

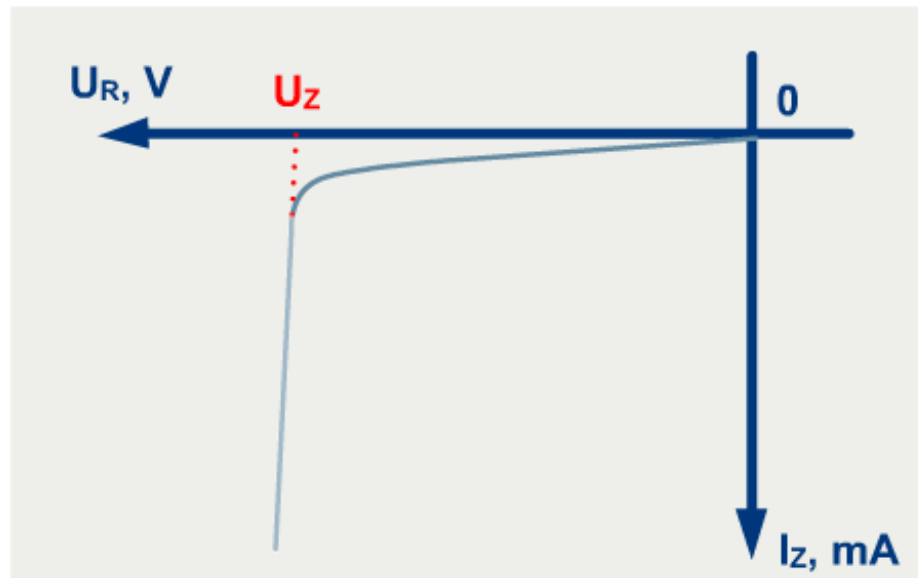


Ценеров диод



Полупроводникови
елементи

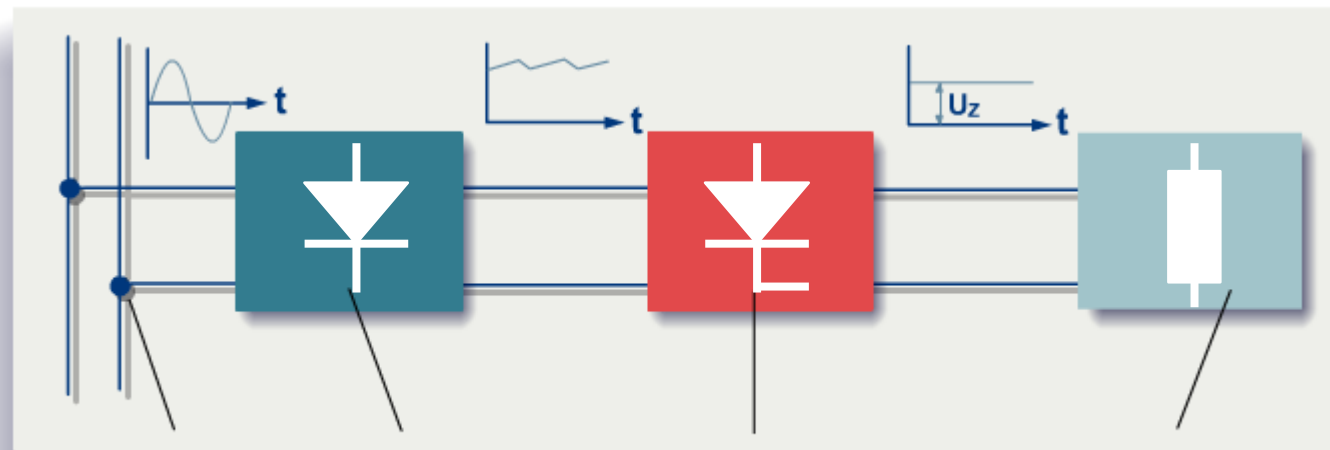
Въведение



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. Това свойство позволява ценеровият диод да се използва за **стабилизатор на напрежение**.

Основно приложение



Ел. мрежа

Изправител

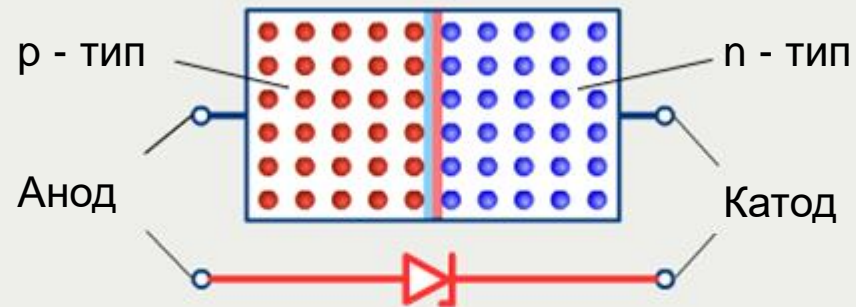
Стабилизатор

Товар

Всяко електронно устройство се нуждае от постояннотоково захранване – схема, която преобразува променливото напрежение от електрическата мрежа в постоянно. Обикновено в изхода на изправителите полученото напрежение е с малки флуктуации.

За да се премахнат те и за да се получи постоянно напрежение в товара, независимо от тока през него, се използва **стабилизатор на напрежение**, чиято основна част е ценеровият диод.

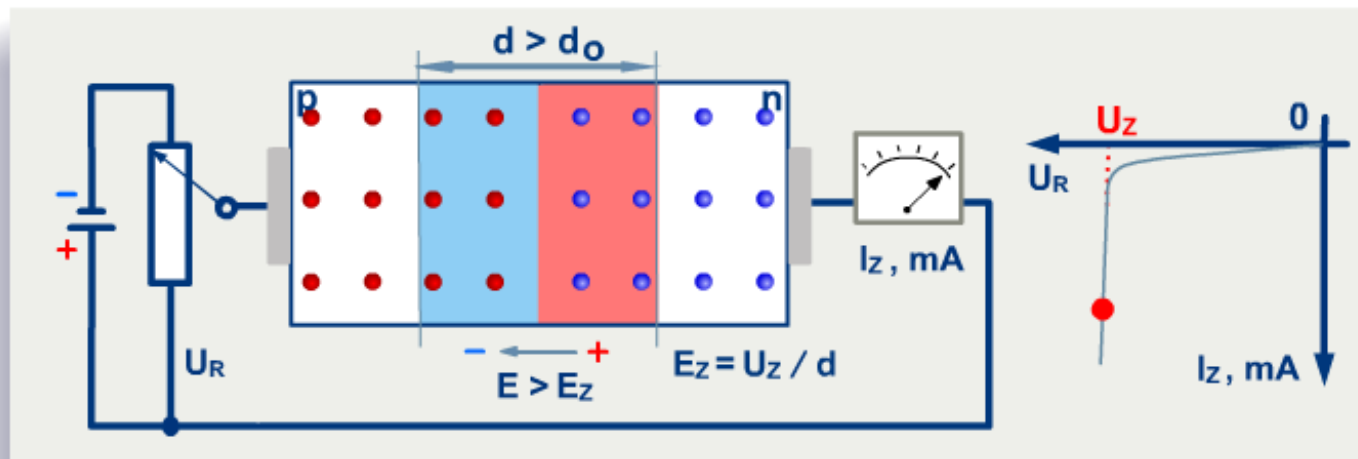
Символ на ценеров диод



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.

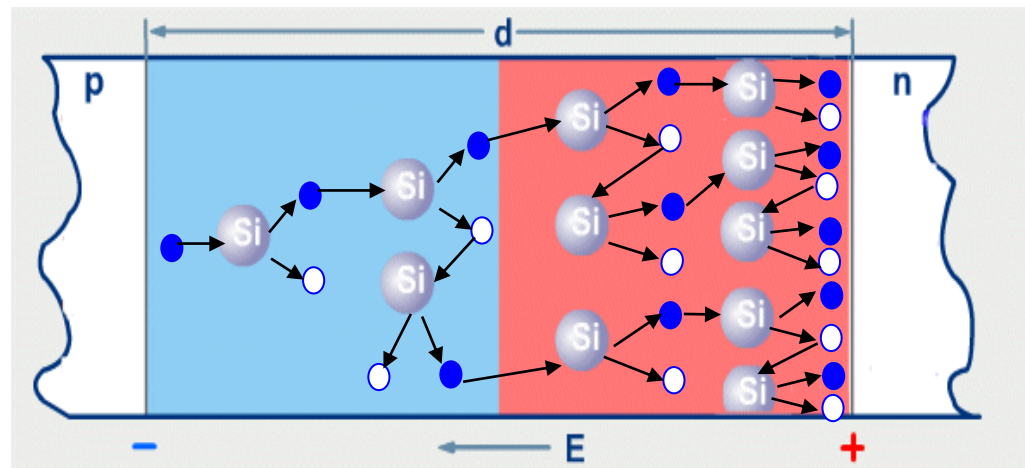
Принцип на действие



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**.

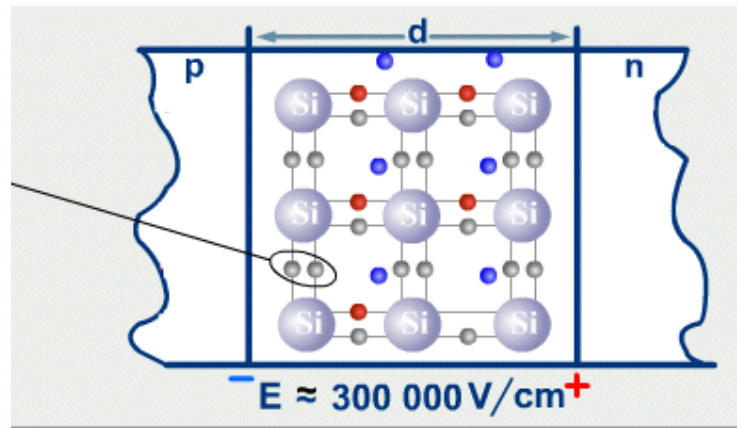
Лавинен пробив



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**.

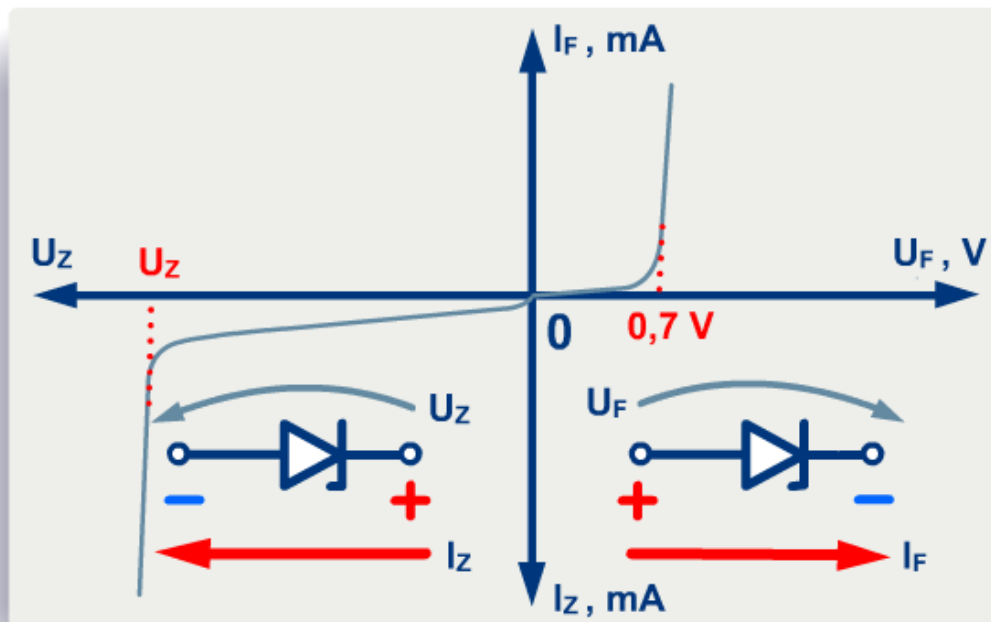
Ценеров пробив



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



Ценеровият диод може да работи в три области:

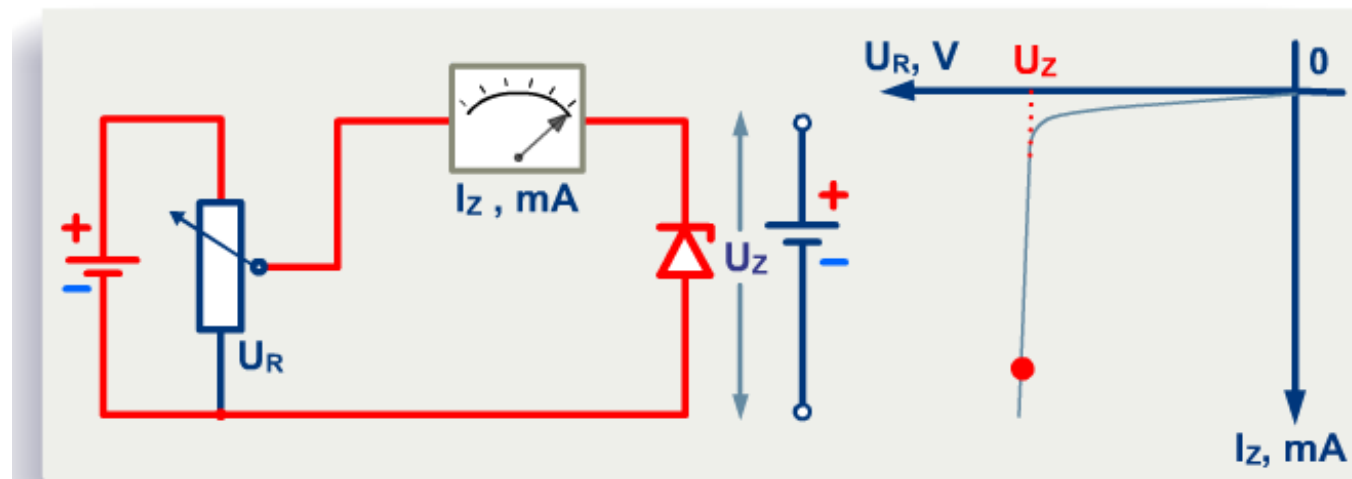
- ⊕ право включване;
- ⊕ обратно включване и
- ⊕ пробив.

При **право включване** той се отпушва при 0.7 V, точно като Si диод.

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

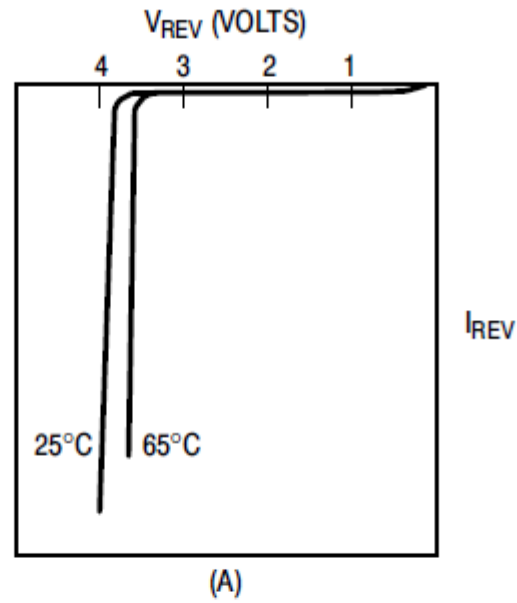
В **областта на пробив** се наблюдава рязко нарастване на тока при оставащо почти **постоянно напрежение**.

Област на пробив

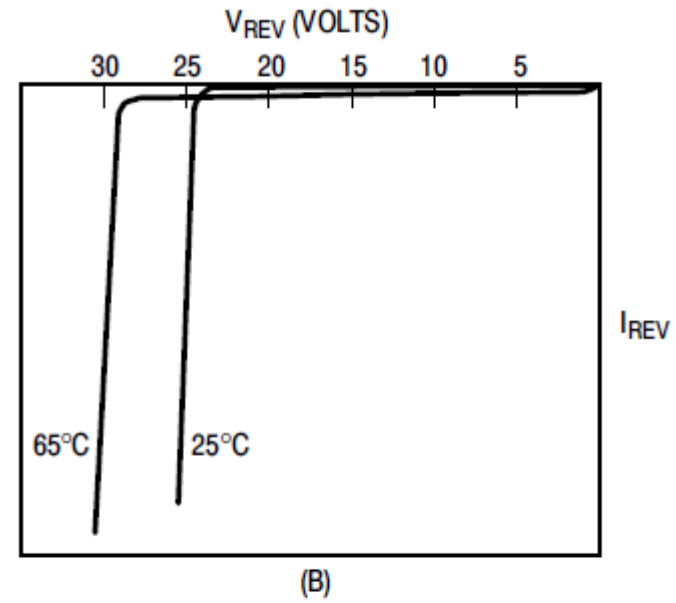


Ценеровият диод поддържа постоянно напрежение при значителна промяна на входното напрежение и тока през дода.

В областта на пробив ценеровият диод действа като **батерия** и диодът може да се замени с източник на постоянно напрежение с големина U_Z .



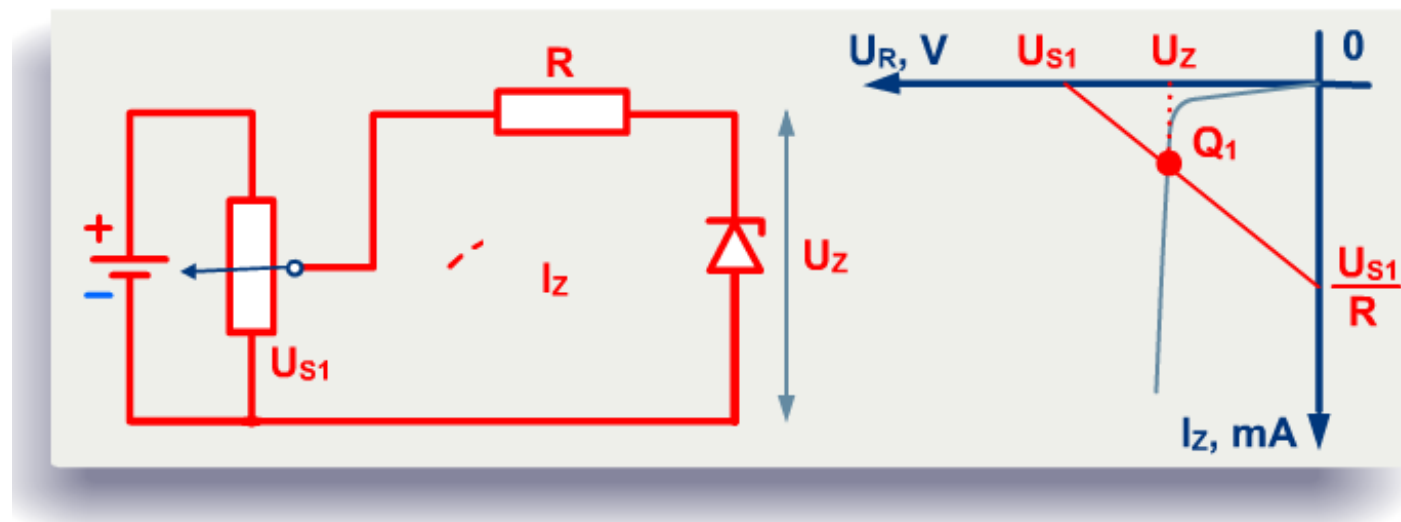
(A)
ZENER BREAKDOWN
OF A PN FUNCTION



(B)
AVALANCHE BREAKDOWN OF A PN FUNCTION

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

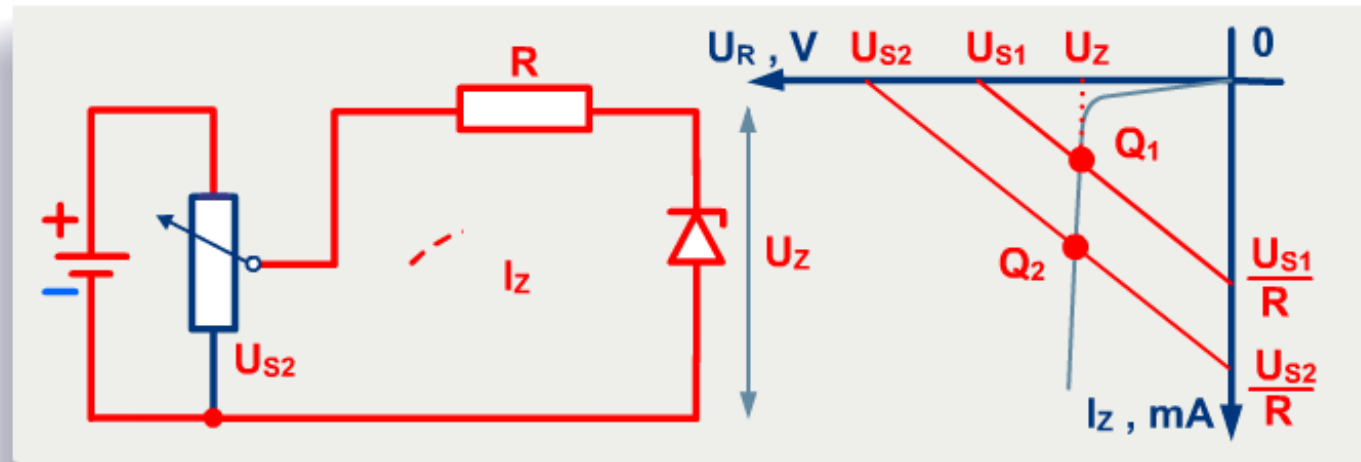
Товарна права и работна точка



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_1 .

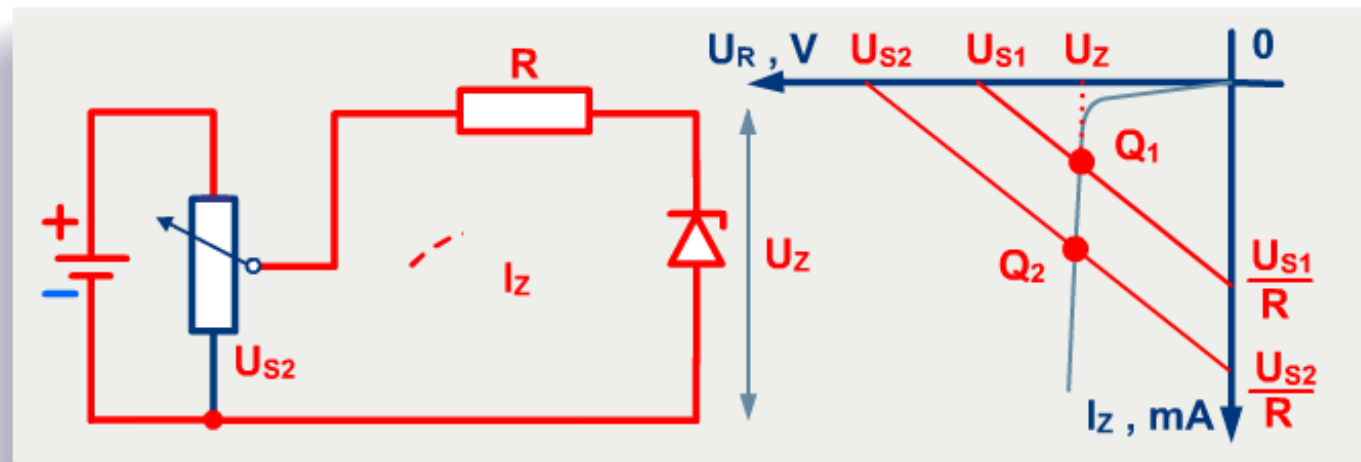
Преместване на товарната права



Промяната на захранващото напрежение довежда до промяна на тока в схемата.

При фиксирано съпротивление R наклонът на товарната права остава същия, но тя се премества успоредно към по-големите стойности на захранването. Новата работна точка е Q_2 .

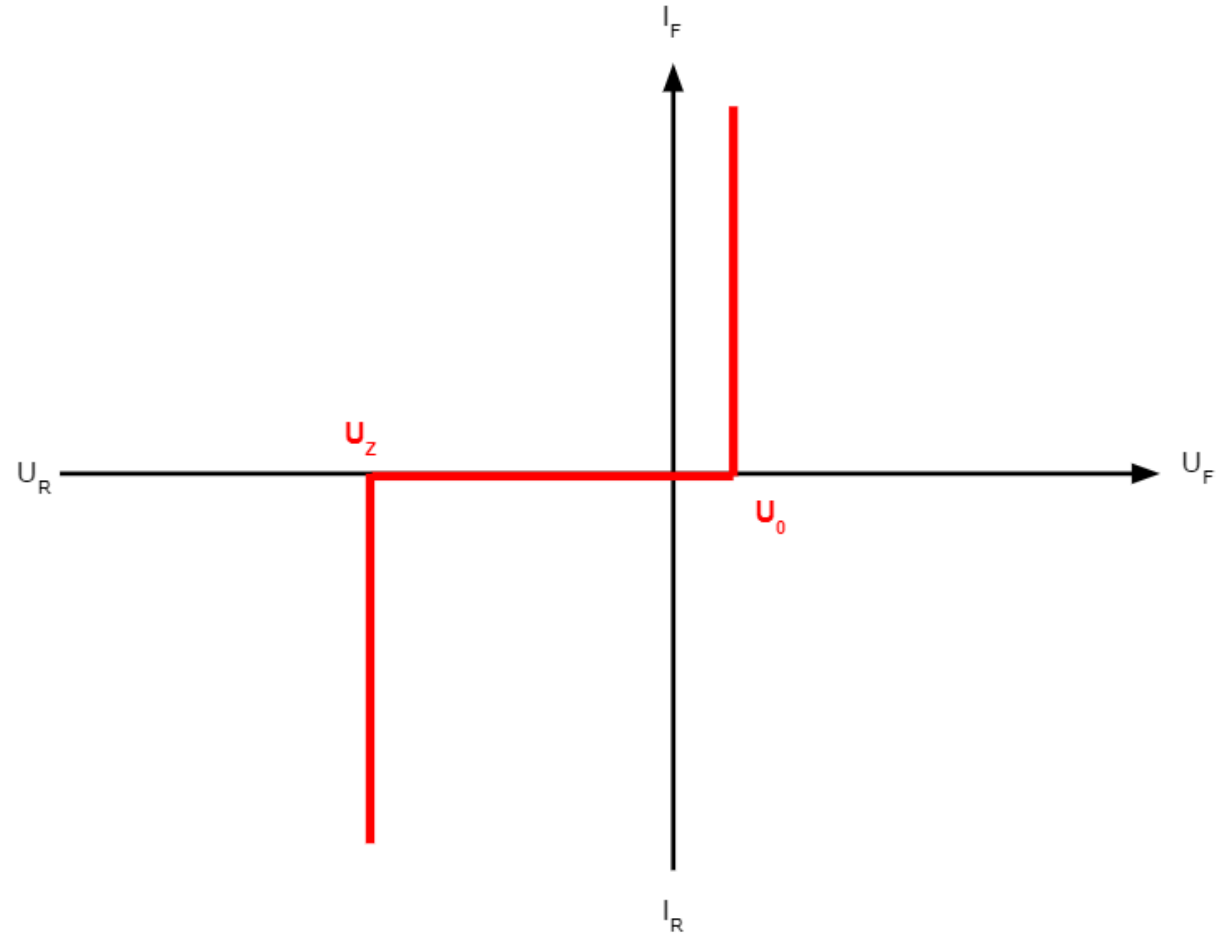
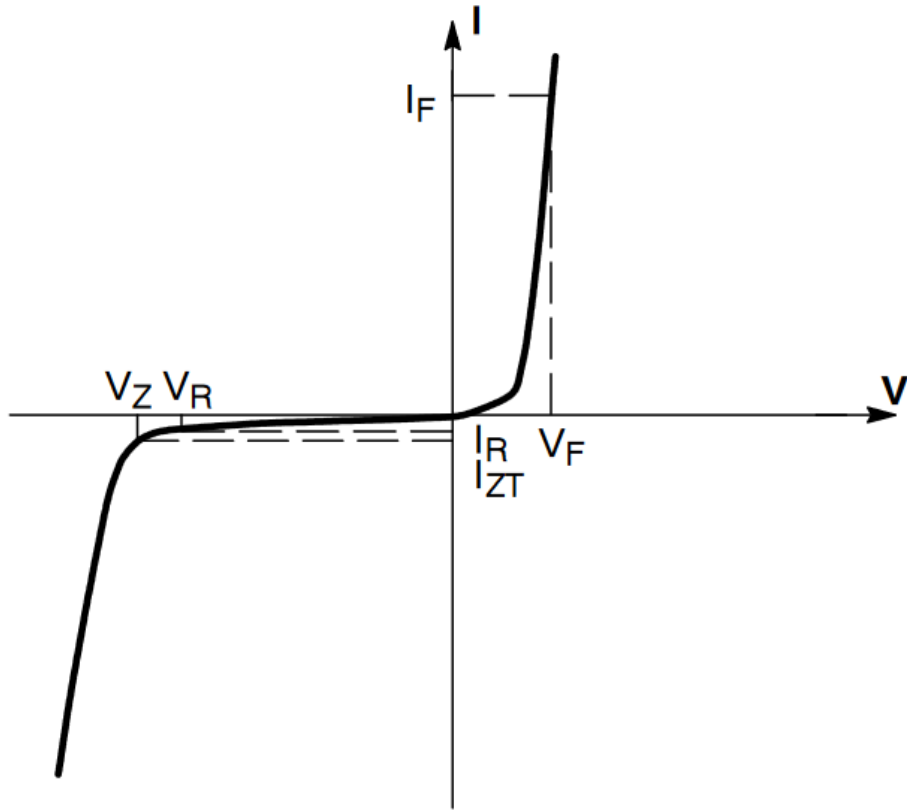
Идея за стабилизация

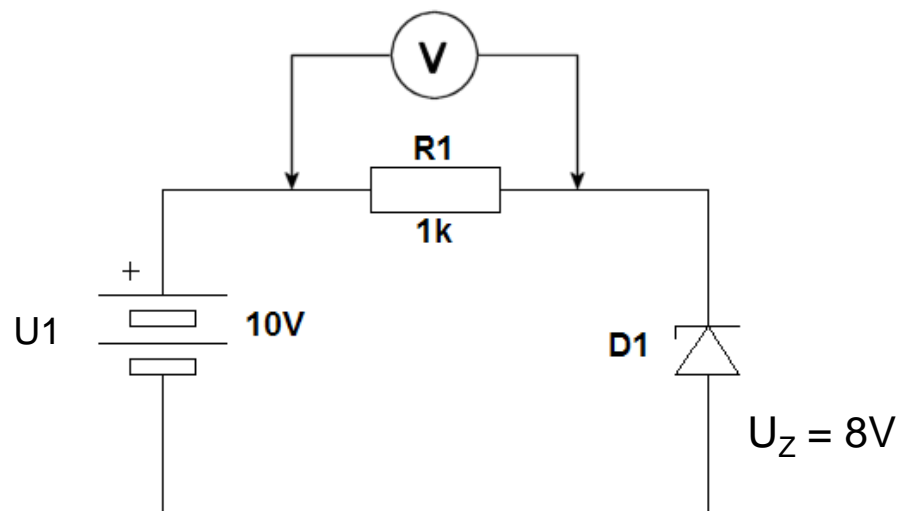


Промяната на захранващото напрежение довежда до промяна на работната точка, но напрежението в точките Q_1 и Q_2 остава почти постоянно и равно на напрежението на пробив U_Z .

Това е основната идея на **стабилизатора на напрежение** – изходното напрежение остава почти постоянно при значително изменение на входното напрежение и на тока през диода.

Прагов модел



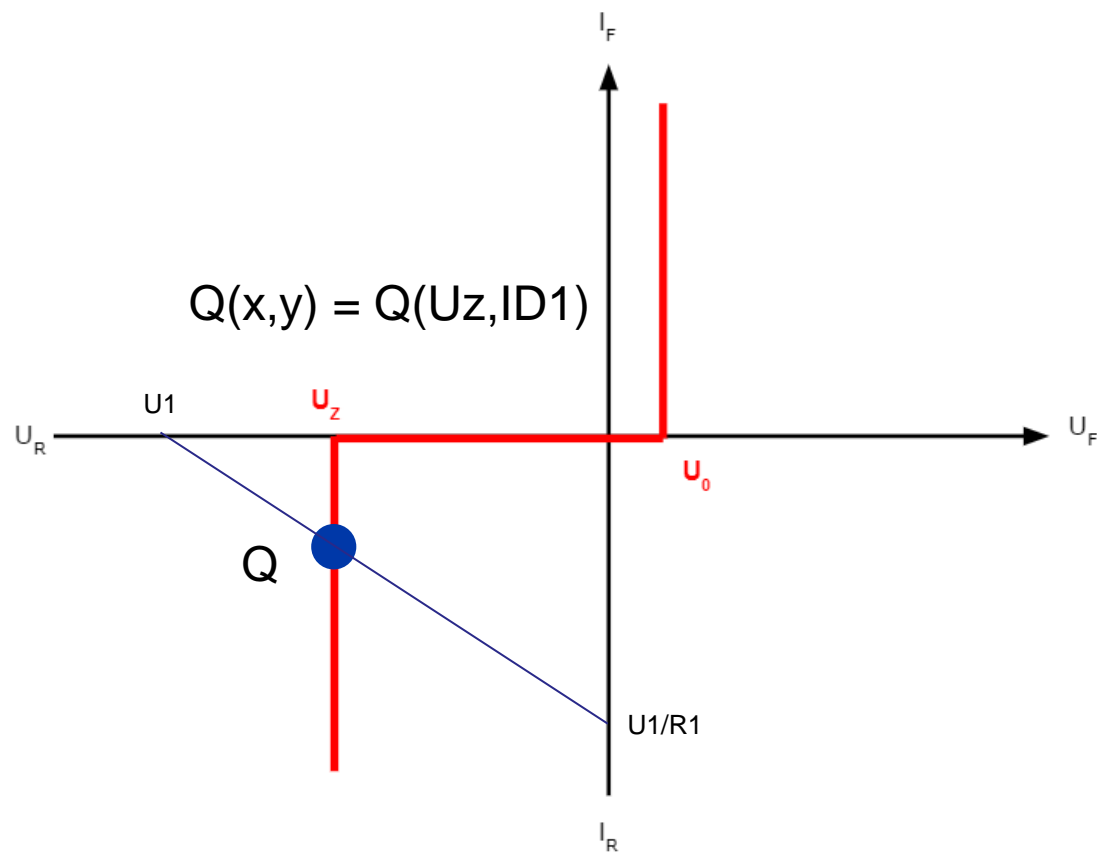


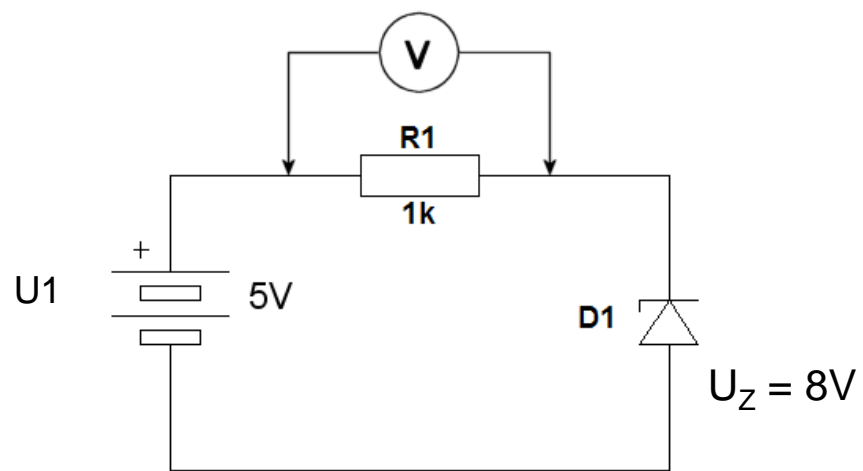
- Диодът е в обратно включване
- $U_1 > U_Z \Rightarrow$ Диодът е в режим на пробив с напрежение $U_{D1} = U_Z = 8V$

$U_{R1} = U_1 - U_{D1} = 10 - 8 = 2V$
според закона на Кирхоф

$$I_{R1} = U_{R1} / R_1 = 2V / 1k\Omega = 2mA$$

$$I_{D1} = I_{R1} = 2mA$$

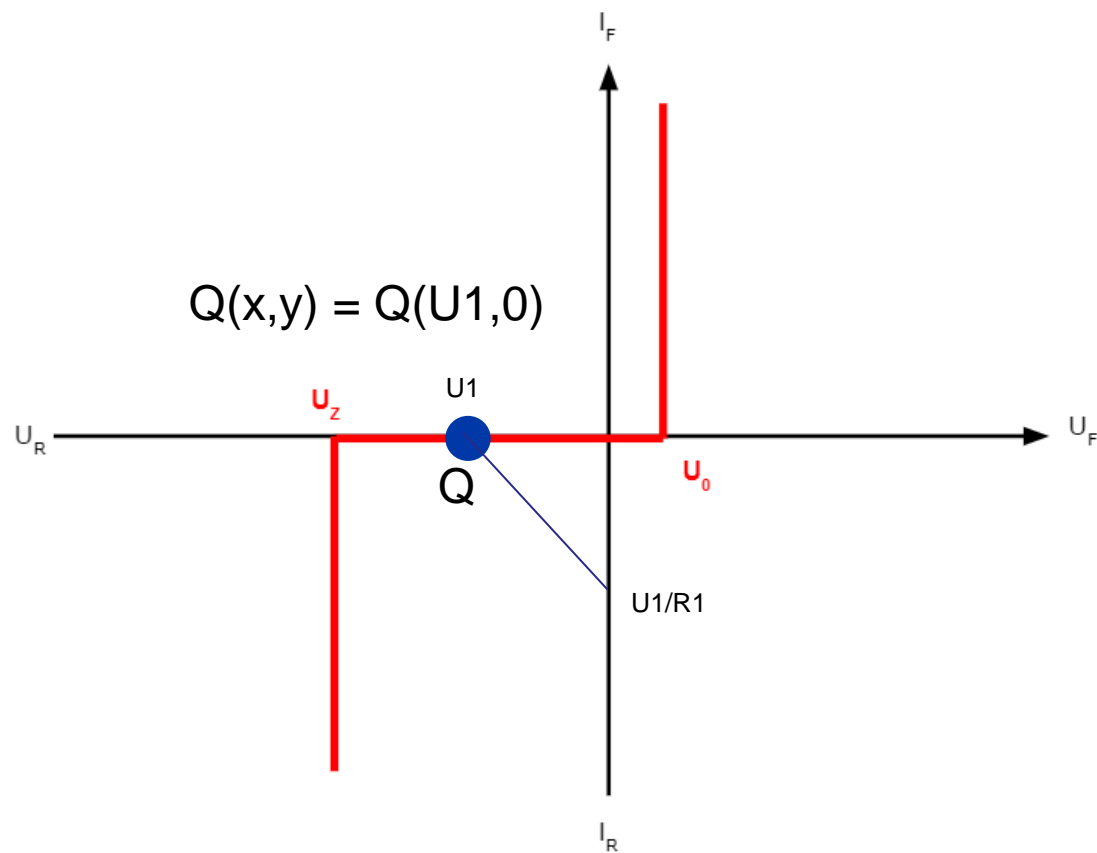




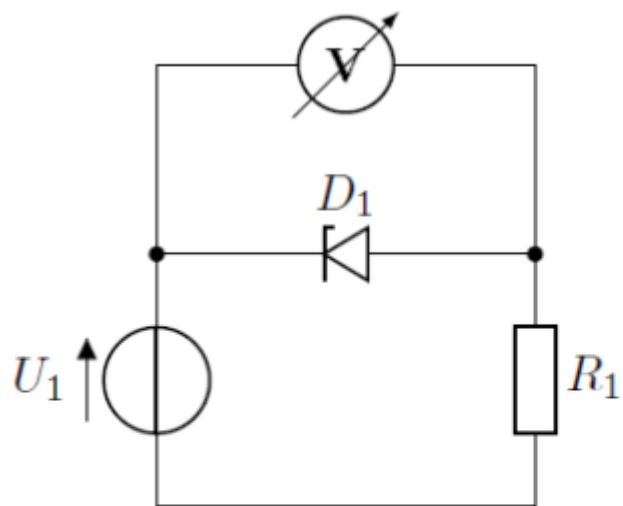
- Диодът е в обратно включване
- $U1 < U_Z \Rightarrow I = 0$

$UR1 = I \cdot R1 = 0V$, според закона на Ом

$UD1 = U1 - UR1 = 5 - 0 = 5V$, според закона на Кирхоф



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

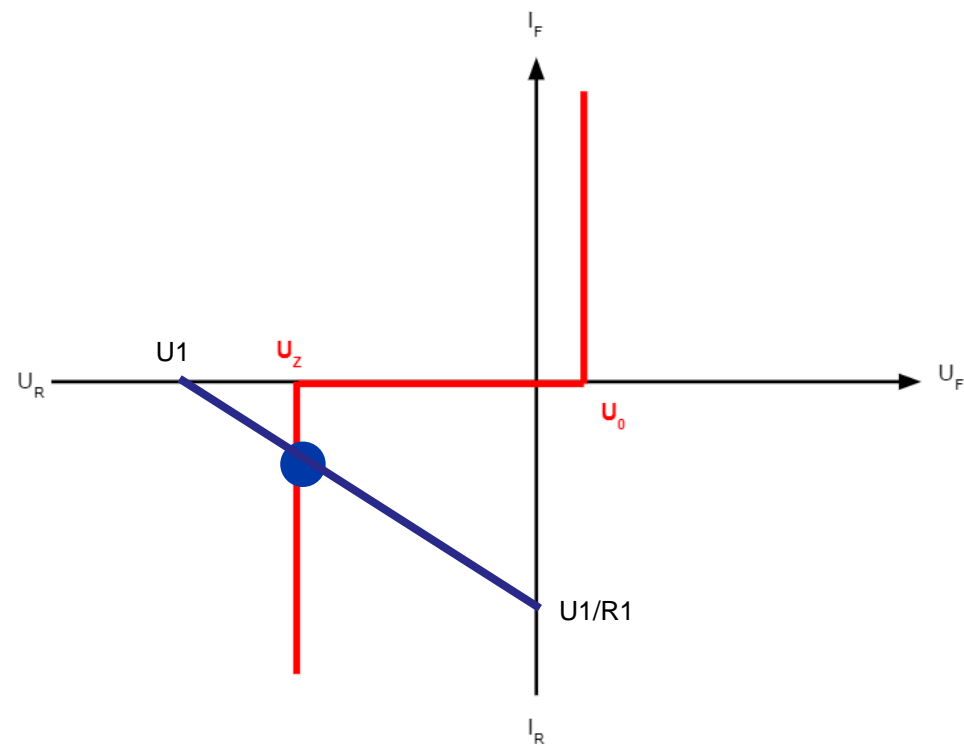


☐ 10V

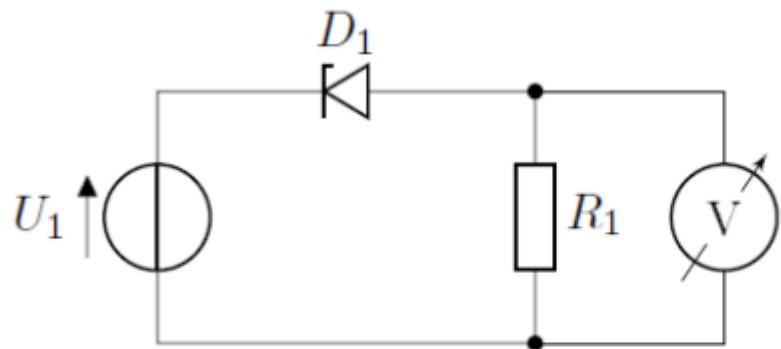
☒ 8V

☐ 2V

☐ 0V



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

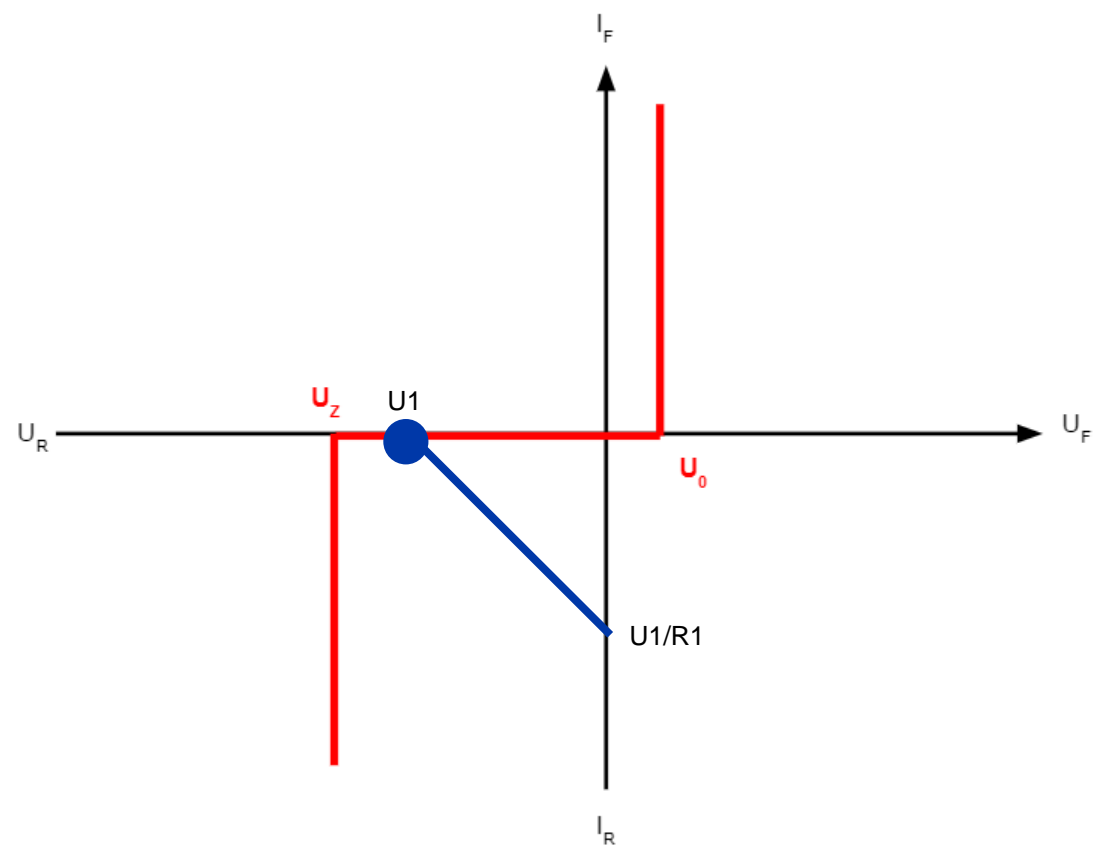


☐ 10V

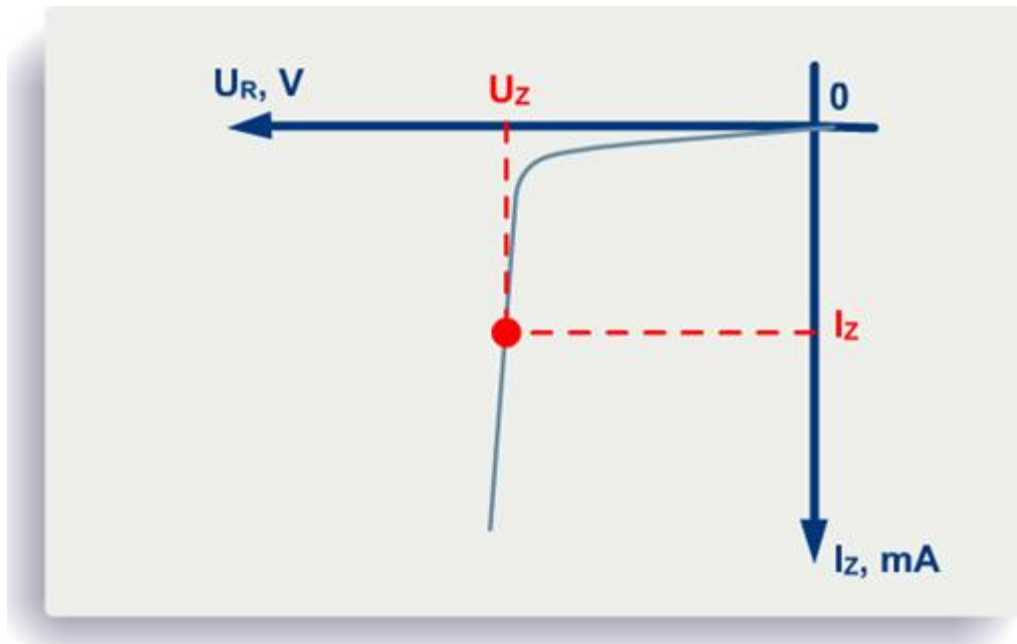
☐ 8V

☐ 2V

☒ 0V



Параметри – напрежение на пробив

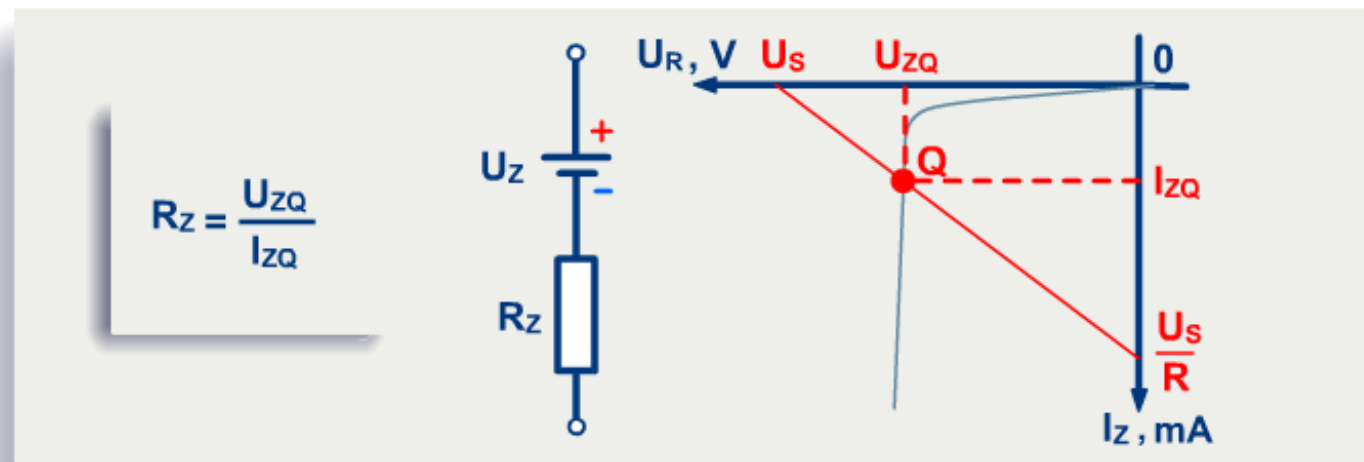


Ценеровите диоди се характеризират с напрежение на пробив U_Z , което се задава за конкретен ток I_Z .

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 в проценти.

Например силициевият ценеров диод BZY 92C9V1 има ценерово напрежение $U_Z = 9.1 \text{ V}$ с толеранс $\pm 5\%$.

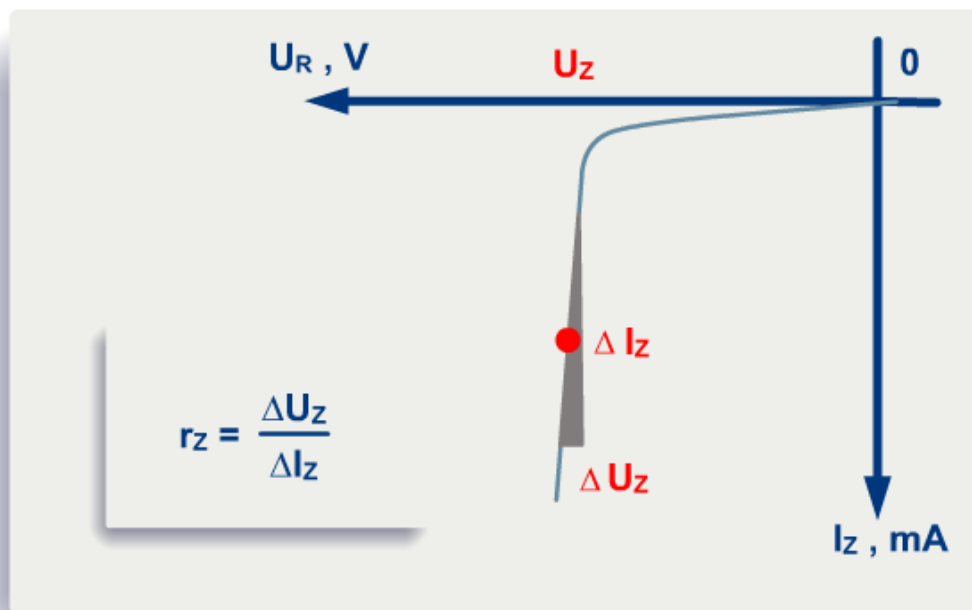
Статично съпротивление R_Z



Статичното (по постоянен ток) **съпротивление** R_Z се изразява с отношението на напрежението върху диода към тока, протичащ през него за определена работна точка.

За по-точни изчисления, ценовият диод може да се замени с идеален източник на напрежение, последователно свързан с малкото R_Z .

Динамично съпротивление r_z

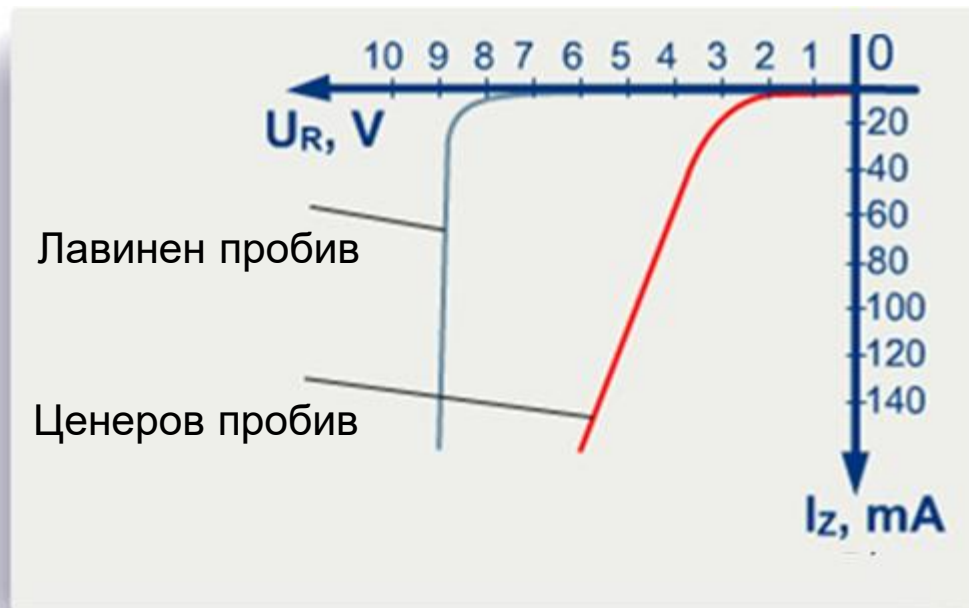


$$r = \frac{dU_z}{dI_z} \approx \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$$

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**.

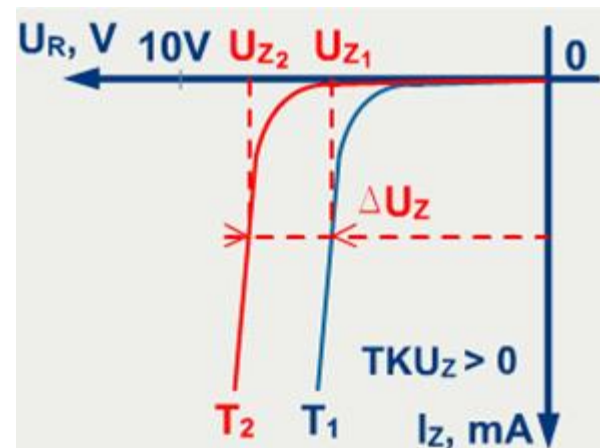
Динамичното съпротивление за диоди с лавинен пробив е по-малко от това при ценеров пробив.

Температурен коефициент

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

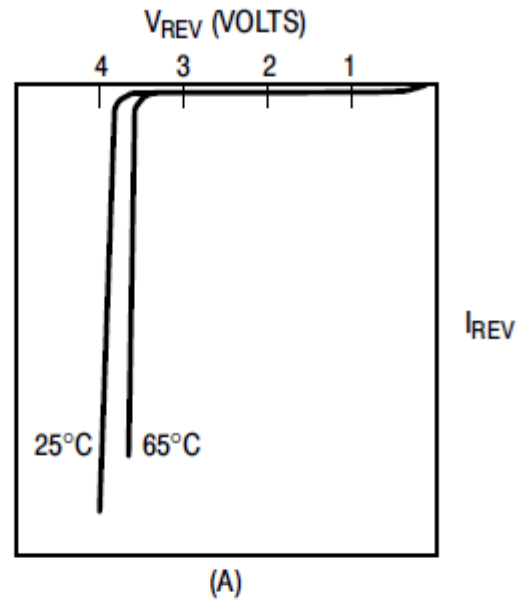
$$I_z = \text{const}$$

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

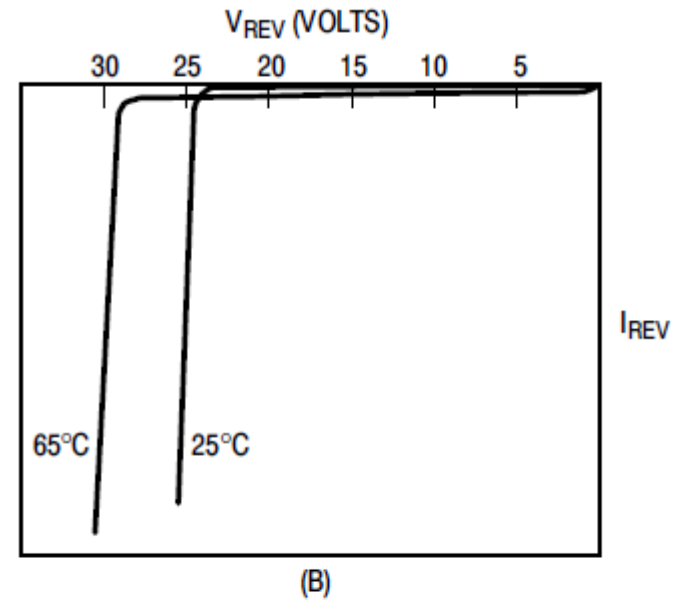


Температурният коефициент на напрежението на пробив TKU_z отчита влиянието на температурата върху стойността на пробивното напрежение в $mV/^{\circ}C$ или $\%/^{\circ}C$.

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

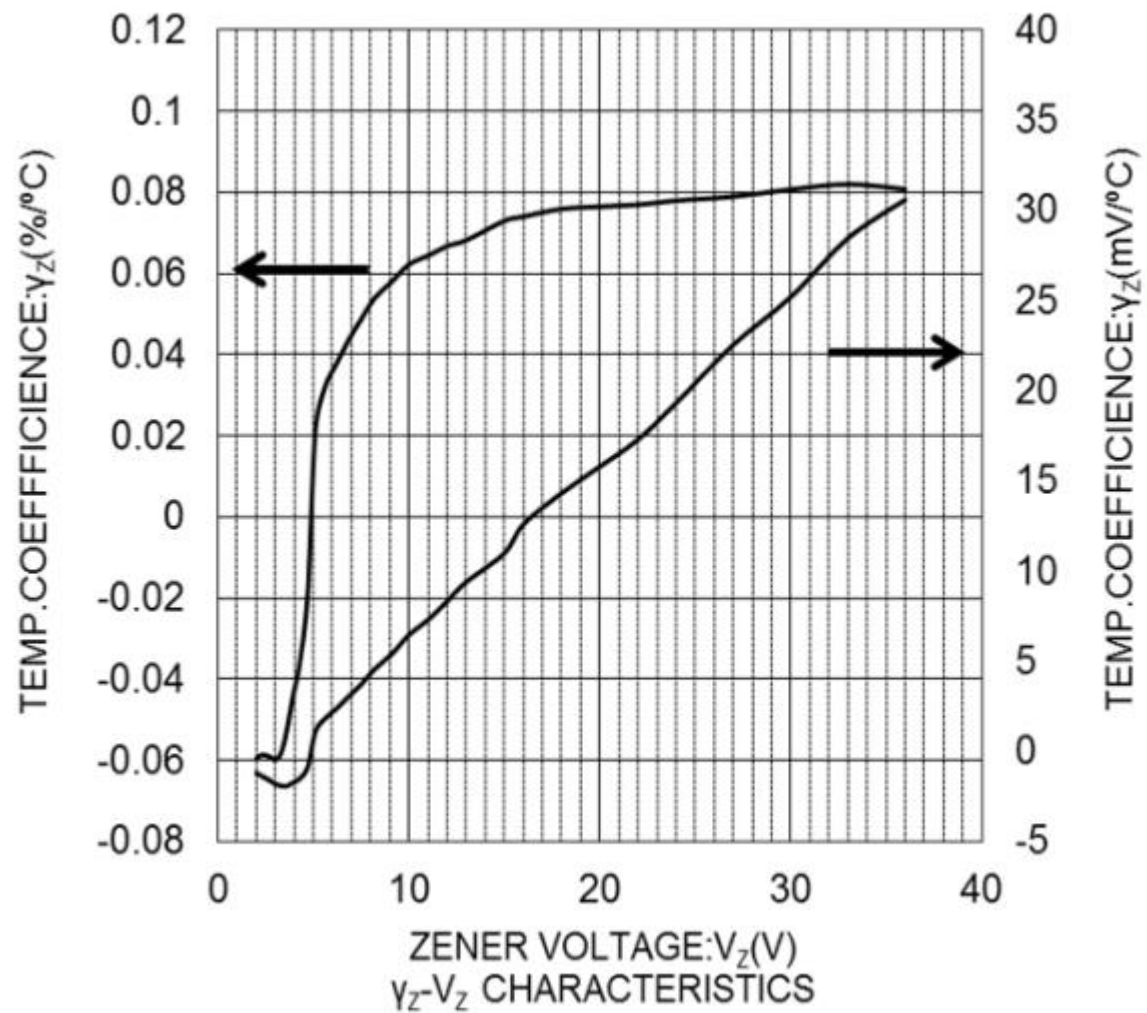
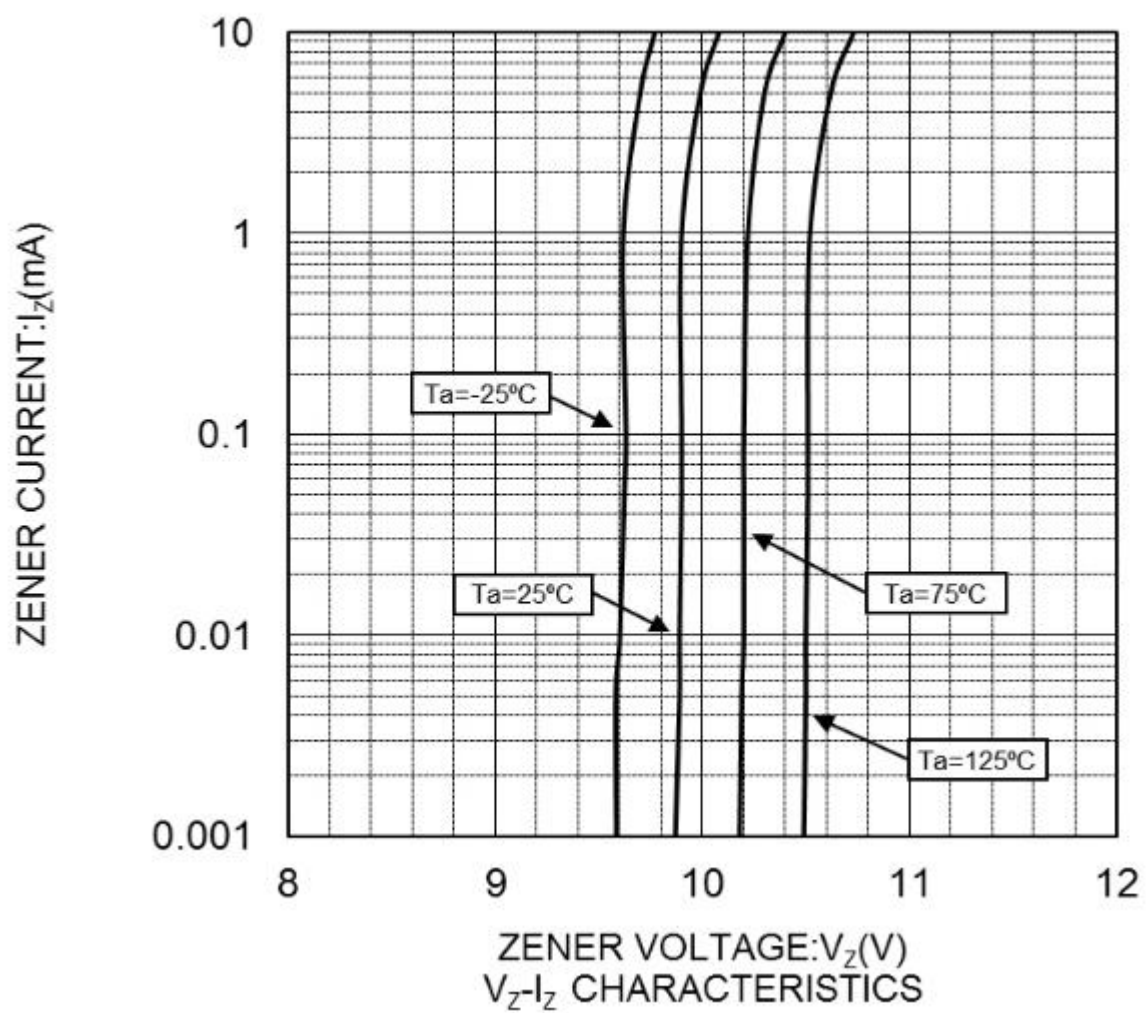


(A)
ZENER BREAKDOWN
OF A PN FUNCTION

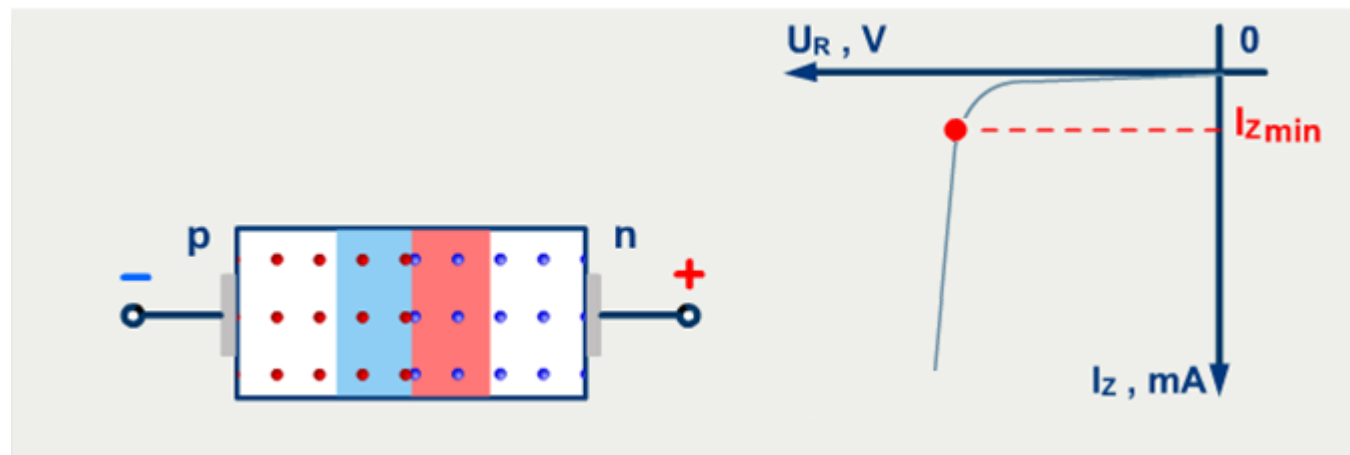


(B)
AVALANCHE BREAKDOWN OF A PN FUNCTION

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



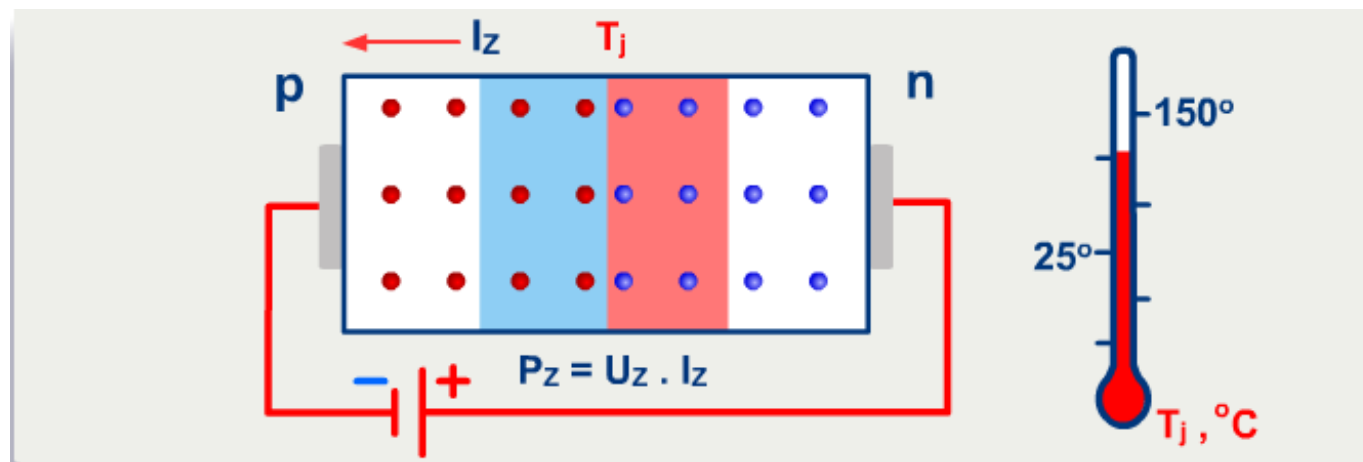
Минимален обратен ток



I_{zmin} е **минималният обратен ток**, при който пробивът става стабилен. Определя се от съображение, че при много малки токове процесът на ударна йонизация е неустойчив и възникват значителни шумове.

За да работи диодът в областта на пробив, токът през него трябва да надвишава I_{zmin} .

Максимална мощност



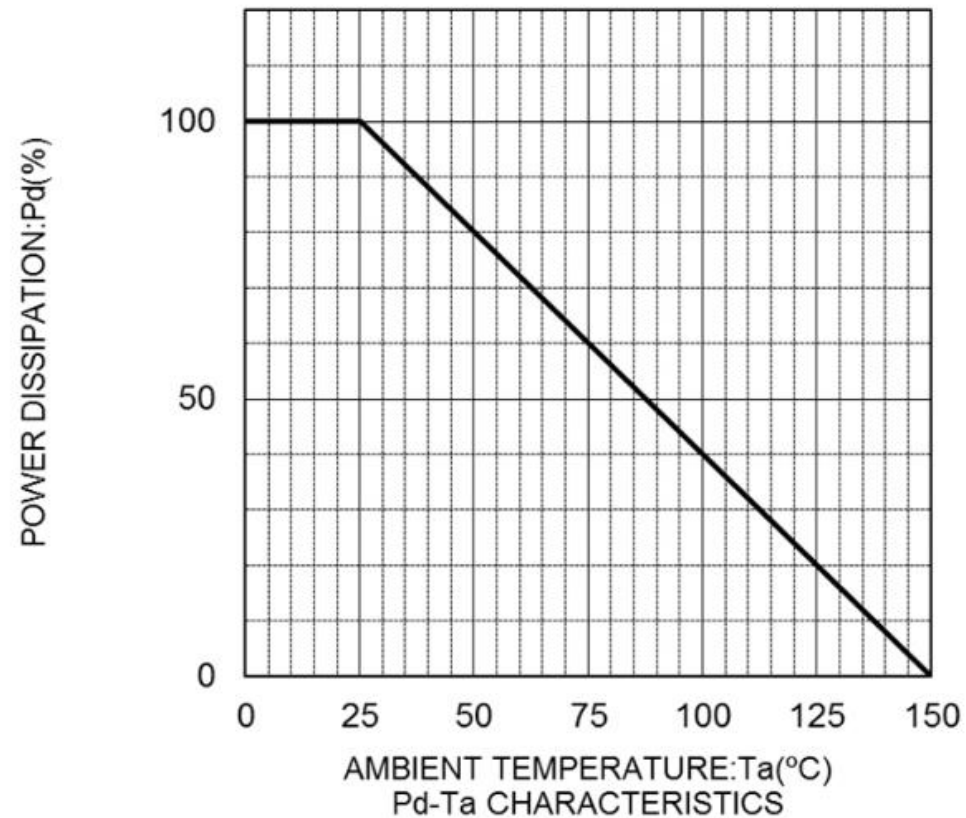
Мощността, отделена в ценеровия диод е $P_z = U_z \cdot I_z$. **Максимално допустимата мощност** P_{zmax} е най-голямата мощност, разсейвана от PN прехода, при която не възниква топлинен пробив.

Докато отделената мощност P_z не надвиши **максимално допустимата мощност** P_{zmax} ценеровият диод работи в областта на електрически пробив без да се разруши.

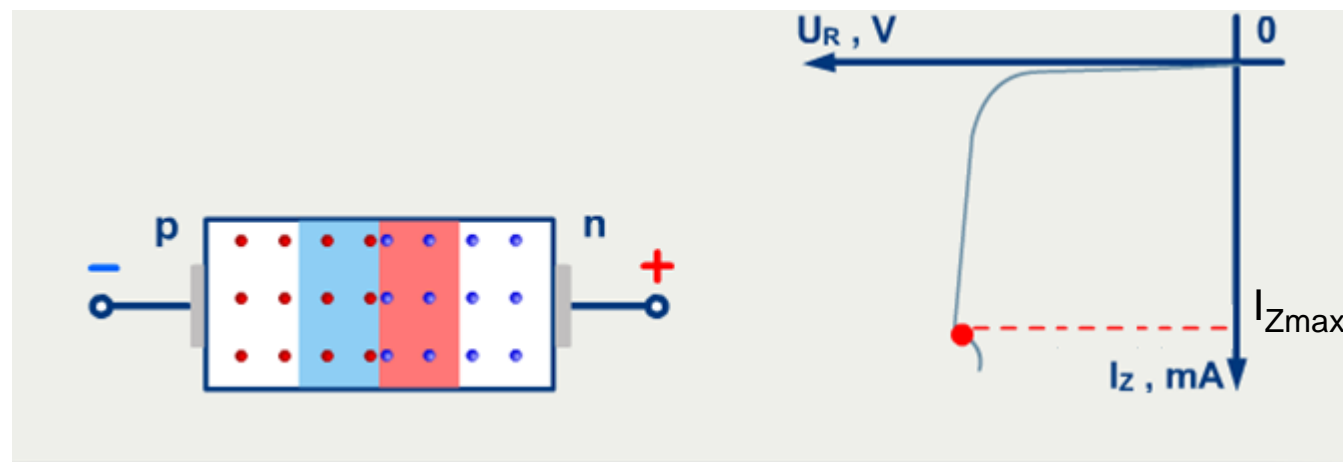
EDZV10B

● 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}	$-55 \sim 150$	$^{\circ}\text{C}$



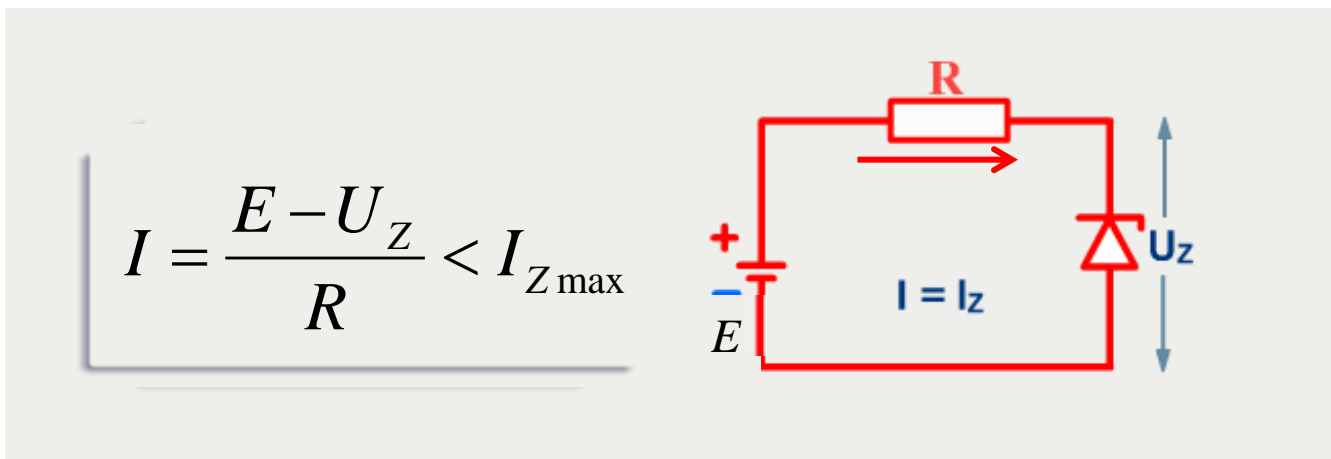
Максимално допустим ток



Максимално допустимият ток на ценовия диод I_{Zmax} е свързан с максимално допустимата мощност P_{Zmax} съгласно: $I_{Zmax} = P_{Zmax} / U_Z$, където U_Z е пробивното напрежение.

Параметърът I_{Zmax} дефинира максималния ток, който диодът може да поддържа без да надхвърли максимално допустимата мощност.

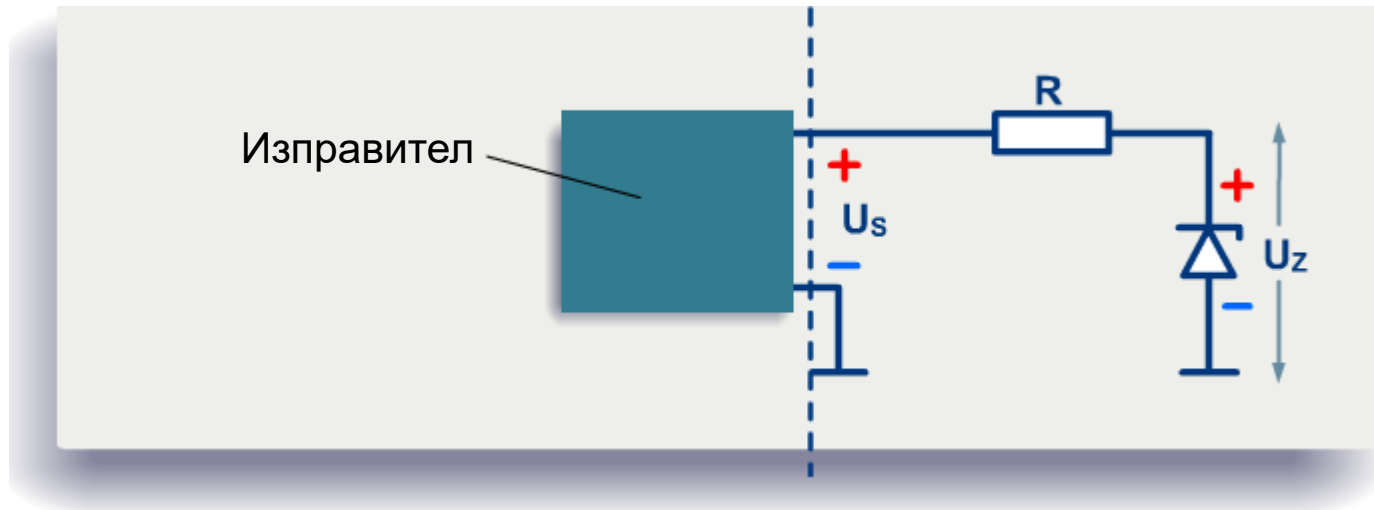
Токоограничаващ резистор



Предназначението на **токоограничаващия резистор** R е да поддържа тока през ценеровия диод по-малък от максимално допустимия ток $I_{Z_{\max}}$.

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

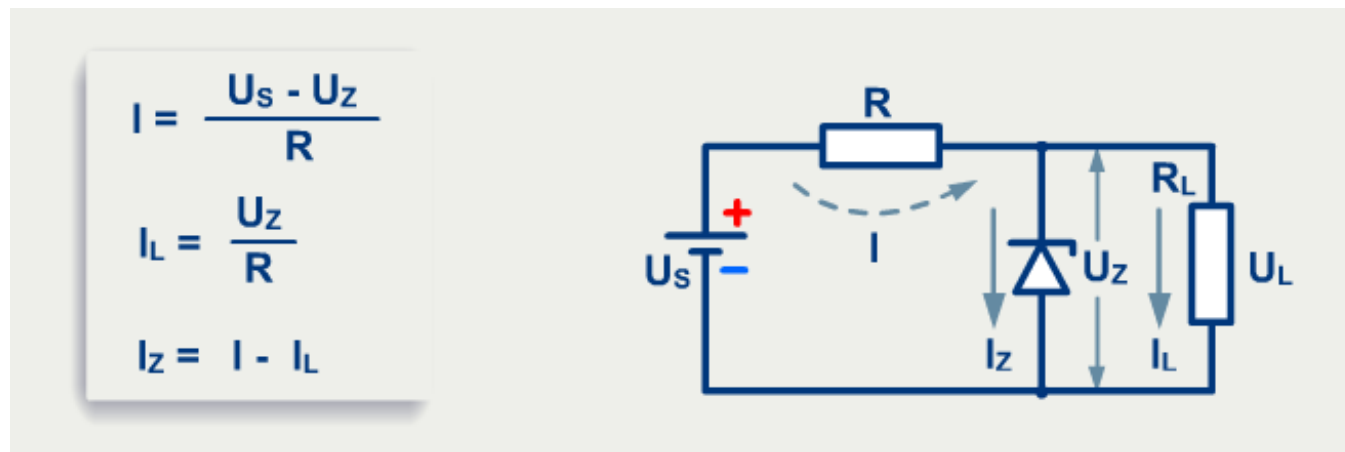
Приложения – стабилизатор



За нормално функциониране ценеровият диод трябва да свързан обратно и да работи в областта на пробив. Тогава изходното напрежение остава постоянно и при изменения на U_s .

За да се достигне областта на пробив захранващото напрежение U_s **трябва да е по-голямо от ценеровото напрежение** U_z . Резисторът R ограничава тока да не надвиши максимано допустимия за диода.

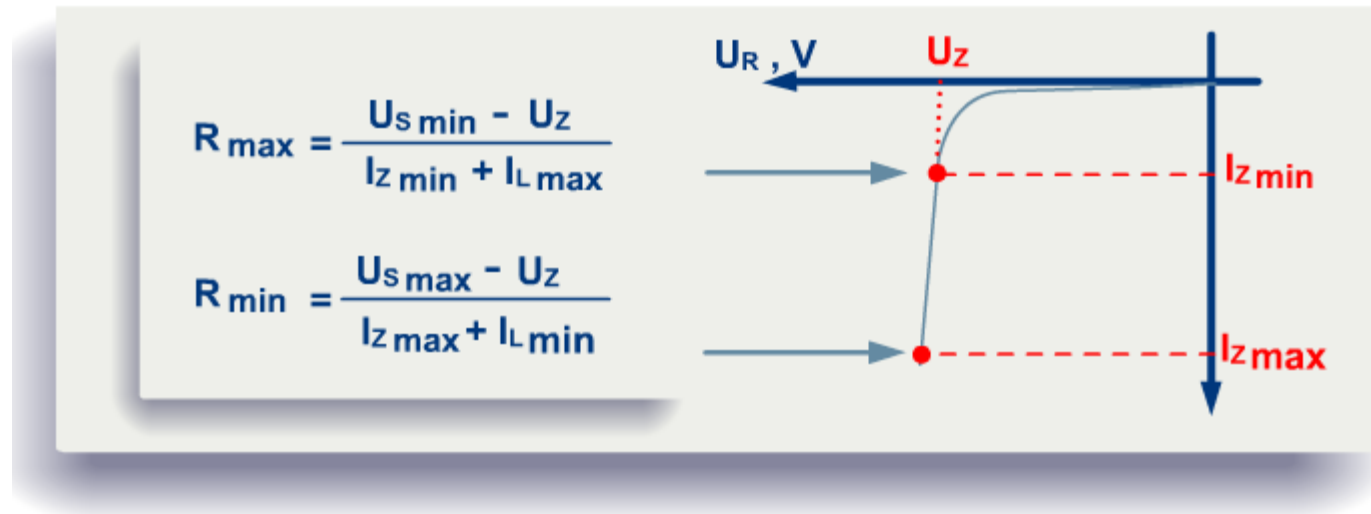
Схема на стабилизатор



Товарът R_L се свързва паралелно на ценовия диод. Ценовият диод поддържа **постоянно напрежение** върху товара $U_L = U_z$ независимо от големите промени в захранващия токоизточник или в товарното съпротивление.

Съпротивлението R е **токоограничаващо** съпротивление.

Условия за нормална работа



Критични стойности на
токоограничаващия резистор

Граници на областта на
пробив

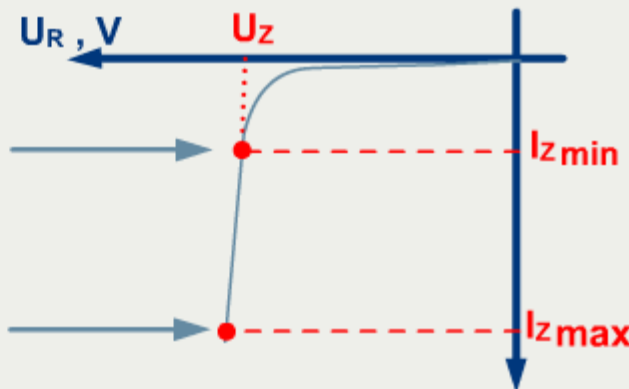
За да се поддържа постоянно изходно напрежение ценеровият диод **трябва да остава в областта на пробив при всички условия на работа** – т.е. токът да е по-голям от I_{Zmin} и по-малък от I_{Zmax} .

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

Изчисляване на R_{min} и R_{max}

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

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



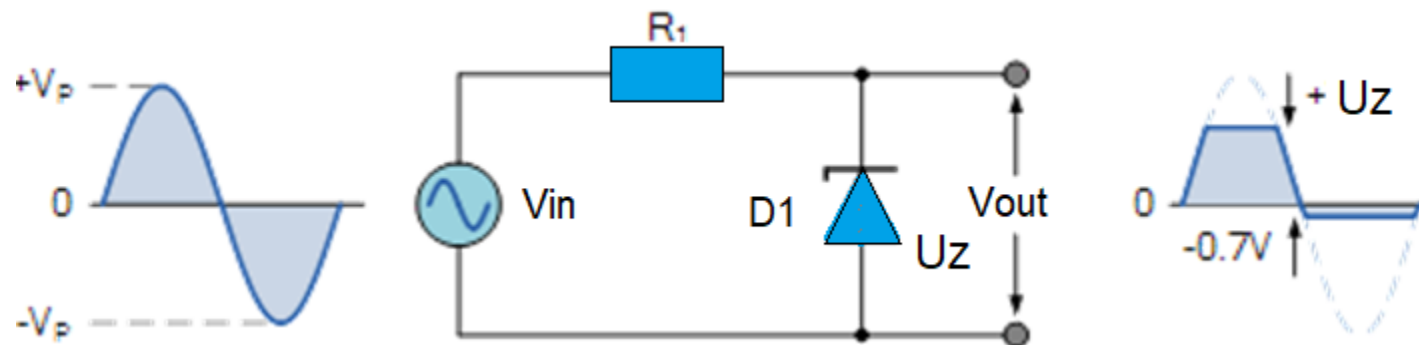
Критични стойности на
токоограничаващия резистор

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



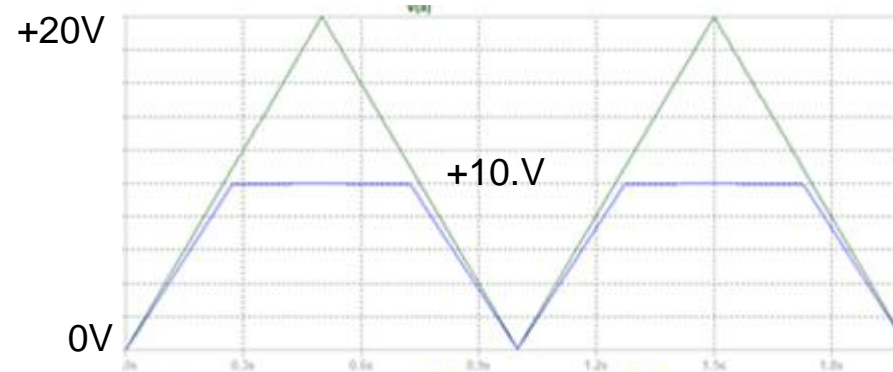
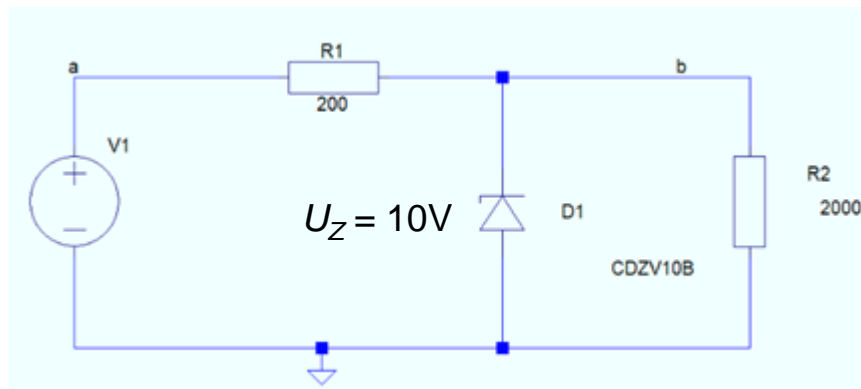
Ограничителят на напрежение отрязва напреженията на сигнала над и под специфицирано ниво. Той е полезен не само за ограничаване нивото на сигнала, но и за защита от пренапрежение на схемата, получаваща сигнала.

По време на положителния полупериод, когато входното напрежение надвиши напрежението на пробив U_Z на ценеровия диод, диодът D_1 работи в режим на пробив и ограничава изходния сигнал на нивото на ценерово 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, ценеровият диод е в право включване, действа като нормален диод и ограничава изходното напрежение до обичайната стойност $-0,7 V$.

Едностраниен ограничител

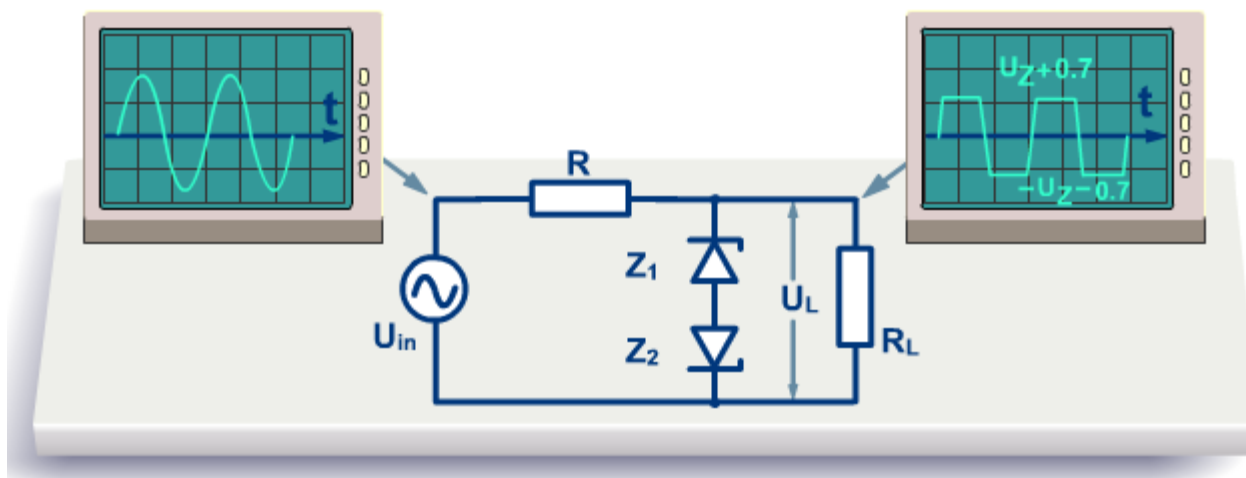


При положителен входен сигнал (от 0V до 10V), където $V_1 < U_Z$, ценеровият диод е в обратно включване, действа като отворен ключ и изходното напрежение следва входното напрежение.

Когато входното напрежение достигне напрежението на пробив U_Z и е по-високо от него, ценеровият 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.

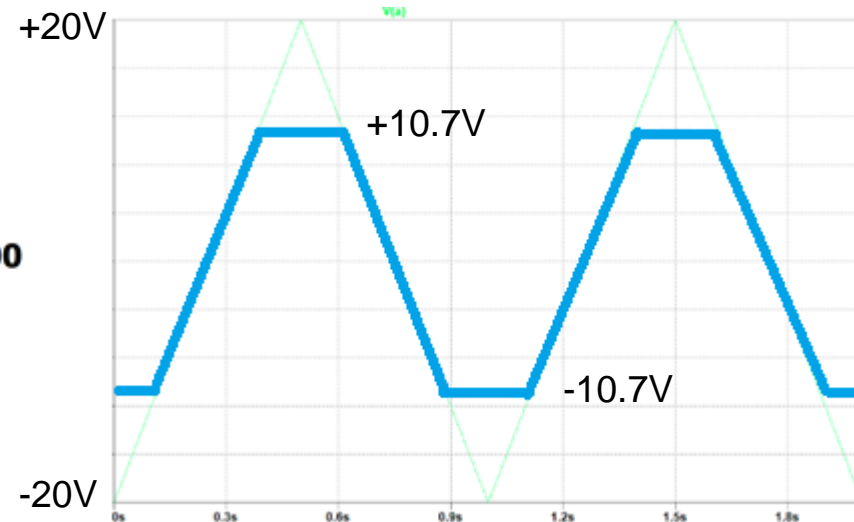
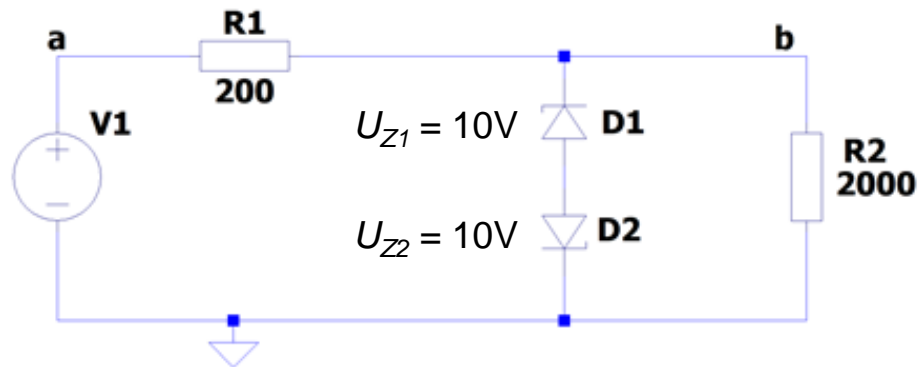
Двустранен ограничител



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 ценовия 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.

