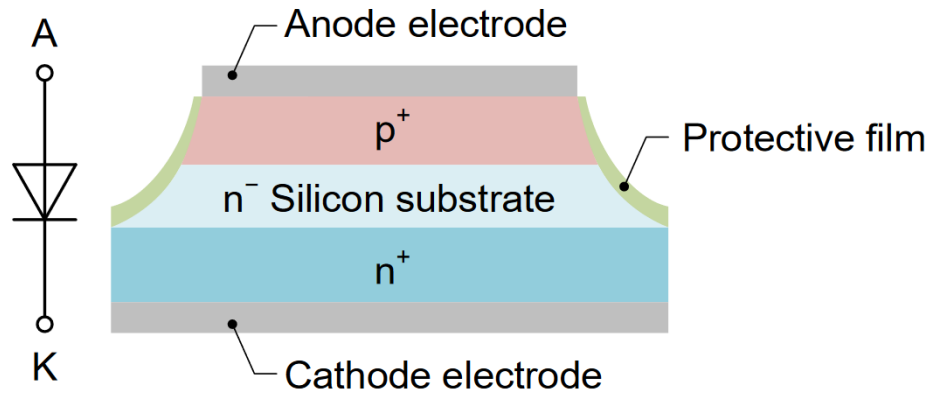




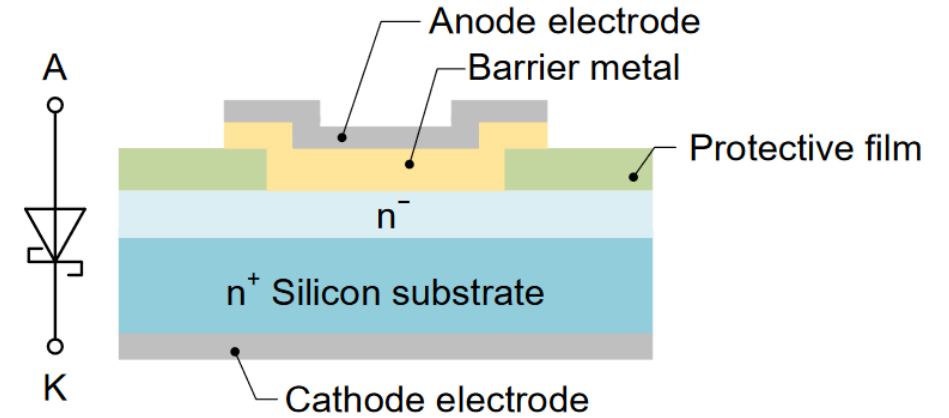
Полупроводников диод

Работа по постоянен ток

Структура на диод



Изправителен диод с pn преход
Rectifying pn junction diode



Диод на Шотки
Schottky Barrier Diode (SBD)

Приложения

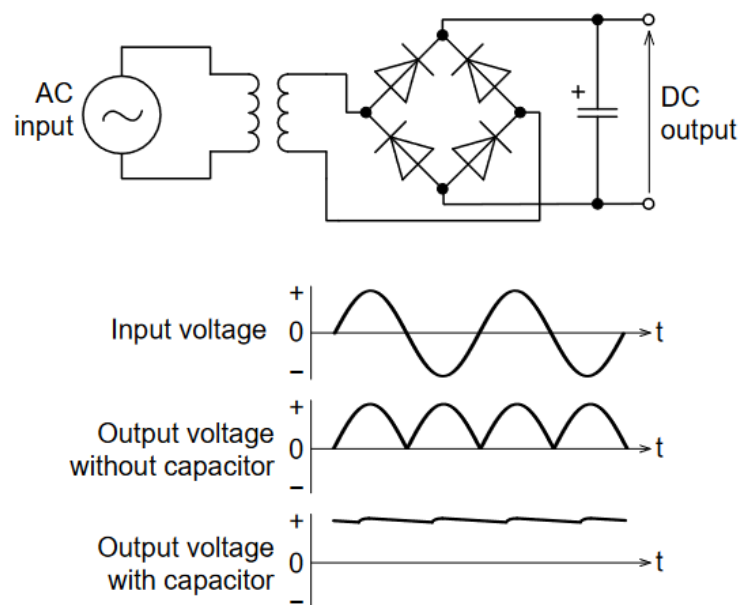
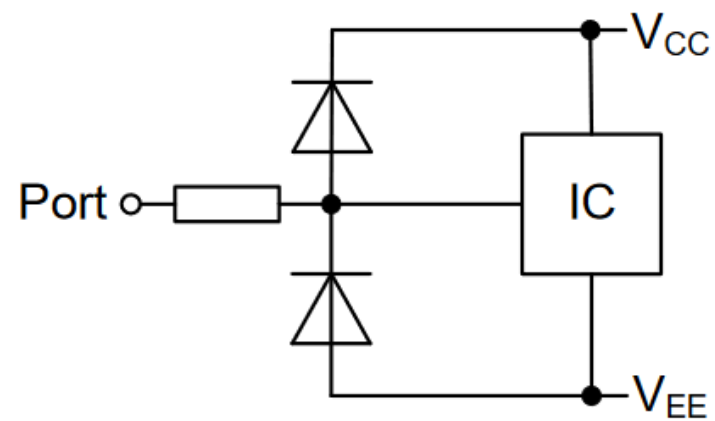
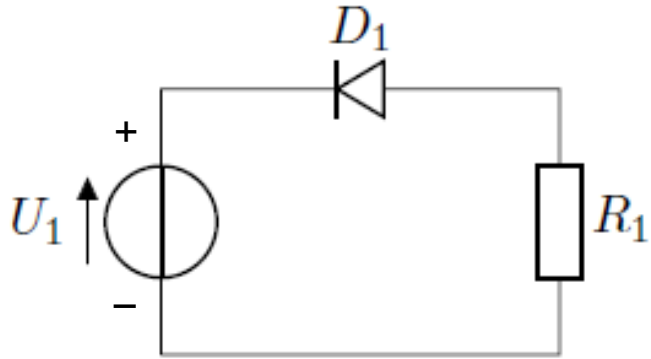


Схема на изправител



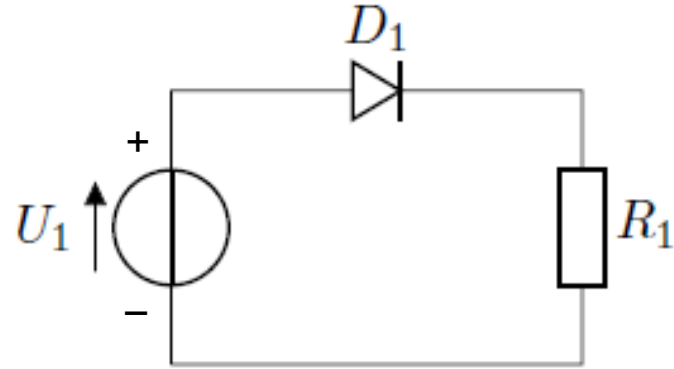
Защита от пренапрежение

Режими на работа



Обратно включване:

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

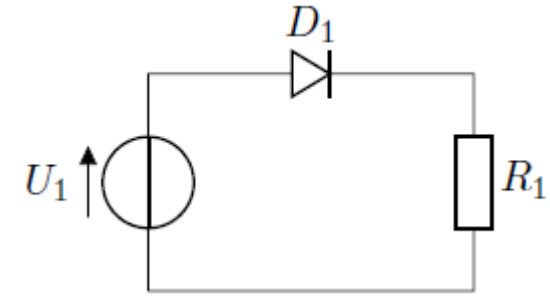
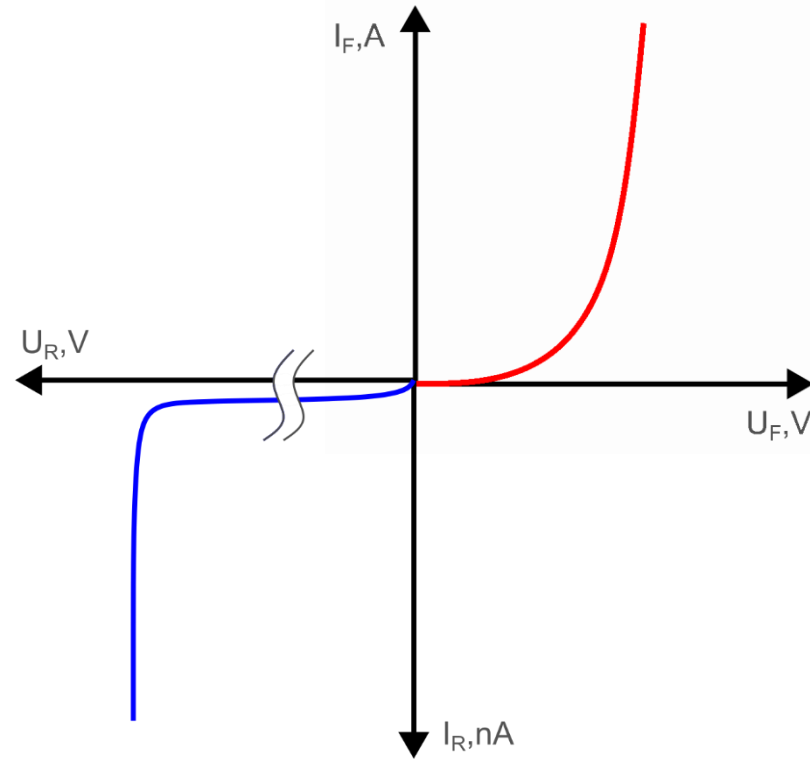
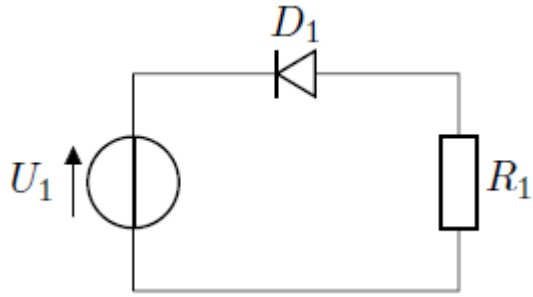


Право включване:

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

Волт-Амперна характеристика на диод

Волт-Амперна Характеристика $I=f(U)$



При право включване токът рязко нараства с увеличаване на напрежението.

Диодът е нелинеен елемент с едностранна проводимост.

При обратно включване, токът е много малък.

Уравнение на идеализиран диод

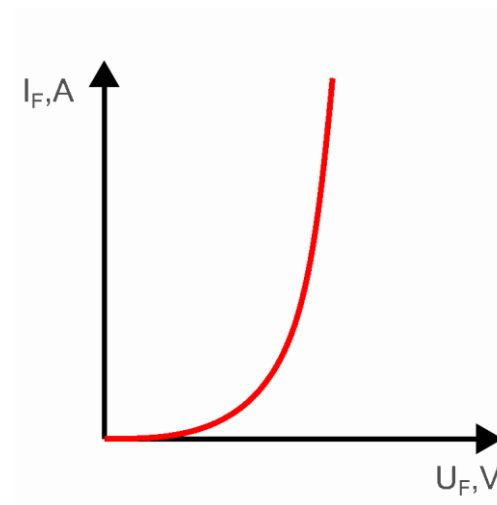
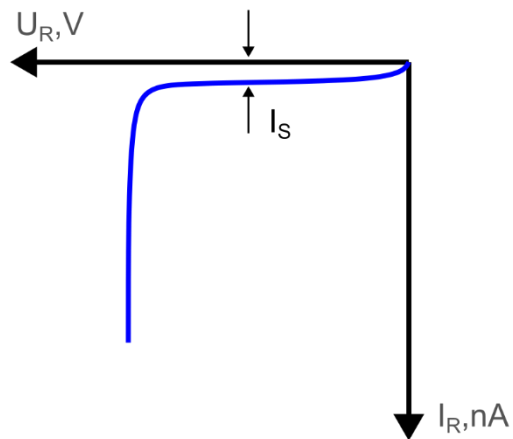
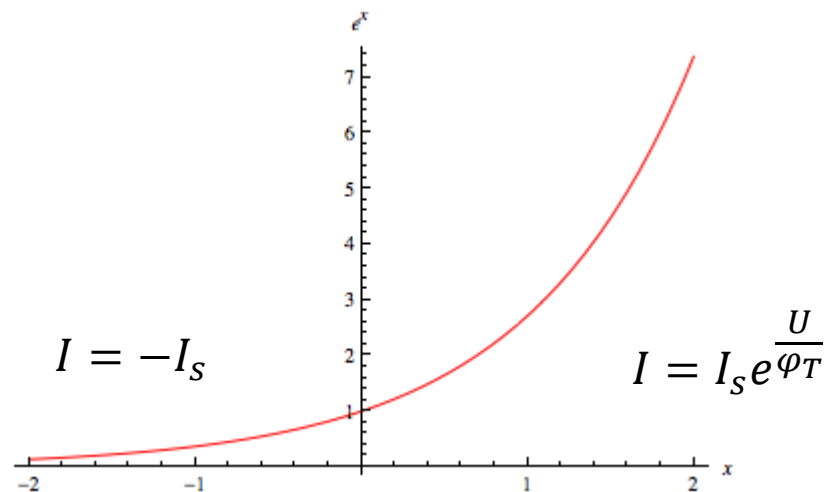
$$I = I_S \left(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

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

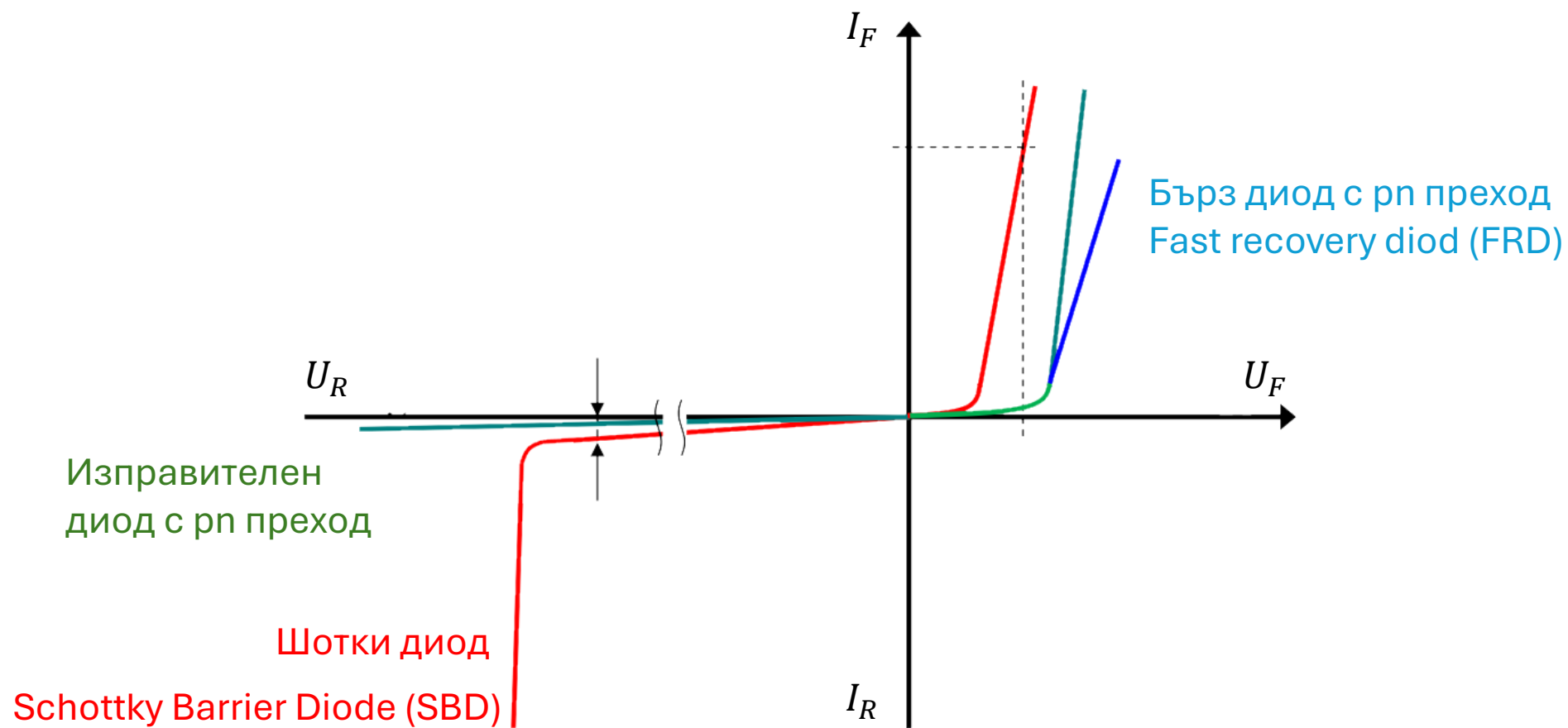
I_S – ток на насищане

φ_T – топлинен потенциал

При 25°C, $\varphi_T = 26mV$



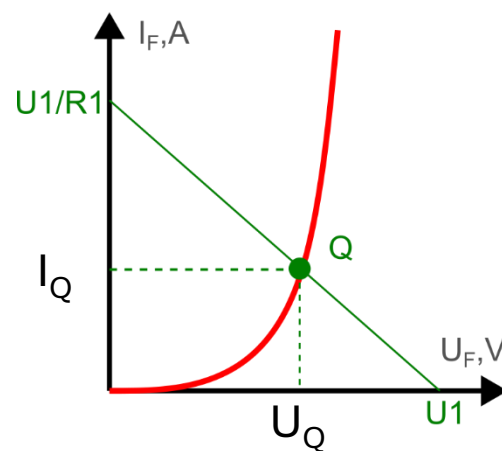
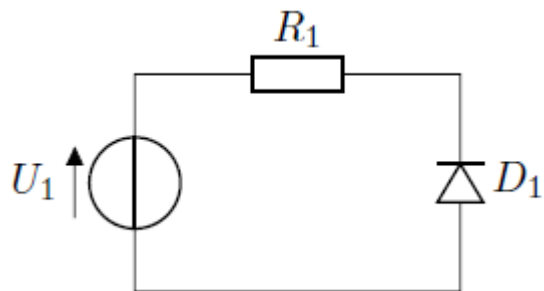
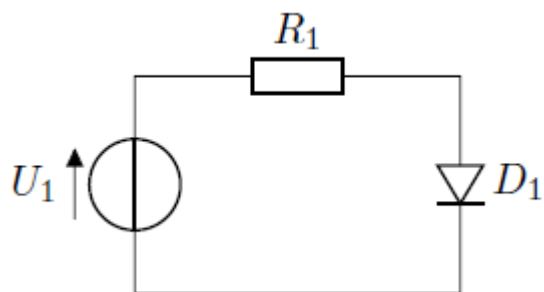
Волт-Амперна Характеристика $I=f(U)$



Сравнение на В-А характеристики на изправителен диод с рп преход и Шотки диод
Спрямо диодите с рп преход, Шотки диодите имат:

- По нисък пад на напрежението при право включване
- Значително по-голям ток на насищане!

Товарна права и работна точка

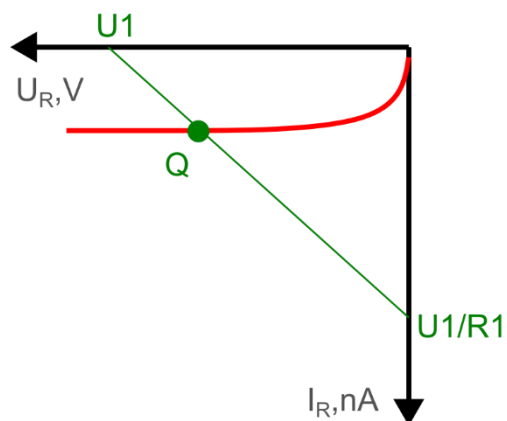


Q – работна точка

Напрежение върху диода: U_Q

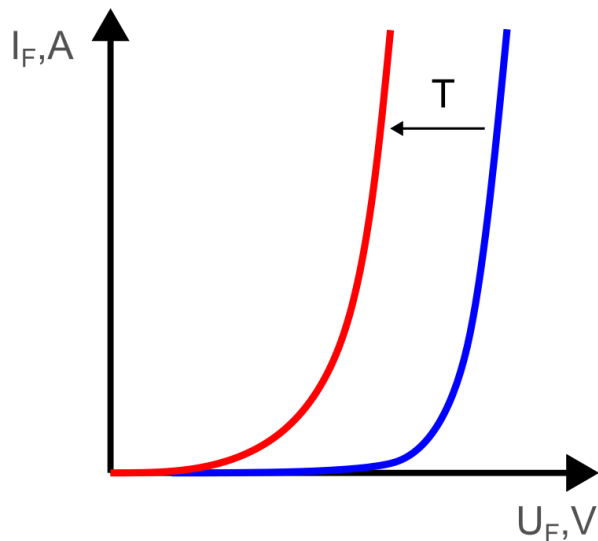
Ток през диода: I_Q

Мощност: $P = U_Q \cdot I_Q$



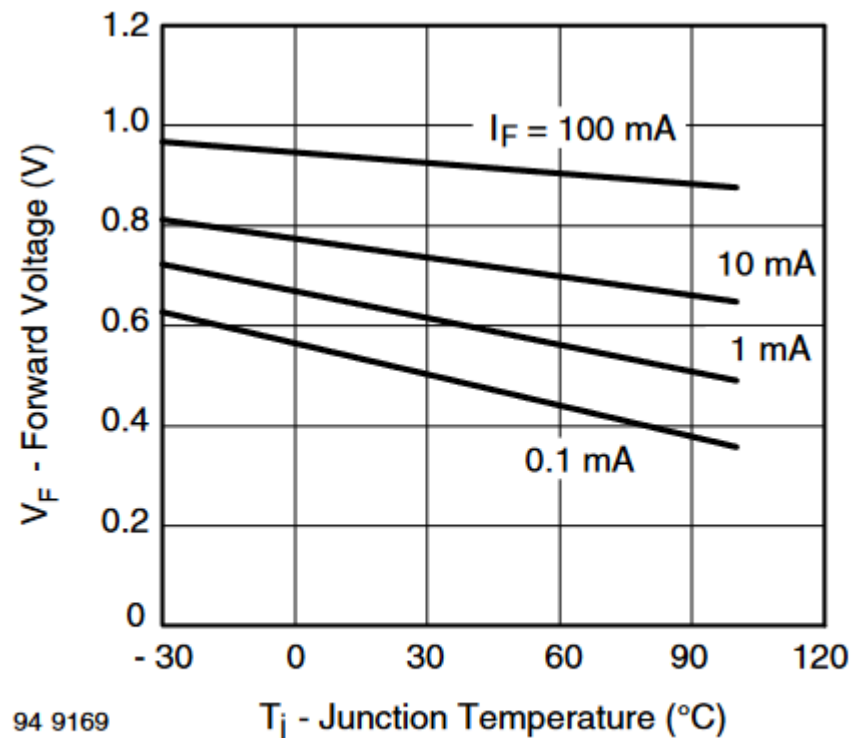
Влияние на температурата

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).

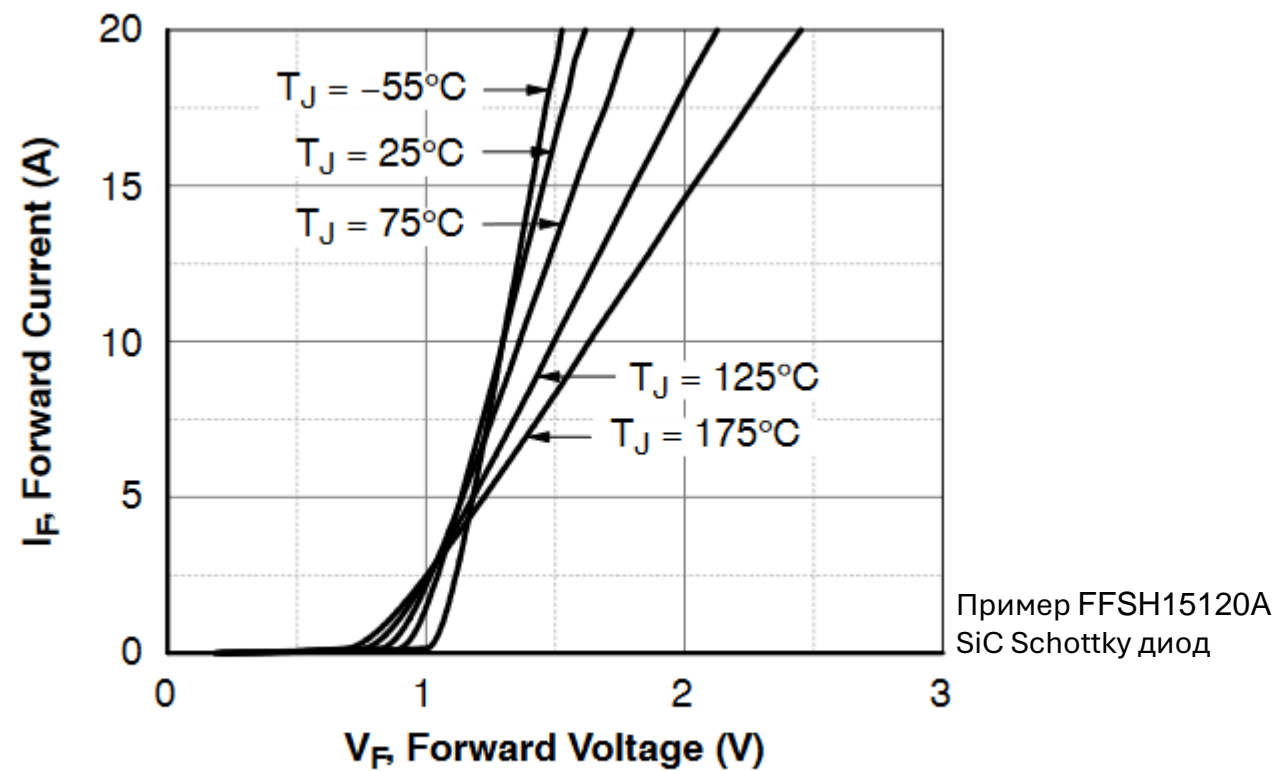
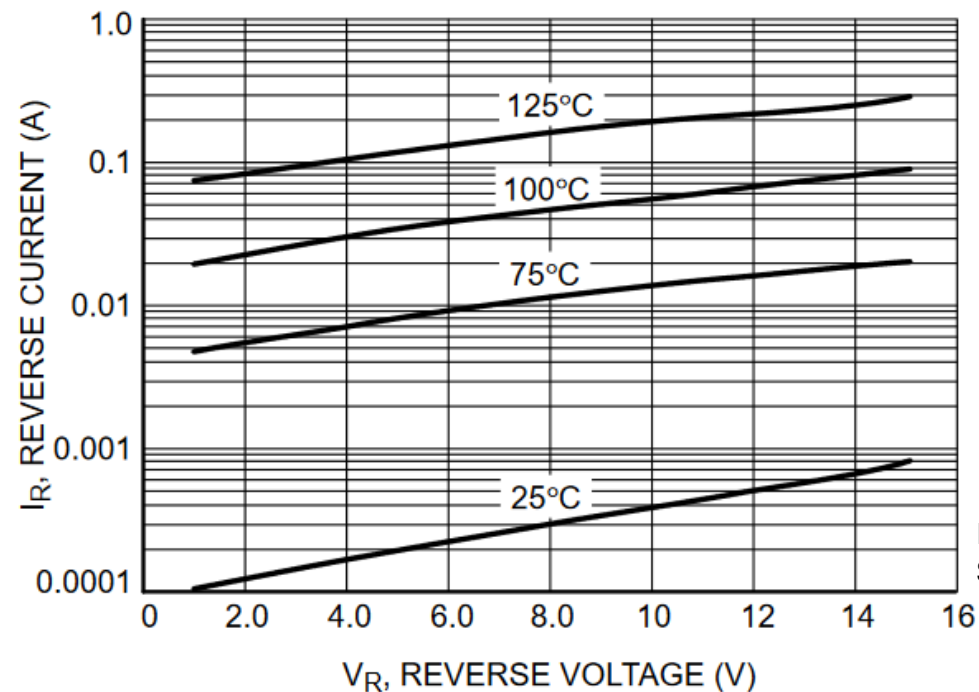
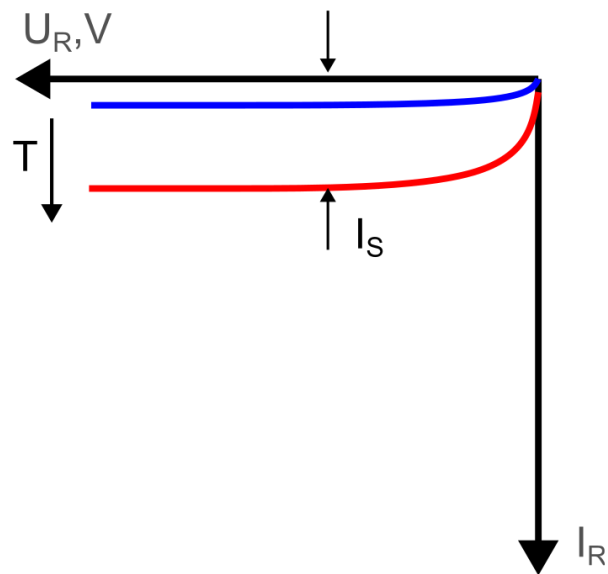


Figure 1. Forward Characteristics

Исключение правят SiC диодите с преход на Шотки, които имат положителен температурен коефициент.

Влияние на температурата – обратно включване



Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

Figure 3. Typical Reverse Current

I_S се удвоява на всеки 10°C увеличение на температурата.

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

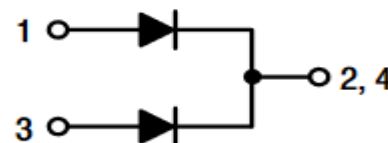
Обратният ток на Шотки диодите е много по-голям от този на диодите с pn преход.

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

Намаляване на макс. допусимият ток при повишаване на температурата

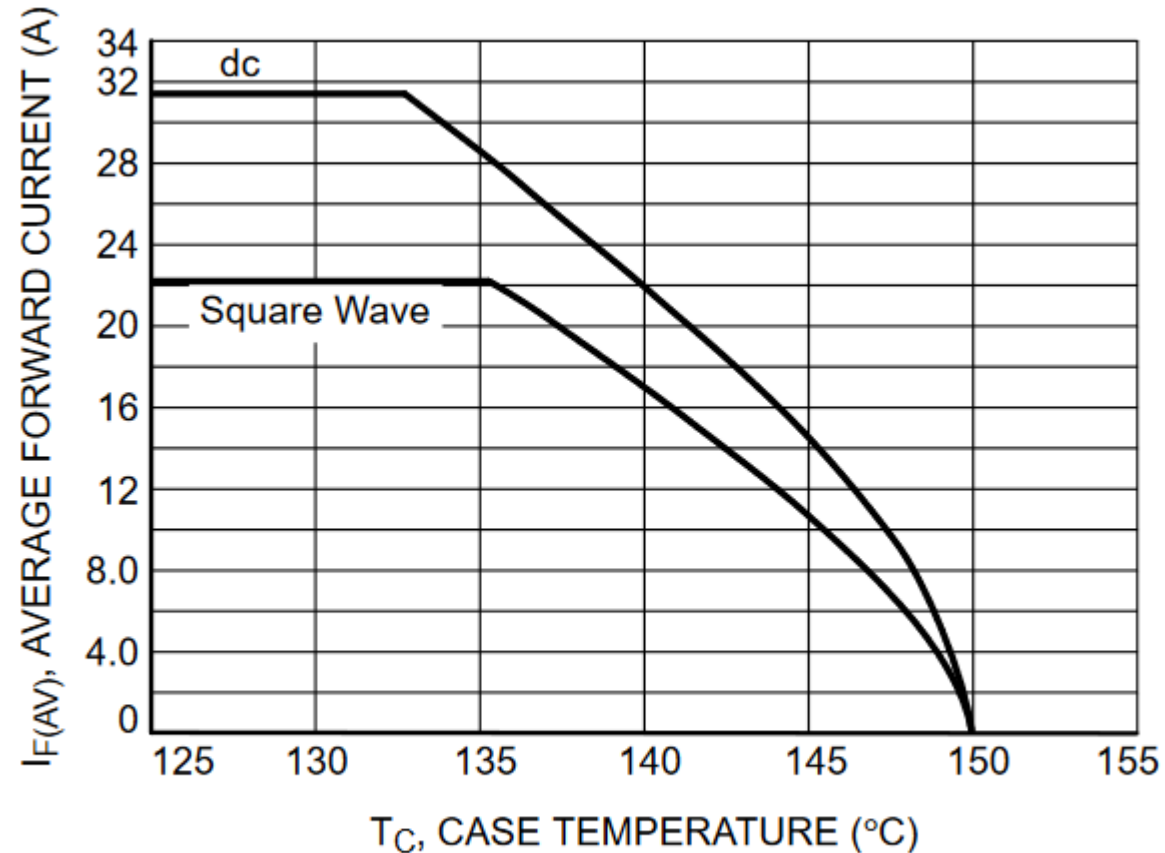
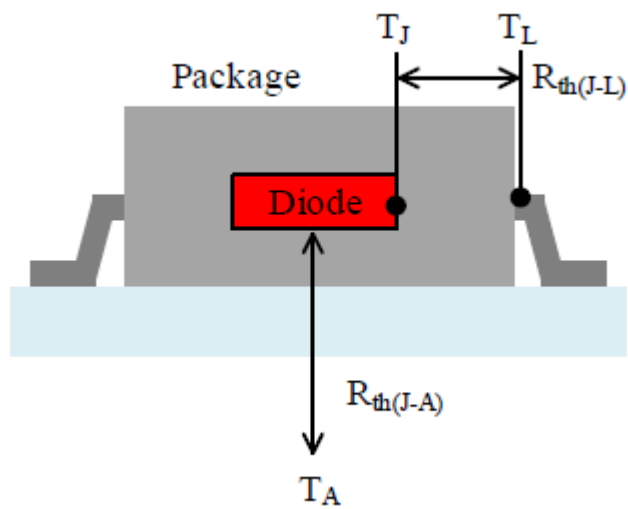


Figure 4. Current Derating, Case, Per Leg

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

$R_{\theta JC}$ = Топлинно съпротивление кристал – корпус

$R_{\theta JL}$ = Топлинно съпротивление кристал – изводите

$R_{\theta JA}$ = Топлинно съпротивление кристал – околна среда

THERMAL CHARACTERISTICS (Per Diode)

Characteristic	Conditions	Symbol	Max	Unit
Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Case	Min. Pad	$R_{\theta JC}$	1.3	°C/W
Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	Min. Pad	$R_{\theta JA}$	70	

Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

Топлинно съпротивление

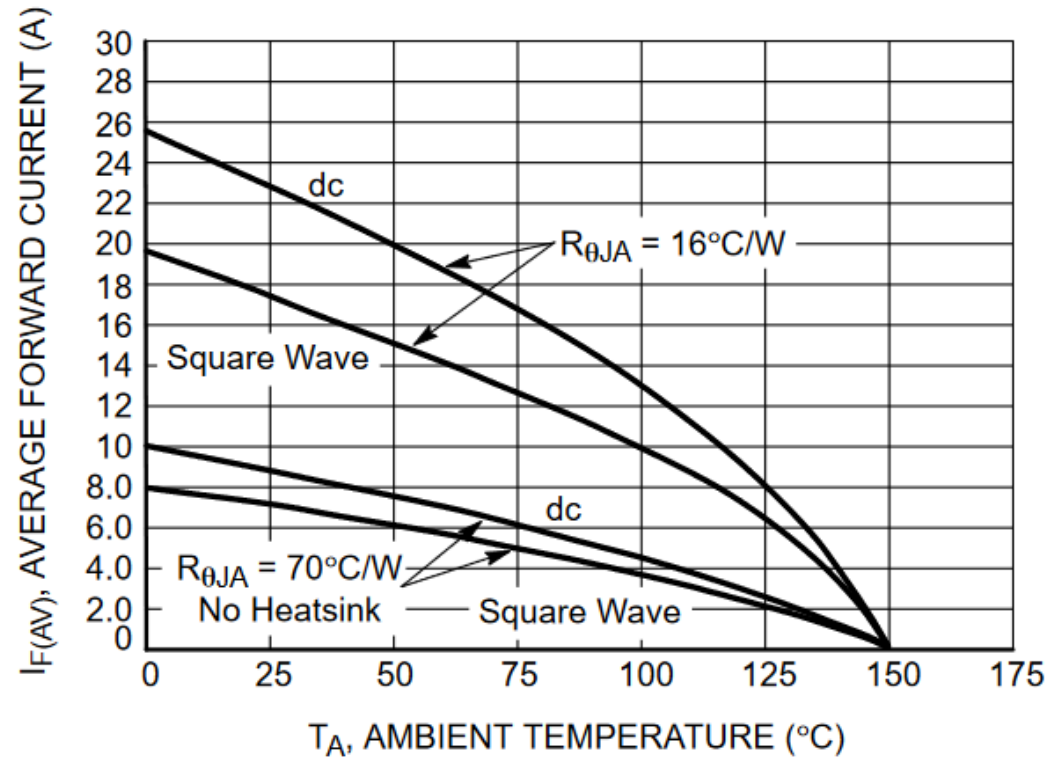


Figure 5. Current Derating, Ambient, Per Leg

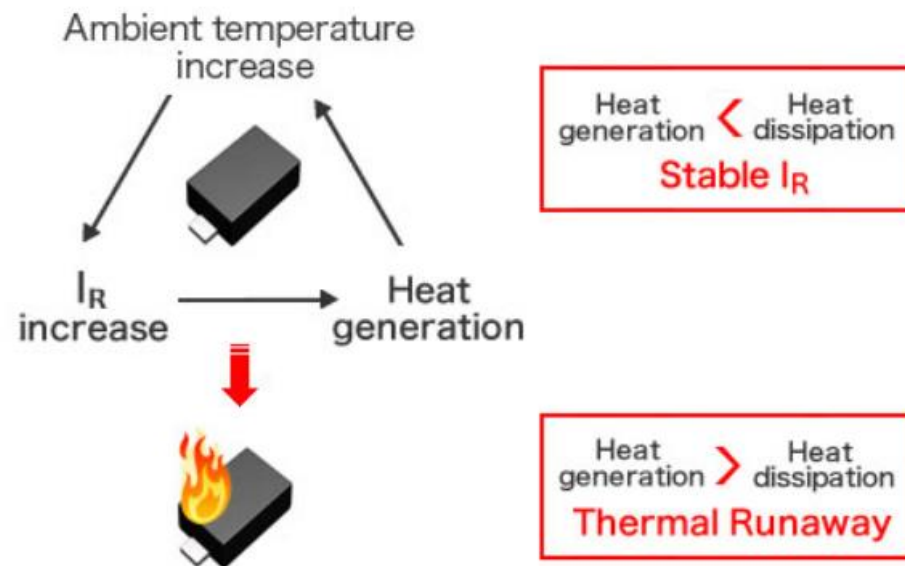


Топлинното съпротивление може да се намали с помощта на радиатор. Той представлява метална конструкция с голяма площ, която спомага по-лесното отвеждане на топлината.

Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

Неуправляемо повишаване на температурата

Thermal Runaway

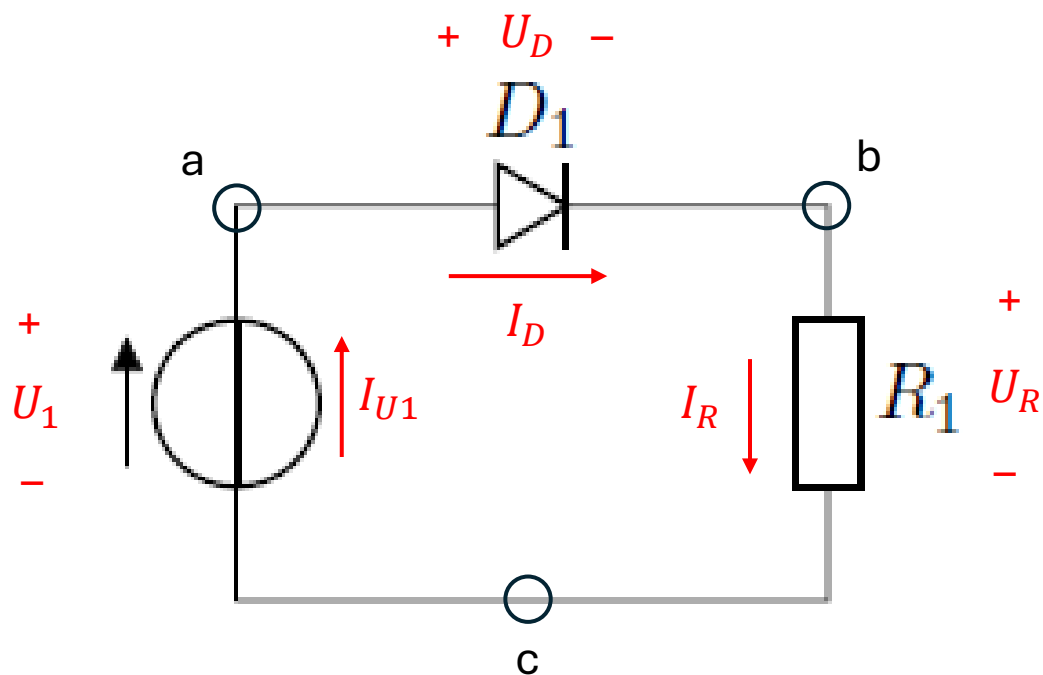


Диодите с бариера на Шотки са податливи на прекомерно генериране на топлина при големи токове. В резултат на това, комбинацията от отделената топлина с нарастващ I_R (ток на утечка) може да доведе до повишаване температурата на диода.

Следователно, неправилен термичен дизайн може да доведе до това, че количеството генерирана топлина надвишава разсейваното количество. Което води до допълнително увеличаване на температурата и тока на утечка и в крайна сметка ще доведе до повреда.

Това явление се нарича "Thermal Runaway".

Схеми с диоди и задачи



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: $I_D = I_R$

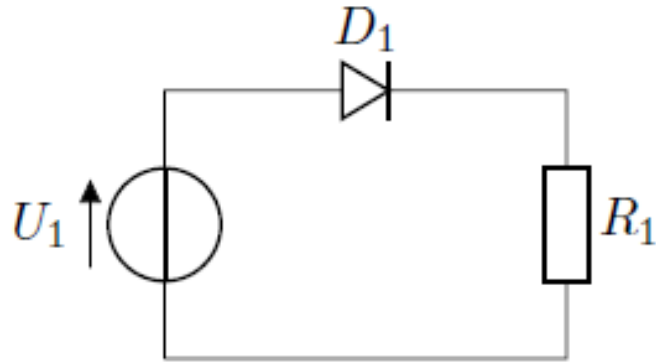
Възел с: $I_R = I_{U1}$

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

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

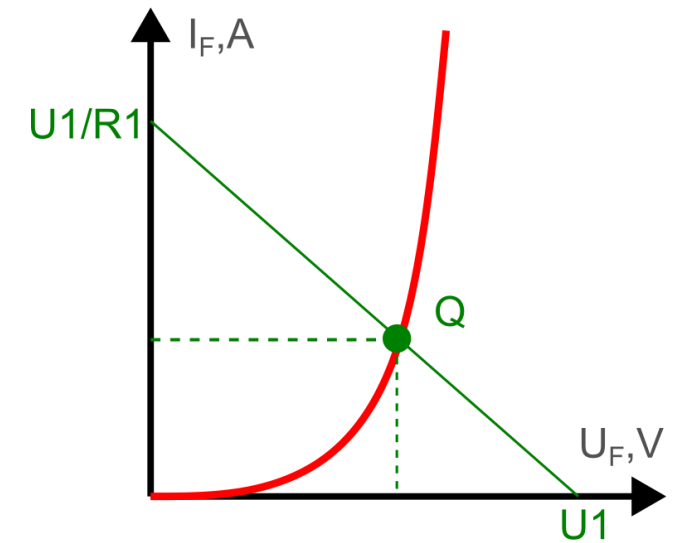
$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_R}{I}$$

Изчисляване на токоограничаващ резистор



$$U_R = U_1 - U_D$$

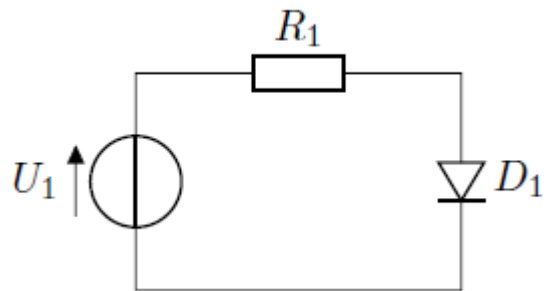
$$R = \frac{U_R}{I_{max}}$$



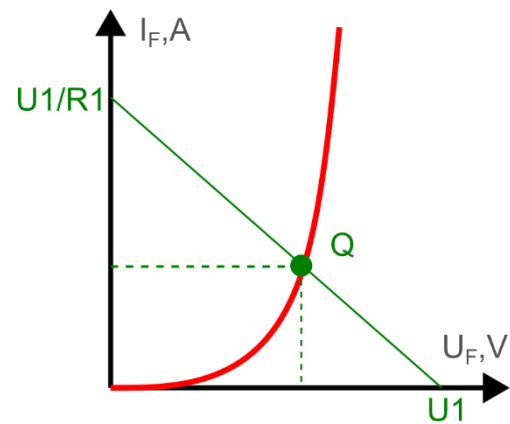
Предназначението на резистора в схемата на фигурата е да поддържа тока през диода по-малък от максимално допустимия (I_{max}).

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

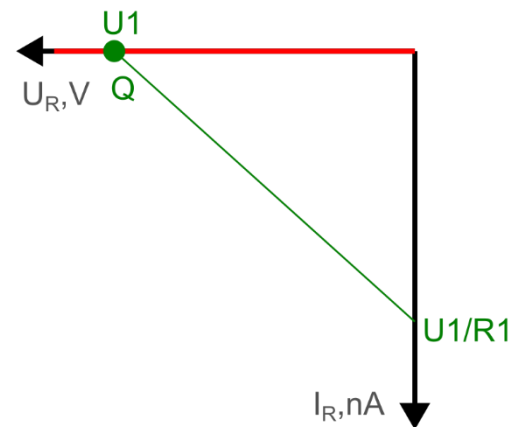
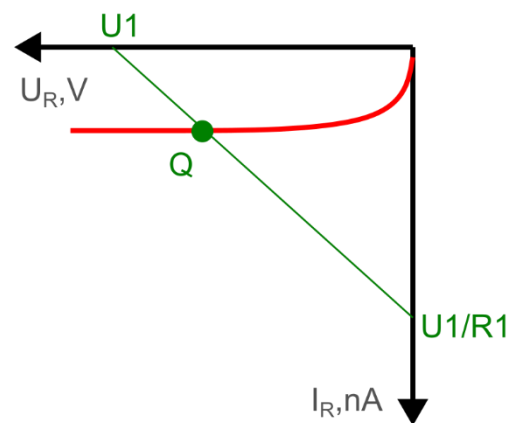
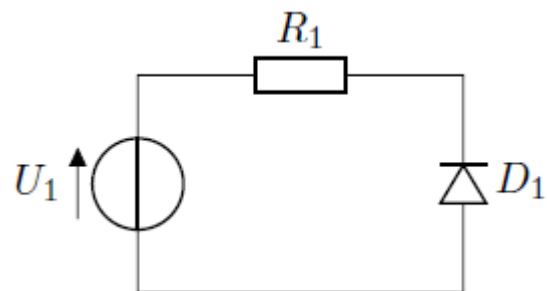
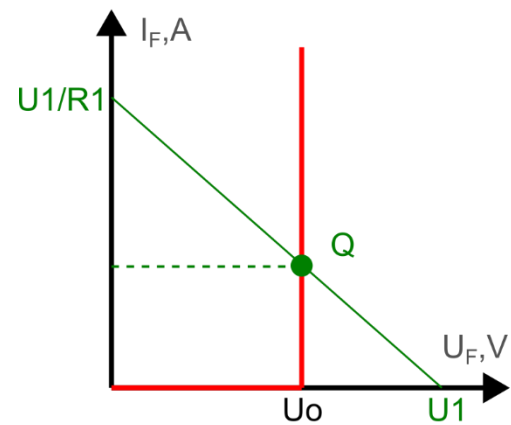
Прагов модел на диод



Реален диод

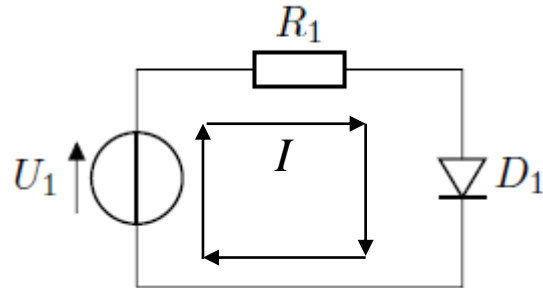


Прагов модел

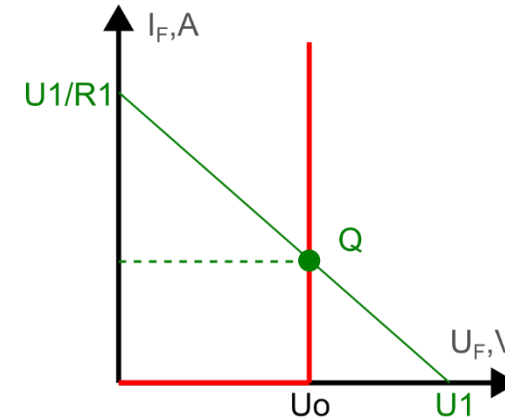


Задача

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.



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



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

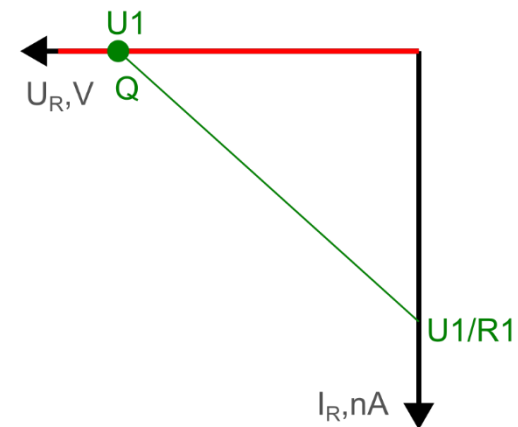
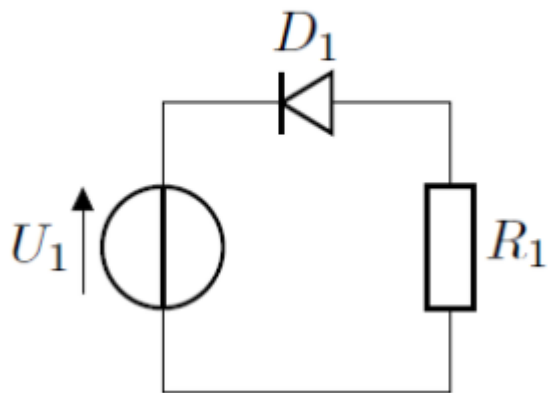
Чест допускана **грешка**: $I = U_1/R_1$

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 $U_0=0.7V$.

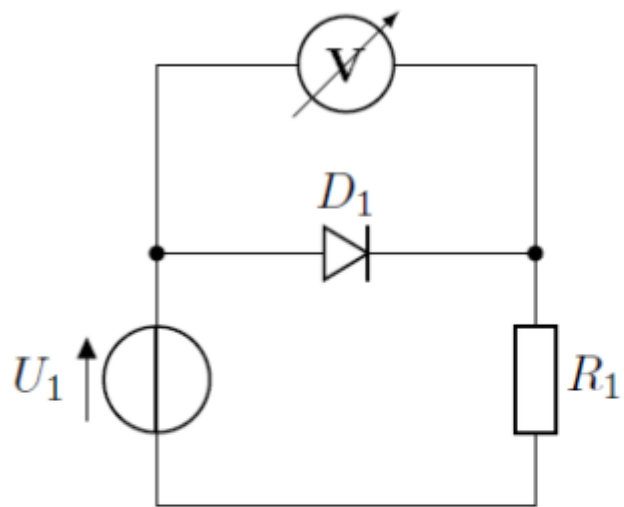


- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно \Rightarrow през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в обратна посока \Rightarrow диодът не пропуска ток $\Rightarrow I = 0$.
- 3) От законът на Ом $\Rightarrow U_r = I \cdot R_1 = 0 \cdot 100 \text{ Ohm} = 0$
- 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 волтметъра, ако $U_1=10V$, $R_1=100\ \Omega$, а D_1 е силициев диод с PN преход.



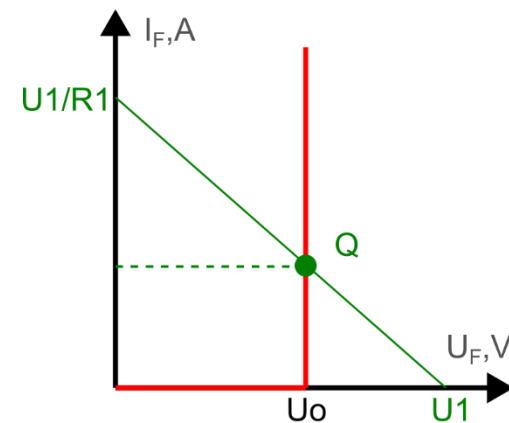
☐ 10V

☐ 9.3V

☒ 0.7V

☐ 0V

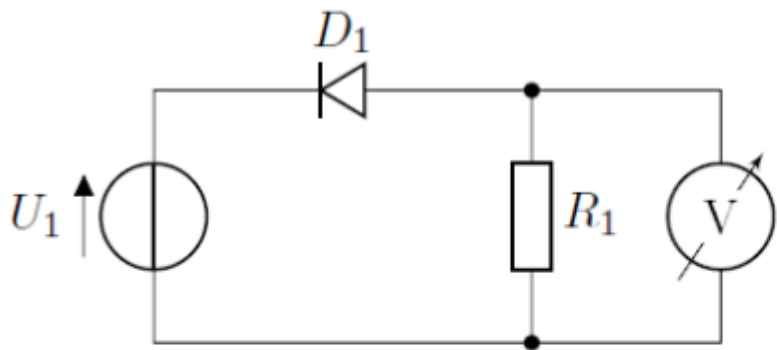
Диодът е включен в права посока и $U_1 > U_0$
=> диодът е "отпушен" и пропуска ток.



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: $U_r = I R = 0V$

