



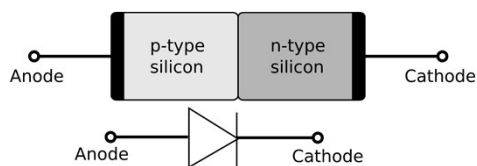
## Полупроводников диод

### Работа по постоянен ток

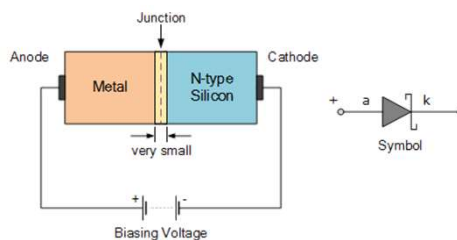
1

## Структура и приложения на диода

**PN-junction Diode**



**Schottky Diode**



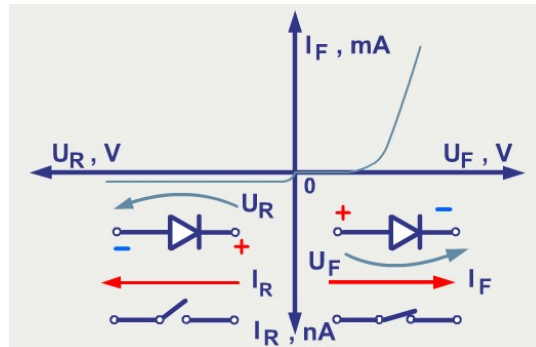
Преобразуване AC -> DC.

Постояннотоковото захранване е важна предпоставка за функциониране на всяко електронно оборудване. Диодите са съществен елемент във всеки токоизправител, където едностранната им проводимост се използва за преобразуване на променливия ток от електрическата мрежа в постоянен.

Защита от пренапрежение.

2

## VA характеристика на диода



Диодът е нелинеен елемент с едностранна проводимост на тока.

При право включване токът рязко нараства с увеличаване на напрежението.  
Обратният ток е много малък.

3

## Уравнение на идеализиран диод

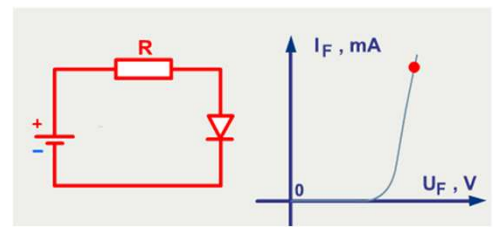
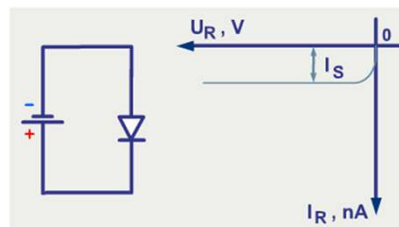
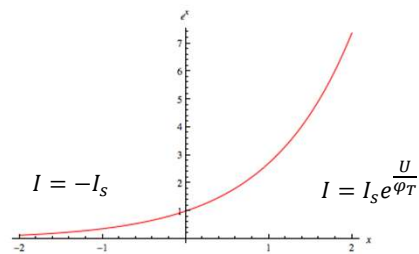
$$I = I_s \left( e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

$$\varphi_T = \frac{kT}{q}$$

$I_s$  – ток на насищане

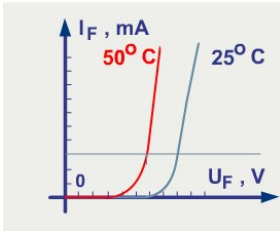
$\varphi_T$  – топлинен потенциал

При 25°C,  $\varphi_T = 26mV$



4

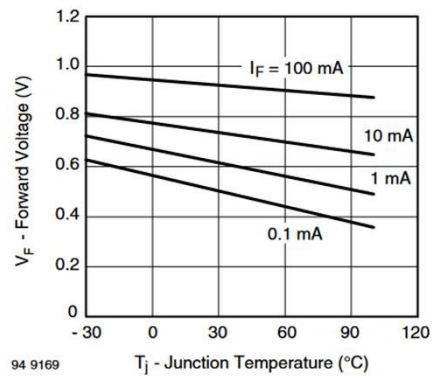
## Влияние на температурата



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

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

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

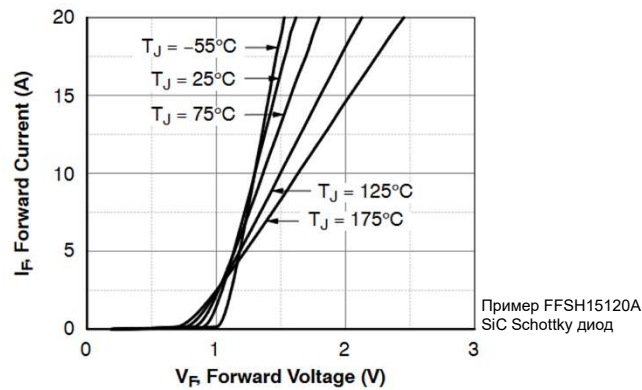


Пример 1N4148  
Si PN диод

Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature

5

## Влияние на температурата



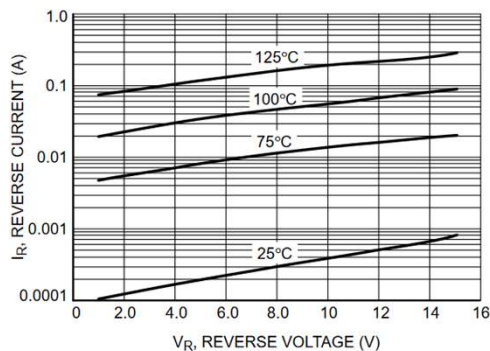
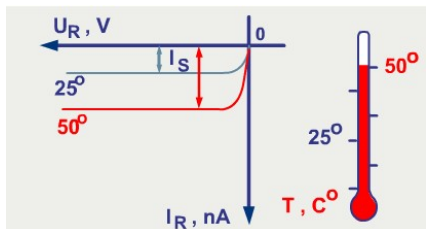
Пример FFSH15120A  
SiC Schottky диод

Figure 1. Forward Characteristics

Изключение правят SiC диодите с преход на Шотки, които имат положителен темп. коефициент.

6

## Влияние на температурата



Пример MBR4015CTLG  
Si Schottky диод

Figure 3. Typical Reverse Current

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

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

7

## Максимално допусими 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

8

## Намаляване на макс. допустимият ток при повишаване на температурата

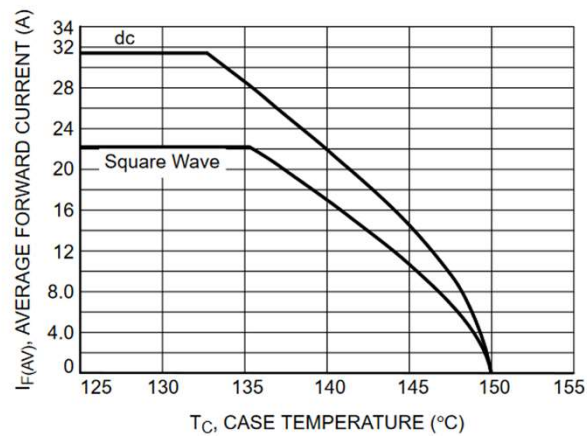
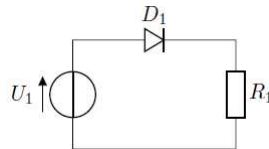


Figure 4. Current Derating, Case, Per Leg

9

## Токоограничаващ резистор

$$I = I_s e^{\frac{U}{\phi_T}}$$



$$U_1 = U_d + U_r$$

$$U_r = U_1 - U_d$$

$$I = U_r / R < I_{fmax}$$

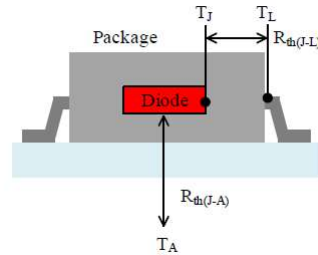
Предназначението на токоограничаващия резистор е да поддържа тока през диода по-малък от максимално допустимия.

Без наличие на този резистор в схемите, няма какво да ограничи нарастването на тока при право включване и **диодът излиза от строя**.

10

## Топлинно съпротивление

Максималната мощност може да се увеличи чрез намаляване на топлинното съпротивление  $R_{th}$ . **Топлинното съпротивление**  $R_{th}$  показва ефективността на отвеждане топлината от прехода в дименсии K/W или °C/W.



$T_J$  is junction temperature,  
 $T_L$  is lead temperature,  
 $T_A$  is ambient temperature,  
 $R_{th(J-L)}$  is thermal resistance between junction and lead, and  
 $R_{th(J-A)}$  is thermal resistance between junction and ambient.

11

## Топлинно съпротивление

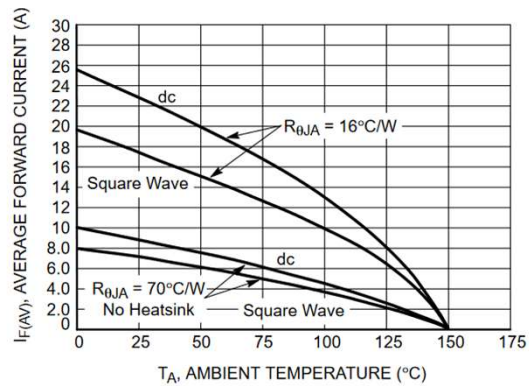


Figure 5. Current Derating, Ambient, Per Leg

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

При наличие на радиатор общото топлинно съпротивление намалява, защото се увеличават пътищата за разсейване на топлината.

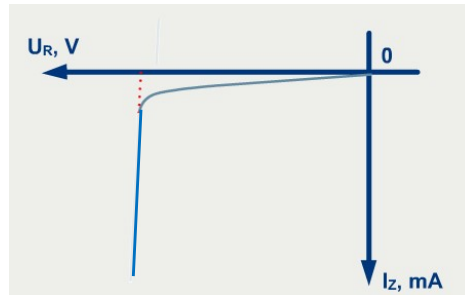
12

## Пробив

**Пробивът** е явление, при което рязко нараства обратният ток при оставащо почти постоянно обратно напрежение  $U_{BR}$ .

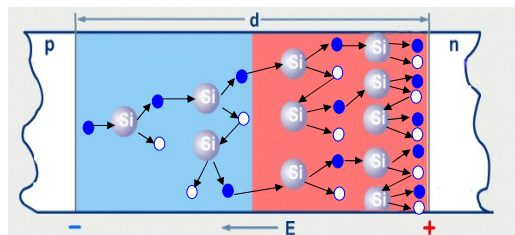
Според механизма на пробив се различават:

- Топлинен пробив
- Електрически пробив
  - Лавинен пробив
  - Ценеров пробив



13

## Лавинен пробив

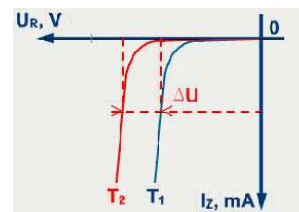


Неосновните токоносители, ускорени от полето, при сблъсък с атомите ги йонизират и се създават електрон и дупка. Процесът продължава лавинообразно, причинявайки рязко нарастване на тока.

Лавинният пробив настъпва в широки  $PN$  преходи при обратни напрежения над **7V**.

$$U_{BR} > 7V$$

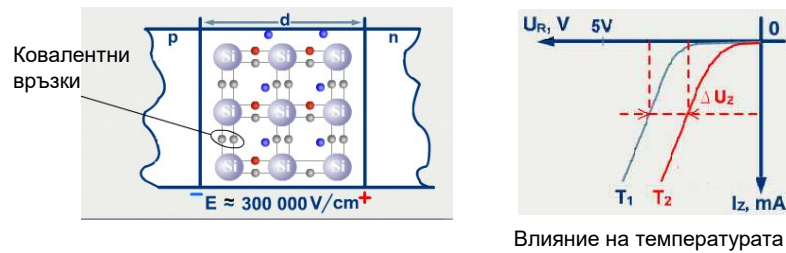
$$M = \frac{I_{BR}}{I_R} = \frac{1}{1 - \left( \frac{U_R}{U_{BR}} \right)^n}$$



Влияние на температурата

14

## Ценеров пробив



Влияние на температурата

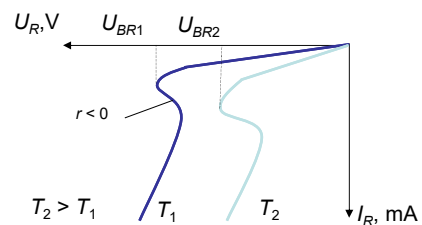
При достатъчно голямо електрическо поле се разкъсват ковалентни връзки и се създават допълнителни електрони и дупки – Ценеров ефект. Изискват се стойности на полето от порядъка на  $300\,000\text{ V/cm}$ .

Ценеров пробив настъпва при много тесни  $PN$  преходи при обратни напрежения под **5V**.

15

## Топлинен пробив

Този пробив настъпва, ако 
$$U_R I_R > \frac{T_j - T_a}{R_{th}}$$

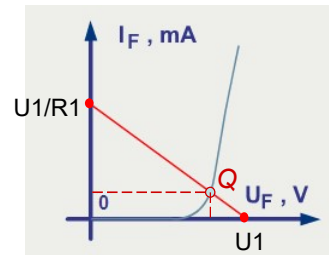
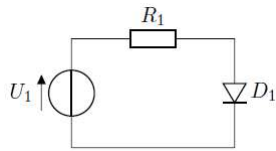


Топлинният е **необратим** и довежда до разрушаване на диода. С увеличаване на околната температура пробивът настъпва при по-ниско напрежение, защото нараства обратният ток и се влошават условията за охлаждане

16

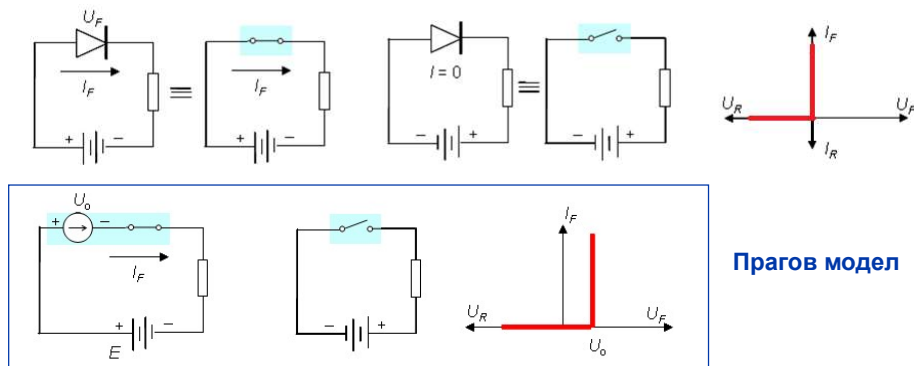


## Товарна права и работна точка



17

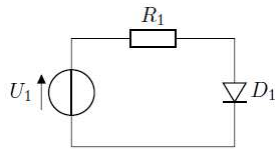
## Еквивалентни схеми по постоянен ток



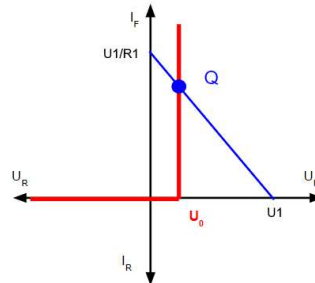
18

## Примери

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  $P_d = U_d \cdot I = 0.7V \cdot 9.3mA = 6.5mW$

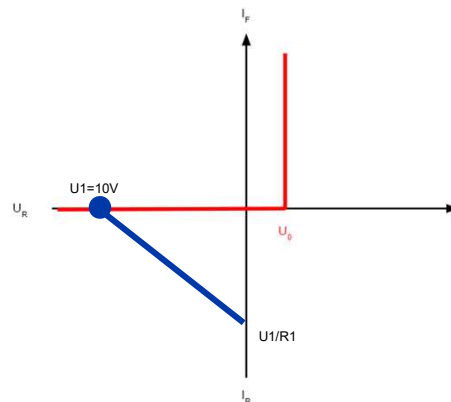
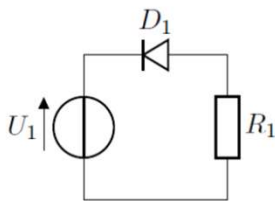
проверки

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

19

## Примери

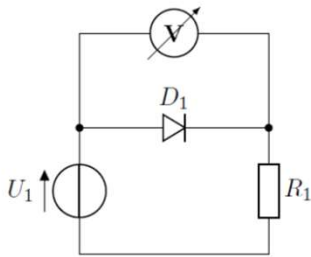
Определете напреженията върху резистора и диода и големината на тока, ако  $U_1=10V$  и  $R_1=100$  Ома. Използвайте прагов модел на диод с  $U_0=0.7V$ .



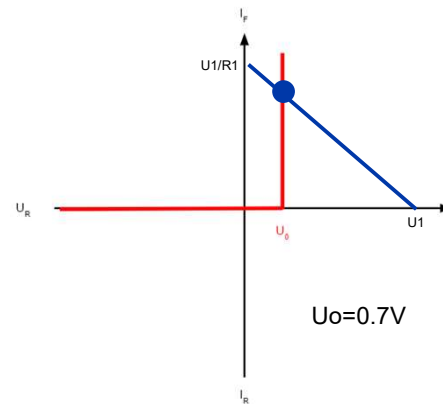
- 1) Източникът на напрежение  $U_1$ , диодът  $D_1$  и резисторът  $R_1$  са свързани последователно  $\Rightarrow$  през тях тече еднакъв ток  $I$ .
- 2) Диодът е включен в обратна посока и  $U_1 \Rightarrow$  диодът не пропуска ток  $\Rightarrow I = 0$ .
- 3) От законът на Ом  $\Rightarrow U_R = I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

20

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

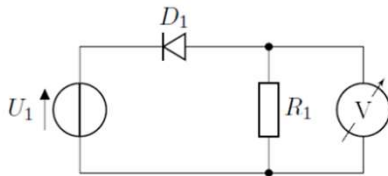


- ☐ 10V  
☐ 9.3V  
☒ 0.7V  
☐ 0V

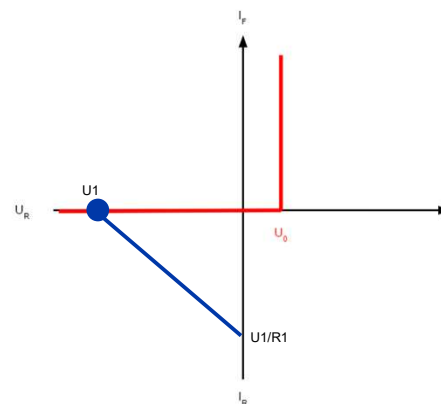


21

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



- ☐ 10V  
☐ 9.3V  
☐ 0.7V  
☒ 0V



22