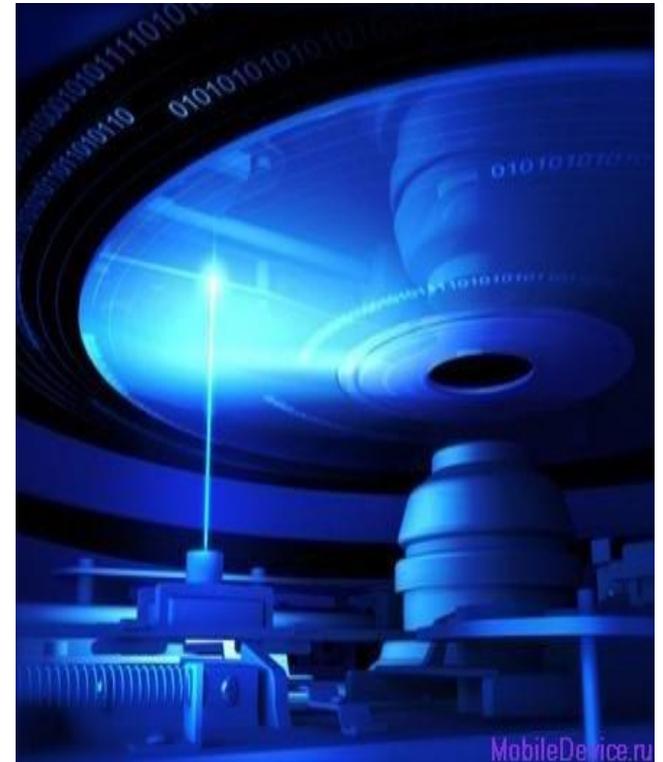


# Подготовка к ЕГЭ

## Полупроводниковые диоды

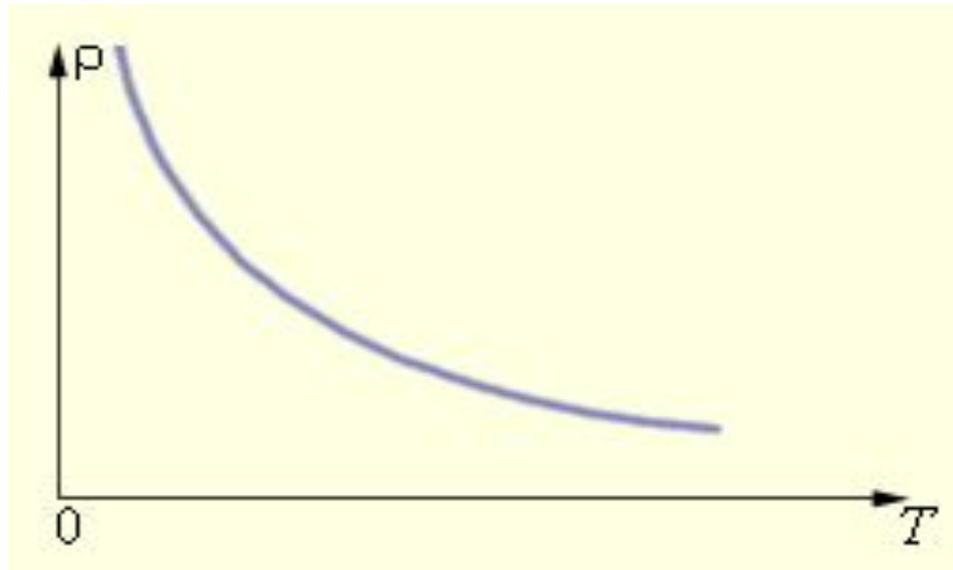
# Электрический ток в полупроводниках

- **Полупроводники** - твердые вещества, проводимость которых зависит от внешних условий (в основном от нагревания и от освещения).
- При нагревании или освещении некоторые электроны приобретают возможность свободно перемещаться внутри кристалла, так что при приложении электрического поля возникает направленное перемещение электронов.
- полупроводники представляют собой нечто среднее между проводниками и изоляторами.



С понижением температуры сопротивление металлов падает. У полупроводников, напротив, с понижением температуры сопротивление возрастает и вблизи абсолютного нуля они практически становятся изоляторами.

- Зависимость удельного сопротивления  $\rho$  чистого полупроводника от абсолютной температуры  $T$ .



# Строение

К полупроводникам относятся элементы германий, кремний, селен, мышьяк, индий, фосфор, ... и их соединения. В земной коре этих соединений достигает 80%.



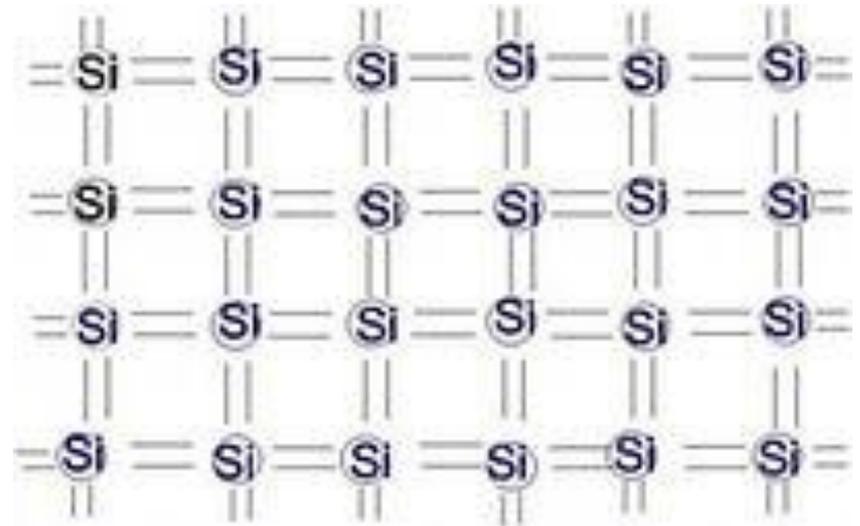
С  
е  
р  
а



С  
е  
л  
е  
н



При низких температурах и в отсутствии освещенности чистые п/п не проводят электрического тока, т. к. в них нет свободных зарядов. Кремний и германий имеют на внешней электронной оболочке по 4 (валентных) электрона. В кристалле каждый из этих электронов принадлежит двум соседним атомам, образуя, т. н. ковалентную связь. Эти электроны участвуют в тепловом движении, но остаются на своих местах в кристалле.

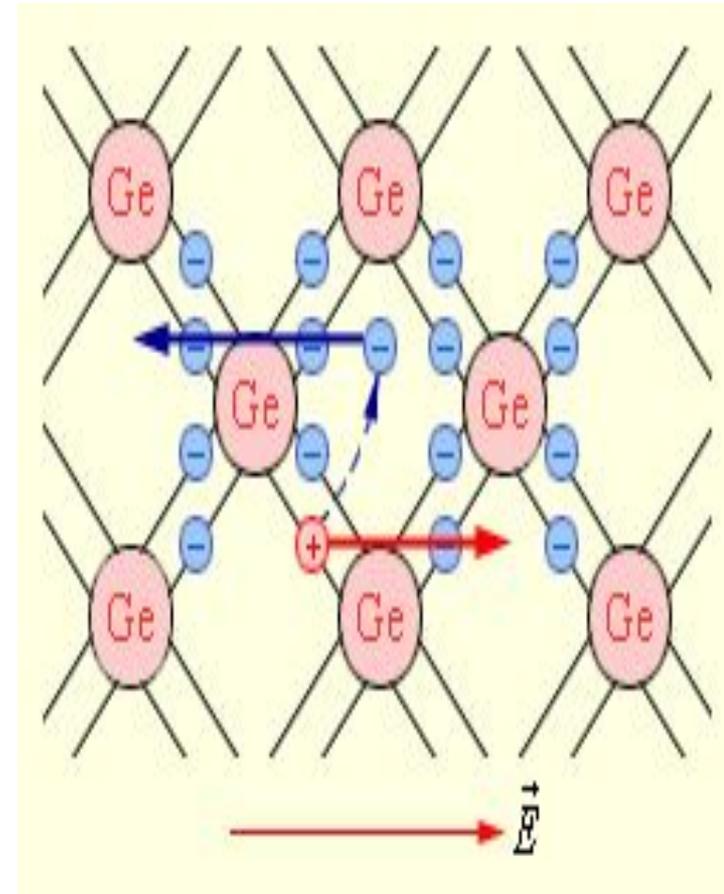


Кремний

**Собственная проводимость полупроводников**

# Образование электронно-дырочной пары

- При повышении температуры или увеличении освещенности некоторая часть валентных электронов может получить энергию, достаточную для разрыва ковалентных связей. Тогда в кристалле возникнут свободные электроны (электроны проводимости). Одновременно в местах разрыва связей образуются вакансии, которые не заняты электронами. Эти вакансии получили название «дырок».



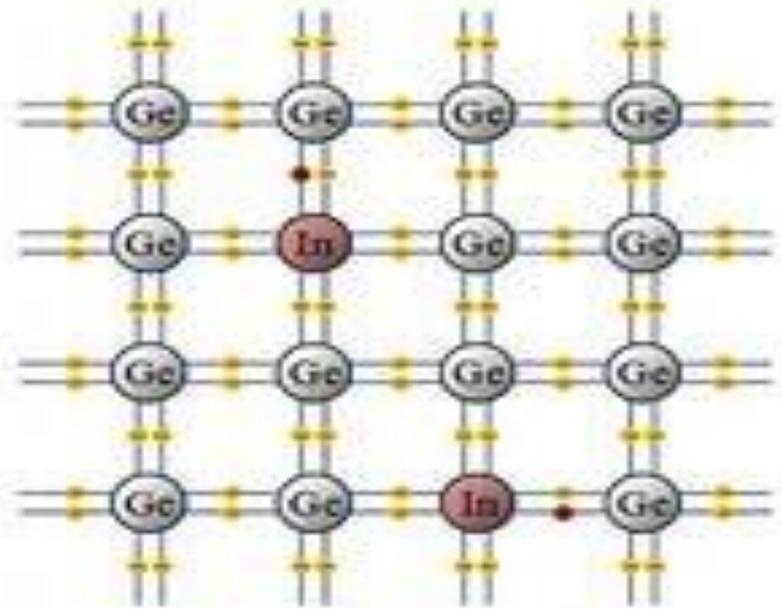
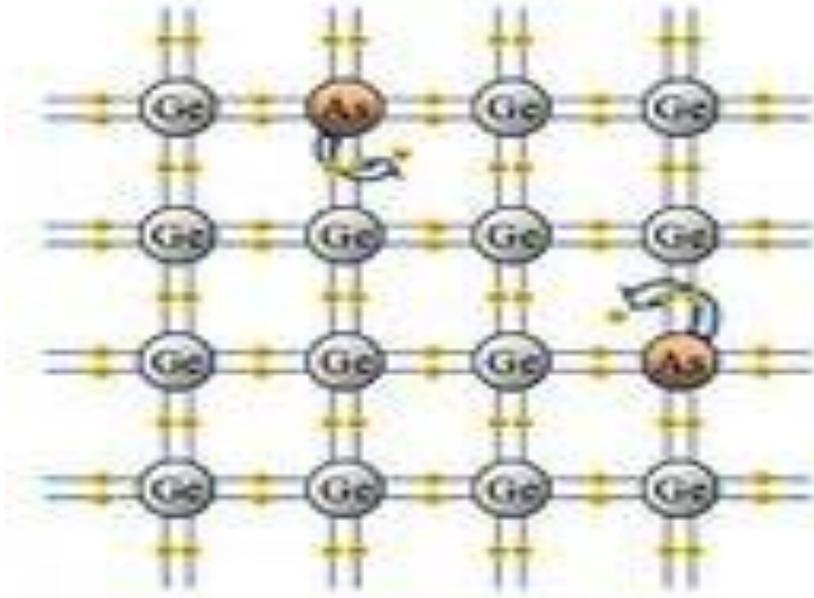
# Примесная проводимость полупроводников

- Проводимость полупроводников при наличии примесей называется примесной проводимостью. Различают два типа примесной проводимости – **электронную** и **дырочную** проводимости.

## Электронная и дырочная проводимости.

- Если примесь имеет валентность большую, чем чистый полупроводник, то появляются свободные электроны. Проводимость – **электронная**, примесь **донорная**, полупроводник **n – типа**.
- Если примесь имеет валентность меньшую, чем чистый полупроводник, то появляются разрывы связей – дырки. Проводимость – **дырочная**, примесь **акцепторная**, полупроводник **p – типа**.

## примесная проводимость полупроводников



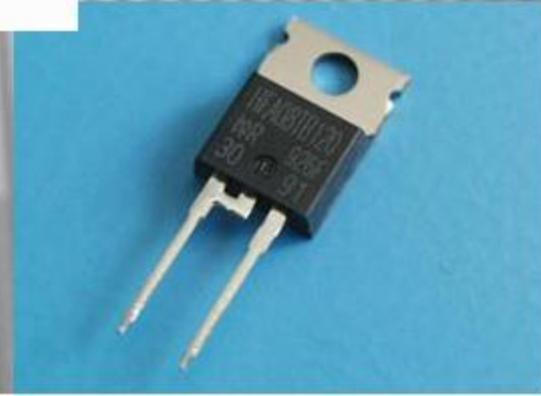
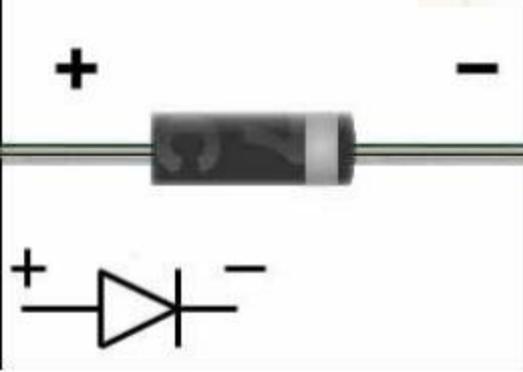
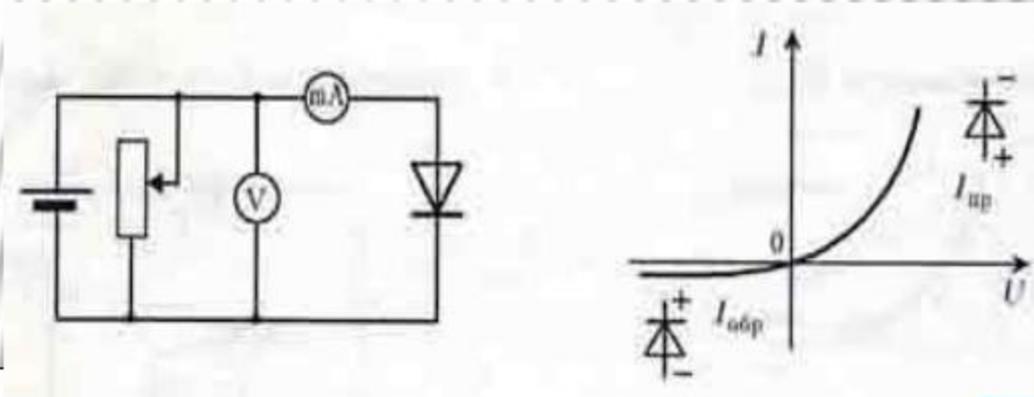
Вводят пятивалентный  
Мышьяк (As)  
 $N$  электронов  $>$   $N$  дырок  
Проводимость – электронная  
(донорная).  
Полупроводник – **n-типа**.

Вводят трехвалентный  
Индий (In)  
 $N$  дырок  $>$   $N$  электронов.  
Проводимость – дырочная  
(акцепторная).  
Полупроводник – **p-типа**.



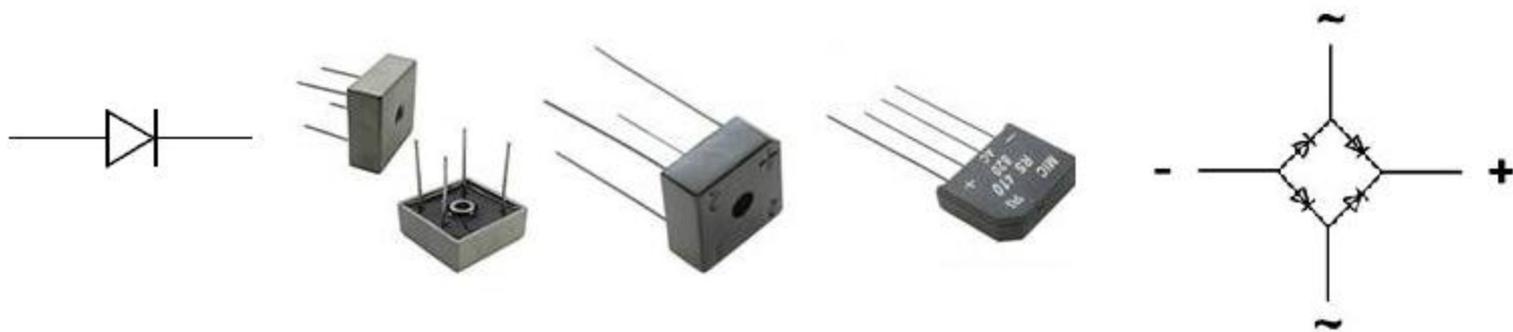
# Полупроводниковые диоды

- Полупроводник с одним "р-п" переходом называется полупроводниковым диодом.
- Полупроводниковые диоды основные элементы выпрямителей переменного тока.



# Назначение диода

- выпрямление переменного тока в постоянный



# Выпрямительные диоды

## Устройство германиевого выпрямительного диода

1 – корпус

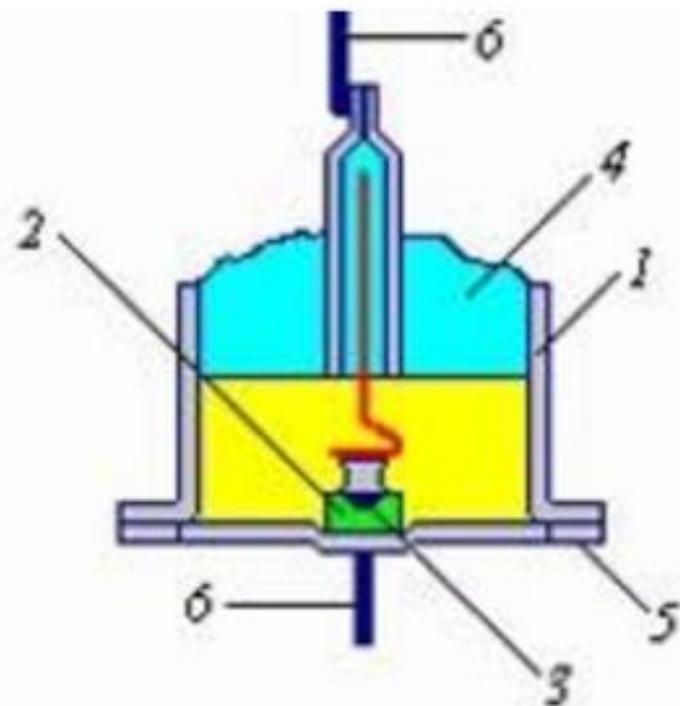
2 – кристалл Ge

3 – р-п переход

4 – стеклянный изолятор

5 – кристаллодержатель

6 - выводы



# Полупроводниковые диоды



Одна из областей р-п-структуры, называемая *ЭМИТТЕРОМ*, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая *БАЗОЙ*.

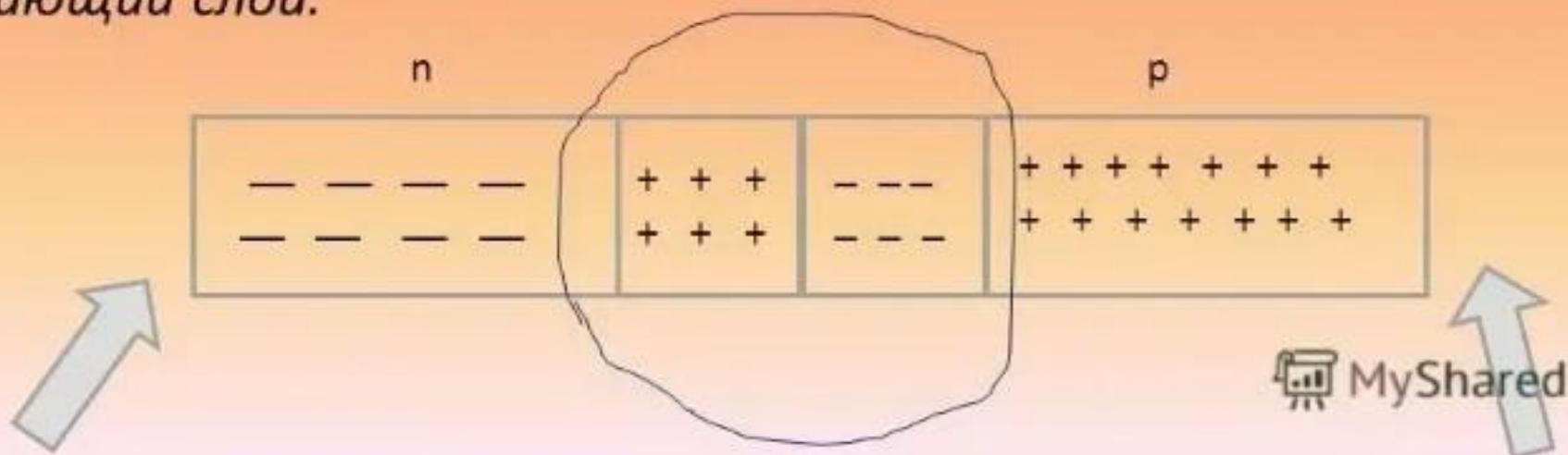
База и эмиттер с помощью электродов Э соединяются с металлическими выводами В, посредством которых диод включается в электрическую цепь.

Основным структурным элементом полупроводникового диода, определяющим его функциональные свойства, является р-п-переход — тонкий промежуточный слой между р-п-областями.<sup>55</sup>

# p-n переход



Полупроводники, из которых изготавливают транзисторы и диоды, разделяются на полупроводники с электронной - n (negative - отрицательный) и дырочной - p (positive - положительный) проводимостью. Принцип действия полупроводниковых диодов основан на свойствах p-n перехода, когда в контакте находятся два полупроводника p и n типа. В месте контакта происходит диффузия положительных зарядов (дырок) из области p в область n, а электронов обратно, из n в p. Однако без внешнего воздействия процесс стабилизируется, потому что образуется так называемый *запирающий слой*.



4(-). Полупроводниковый диод служит для выпрямления электрического тока. Переменный ток в цепи при подключении полупроводникового диода идёт в одном направлении (рис. 3.14).

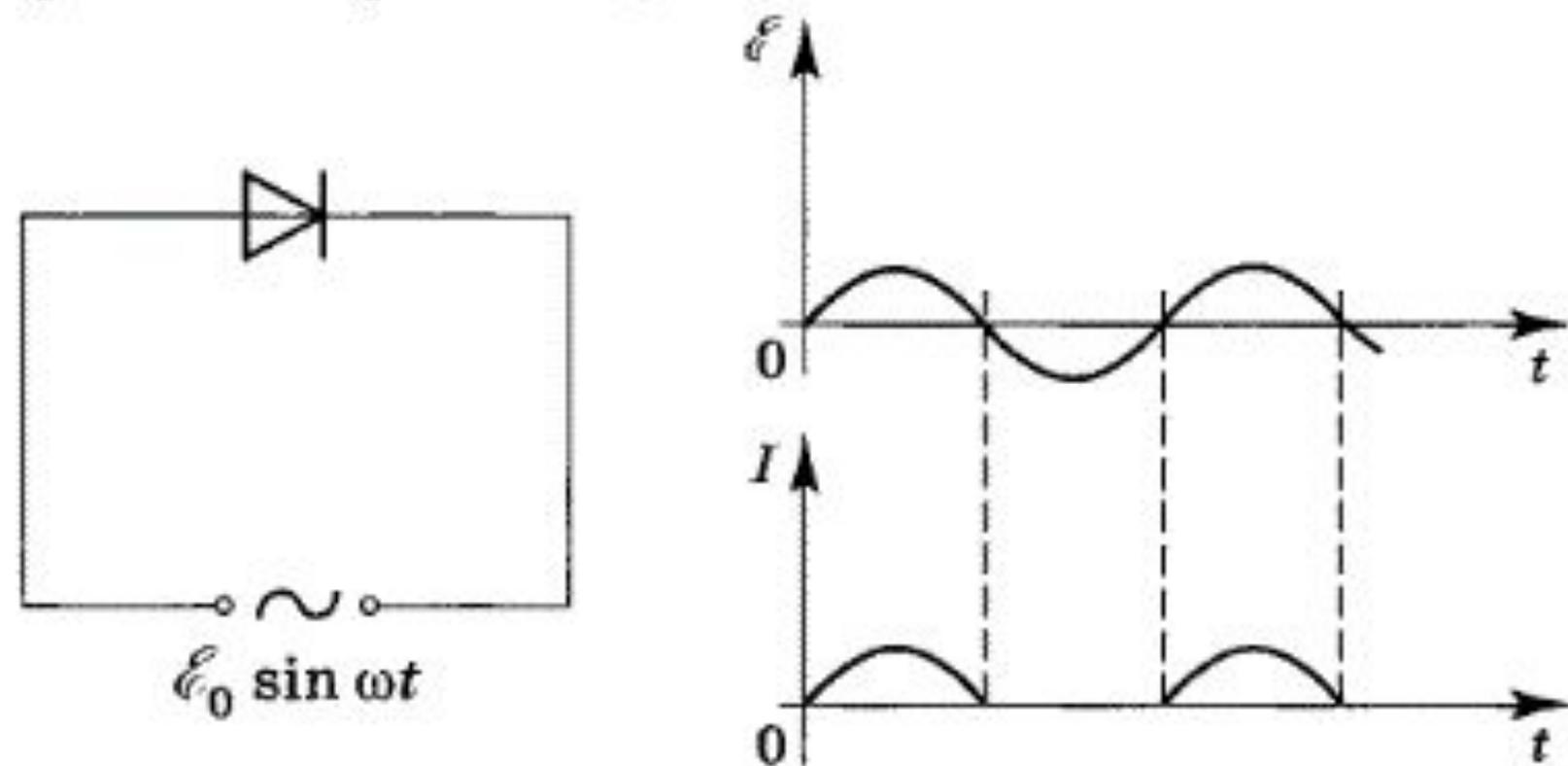


Рис. 3.14

16.2.1. Полупроводниковый диод имеет один  $p$ - $n$ -переход и два вывода (электрода). Работа диодов основывается на односторонней проводимости  $p$ - $n$ -перехода. Обычно диоды имеют герметичные корпуса, которые способствуют отводу тепла.

16.2.2. Полупроводниковые диоды классифицируются по различным признакам:

- а) по типу конструкции перехода (точечные, плоскостные);
- б) по функциональным признакам (выпрямительные, импульсные, детекторные, преобразовательные и др.);
- в) по основному материалу (германиевые, кремневые);
- г) по физическим процессам (лавинно-пролетные, туннельные, фотодиоды, светодиоды и пр.);
- д) по предельным техническим параметрам (малоточные, средней мощности, большой мощности, низкочастотные и др.).

16.2.3. На рис. 16.1 приведено условное обозначение диода. Стрелка на обозначениях всегда направлена из  $p$ - в  $n$ -область. **Прямое включение диода** (когда на анод подается положительный заряд источника питания) характеризуется очень малым сопротивлением  $p$ - $n$ -перехода. **Обратное включение** характеризуется большим сопротивлением перехода.

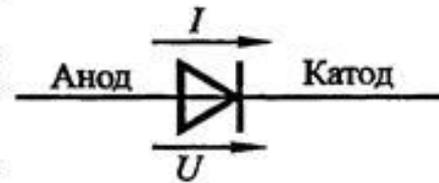


Рис. 16.1

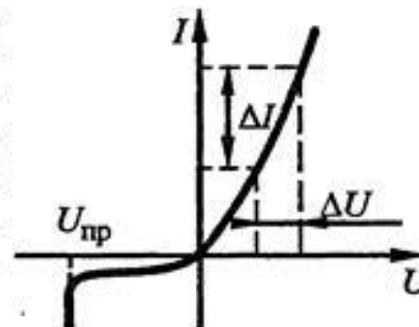


Рис. 16.2

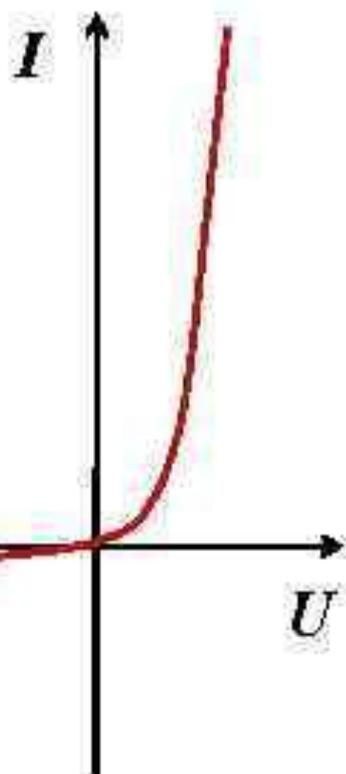
16.2.4. Вольт-амперная характеристика диода (рис. 16.2) показывает, что при обратном включении возможен пробой. Определяют крутизну вольт-амперной характеристики при прямом включении

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta U}.$$

## Вольт – амперная характеристика $p-n$ -перехода.

Вольт-амперная характеристика  $p-n$ -перехода – это зависимость электрического тока через  $p-n$ -переход от приложенного напряжения (рисунок).

Характеристика содержит две ветви: при  $U > 0$  это круто растущая ветвь, при  $U < 0$  – слабая зависимость тока через  $p-n$ -переход от приложенного напряжения.

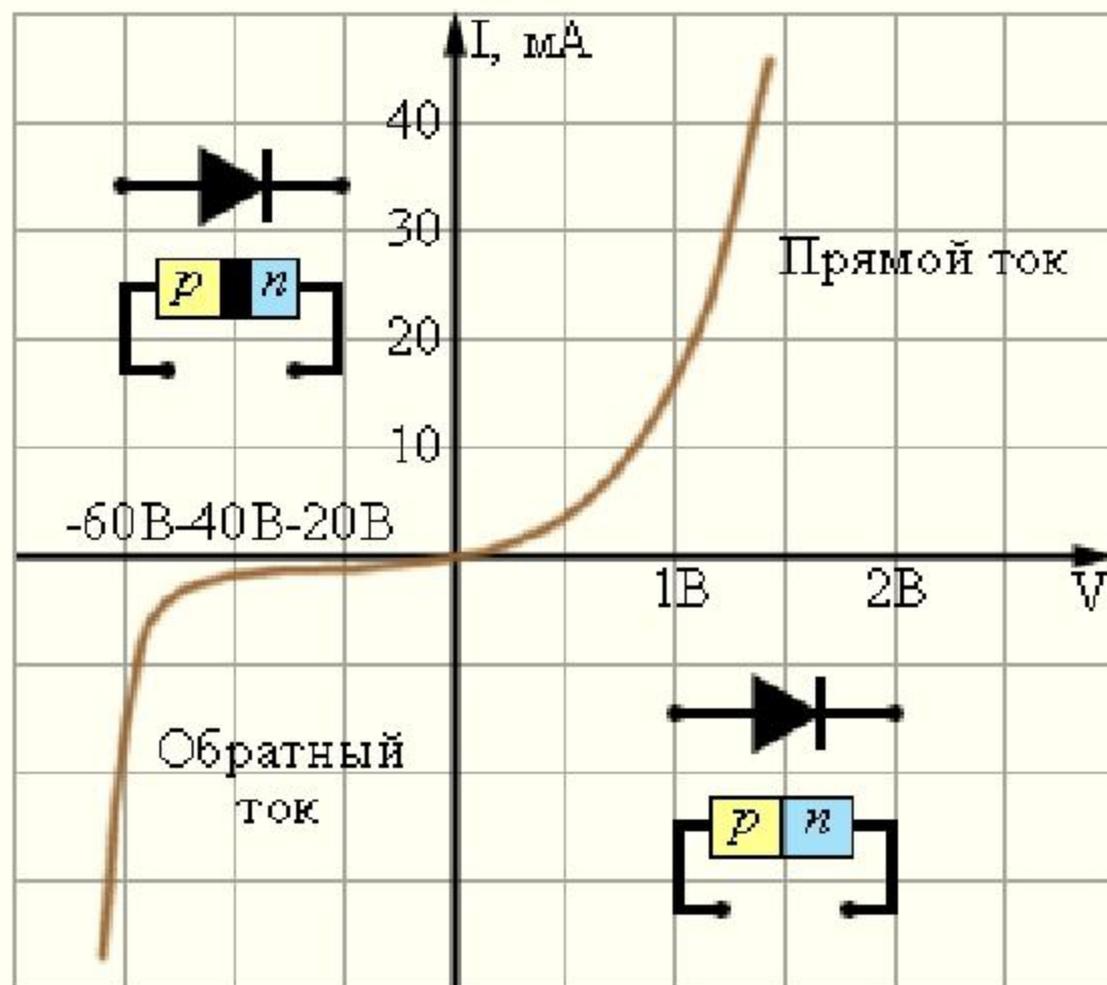


Как уже было показано, при прямом напряжении внешнее электрическое поле способствует движению носителей тока к границе  $p-n$ -перехода.

Толщина контактного слоя уменьшается, снижается и сопротивление перехода, причем тем сильнее, чем больше напряжение.

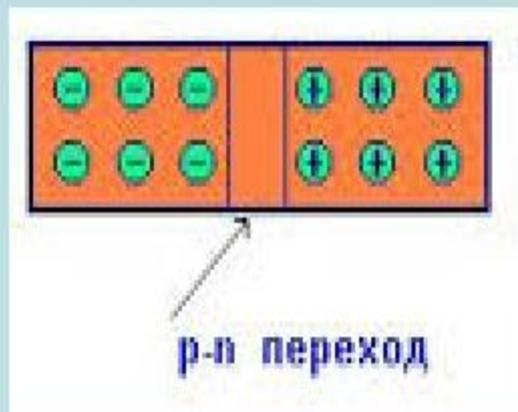
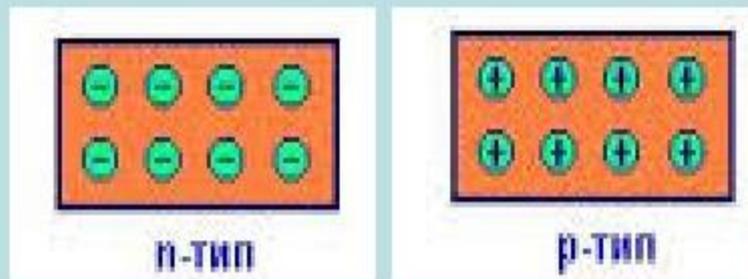
Сила тока становится большой. Это направление тока называется *прямым* (правая ветвь вольт-амперной характеристики).

# Полупроводниковый диод



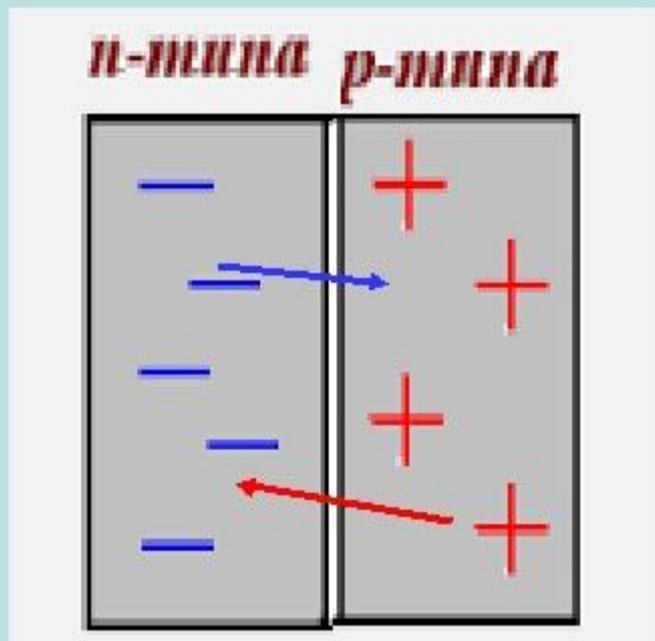
Вольтамперная- амперная характеристика

# Полупроводниковый диод принцип действия:



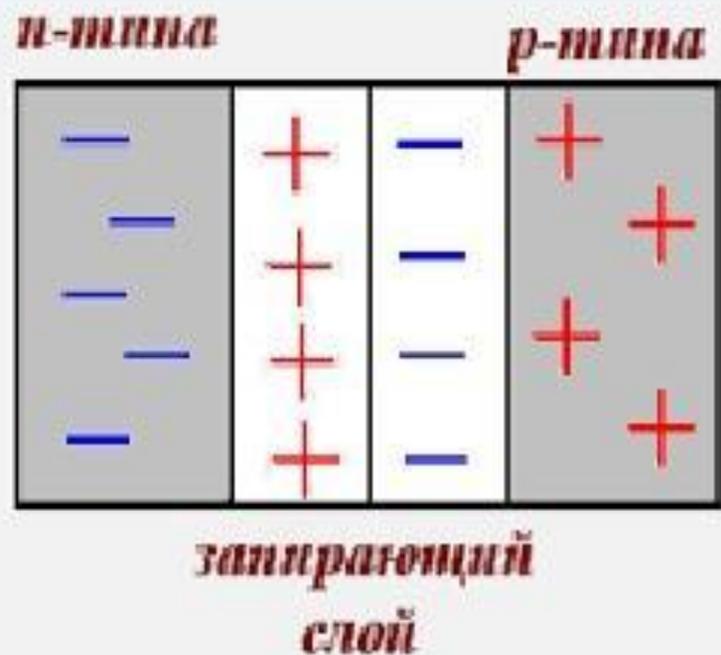
1. При объединении двух полупроводников разных типов между ними образуется p-n переход.

# Полупроводниковый диод принцип действия:



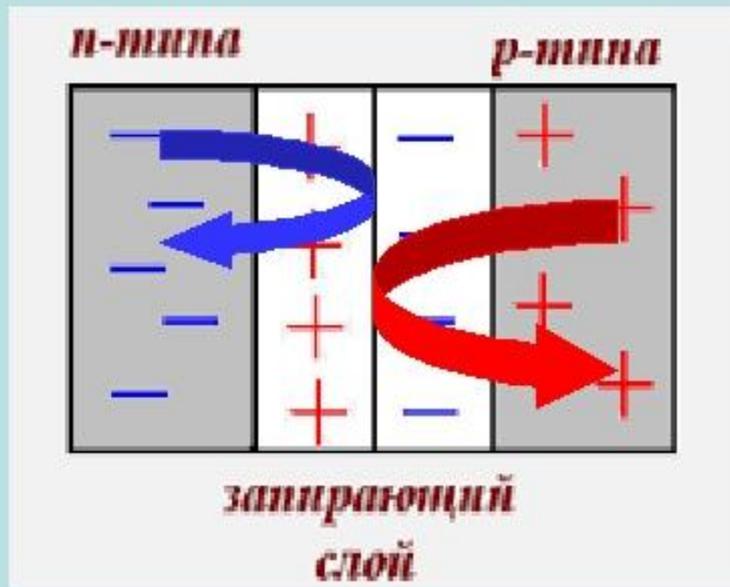
2. Через образовавшийся р-п переход начинается движение основных носителей в противоположные области за счет явления диффузии, через р-п переход проходит электрический ток.

# Полупроводниковый диод принцип действия:



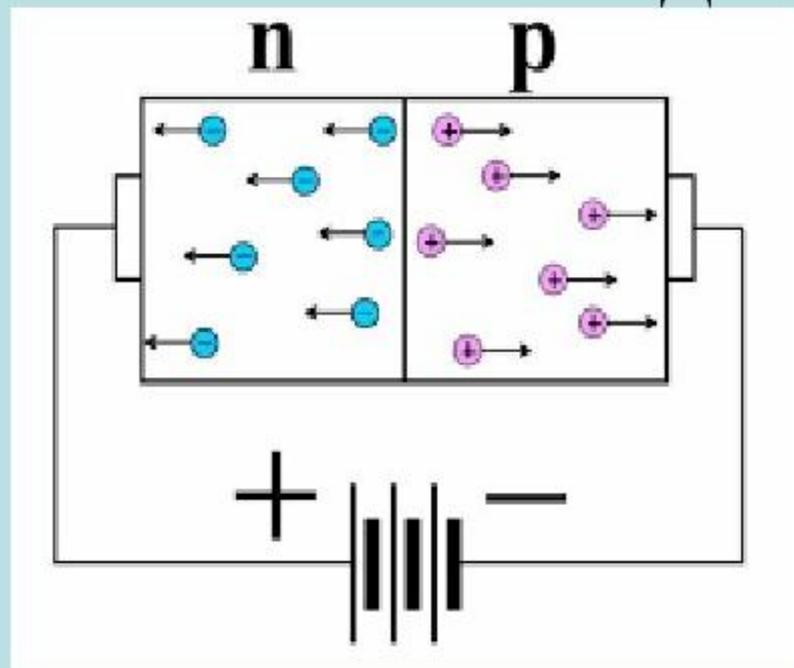
3. На границе p-n перехода образуются «+» и «-» ионы, между которыми создается электрическое поле представляющее собой запирающий слой.

# Полупроводниковый диод принцип действия:



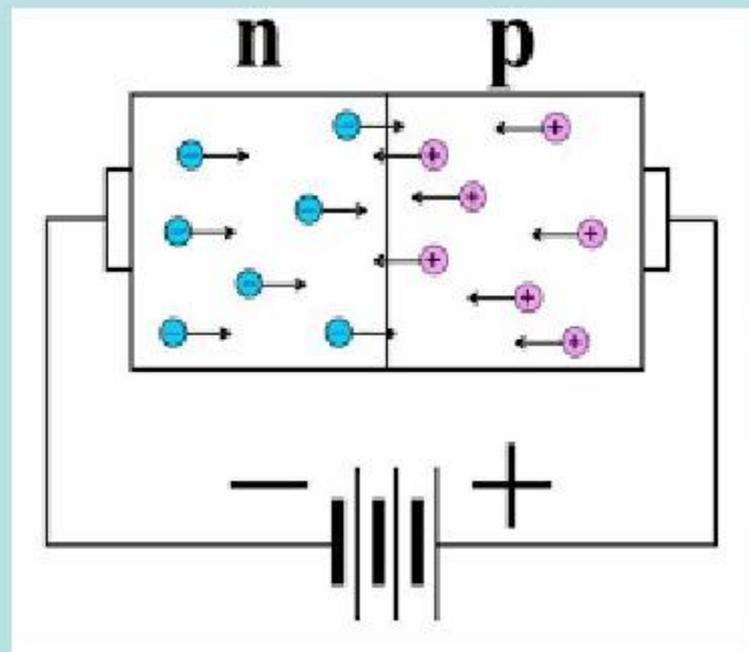
4. Электроны и дырки при дальнейшем движении взаимодействуют с ионами запирающего слоя и возвращаются обратно в свою область, электрический ток через P-n переход прекращается.

# Полупроводниковый диод принцип действия:



Диод закрыт – ток не проходит

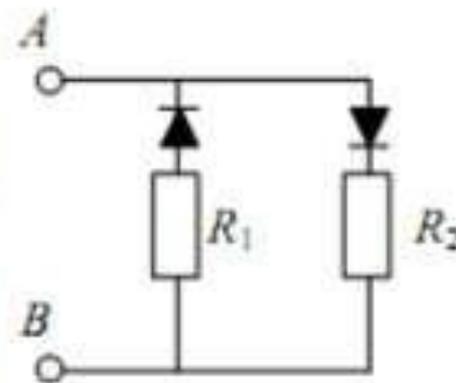
Диод открыт – ток идет



# ЕГЭ 2020

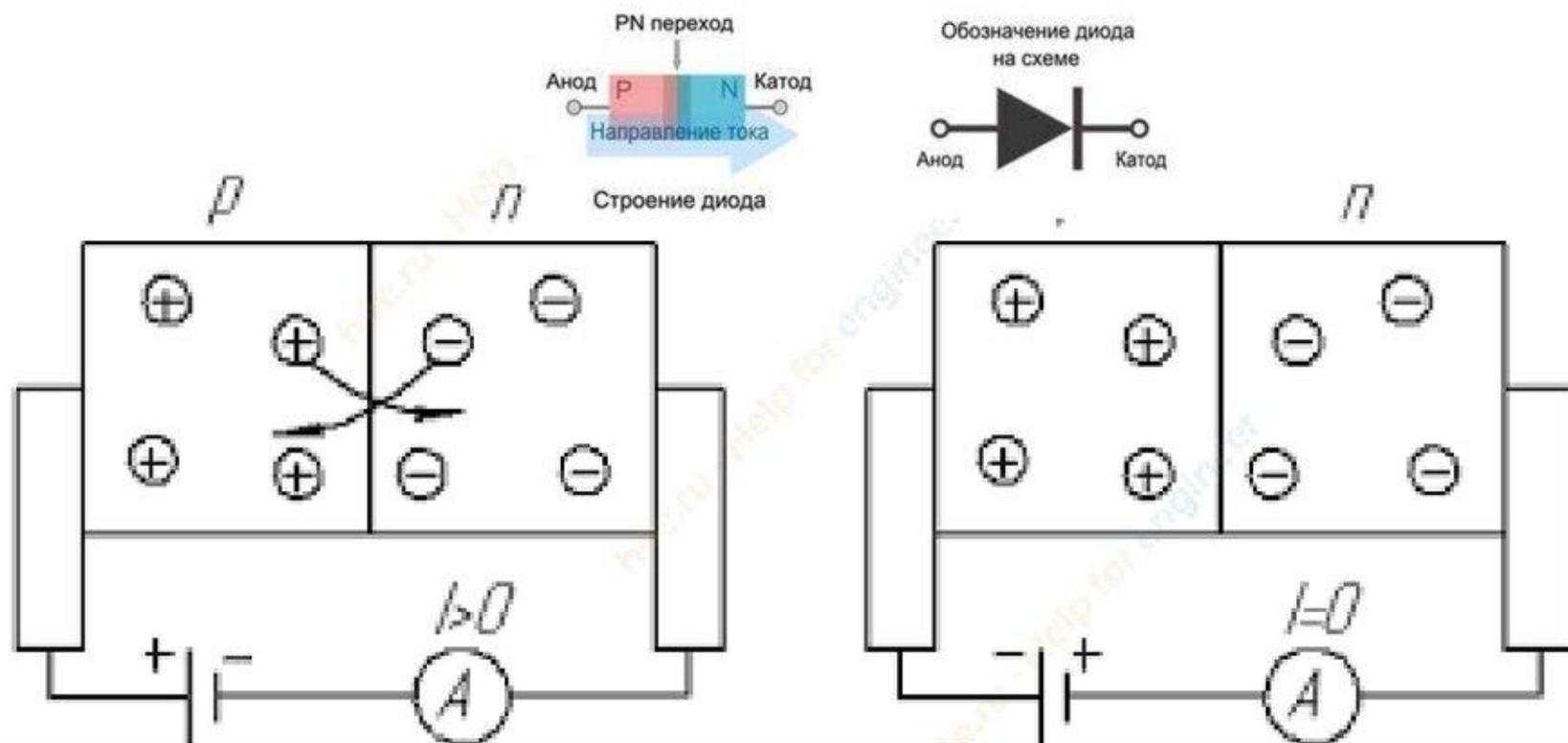
## Вариант 26 № 31

В цепи, изображённой на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке  $A$  положительного полюса, а к точке  $B$  отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, потребляемая мощность равна 7,2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Укажите условия протекания тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.

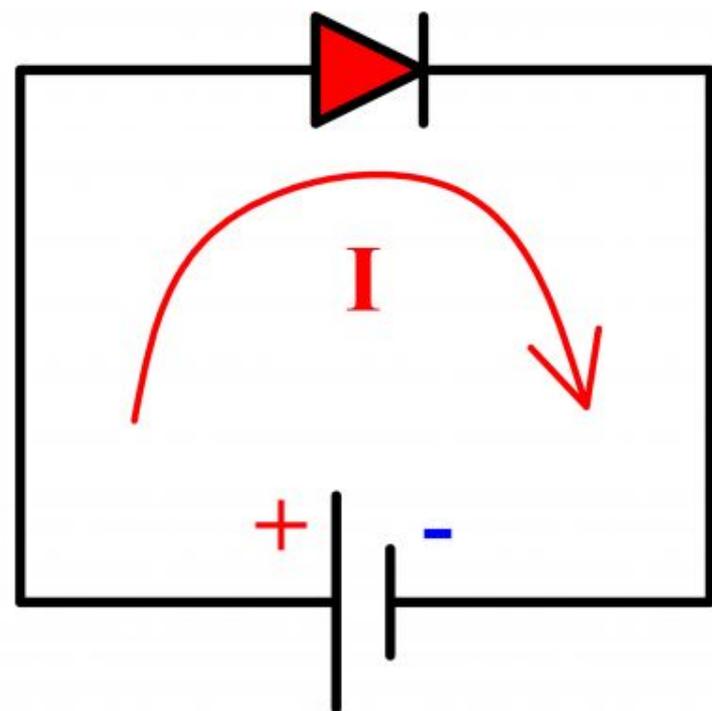


# Принцип работы диода

- Диод пропускает через себя ток в одном направлении. Этот эффект часто называют выпрямлением.

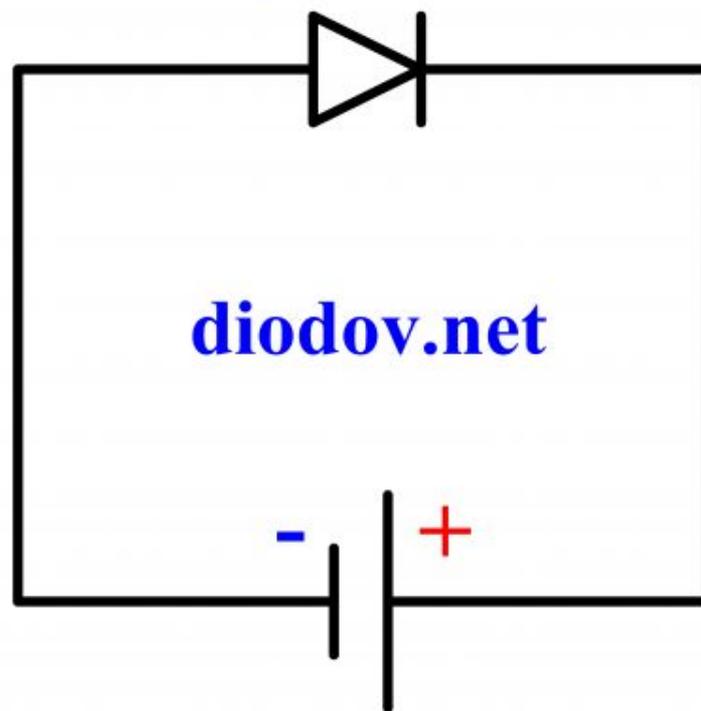


**Ток протекает через  
диод**



**Прямое напряжение**

**Ток НЕ протекает  
через диод**

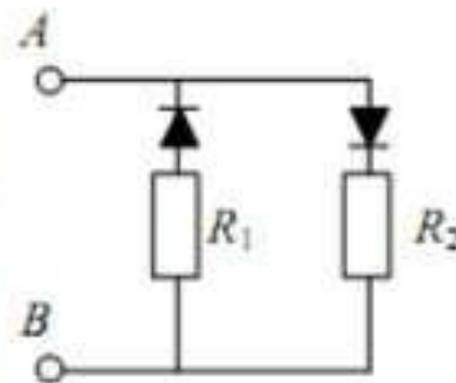


**Обратное напряжение**

# ЕГЭ 2020

## Вариант 26 № 31

В цепи, изображённой на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке  $A$  положительного полюса, а к точке  $B$  отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, потребляемая мощность равна 7,2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Укажите условия протекания тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.



0-26

№31

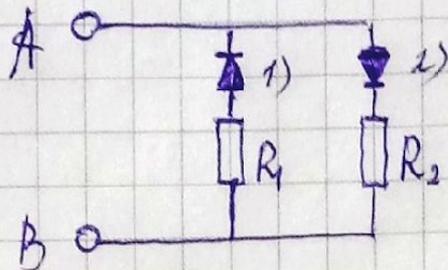
СИ

$$E = 12 \text{ В}$$

$$P_1 = 7,2 \text{ Вт} \\ (\varphi_A > \varphi_B)$$

$$P_2 = 14,4 \text{ Вт} \\ (\varphi_A < \varphi_B)$$

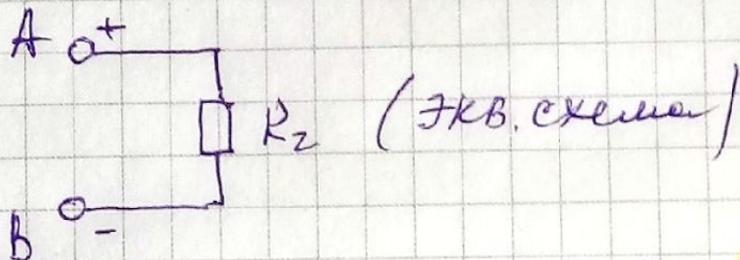
## Анализ - Решение



1. Когда на А „+“ на В „-“

$$\varphi_A > \varphi_B$$

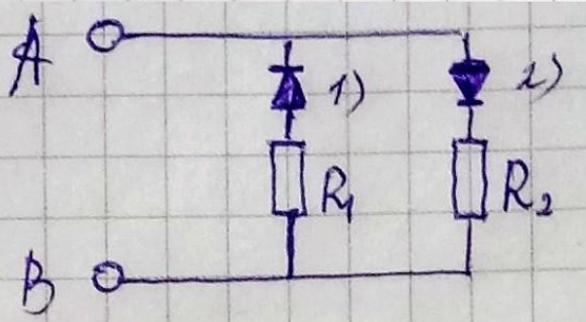
Ток не пропускает 1) диод,  
тогда ток пропускает 2) диод



Потребляемая мощность  $P_1 = \frac{E^2}{R_2}$

1) Условия протекания тока ?

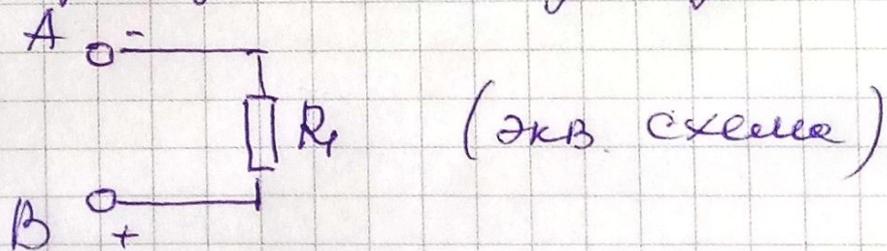
2)  $R_1$  - ?  $R_2$  - ?



2. Изменяем полярность,  
тогда на A " - " на B " + "

$$\varphi_A < \varphi_B$$

тогда ток не пропускает 2) диод  
пропускает 1) диод



Потребляемая мощность  $P_2 = \frac{U^2}{R_1}$

$$3 \quad R_1 = \frac{U^2}{P_2} \quad R_2 = \frac{U^2}{P_1}$$

$$4. \quad R_1 = \frac{(12 \text{ В})^2}{14,4 \text{ Вт}} = 10 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{(12 \text{ В})^2}{7,2 \text{ Вт}} = 20 \text{ Ом}$$

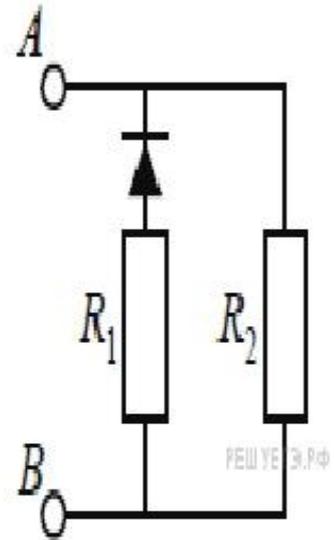
$$[R] = \left[ 1 \frac{\text{В}^2}{\text{Вт}} = 1 \frac{\text{В}^2}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом} \right]$$

# Д3

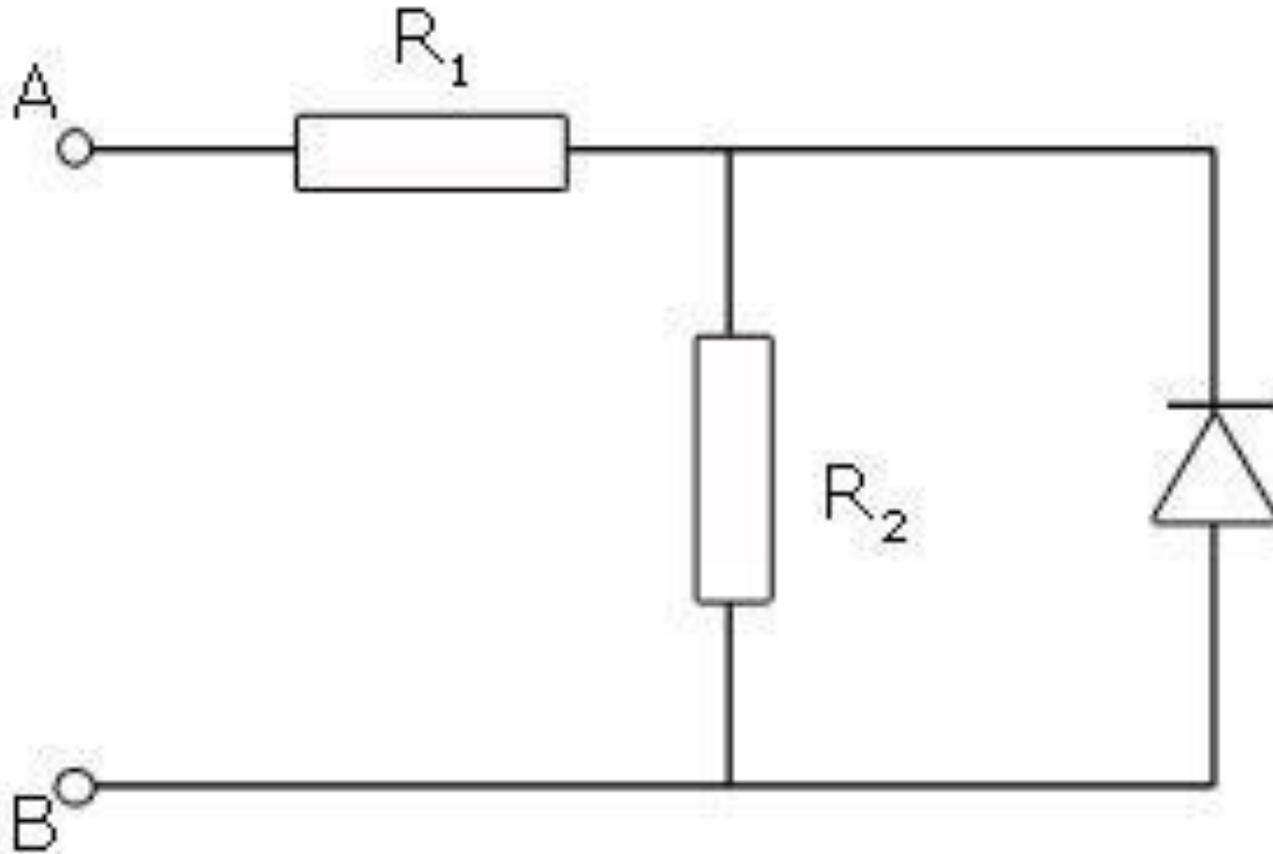
## ЕГЭ 2020

### Вариант 25 № 31

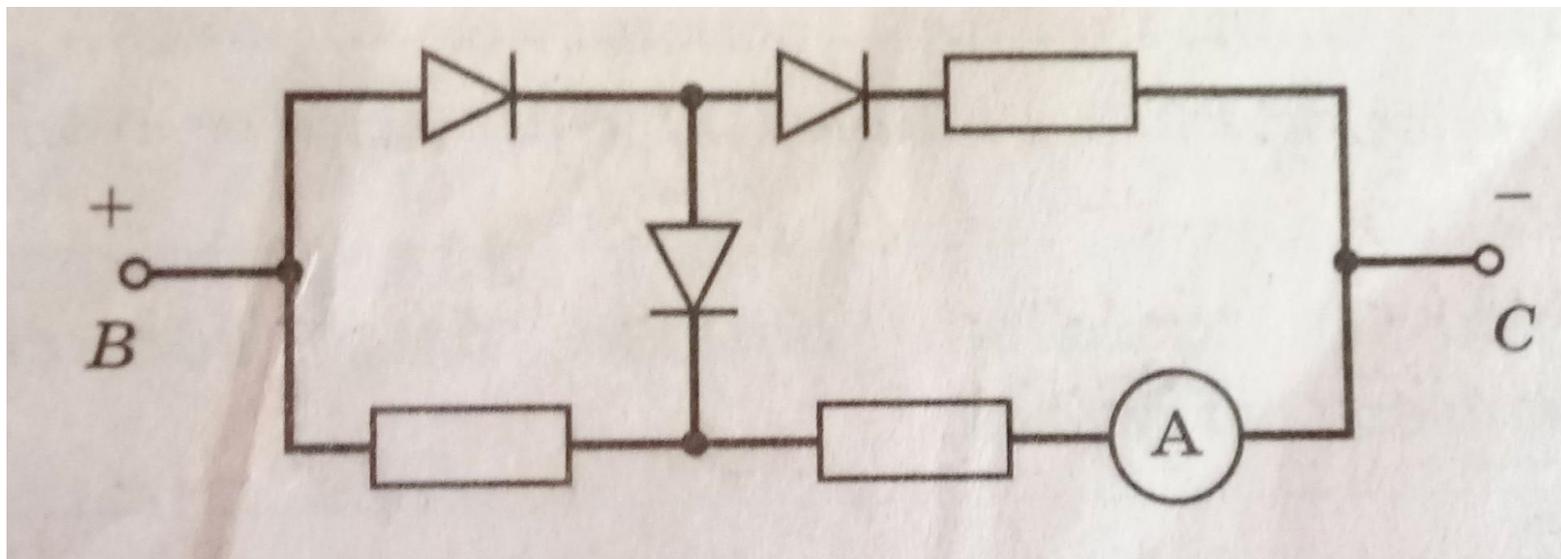
В цепи, изображённой на рисунке, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке  $A$  положительного полюса, а к точке  $B$  отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 14,4 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 21,6 Вт. Укажите, как течёт ток через диод и резисторы в обоих случаях, и определите сопротивления резисторов в этой цепи.



**ДЗ: Взять данные предыдущей задачи, но схему, которая указана ниже**



# ДЗ Вариант 1 и 2 №27



653. Определите период колебаний в контуре (рис. 157). В цепь включены два идеальных полупроводниковых диода.  $C = 0,25$  мкФ,  $L_1 = 2,5$  мГн,  $L_2 = 4,9$  мГн.

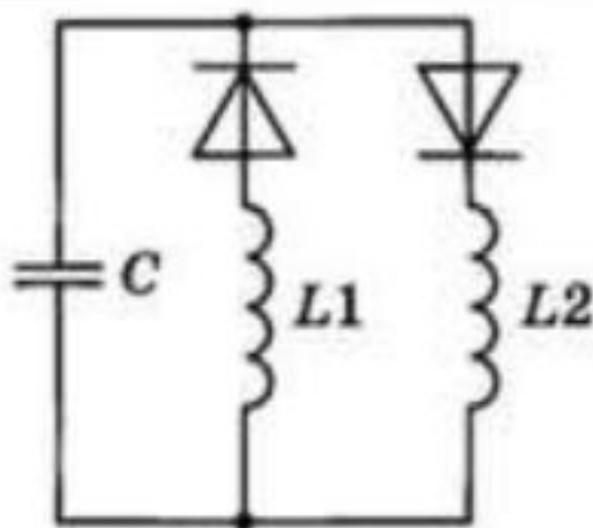
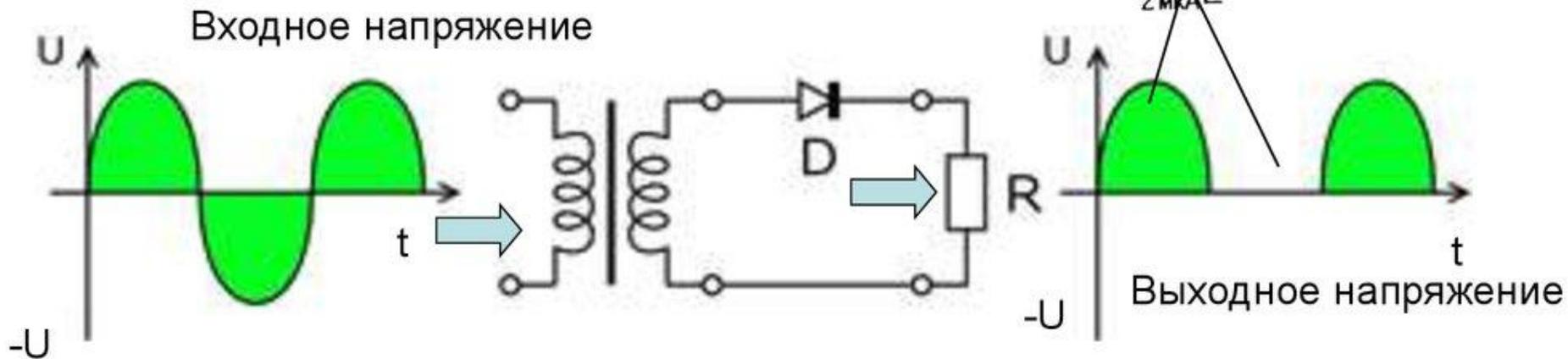


Рис. 157

# Выпрямление

- Выпрямитель преобразует переменный ток в постоянный.
- Однополупериодный выпрямитель



**ВАЖНО ЗАПОМНИТЬ.** Падение напряжения на диоде примерно  $0.6\text{ В}$

Дано:

$$L_1 = 2,5 \text{ мГн}$$

$$L_2 = 4,9 \text{ мГн}$$

$$C = 0,25 \text{ мкФ}$$

---

$$T = ?$$

Решение:

Полупроводниковые диоды пропускают ток только в одном направлении. Когда при колебаниях ток идёт по часовой стрелке, его пропускает диод в участке цепи с катушкой  $L_2$ ; когда ток идёт против часовой стрелки, его пропускает диод в участке цепи с катушкой  $L_1$ .

Поэтому период колебаний складывается из половин периодов двух разных колебательных контуров с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$ :

$$T_1 = 2\pi\sqrt{L_1 C}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C};$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{2\pi}{2} \sqrt{C} (\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2}) =$$

$$= 3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-4} (0,05 + 0,07) \text{ (с)} \approx 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Ответ:  $\approx 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$