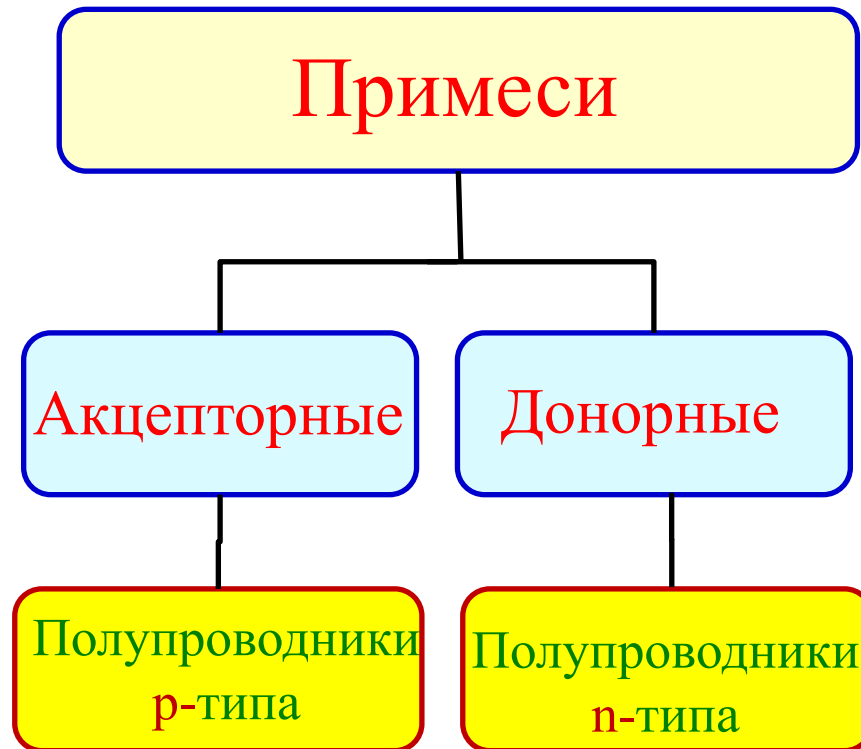
«Дырка»

При нагревании кинетическая энергия электронов увеличивается и самые быстрые из них покидают свою орбиту. Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. В этом месте образуется условный положительный заряд, называемый «дыркой».

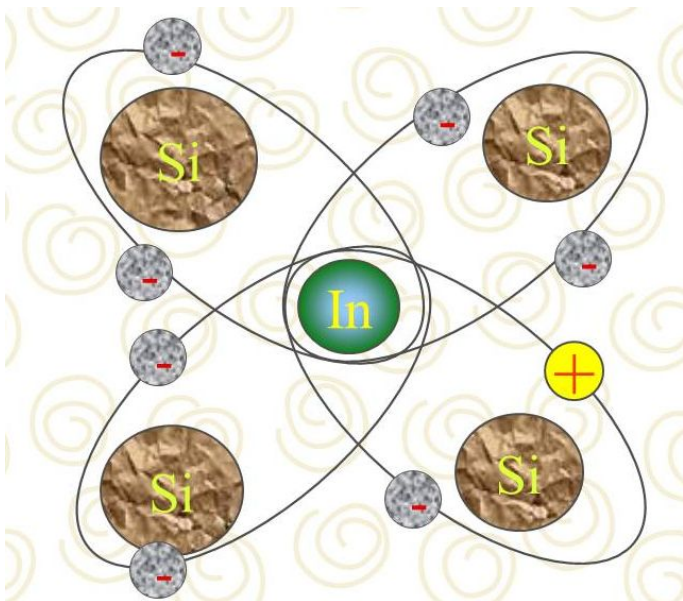
Примесная проводимость полупроводников

Дозированное введение в чистый проводник примесей позволяет целенаправленно изменять его проводимость.

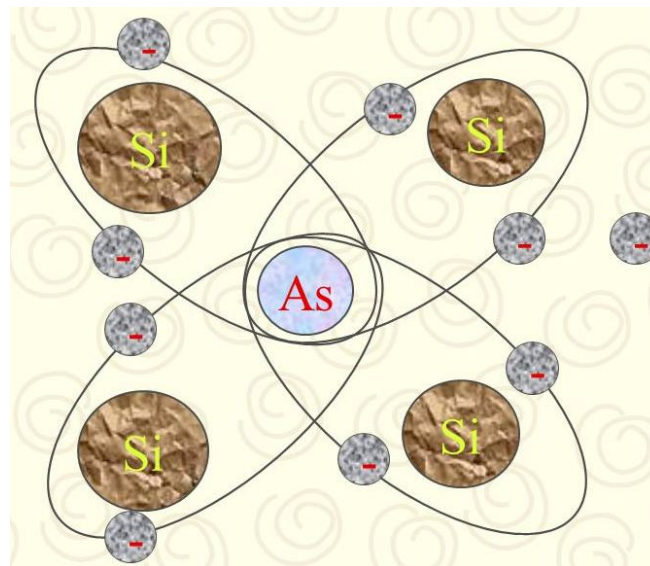
Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси, которые бывают *донорные и акцепторные*



Электронная (n-тип) и дырочная (p-тип) проводимости



Полупроводники
p-типа



Полупроводники
n-типа

Si – Кремний

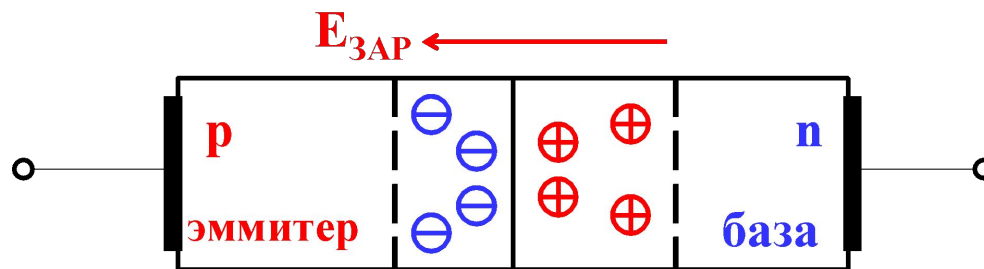
In – Индий

As - мышьяк

Полупроводниковый диод

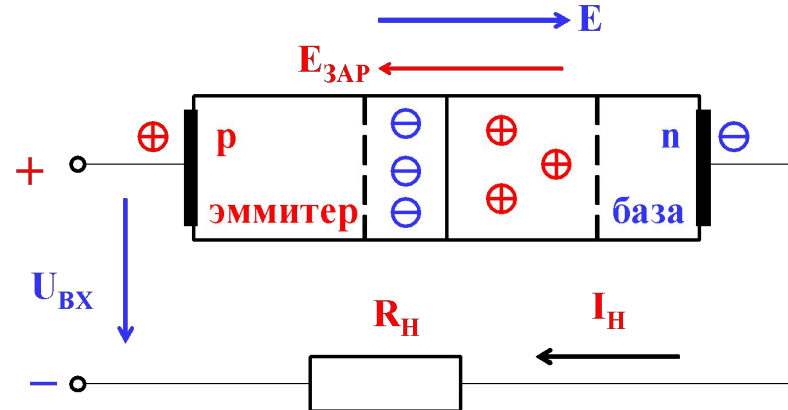
Полупроводниковый диод представляет собой полупроводниковую пластинку с двумя областями разной проводимости: *электронной (n-типа)* и *дырочной (p-типа)*. Между ними разделяющая граница, называемая *p - n переходом*.

Область *n-типа* называют *анодом* (отрицательный электрод), а область *p-типа* - *катодом* (положительный электрод) полупроводникового диода. Диод хорошо пропускает ток, когда его отрицательный электрод соединен с отрицательным полюсом источника напряжения, а положительный с положительным полюсом, т. е. когда на диод подается напряжение прямой полярности.



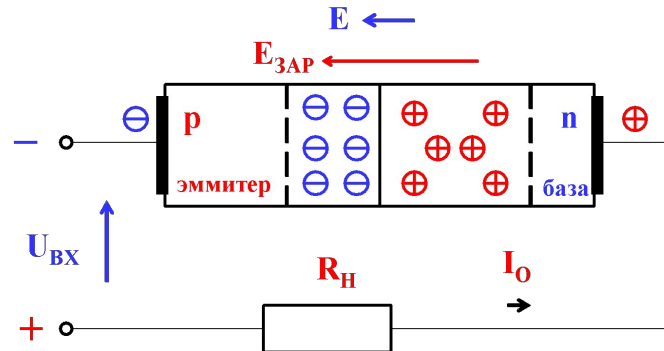
Структурная схема полупроводникового диода

Внешнее электрическое поле E , приложенное к сложной структуре полупроводника, уменьшит величину потенциального барьера, обеспечивая приток новых носителей заряда в области эмиттера и базы, создавая тем самым прямой ток перехода.

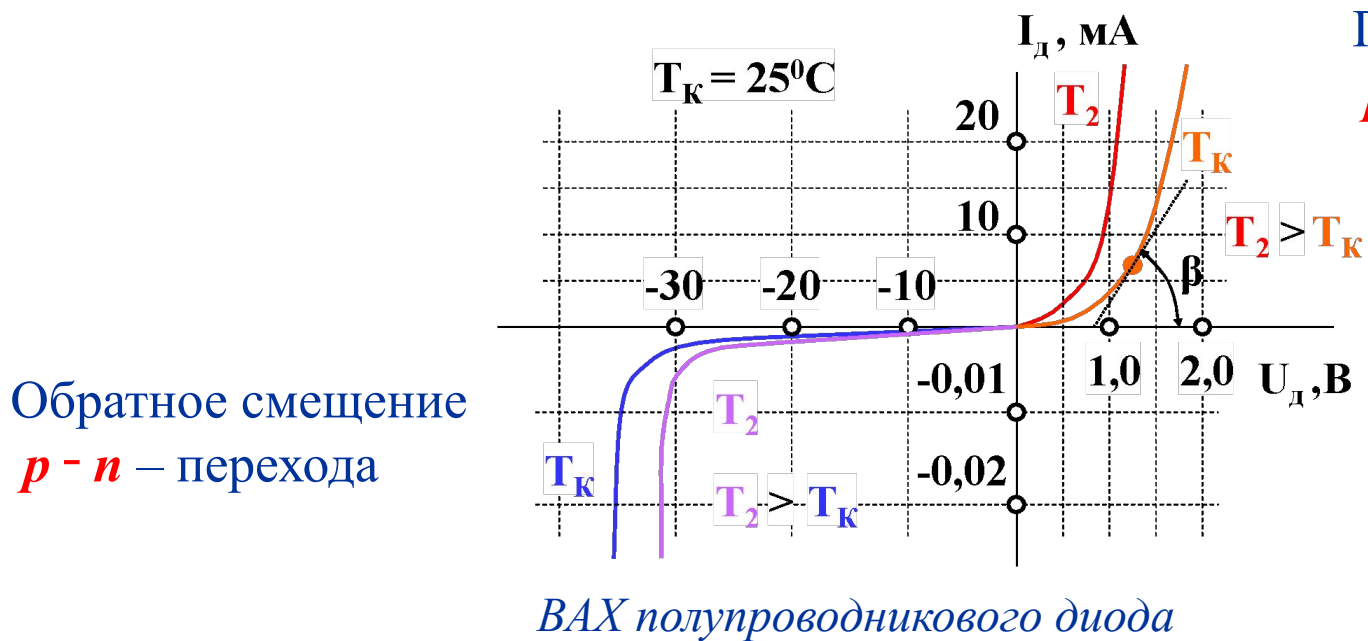


Структурная схема полупроводникового диода для прямого включения с источником внешнего напряжения

В случае, когда полярность источника напряжения *противоположна*, внешнее поле E , совпадая по направлению с $E_{\text{ЗАР}}$ повышает потенциальный барьер, создавая дополнительное препятствие основным носителям заряда.



Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода определяет зависимость тока через структуру по отношению к знаку и величине приложенного к диоду напряжения



Прямого смещение
p-n – перехода

Прямое смещение характеризуется малым падением напряжения на диоде и большим прямым током.

Обратное смещение характеризуется малым током и большим сопротивлением.

В настоящее время используют диоды с различными техническими характеристиками:

- выпрямительные;
- стабилитроны;
- диоды Шоттки;
- варикапы;
- туннельные и обращенные диоды;
- светодиоды;
- фотодиоды.

При включении диода в обратном направлении (обратное смещение) пробой может существовать в трех формах: *туннельный*, *лавинный* и *тепловой*. Последние две - наиболее часто встречающиеся формы. Диоды многих конкретных типов не предназначены работать в режиме пробоя, но есть и исключения, например *стабилитроны*.

К основным параметрам диодов относятся:

- $I_{\text{пр. max}}$ - максимальный ток в направлении прямого смещения (открытое состояние);
- $U_{\text{пр.}}$ - напряжение на открытом диоде для фиксированной величины прямого тока;
- $U_{\text{обр. max}}$ - максимально допустимое напряжение при смещении перехода в обратном направлении;
- $I_{\text{обр. max}}$ - максимальный ток диода в направлении обратного смещения перехода;
- дифференциальное сопротивление диода для заданного режима работы

$$r_{\text{д}} = \frac{dU_{\text{д}}}{dI_{\text{д}}} \approx \frac{\Delta U_{\text{д}}}{\Delta I_{\text{д}}} = \text{ctg}\beta$$

Классификация полупроводниковых диодов.

С точки зрения конструктивных особенностей различают плоскостные и точечные полупроводниковые диоды. Каждый вид определяется спецификой производства и имеет отличительные характеристики.

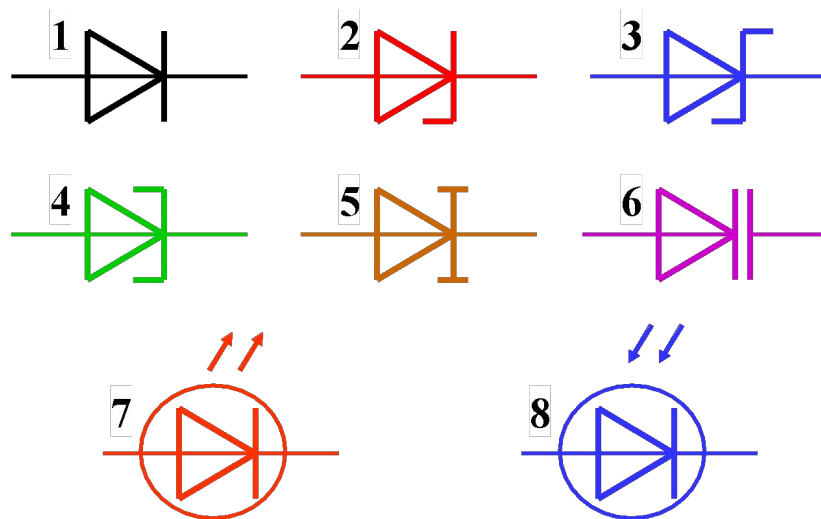
По виду применяемого материала, диоды бывают:

Германиевые;

Кремниевые;

Арсенид галлиевые.

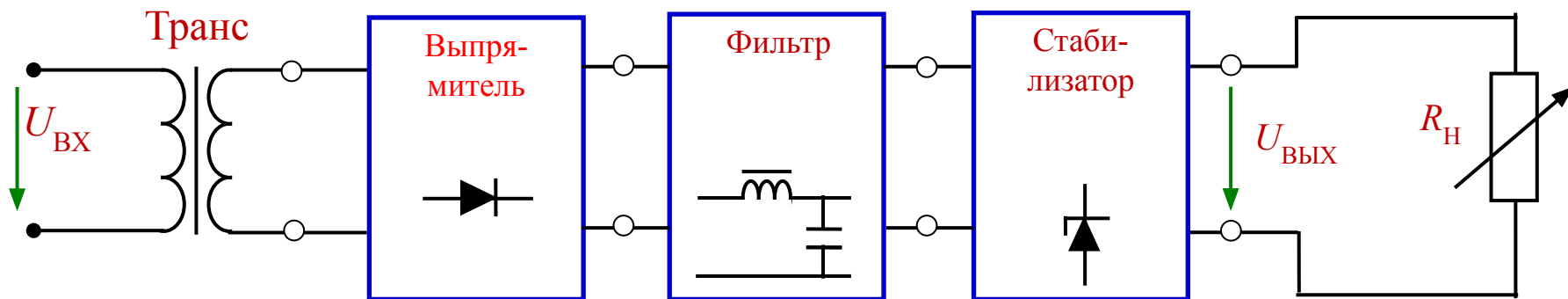
Обозначение диодов на принципиальных схемах соответствует выполняемой функции



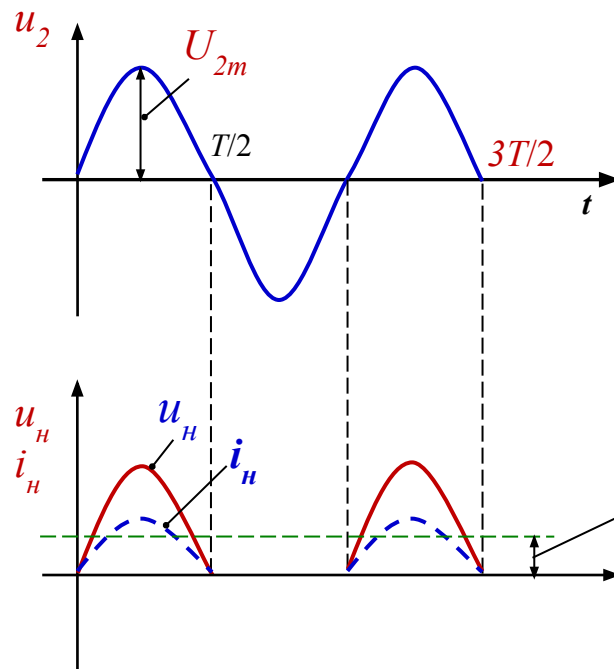
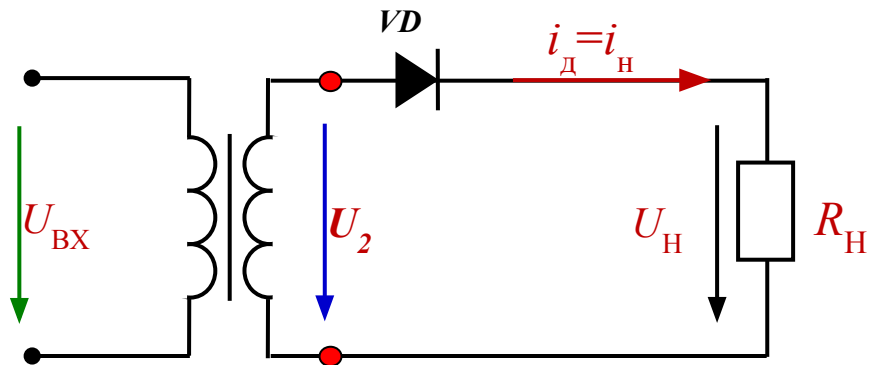
- 1 – выпрямительный диод;
- 2 – стабилитрон;
- 3 – диод Шоттки,
- 4 – туннельный диод;
- 5 – обращенный диод;
- 6 – варикап;
- 7 – излучающий диод;
- 8 – фотодиод

Однофазные выпрямители переменного напряжения

Для преобразования переменного напряжения питающей сети в применяются полупроводниковые выпрямители, схемы фильтрации и стабилизаторы.

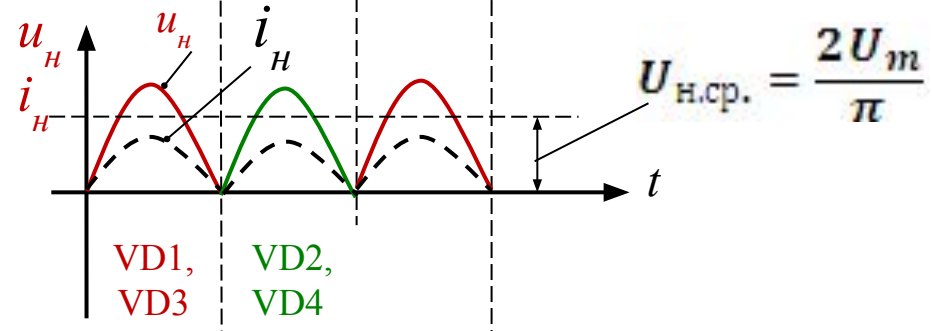
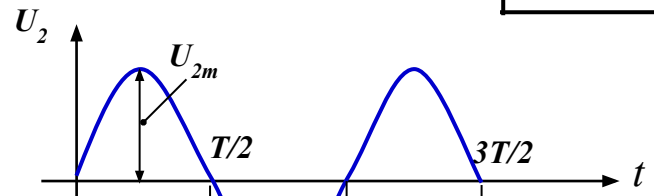
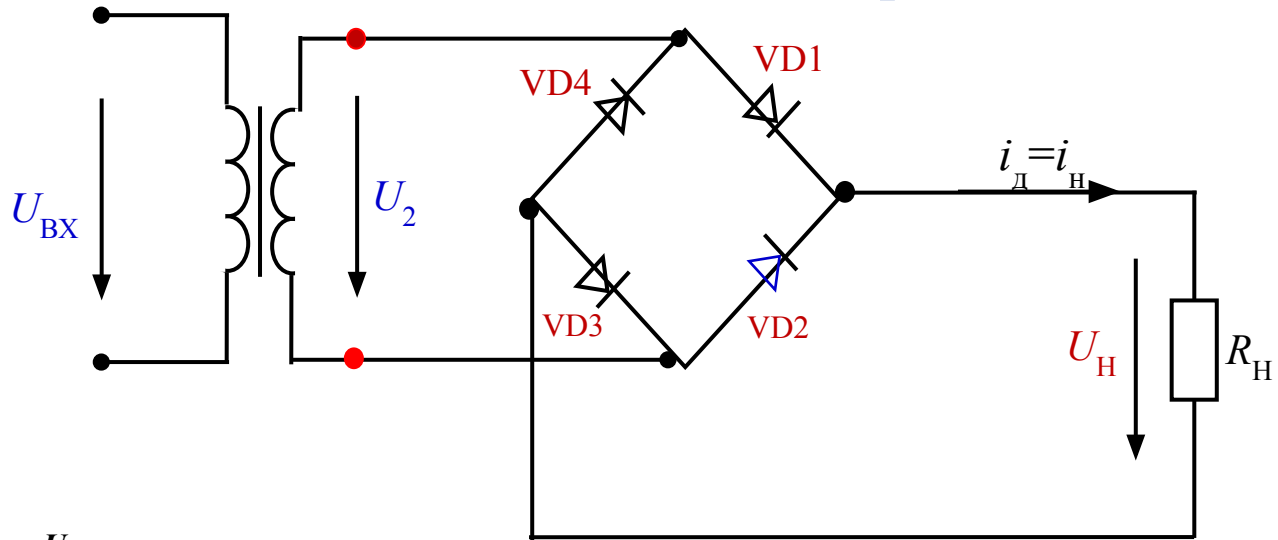


Однополупериодный выпрямитель



$$U_{н.ср} = \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 0,45U_2$$

Мостовой выпрямитель



$$U_{H.c.p.} = 0,9U_2$$

$$I_{H.c.p.} = 0,9 \cdot \frac{U_2}{R_H} = 0,9 \cdot I_2$$

Фильтры для выпрямителей

Для уменьшения пульсаций к выходному каскаду подключают различные фильтры.

Требуемый коэффициент пульсаций в источниках вторичного питания не должен превышать 1-2%.

Эффективность фильтра может быть оценена коэффициентом сглаживания

$$K_{\text{СГЛ.}} \approx \frac{q_{\text{ВХ.}}}{q_{\text{ВЫХ.}}}$$

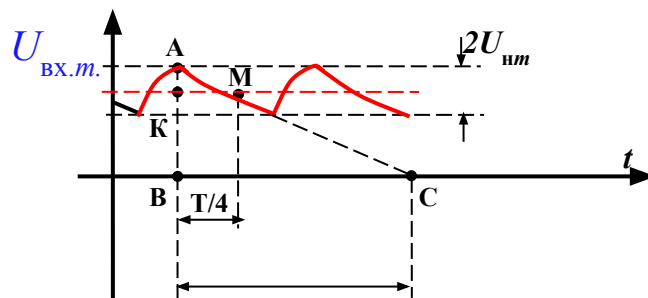
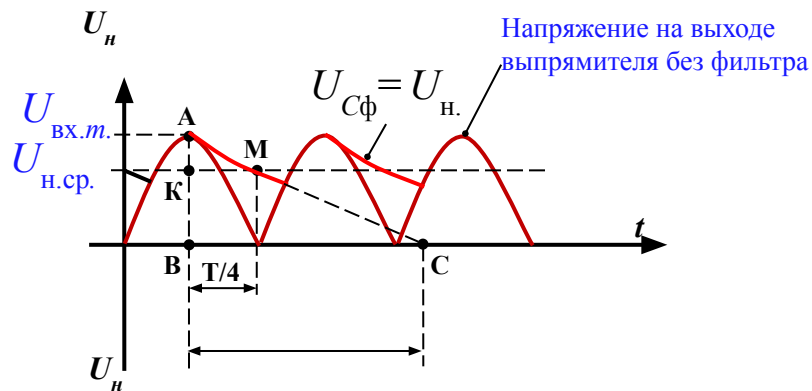
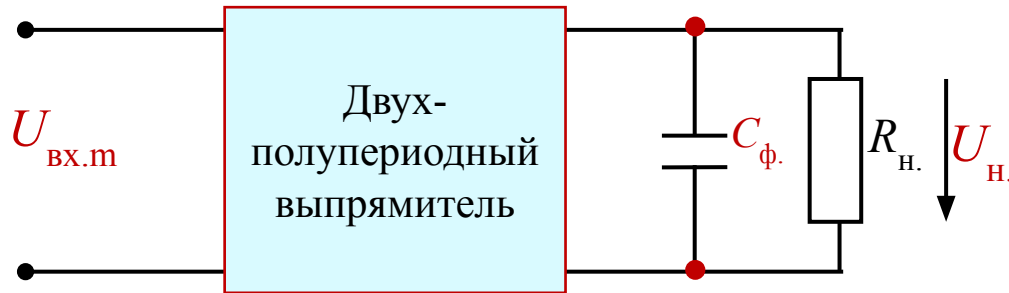
$q_{\text{ВХ}}$ – коэффициент пульсаций схемы до включения фильтра;

$q_{\text{ВЫХ}}$ – коэффициент пульсаций схемы после включения фильтра;

$$K_{\text{СГЛ.}} \approx \omega_{\text{осн.}} C_{\text{ф}} R_{\text{Н}}$$

$\omega_{\text{осн}}$ – частота основной гармоники выпрямленного напряжения.

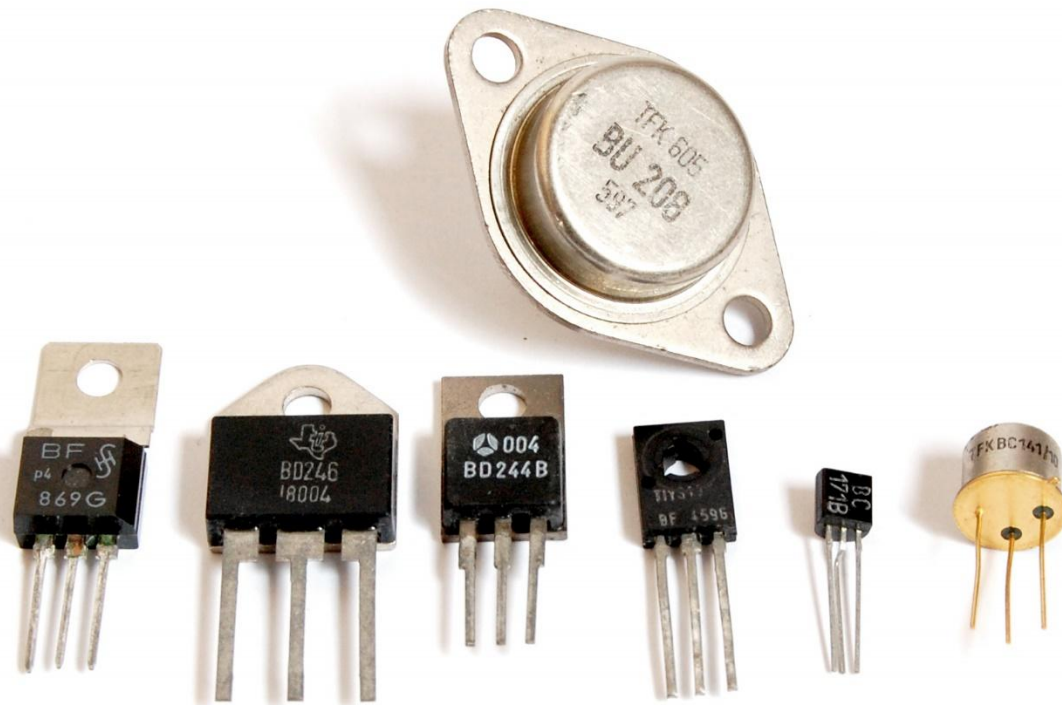
Фильтры для выпрямителей



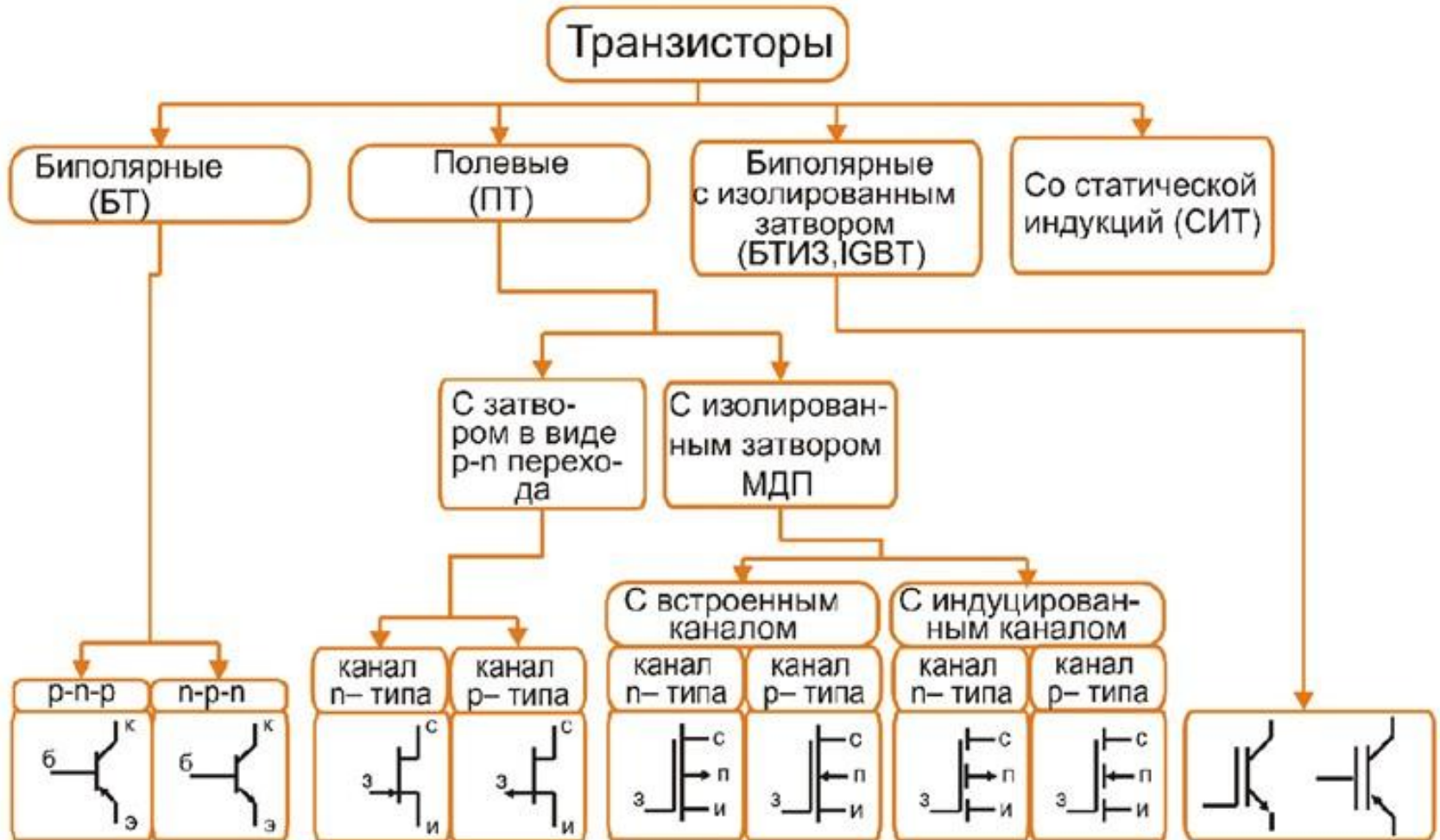
$$q = \frac{4U_{2m} \cdot \pi}{2U_{2m} \cdot \pi} = \frac{2}{3} = 0,67$$

Транзисторы

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



Классификация транзисторов



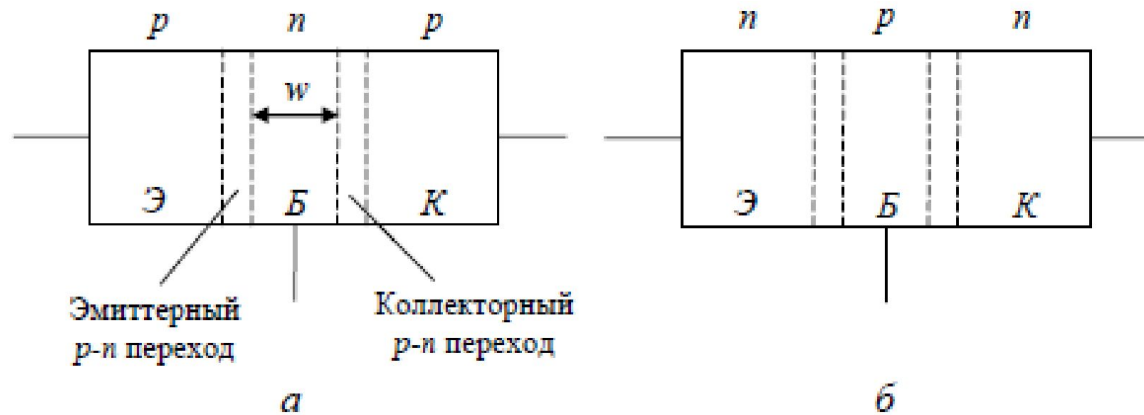
к-коллектор;
э-эмиттер;

с-сток;
и-исток

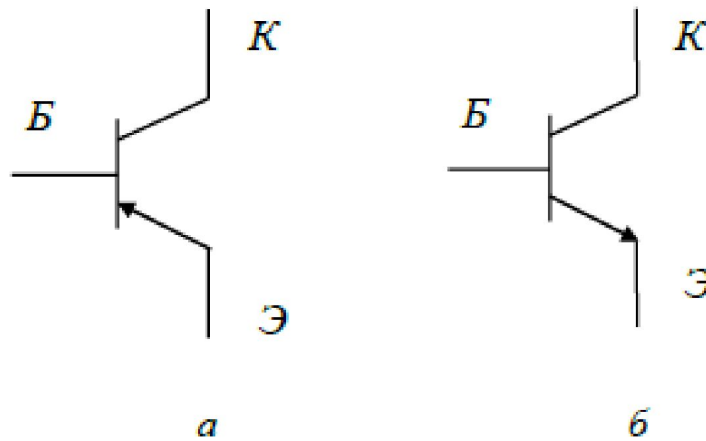
з-затвор;
п-подложка

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.

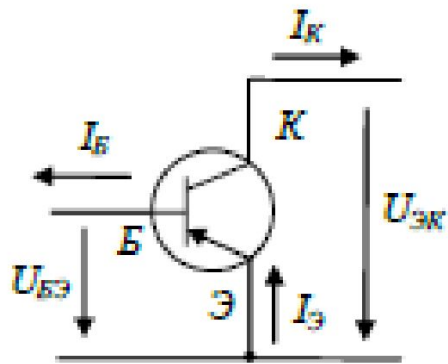


Биполярный транзистор имеет два взаимодействующих $p - n$ перехода и три вывода: база (B), эмиттер (\mathcal{E}) и коллектор (K).

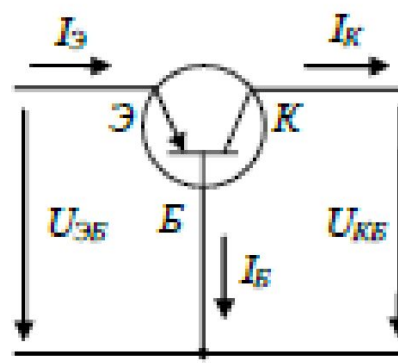


Схемы включения биполярного транзистора

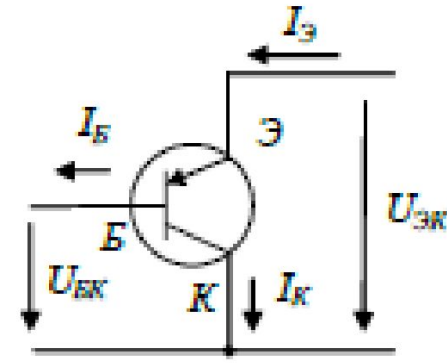
- с общим эмиттером (ОЭ);
- общей базой (ОБ);
- с общим коллектором (ОК).



а



б



в

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*.

