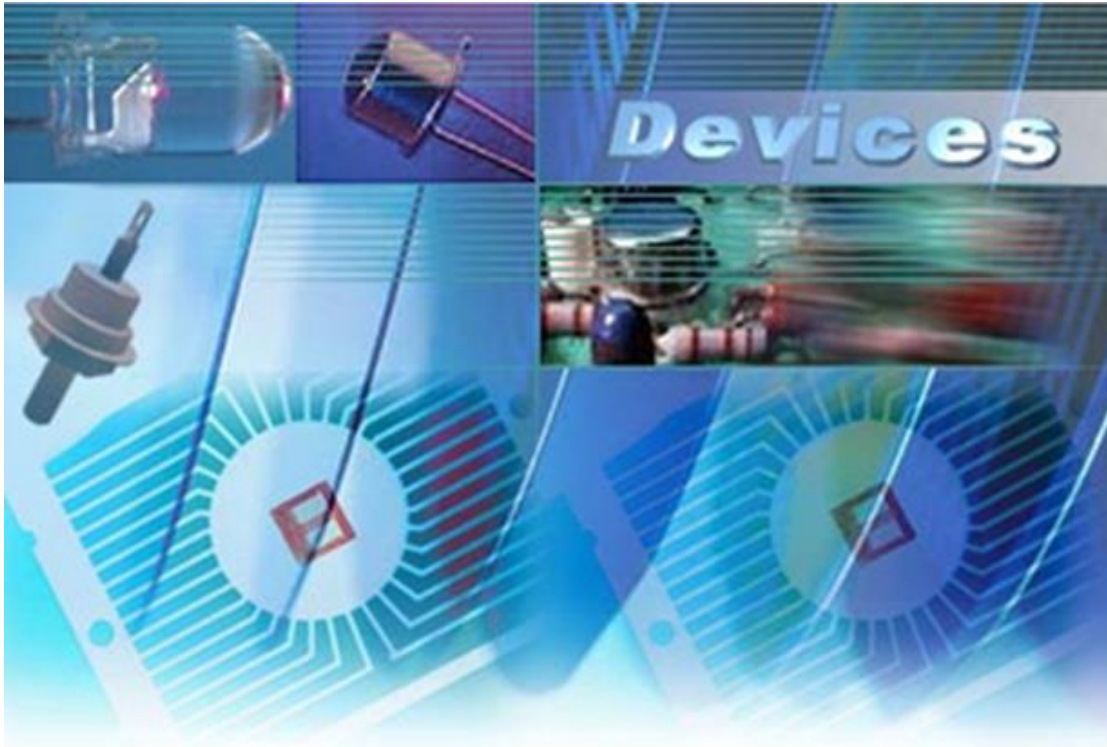


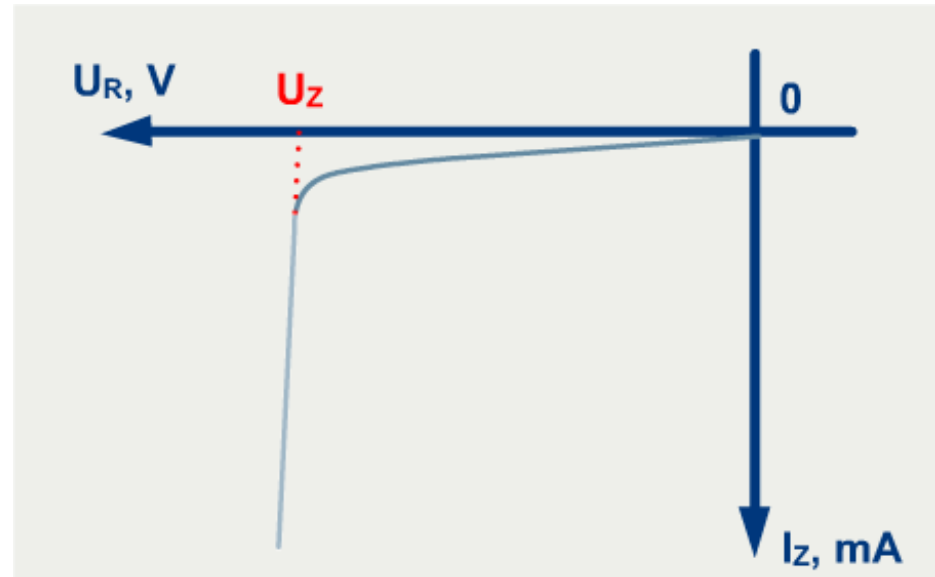


Ценеров диод



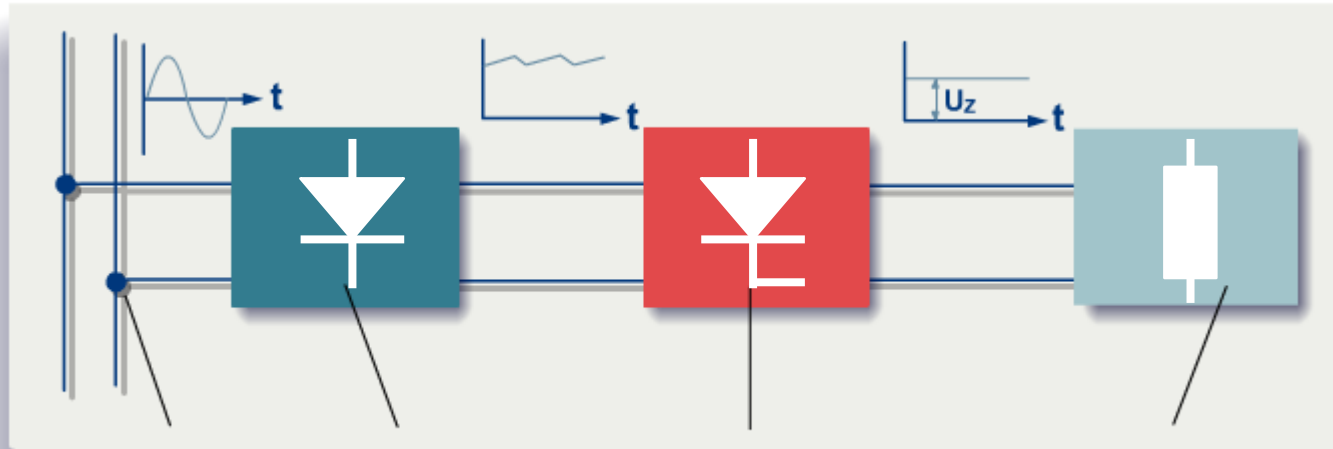
Полупроводникови
елементи

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.

Цели и предпоставки

Разглеждат се структурата, принципът на действие, характеристиките и параметрите на ценовите диоди и основните им приложения.

Познавате

- ✚ Свойствата на ценовите диоди
- ✚ Областите за приложението им

Разбирате

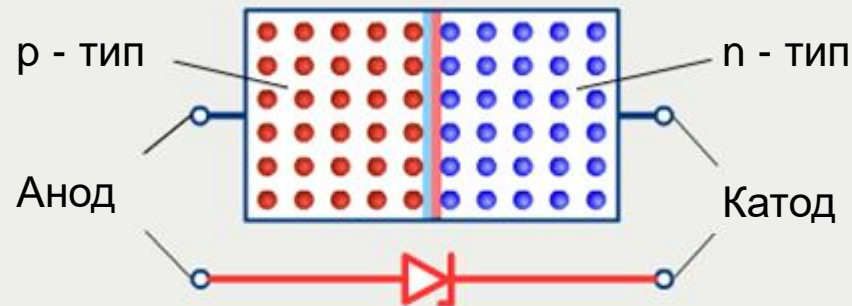
- ✚ Принципа на действие на ценовите диоди;
- ✚ Спецификите на диодите, работещи с двата механизма на пробив – лавинен и Ценов.

Анализирате

- ✚ Влиянието на температурата
- ✚ Токовете и напреженията в схеми с ценови диоди

Предпоставки: полупроводници, изправителни диоди

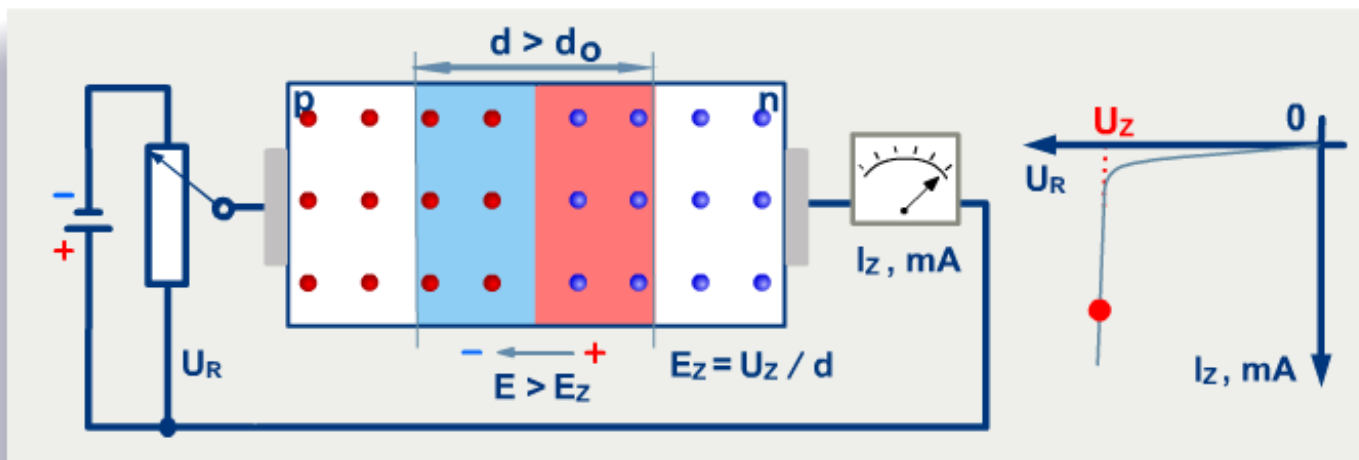
Символ на ценеров диода



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

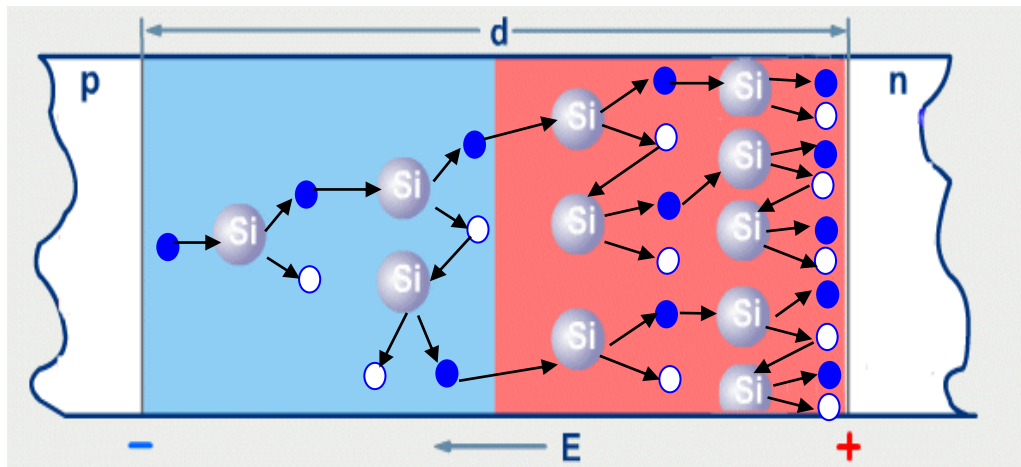
За да работи в областта на пробив, катодът на ценеровия диод трябва да е положително поляризиран спрямо анода му, т.е. диодът трябва да е в обратно свързване.

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**.

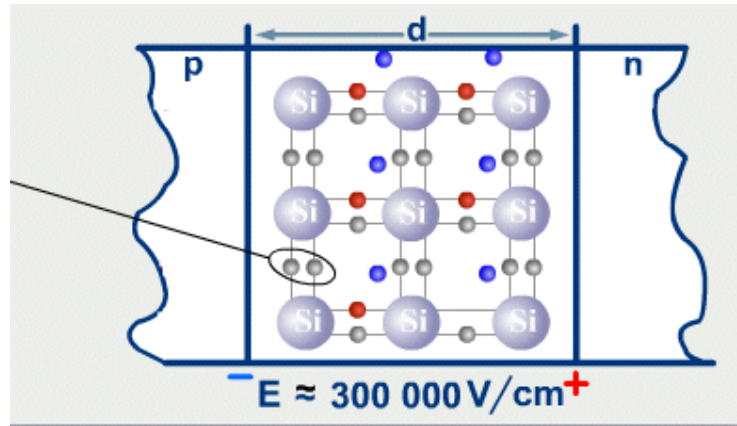
Лавинен пробив



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**.

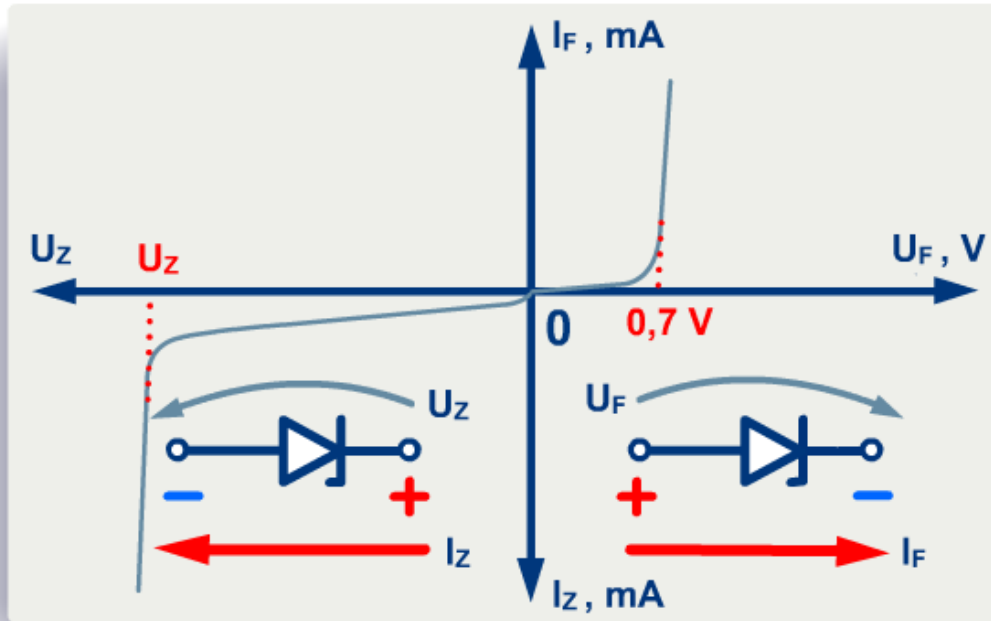
Ценеров пробив



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

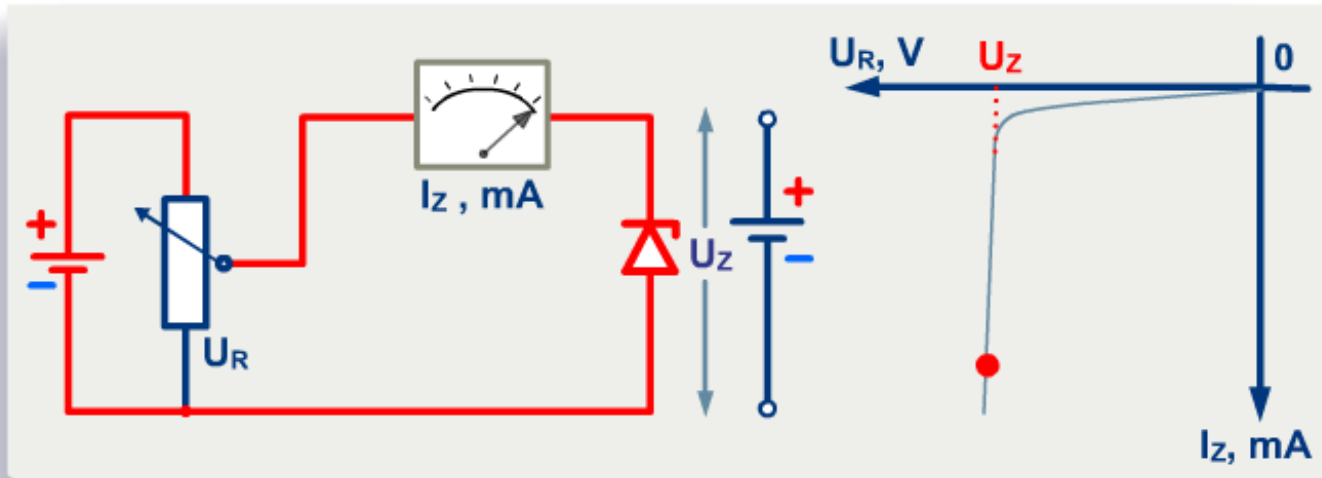


Ценеровият диод може да работи в три области:

- ⊕ 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.

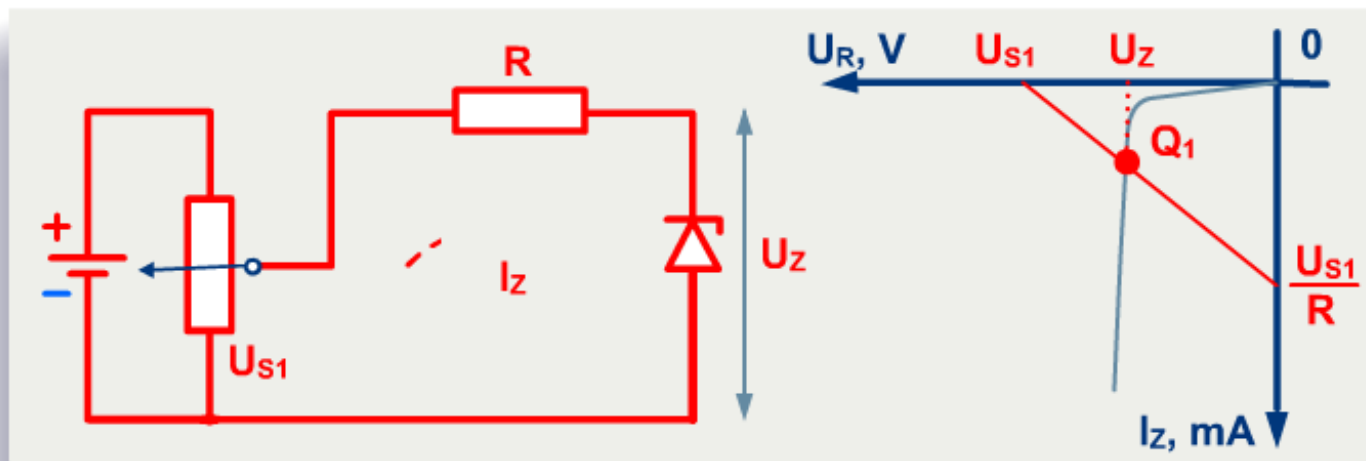
Област на пробив



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 .

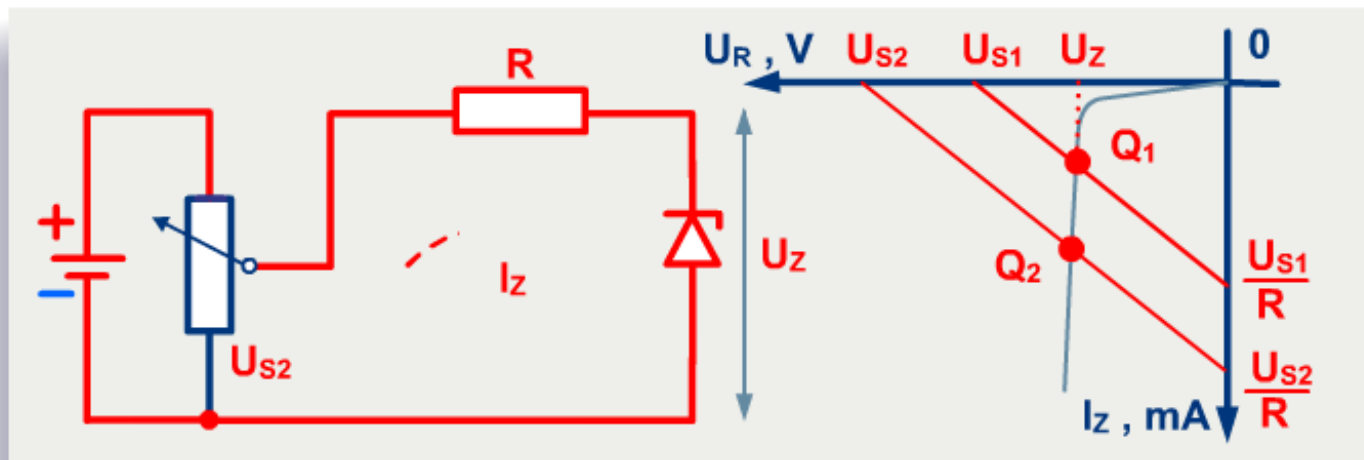
Товарна права и работна точка



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

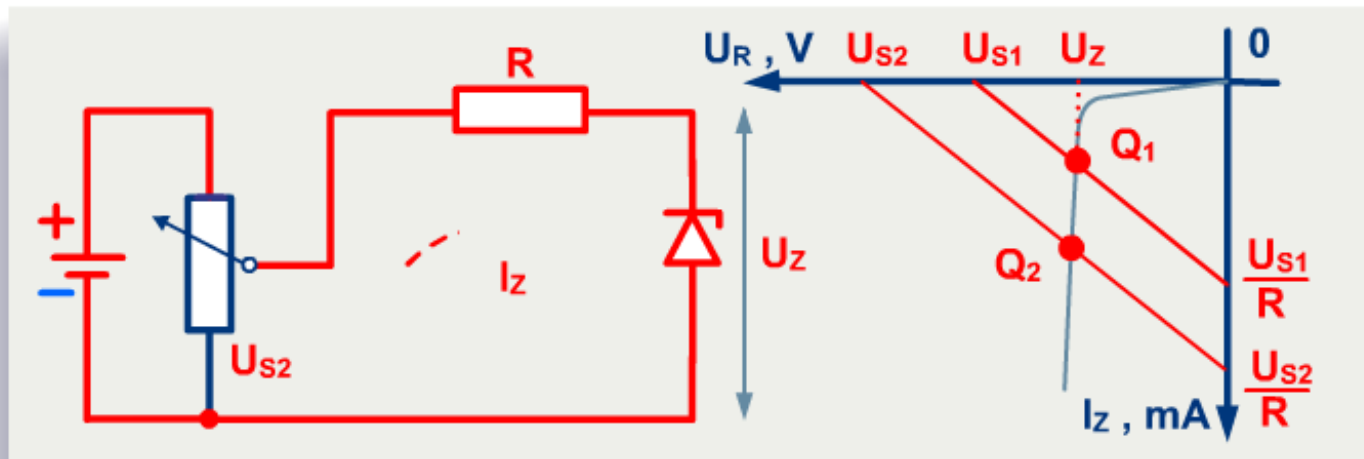
Точката на пресичане на товарната права с волтамперната характеристика определя **работната точка** Q_1 .

Преместване на товарната права



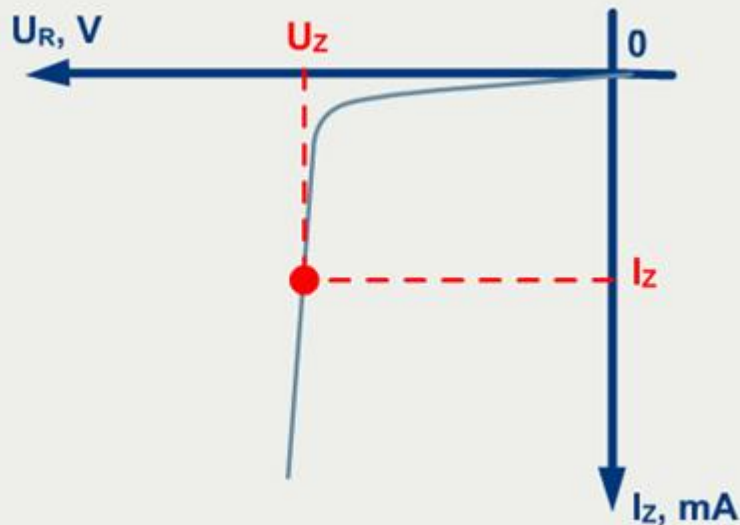
Промяната на захранващото напрежение довежда до промяна на тока в схемата. При фиксирано съпротивление R наклонът на товарната права остава същия, но тя се премества успоредно към по-големите стойности на захранването. Новата работна точка е Q_2 .

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.

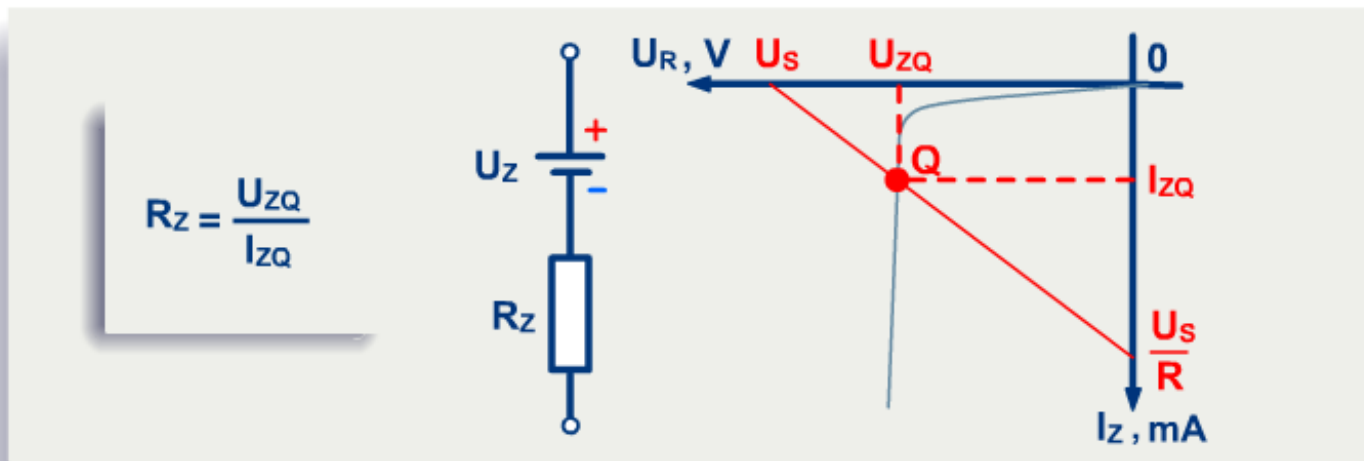
Параметри – напрежение на пробив



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 $\pm 5\%$.

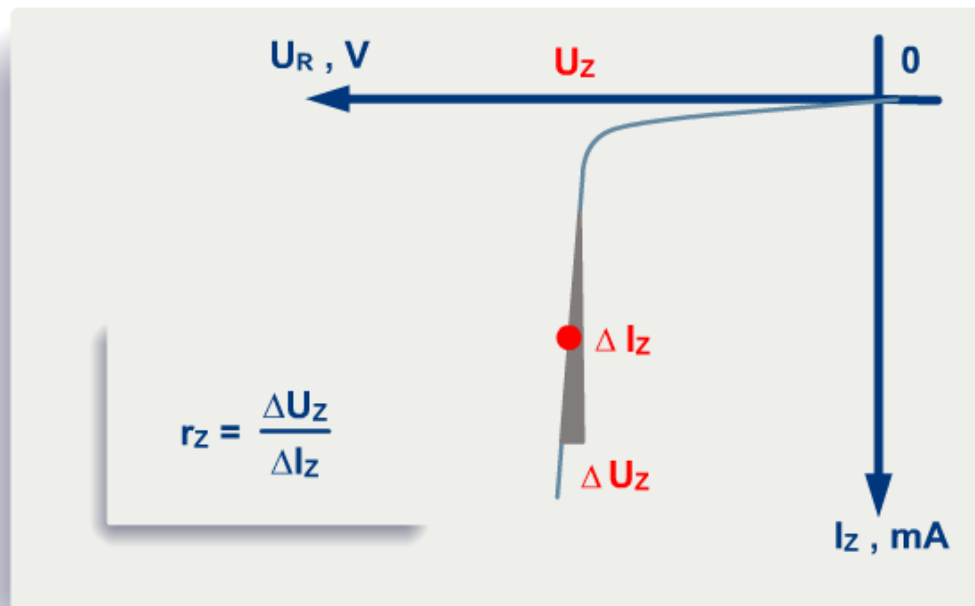
Статично съпротивление R_Z



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

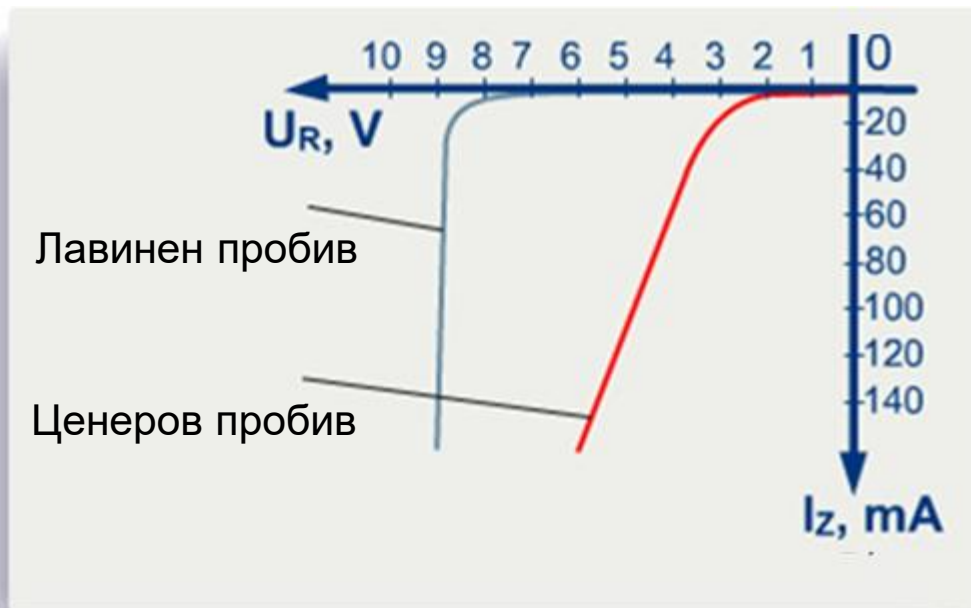


$$r = \frac{dU_Z}{dI_Z} \approx \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

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.

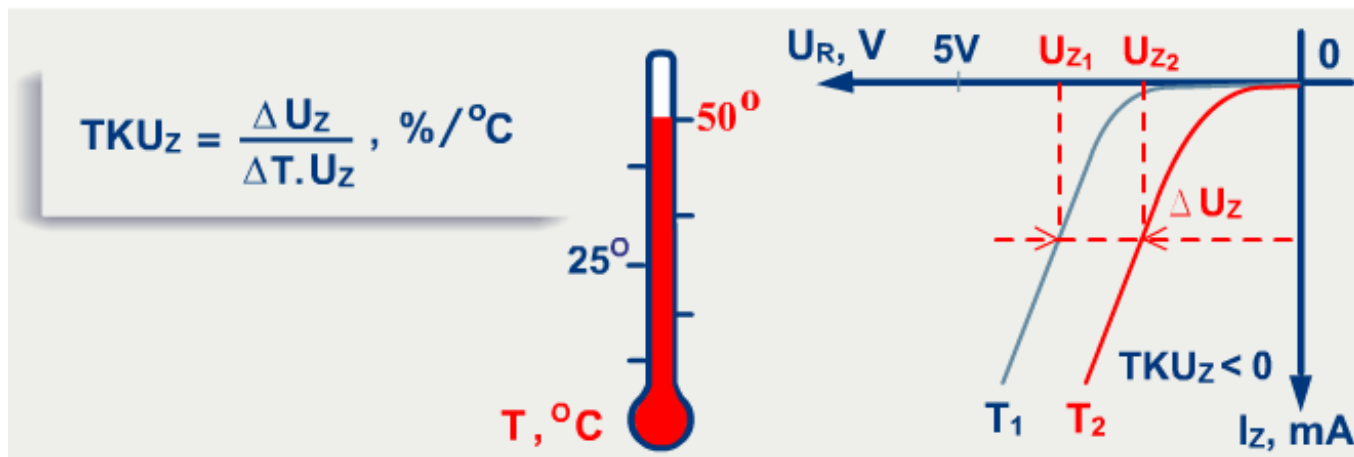
Температурен коефициент

$$TKU_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta T \cdot U_z}, \text{ \%/}^\circ\text{C}$$

$$TKU_z = \frac{U_{z2} - U_{z1}}{T_2 - T_1} \bigg|_{I_z = \text{const}}$$

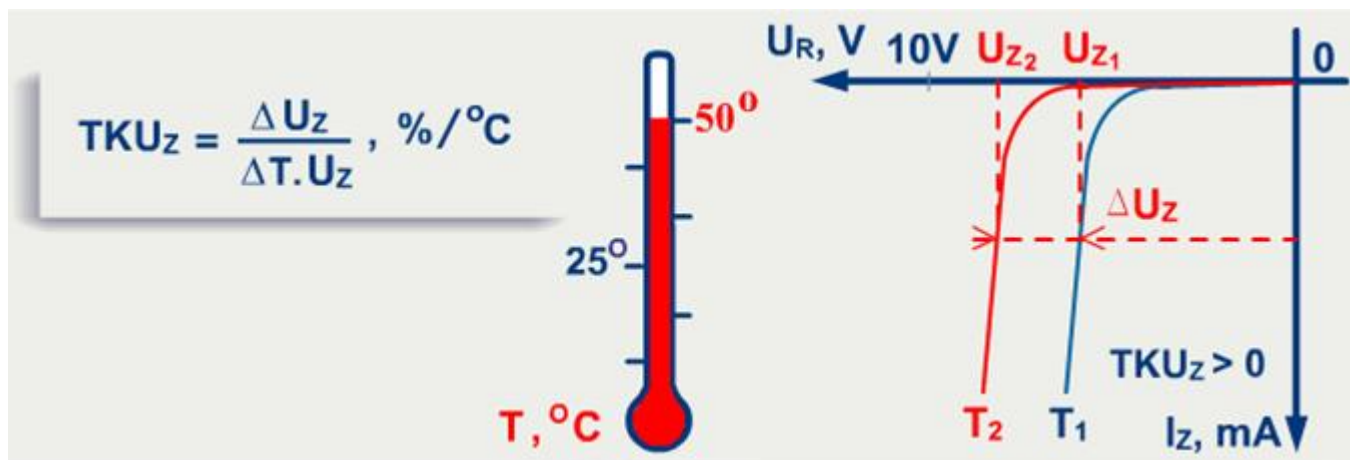
Температурният коефициент на напрежението на пробив TKU_z отчита влиянието на температурата върху стойността на пробивното напрежение. Той се дефинира с процентното изменение на напрежението U_z спрямо промяната на температурата.

Температурен коефициент



За ценов диод с $U_Z < 5\text{V}$ **температурният коефициент е отрицателен**, защото при повишаване на температурата се облекчава разкъсването на ковалентни връзи и се намалява пробивното напрежение.

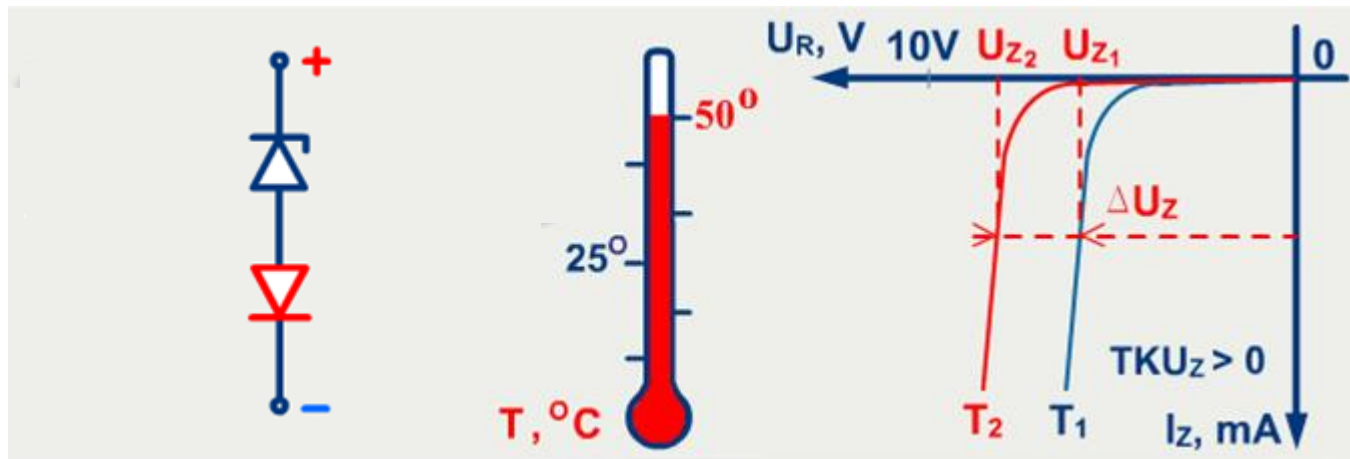
Температурен коефициент



Температурният коефициент на ценов диод с $U_Z > 6\text{V}$ **е положителен**.

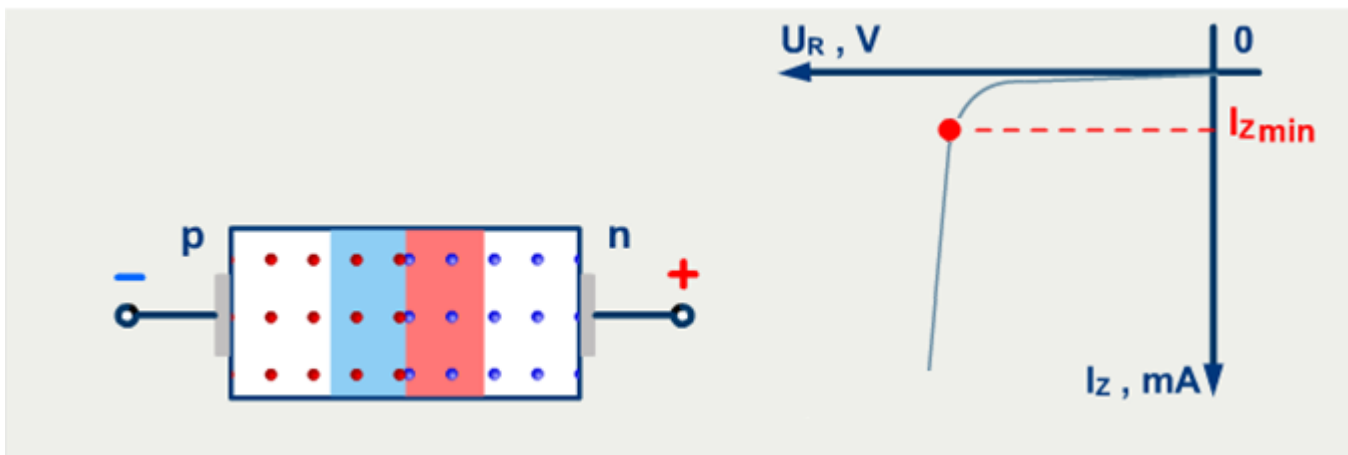
При увеличаване на температурата нараства трептенето на атомите във възлите на кристалната решетка, което намалява свободният пробег на токоносителите. За да се достигне напрегнатост на полето, достатъчна за предизвикване на лавинен пробив е необходимо по-голямо напрежение.

Термокомпенсация



Положителният температурен коефициент на високоволтов ценов диод може да се компенсира с последователно свързване на диод в право включване. Силициевият диод в право свързване **има отрицателен температурен коефициент на напрежението** като напрежението му намалява с $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

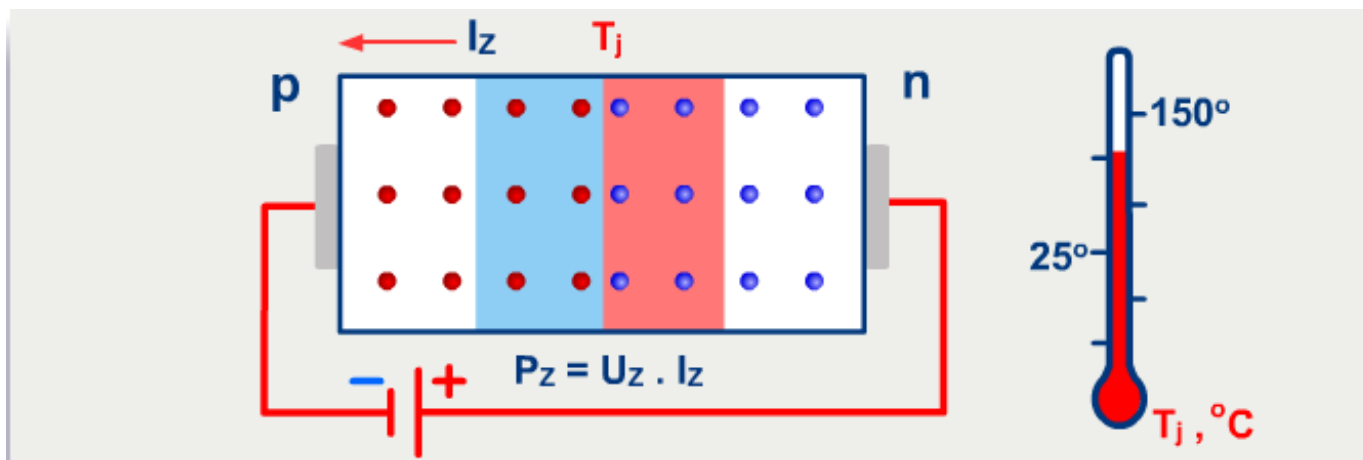
Минимален обратен ток



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} .

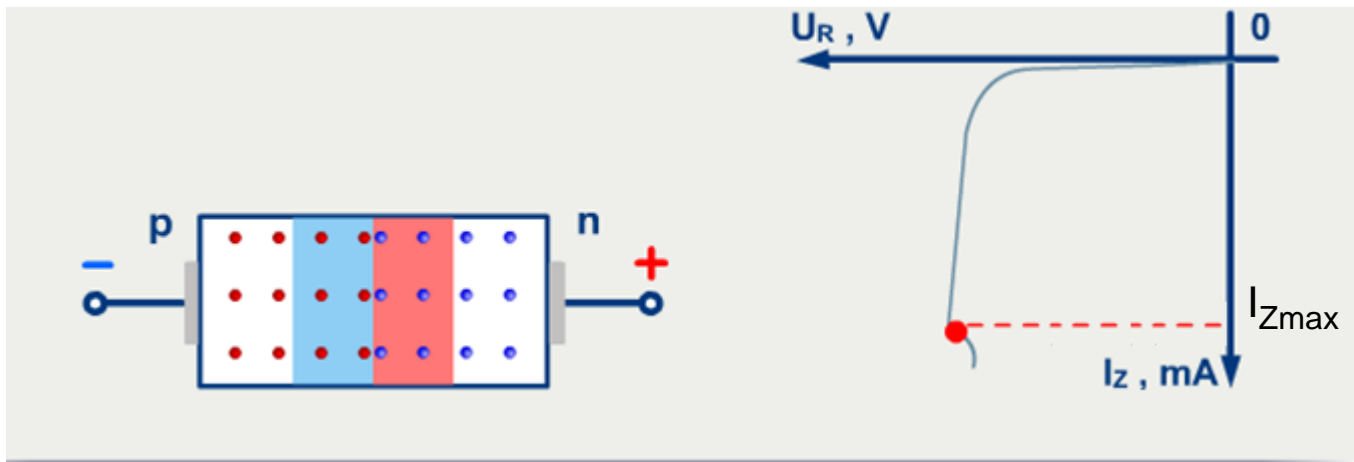
Максимална мощност



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.

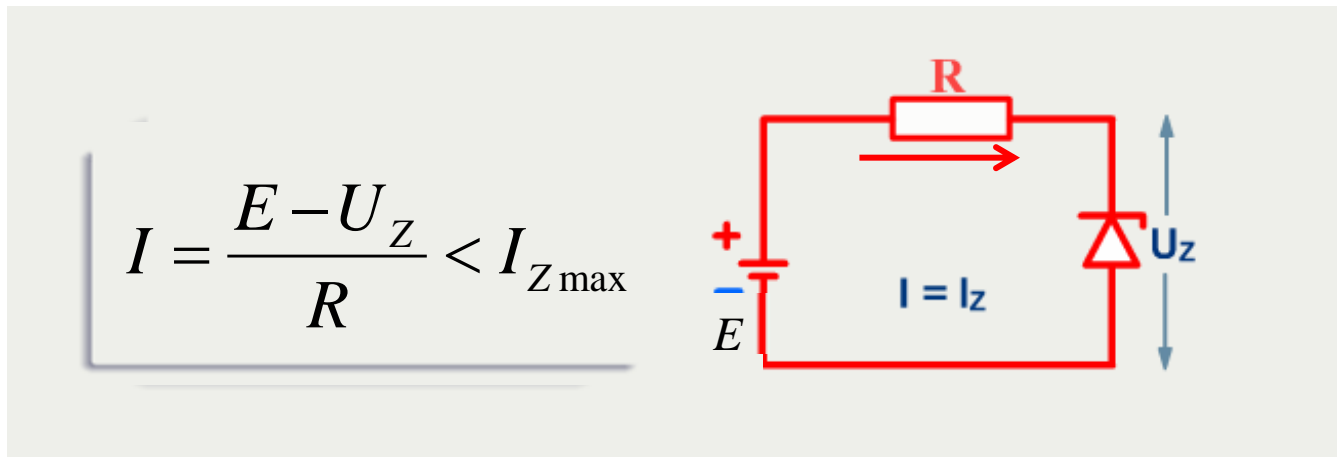
Максимално допусим ток



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.

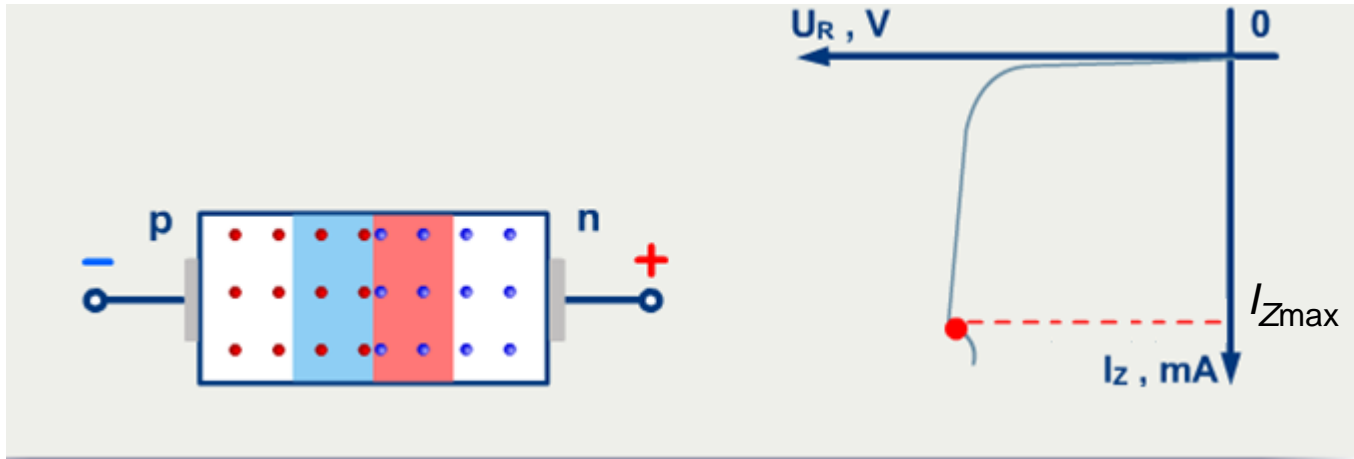
Параметърът I_{Zmax} дефинира максималния ток, който диодът може да поддържа без да надхвърли максимално допустимата мощност.

Токоограничаващ резистор

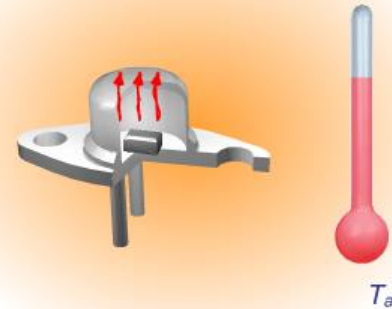


Предназначението на **токоограничаващия резистор** R е да поддържа тока през ценовия диод по-малък от максимално допустимия ток $I_{Z_{\max}}$. В противен случай ценовият диод ще се разруши подобно на всеки елемент, който надвиши максимално допустимата си мощност.

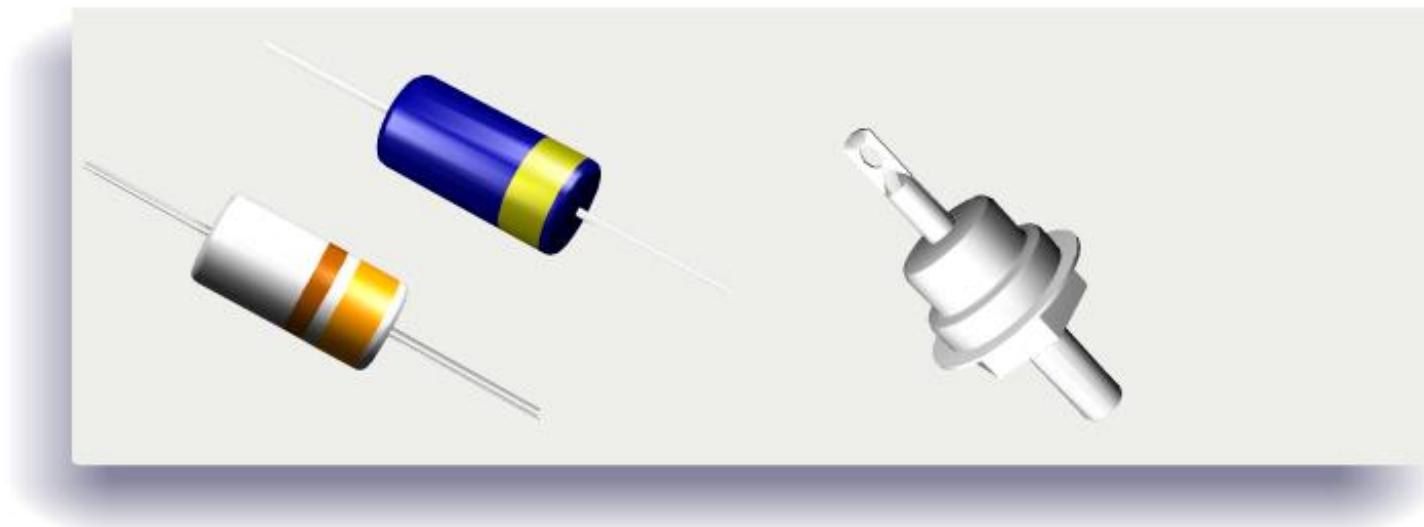
Max мощность & Max ток



$$U_Z I_{Zmax} = P_{max} = \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{th}}$$



Отвеждане на топлината



Пластмасови и стъклени корпуси

Метален корпус за мощни диоди

За отвеждане на топлината от прехода на ценовите диоди се използват различни корпуси в зависимост от разсейваната мощност.

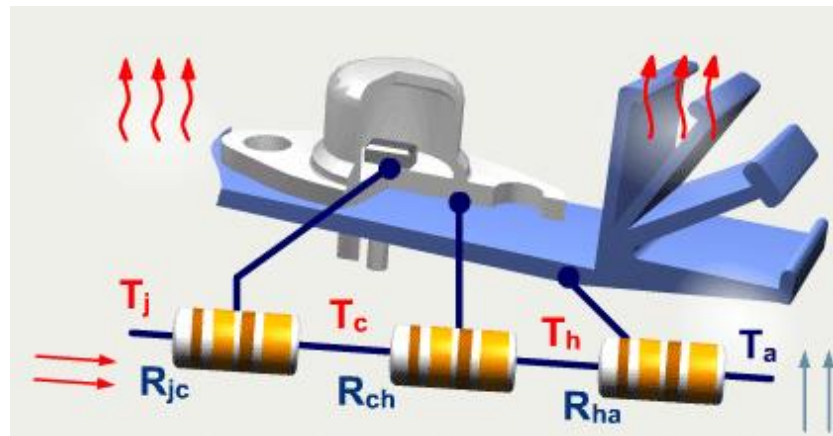
Отвеждане на топлината

$$R_{th} = R_{th_{jc}} + R_{th_{ch}} + R_{th_{ha}}$$

Преход-
корпус

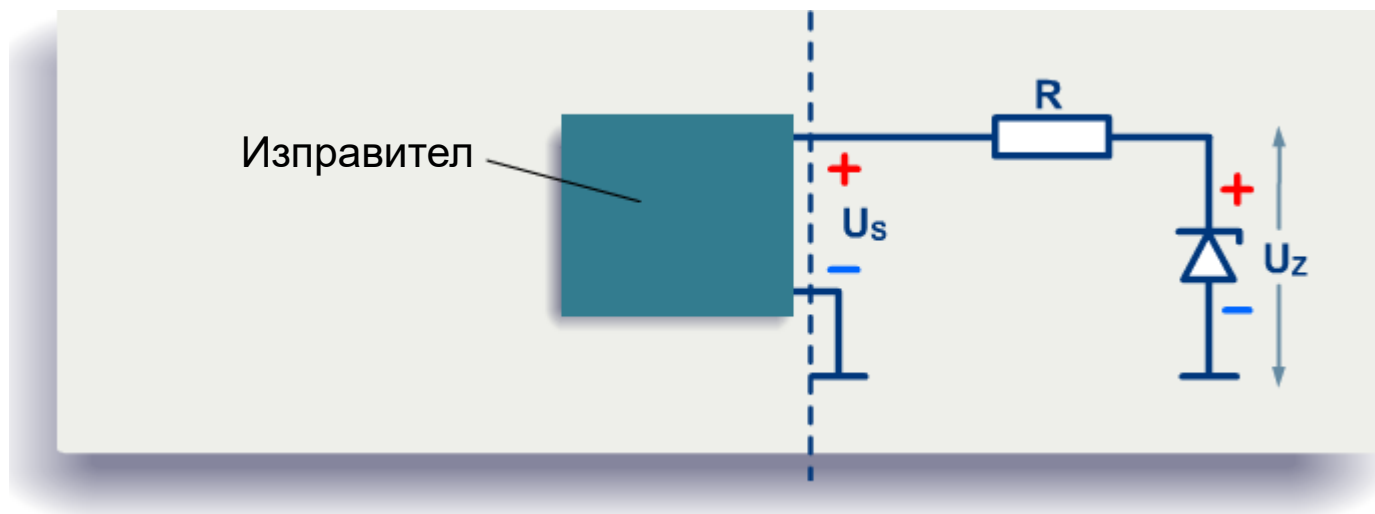
Корпус-
радиатор

Радиатор-
околна среда



Максимално допустимата мощност на диода може да се увеличи, ако се използва радиатор, който спомага за по-лесно отвеждане на топлината. Това намалява общото топлинно съпротивление на диода, защото се увеличават пътищата за разсейване на топлината.

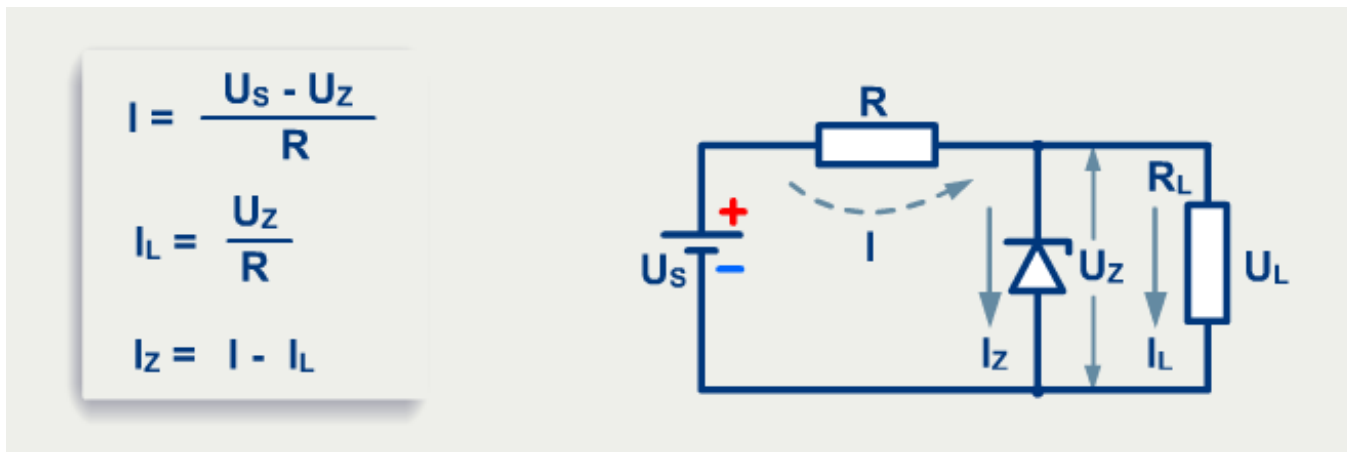
Приложения – стабилизатор



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

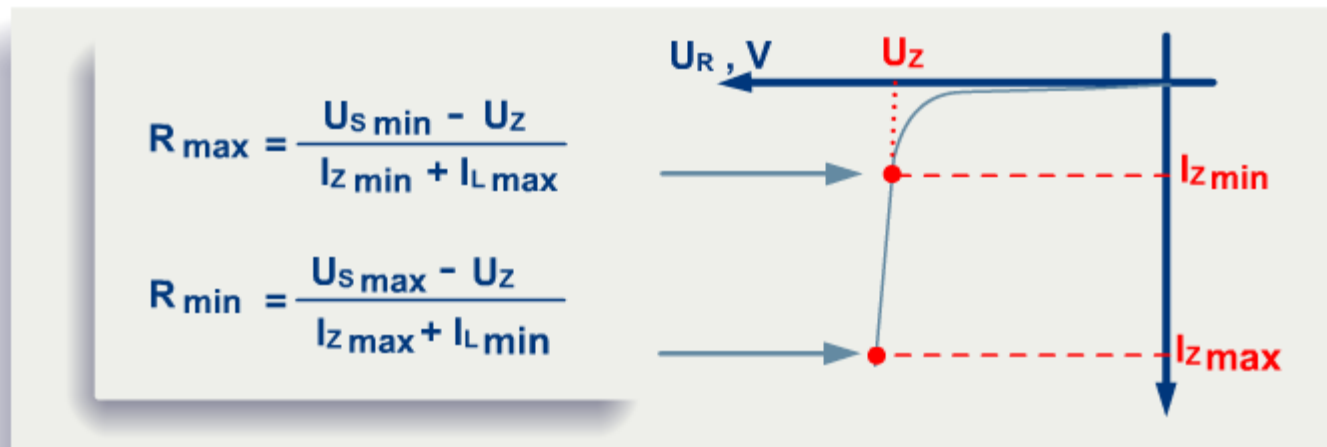
За да се достигне областта на пробив захранващото напрежение U_s **трябва да е по-голямо от ценовото напрежение** U_z . Резисторът R ограничава тока да не надвиши максимално допустимия за диода.

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

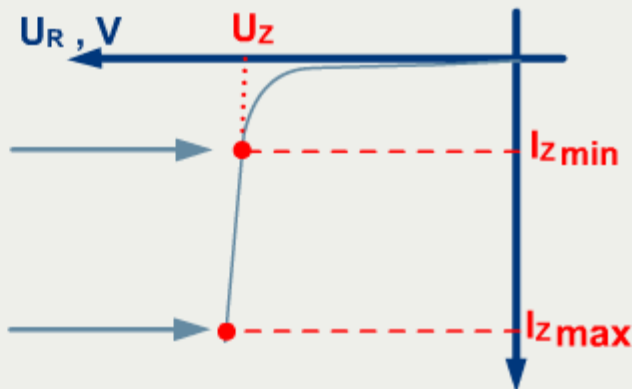
Граници на областта на
пробив

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}

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

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



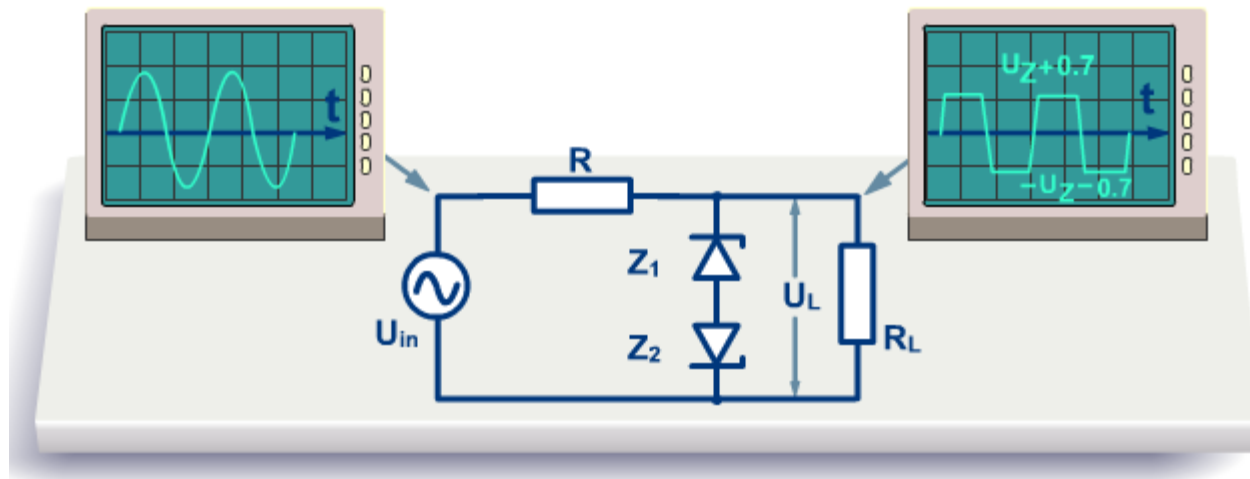
Критични стойности на
токоограничаващия резистор

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_{Zmin} . Последователното съпротивление R_{max} се изчислява да поддържа стойността на I_Z по-висока от I_{Zmin} .

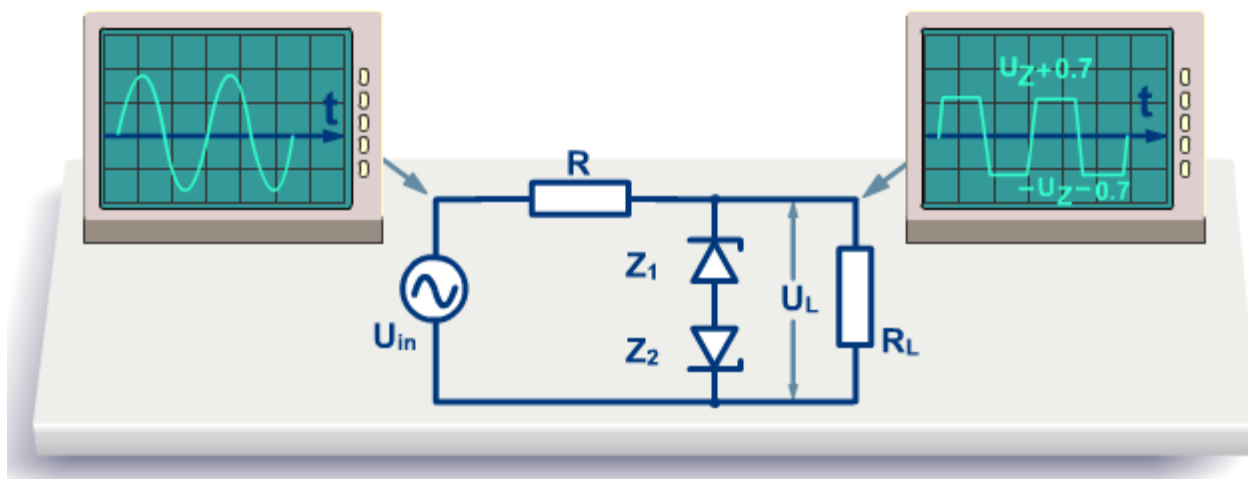
Аналогично R_{min} трябва да поддържа I_Z по-малко от I_{Zmax} .

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.

Действие на ограничителя



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 изходния 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 $-(U_{Z2} + 0.7)$.