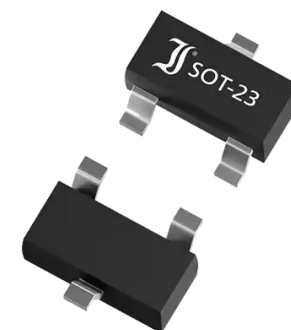
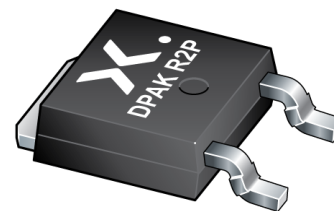
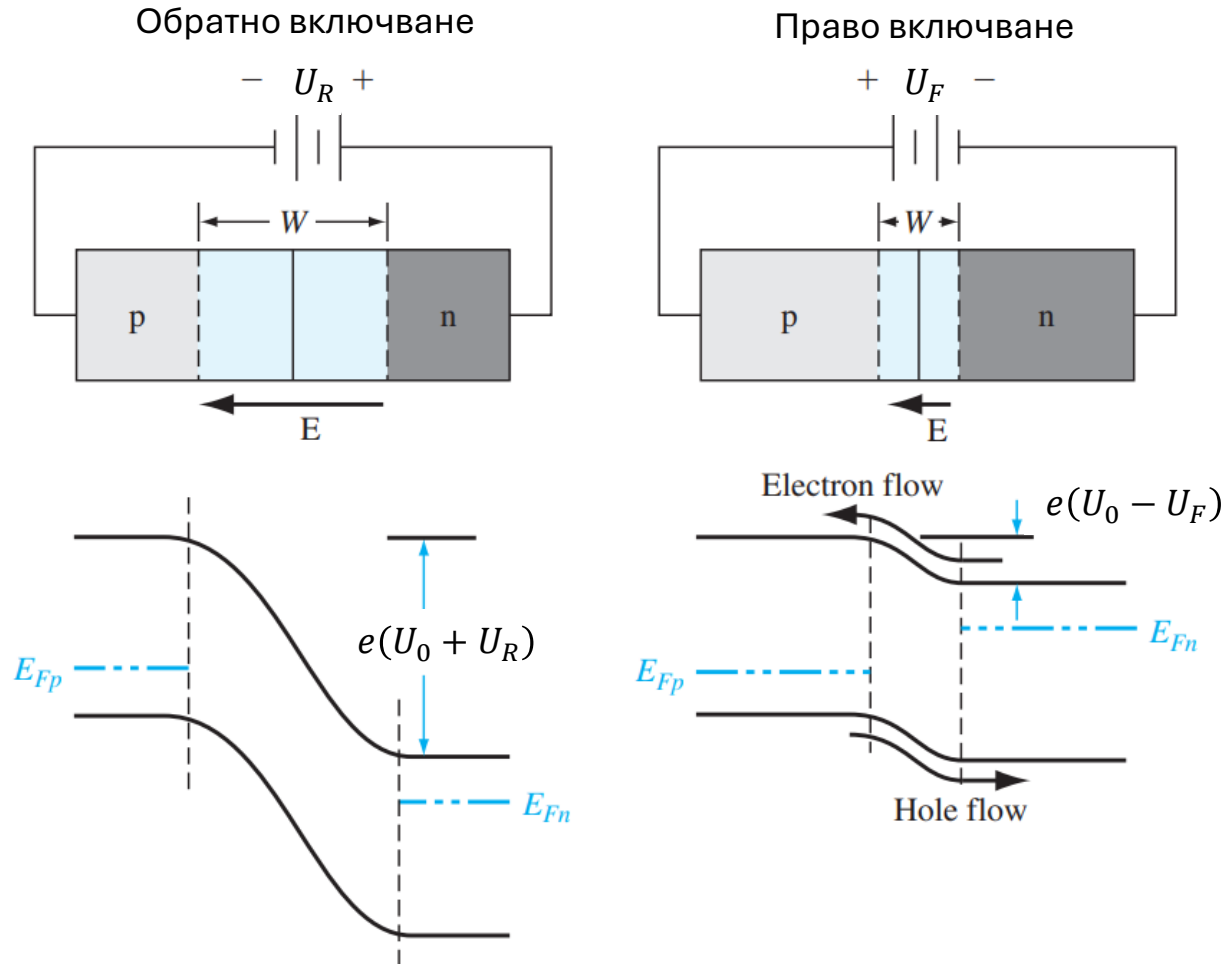




# Диоди



# Преговор



## Токове в PN-прехода

- Дифузен ток – движение на токоносителите причинено от градиента на концентрация на примесите – основни токоносители.
- Дрейфов ток – движение на токоносителите поради влиянието на електрическо поле – неосновни токоносители.

## Право включване

- Външното напрежение намалява потенциалната бариера. Това позволява на дифузният ток да доминира над дрейфовият.
- Дифузният ток е съставен от основни токоносители.
- Токът протича безпрепятствено и зависи експоненциално от приложеното напрежение.

## Обратно включване

- Външното напрежение повишава височината на потенциалната бариера. Дифузният ток не може да тече.
- През прехода остава да тече много по-малкият дрейфов ток – обратен ток на насищане  $I_s$ . Той е съставен от неосновни токоносители и слабо се влияе от напрежението.

Волт-Амперна характеристика на диод

# Волта-Амперна характеристика на идеален диод

$$I = I_s \left( e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

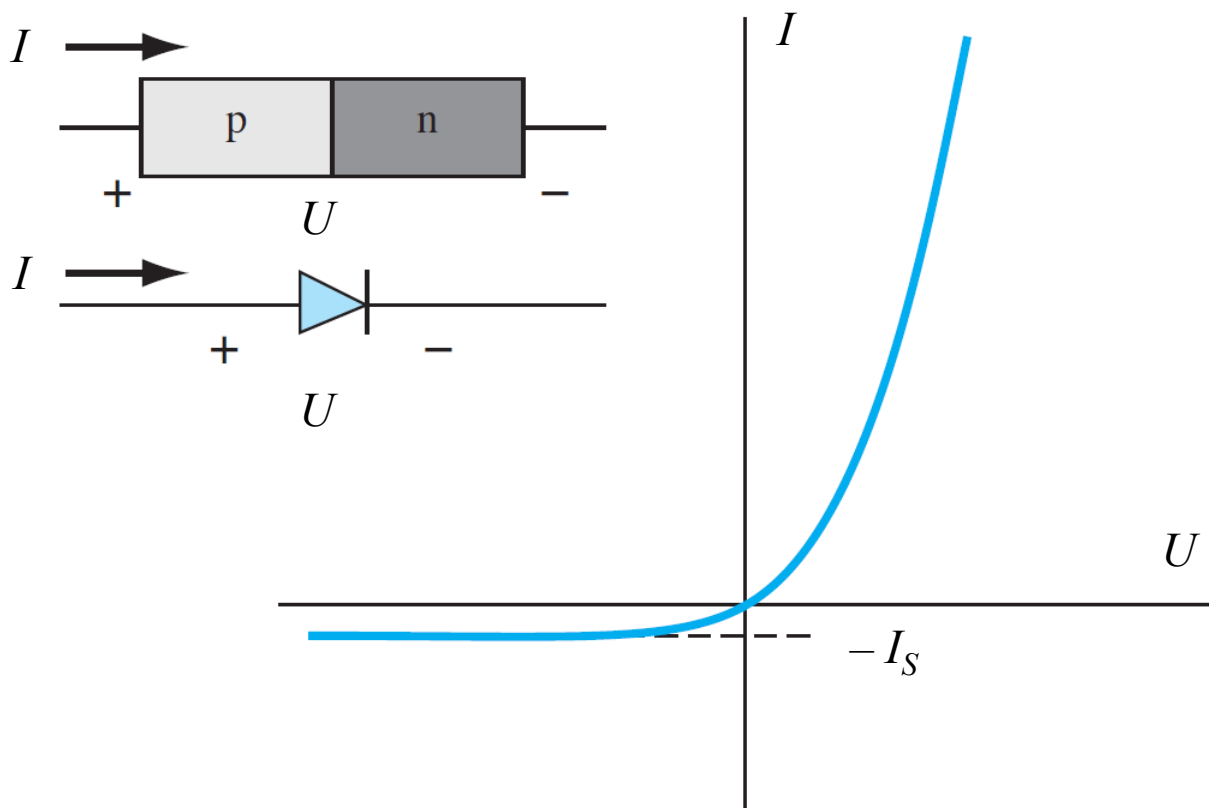
$I$  – ток през диода

$I_s$  – ток на насищане

$U$  – напрежение върху диода

$\varphi_t$  – топлинен потенциал

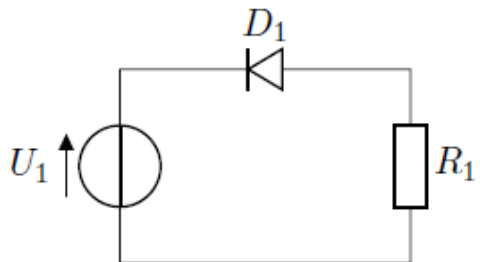
$$\varphi_t = \frac{kT}{e} = 0.0259 \text{ V при } T=300\text{K}$$



John Bardeen, William Shockley and Walter Brattain

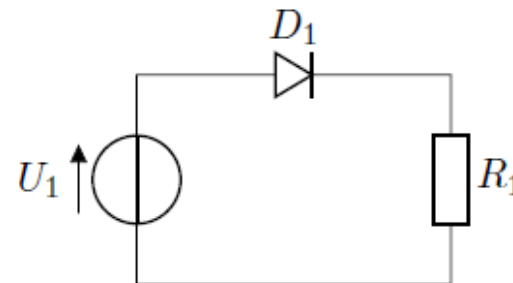
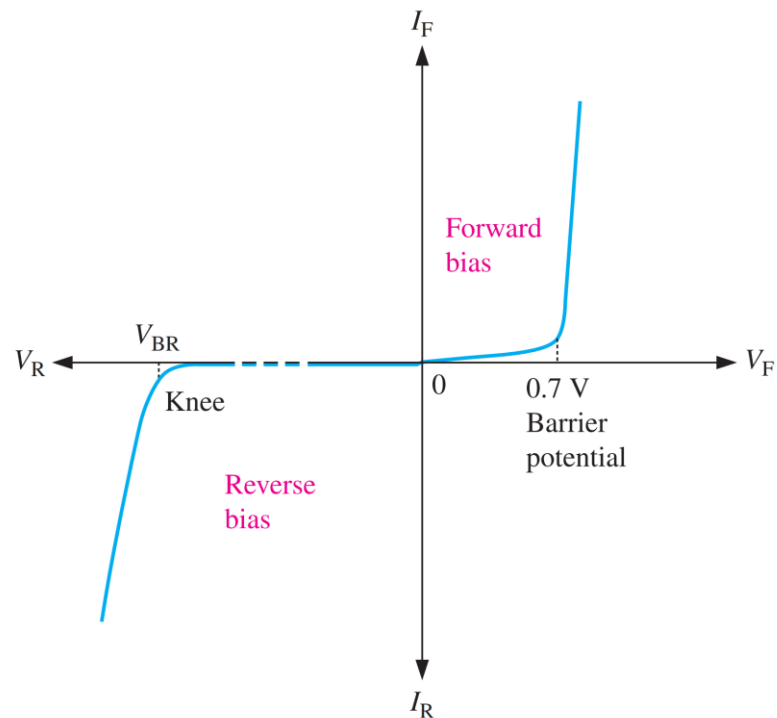
1956 Нобелова награда по физика за изследване свойствата на полупроводниците и откриване на транзистора.

# Волта-Амперна характеристика на реален диод



Обратно включване

Тече относително малък ток, който слабо зависи от обратното напрежение.  
Про достатъчно високо обратно напрежение ще настъпи пробив – ценеров, лавинен или топлинен.



Право включване

За да протече ток, трябва да се преодолее потенциалната бариера:

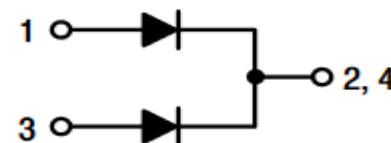
- 0,6 – 0,7V за диоди с PN преход
- 0,2 - 0,4V за диоди с преход на Шотки

# Максимально допустими параметри

## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	15	V
Average Rectified Forward Current ( $T_C = 140^\circ\text{C}$ per Diode) ( $T_C = 140^\circ\text{C}$ per Device)	$I_{F(AV)}$	20 40	A
Peak Repetitive Forward Current, per Diode (Square Wave, 20 kHz, $T_C = 135^\circ\text{C}$ )	$I_{FRM}$	40	A
Non-Repetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions, Halfwave, Single Phase, 60 Hz)	$I_{FSM}$	150	A
Peak Repetitive Reverse Surge Current (2.0 $\mu\text{s}$ , 1.0 kHz)	$I_{RRM}$	1.0	A
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +175	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature (Note 1)	$T_J$	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Voltage Rate of Change (Rated $V_R$ )	$dv/dt$	1,000	V/ $\mu\text{s}$

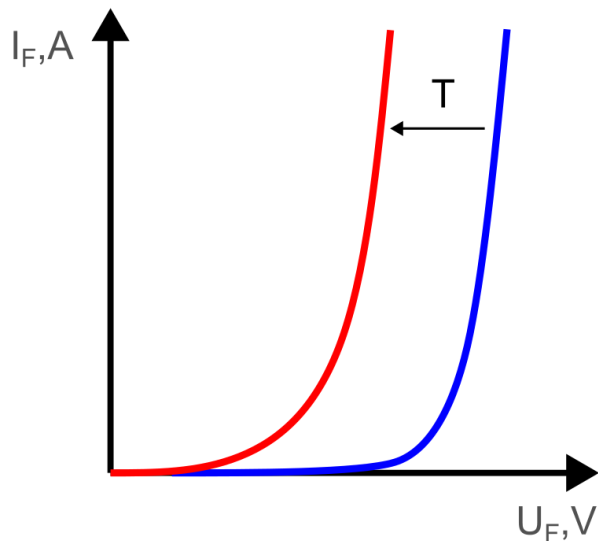
Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



Пример MBR4015CTLG  
Si Schottky диод

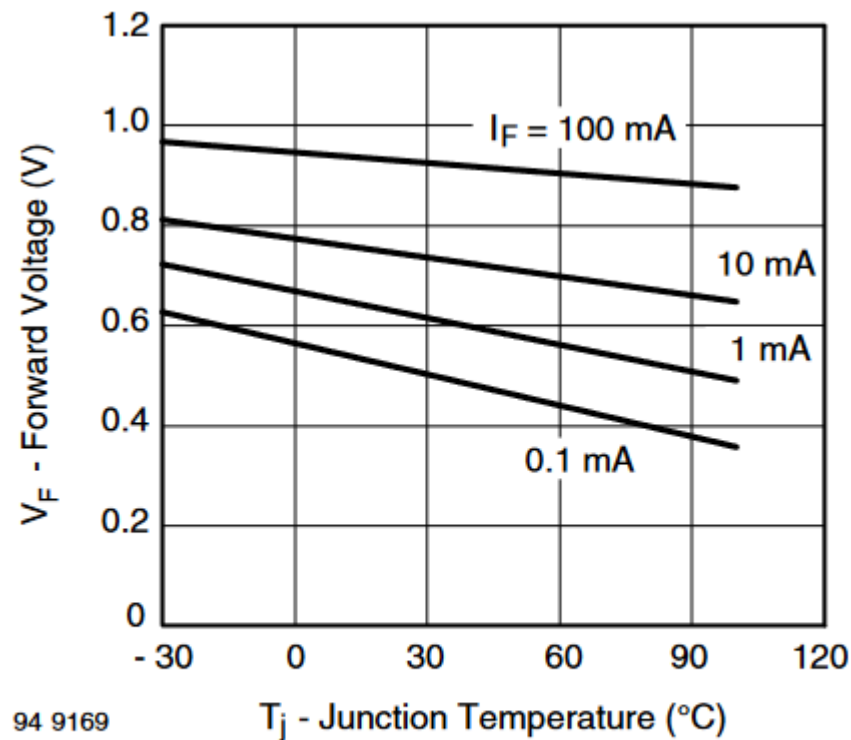
Влияние на температурата

# Влияние на температурата – право включване



$$TKU_F = \frac{dU}{dT} \approx \frac{\Delta U}{\Delta T} \Big|_{I = const}$$

$$TKU_F \approx -2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

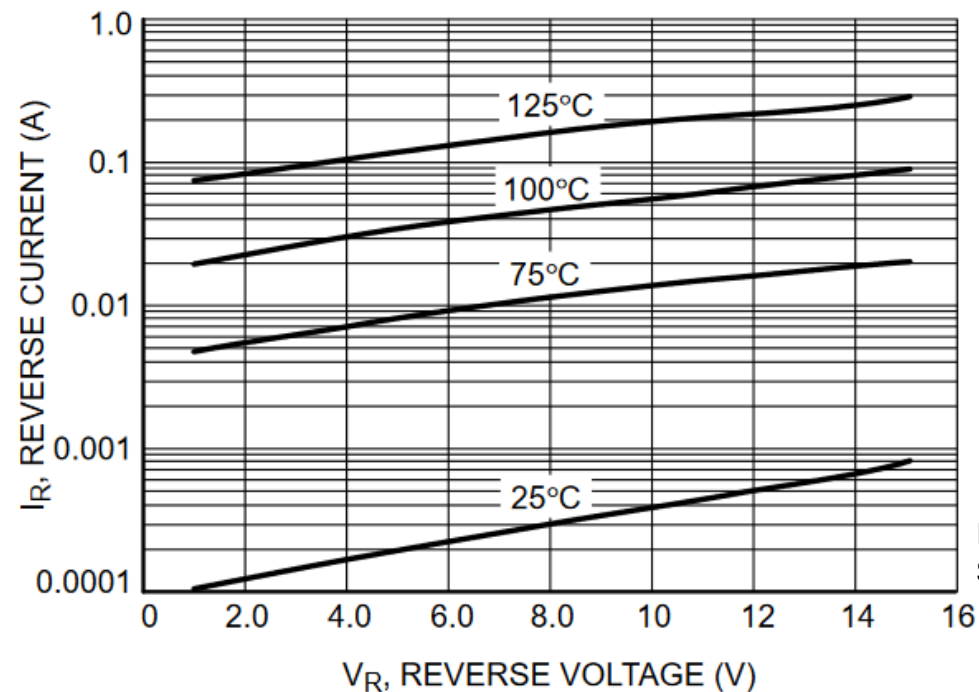
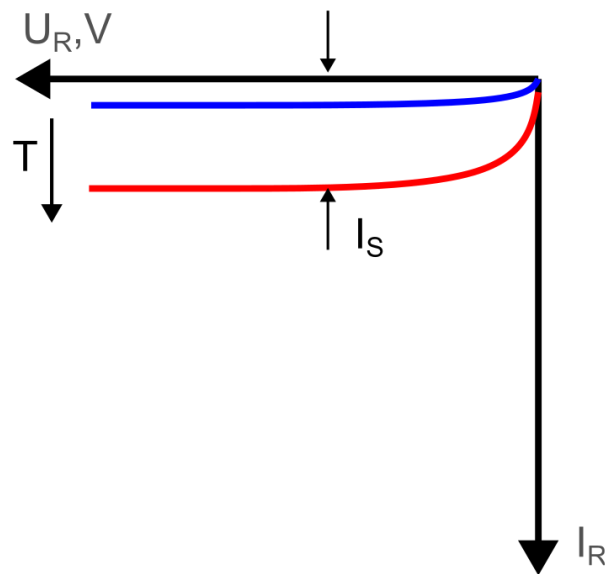


Пример 1N4148  
Si PN диод

Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature

Болшинството диоди имат отрицателен температурен коефициент на напрежението – т.е.  $U_F$  намалява с увеличение на температурата (при постоянен ток).

# Влияние на температурата – обратно включване



Пример MBR4015CTLG  
Si Schottky диод

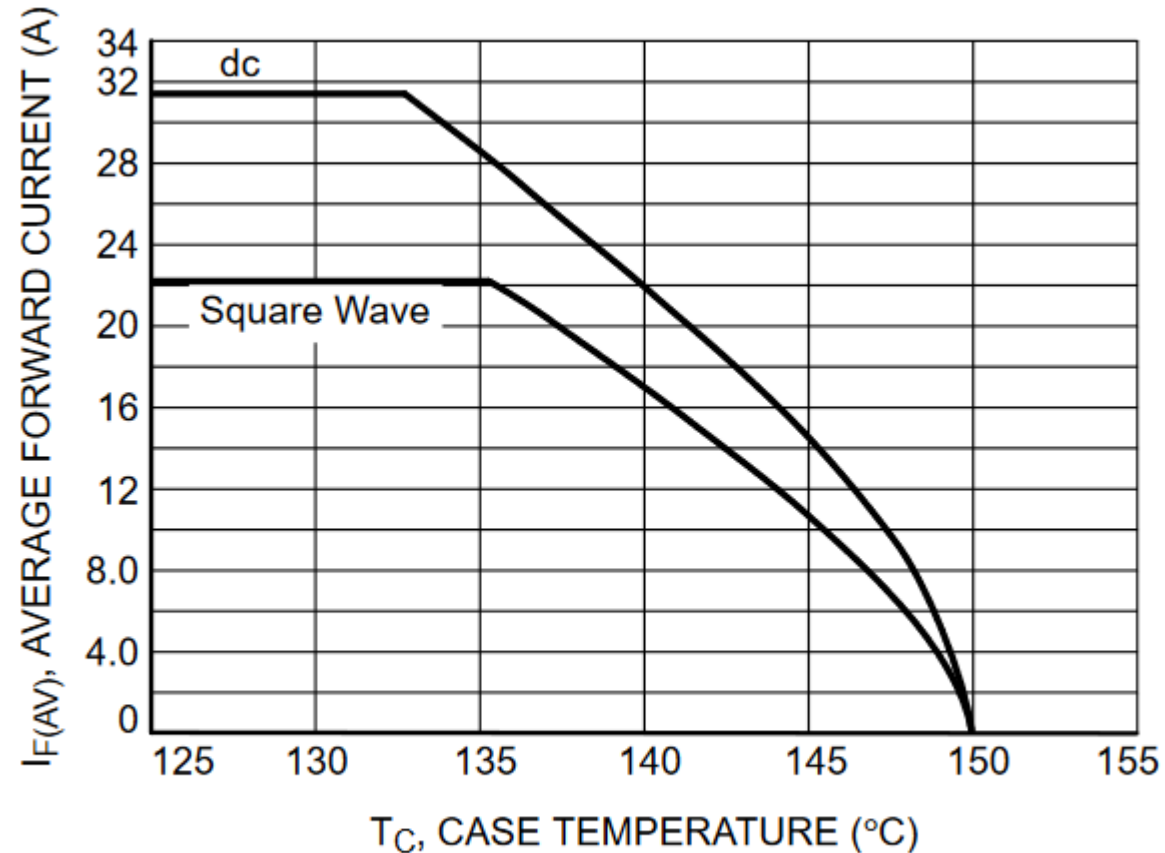
Figure 3. Typical Reverse Current

$I_s$  се удвоява на всеки  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  увеличение на температурата.

Тъй като обратният ток се формира от топлинно генерирани неосновни токоносители, той силно зависи от изменението на температурата.

Обратният ток на Шотки диодите е много по-голям от този на диодите с pn преход.

# Намаляване на макс. допусимият ток при повишаване на температурата

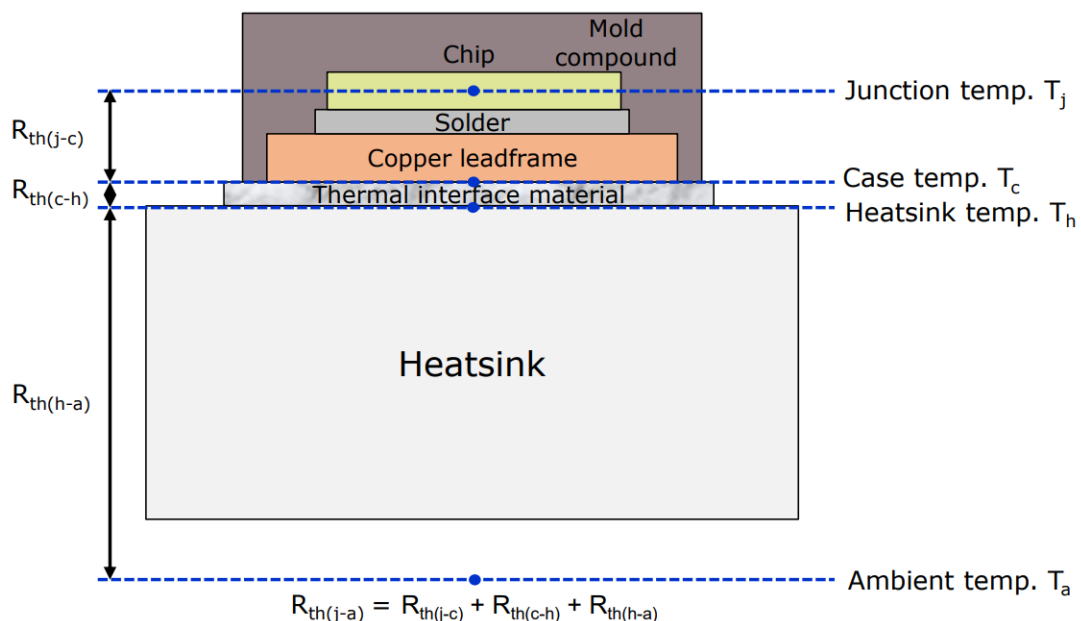


**Figure 4. Current Derating, Case, Per Leg**

Пример MBR4015CTLG  
Si Schottky диод

# Топлинно съпротивление

**Топлинното съпротивление**  $R_{\theta}$  (или  $R_{th}$ ) показва ефективността на отвеждане топлината от полупроводниковият кристал към околното пространство. То се измерва в градуси на Ват (K/W или °C/W).



$$P_D = \frac{T_J - T_A}{R_{\theta JA}}$$

$$P_D = \frac{T_J - T_C}{R_{\theta JC}}$$

$P_D$  представлява максималната мощността, която диода може да разсейва при дадени температура на кристала

$T_J$  = Junction Temperature / температура на кристала

$T_C$  = Case Temperature / температура на корпуса

$T_L$  = Lead Temperature / температура на изводите

$T_A$  = Ambient Temperature / околна температура

$R_{th(j-c)}$  = Топлинно съпротивление кристал – корпус

$R_{th(c-h)}$  = Топлинно съпротивление корпус – радиатор

$R_{th(h-a)}$  = Топлинно съпротивление радиатор – околна среда

$R_{th(j-a)}$  = Топлинно съпротивление кристал – околна среда

## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Conditions	Symbol	Max	Unit
Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Case	Min. Pad	$R_{\theta JC}$	2.0	°C/W
Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	Min. Pad	$R_{\theta JA}$	60	

# Топлинно съпротивление

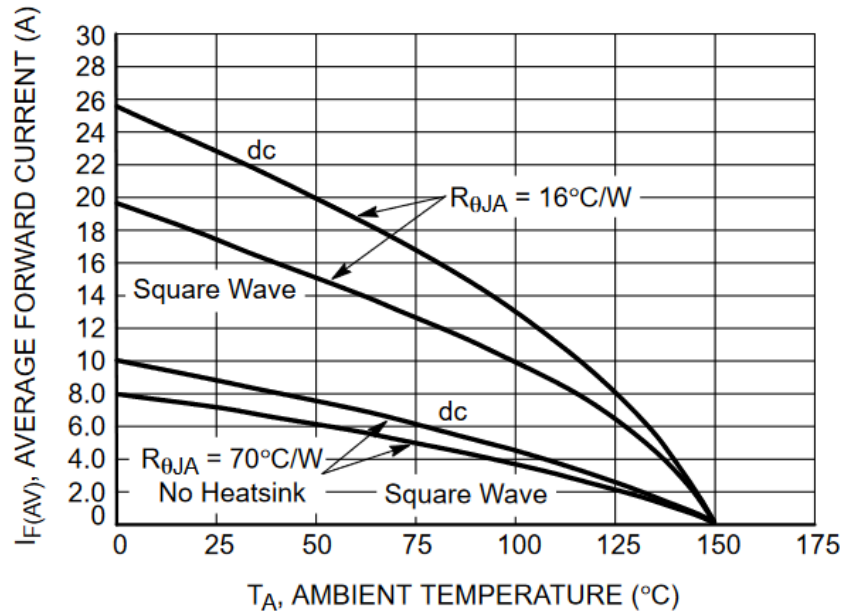
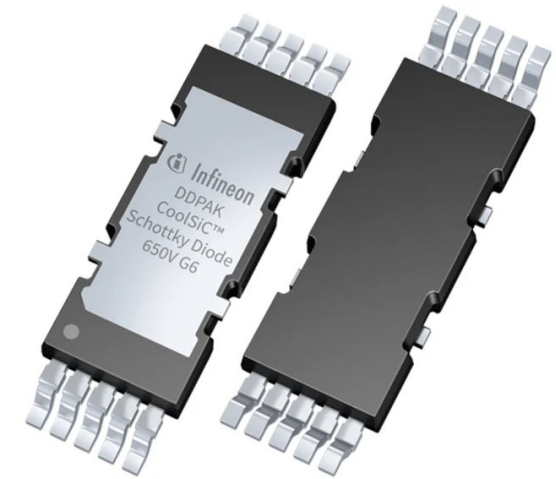
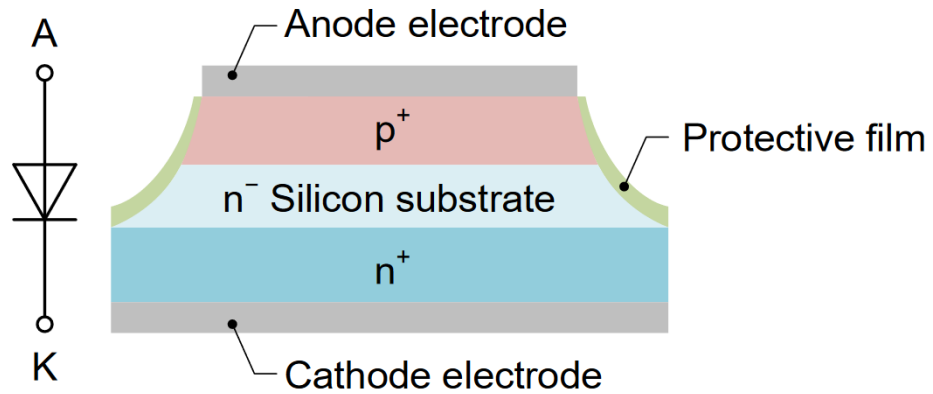


Figure 5. Current Derating, Ambient, Per Leg

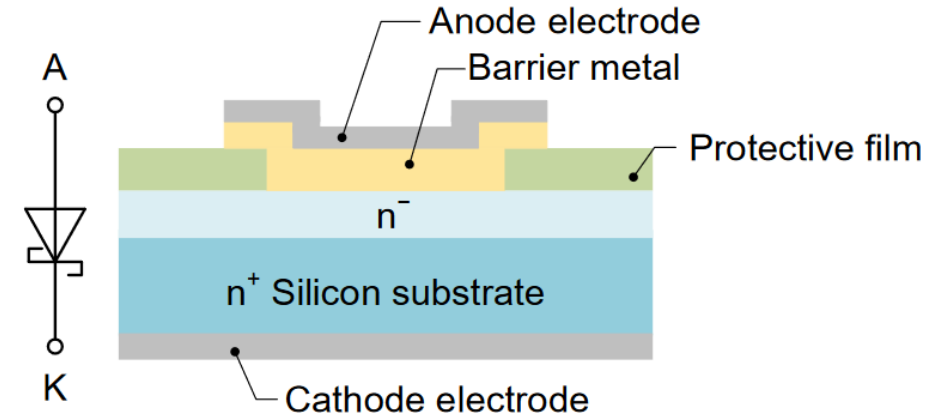


Топлинното съпротивление може да се намали с помощта на радиатор. Той представлява метална конструкция с голяма площ, която спомага по-лесното отвеждане на топлината.

# Структура на диод



Изправителен диод с pn преход  
Rectifying pn junction diode

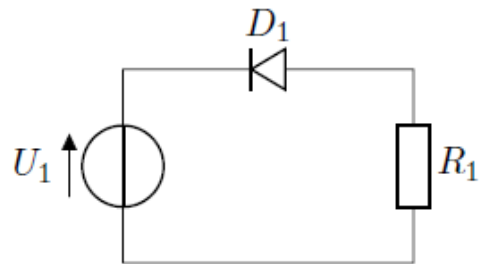
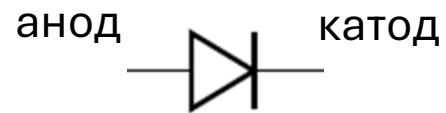


Диод на Шотки  
Schottky Barrier Diode (SBD)

# Задачи

Постояннотоков режим на схеми с диоди

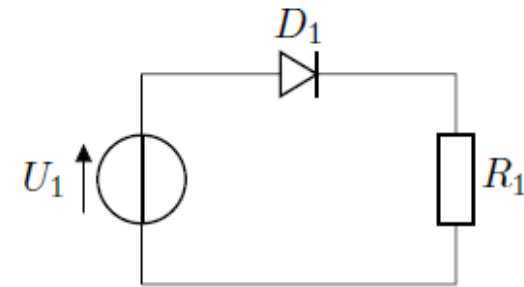
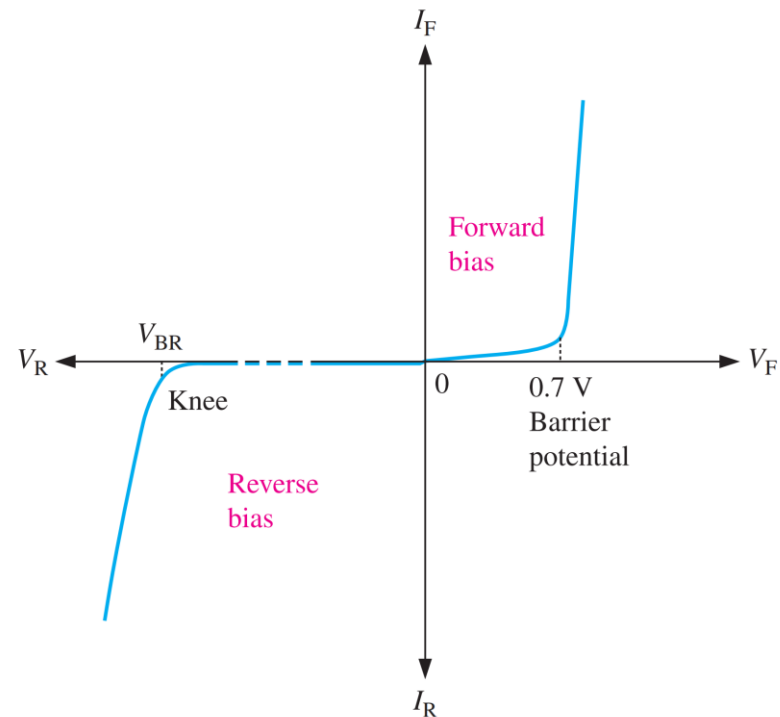
# Волта-Амперна характеристика на реален диод



Обратно включване

Тече относително малък ток, който слабо зависи от обратното напрежение.

Про достатъчно високо обратно напрежение ще настъпи пробив – ценеров, лавинен или топлинен.

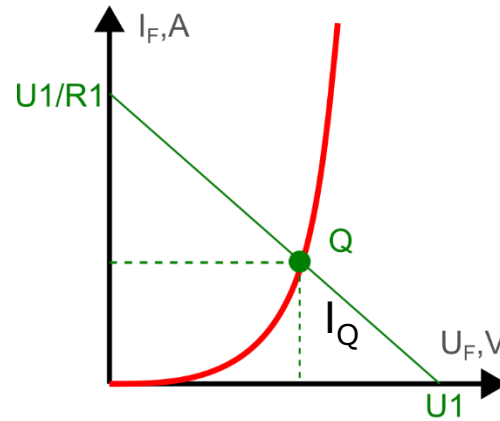
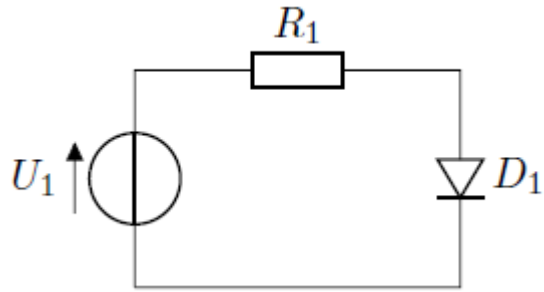


Право включване

За да протече ток, трябва да се преодолее потенциалната бариера:

- 0,6 – 0,7V за диоди с PN преход
- 0,2 - 0,4V за диоди с преход на Шотки

# Товарна права и работна точка

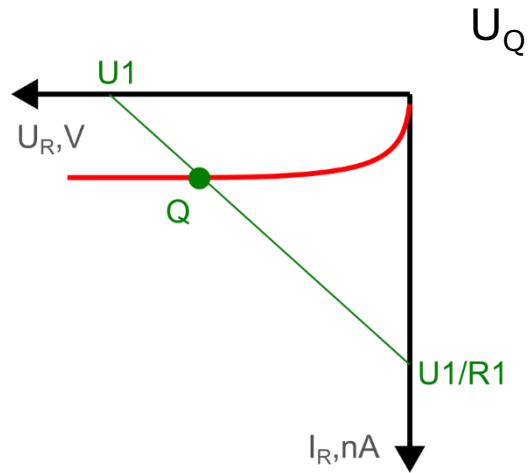
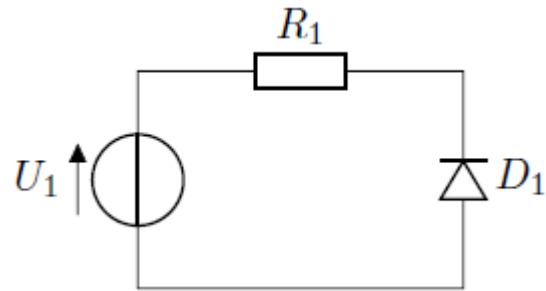


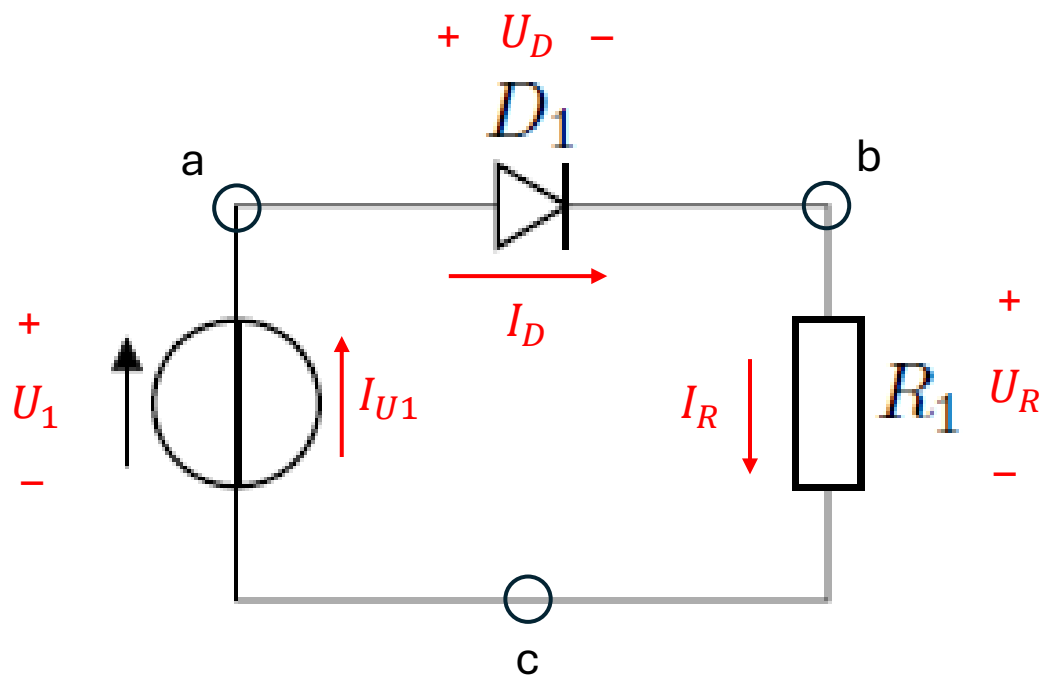
Q – работна точка

Напрежение върху диода:  $U_Q$

Ток през диода:  $I_Q$

Мощност:  $P = U_Q \cdot I_Q$





$U_1$  - електродвижеща сила на източника на напрежение (участва в сумирането със знак минус)

$U_D$ - пад на напрежението върху диода

$U_R$ - пад на напрежението върху резистора

Закон на Кирхоф за напреженията  
Алгебричната сума от напреженията в затворен контур е равна на нула.

$$(-U_1) + U_D + U_R = 0$$

Закон на Кирхоф за токовете  
Алгебричната сума на всички токове в даден възел е равна на нула.

Възел а:  $I_{U1} = I_D$

Възел б:  $I_D = I_R$

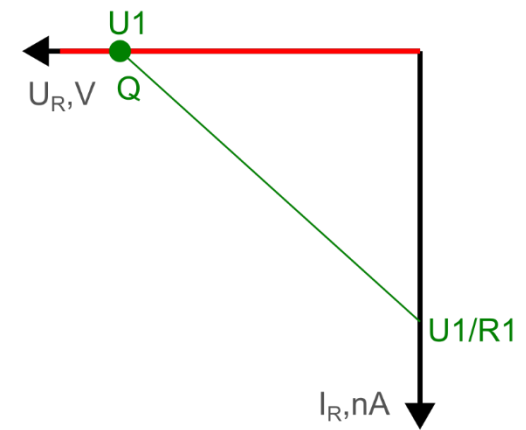
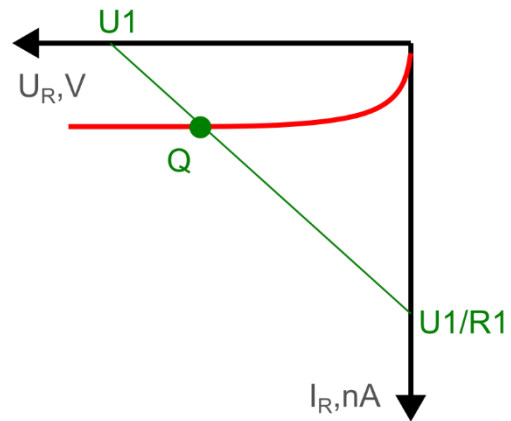
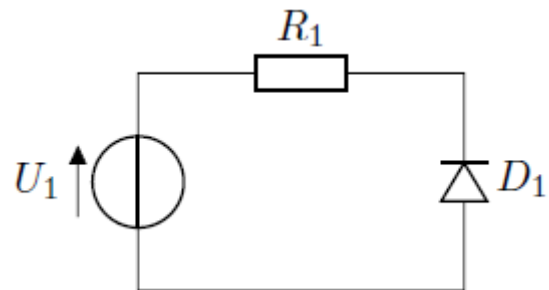
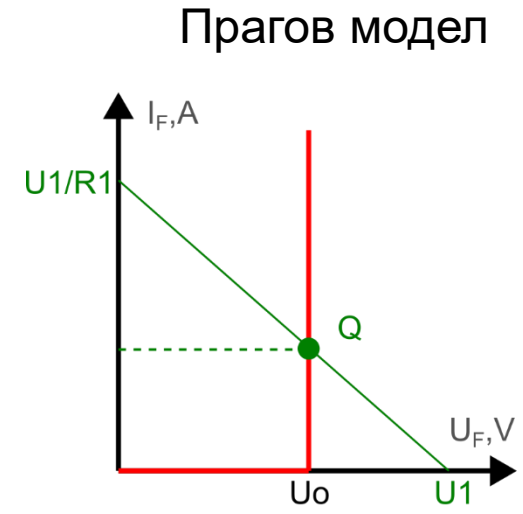
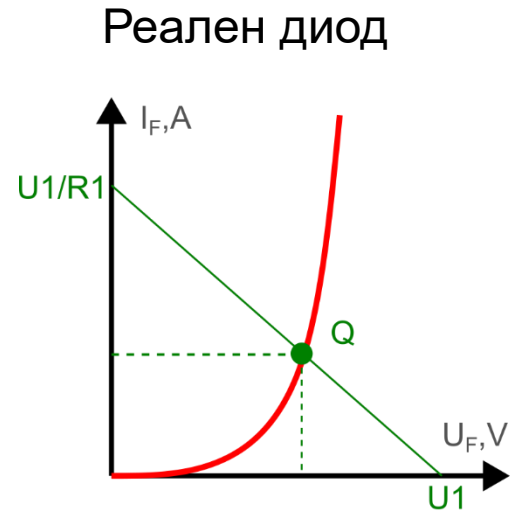
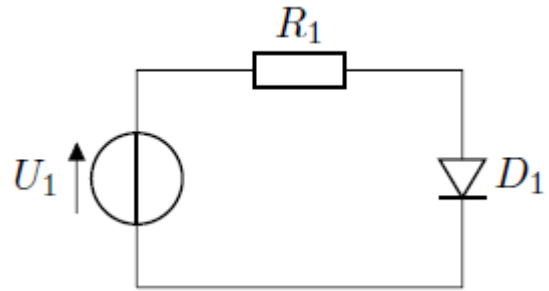
Възел с:  $I_R = I_{U1}$

$$I_{U1} = I_D = I_R = I$$

Закон на Ом - връзка между напрежението и тока в **един клон от схемата**.

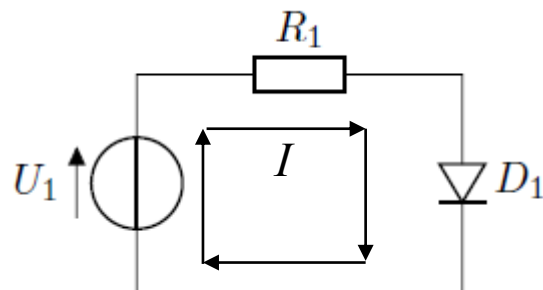
$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_R}{I}$$

# Прагов модел на диод

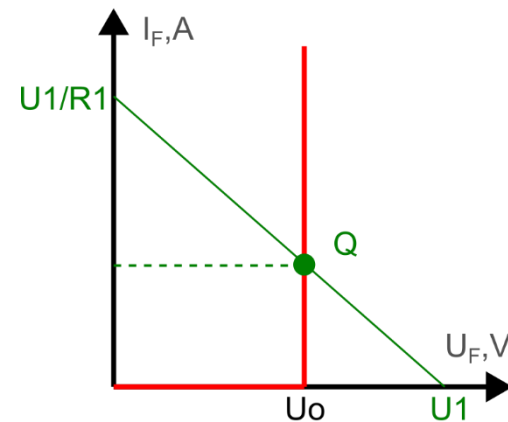


# Задача

Като използвате прагов модел на диод с  $U_0=0.7V$ , определете токовете, падовете на напрежение и разсейваните мощности върху резистора и диода в схемата.



$$\begin{aligned}U_1 &= 10V \\ R_1 &= 1k\Omega \\ U_0 &= 0.7V\end{aligned}$$



- 1) Източникът на напрежение  $U_1$ , диодът  $D_1$  и резисторът  $R_1$  са свързани последователно  $\Rightarrow$  през тях тече еднакъв ток  $I$ .
- 2) Диодът е включен в права посока и  $U_1 > U_0 \Rightarrow$  диодът е "отпушен" и пропуска ток.
- 3) От законът на Кирхоф за напреженията  $\Rightarrow U_1 = U_r + U_d$ ;  $U_r = U_1 - U_d = 10V - 0.7V = 9.3V$
- 4) От законът на Ом  $\Rightarrow I = U_r / R_1 = 9.3V / 1k\Omega = 9.3mA$
- 5) Мощността, разсейвана върху резистора е  $P_r = U_r \cdot I = 9.3V \cdot 9.3mA = 86.5mW$
- 6) Мощността, разсейвана върху диода е  $P_d = U_d \cdot I = 0.7V \cdot 9.3mA = 6.5mW$

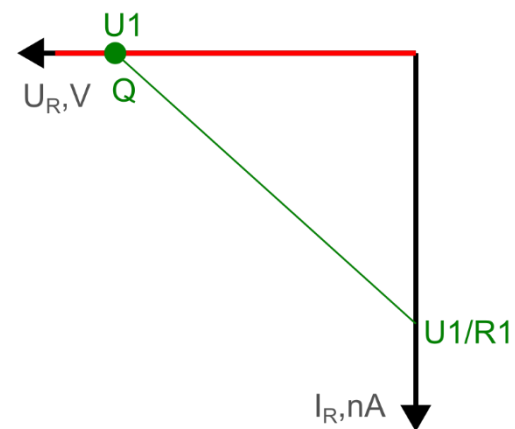
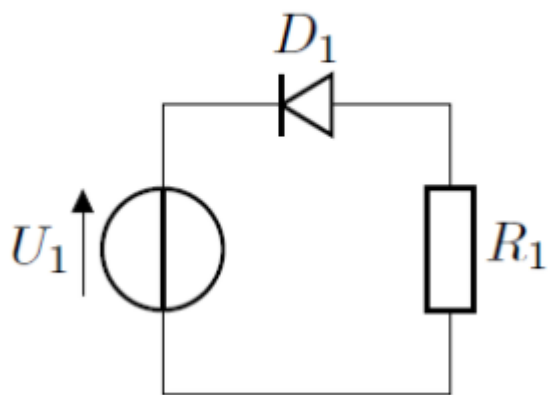
Чест допускана **грешка**:  $I = U_1/R_1$

проверки

Елемент	U	I	P
D1	0.7V	9.3mA	6.5mW
R1	9.3V	9.3mA	86.5mW

# Задача

Определете напреженията върху резистора и диода и големината на тока, ако  $U_1=10V$  и  $R_1=100$  Ома. Използвайте прагов модел на диод с  $U_0=0.7V$ .

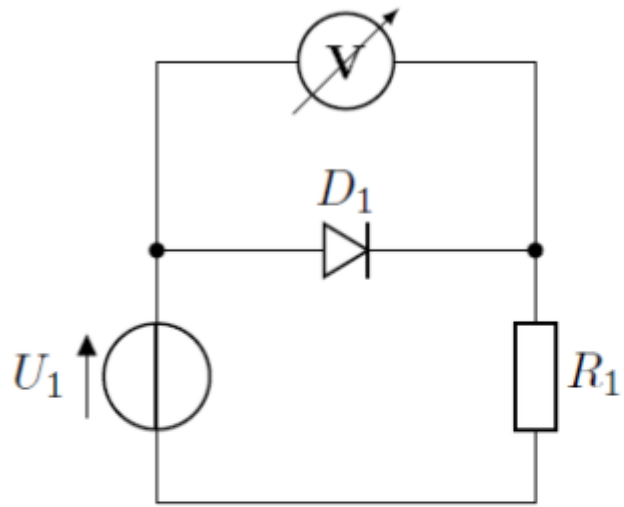


- 1) Източникът на напрежение  $U_1$ , диодът  $D_1$  и резисторът  $R_1$  са свързани последователно  $\Rightarrow$  през тях тече еднакъв ток  $I$ .
- 2) Диодът е включен в обратна посока  $\Rightarrow$  диодът не пропуска ток  $\Rightarrow I = 0$ .
- 3) От законът на Ом  $\Rightarrow U_r = I \cdot R_1 = 0 \cdot 100 \text{ Ohm} = 0$
- 4) От законът на Кирхоф за напреженията  $\Rightarrow U_1 = U_r + U_d$ ;  $U_d = U_1 - U_r = 10V - 0 = 10V$

Елемент	U	I	P
D1	10V	0	0
R1	0	0	0

# Задача

Какво ще покава волтметра, ако  $U_1=10V$ ,  $R_1=100\ \Omega$ , а  $D_1$  е силициев диод с PN преход.



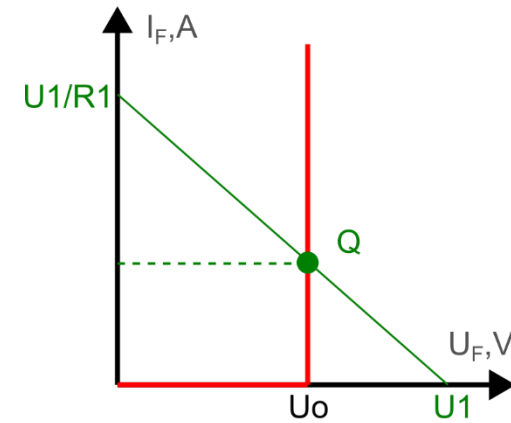
☐ 10V

☐ 9.3V

☒ 0.7V

☐ 0V

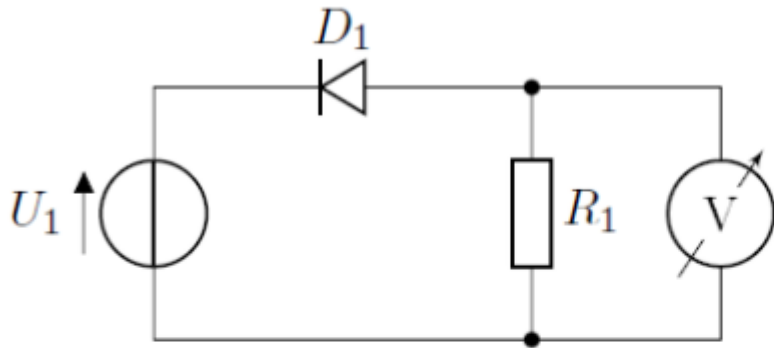
Диодът е включен в права посока и  $U_1 > U_0$   
=> диодът е "отпушен" и пропуска ток.



За силициев диод с PN  
преход,  $U_0=0.7V$

# Задача

Какво ще покава волтметъра, ако  $U_1=10V$ ,  $R_1=100\Omega$ , а  $D_1$  е силициев диод с PN преход.



☐ 10V

☐ 9.3V

☐ 0.7V

☒ 0V

Диодът е включен в обратна посока  
 $\Rightarrow$  диодът е запушен и не пропуска ток  
 $\Rightarrow I = 0$

Съгласно законът на Ом:  $U_r = I R = 0V$

