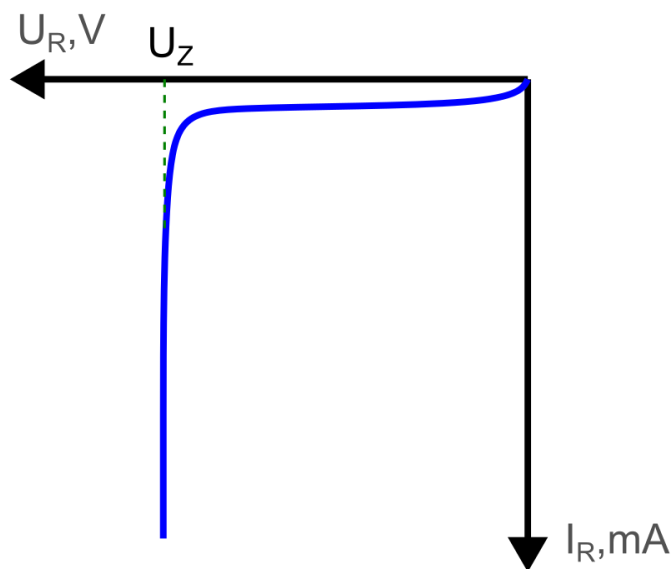
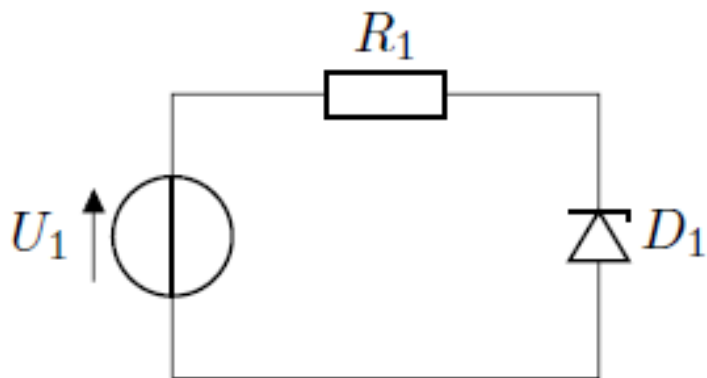




Ценеров диод

Въведение



Ценеровият диод е специфичен силициев диод, оптимизиран да работи в областта на **електрически пробив**.

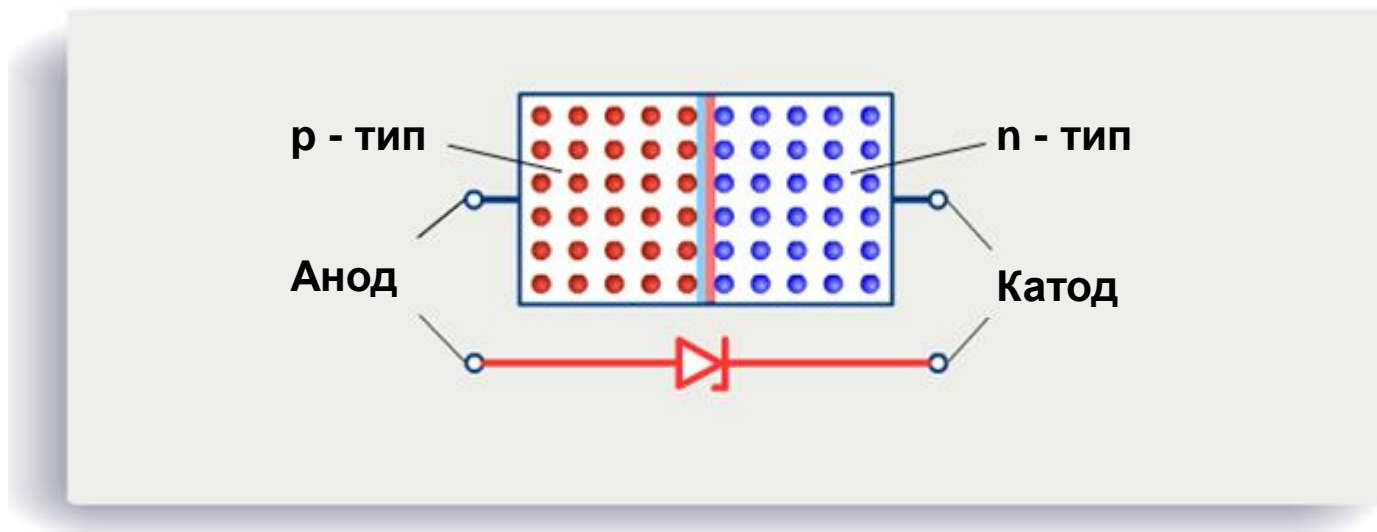
При настъпване на пробив, напрежението U_Z върху ценеровия диод остава почти **постоянно независимо от промяната на тока** през диода.

Приложения

Стабилизатор на напрежение.

Защита от пренапрежение.

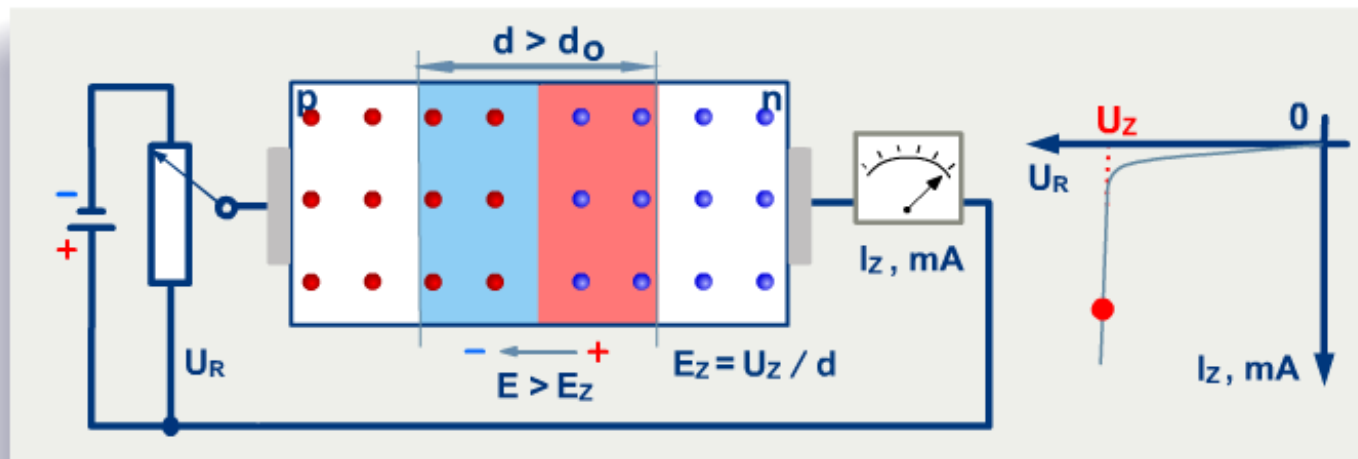
Символ на ценеров диод



Ценеровият диод има два електрода – анод и катод. p -областта се нарича анод, а n -областта - катод.

За да работи в областта на пробив, катодът на ценеровия диод трябва да е положително поляризиран спрямо анода му, т.е. диодът трябва да е в обратно свързване.

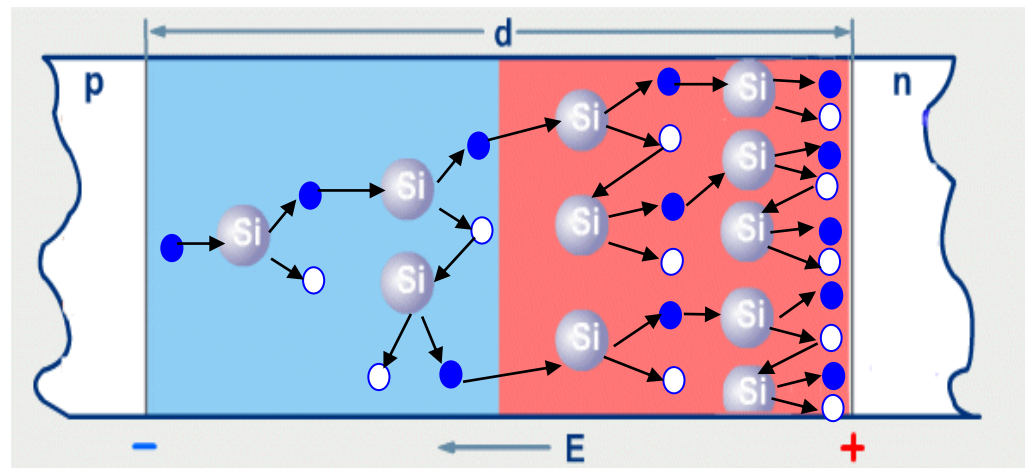
Принцип на действие



Когато се достигне пробивното напрежение, в обеднения слой на прехода, се получават голям брой неосновни токоносители и диодът започва да провежда значителен ток.

Появата на множеството неосновни токоносители се дължи на два механизма, известни като **лавинен** и **ценов пробив**.

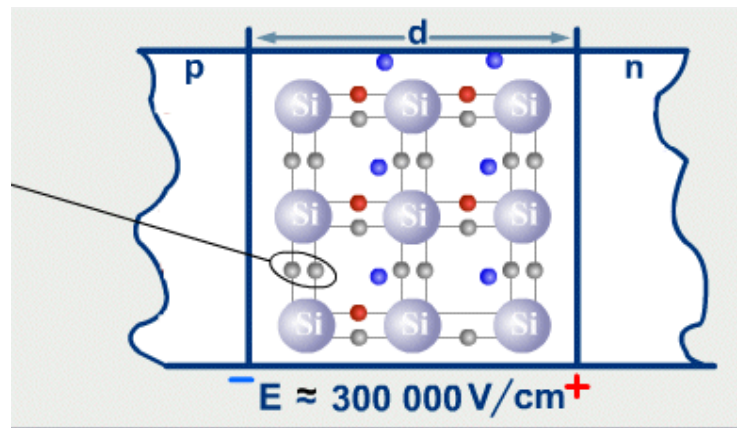
Лавинен пробив



Лавинен пробив настъпва в широки *pn* преходи и се характеризира с **пробивно напрежение над 7V**.

Ценерови диоди, използващи този механизъм на пробив са известни като **ВИСОКОВОЛТОВИ**.

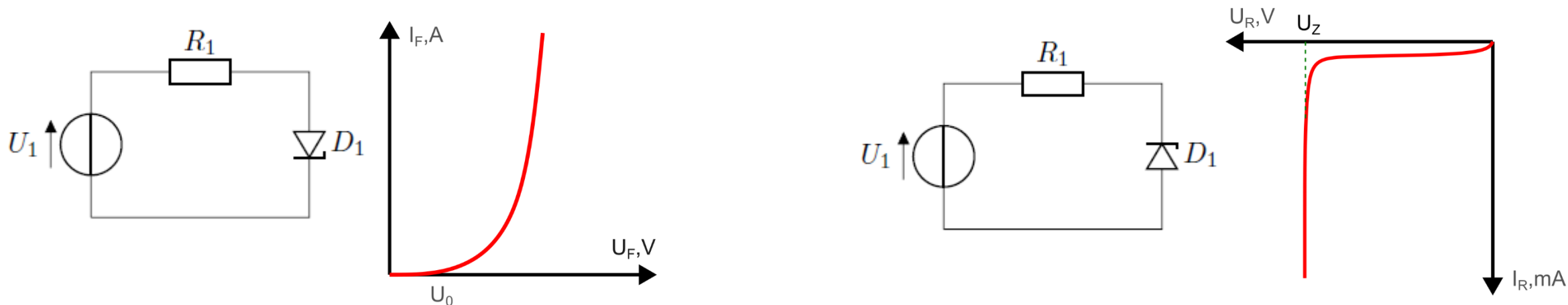
Ценеров пробив



Ценеров пробив настъпва в тесни pn преходи и се характеризира с пробивно напрежение по-малко от **5V**.

Ценерови диоди, използващи този механизъм на пробив са известни като **НИСКОВОЛТОВИ**.

VA характеристика

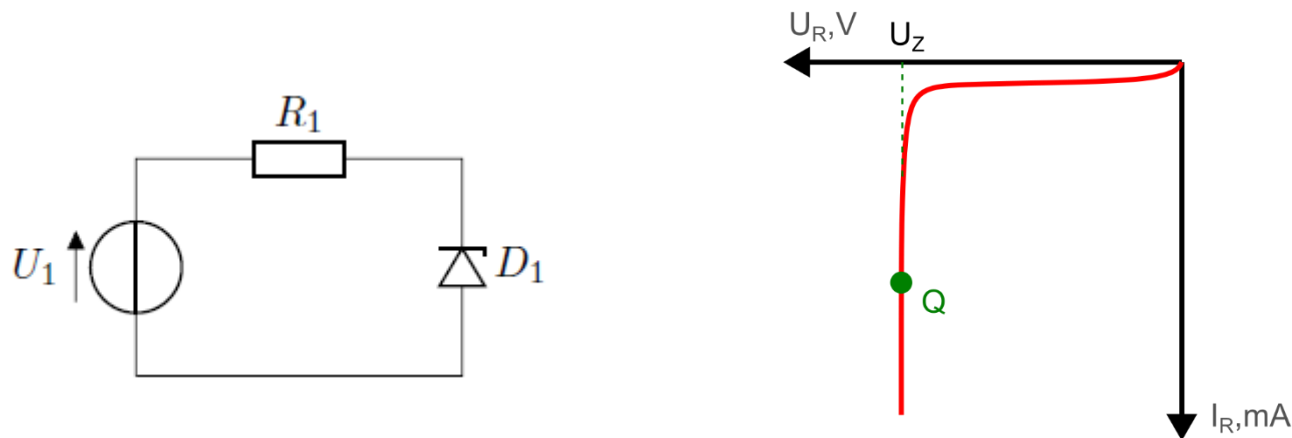


При **право включване** той се отпушва при 0.7 V, точно като Si диод с p-n преход.

При **обратно включване** обратният ток преди пробива е много малък.

В **областта на пробив** се наблюдава рязко нарастване на тока при оставащо почти **постоянно** напрежение.

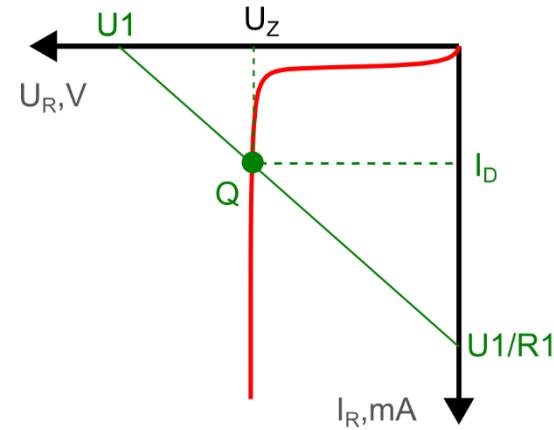
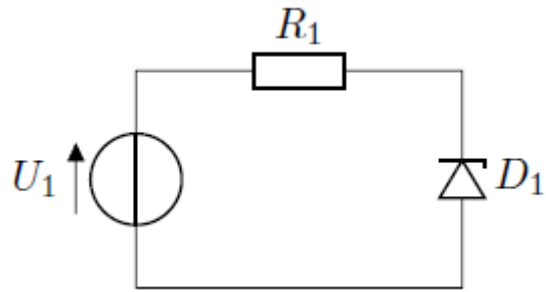
Област на пробив



Ценеровият диод поддържа постоянно напрежение при значителна промяна на входното напрежение и тока през дода.

В областта на пробив ценеровият диод действа като източник на постоянно напрежение с големина U_Z .

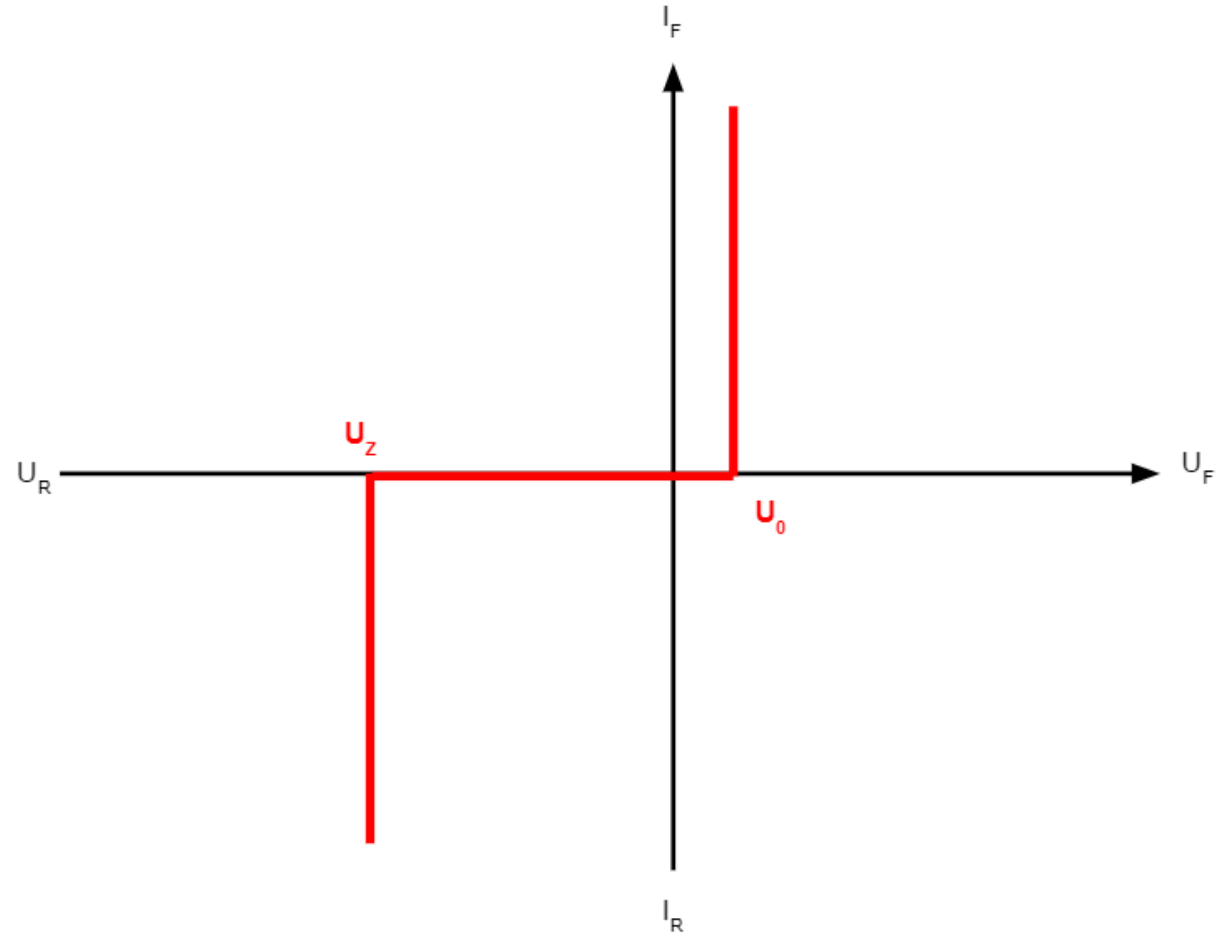
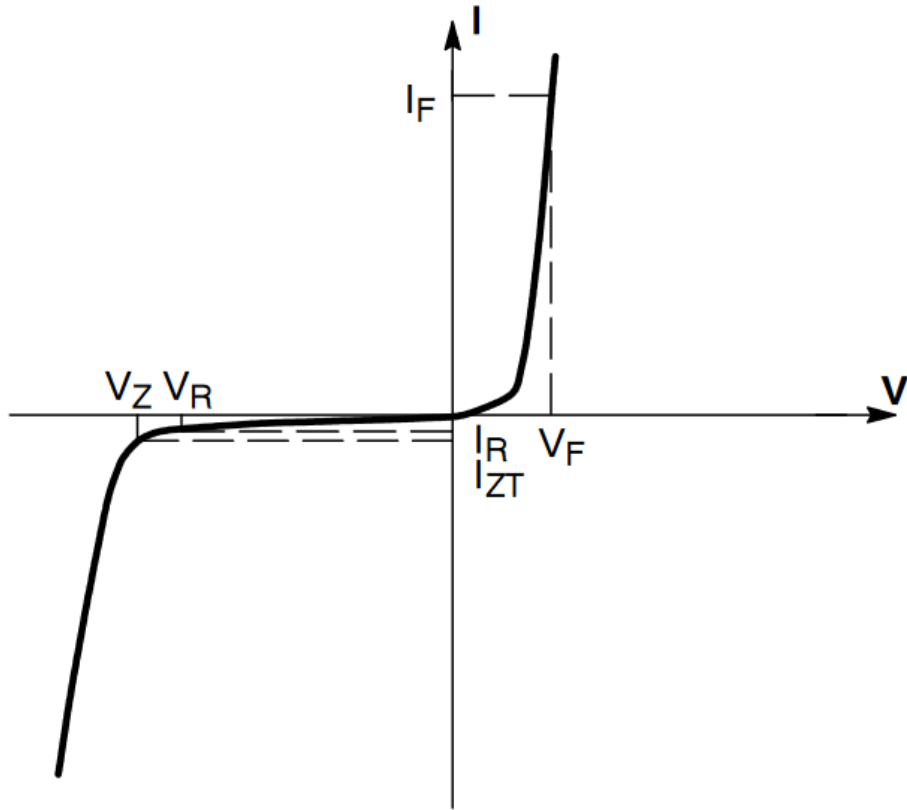
Товарна права и работна точка



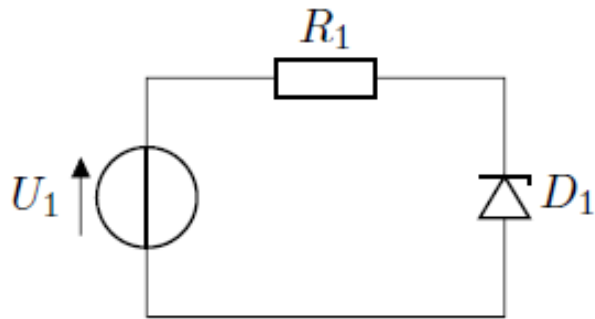
Товарната права може да се построи с отрезите си от хоризонталната и вертикална ос на характеристиката в областта на пробив.

Точката на пресичане на товарната права с волтамперната характеристика определя **работната точка** Q .

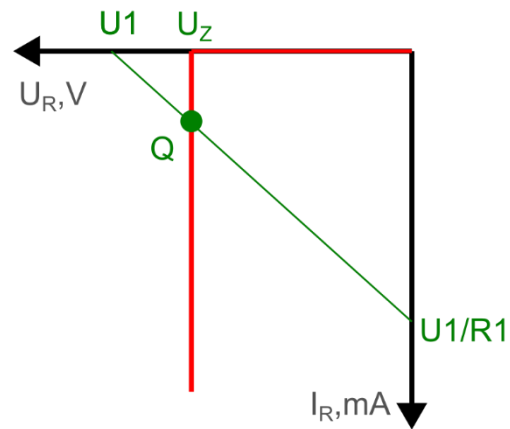
Прагов модел



1. Като използвате прагов модел на ценеров диод, определете токовете, падовете на напрежение и разсейваните мощности върху резистора и диода.



$$U_z = 8V, U_1 = 10V, R_1 = 2k\Omega$$



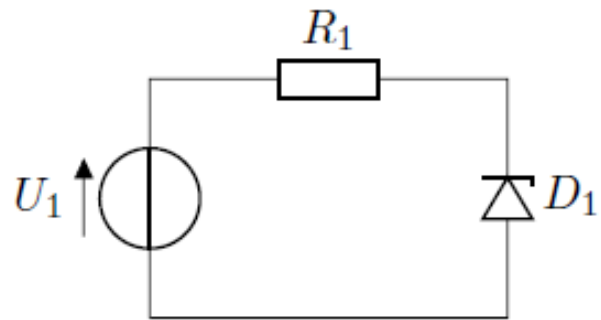
$$Q_x = U_d$$

$$Q_y = I_d$$

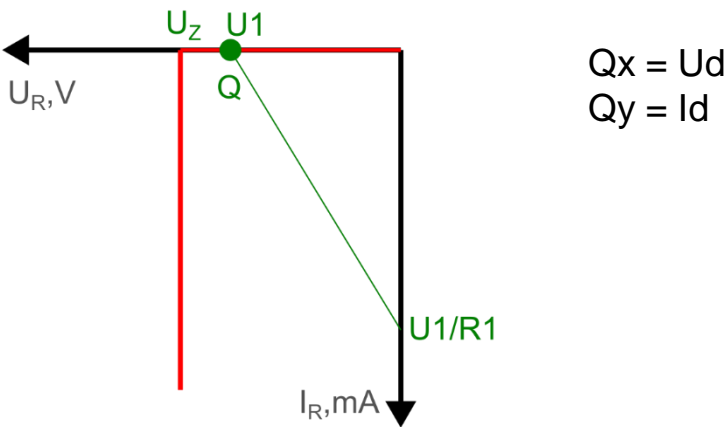
- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно \Rightarrow през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в обратна посока и $U_1 > U_z \Rightarrow$ диодът е в режим на пробив и $U_d = U_z$.
- 3) От законът на Кирхоф за напреженията $\Rightarrow U_1 = U_r + U_d$; $U_r = U_1 - U_d = 10V - 8V = 2V$
- 4) От законът на Ом $\Rightarrow I = U_r / R_1 = 2V / 1k\Omega = 2mA$
- 5) Мощността, разсейвана върху резистора е $P_r = U_r \cdot I = 2V \cdot 2mA = 4mW$
- 6) Мощността, разсейвана върху диода е $P_d = U_d \cdot I = 8V \cdot 2mA = 16mW$

Елемент	U	I	P
D1	8V	2mA	16mW
R1	2V	2mA	4mW

2. Като използвате прагов модел на ценеров диод, определете токовете, падовете на напрежение и разсейваните мощности върху резистора и диода.



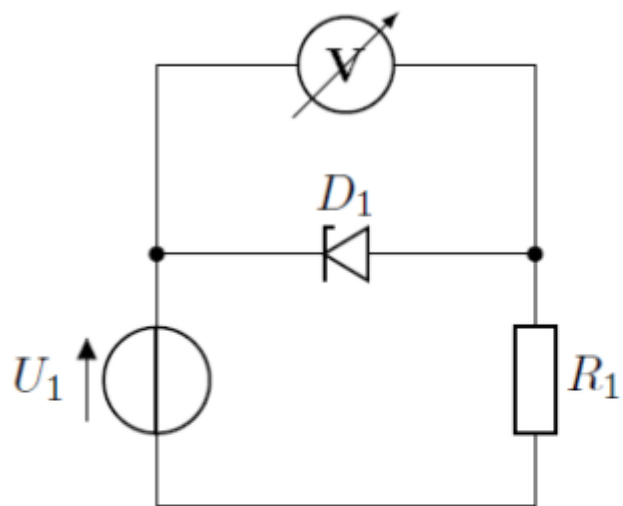
$U_z = 10V, U_1 = 8V, R_1 = 2k\Omega$



- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно => през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в обратна посока и $U_1 < U_z$ => диодът е запушен и през него не тече ток, т.е. $I = 0A$.
- 3) От законът на Ом => $U_r = R_1 \cdot I = 1k\Omega \cdot 0 = 0V$
- 4) От законът на Кирхоф за напреженията => $U_1 = U_r + U_d$; $U_d = U_1 - U_r = 8V - 0V = 8V$
- 5) Мощността, разсейвана върху резистора е $P_r = U_r \cdot I = 0W$
- 6) Мощността, разсейвана върху диода е $P_d = U_d \cdot I = 0W$

Елемент	U	I	P
D1	8V	0	0
R1	0	0	0

Какво ще покава волтметъра, ако $U_1=10V$, $R_1=100\Omega$, а D_1 е ценеров диод с $U_z=8V$.

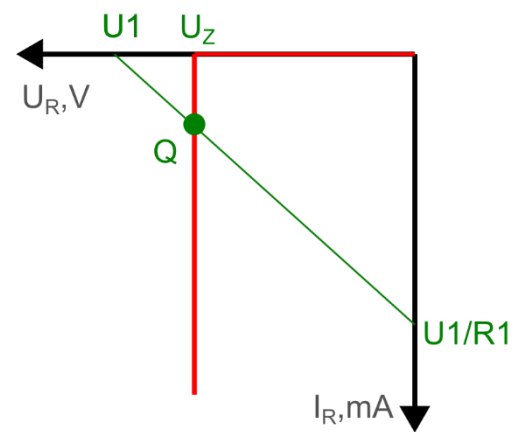


☐ 10V

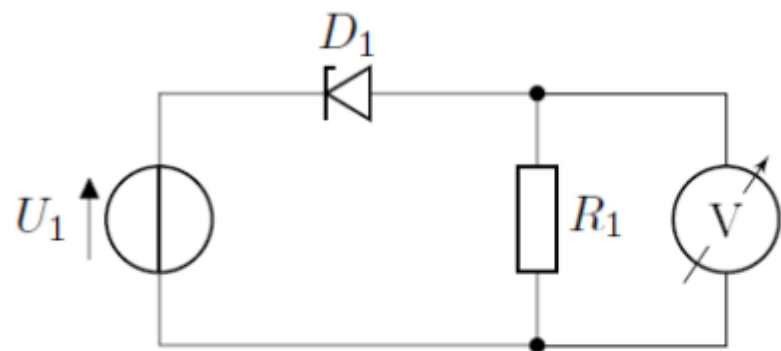
☒ 8V

☐ 2V

☐ 0V



Какво ще покава волтметъра, ако $U_1=8V$, $R_1=100\Omega$, а D_1 е ценеров диод с $U_z=10V$.

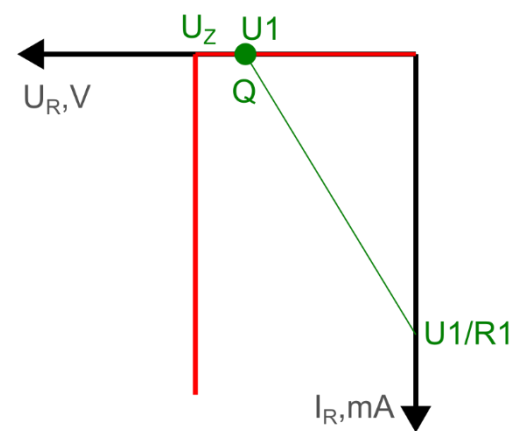


☐ 10V

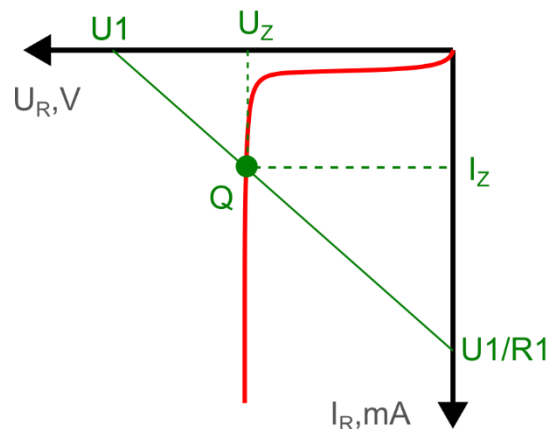
☐ 8V

☐ 2V

☒ 0V



Параметри – напрежение на пробив



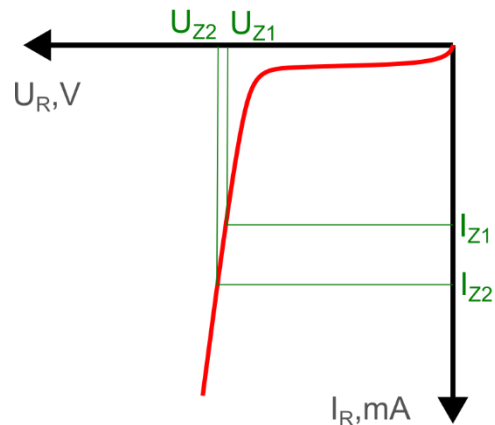
Ценеровите диоди се характеризират с напрежение на пробив U_Z , което се задава за конкретен ток I_Z .

Пробивното напрежение U_Z е от порядъка на няколко волта до няколко стотици волта. За всеки ценеров диод се задават и толерансите за ценеровото напрежение.

● Characteristic ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Zener Voltage	V_Z	$I_Z = 2\text{mA}$	34.00	-	38.00	V
Reverse Current	I_R	$V_R = 25.0\text{V}$	-	-	0.1	μA
Dynamic Impedance	Z_Z	$I_Z = 2\text{mA}$	-	-	90	Ω
Temperature Coefficient	γ_Z	$I_Z = 2\text{mA}$	28.5	-	34.0	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

Динамично съпротивление r_z

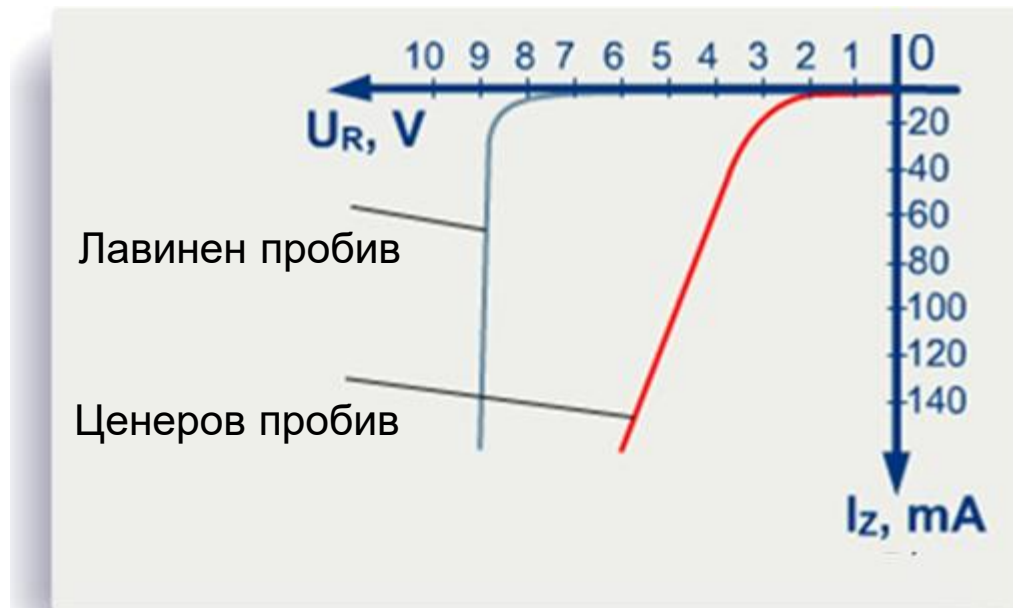


$$r = \frac{dU_Z}{dI_Z} \approx \frac{U_{Z2} - U_{Z1}}{I_{Z2} - I_{Z1}}$$

Динамичното (променливотоково) **съпротивление** r_z се дефинира като отношение на нараствъка на напрежението и нараствъка на тока около дадена работна точка.

Колкото по-малко е динамичното съпротивление, толкова характеристиката е по-стръмна и диодът е по-добър като стабилизатор на напрежение.

Сравнение на диодите



- ✪ Ценеров пробив – $U_Z < 5V$
- ✪ Лавинен пробив – $U_Z > 6V$

Ценеровият пробив настъпва при **обратно напрежение по-малко от 5V**.

Лавиният пробив изисква **обратно напрежение над 6V**.

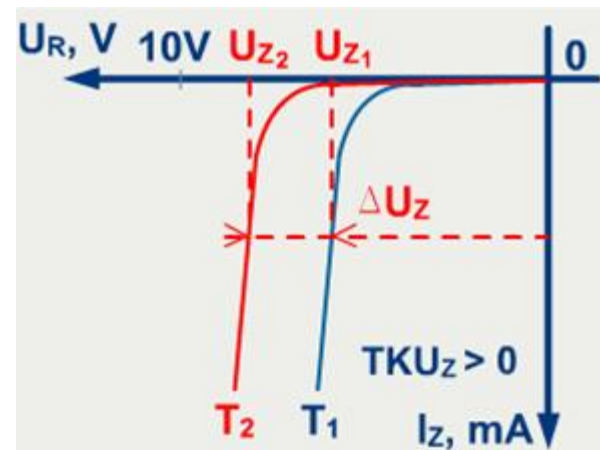
Динамичното съпротивление за диоди с лавинен пробив е по-малко от това при ценеров пробив.

Температурен коефициент

$$TKU_z[V/^{\circ}C] = \frac{U_{z2} - U_{z1}}{T_2 - T_1}$$

$$I_z = \text{const}$$

$$TKU_z[\%/^{\circ}C] = \frac{U_{z2} - U_{z1}}{(T_2 - T_1)U_z}$$



Температурният коефициент на напрежението на пробив TKU_z отчита влиянието на температурата върху стойността на пробивното напрежение в $mV/^{\circ}C$ или $\%/^{\circ}C$.

Той може се дефинира и с процентното изменение на напрежението U_z спрямо промяната на температурата.

Влияние на температурата

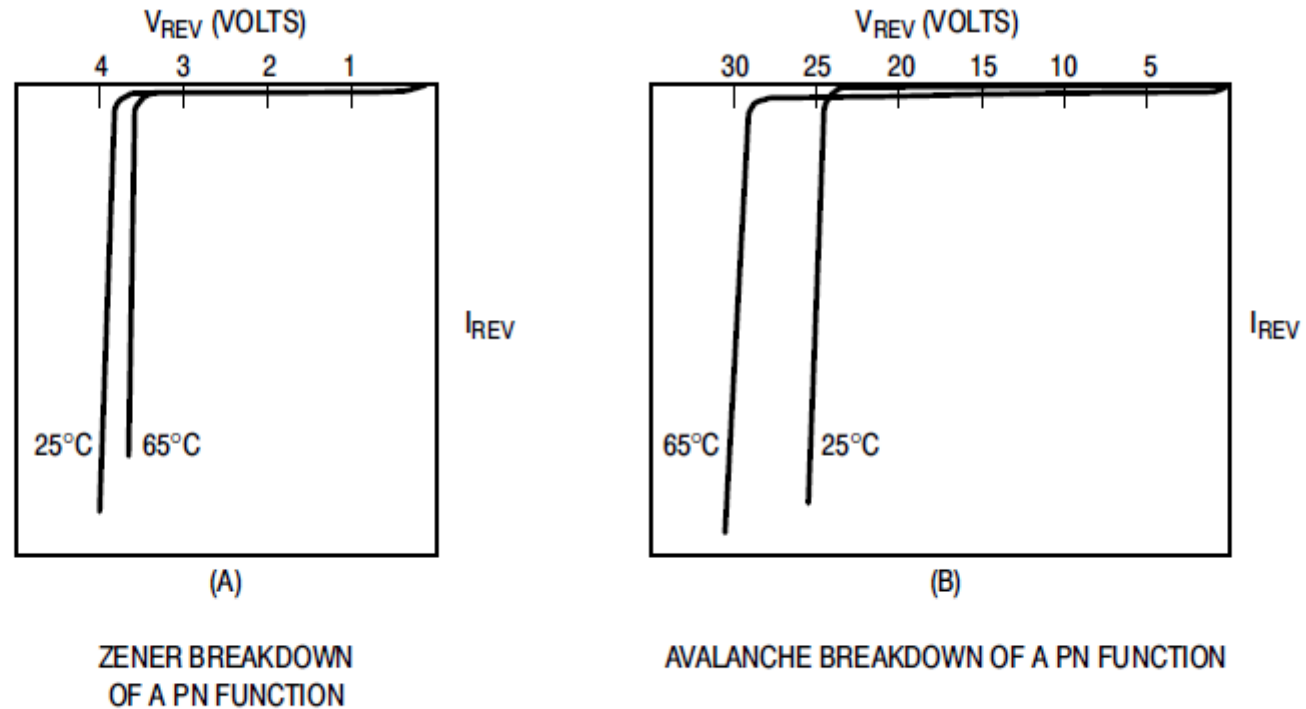
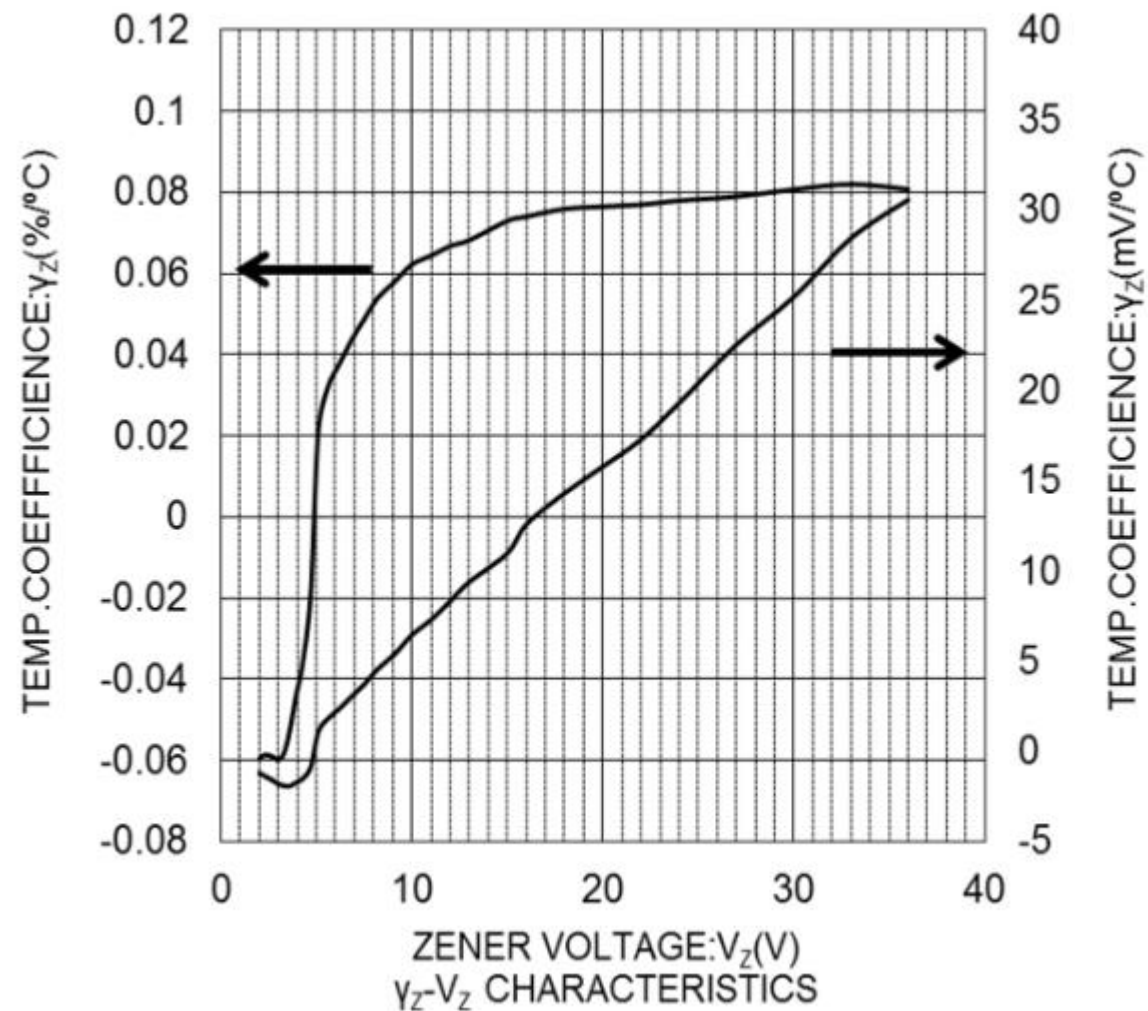
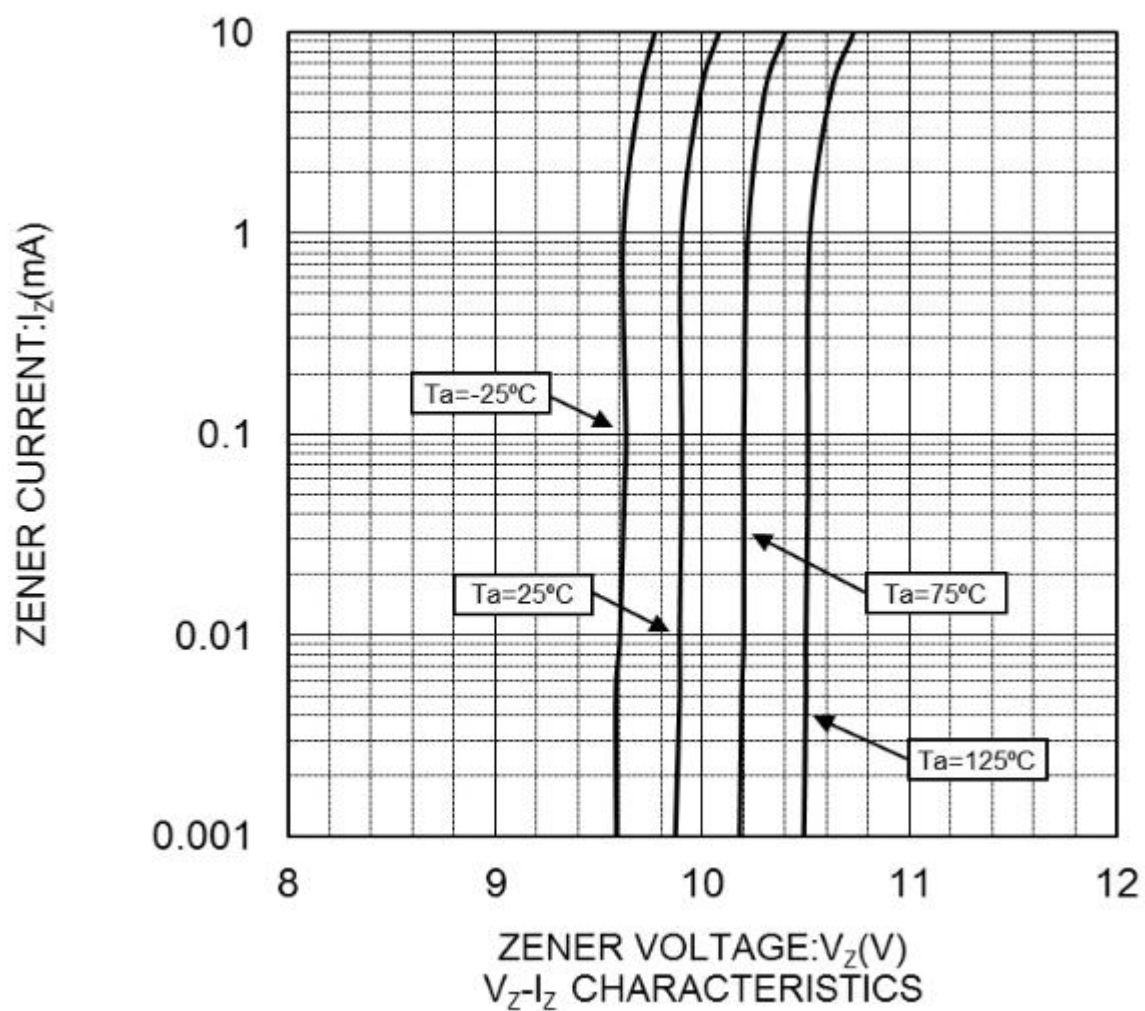
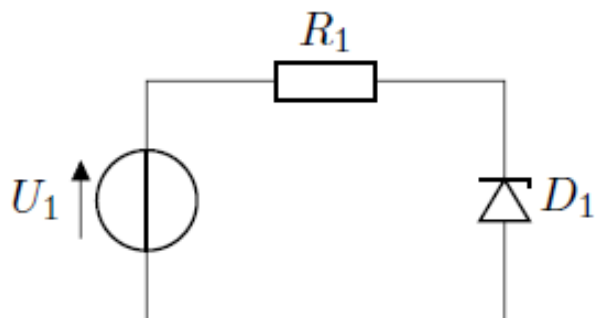


Figure 4. Typical Breakdown Diode Characteristics. Note Effects of Temperature for Each Mechanism



Максимална мощност



● Absolute Maximum Rating ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

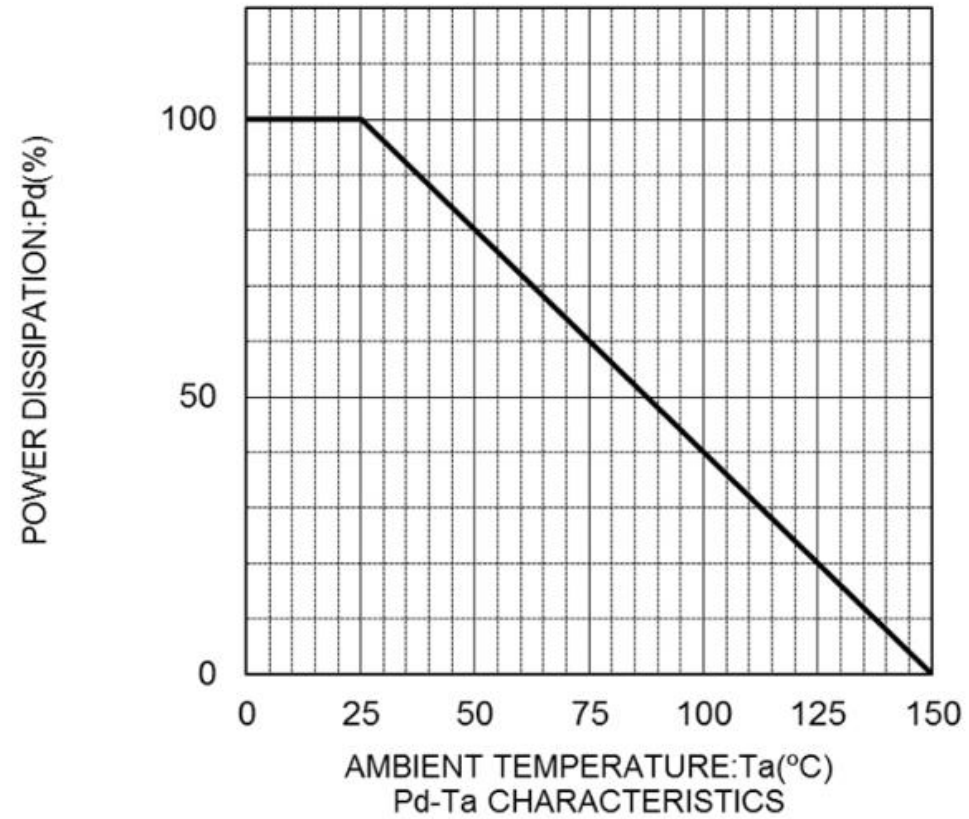
Parameter	Symbol	Limits	Unit
Power dissipation	P_D	150	mW
Junction temperature	T_j	150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Мощността, отделена в ценеровия диод, работещ в режим на пробив е $P_Z = U_Z \cdot I_Z$.

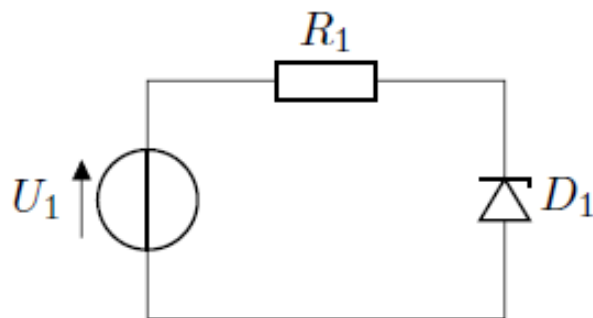
Максимално допустимата мощност $P_{Z_{\text{max}}}$ е най-голямата мощност, разсейвана от р-п прехода, при която не възниква топлинен пробив.

Докато отделената мощност P_Z не надвиши **максимално допустимата мощност** $P_{Z_{\text{max}}}$ ценеровият диод работи в областта на електрически пробив без да се разруши.

Максимална мощност



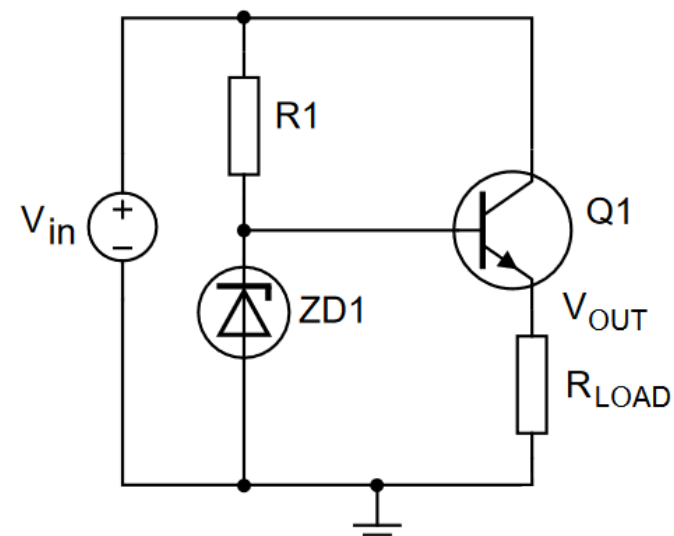
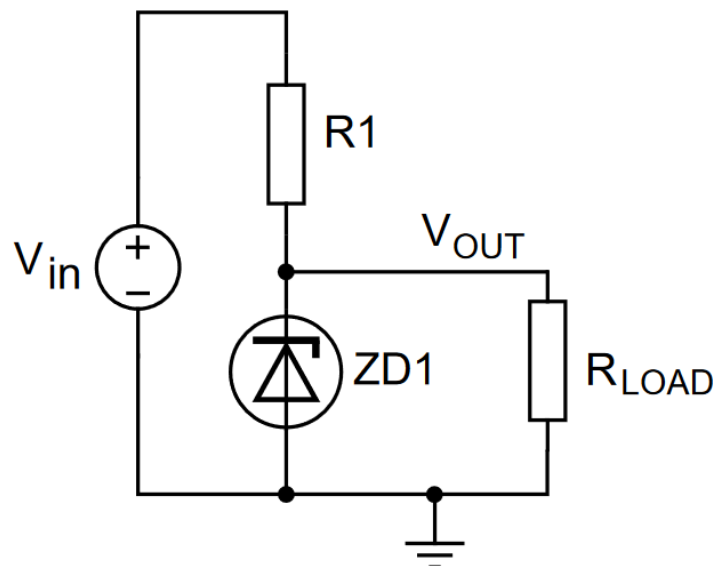
Токоограничаващ резистор



Предназначението на **токоограничаващия резистор** R_1 е да поддържа тока през ценеровия диод, такъв че $P_Z = U_Z \cdot I_Z < P_{Zmax}$

В противен случай ценеровият диод ще се разруши подобно на всеки елемент, който надвиши максимално допустимата си мощност.

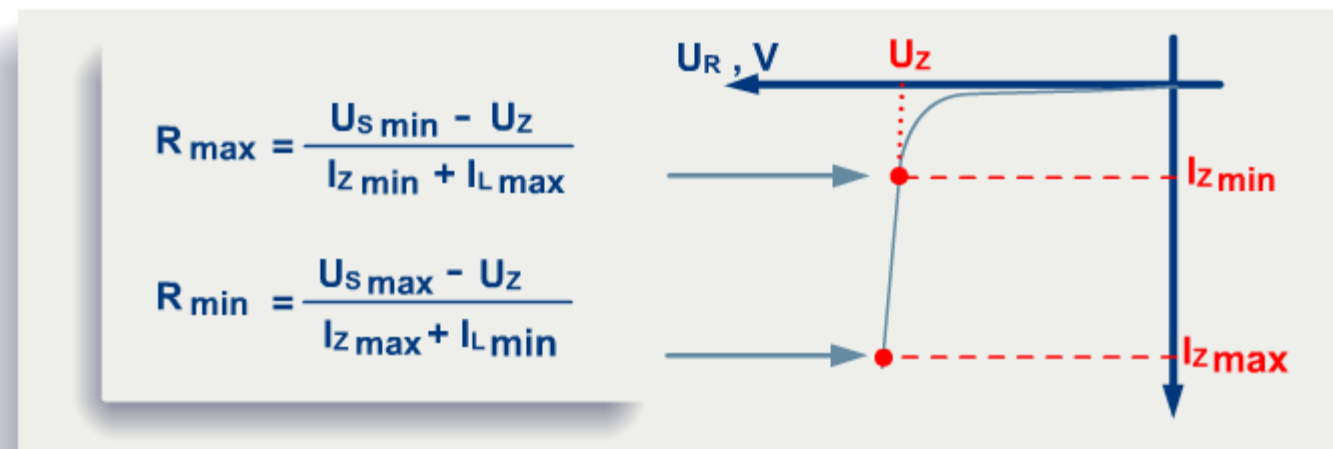
Приложения – стабилизатор



Товарът R_{LOAD} се свързва паралелно на ценовия диод. Ценовият диод поддържа **постоянно напрежение** върху товара $U_{LOAD} = U_Z$ независимо от промените в захранващия токоизточник или в товарното съпротивление.

Съпротивлението $R1$ е **токоограничаващо** съпротивление.

Условия за нормална работа



Критични стойности на
токоограничаващия резистор

Граници на областта на
пробив

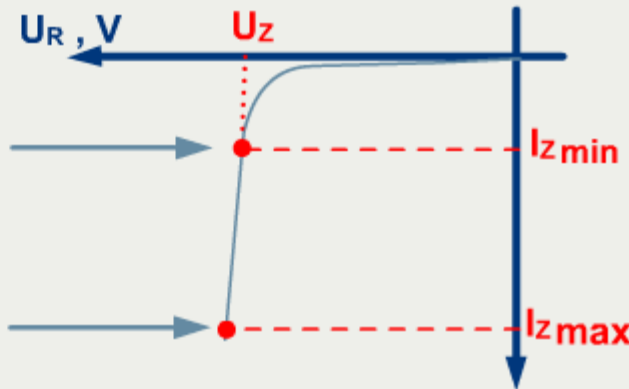
За да се поддържа постоянно изходно напрежение ценеровият диод **трябва да остава в областта на пробив при всички условия на работа** – т.е. токът да е по-голям от I_{zmin} и по-малък от I_{zmax} .

Токоограничаващият резистор трябва да е между R_{min} и R_{max} .

Изчисляване на R_{\min} и R_{\max}

$$R_{\max} = \frac{U_{s \min} - U_Z}{I_{Z \min} + I_{L \max}}$$

$$R_{\min} = \frac{U_{s \max} - U_Z}{I_{Z \max} + I_{L \min}}$$



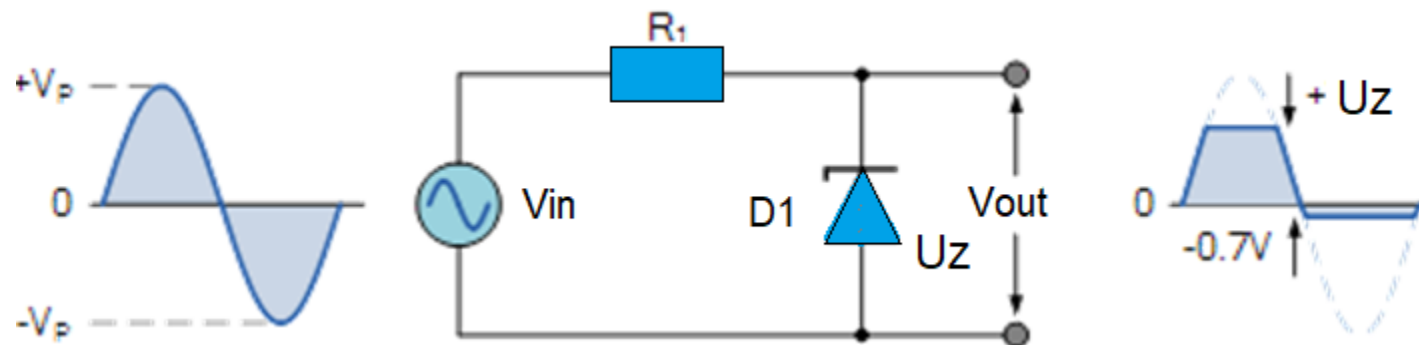
Критични стойности на
токоограничаващия резистор

Граници на областта на
пробив

Най-лош случай настъпва при минимално напрежение на източника и максимален товарен ток – тогава токът през ценеровия диод става по-малък от $I_{Z \min}$. Последователното съпротивление R_{\max} се изчислява да поддържа стойността на I_Z по-висока от $I_{Z \min}$.

Аналогично R_{\min} трябва да поддържа I_Z по-малко от $I_{Z \max}$.

Ограничител на напрежение



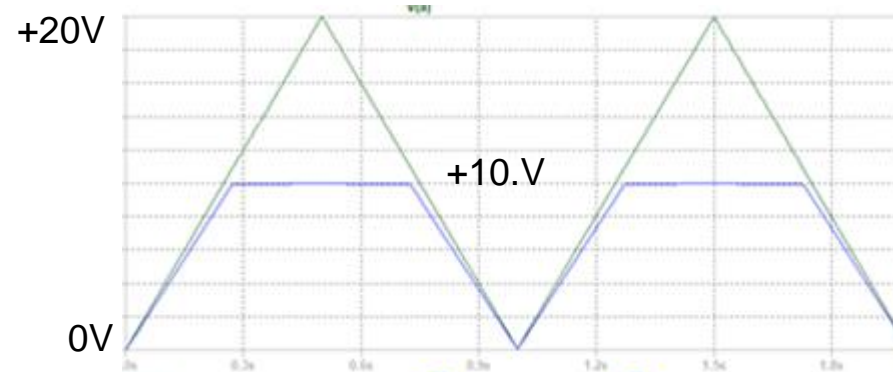
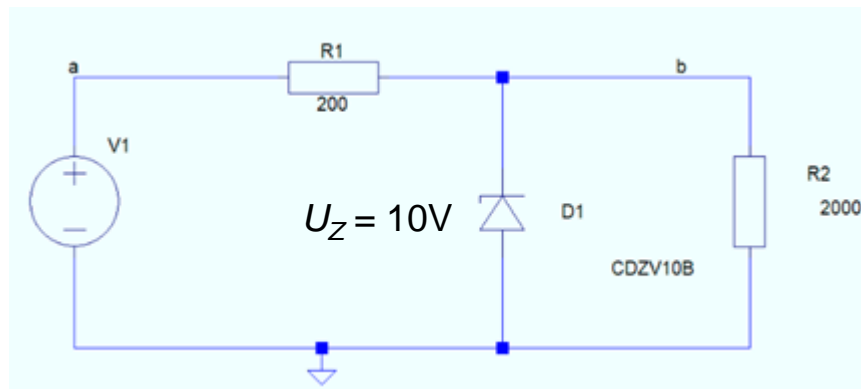
Ограничителят на напрежение отрязва напреженията на сигнала над и под специфицирано ниво. Той е полезен не само за ограничаване нивото на сигнала, но и за защита от пренапрежение на схемата, получаваща сигнала.

По време на положителния полупериод, когато входното напрежение надвиши напрежението на пробив U_Z на ценовия диод, диодът D_1 работи в режим на пробив и ограничава изходния сигнал на нивото на ценово напрежение U_Z .

За напрежения по-малки от U_Z диодът е в обратно включване, действа като отворен ключ и изходното напрежение следва входното.

По време на отрицателния полупериод, ценовият диод е в право включване, действа като нормален диод и ограничава изходното напрежение до обичайната стойност $-0,7 V$.

Едностраниен ограничител

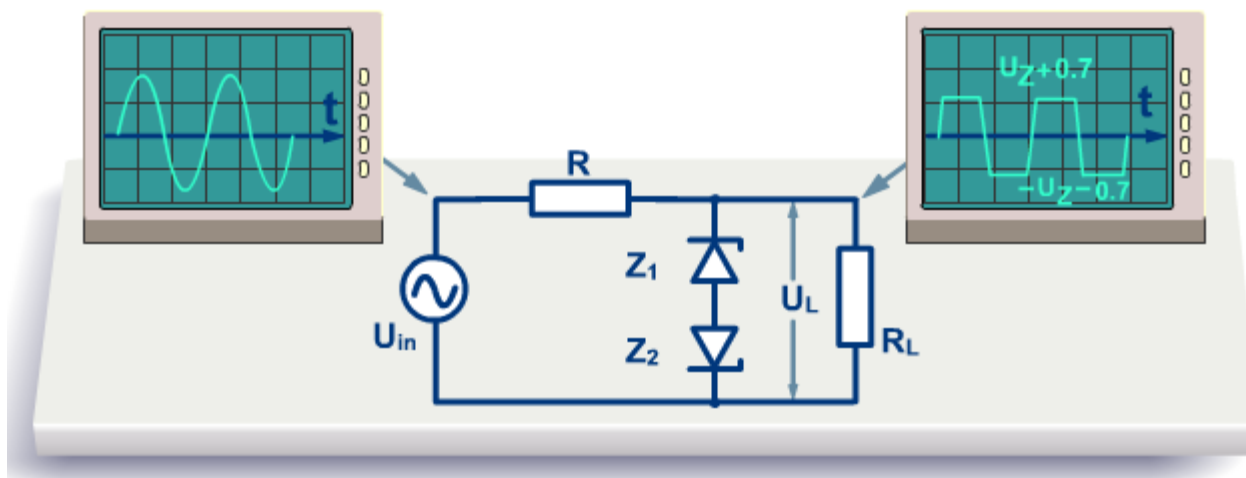


При положителен входен сигнал (от 0V до 10V), където $V_1 < U_Z$, ценовият диод е в обратно включване, действа като отворен ключ и изходното напрежение следва входното напрежение.

Когато входното напрежение достигне напрежението на пробив U_Z и е по-високо от него, ценовият диод работи в режим на пробив и изходното напрежение се ограничава до $U_Z = 10V$.

Когато входното напрежение стане по-малко от U_Z , изходното напрежение отново следва входа, защото диодът е в обратно включване.

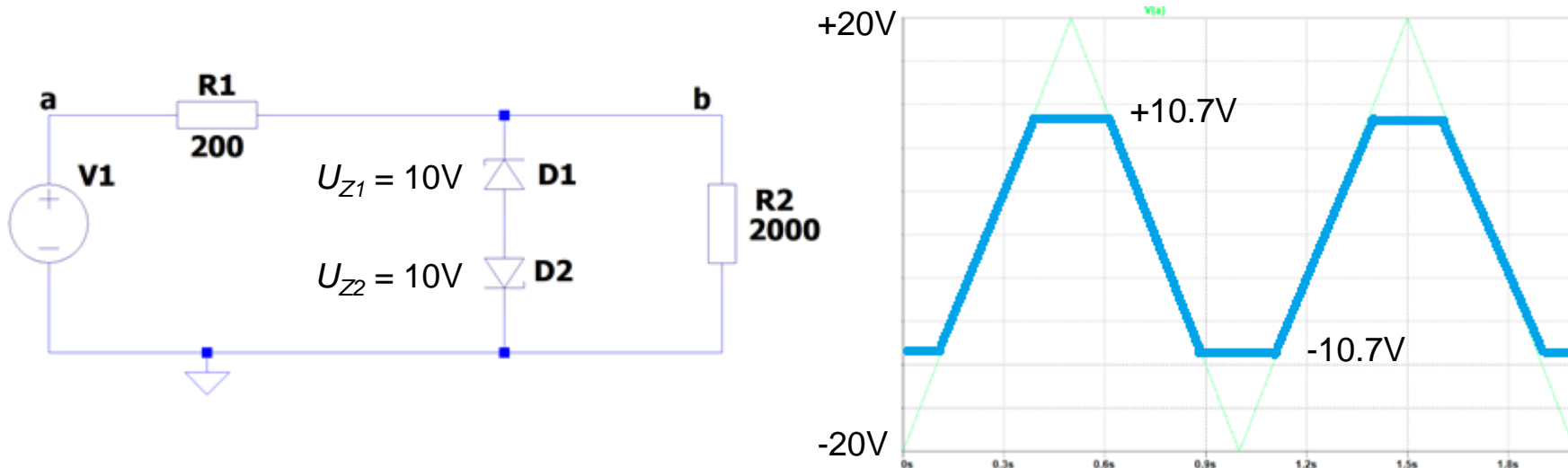
Двустранен ограничител



През положителния полупериод, диодът Z_1 работи в областта на пробив, а диодът Z_2 е включен в права посока. Нивото, на което се ограничава изходният сигнал, се формира от сумата на пробивното напрежение на ценеровия диод U_{Z1} и $0.7V$ на право свързания диод Z_2 или $+(U_{Z1} + 0.7)$.

През отрицателния полупериод диодът Z_2 работи в областта на пробив, диодът Z_1 е в право свързване и нивото се ограничава на $-(U_{Z2} + 0.7)$.

Пример



През положителния полупериод D_1 е в пробив, а диодът D_2 е в право включване. Изходното напрежение се ограничава до $U_{Z1} + U_o = 10 + 0.7 = +10.7V$.

По време на отрицателния полупериод D_2 е в пробив, D_1 – в право включване и изходното напрежението се ограничава до $-10.7V$.

Когато входното напрежение е по-малко от напрежението на пробив, съответният ценовер диод е в обратно включване, действа като отворен ключ и изходното напрежение следва входното.

