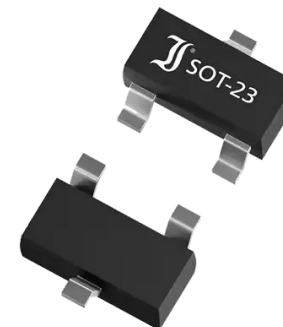
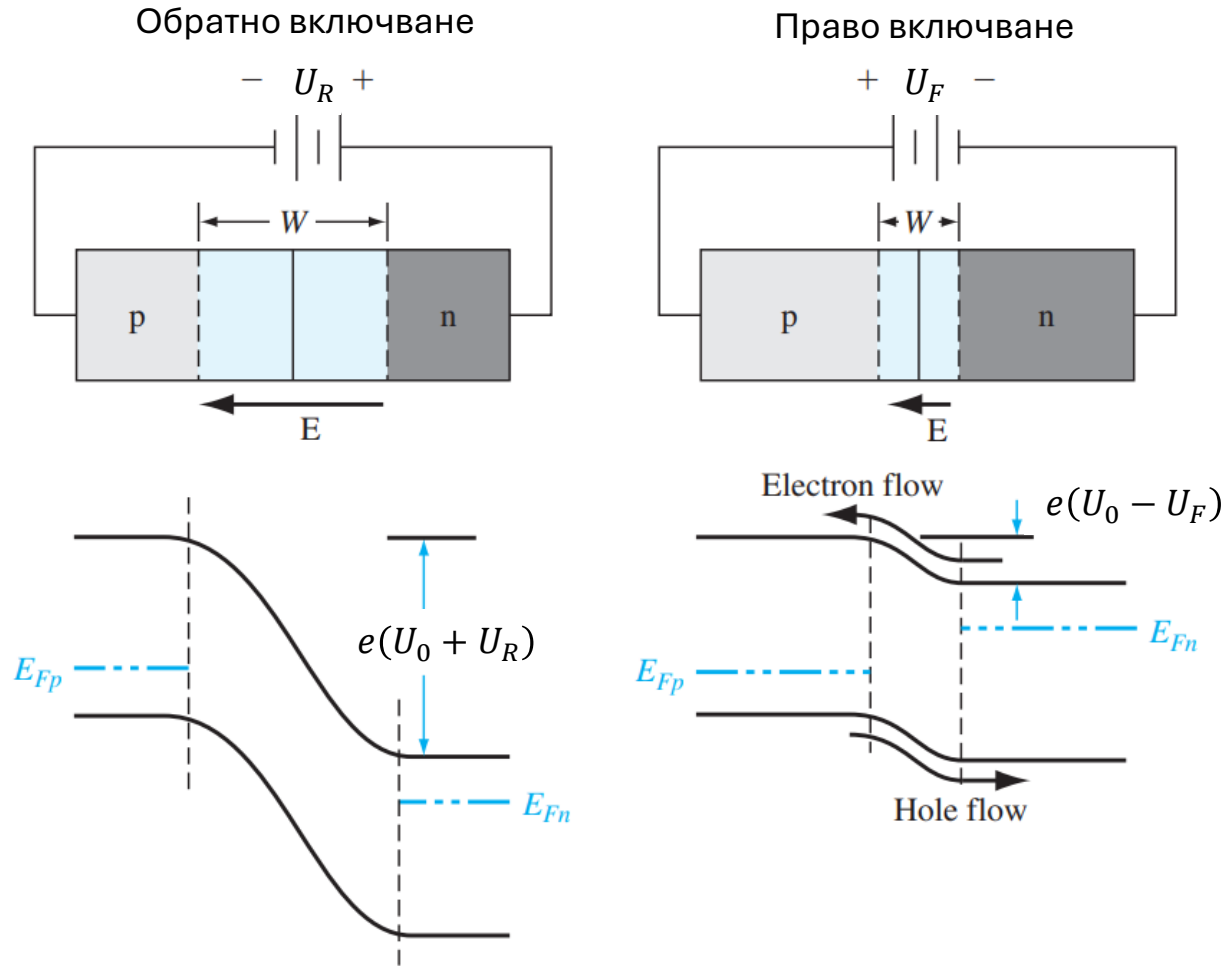




Диоди



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

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

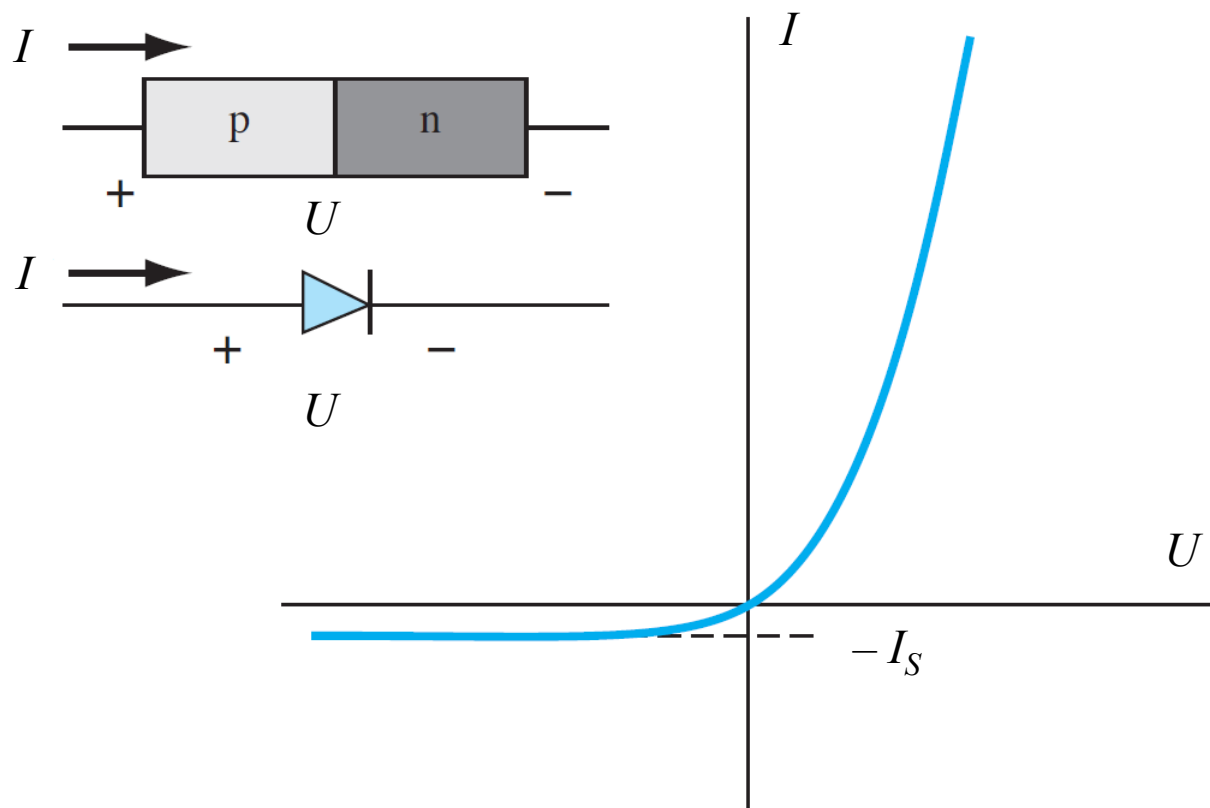
I – ток през диода

I_s – ток на насищане

U – напрежение върху диода

φ_t – топлинен потенциал

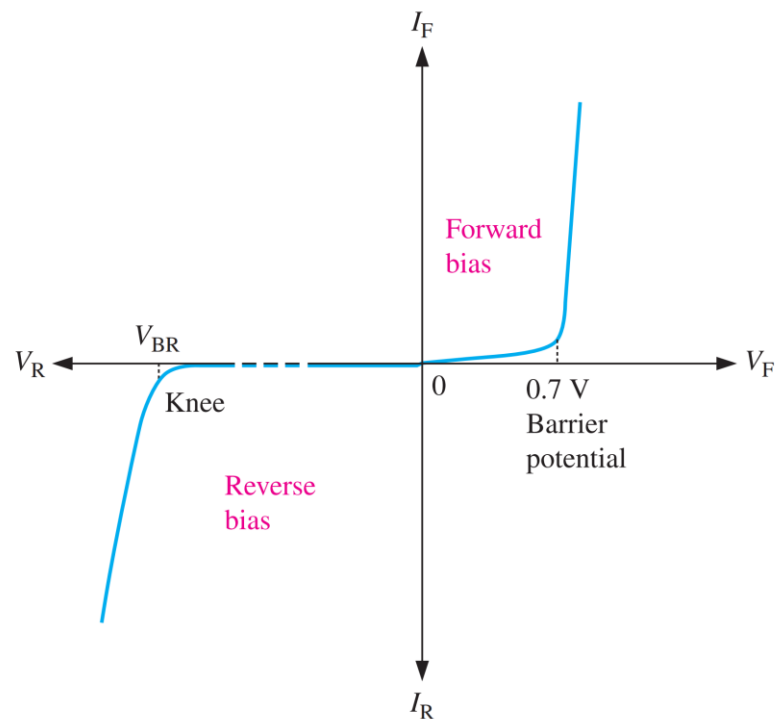
$$\varphi_t = \frac{kT}{e} = 0.0259 \text{ V при } T=300\text{K}$$



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



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

Обратно включване

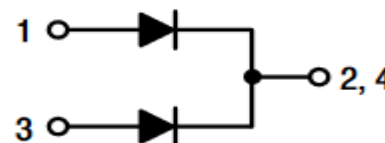
Тече относително малък ток, който слабо зависи от обратното напрежение. При достатъчно високо обратно напрежение ще настъпи проби – ценов, лавинен или топлинен.

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 μs , 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/ μs

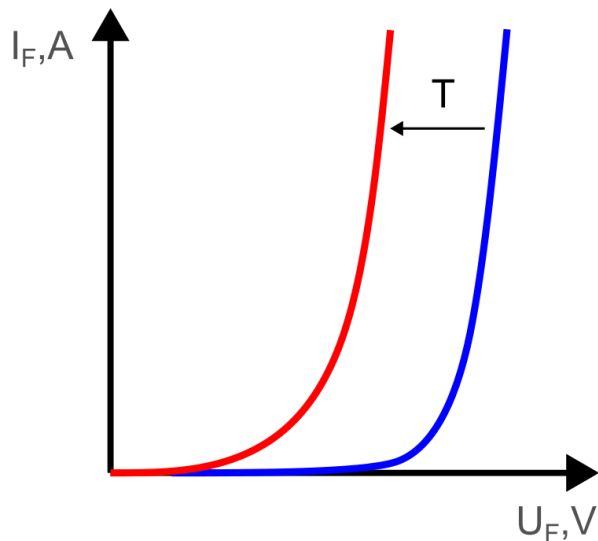
Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

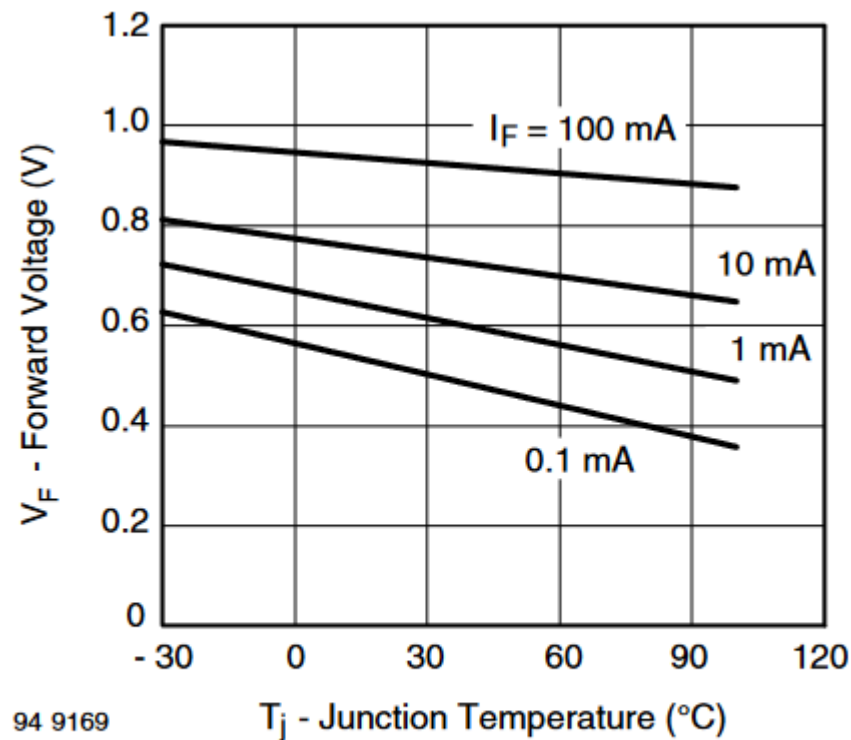
Влияние на температурата

Влияние на температурата – право включване



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

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

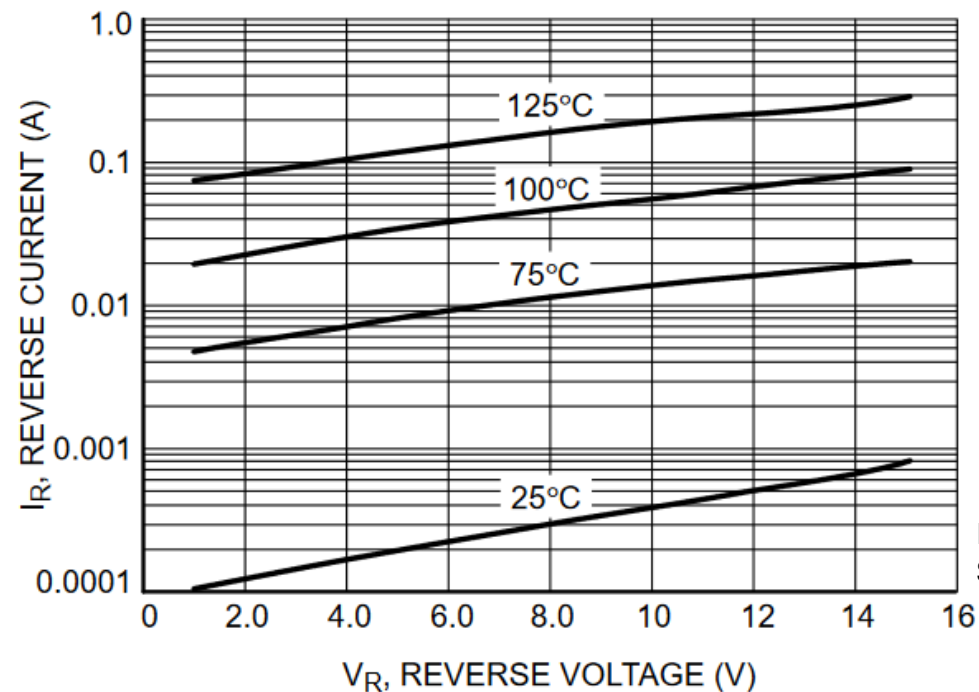
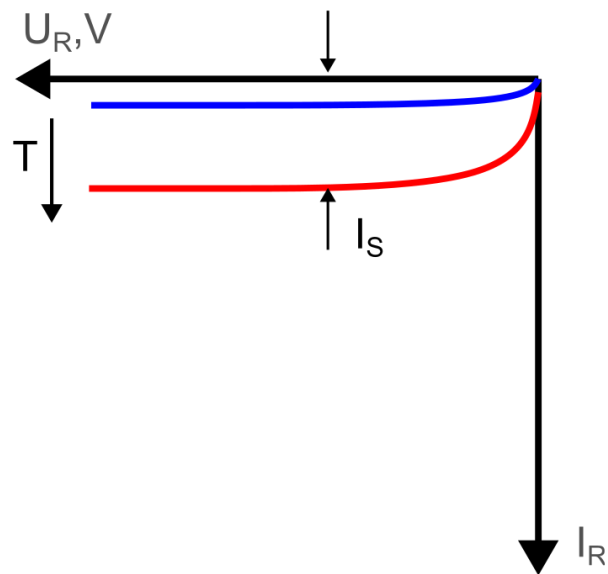


Пример 1N4148
Si PN диод

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

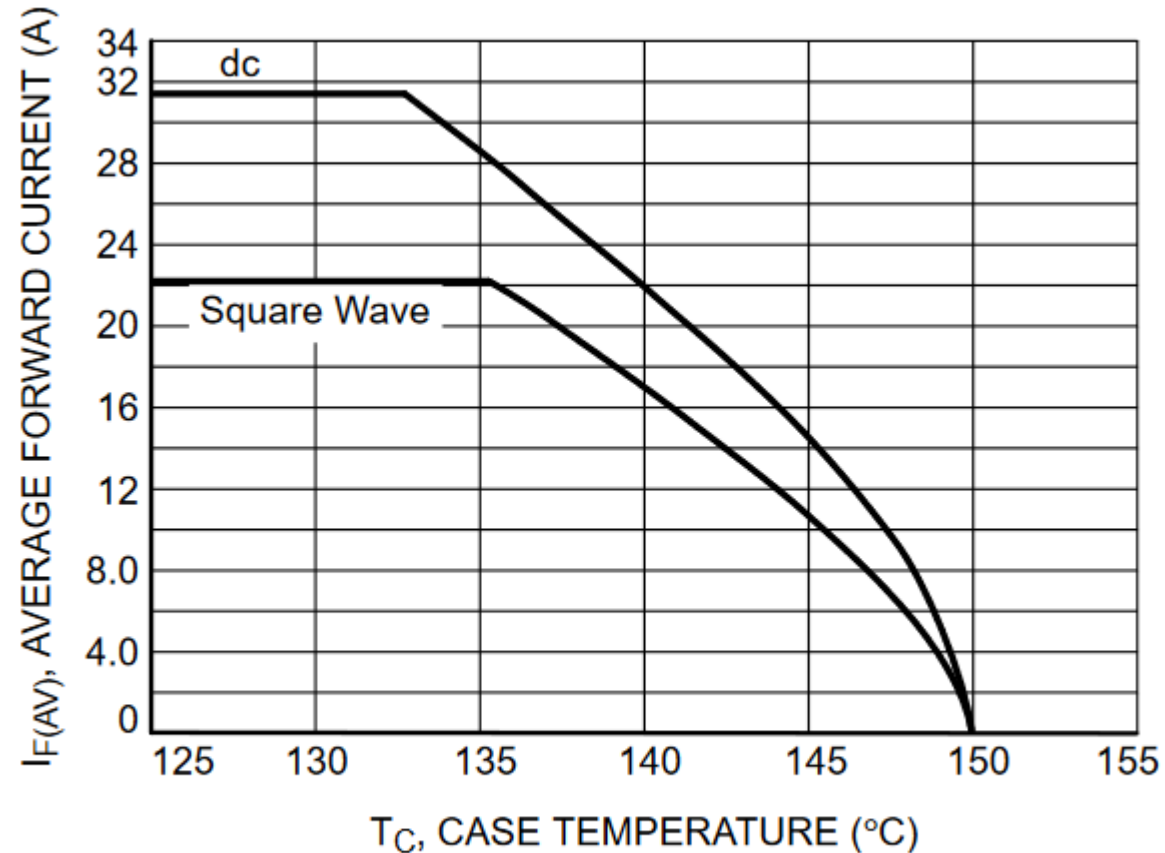
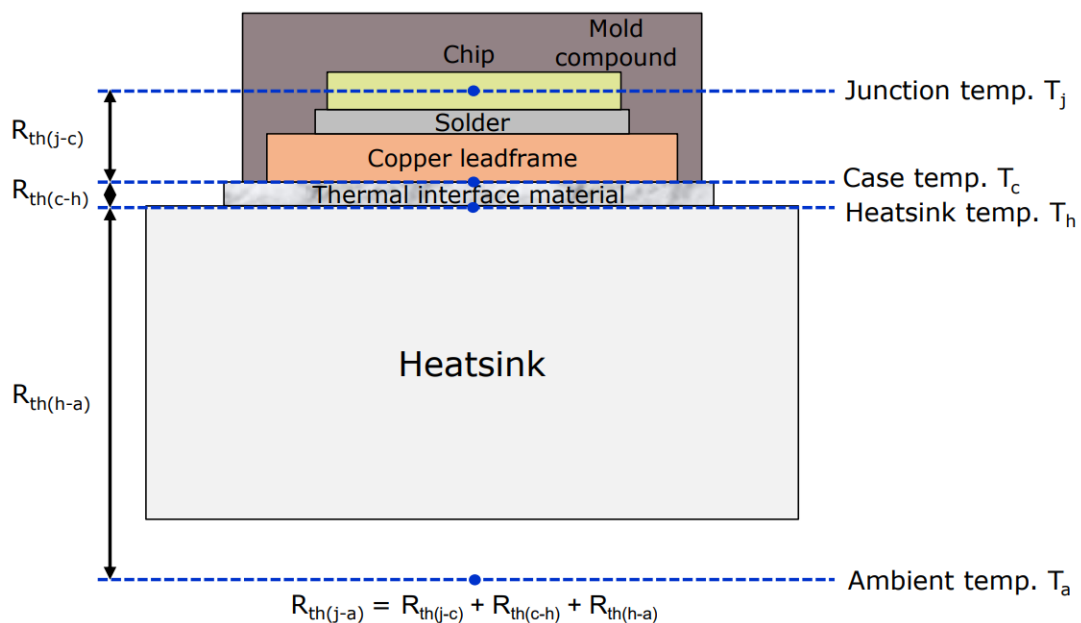


Figure 4. Current Derating, Case, Per Leg

Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

Топлинно съпротивление

Топлинното съпротивление R_{θ} (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

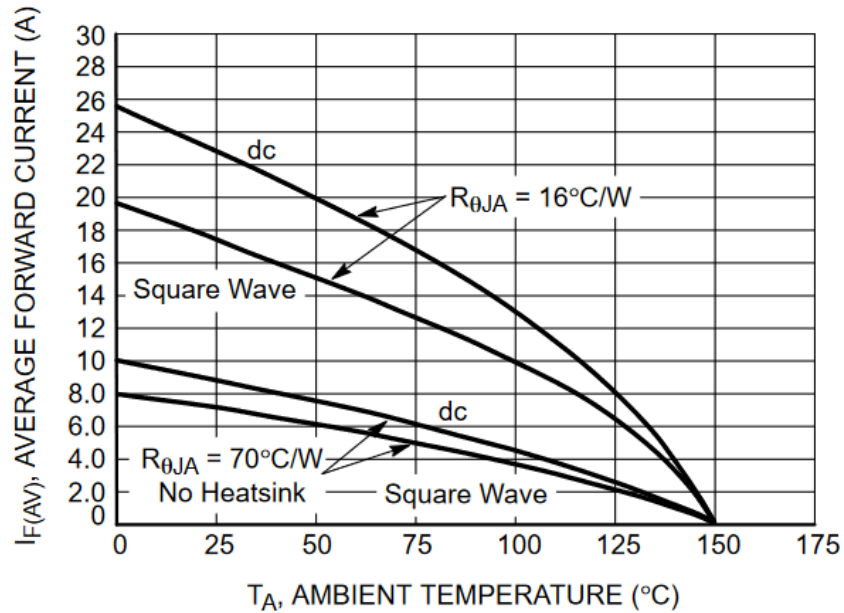
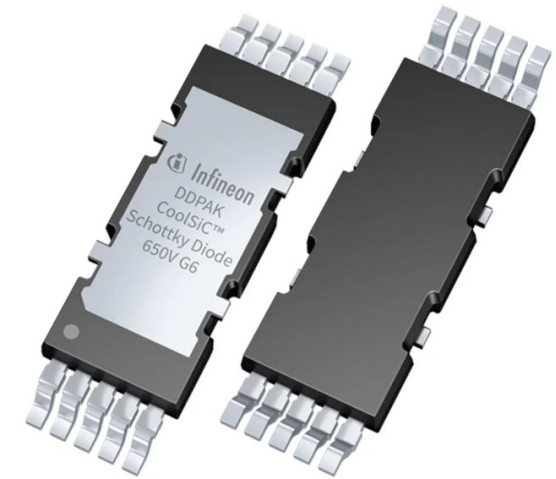
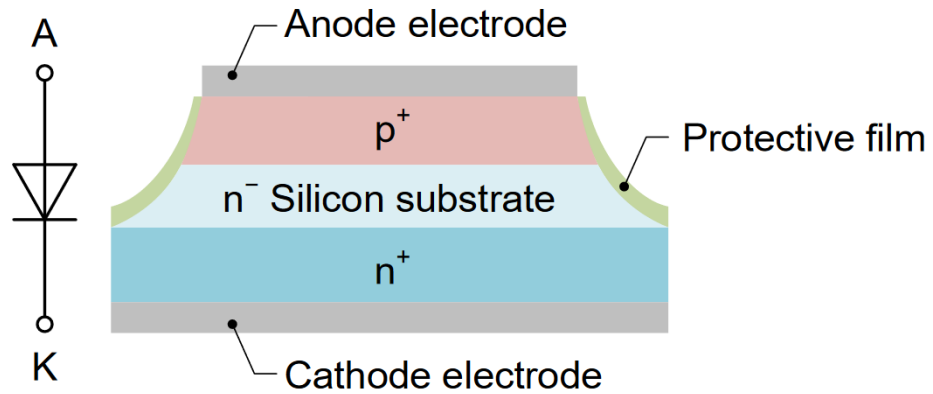


Figure 5. Current Derating, Ambient, Per Leg

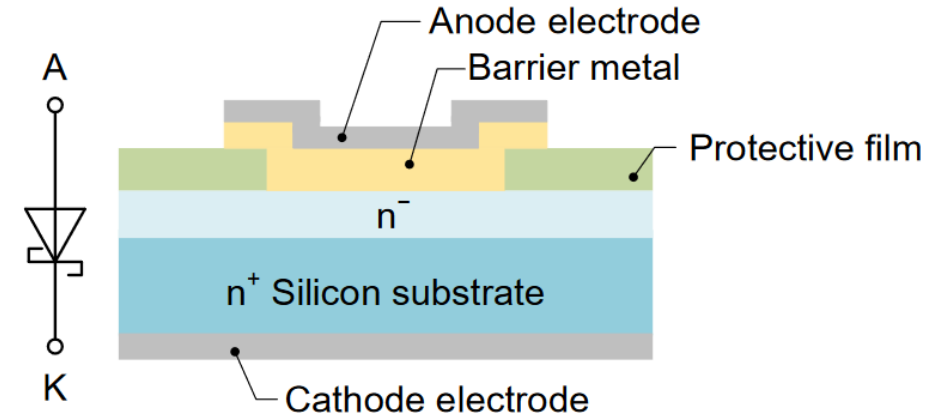


Топлинното съпротивление може да се намали с помощта на радиатор. Той представлява метална конструкция с голяма площ, която спомага по-лесното отвеждане на топлината.

Структура на диод



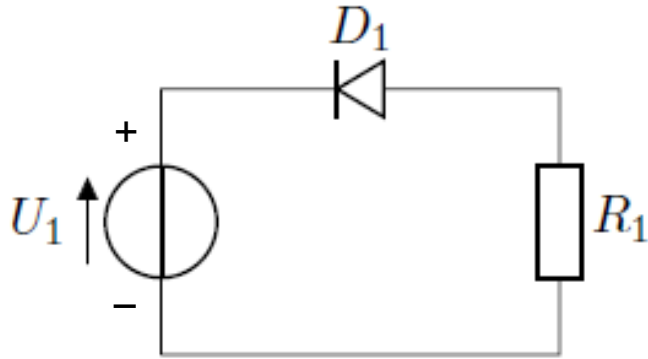
Изправителен диод с pn преход
Rectifying pn junction diode



Диод на Шотки
Schottky Barrier Diode (SBD)

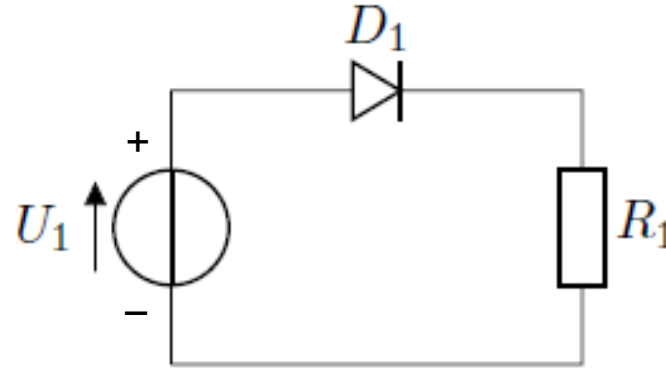
Задачи

Режими на работа



Обратно включване:

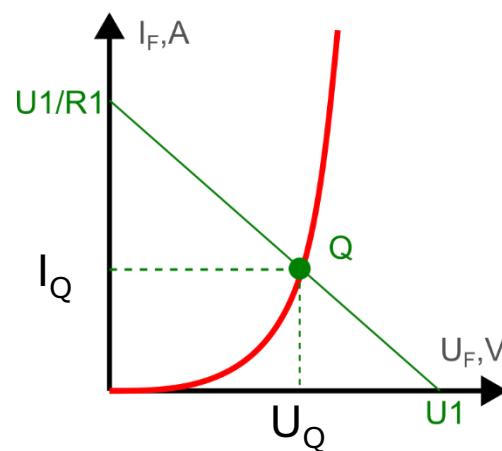
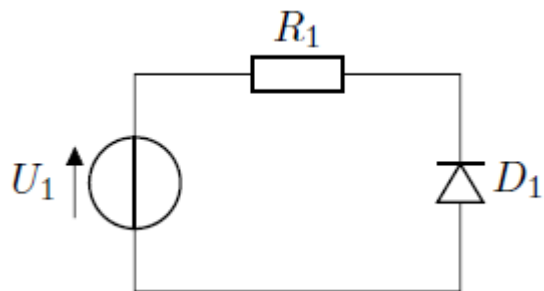
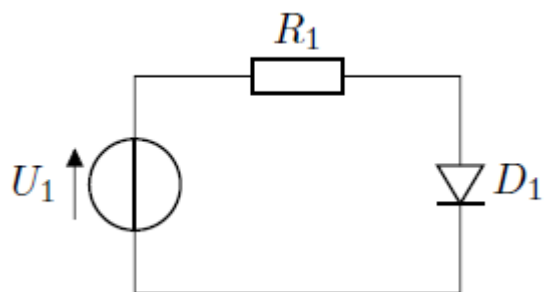
Потенциалът на катодът е по-положителен от този на анода.



Право включване:

Потенциалът на анода е по-положителен от този на катода.

Товарна права и работна точка

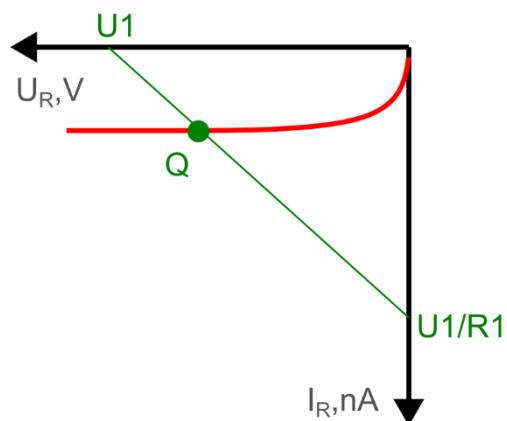


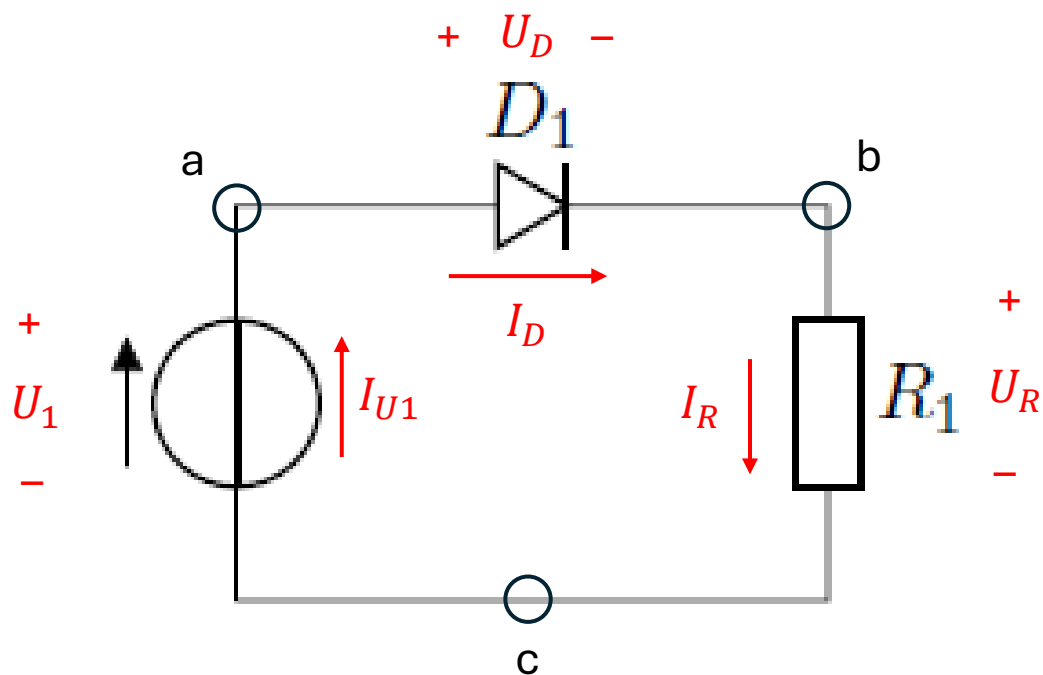
Q – работна точка

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: $I_D = I_R$

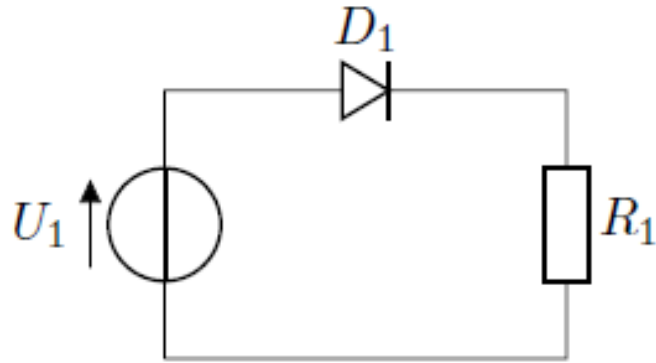
Възел с: $I_R = I_{U1}$

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

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

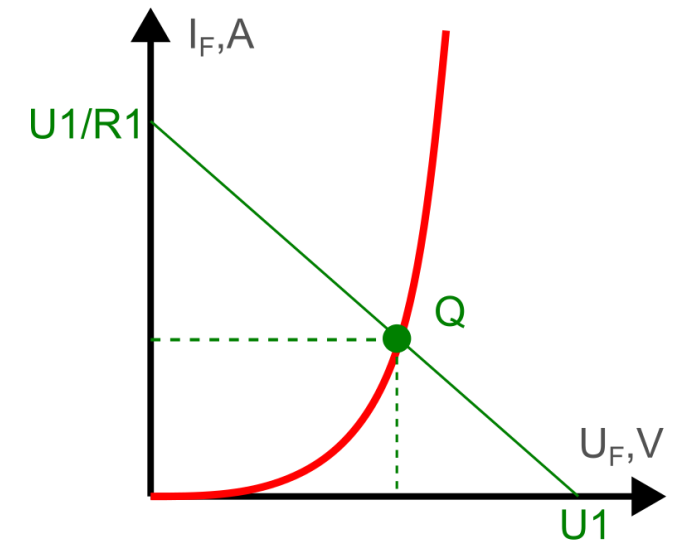
$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_R}{I}$$

Изчисляване на токоограничаващ резистор



$$U_R = U_1 - U_D$$

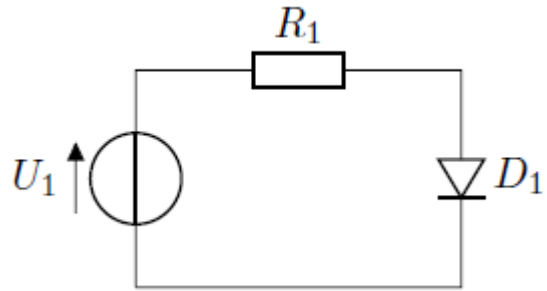
$$R = \frac{U_R}{I_{max}}$$



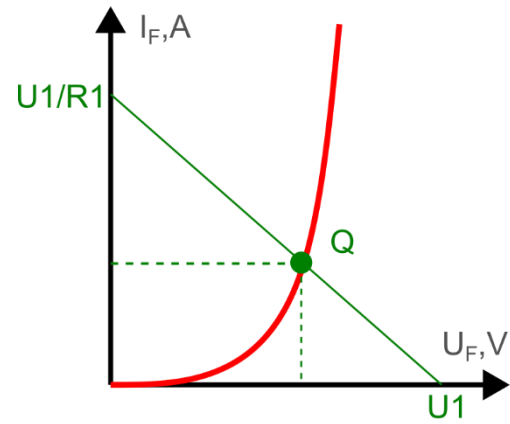
Предназначението на резистора в схемата на фигурата е да поддържа тока през диода по-малък от максимално допустимия (I_{max}).

Без наличие на този резистор в схемите, няма какво да ограничи нарастването на тока при право включване и диодът ще изгори.

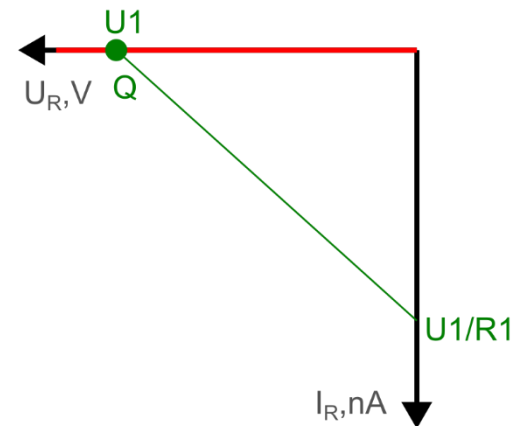
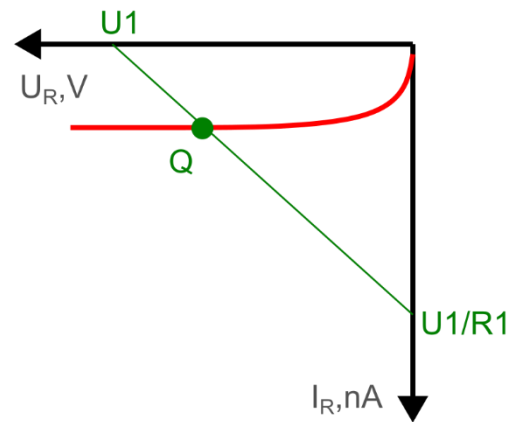
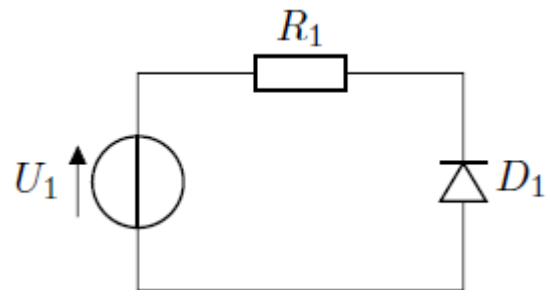
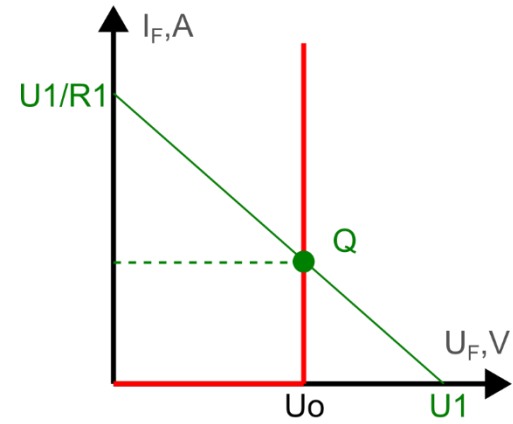
Прагов модел на диод



Реален диод

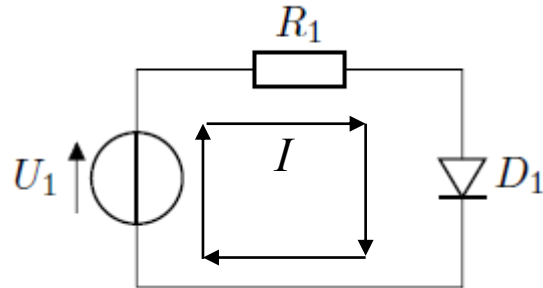


Прагов модел

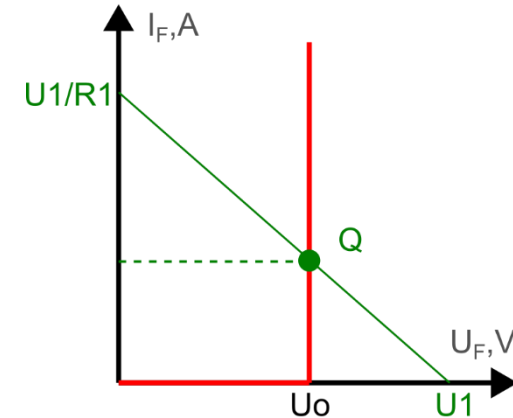


Задача

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.



$U_1 = 10V$
 $R_1 = 1k\Omega$
 $U_0 = 0,7V$



- 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 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 $P_d = U_d \cdot I = 0,7V \cdot 9,3mA = 6,5mW$

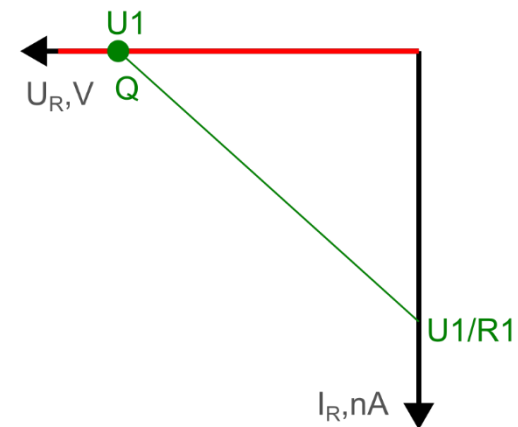
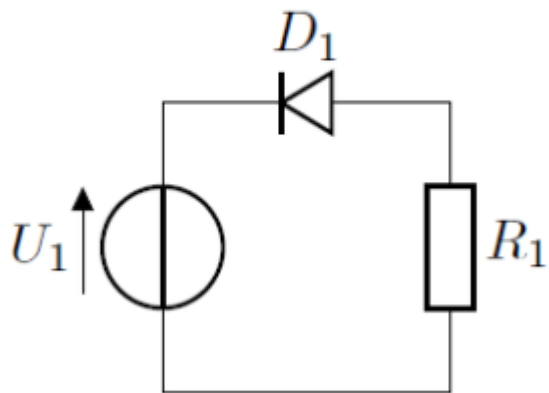
Чест допускана **грешка**: $I = U_1/R_1$

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 $U_0=0.7V$.

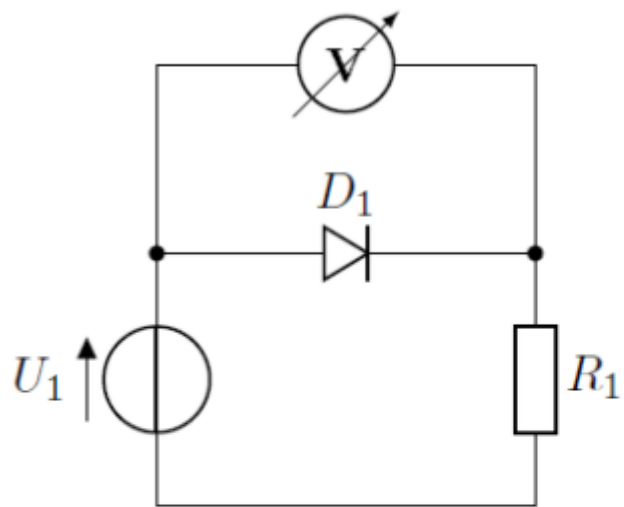


- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно \Rightarrow през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в обратна посока \Rightarrow диодът не пропуска ток $\Rightarrow I = 0$.
- 3) От законът на Ом $\Rightarrow U_r = I \cdot R_1 = 0 \cdot 100 \text{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



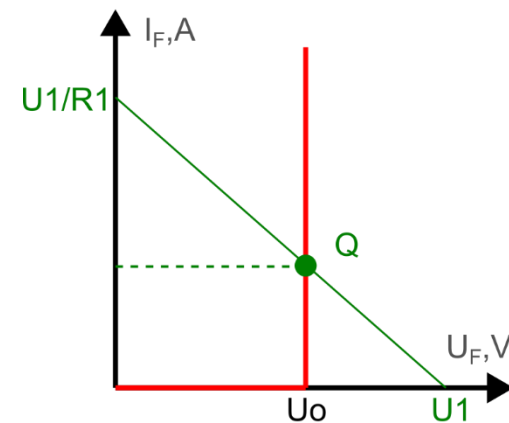
☐ 10V

☐ 9.3V

☒ 0.7V

☐ 0V

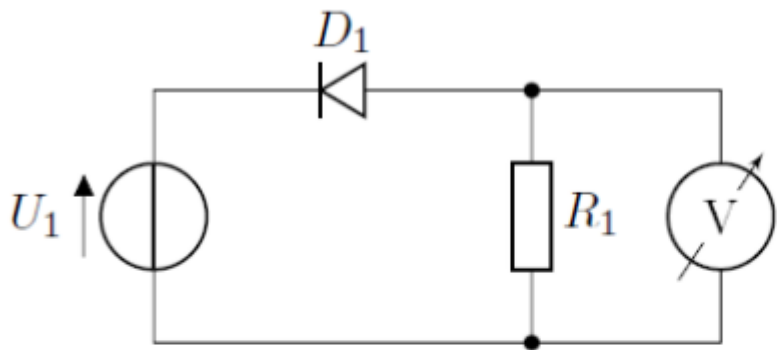
Диодът е включен в права посока и $U_1 > U_0$
=> диодът е "отпушен" и пропуска ток.



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: $U_r = I R = 0V$

