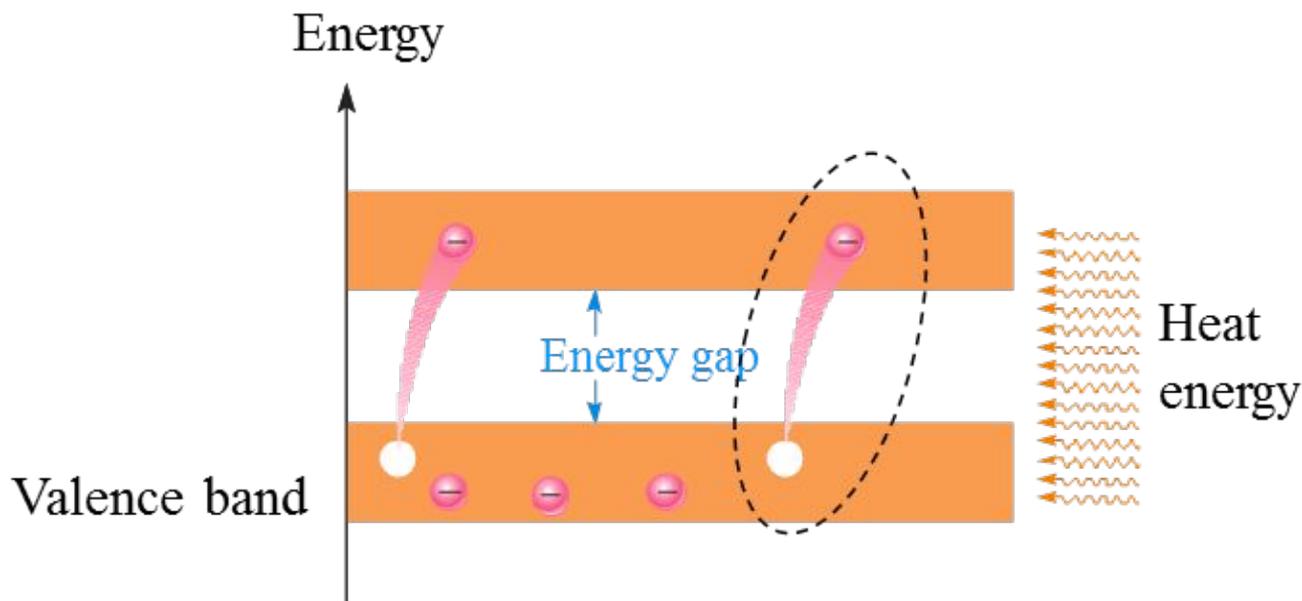


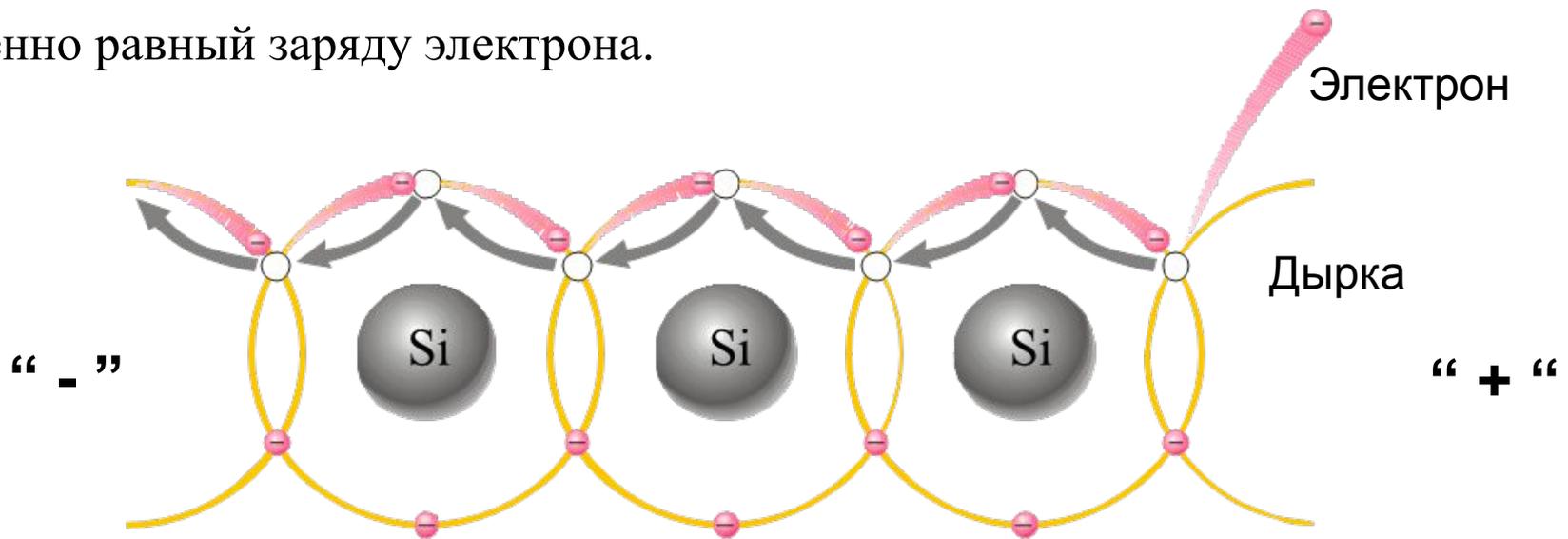
# 1. Полупроводники.

Отрицательно заряженные электроны являются носителями заряда в электрической цепи. Электрон может стать свободным если приложена какая-либо энергия к атому (тепловая, напряжение и т. д.).



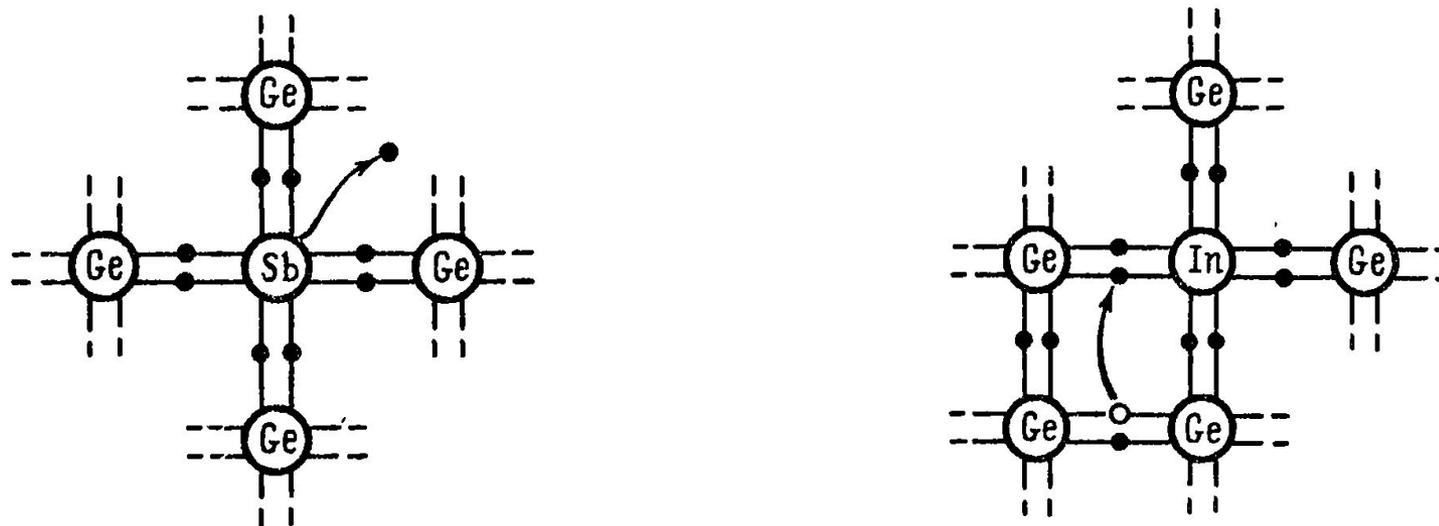
При перемещении электрона от одного атома к другому создаются положительные заряды, называемые «дырками», которые перемещаются в противоположном направлении.

**Дырка (hole)** — квазичастица, носитель положительного заряда, равного элементарному заряду, в полупроводниках. Незаполненная валентная связь, которая проявляет себя как положительный заряд, численно равный заряду электрона.



Если в полупроводнике имеются примеси других веществ, появляется «примесная» проводимость, которая в зависимости от рода примеси, она может быть **электронной** или **дырочной**.

Примеси, атомы которых отдают электроны, называются **донорами**.



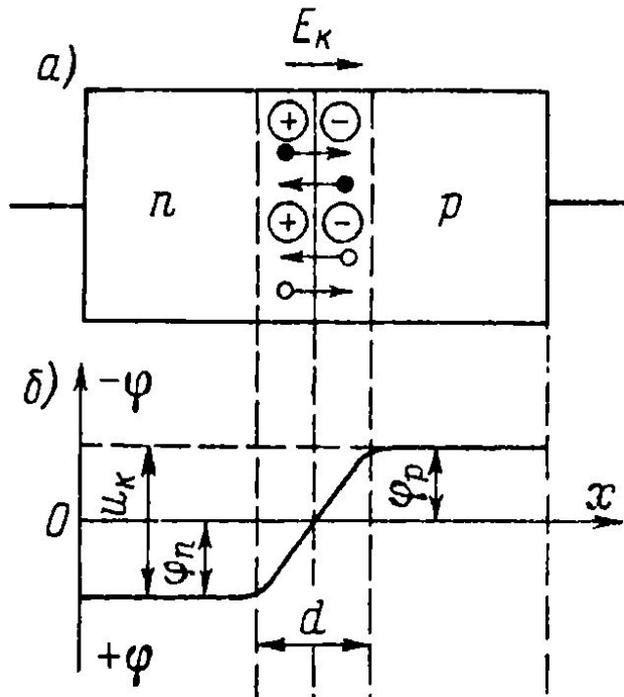
Вещества, отбирающие электроны и создающие дырочную проводимость наз. **акцепторами** (акцептор- принимающий)

Полупроводники с преобладанием дырочной проводимости называются полупроводниками **p - типа**, а с преобладанием электронной проводимости **n – типа**.

## 2. Полупроводниковые приборы.

### Понятие n-p перехода. Диоды

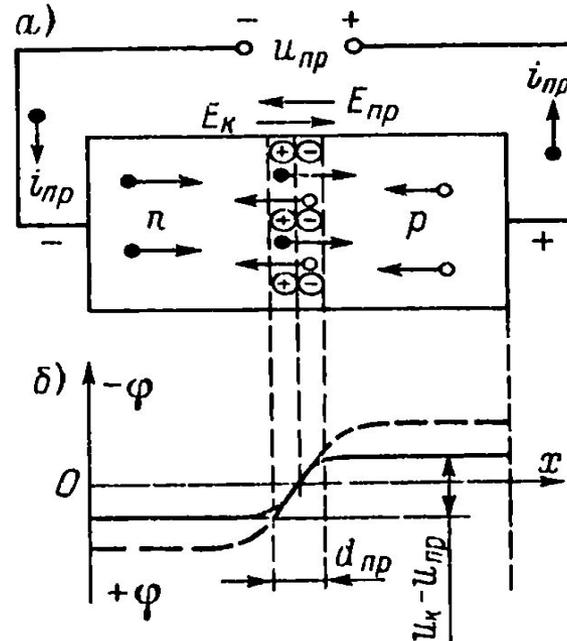
Область на границе двух полупроводников с различными типами проводимости называется электронно-дырочным переходом или n-p (p-n) переходом



В результате диффузии носителей по обе стороны границы перехода создаются объемные заряды различных знаков.

Между объемными зарядами возникает контактная разность потенциалов (составляет десятые доли вольта) и электрическое поле (вектор  $E_k$ ).

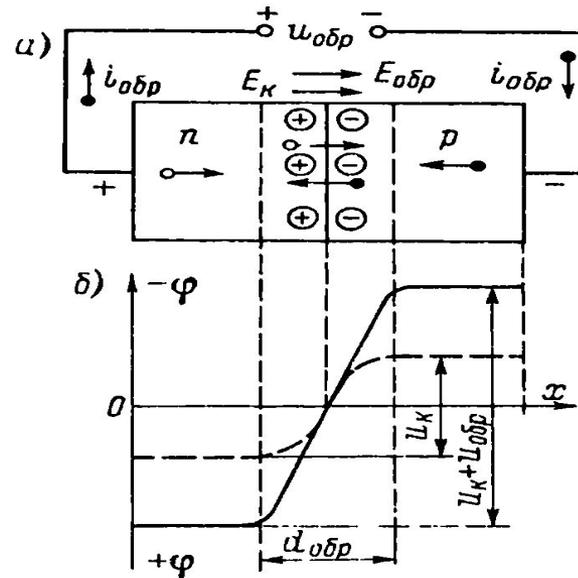
# Электронно-дырочный переход при прямом включении



n- область наз.  
«эмиттер»  
P- область наз.  
«коллектор»

При прямом напряжении потенциальный барьер понижается, уменьшается толщина запирающего слоя и его сопротивление в прямом направлении становится малым (единицы Ом)

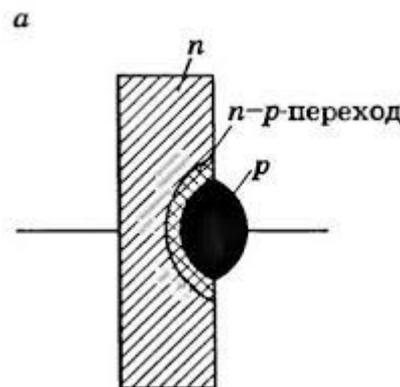
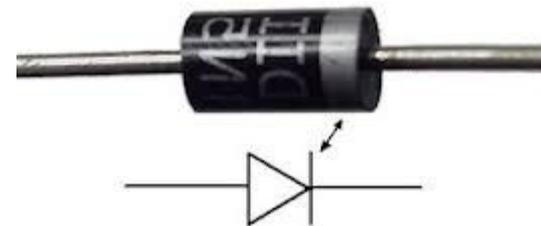
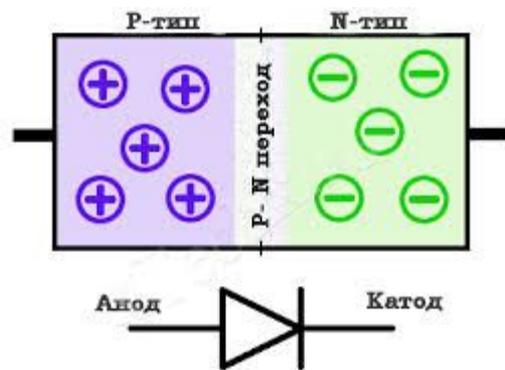
# Электронно-дырочный переход при обратном включении



Электроны отрицательного полюса источника притянут дырки обедненной области **р** ближе к концу кристалла, а к другому концу кристалла положительный потенциал источника притянет свободные электроны. При этом электроны и дырки практически не будут пересекать переход, а потенциальный барьер увеличится. Будет протекать небольшой обратный ток —  $i_{обр}$  (мкА)

Происходит «инжекция» носителей из **п** области в **р** область.

**Диод** (от греч. — два и -од — от окончания *-од* термина *электрод*; букв. «двухэлектродный») — электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют **анодом**, подключаемый к отрицательному полюсу — **катодом**.



# Теоретическая вольтамперная характеристика диода

$$I = I_0 [\exp(U / \varphi_T) - 1]$$

$I_0$  - обратный ток, очень мал (мкА);

$U$  - напряжение на p-n переходе

$\varphi_T = kT / e$  - температурный потенциал (k-постоянная Больцмана, e – заряд электрона)

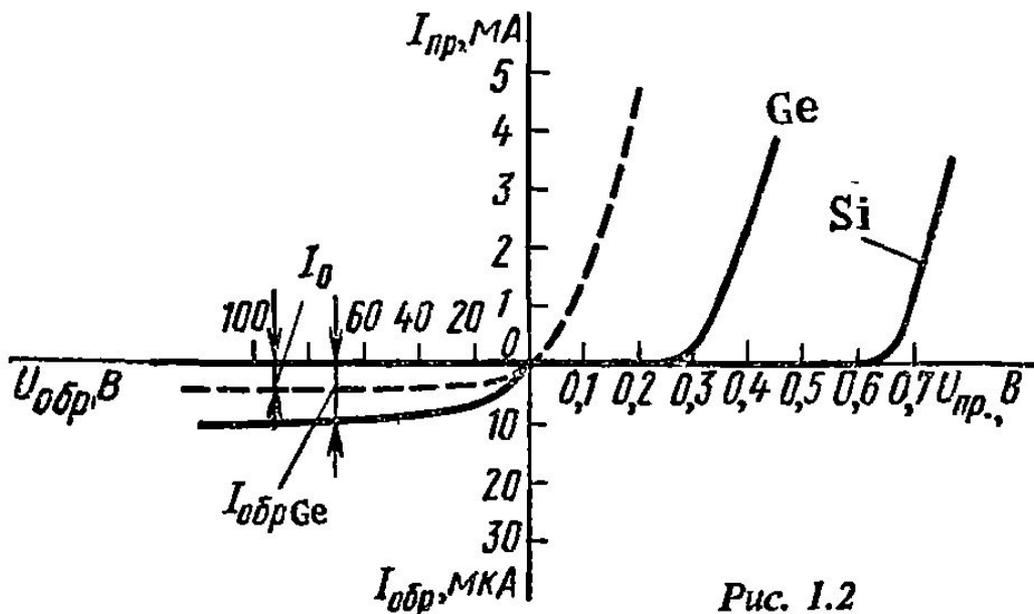


Рис. 1.2

Кремниевые диоды имеют существенно меньшее значение обратного тока по сравнению с германиевыми вследствие более низкой концентрации неосновных носителей заряда. Обратная ветвь ВАХ у кремниевых диодов при данном масштабе практически сливается с осью абсцисс. Прямая ветвь ВАХ у кремниевых диодов расположена значительно правее, чем у германиевых.

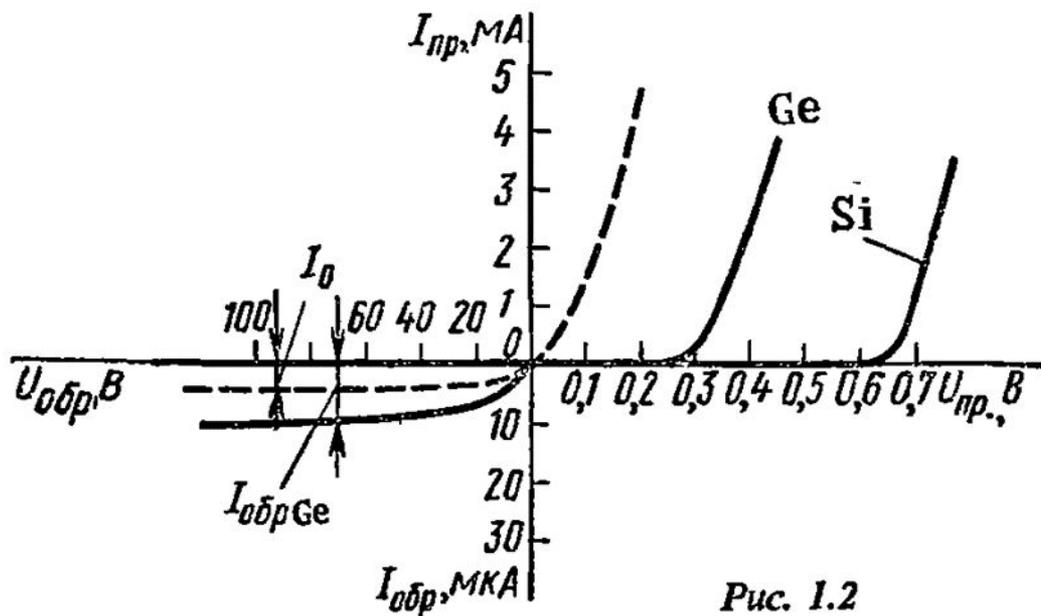
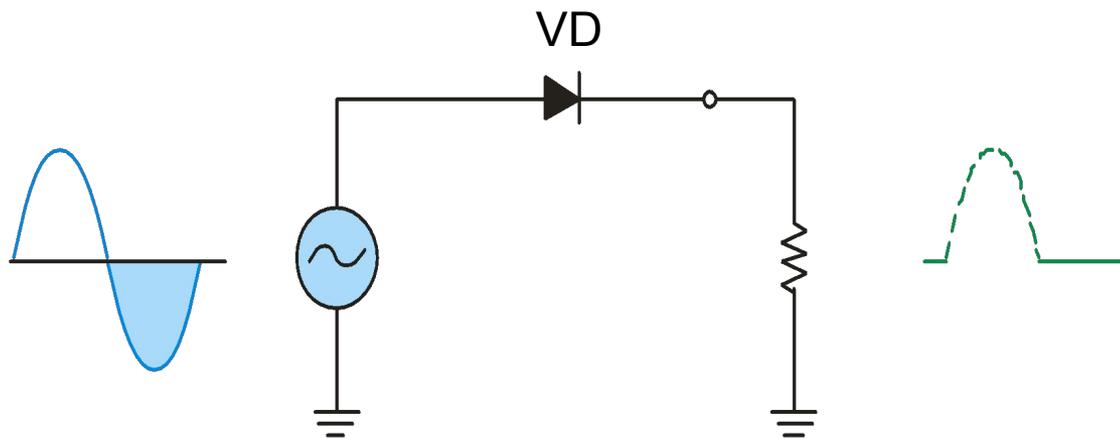
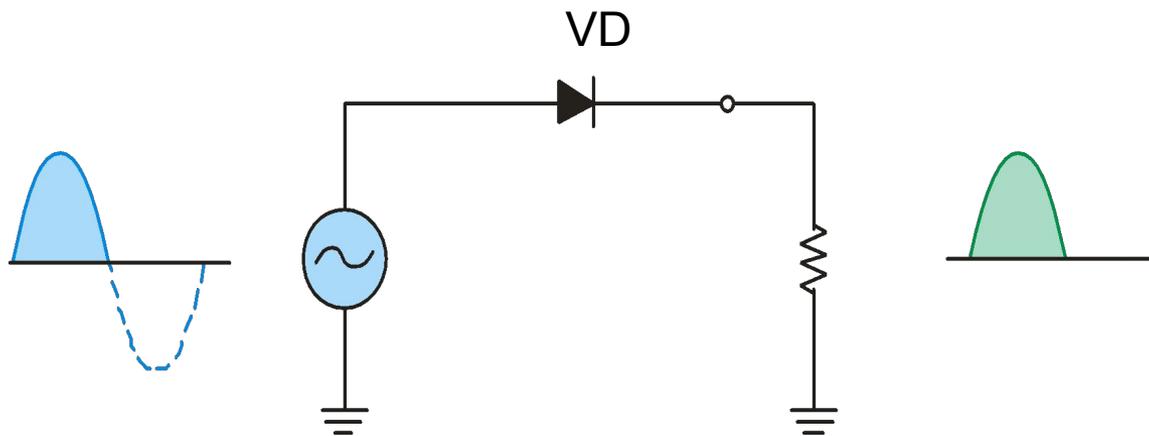


Рис. 1.2

Диод проводит ток в прямом направлении если величина приложенного напряжения больше потенциального барьера. Германиевый диод требует прямое смещение 0,2-0,3 В, а кремниевый- 0,5-0,7В. Соответственно и падение напряжения на диоде равно этим величинам.

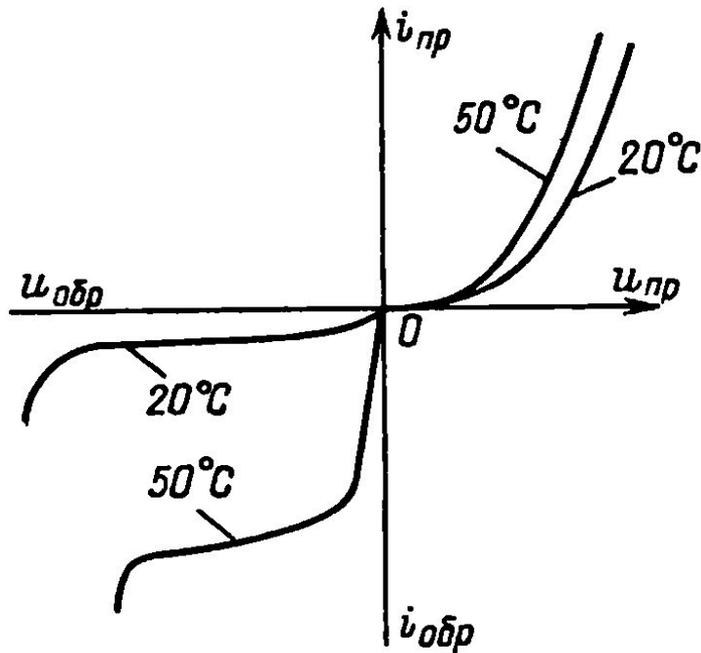
# Работа диода





На участке от 0-А протекает небольшой обратный ток (мкА). Далее происходит лавинное размножение носителей из-за ударной ионизации и вырывание электронов из атомов. **Участок АБВ** – электрический обратимый пробой p-р перехода при котором обратный ток резко возрастает и сопротивление пирающего слоя резко уменьшается. **Участок ВГ** – необратимый тепловой пробой перехода.

## Влияние температуры на проводимость диода



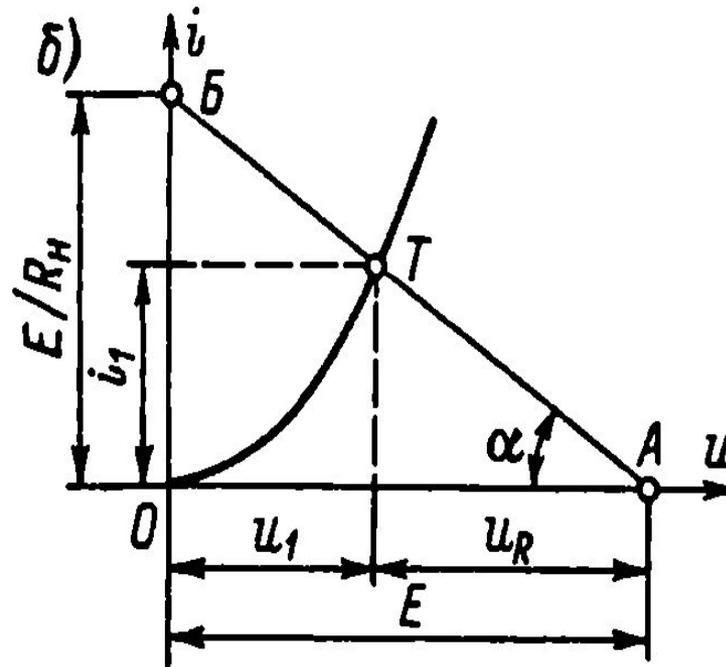
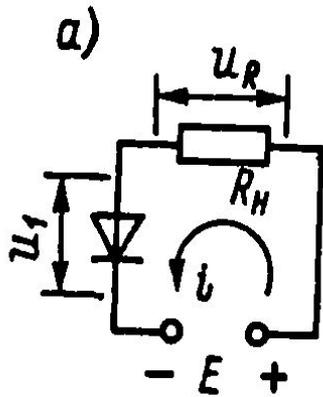
$$i_{обр(t)} = i_{обр(20\text{ C})} \cdot 2^{(t-20)/10},$$

При увеличении температуры среды, ток протекающий через диод возрастает

$$dU/dT \approx -2,5 \text{ мВ/}^\circ\text{C}.$$

Если через диод из германия протекает постоянный ток, то при изменении температуры, падение напряжения изменяется на 2,5 мВ/С

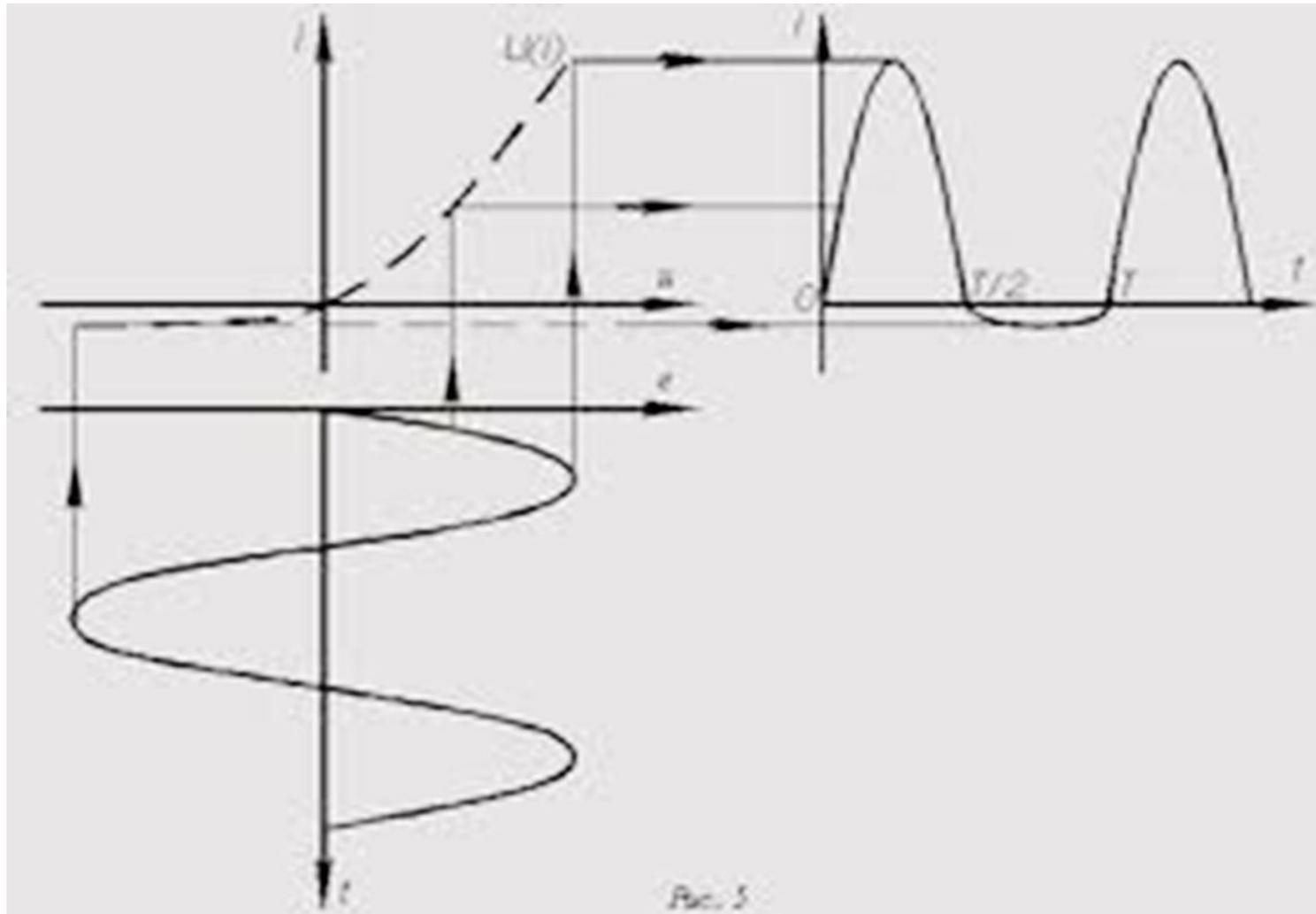
# Понятие рабочей точки диода



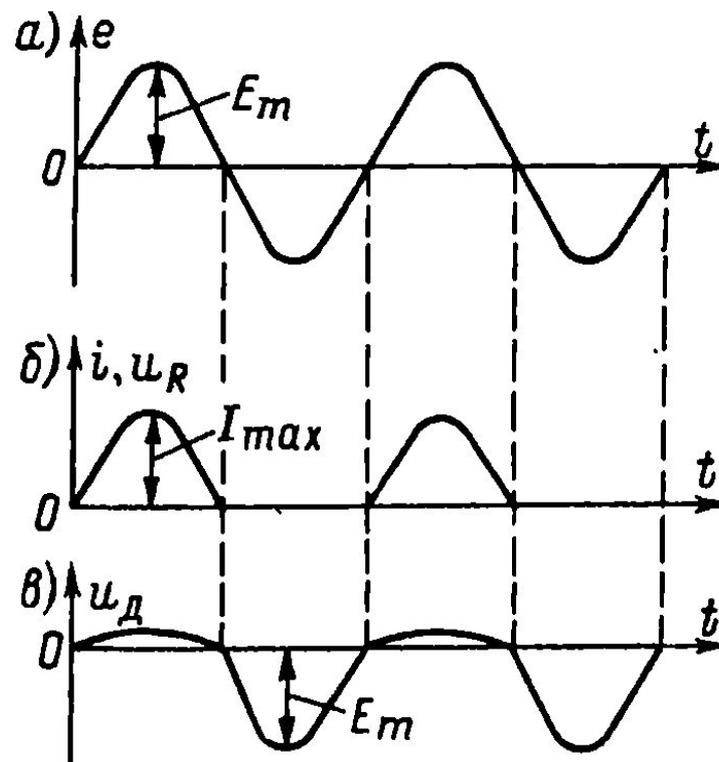
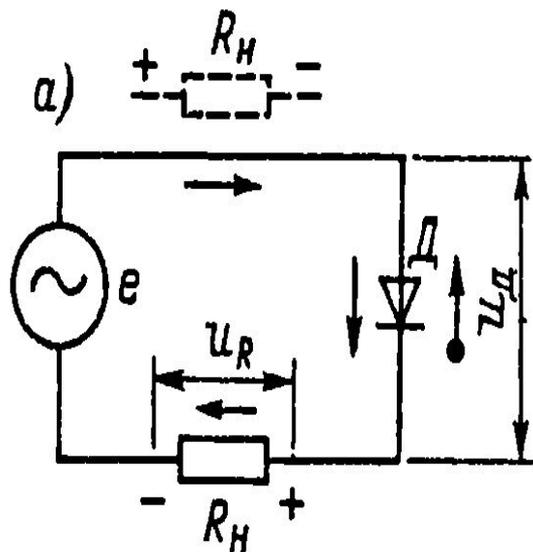
$$i = \frac{E - (U_1 + U_R)}{R_H}$$

1.  $i = 0, U_1 + U_R = E$
2.  $U_1 + U_R = 0, i = E/R_H$

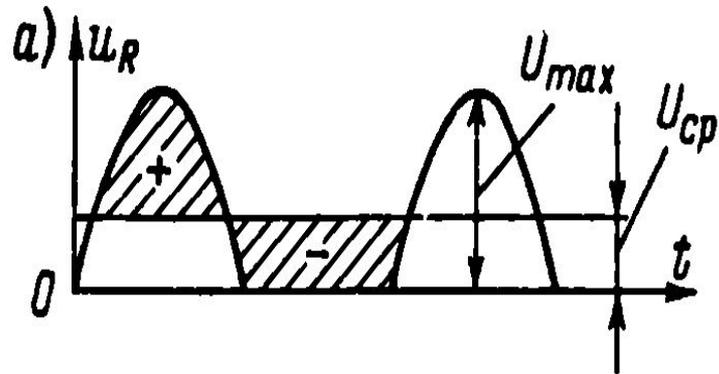
# Работа в линейном режиме



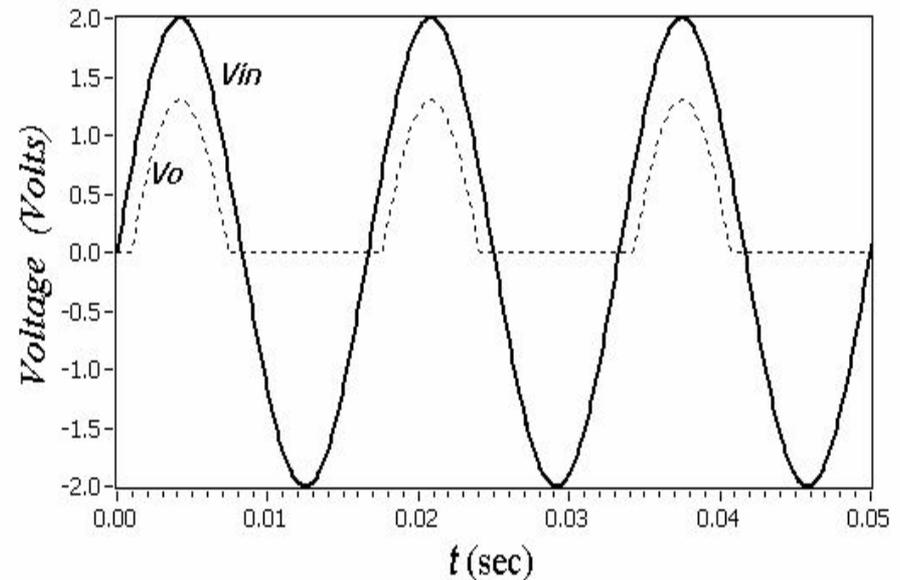
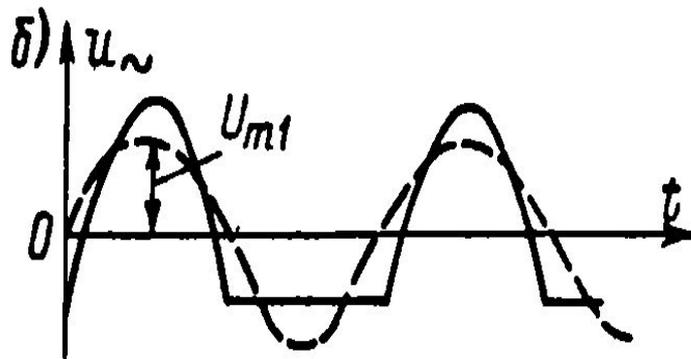
### 3. Выпрямители. Однополупериодный однофазный выпрямитель



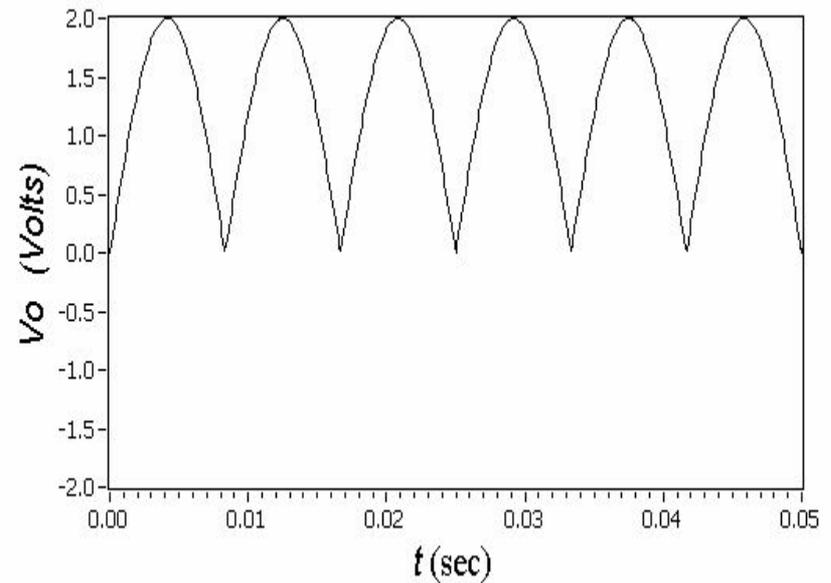
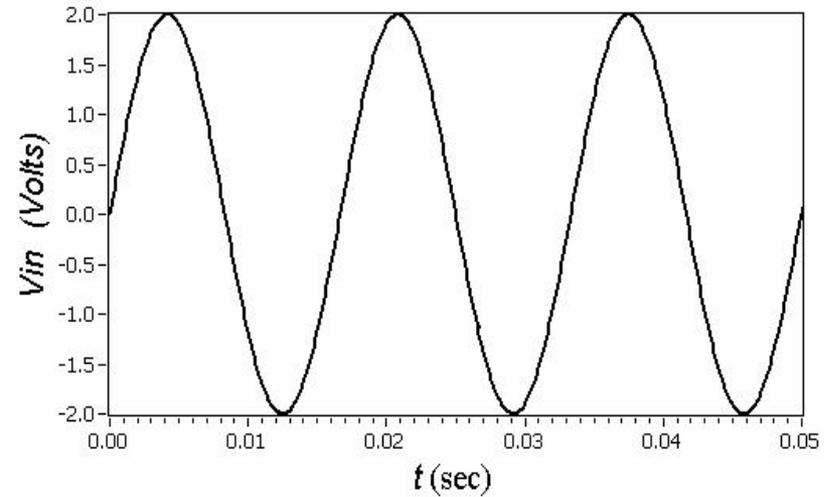
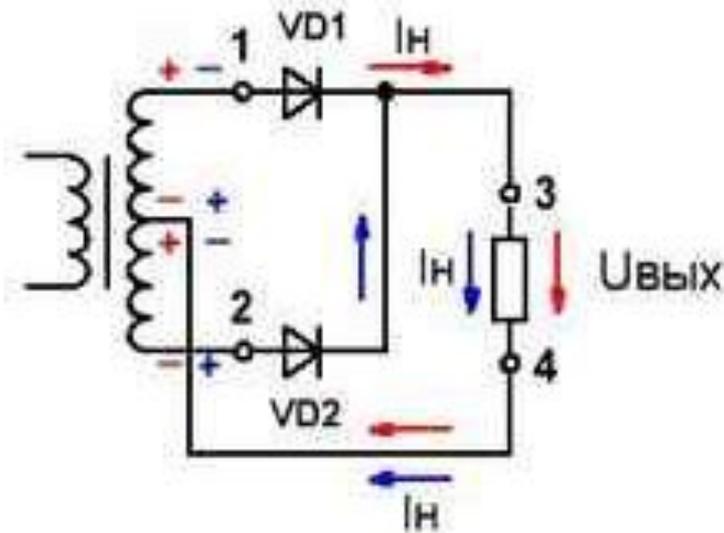
# Постоянная и переменная составляющие выпрямленного напряжения



$$U_{CP} = U_{ВЫХ} / \pi = 0,318 U_{ВЫХ} \approx \approx 0,3 U_{ВЫХ}$$

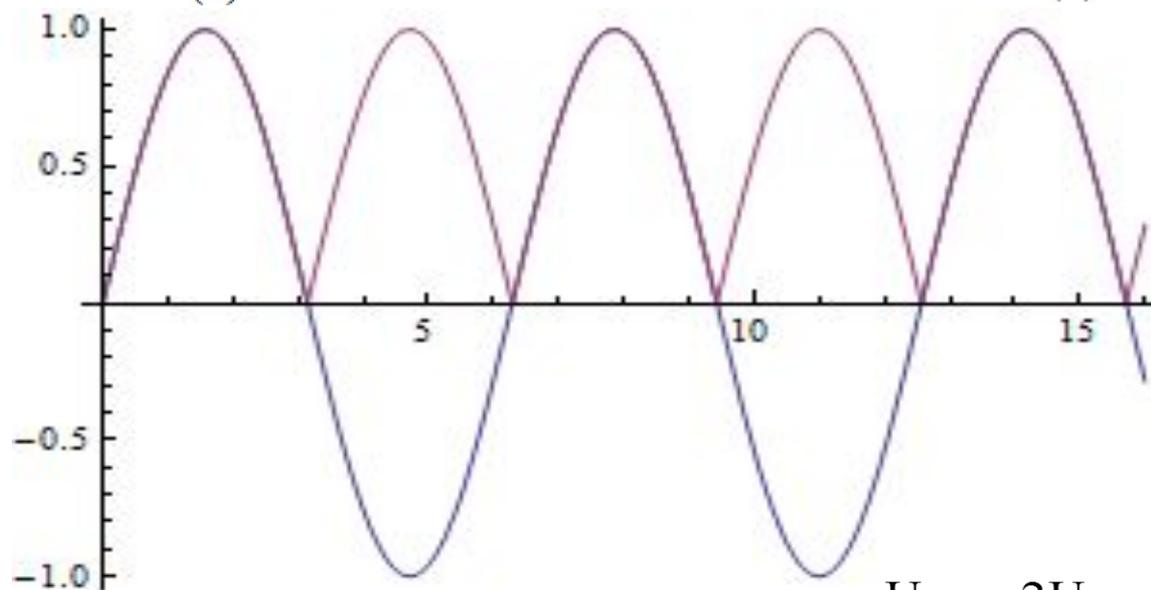
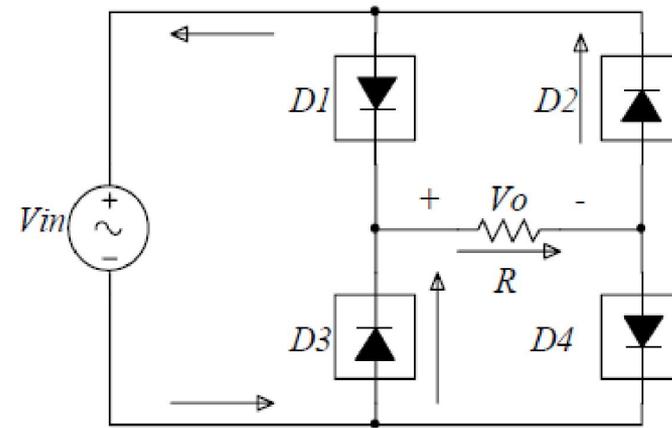
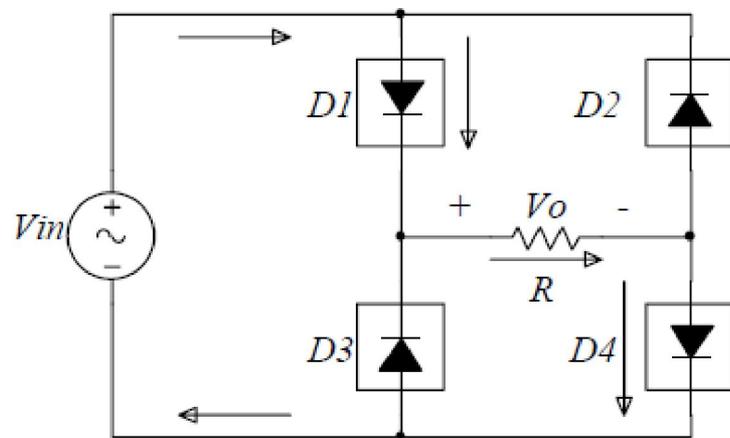


# Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки



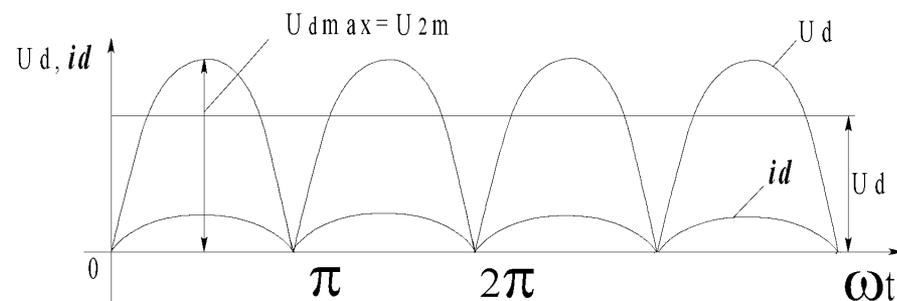
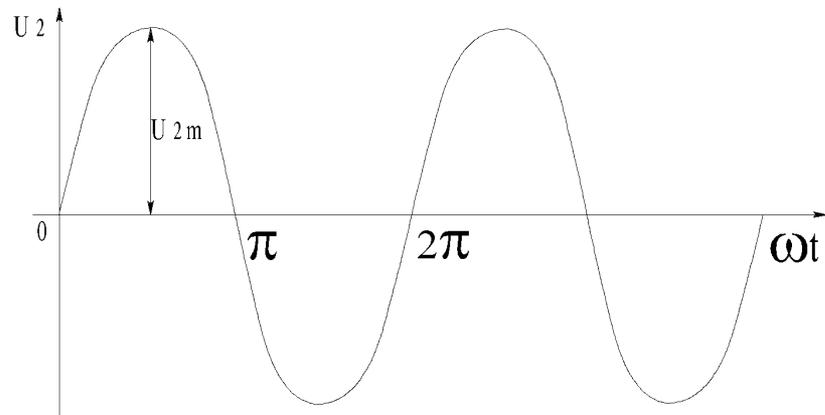
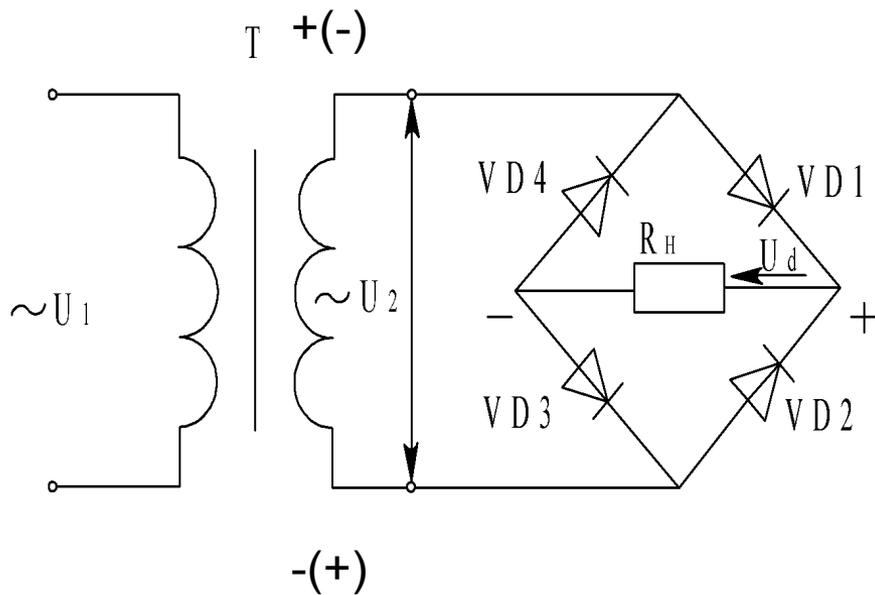
$$U_{CP} = 2U_{ВЫХ} / \pi = 0,636U_{ВЫХ} \approx \approx 0,6U_{ВЫХ}$$

# Двухполупериодный мостовой выпрямитель



$$U_{CP} = 2U_{ВЫХ} / \pi = 0,636U_{ВЫХ} \approx 0,6U_{ВЫХ}$$

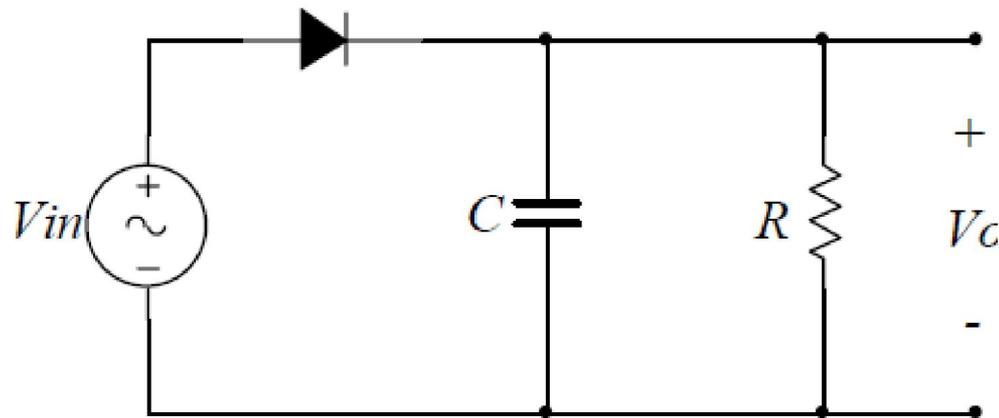
# Двухполупериодный мостовой выпрямитель



$$U_{CP} = 2U_{ВЫХ} / \pi = 0,636U_{ВЫХ} \approx$$

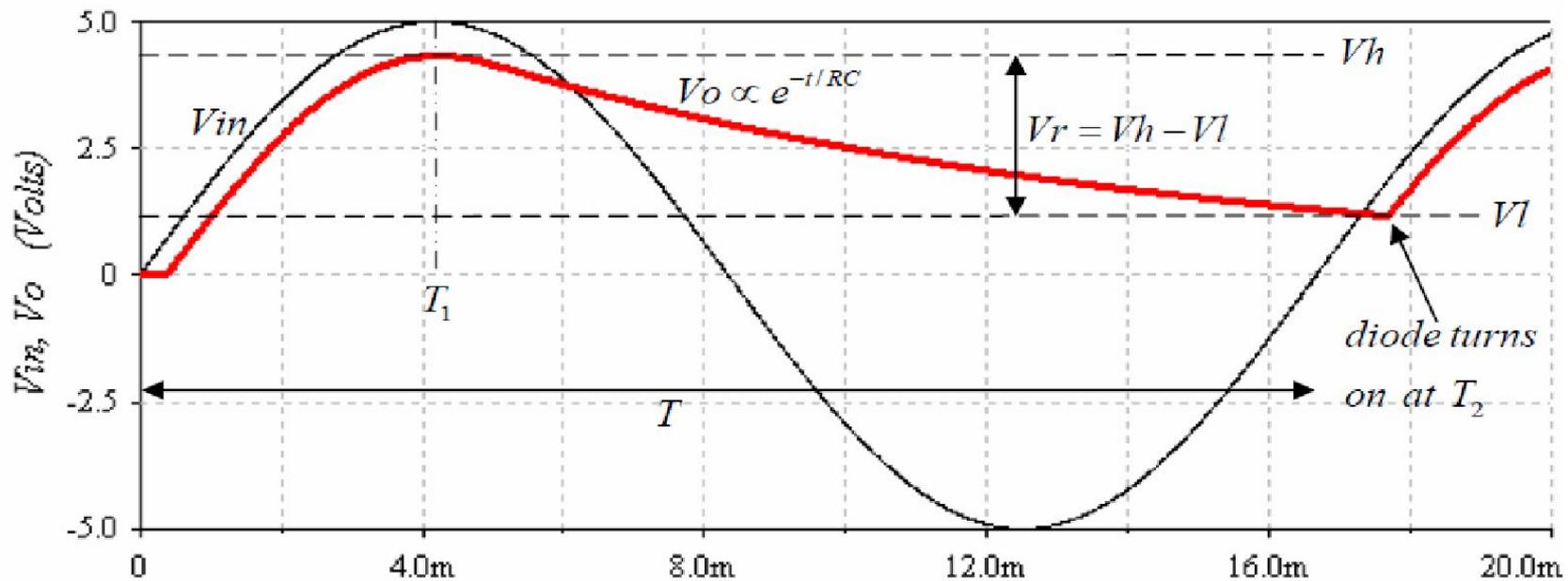
$$\approx 0,6U_{ВЫХ}$$

# Однофазный выпрямитель с емкостной нагрузкой



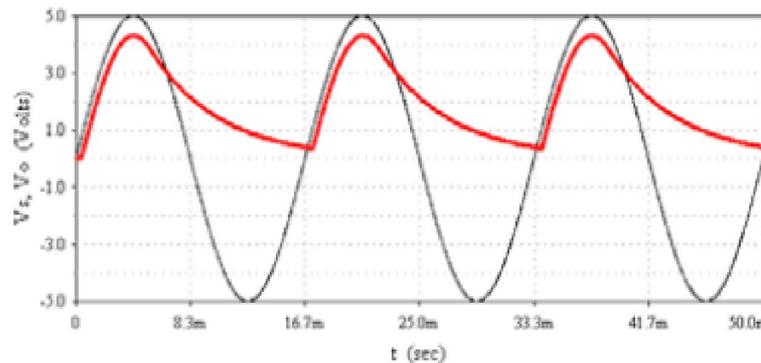
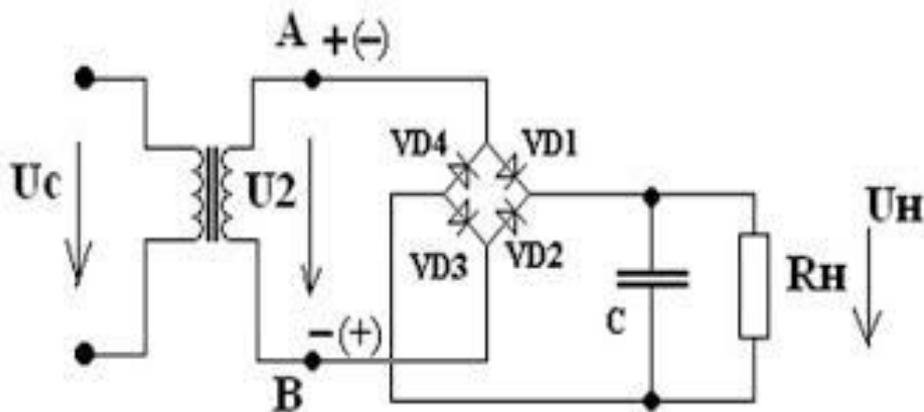
$$V_o(t) = V_h e^{-(t-T_1)/RC}$$

$$V_l = V_h e^{-(T_2-T_1)/RC}$$

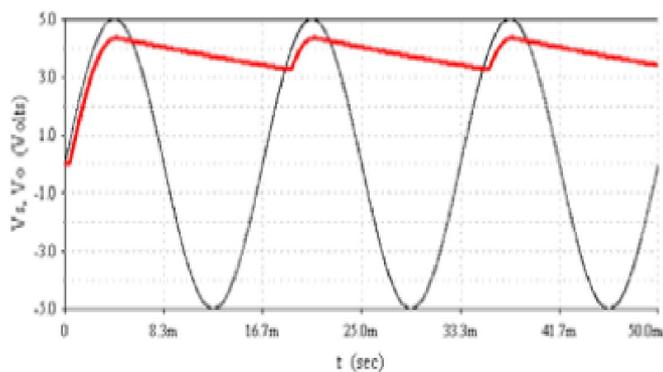


# Однофазный двухполупериодный выпрямитель с емкостной нагрузкой

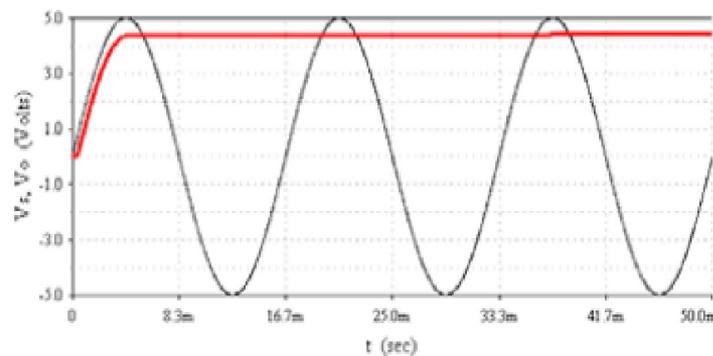
$$T=RC$$



(c)  $C=5\mu\text{F}$ ,  $R=1\text{k}\Omega$

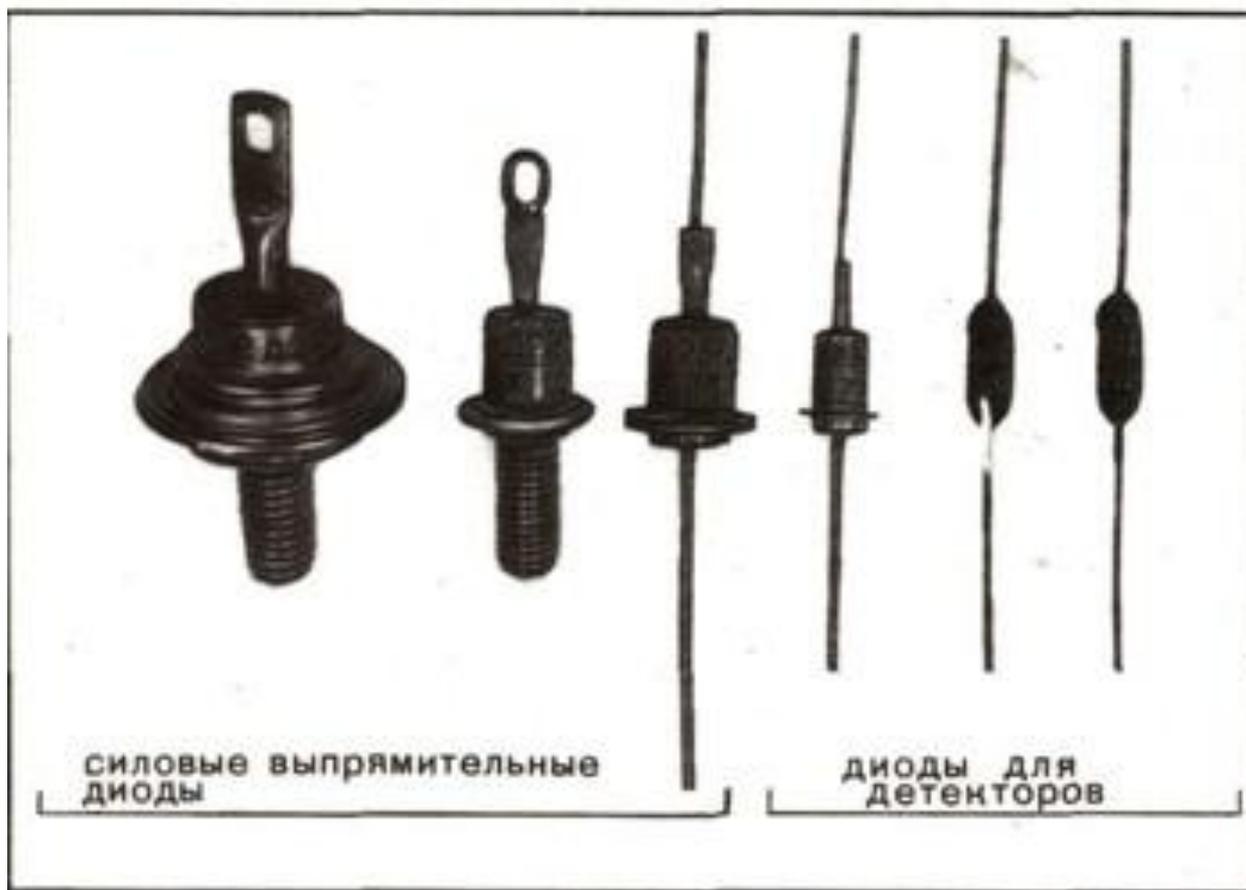


(d)  $C=5\mu\text{F}$ ,  $R=10\text{k}\Omega$



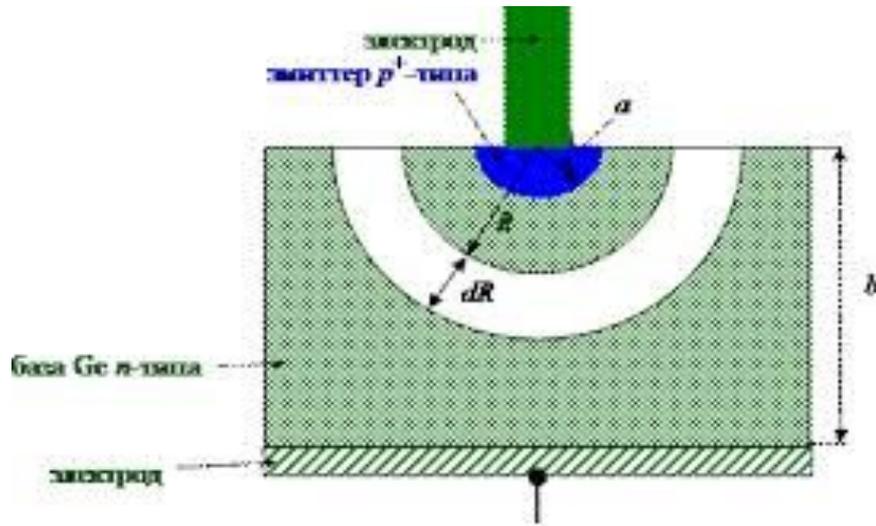
(e)  $C=5\mu\text{F}$ ,  $R= \text{infinite}$

## Внешний вид диодов

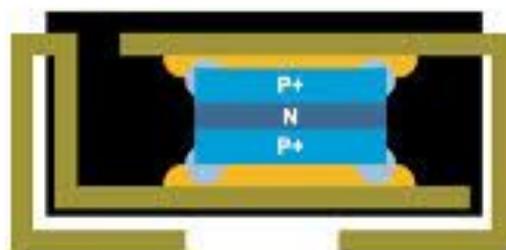


# Конструктивное исполнение диодов

Конструкция точечного диода

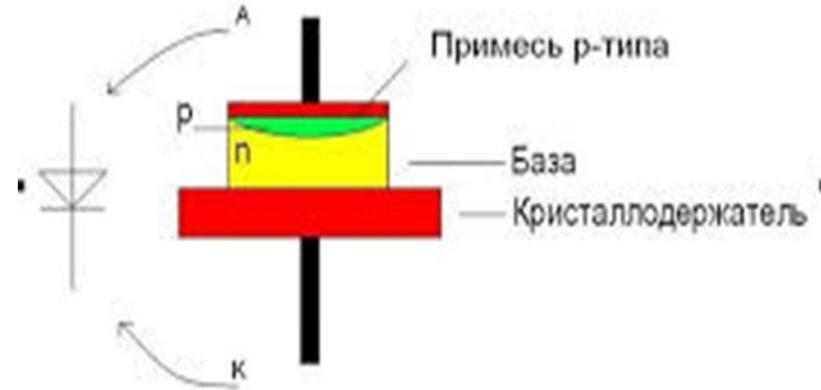


Исполнение для поверхностного монтажа

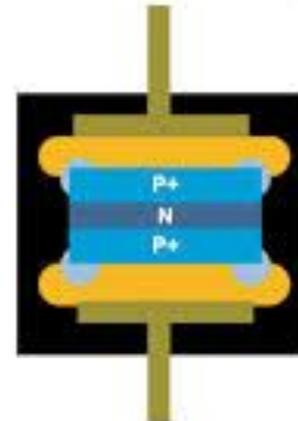


- Внешние выводы
- Никелевые выводы, покрытые золотом
- Стекло
- Эпоксидный компаунд
- N Полупроводник N-типа
- P+ Полупроводник P-типа

Конструкция плоскостного диода

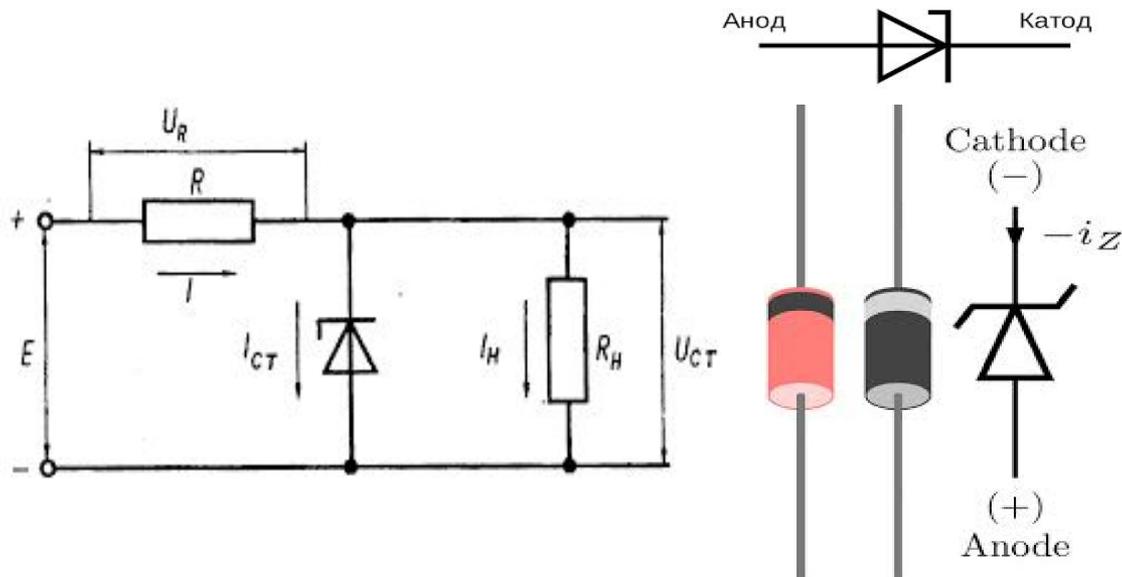
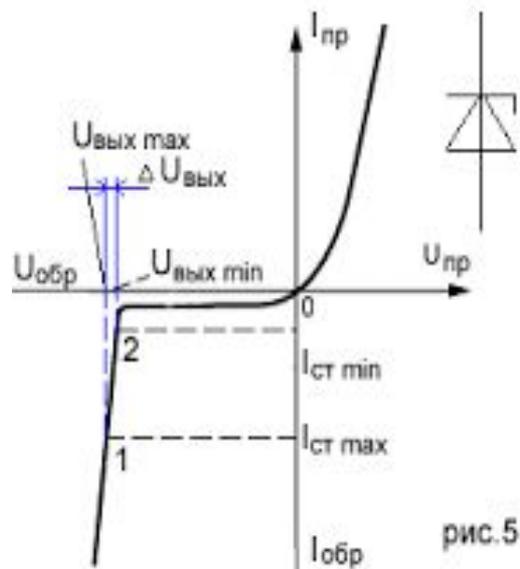


Исполнение для монтажа в отверстия



# Стабилитроны (Zener diode)

Это полупроводниковые диоды, предназначенные для стабилизации напряжения на участке цепи при резких колебаниях тока

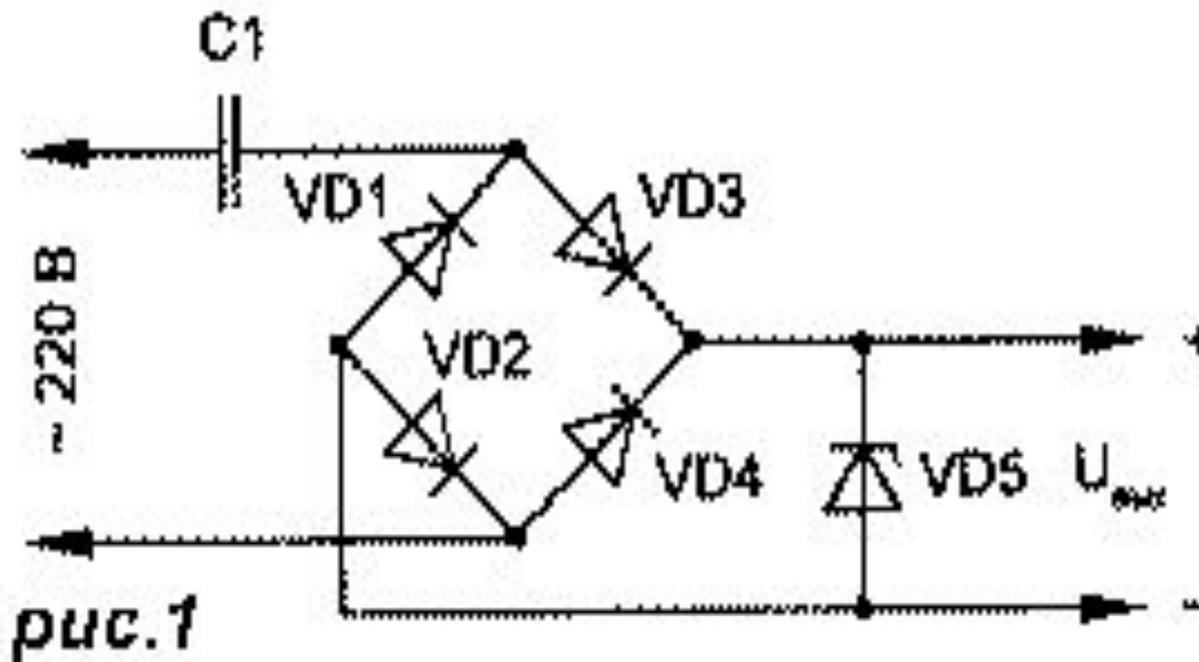


Вольтамперная характеристика стабилитрона при обратном включении

Схема включения стабилитрона

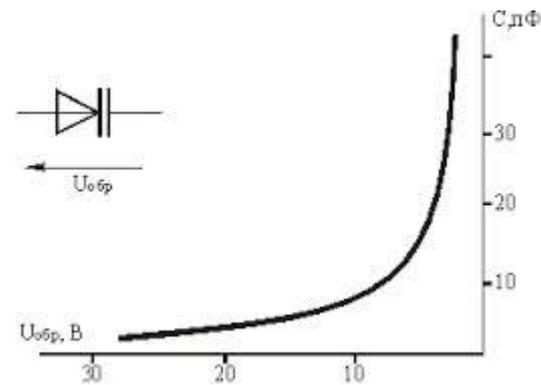
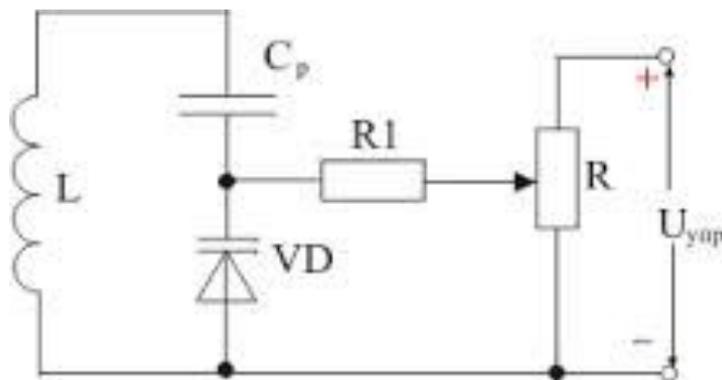
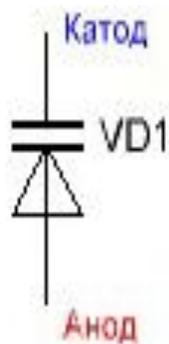
**Стабилитрон всегда включается в цепь в обратном направлении, при прямом включении он работает как обычный диод**

# Включение стабилитрона



# Варикапы (varicap diode, varactor diode, variable capacitance diode, variable reactance diode or tuning diode)

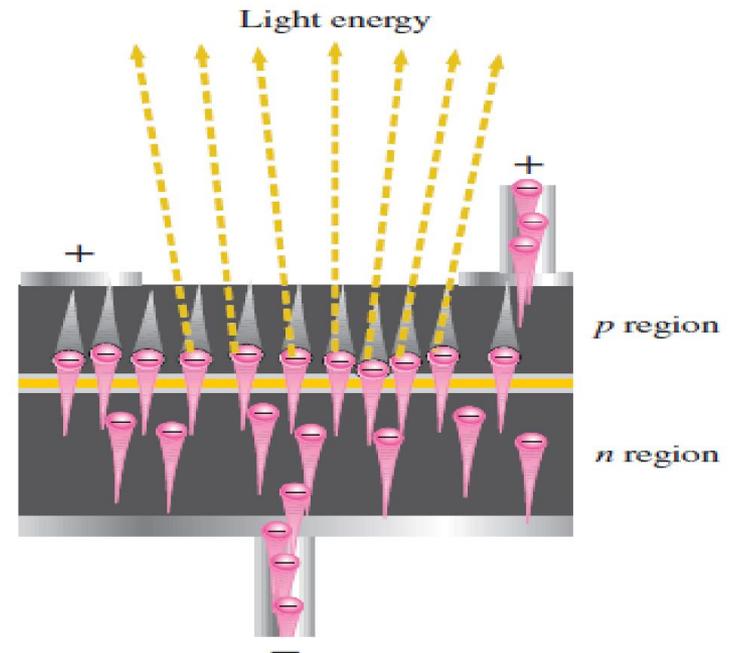
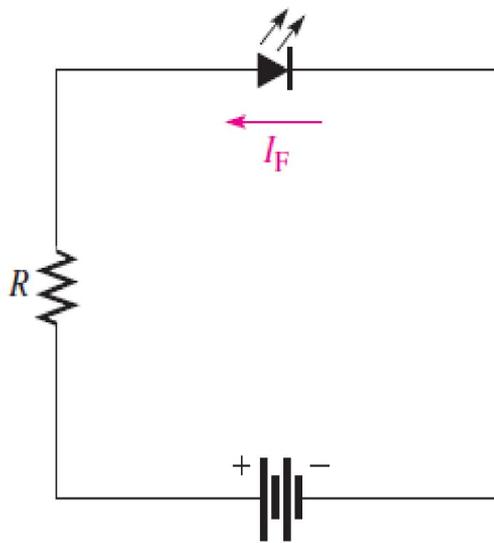
**Варикап** (*vari (able)* — «переменный», и *cap (acity)* — «ёмкость») — это полупроводниковый диод, работа которого основана на зависимости барьерной ёмкости р-п перехода от обратного напряжения. Варикапы применяются в качестве элементов с электрически управляемой ёмкостью в схемах перестройки частоты колебательных контуров, деления и умножения частоты и др.



# Светодиоды

**Светодиод** или **светоизлучающий диод** (СД, СИД, **LED** - *Light-emitting diode*) — полупроводниковый диод с контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.

При пропускании электрического тока через n-p переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой).

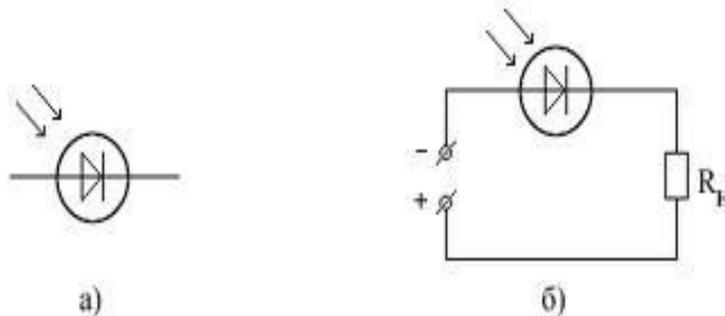


# Фотодиоды

**Фотодиод** — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в p-n - переходе.

Работа фотодиода основана на фотовольтаическом эффекте (разделение электронов и дырок в p- и n- области, за счёт чего образуется заряд и ЭДС). Его также называют солнечным элементом.

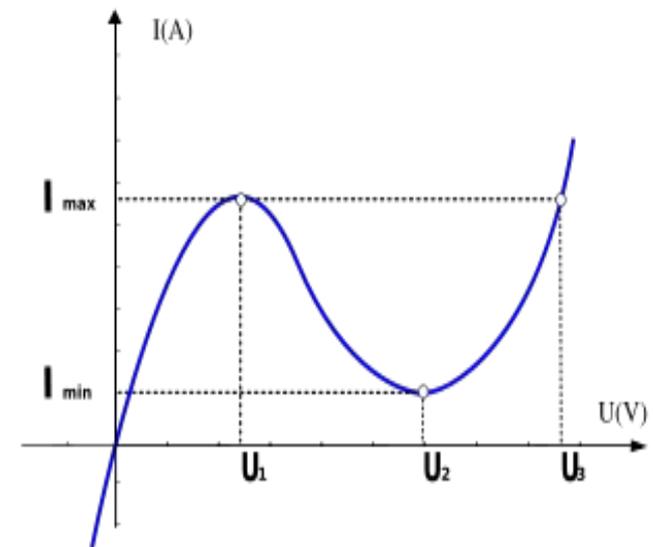
При воздействии квантов излучения в базе происходит генерация свободных носителей, которые устремляются к границе p-n-перехода. Ширина базы (n-область) делается такой, чтобы дырки не успевали рекомбинировать до перехода в p-область. Ток фотодиода определяется током неосновных носителей — дрейфовым током. Быстродействие фотодиода определяется скоростью разделения носителей полем p-n-перехода и ёмкостью p-n-перехода  $C_{p-n}$



## Туннельные диоды (tunnel diode)

Обычные диоды при увеличении прямого напряжения монотонно увеличивают пропускаемый ток. В туннельном диоде квантово-механическое туннелирование электронов добавляет горб в вольтамперную характеристику, при этом, из-за высокой степени легирования р и n областей, напряжение пробоя уменьшается практически до нуля

Это создаёт на прямом участке вольтамперной характеристики участок, где увеличение прямого напряжения сопровождается уменьшением силы тока. Данная область отрицательного дифференциального сопротивления и используется для усиления слабых сверхвысокочастотных сигналов.

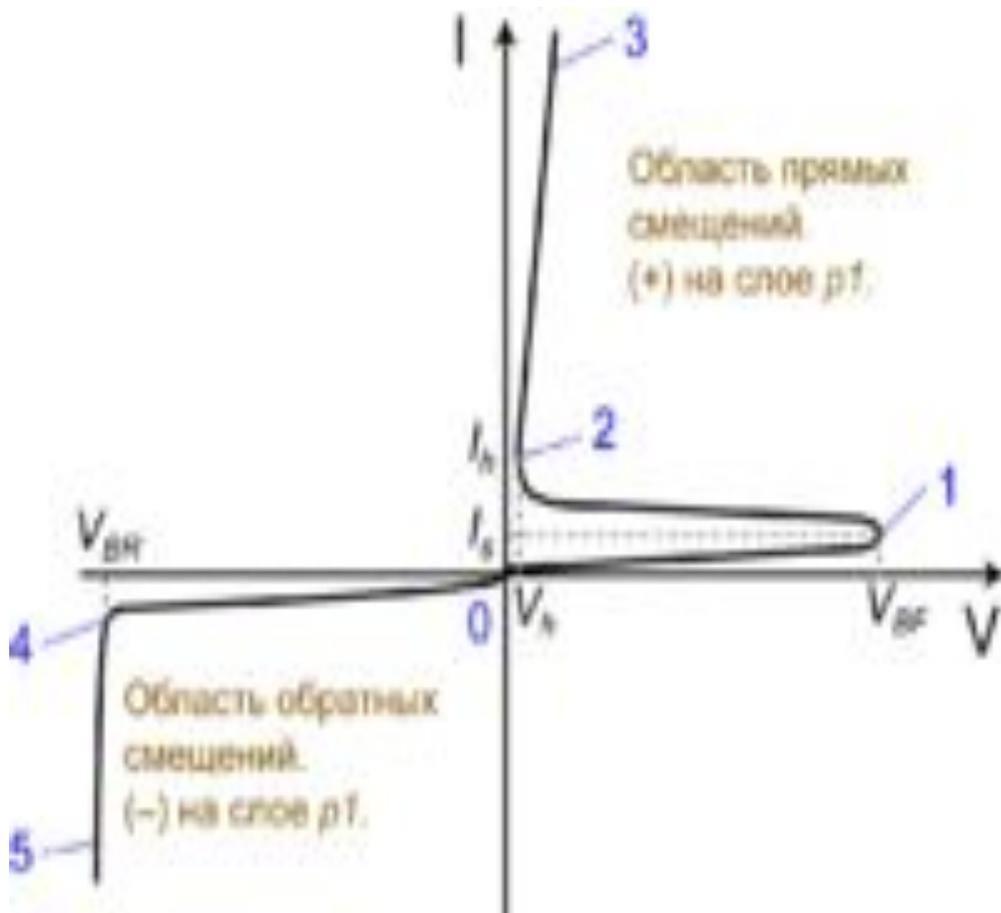


## Диод Шоттки

**Диод Шоттки (Schottky diode)** — полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении. Назван в честь немецкого физика Вальтера Шоттки. Диоды Шоттки используют переход металл-полупроводник в качестве барьера Шоттки (вместо p-n-перехода, как у обычных диодов). На практике большинство диодов Шоттки применяется в низковольтных цепях при обратном напряжении порядка единиц и нескольких десятков вольт.



# Тиристоры



**Тиристор (thyristor)** — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более p-n – переходами и имеющий два устойчивых состояния: закрытое состояние, то есть состояние низкой проводимости, и открытое состояние, то есть состояние высокой проводимости.

Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель (ключ). Основное применение тиристорov — управление мощной нагрузкой с помощью слабых сигналов, а также переключающие устройства.

# Маркировка диодов

- **первый элемент** буквенно-цифрового кода обозначает исходный материал (полупроводник), на основе которого изготовлен диод, например:
  - **Г** или **1**— германий или его соединения;
  - **К** или **2**— кремний или его соединения;
  - **А** или **3**— соединения галлия (например, арсенид галлия);
  - **И** или **4**— соединения индия;
- **второй элемент**— буквенный индекс, определяющий подкласс приборов;
  - **Д**— для обозначения выпрямительных, импульсных и термодиодов;
  - **Ц**— выпрямительных столбов и блоков;
  - **В**— варикапов;
  - **И**— туннельных диодов;
  - **А**— сверхвысокочастотных диодов;

- **С**— стабилитронов;
- **Л**— излучающие оптоэлектронные приборы;
- **О**— оптопары;
- **Н**— диодные тиристоры;
- **третий элемент**— цифра, определяющая один из основных признаков прибора (параметр, назначение или принцип действия);
- **четвёртый элемент**— число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа изделия;
- **пятый элемент**— буквенный индекс, условно определяющий классификацию по параметрам диодов, изготовленных по единой технологии.
- **Например: КД212Б, ГД508А, КЦ405Ж.**

Согласно европейской системы обозначений активных компонентов *Pro Electron* маркировка диодных элементов состоит из двух букв и числового кода:

- первая буква обозначает материал полупроводника:
  - **A**— *Germanium* или его соединения;
  - **B**— *Silicium* или его соединения;
- вторая буква обозначает подкласс приборов:
  - **A**— сверхвысокочастотные диоды;
  - **B**— варикапы;
  - **X**— умножители напряжения;
  - **Y**— выпрямительные диоды;
  - **Z**— стабилитроны;

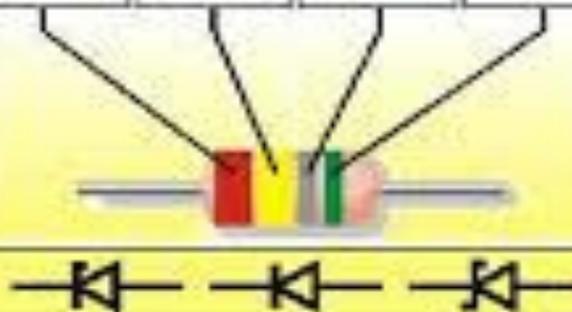
- **AA**-серия— германиевые сверхвысокочастотные диоды (например, AA119);
- **BA**-серия— кремниевые сверхвысокочастотные диоды (например: BAТ18— диодный переключатель);
- **BY**-серия— кремниевые выпрямительные диоды (например: BY127— выпрямительный диод 1250V, 1A);
- **BZ**-серия— кремниевые стабилитроны (например, BZY88C4V7— стабилитрон 4,7V).

## Диоды. Цветовая маркировка по европейской системе PRO ELECTRON

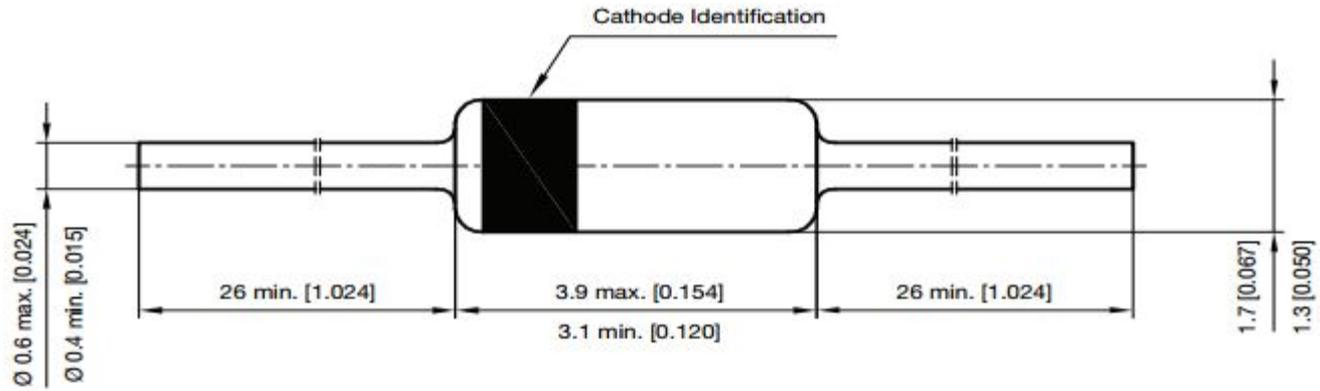
Цвет <small>(наименование)</small>	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	4-й элемент
Золотой				
Серебряный				
Черный	AA	X		0
Коричневый			1	1
Красный	BA	S	2	2
Оранжевый			3	3
Желтый		T	4	4
Зеленый		V	5	5
Голубой		W	6	6
Фиолетовый			7	7
Серый		Y	8	8
Белый		Z	9	9

Пример обозначения

BAT85



Общие сведения	
Номенклатурный номер	1N914-ND
Производитель	<a href="#">Fairchild Semiconductor</a>
Номенклатурный номер производителя	1N914
Краткое описание	DIODE HI CONDUCTANCE 100V DO-35
Соответствие директиве RoHS	Да
Количество в упаковке	2,000
Категория	Дискретные полупроводники
Семейство	Диоды, Выпрямители
Серия	-
Прямое напряжение (Vf) (макс.) @ Прямой ток (If)	1V @ 10 mA
Обратное напряжение (Vr) (макс.)	100В
Средний выпрямленный ток (Io)	200 mA
Обратный ток (утечки) @ Vr	5 мкА @ 75В
Тип диода	Универсальный
Скорость	Импульсные = <200mA (Io), любой скорости
Время обратного восстановления (TRR)	4ns
Емкость @ Vr, F	4pF @ 0 В, 1 МГц
Тип монтажа	Сквозное отверстие
Упаковка / корпус	DO-204АН, DO-35, осевой
Тип корпуса	DO-35
Упаковка	Блок



DO-35

