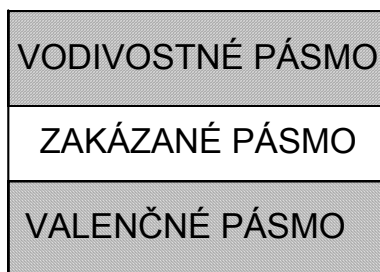
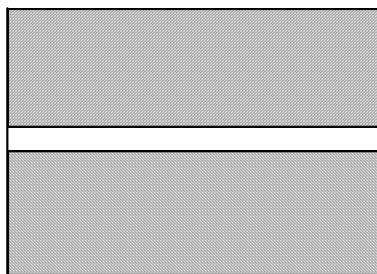


1. POLOVODIČE

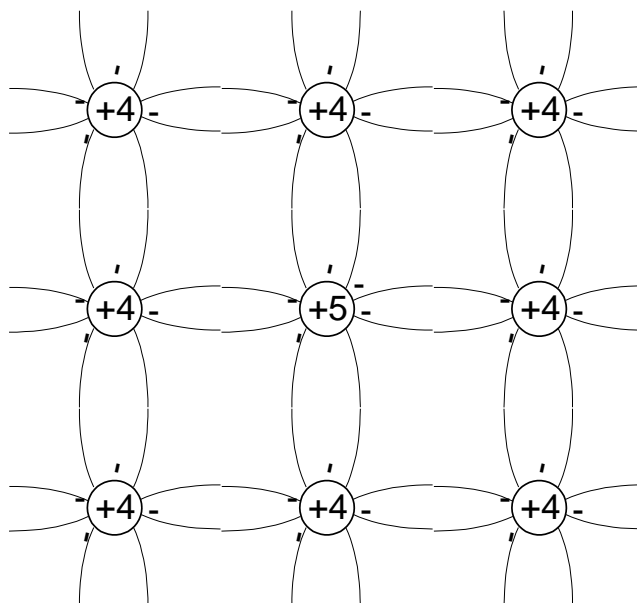
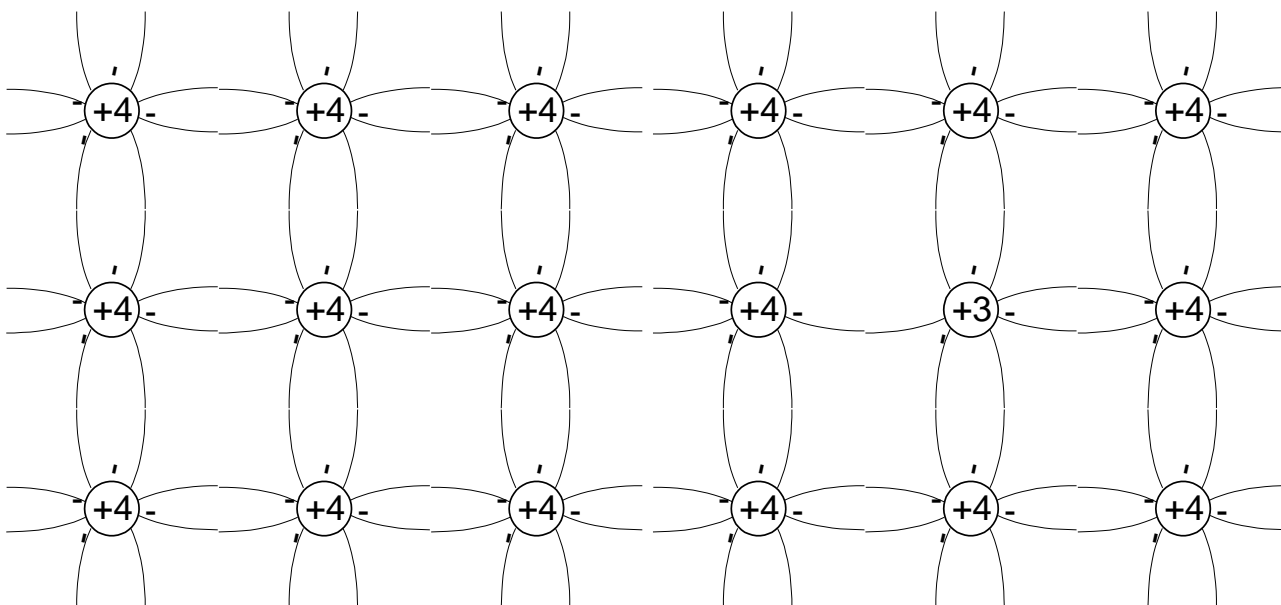
1.1.1 Vodivosť v materiáloch



IZOLÁTOR

POLOVODIČ
 $\Delta E_g = 1.1\text{eV (Si); } 0,67\text{eV(Ge)}$ 

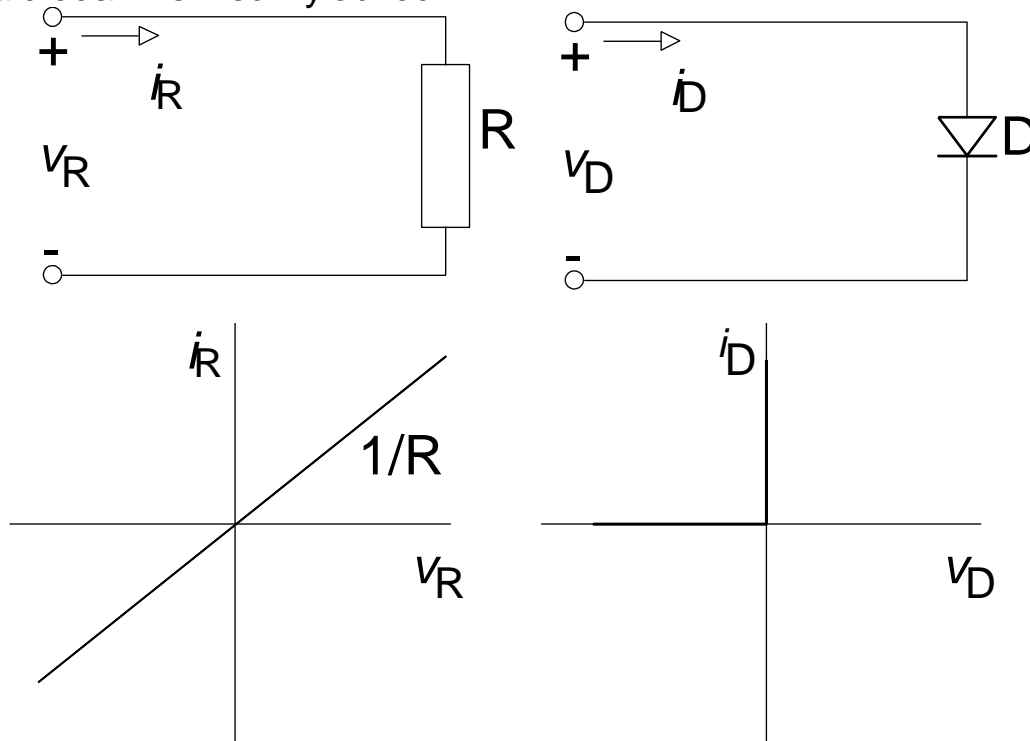
VODIČ



Kovalentné väzby v kryštálovej mriežke

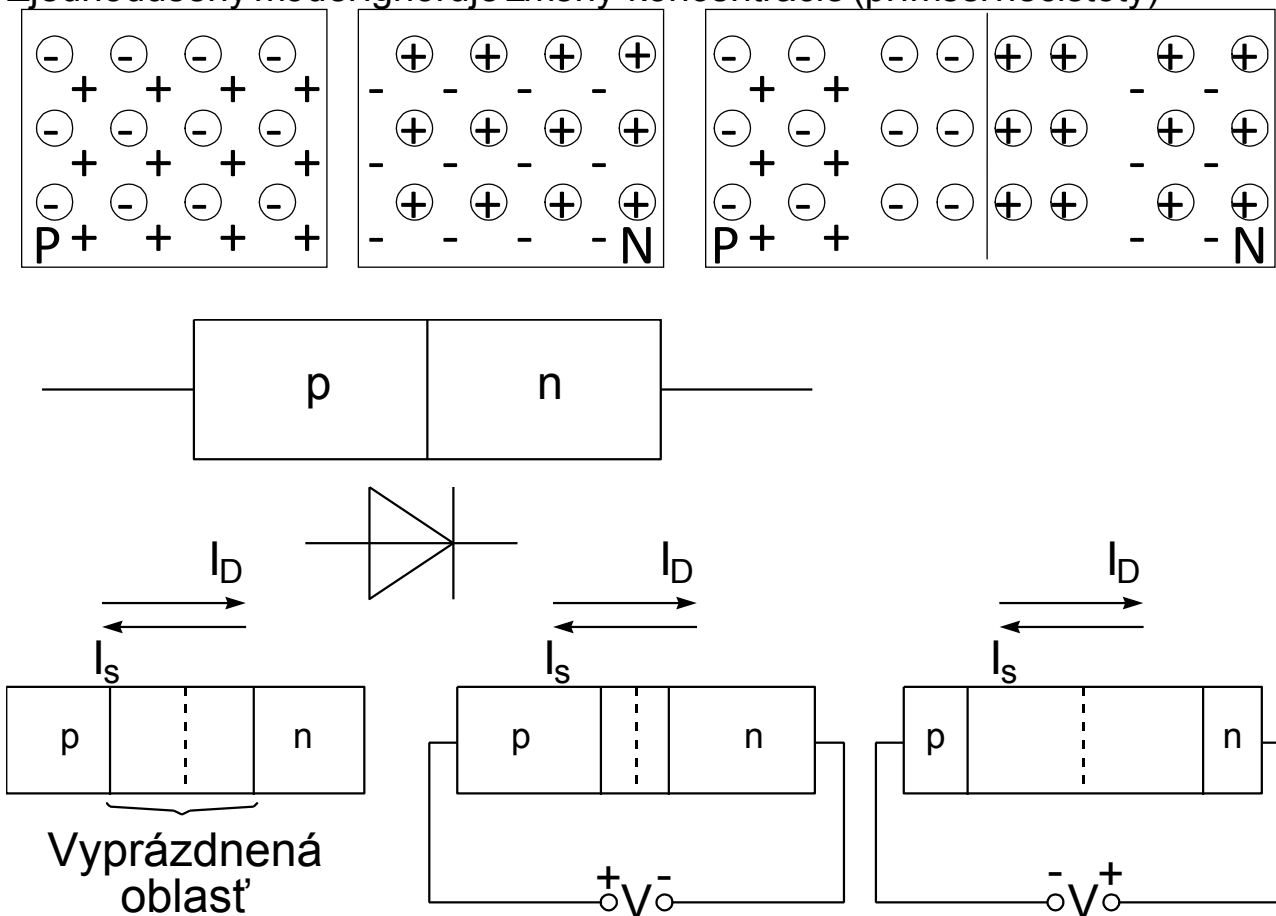
1.2 Polovodičové diódy

Ideálna dióda - nelineárny obvod



1.2.1 Princíp diódy

Zjednodušený model ignoruje zmeny koncentrácie (prímеси nečistoty)



Materiály: Ge, Si, GaAs

Ge \leftrightarrow Si väčšia šírka zakázaného pásma - možnosť práce pri vyššej teplote

Si - lacný materiál

GaAs - zvlášť vhodný pre VF obvody avšak mimoriadne drahší materiál a obtiažnosť výroby

Šírka zmeny z P do N je závislá od technológie - musí byť relatívne úzka

Prechod je neostrý hlavne ak je vytváraný difúziou

Vyprázdnená oblasť - dôvodom je kombinácia elektrónov a dier v mieste styku čím sa znižuje počet voľných nosičov

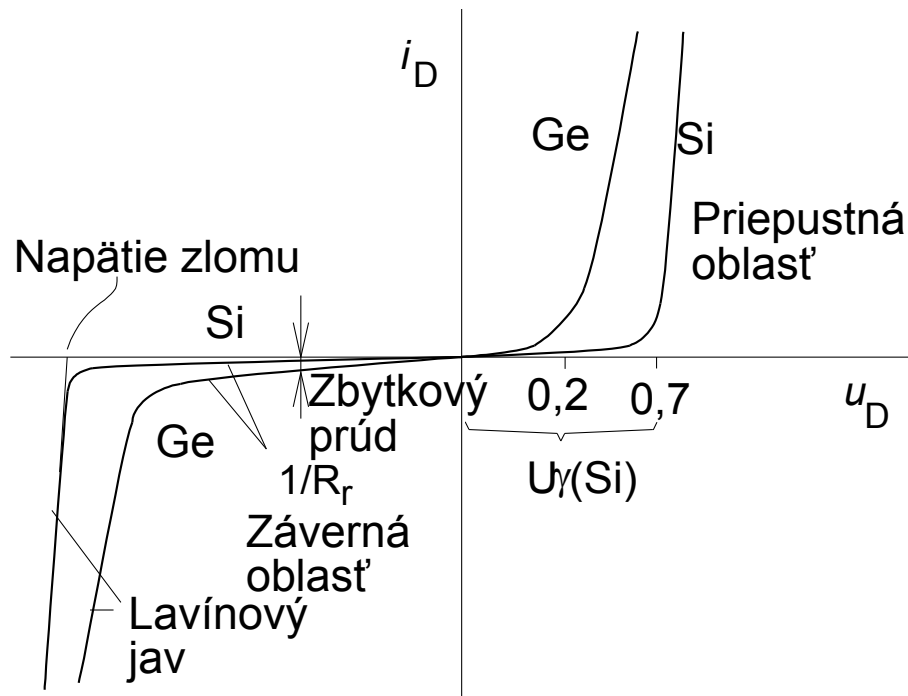
Existujú dva mechanizmy generovania prúdu v PN priechode

I_D difúzny prúd vytvorený pohybom elektrónov a dier (z dôvodu vyrovnania koncentrácie) cez priechod

I_S driftový prúd spôsobený pohybom minoritných nosičov (v dôsledku elektrického poľa)

rozpojený obvod $I_D = I_S$; priepustný smer $I_D - I_S = I$; záverný smer $I_S - I_D = I$

1.2.2 Režimy diódy



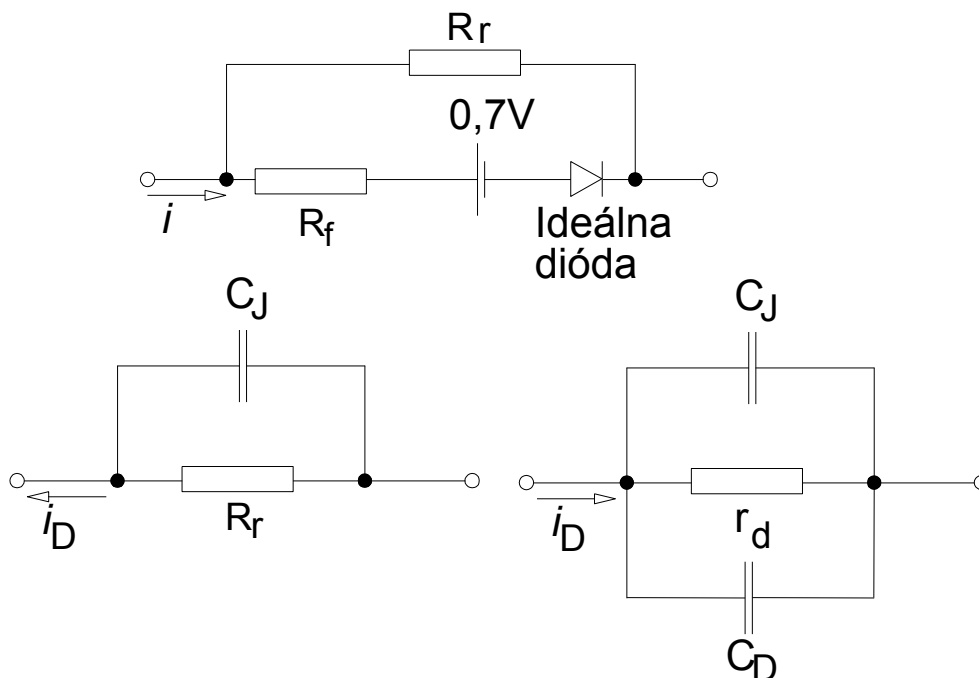
$U_\gamma = 0,2V$ (Ge); $0,7V$ (Si); $1,2V$ (GaAs) vyplýva to zo stavby atómu

$I_{ZAV(Ge)} \gg I_{ZAV(Si)}$; $I_{ZAV(GaAs)}$

Prekročenie napätia zlomu môže spôsobiť zničenie (zvyčajne je to udávané ako špičková hodnota záverného napätia)

Dôvod zničenia: lavínový nárast prúdu a následné prehriatie prechodu (špeciálny prípad sú zenerové diódy)

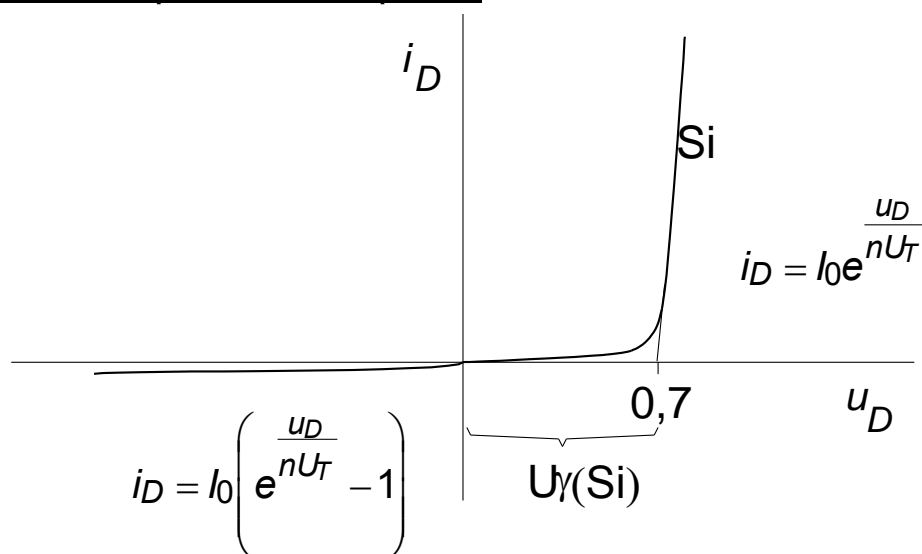
1.2.3 Ekvivalentné obvodové modely



Pre js pomery ($R_f < 50\Omega$; $R_r \approx M\Omega$)

Pre str. pomery: r_d - dynamický odpor; C_D - difúzna kapacita;
 C_j - kapacita prívodov

1.2.4 Vzťah medzi prúdom a napätím



$$i_D = I_0 \left(e^{\frac{qu_D}{nkT}} - 1 \right) \quad U_T = \frac{kT}{q} \Rightarrow i_D = I_0 \left(e^{\frac{u_D}{nU_T}} - 1 \right)$$

i_D - prúd diódy

u_D - napätie na dióde

I_0 - záverný (zbytkový) prúd diódy

q - $1,602 \cdot 10^{-19}$ [C]; k - $1,38 \cdot 10^{-23}$ [JK⁻¹]

T - teplota prechodu [K]

n - empirická konštanta <1;2>

Priepustný smer $i_D = I_0 e^{\frac{u_D}{nU_T}}$

I_0 - funkcia materiálovej čistoty, dopovania, geometrie

$nU_T = 26\text{mV}$ ak $n = 1$ a $T = 25^\circ\text{C}$; pre Ge $n \approx 1$; pre Si $n \approx 1,3 - 1,6$

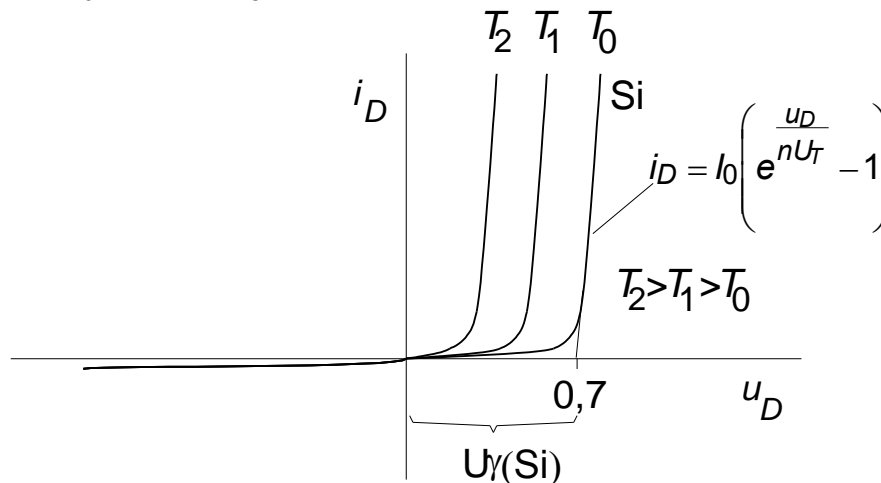
i_D je nelineárna fcia \Rightarrow strmosť v pracovnom bode Q

$$\frac{1}{r_d} = \frac{di_D}{du_D} = \frac{I_0 e^{\frac{u_D}{nU_T}}}{nU_T} \Rightarrow e^{\frac{u_D}{nU_T}} = \frac{i_D}{I_0} + 1 \Rightarrow \frac{di_D}{du_D} = \frac{i_D + I_0}{nU_T} \Rightarrow r_D = \frac{nU_T}{i_D + I_0} \approx \frac{nU_T}{i_D}$$

1.2.5 Vplyv teploty

Zmeny teploty prechodu majú vplyv na charakteristiky diódy

Miera s akou vplýva vonkajšia teplota závisí od prac. bodu, zapuzdrenia....



$U_\gamma(T_1) - U_\gamma(T_0) = k(T_1 - T_0)$ k - teplotný koeficient (mení sa; v praxi sa považuje za konštantu)

$k = -2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pre Ge

$k = -2,0 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pre Si

$k = -1,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pre Schottkyho diódy

$U_\gamma(T_0) = 0,2 \text{ V (Ge)}; 0,3 \text{ V (Sch)}; 0,7 \text{ V (Si)}; 1,2 \text{ V (GaAs)}; T_0 = 25^\circ\text{C}$

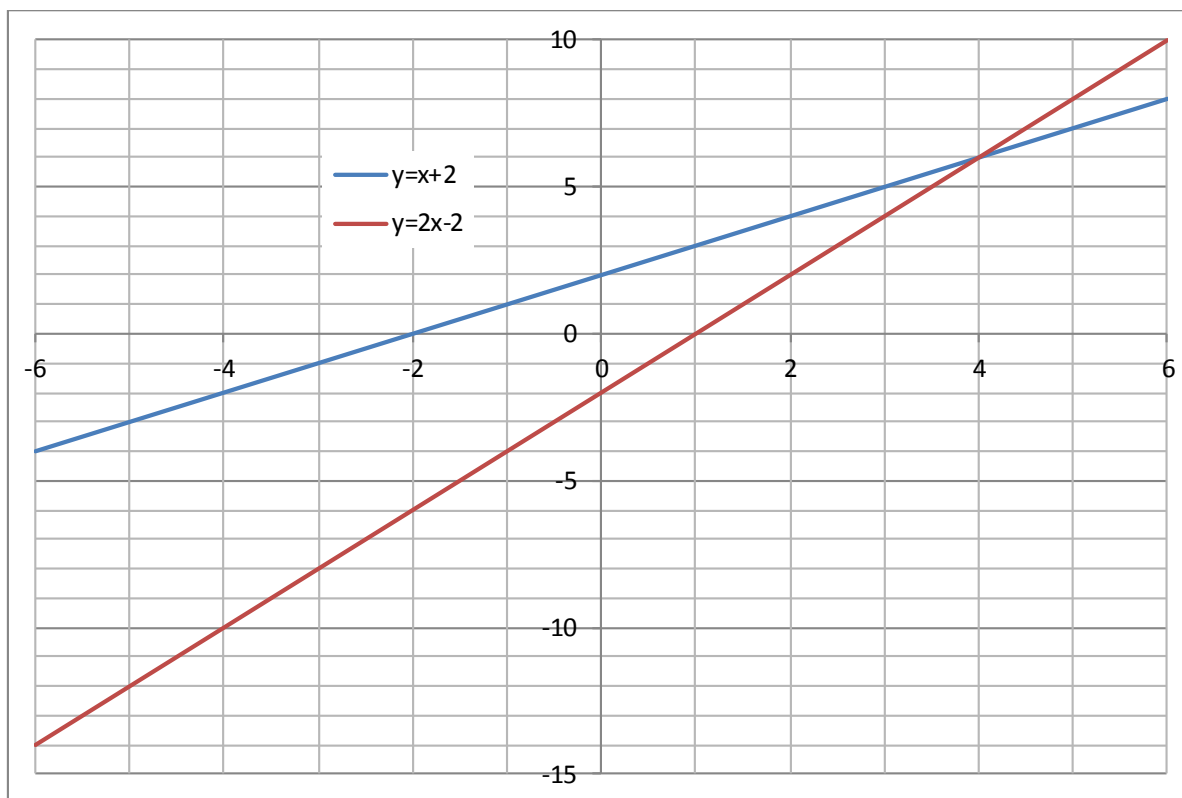
I_0 = parameter závislý od teploty

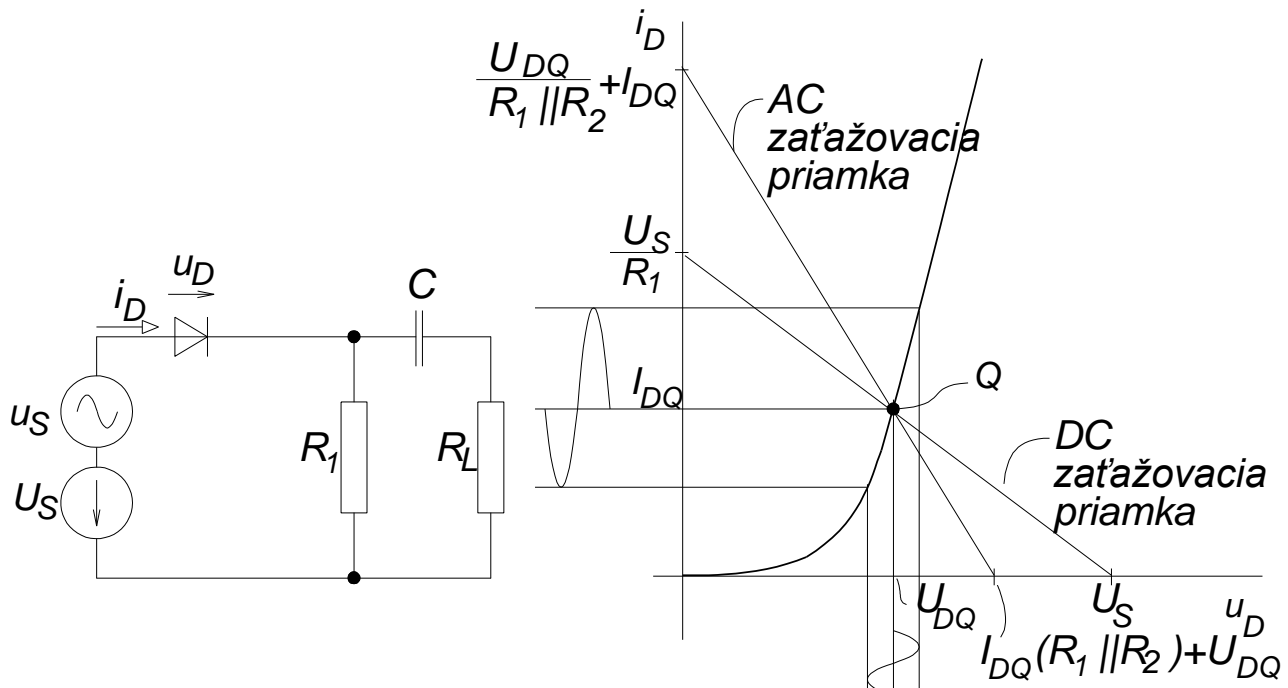
$$I_0(T_2) = I_0(T_1) e^{k_i(T_2 - T_1)} \quad k_i = 0,072^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow I_0(T_1 + 10) = 2I_0(T_1)$$

1.2.6 Zaťažovacie priamky diódy

V dôsledku nelinearity prvku je nutné pri vyšetrovaní obvodov použiť iné techniky analýzy obvodov

Jednou z techník je graficko početná, kde je použitá kombinácia lineárnych rovníc a grafickej reprezentácie vlastností prvkov ich prienikom je nájdenie polohy pracovného bodu prípadne rozpätí zmien obvodových veličín





Najskôr sa nájde popis pre js pomery t.j. $U_S \neq 0$ a $u_S = 0$
 $U_S = u_D + i_D R_1$ z toho $u_D = -i_D R_1 + U_S$ alebo

$$i_D = \frac{-u_D + U_S}{R_1} \dots \text{(DC zaťažovacia priamka)}$$

druhá rovnica $i_D = I_0 \left(e^{\frac{u_D}{nU_T}} - 1 \right)$ dve rovnice o dvoch neznámych (i_D, u_D) -

analytické riešenie je obtiažne preto je výhodné grafické. Riešením je priesečník - bod $Q(U_{DQ}, I_{DQ})$, nazývaný statický pracovný bod.

Pre striedavé pomery, ak $U_S = 0$ a $u_S \neq 0$ je kapacita skrat

$$u_S = u_d + i_d(R_1 \parallel R_2) \text{ alebo } i_d = \frac{-u_d + u_S}{(R_1 \parallel R_2)}$$

celkovo

$$u_D = u_d + U_{DQ}; i_D = i_d + I_{DQ}, \text{ čiže}$$

$$i_D = \frac{-u_D + U_{DQ} + u_S}{(R_1 \parallel R_2)} + I_{DQ} \dots \text{AC zaťažovacia priamka}$$

1.2.7 Výkonová strata na diode

$P_D = u_D i_D$ závisí od konštrukcie plochy prechodu atď.

1.2.8 Kapacita diódy

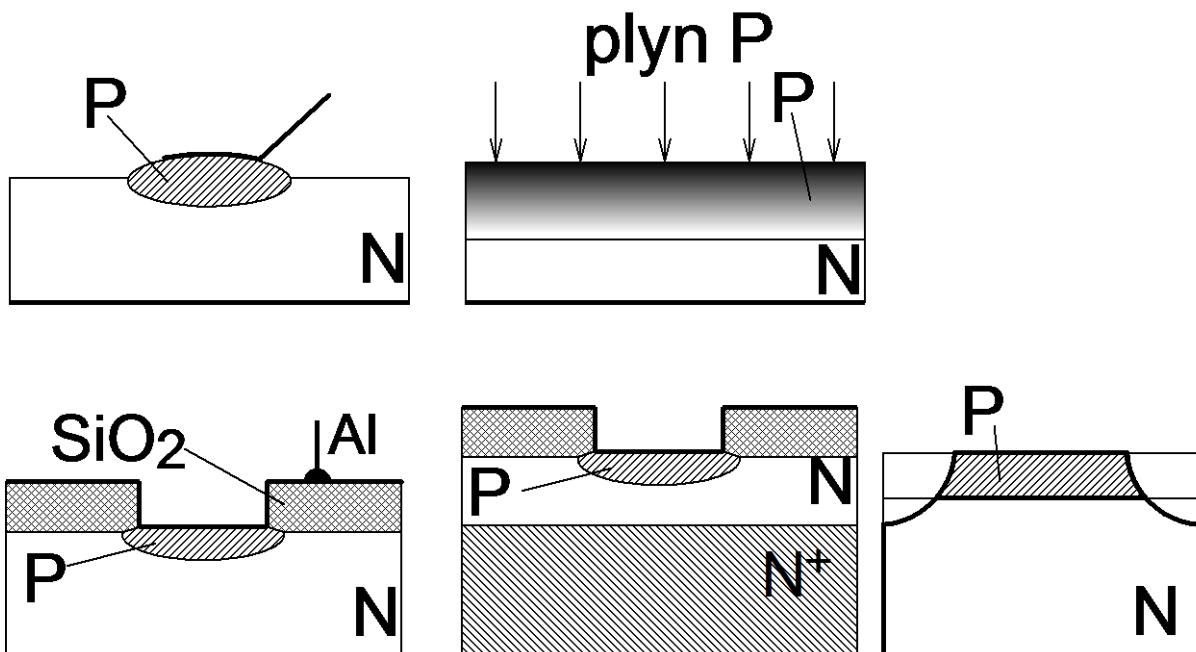
Závisí od veľkosti a polarizácie priloženého napätia a konštrukcie ($10^0 \div 10^2$ pF) vid' obr. PN prechod. Môže sa aproximovať vzťahom

pričom C_0 je pre $u_D = 0$ V a n závisí od tvaru dotlačného profilu (pre difúzne diódy $n=1/3$, pre strmý prechod $n=1/2$)

$$C = \frac{C_0}{\left(1 - \frac{u_D}{U_\gamma}\right)^n}$$

1.2.9 Realizácia prechodov

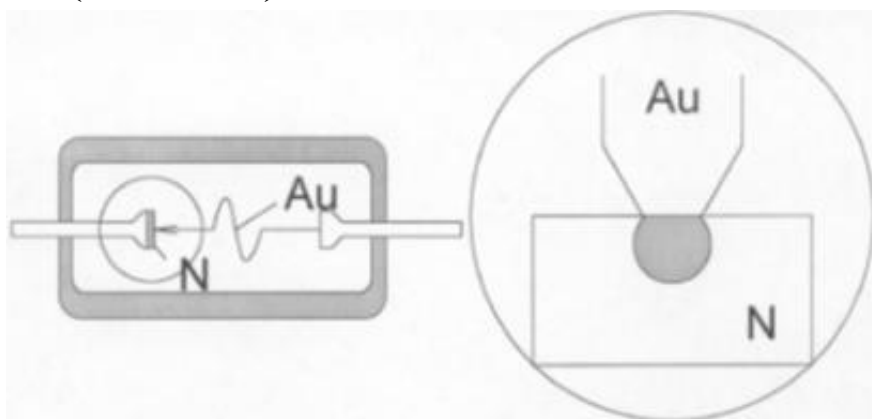
- bodový - tlakom kovového hrotu na monokryštál (hrotové diódy)
- zliatinový - roztavenie guľôčky (In pre P) na základnej doštičke (N)
- difúzny (planárny) - difúzia dopačného materiálu v plynnej (kvapalnej) fáze
- selektívny difúzny - použitie fotolitografie pre zmenšenie plochy prechodu
- epitaxne planárny - (zníženie odporu polovodiča mimo prechod)
- mesa - odleptanie časti planárneho prechodu s cieľom znížiť plochu prechodu (využitie pre VF)



1.2.10 Typy diód

Detekčné a spínacie diódy - pre usmernenie elektrických signálov frekvencií vyšších ako 50 Hz (detekcia, modulácia, demodulácia, tvarovanie, zmiešavanie, ochrana); vyžadujú malú kapacitu prechodu; záverne napätia do 200V; prúdy 10^2 mA; realizácia - hrotové, s privareným hrotom, plošné

Hrotové - $i_D = I_0 \left(e^{\frac{q}{kT}(u_D - iR_S)} - 1 \right)$; R_S - odpor oblasti pod hrotom, kapacita ~ 1 pF

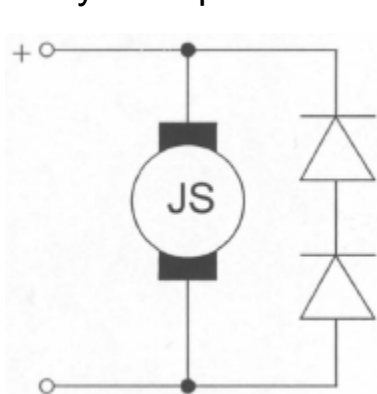


Pri Si je priebeh V-A charakteristiky zhruba kvadratický

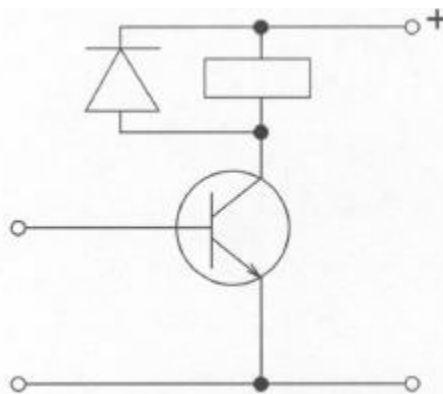
Pre mikrovlnovú techniku existujú rôzne realizácie (kovovo zapuzdrene, koaxiálne)

Kremíkové plošné - vyrábajú sa selektívnou difúznou technikou epitaxným rastom (viď obr.)

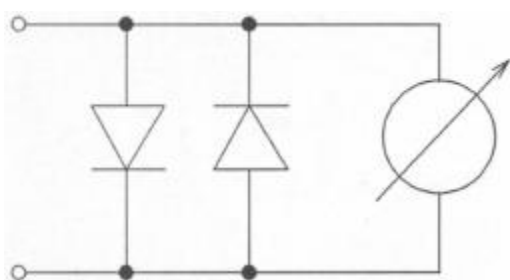
Použitie detekčných a spínacích diód



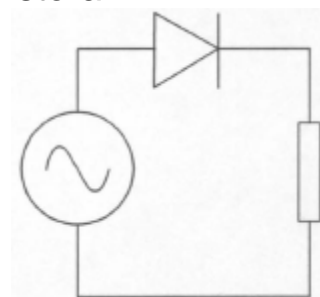
Odrušenie



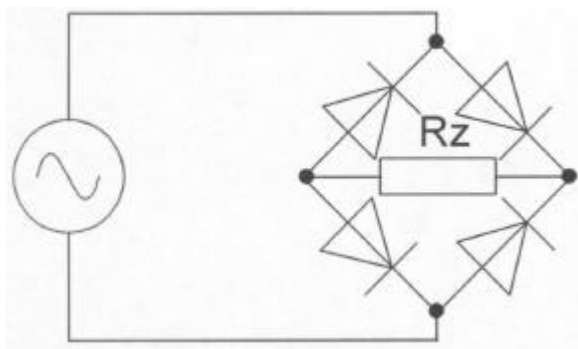
Ochrana tranzistora



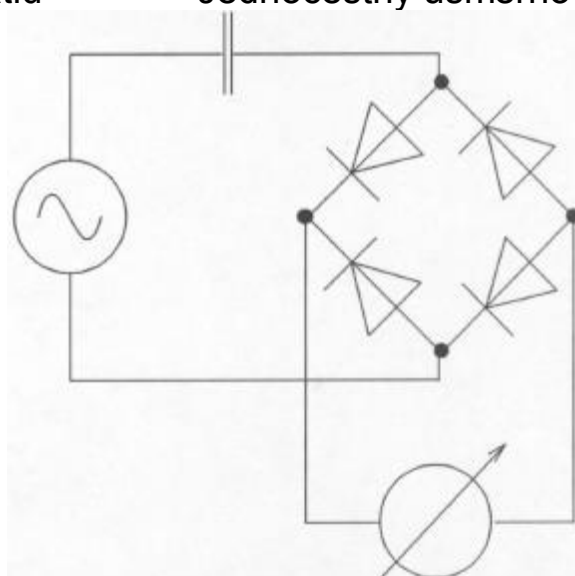
Ochrana citlivých prístrojov proti prepätiu



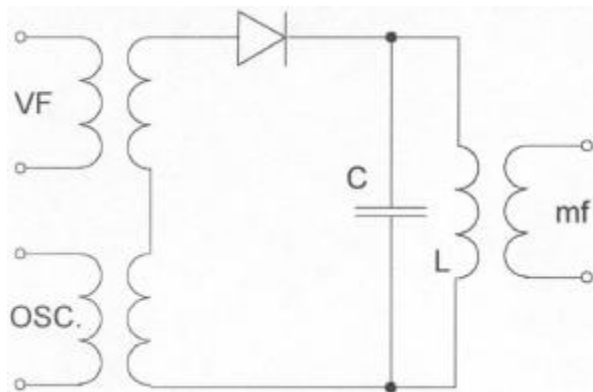
Jednocestný usmerňovač



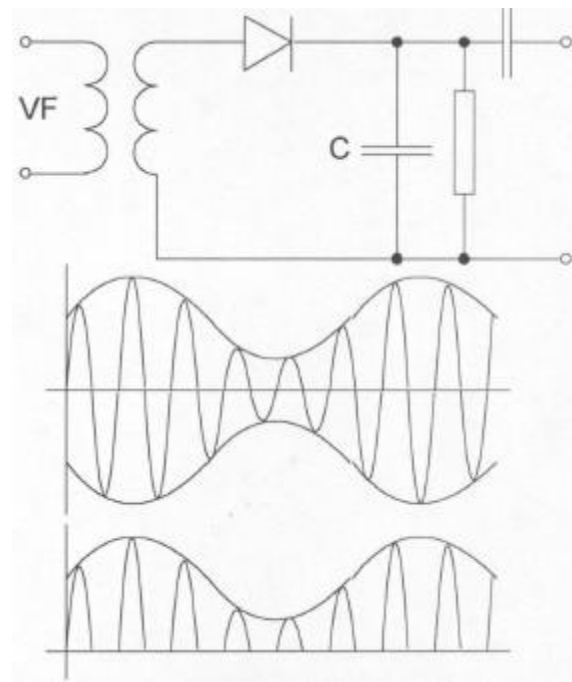
Dvojcestný usmerňovač



Meranie str. zložky napätia js. meradlom



Zmiešavač

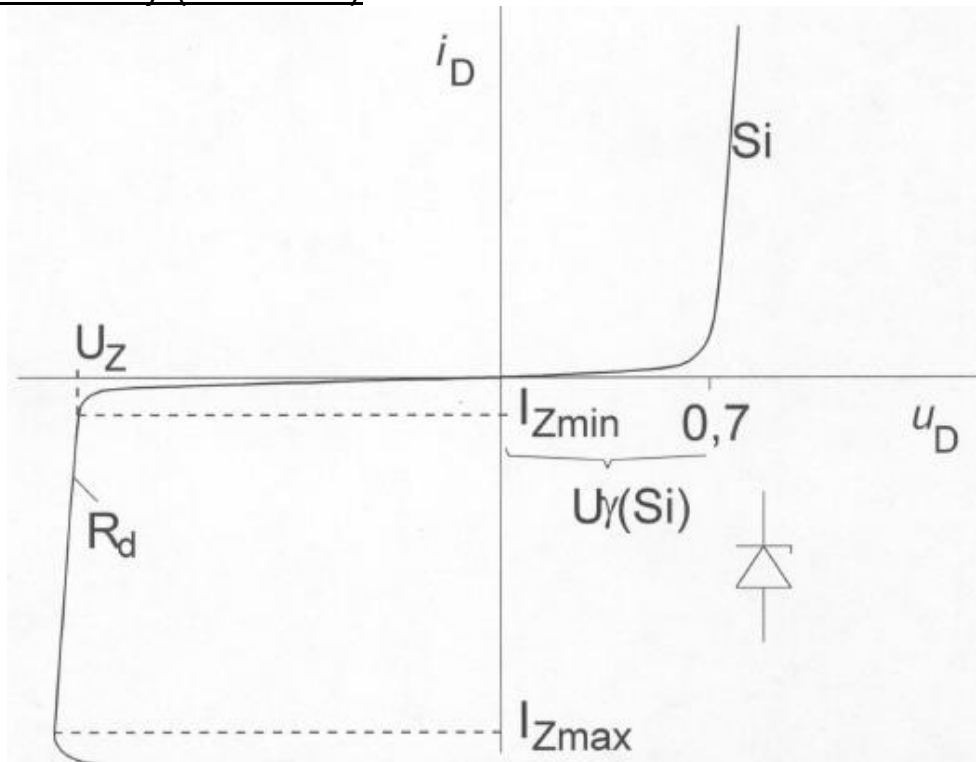


Demodulátor AM

Usmerňovacie diódy (zvyčajne pre frekvencie 50Hz)- klasické diódy v poslednom čase takmer výhradne Si;

Parametre usmerňovacích diód:

- I_{\max} , - maximálny prúd v priepustnom smere, $I_{\max} \sim 1 - 100A$
- P_{\max} maximálny stratový výkon
- Medzné záverné napätie U_{\max} , rozsah napätí $U_{\max} \sim 10 - 1000V$,
- Max. prúd v závernom smere pri medznom závernom napätí,
- Max. JS nap. v priepustnom smer,
- Max. stredná hodnota jendocestne usmerneného prúdu,
- Maximálna teplota prechodu,
- Krivky vplyvu teploty na jednotlivé parametre,

Stabilizačné diódy (Zenerové)

Dôvod vzniku javu: teplotne a zvýšenou intenzitou el. poľa generované minoritné nosiče sú urýchľované a nadobudnú energiu, ktorá stačí v mriežke narušiť kovalentné väzby, vznikne lavínový jav

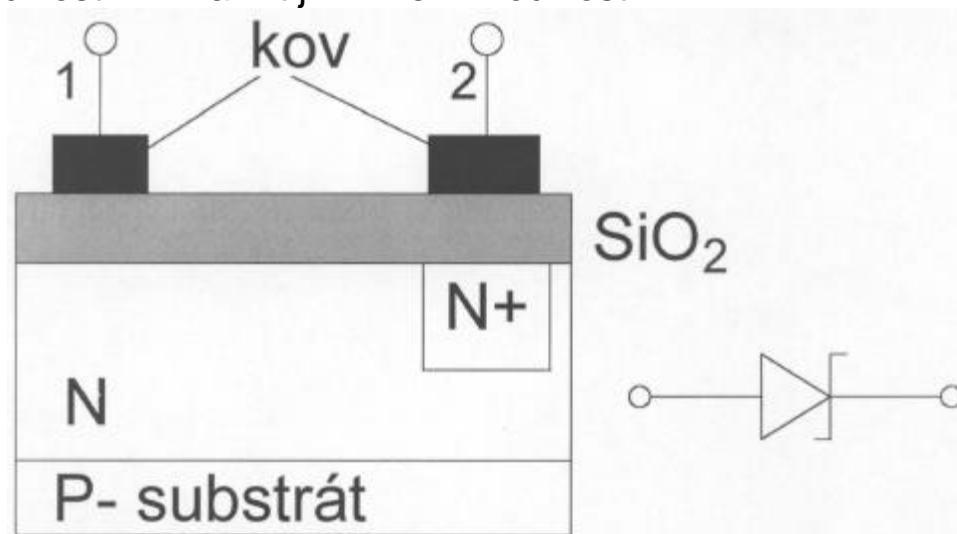
Parametre:

- U_Z - stabilizačné napätie - udáva zvyčajne stred doporučeného pracovného rozsahu, prípadne prípustný výrobný rozptyl, alebo U_Z pri určitom I_Z ,
- I_{Zmax} , I_{Zmin} , (zvyčajne $0,1 I_{Zmax}$) -- môžu byť udané podmienky chladenia,
- R_d - diferenciálny odpor,
- P_{Zmax} - maximálna výkonová strata bez chladenia alebo s chladením,
- S_z - teplotný súčiniteľ, $S_z = \frac{1}{U_Z} \frac{\Delta U_Z}{\Delta T}$, pri $U_Z > 5V$ prevláda lavínový jav - $S_z > 0$; pri $U_Z < 5V$ prevláda Zenerov prieraz - $S_z < 0$; pre $U_Z \sim 5,5V$ $S_z \sim 0$,
- R_{thj} - tepelný odpor
- Maximálna teplota prechodu

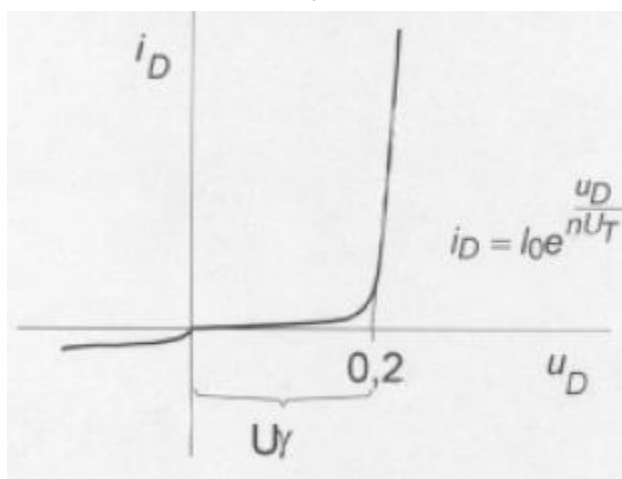
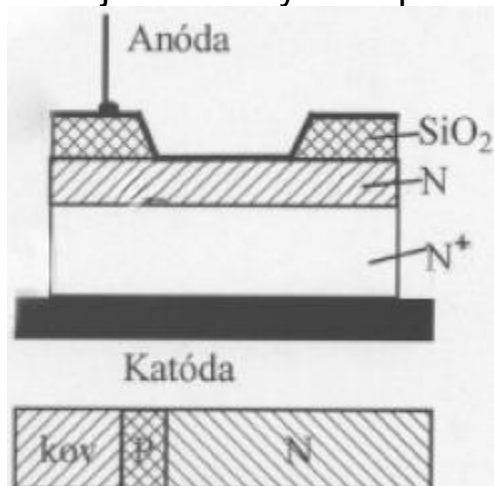
Použitie: napäťový stabilizátor, napäťová referencia

Schottkyho diódy - sú vytvorené na priechode kov (Al, Pt) N-tych polovodičov.

Využívajú jav vznikajúci na **styku kov - polovodič**. Ak výstupná práca elektrónu v kove $e \cdot \Phi_m < e \cdot \Phi_s$ výstupná práca elektrónu v polovodiči typu **N**, elektróny pri styku oboch látok prenikajú do kovu. V kove sa v dôsledku jeho vodivosti rozptýlia. V polovodiči vzniká silné odčerpávanie elektrónov a prevládnu minoritné nosiče; dochádza k lokálnej zmene vodivosti z N na P t.j. k inverzii vodivosti



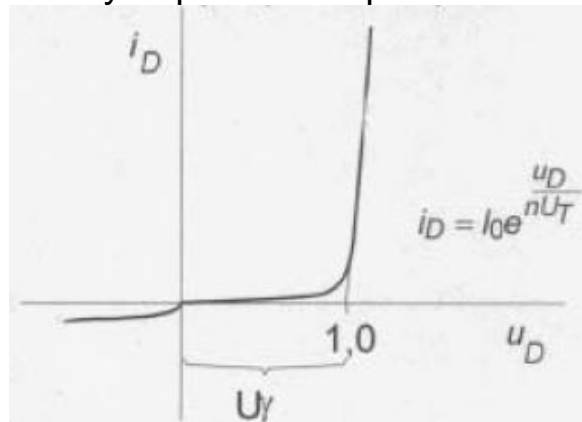
Používajú sa ako rýchle spínacie alebo detekčné diódy



Schottkyho diódy je možné považovať za unipolárny prvok, v ktorom sa na vzniku prúdu podieľajú iba elektróny ako majoritné nosiče. Majú malý dynamický odpor a používajú sa ako rýchle spínače v oblasti cm vln a zmiešavače

Diódy PIN

Používajú sa v oblasti cm vln ako riadený odpor alebo spínač



Pri rýchlych zmenách smeru napätia nosiče nestihnú Vyprázdniť oblasť I a prejavuje sa to ako lineárny odpor

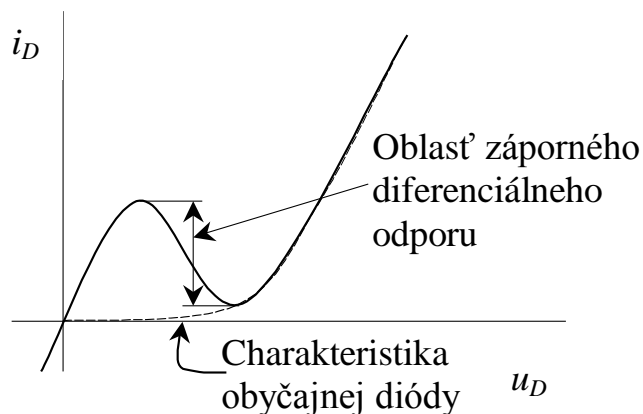
1.2.11 Varaktorová dióda (Varikap)

Využíva kapacitu PN prechodu polarizovaného v závernom smere, pričom kapacita je závislá od veľkosti priloženého záverneho napätia (viď vzťah pre kapacitu prechodu). Používa sa v napätím riadených oscilátoroch.

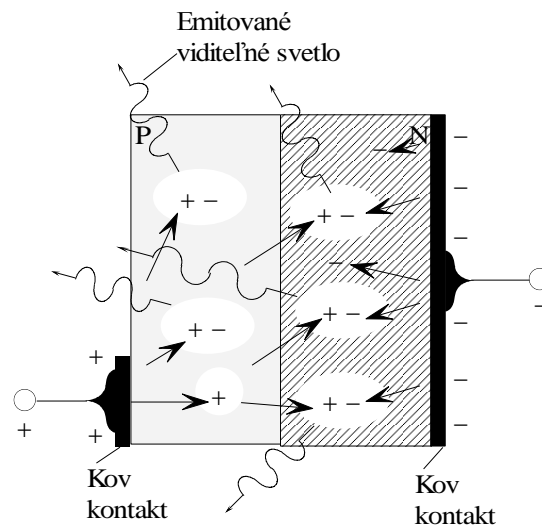
1.2.12 Tunelová dióda (Esakiho)

Je ešte viac dopovaná ako zenerová dióda, čo spôsobuje zúženie vyprázdnenej oblasti. Vzniká tzv tunelový efekt.

Charakteristika:



Rozsah záporného dif. odporu 50mV až 250mV.

1.2.13 Svetlo emitujúca dióda (LED)

Proces emitovania svetla (elektroluminiscencie) svetloemitujúcej diódy (LED)

Materiály - GaAsP, GaP

Elektróny vracajúce sa z vodivostného pásma do mezihladiny (rekombinujú s dierami) vyžiaria energiu vo forme svetla. V prípade Si a Ge sa vyžiarí energia vo forme tepla. Intenzita emitovaného svetla je úmerná počtu rekombinujúcich elektrónov (prúdu diódy).

Fotodióda pracuje inversne ako LED. Fotóny dopadajúceho svetla nabúravadajú kovalentné väzby a zvyšujú prúd v závernom smere.