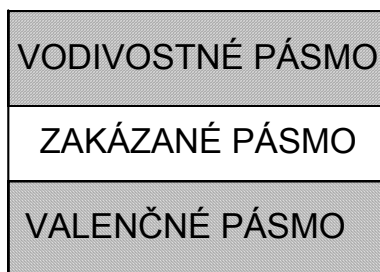
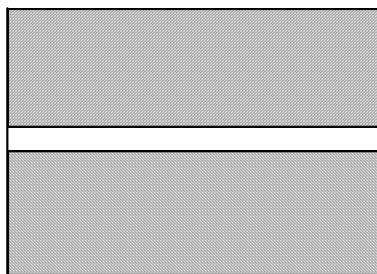


# 1. POLOVODIČE

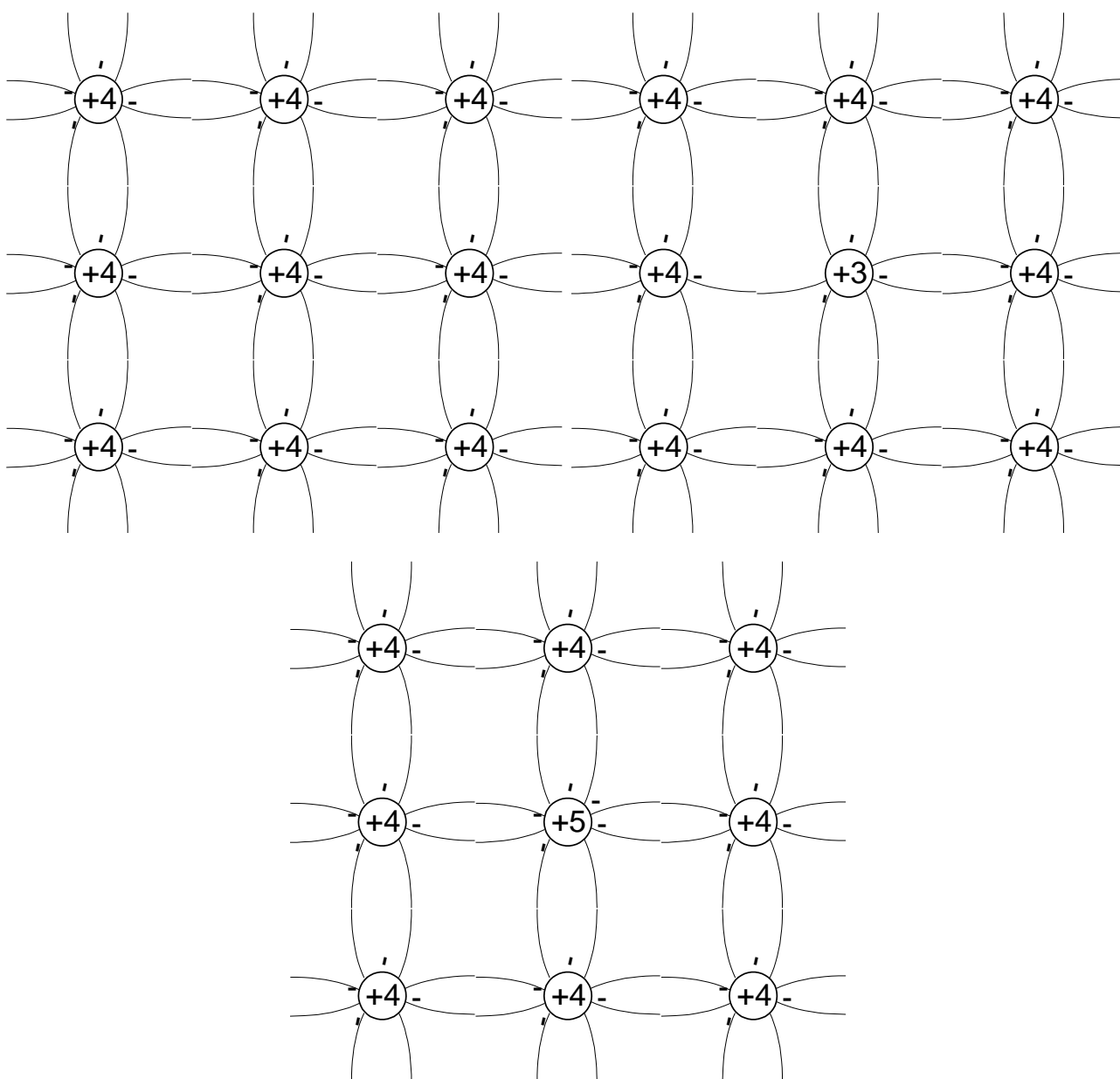
## 1.1.1 Vodivosť v materiáloch



IZOLÁTOR

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

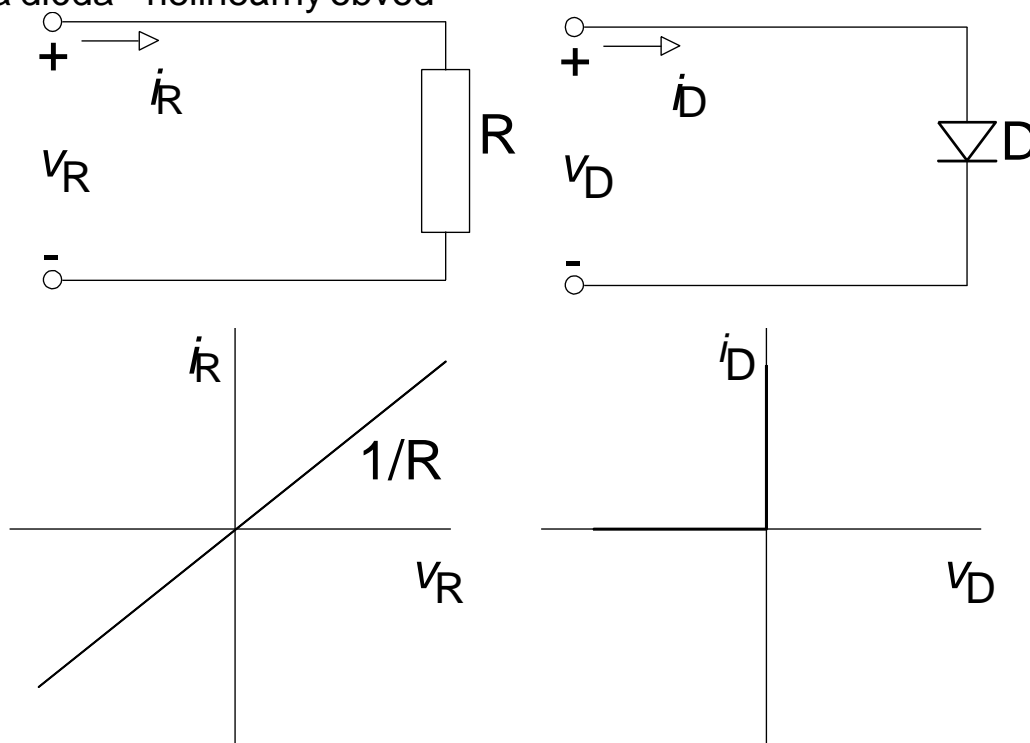
VODIČ



Kovalentné väzby v kryštálovej mriežke

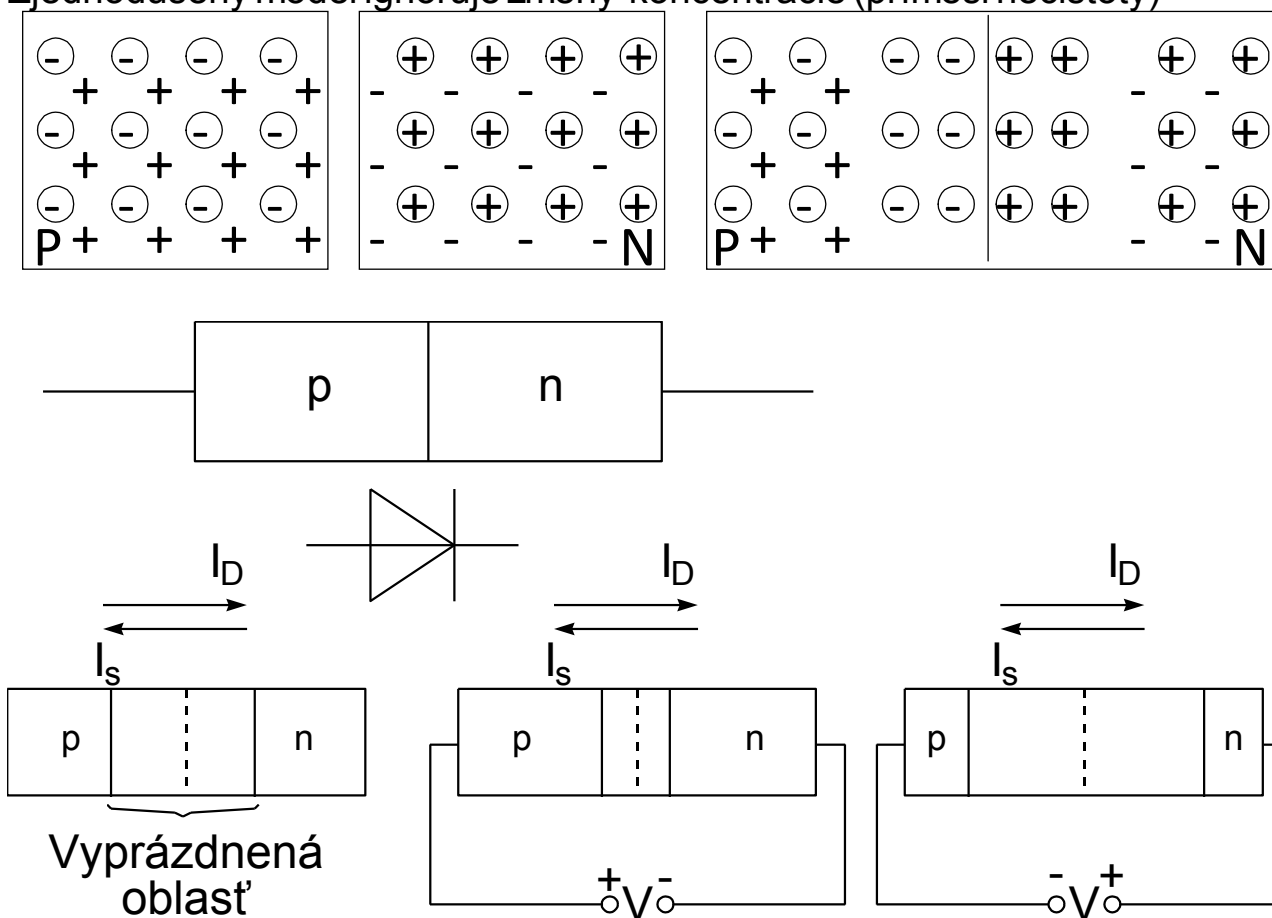
## 1.2 Polovodičové diódy

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

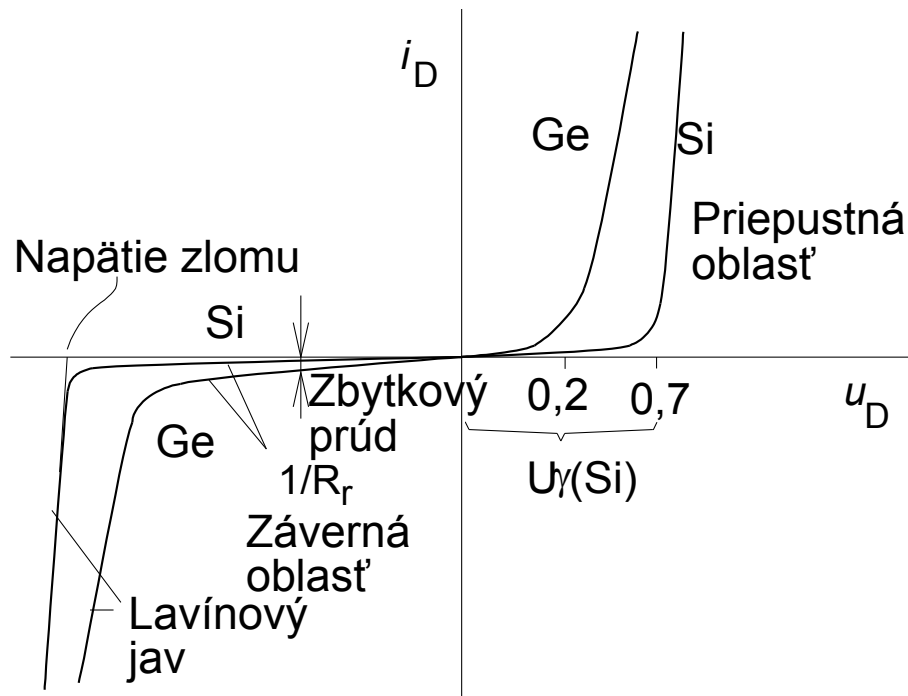
Existujú dva mechanizmy generovania prúdu v PN priechode

$I_D$  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



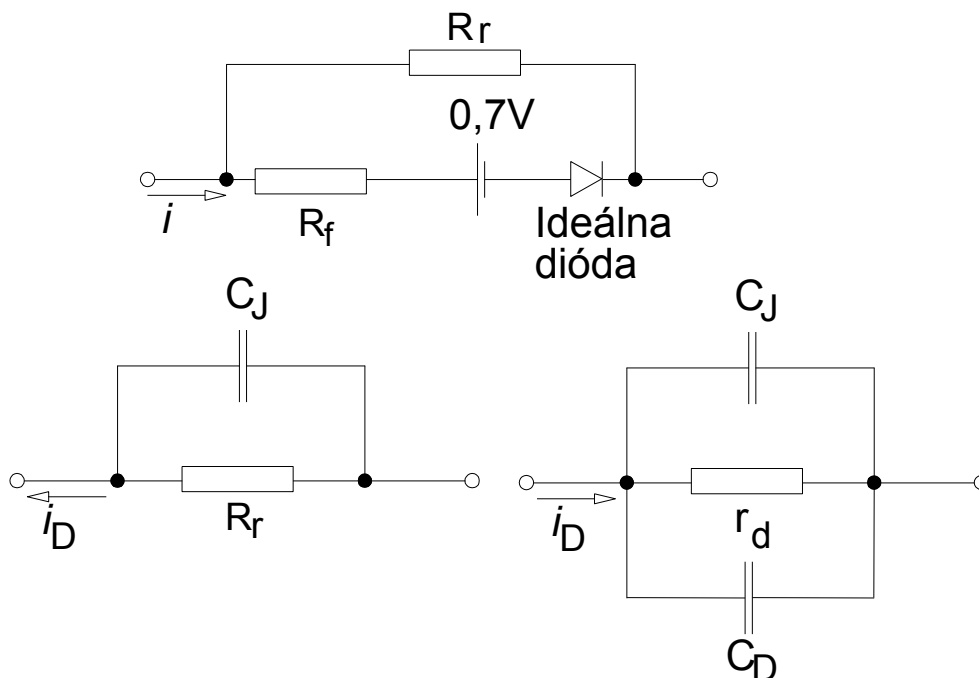
$U_\gamma = 0,2V$  (Ge);  $0,7V$  (Si);  $1,2V$  (GaAs) vyplýva to zo stavby atómu

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

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)

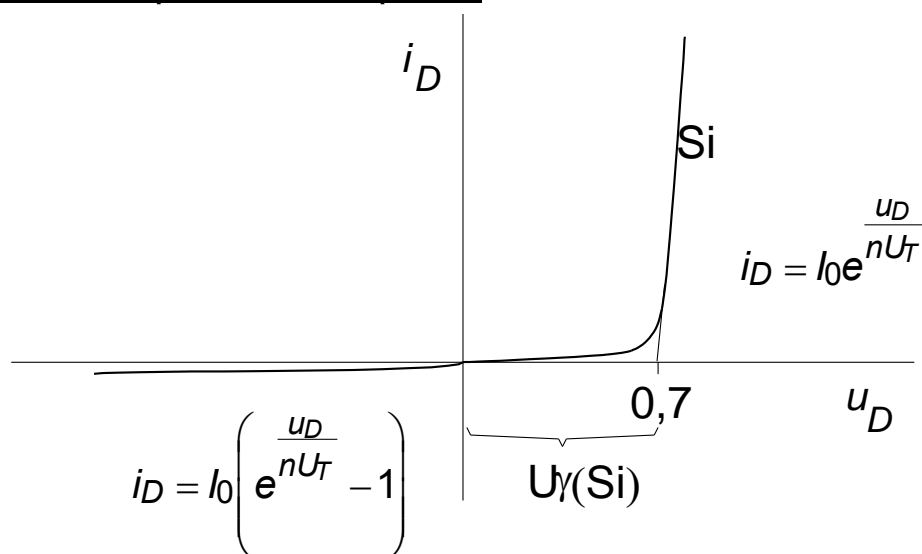
### 1.2.3 Ekvivalentné obvodové modely



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<sup>-1</sup>]

$T$  - 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  $n \approx 1,3 - 1,6$

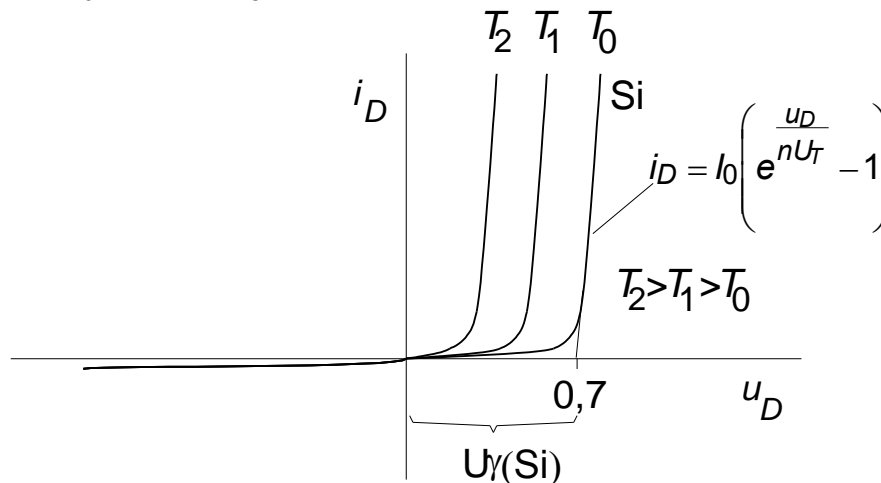
$i_D$  je nelineárna fcia  $\Rightarrow$  strmosť v pracovnom bode Q

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

### 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);  $T_0 = 25^\circ\text{C}$

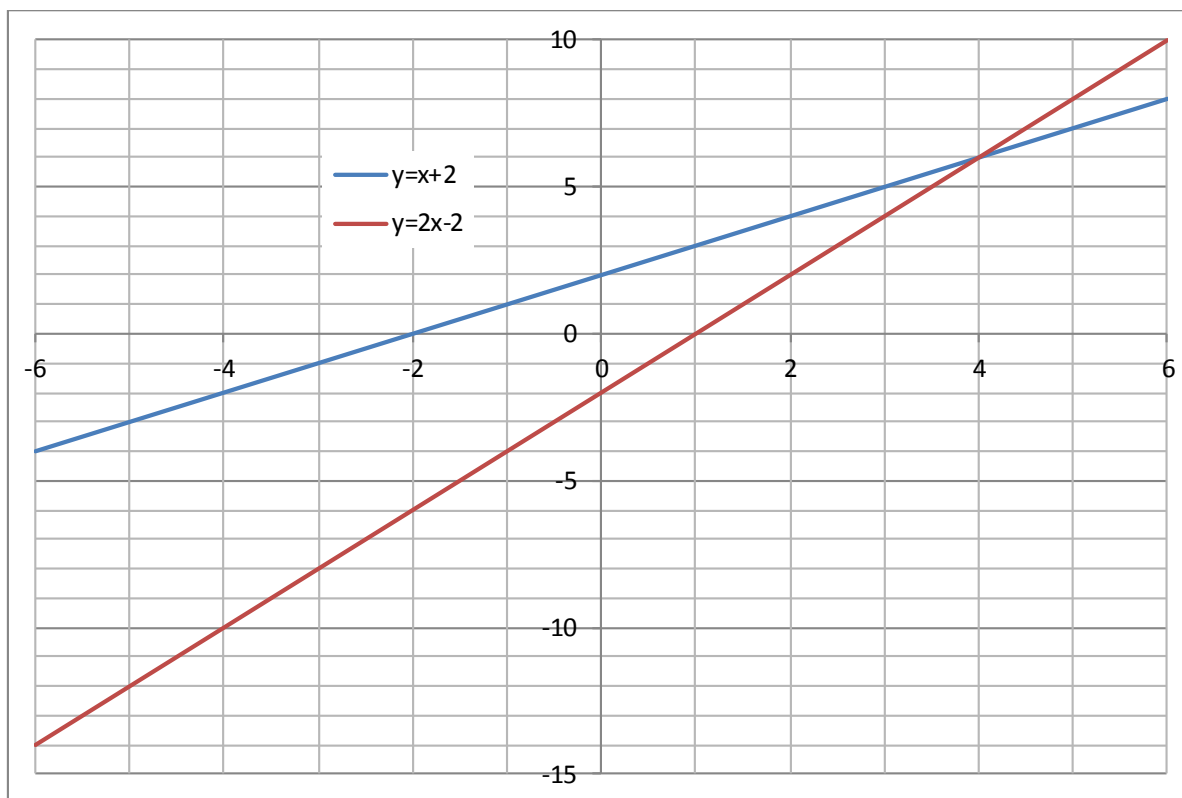
$I_0$  = parameter závislý od teploty

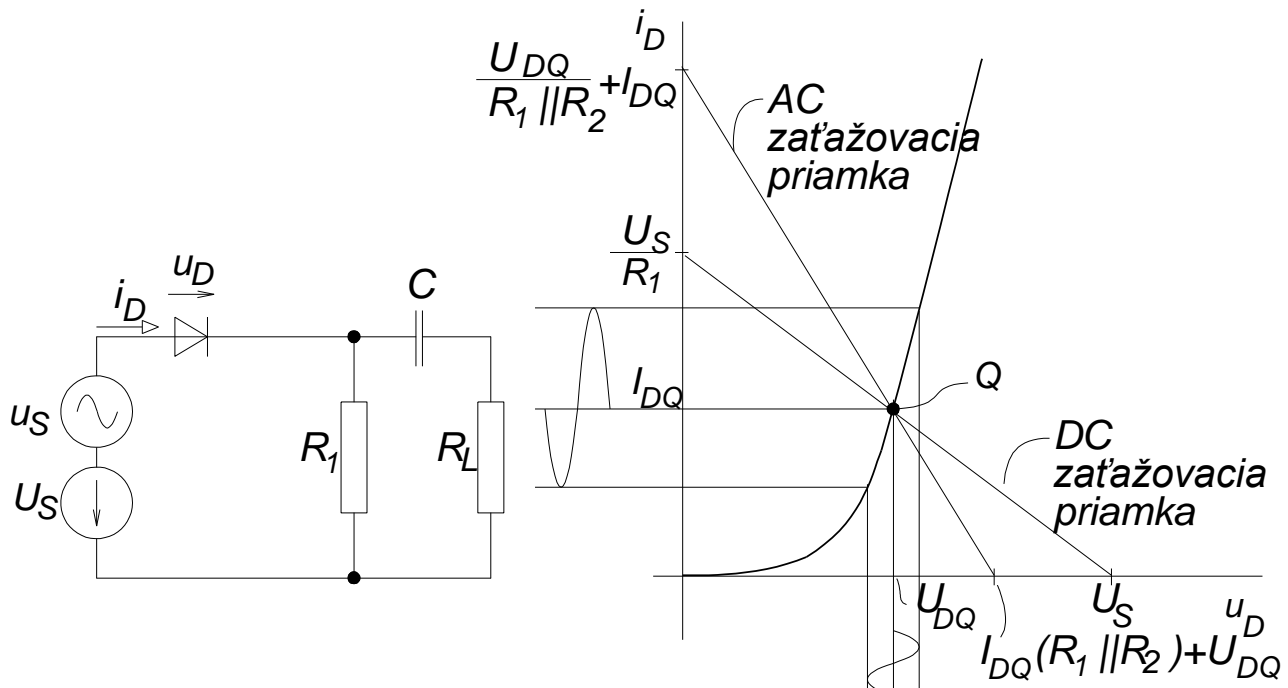
$$I_0(T_2) = I_0(T_1) e^{k_i(T_2 - T_1)} \quad k_i = 0,072^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow I_0(T_1 + 10) = 2I_0(T_1)$$

### 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 požitá 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

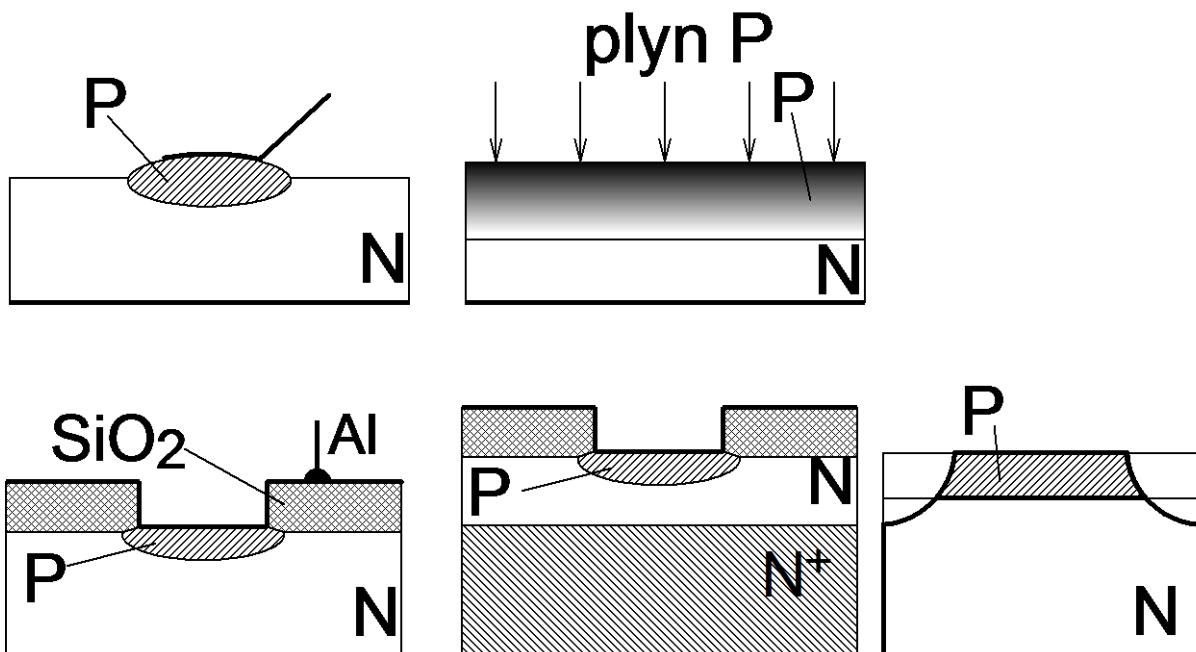
Závisí od veľkosti a polarít priloženého napätia a konštrukcie ( $10^0 \div 10^2$  pF) vid' obr. PN prechod. Môže sa aproximovať vzťahom

pričom  $C_0$  je pre  $u_D = 0$  V a  $n$  závisí od tvaru dotačného 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

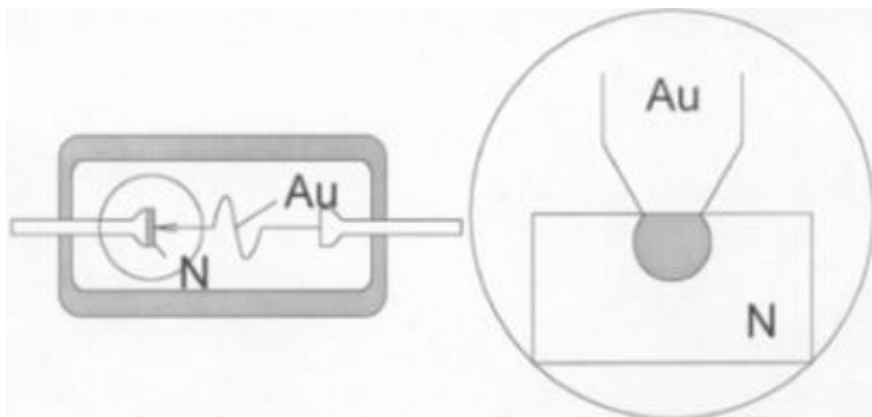
- bodový - tlakom kovového hrotu na monokryštál (hrotové diódy)
- zliatinový - roztavenie guľôčky (In pre P) na základnej doštičke (N)
- difúzny (planárny) - difúzia dopačného materiálu v plynnej (kvapalnej) fáze
- selektívny difúzny - použitie fotolitografie pre zmenšenie plochy prechodu
- epitaxne 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  $\sim 1$  pF



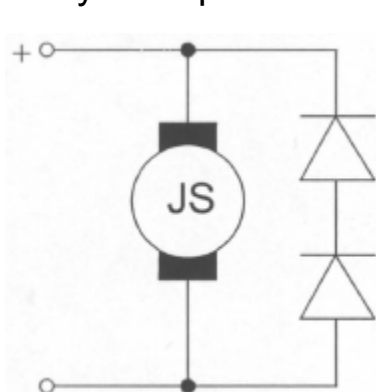


Pri Si je priebeh V-A charakteristiky zhruba kvadratický

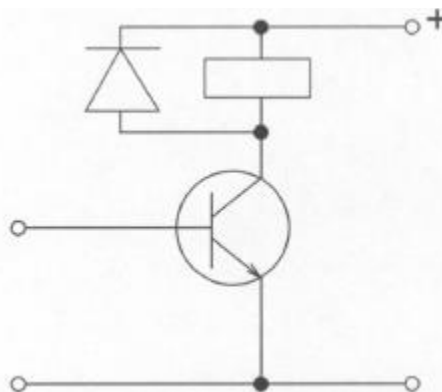
Pre mikrovlnovú techniku existujú rôzne realizácie (kovovo zapuzdrene, koaxiálne)

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

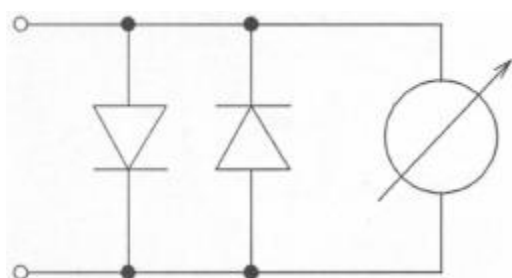
Použitie detekčných a spínacích diód



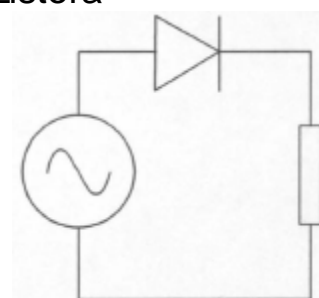
Odrušenie



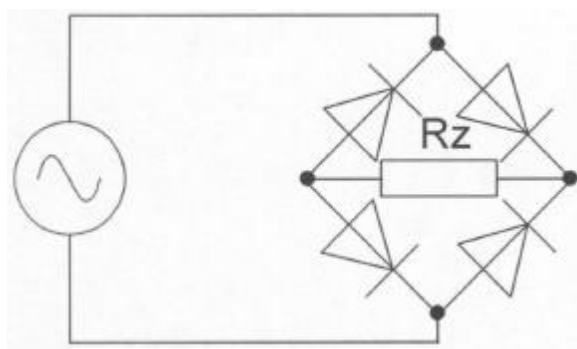
Ochrana tranzistora



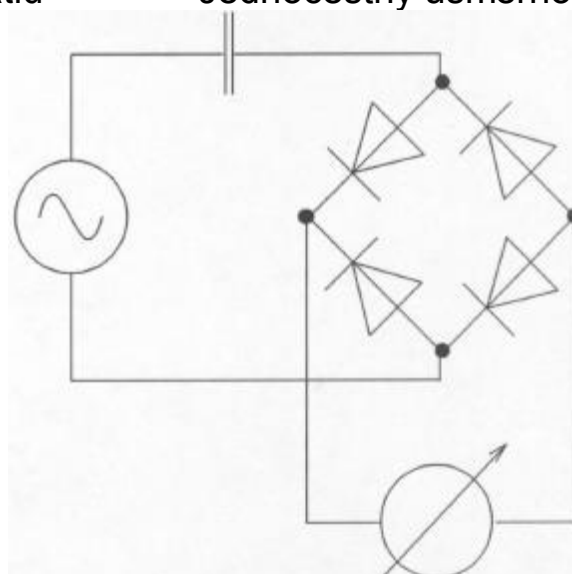
Ochrana citlivých prístrojov proti prepätiu



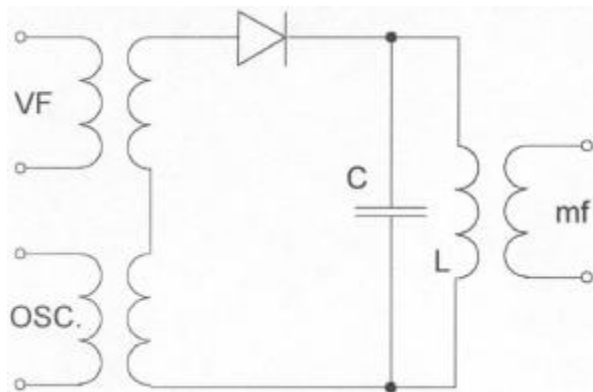
Jednocestný usmerňovač



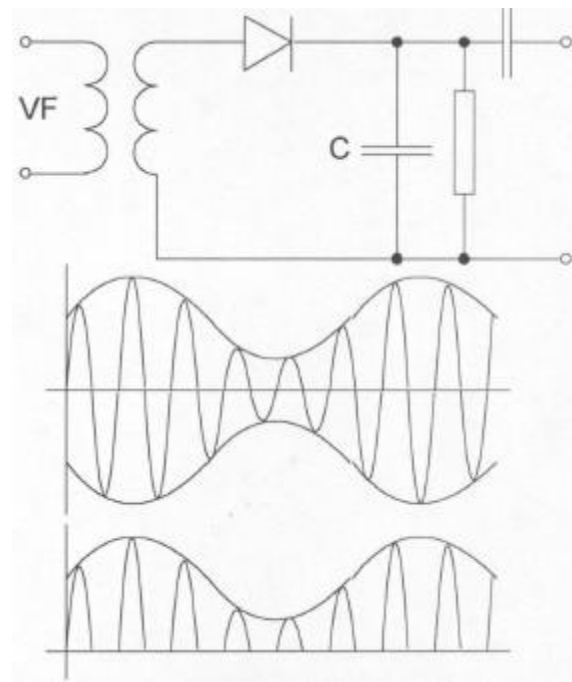
Dvojcestný usmerňovač



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 usmerneneného prúdu,
- Maximálna teplota prechodu,
- Krivky vplyvu teploty na jednotlivé parametre,