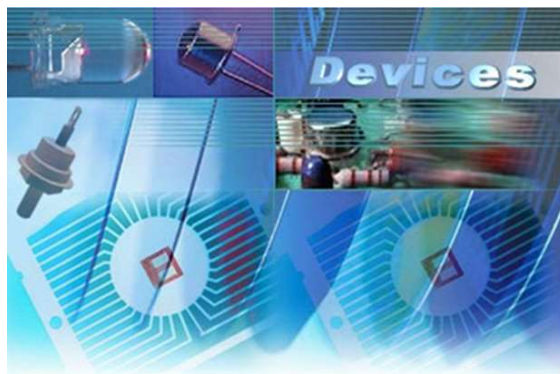




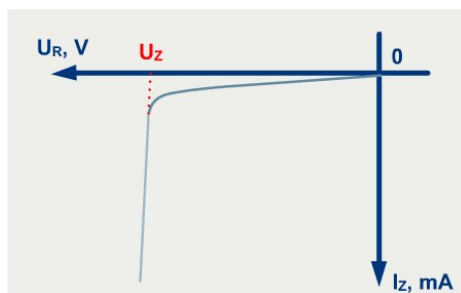
## Ценеров диод



Полупроводникови  
елементи

стр. 1 от ...

## Въведение

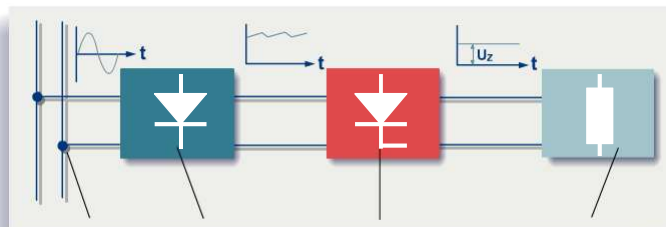


Ценеровият диод е специфичен силициев диод, оптимизиран да работи в областта на **електрически пробив**.

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**.

стр. 2 от ...

## 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 ценовият диод.

стр. 3 от ...

## Цели и предпоставки

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

### Познавате

След изучаване на материала вие би трябвало да:

- ✦ 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.

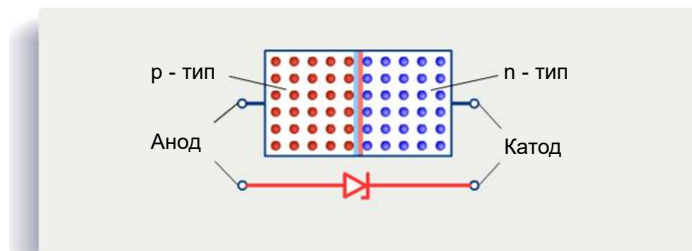
### Анализирате

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

**Предпоставки:** полупроводници, изправителни диоди

стр. 4 от ...

## Символ на ценеров диод

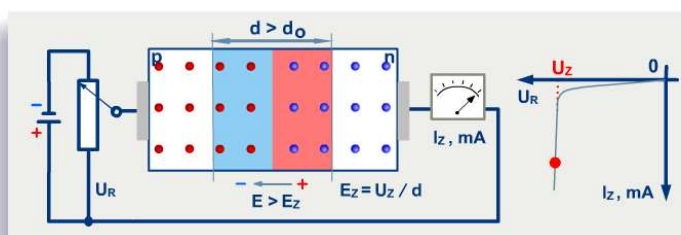


Ценеровият диод има два електрода – анод и катод.  $p$ -областта се нарича анод, а  $n$ -областта - катод.

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.

стр. 5 от ...

## Принцип на действие

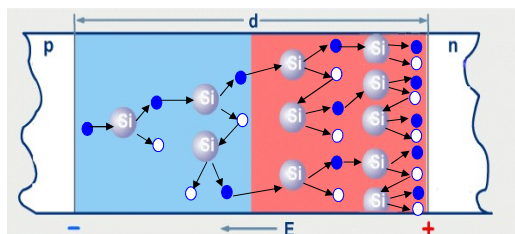


Когато се достигне пробивното напрежение, в обеднения слой на прехода, се получават голям брой неосновни токоносителни и диодът започва да провежда значителен ток.

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

стр. 6 от ...

## Лавинен пробив

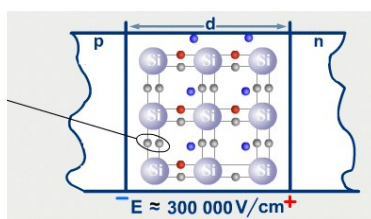


**Лавинен пробив** настъпва в широки *pn* преходи и се характеризира с пробивно напрежение над **7V**.

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

стр. 7 от ...

## Ценеров пробив

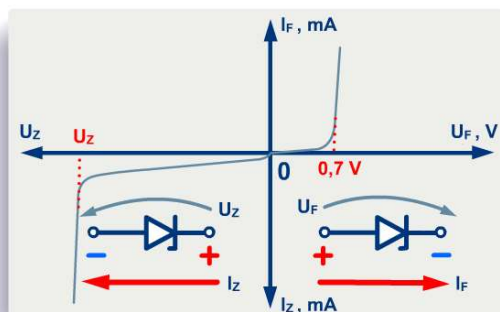


**Ценеров пробив** настъпва в тесни *pn* преходи и се характеризира с пробивно напрежение по-малко от **5V**.

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

стр. 8 от ...

## VA характеристика



Ценеровият диод може да работи в три области:

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

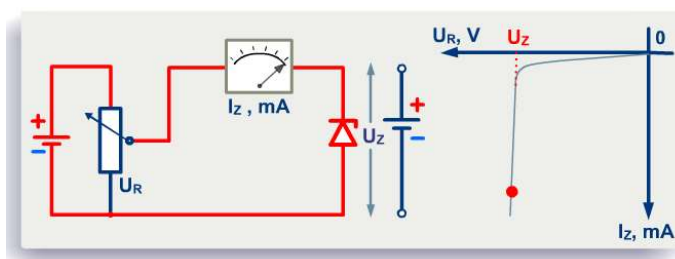
При **право включване** той се отпушва при 0.7 V, точно като Si диод.

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**.

стр. 9 от ...

## Област на пробив

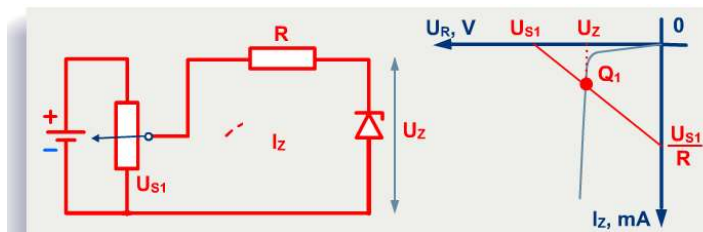


Ценеровият диод поддържа постоянно напрежение при значителна промяна на входното напрежение и тока през дода.

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

стр. 10 от ...

## Товарна права и работна точка

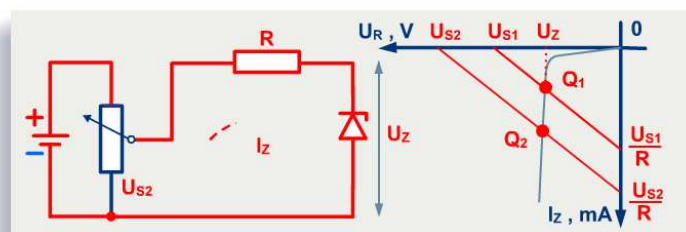


Товарната права може да се построи с отрезите си от хоризонталната и вертикална ос на характеристиката в областта на пробив.

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

стр. 11 от ...

## Преместване на товарната права

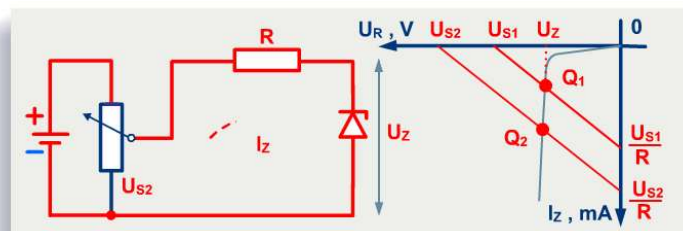


Промяната на захранващото напрежение довежда до промяна на тока в схемата.

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  $Q_2$ .

стр. 12 от ...

## Идея за стабилизация



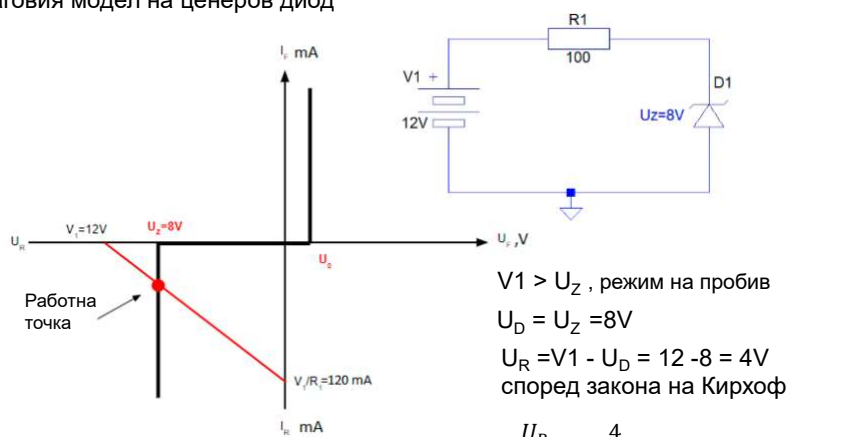
Промяната на захранващото напрежение довежда до промяна на работната точка, но напрежението в точките  $Q_1$  и  $Q_2$  остава почти постоянно и равно на напрежението на пробив  $U_Z$ .

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

стр. 13 от ...

## Прагов модел

**Пример 1:** Изчисления на тока и напреженията в схемата с използване праговия модел на ценеров диод



$V1 > U_Z$ , режим на пробив

$$U_D = U_Z = 8V$$

$$U_R = V1 - U_D = 12 - 8 = 4V$$

според закона на Кирхоф

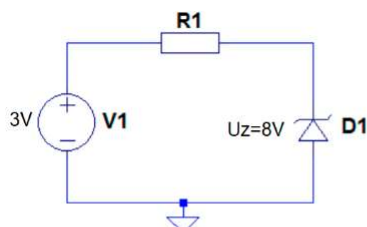
$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{4}{0.110^3} = 40 \cdot 10^{-3} A = 40mA$$

според закона на Ом

стр. 14 от ...

## Прагов модел

**Пример 2:** Изчисления на тока и напреженията в схемата с използване праговия модел на ценов диод

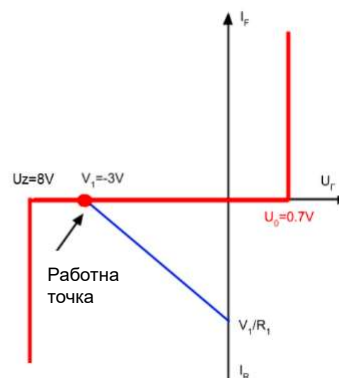


$V_1 < U_Z$ , Обратно свързване

$$I = 0$$

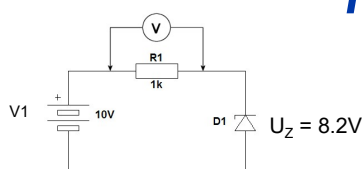
$U_R = I \cdot R = 0$  според закона на Ом

$U_D = V_1 - U_R = 3 - 0 = 3V$  според закона на Кирхоф



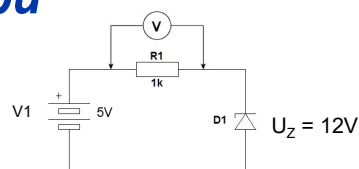
стр. 15 от ...

## Примери



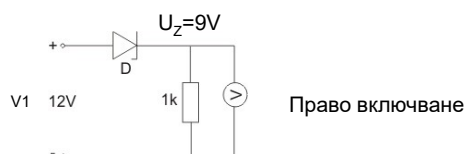
$V_1 > U_Z$  Диодът е в режим на пробив с напрежение  $U_D = U_Z = 8.2V$

$U_R = V_1 - U_D = 10 - 8.2 = 1.8V$   
според закона на Кирхоф

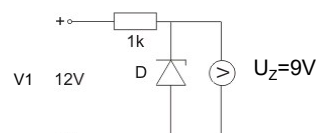


$V_1 < U_Z$  Диодът е в обратно включване,  $I=0$

$U_R = I \cdot R = 0V$ , според закона на Ом  
 $U_D = V_1 - U_R = 5V - 0 = 5V$ , според закона на Кирхоф



$U_R = V_1 - U_D = 12 - 0.7 = 11.3V$   
според закона на Кирхоф



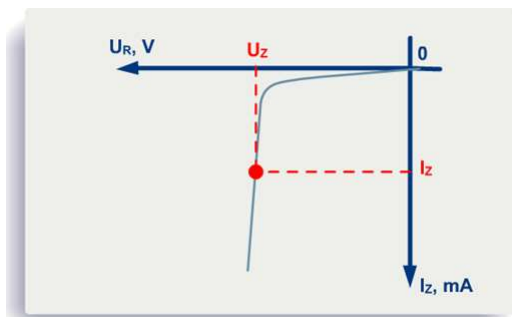
$V_1 > U_Z$  Диодът е в режим на пробив  $U_D = U_Z = 9V$

Използвайте прагов модел за ценов диод, постройте товарната права и определете работната точка за всяка схема.

стр. 16 от ...



## Параметри – напрежение на пробив



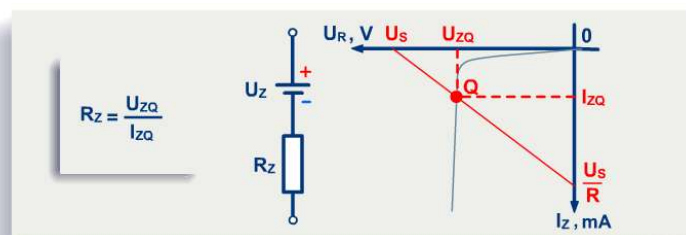
Ценеровите диоди се характеризират с напрежение на пробив  $U_Z$ , което се задава за конкретен ток  $I_Z$ .

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  $\pm 5\%$ .

стр. 17 от ...

## Статично съпротивление $R_Z$

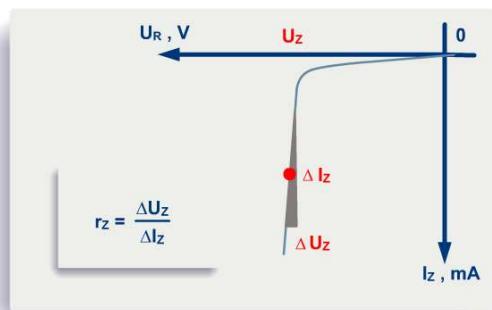


**Статичното** (по постоянен ток) **съпротивление**  $R_Z$  се изразява с отношението на напрежението върху диода към тока, протичащ през него за определена работна точка.

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

стр. 18 от ...

## Динамично съпротивление $r_z$



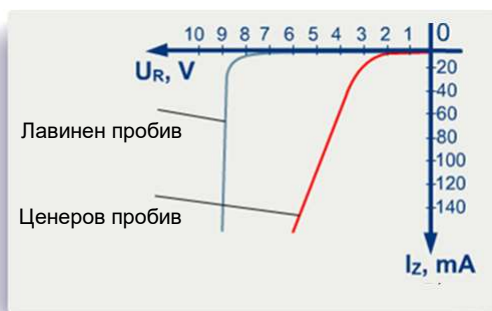
$$r = \frac{dU_z}{dI_z} \approx \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$$

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.

стр. 19 от ...

## 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.

стр. 20 от ...

## Температурен коефициент

$$TKU_z = \frac{U_{z2} - U_{z1}}{T_2 - T_1} \quad \left| \quad I_z = \text{const} \right.$$

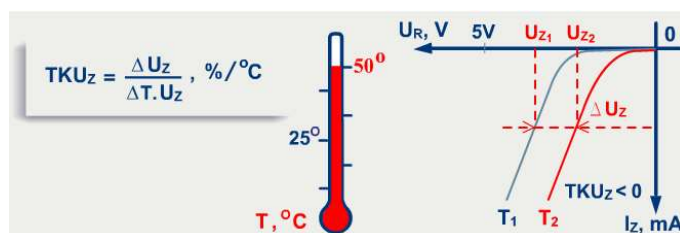
$$TKU_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta T \cdot U_z}, \quad \%/^{\circ}\text{C}$$

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

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

стр. 21 от ...

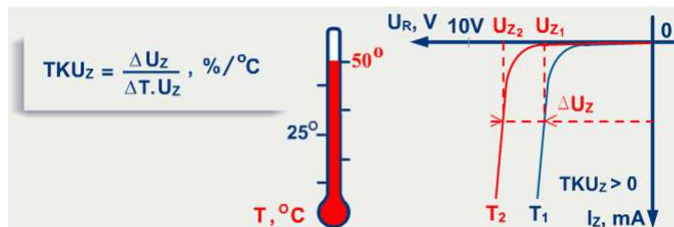
## Температурен коефициент



За ценеров диод с  $U_z < 5\text{V}$  температурният коефициент е отрицателен, защото при повишаване на температурата се облекчава разкъсването на ковалентни връзи, увеличава се броят на токоносителите и пробивното напрежение се намалява.

стр. 22 от ...

## Температурен коефициент

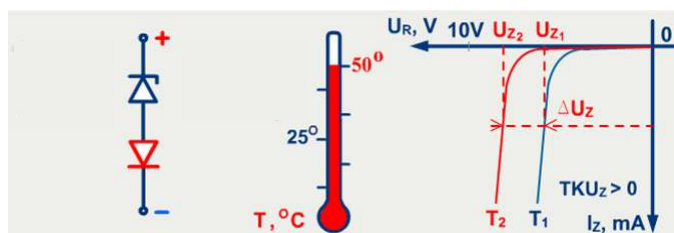


**Температурният коефициент** на ценов диод с  $U_Z > 6V$  е **положителен**.

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

стр. 23 от ...

## Термокомпенсация

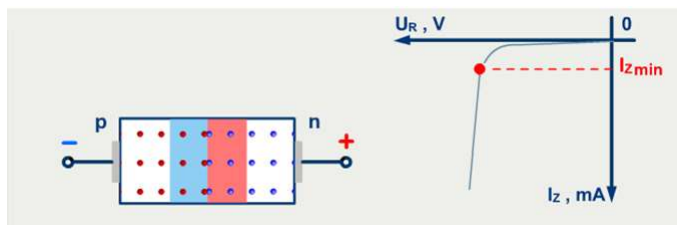


**Положителният температурен коефициент** на високоволтов ценов диод може да се компенсира с последователно свързване на диод в право включване.

Силициевият диод в право свързване **има отрицателен температурен коефициент на напрежението** като напрежението му намалява с  $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

стр. 24 от ...

## Минимален обратен ток

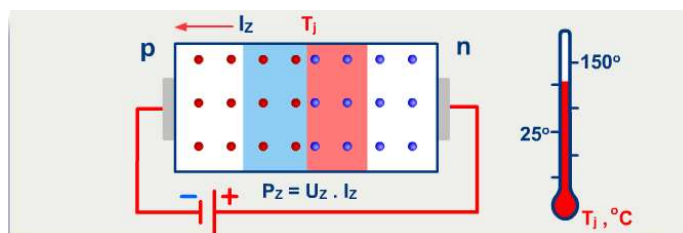


$I_{Zmin}$  е **минималният обратен ток**, при който пробивът става стабилен. Определя се от съображение, че при много малки токове процесът на ударна йонизация е неустойчив и възникват значителни шумове.

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

стр. 25 от ...

## Максимална мощност

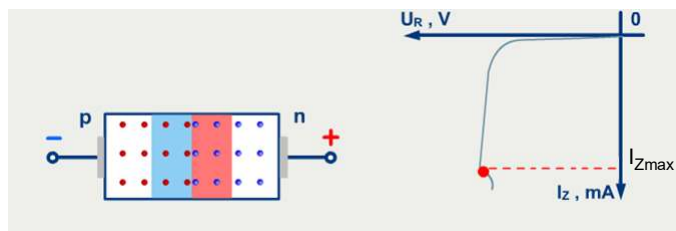


Мощността, отделена в ценеровия диод е  $P_Z = U_Z \cdot I_Z$ . **Максимално допустимата мощност**  $P_{Zmax}$  е най-голямата мощност, разсейвана от  $PN$  прехода, при която не възниква топлинен пробив.

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

стр. 26 от ...

## Максимално допусим ток

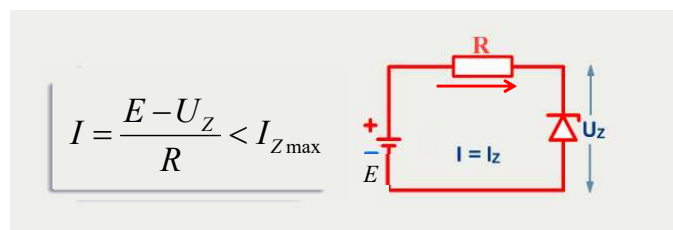


**Максимално допустимият ток** на ценовия диод  $I_{Zmax}$  е свързан с максимално допустимата мощност  $P_{Zmax}$  съгласно:  $I_{Zmax} = P_{Zmax} / U_Z$ , където  $U_Z$  е пробивното напрежение.

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

стр. 27 от ...

## Токоограничаващ резистор

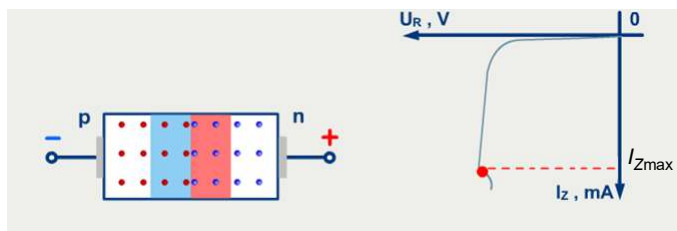


Предназначението на **токоограничаващия резистор**  $R$  е да поддържа тока през ценовия диод по-малък от максимално допустимия ток  $I_{Zmax}$ .

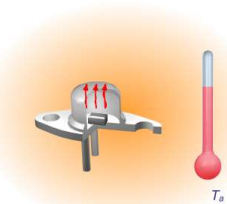
В противен случай ценовият диод ще се разруши подобно на всеки елемент, който надвиши максимално допустимата си мощност.

стр. 28 от ...

## Max мощност & Max ток

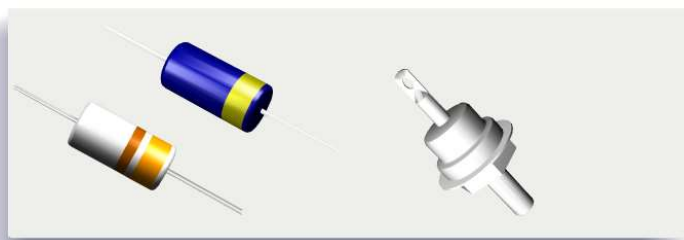


$$U_Z I_{Z\max} = P_{\max} = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{th}}$$



стр. 29 от ...

## Отвеждане на топлината



Пластмасови и стъклени корпуси

Метален корпус за мощни диоди

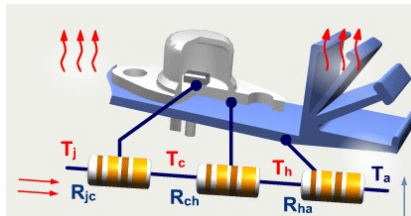
За отвеждане на топлината от прехода на ценеровите диоди се използват различни корпуси в зависимост от разсейваната мощност.

стр. 30 от ...

## Отвеждане на топлината

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

Преход-корпус      Корпус-радиатор      Радиатор-околна среда

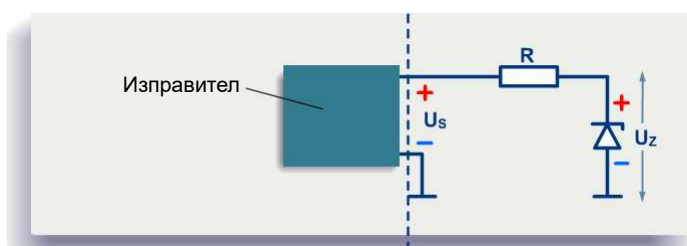


Максимално допустимата мощност на диода може да се увеличи, ако се използва радиатор, който спомага за по-лесно отвеждане на топлината.

Това намалява общото топлинно съпротивление на диода, защото се увеличават пътищата за разсейване на топлината.

стр. 31 от ...

## Приложения – стабилизатор



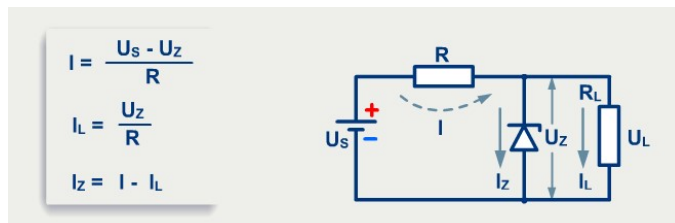
За нормално функциониране ценовият диод трябва да свързан обратно и да работи в областта на пробив. Тогава изходното напрежение остава постоянно и при изменения на  $U_S$ .

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.

стр. 32 от ...



## Схема на стабилизатор



$$I = \frac{U_s - U_z}{R}$$

$$I_L = \frac{U_z}{R_L}$$

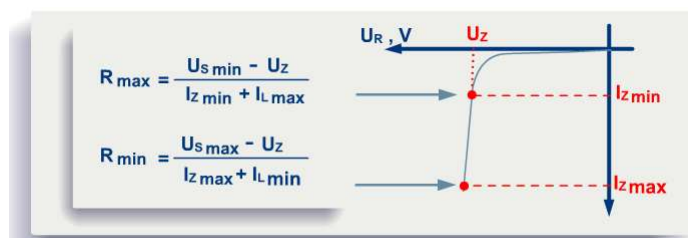
$$I_z = I - I_L$$

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.

стр. 33 от ...

## Условия за нормална работа



$$R_{\max} = \frac{U_{s \min} - U_z}{I_{z \min} + I_{L \max}}$$

$$R_{\min} = \frac{U_{s \max} - U_z}{I_{z \max} + I_{L \min}}$$

Критични стойности на токоограничаващия резистор

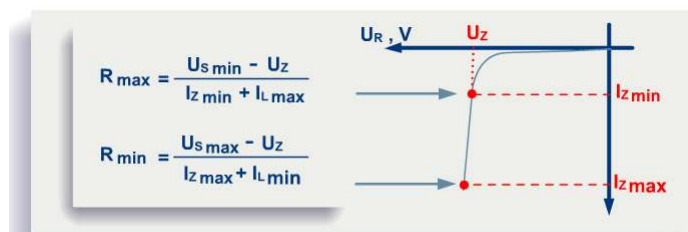
Граници на областта на пробив

За да се поддържа постоянно изходно напрежение ценовият диод **трябва да остане в областта на пробив при всички условия на работа** – т.е. токът да е по-голям от  $I_{z \min}$  и по-малък от  $I_{z \max}$ .

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

стр. 34 от ...

## Изчисляване на $R_{min}$ и $R_{max}$



Критични стойности на токоограничаващия резистор

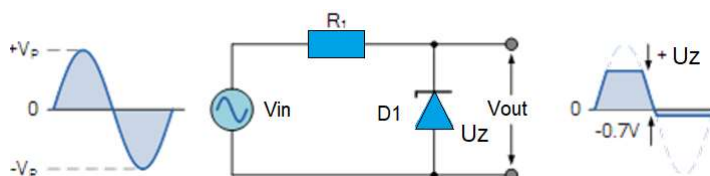
Граници на областта на пробив

Най-лош случай настъпва при минимално напрежение на източника и максимален товарен ток – тогава токът през ценовия диод  $I_z$  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  $I_{zmax}$ .

стр. 35 от ...

## 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.

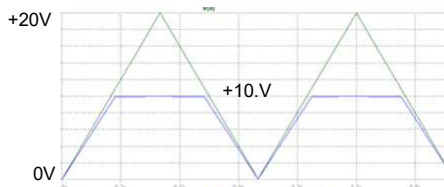
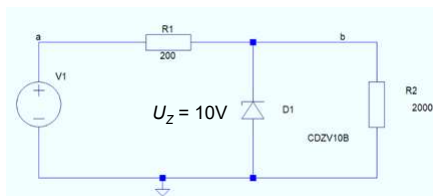
По време на положителния полупериод, когато входното напрежение надвиши напрежението на пробив  $U_z$  на ценовия диод, диодът D1 работи в режим на пробив и ограничава изходния сигнал на нивото на ценово напрежение  $U_z$ .

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  $-0,7\text{ V}$ .

стр. 36 от ...

## Едностранен ограничител



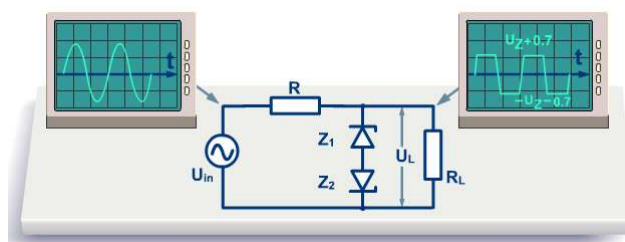
При положителен входен сигнал (от 0V до 10V), където  $V1 < U_z$ , ценовият диод е в обратно включване, действа като отворен ключ и изходното напрежение следва входното напрежение.

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.

стр. 37 от ...

## Двустранен ограничител

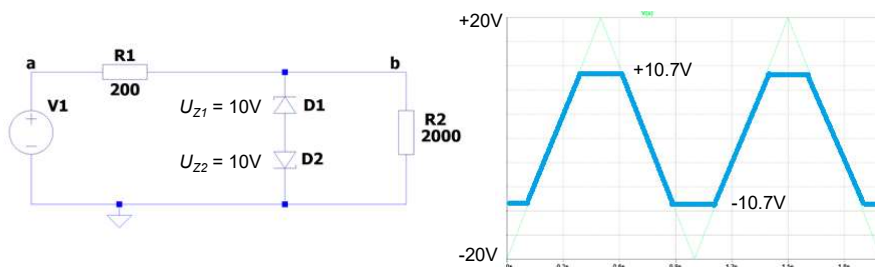


През положителния полупериод, диодът  $Z_1$  работи в областта на пробив, а диодът  $Z_2$  е включен в права посока. Нивото, на което се ограничава изходният сигнал, се формира от сумата на пробивното напрежение на ценовия диод  $U_{z1}$  и 0.7V на право свързания диод  $Z_2$  или  $+(U_{z1} + 0.7)$ .

През отрицателния полупериод диодът  $Z_2$  работи в областта на пробив, диодът  $Z_1$  е в право свързване и нивото се ограничава на  $-(U_{z2} + 0.7)$ .

стр. 38 от ...

## 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 напрежение се ограничава до  $-10.7V$

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