

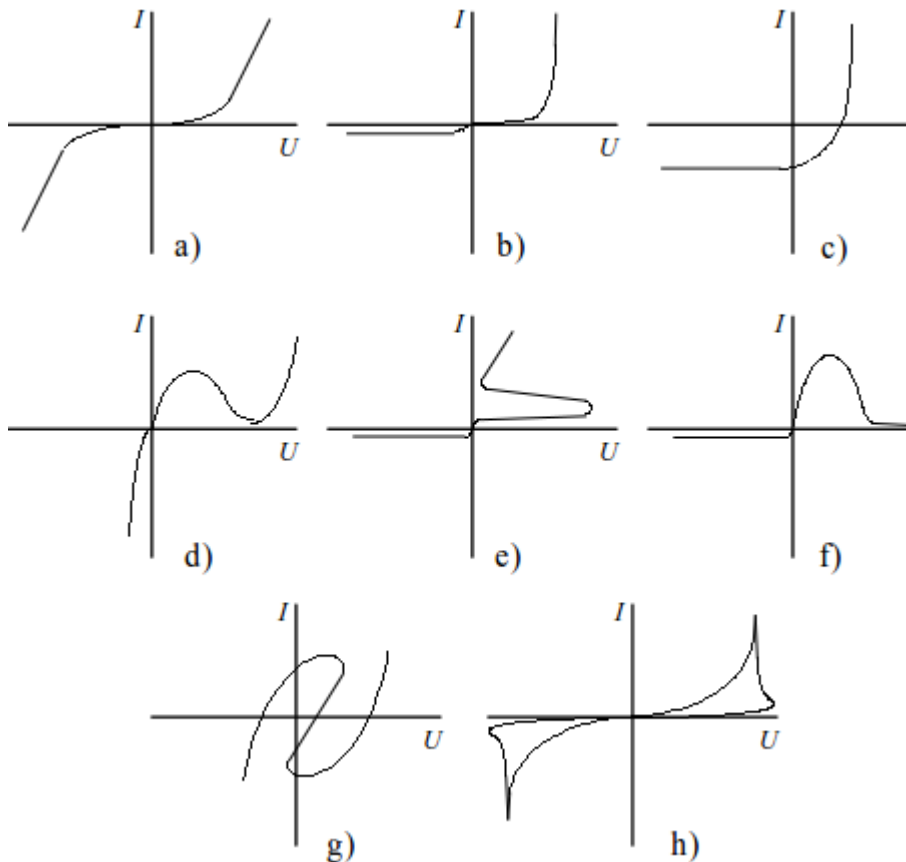
Dvojpólové součástky

Přednášky k předmětu KMT/ES

Vlastnosti a charakteristiky součástek

Ideální součástka – lze popsat jedním parametrem

Reálná součástka – má parazitní vlastnosti



lineární X nelineární
symetrické X nesymetrické
pasivní X aktivní

Rezistor

Ideální rezistor – jediný parametr: odpor $R[\Omega]$

Reálný rezistor – vykazuje také indukčnost a kapacitu

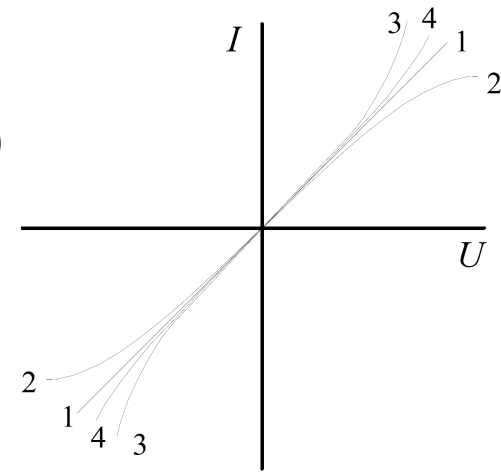


Průchodem proudu se rezistor zahřívá

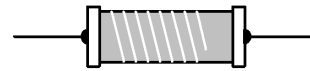
ideální rezistor svůj odpor s teplotou nemění (charakteristika 1)

kovový rezistor – kladný teplotní součinitel (char. 2)

uhlíkový rezistor – záporný teplotní součinitel (char. 3, 4)



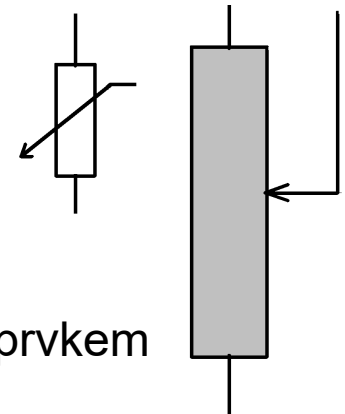
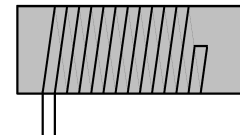
Odporová vrstva na keramickém válečku,
vybroušení spirály pro zvětšení odporu



Pro větší výkony – drátový rezistor

– navinutý odporový drát na keramickém válečku

– bifilární vinutí pro potlačení indukčnosti



Potenciometr – plynule nastavitelný odpor

- na odporovou vrstvu přiléhá pohyblivý kontakt spojený s ovládacím prvkem

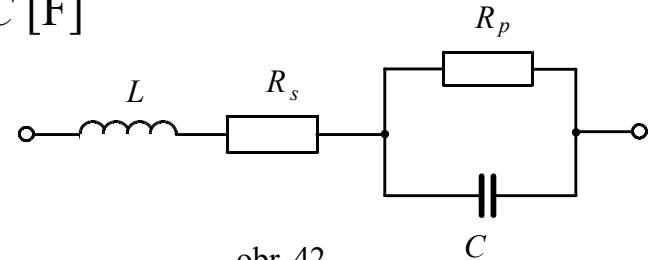
Kondenzátor

Ideální kondenzátor – jediný parametr – kapacita - C [F]

Reálný kondenzátor – náhradní schéma

Kvalita kondenzátoru

- ztrátový úhel δ : $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_p}$



obr. 42

použitelný pro frekvence, pro které platí:

$$R_p \gg \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad \omega \cdot L \ll \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad R_s \ll \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Maximální napětí – průraz dielektrika

Dělení dle tvaru elektrod:

Deskový :

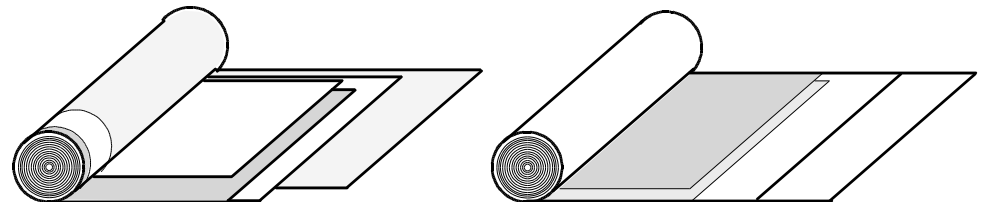
$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

Válcový:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Svitkový:

$$C = \frac{2\varepsilon \cdot b \cdot l}{d}$$



obr. 43

Hodnoty kapacit – řada E6, E12 ...

Značení: 100n, 3k3, 68, M1, 100M

Rozdělení kondenzátorů dle materiálu dielektrika

Vzduch: malá kapacita ($\sim 100\text{pF}$), pro vysoké frekvence zanedbatelné ztráty - rozhlasová a televizní technika

Slída: (do 10nF), dlouhodobá stabilita, $\delta=10^{-5}-10^{-3}$, malá teplotní závislost X malá ϵ_r , nelze použít pro svitek

Papír: (do $100\mu\text{F}$), impregnovaný papír (metalizovaný papír), výhradně svitky, $\delta=10^{-2}$

Umělá hmota: (do $100\mu\text{F}$), polystyren, polyester, svitky, sendvič, $\delta=10^{-2}$,

Keramika: (do $1\mu\text{F}$), velký rozsah ϵ_r , pro velká ϵ_r pak nízká rezistivita, ϵ_r závislá na teplotě

Elektrolytický kondenzátor: ($>100\text{mF}$), do svitku stočený (Al) plech s naleptaným povrchem (houbovitá struktura), oxidací vytvořena vrstva dielektrika (Al_2O_3), druhá elektroda – elektrolyt, na kondenzátoru vyznačena polarita, velká výrobní tolerance kapacity, nestabilní.

Ladící kondenzátor (s proměnnou kapacitou): vzduchový, plechy ve tvaru půlkruhu, vzájemně proti sobě otočné

Rozdělení kondenzátorů dle materiálu dielektrika

Vzduch: malá kapacita ($\sim 100\text{pF}$), pro vysoké frekvence zanedbatelné ztráty - rozhlasová a televizní technika

Slída: (do 10nF), dlouhodobá stabilita, $\delta=10^{-5}-10^{-3}$, malá teplotní závislost X malá ϵ_r , nelze použít pro svitek

Papír: (do $100\mu\text{F}$), impregnovaný papír (metalizovaný papír), výhradně svitky, $\delta=10^{-2}$

Umělá hmota: (do $100\mu\text{F}$), polystyren, polyester, svitky, sendvič, $\delta=10^{-2}$,

Keramika: (do $1\mu\text{F}$), velký rozsah ϵ_r , pro velká ϵ_r pak nízká rezistivita, ϵ_r závislá na teplotě

Elektrolytický kondenzátor: ($>100\text{mF}$), do svitku stočený (Al) plech s naleptaným povrchem (houbovitá struktura), oxidací vytvořena vrstva dielektrika (Al_2O_3), druhá elektroda – elektrolyt, na kondenzátoru vyznačena polarita, velká výrobní tolerance kapacity, nestabilní.

Ladící kondenzátor (s proměnnou kapacitou): vzduchový, plechy ve tvaru půlkruhu, vzájemně proti sobě otočné

Cívka, tlumivka, transformátor

Ideální cívka – jediný parametr – indukčnost - L [H]

$$L = \mu_o \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}$$

Reálná cívka – velké množství nezanedbatelných vedlejších parametrů (křížové vinutí)

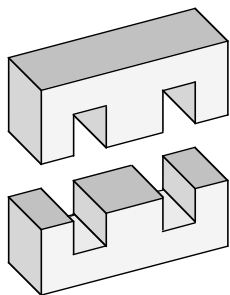
Cívky se stejnou indukčností se mohou lišit odporem vinutí, ztrátami, zatižitelností, parazitní kapacitou, magnetickým polem ... → cívky se nevyrábí jako univerzální součástky, v elektronických obvodech se omezují na minimum (rozhoduje i cena)

Použití: rezonanční obvody, pásmové propusti, transformátor

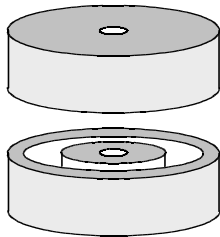
Parametr – kvalita = strmota kmitočtové charakteristiky $Q = \frac{\omega_r \cdot L}{R}$

Materiál jádra: vzduch, vodivý materiál - plechy, nevodivý materiál - ferit ($\mu_r = 10 - 10\,000$)

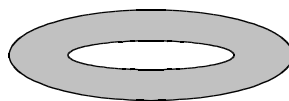
Tvar jádra:



E jádro



hrníčkové jádro



toroidní jádro



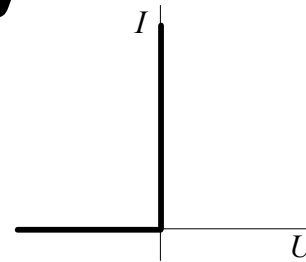
korálek

Tlumivka: blokování proudů s vyšší frekvencí, přerušené jádro – přesycení mag. obvodu

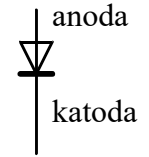
Transformátor: změna velikosti střídavého napětí, galvanické oddělení obvodu

Diody

Ideální dioda – VA charakteristika:



obr. 51



obr. 56

Historie:

Polarizované relé – mechanický usměrňovač (malé frekvence)

Vakuová dioda → elektronky (malá účinnost, velké odchylky od ideální VA)

Kuproxový usm. – oxidace mědi – vrstvy Cu_2O , CuO - PN přechod (malé závěrné napětí)

Selenový usm. – na selen napařovány sloučeniny kadmia
– vytlačil kuproxový (větší závěrné napětí)

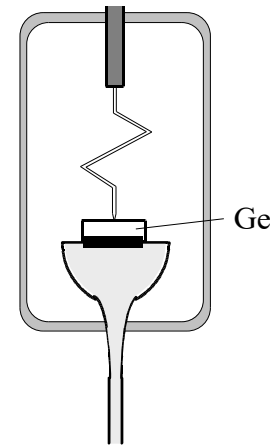
... malá proudová hustota – velké rozměry – nízké frekvence

Hrotová dioda

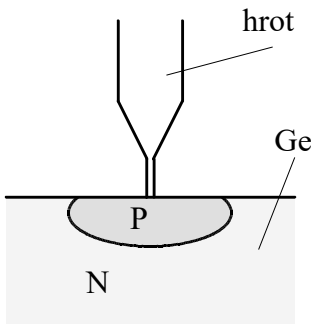
1. Světová válka – radiotechnika

germaniová destička, wolframový napružený drátek
(hrot drátku naostřen na $1\mu\text{m}$)

Po uzavření do pouzdra – intenzivní krátké proudové impulsy
- zahřátí germania – difúze iontů z hrotu do germania - P

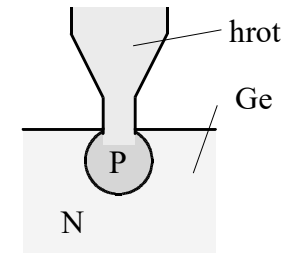


obr. 52



obr. 53

„Svařovaná dioda“ – místo wolframu
použitý zlatý drátek s příměsí galia –
roztavení galia, vniknutí to germania,
rekrytalizace (větší mechanická odolnost)



obr. 54

Hrotové diody – velmi malá kapacita – použití až do 1GHz

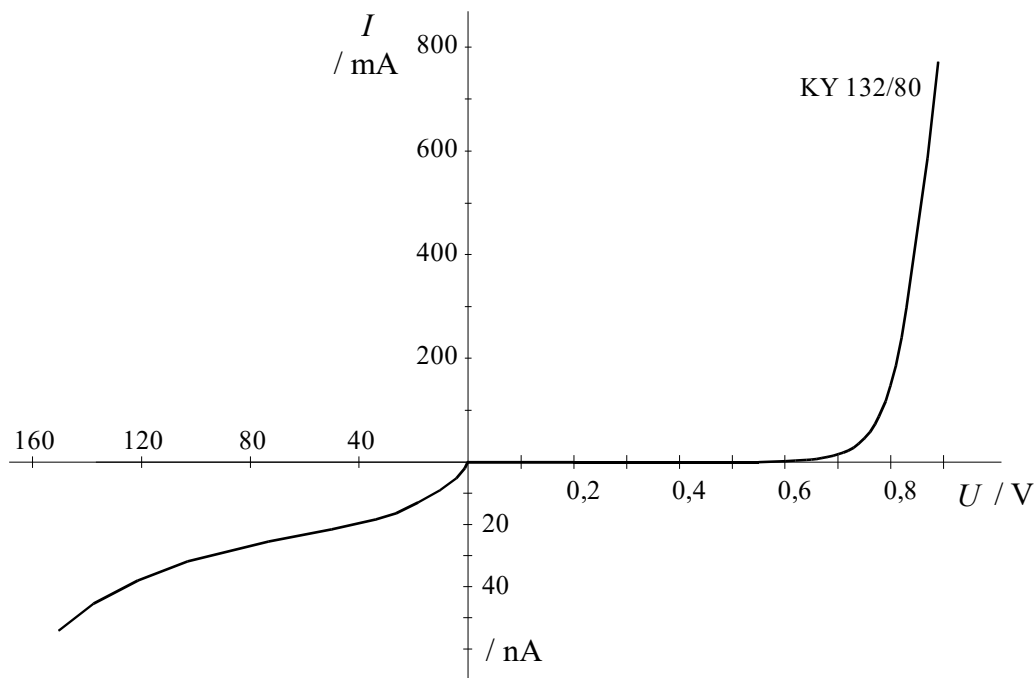
Při použití křemíku – použití až desítky GHz

Plošná dioda

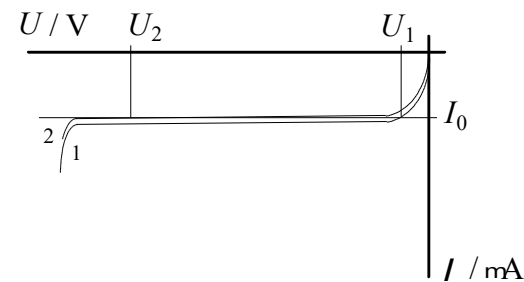
Velká plocha PN přechodu (až desítky cm^2) – velké proudy (až tisíce ampér) – velké závěrné napětí (až několik kV) – nízké frekvence (max. desítky kHz)

Používá se výhradně křemík

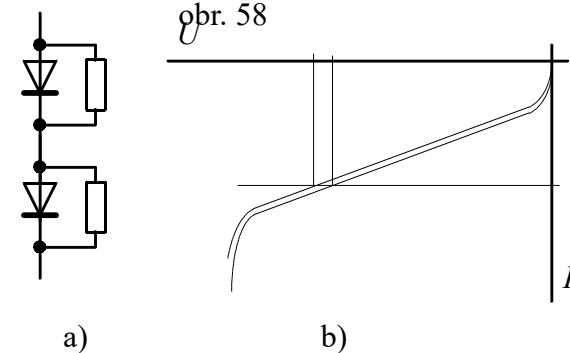
velká účinnost (až 99,9%) – malé rozměry – nutnost chlazení



obr. 57



obr. 58



obr. 59

usměrňování velkých napětí - Sériové zapojení – nutno použít paralelně zapojený rezistor

Schottkyho dioda

Rozhraní polovodič-kov

Používá se křemík typu N + Au nebo Al



obr. 60

Výhody:

- Pouze majoritní nositelé – rychlejší vznik a zánik hradlové vrstvy (až desítky GHz)
- Menší propustné napětí 0,3V
- Dobře reprodukovatelné parametry

Zenerova dioda

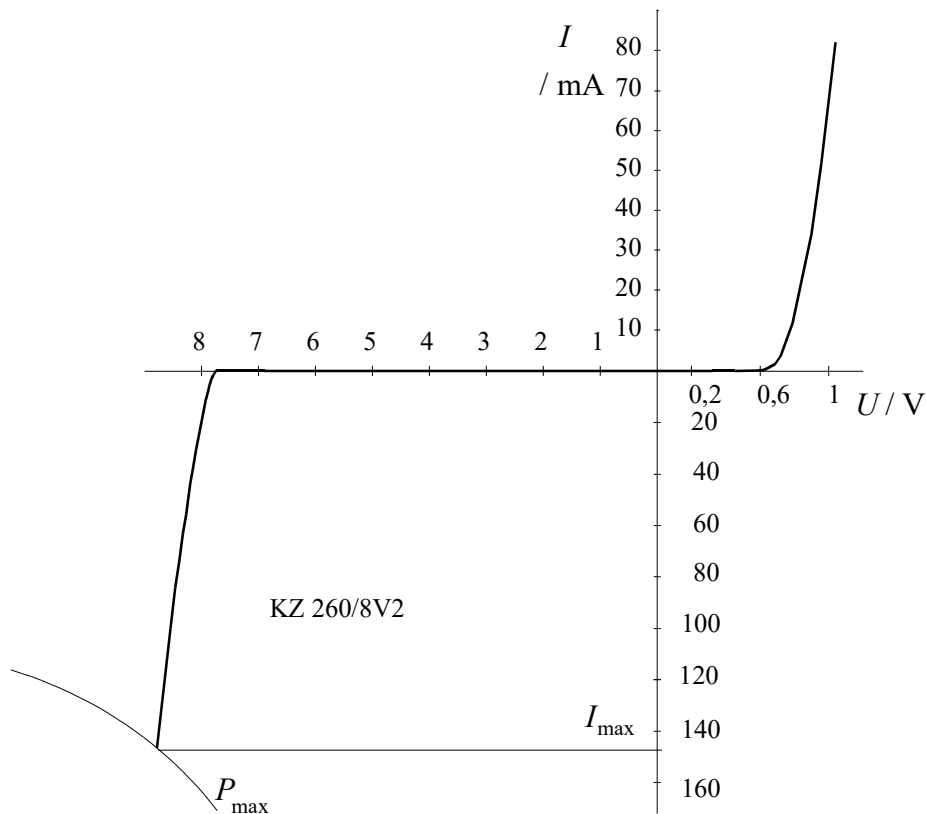


obr. 62

Propustný směr – stejné vlastnosti jako plošná dioda

Závěrný směr

– uplatnění Zenerova nebo lavinového jevu dříve, než dojde k tepelnému průrazu.
(siná dotace – tenký PN přechod)



obr. 61

Zenerovy diody lze bez jakékoliv korekce zapojovat sériově – Zenerovo napětí je dáno součtem.

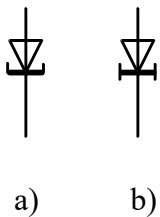
Paralelní zapojení není možné (minimální diferenciální odpor)
Pro větší proud existuje jednoduché zapojení s tranzistorem.

Tunelová a inverzní dioda

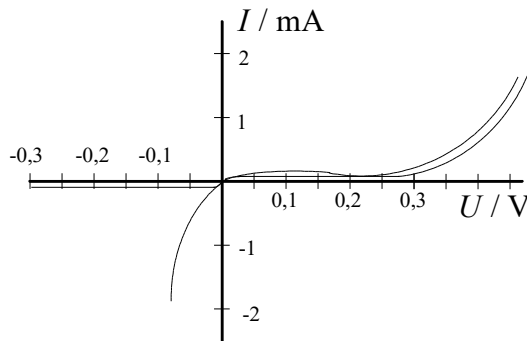
Propustný směr – tunelový jev

Tunelování rychlostí blízkou c – rychlý elektronický prvek ($\sim 10\text{GHz}$)

Nezávislé na vnitřní ionizaci – odolné proti záření – předurčeny ke kosmickému výzkumu



obr. 64



obr. 65

Nevýhody: náročné na zdroj napětí, malá stabilita v oblasti záporného dif. odporu, malá odolnost v závěrném směru.

S rozvojem unipolárních a bipolárních křemíkových tranzistorů se přestaly sériově vyrábět.

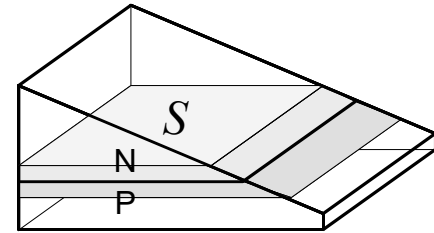
Tunelová dioda – poměr max a min. napětí 20-65

Inverzní dioda – poměr max. a min. napětí ~ 1

Kapacitní dioda

Hradlová vrstva se chová jako kondenzátor

- minimální množství nositelů náboje = dielektrikum
- nevykompenzované atomy příměsi = náboj
- části polovodiče = elektrody



obr. 66

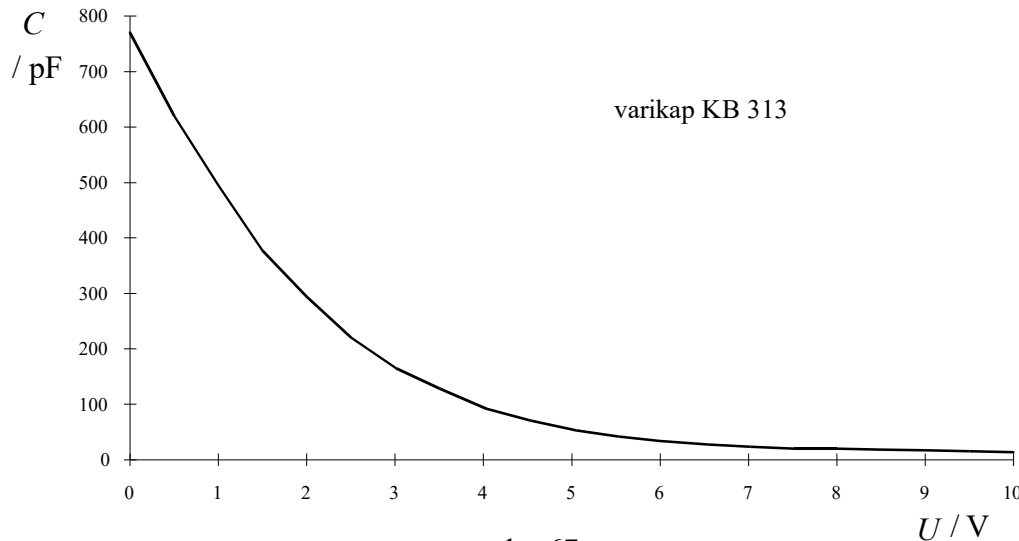
Rostoucí závěrné napětí – roste šířka dielektrika – snížení kapacity
= napěťově závislý kondenzátor

Posílení závislosti

- nerovnoměrná dotace
- tvar přechodu – společná plocha elektrod (obr.66)
- = libovolný průběh $C(U)$



obr. 68



obr. 67

Běžné hodnoty kapacity:
10 – 1000pF

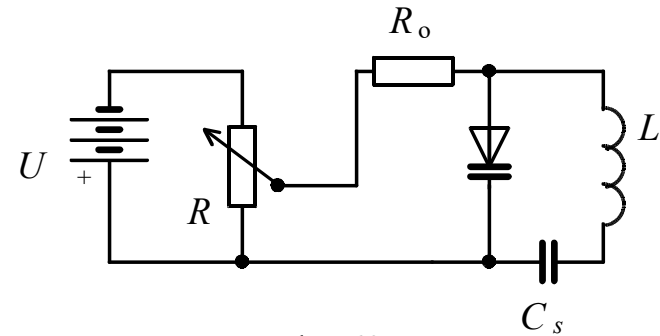
Velký ztrátový úhel
– minoritní nositelé

Kapacitní dioda

Varikap

- Pro malé amplitudy střídavého napětí.
- Kapacita daná stejnosměrným napětím.
- Napětí dané superpozicí stejnosměrné a

střídavé složky je téměř konstantní.



obr. 69

Varaktor

- Použití v násobičích kmitočtu.
- Připojuje se na napětí s velkou frekvencí a amplitudou.
- Varaktor napětí usměrňuje – díky kapacitě překmity do závěrného směru – krátké ostré pulsy.
- v kombinaci s rezonančním obvodem můžeme získat frekvence mnohem vyšší než byla původní.

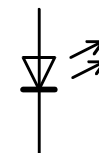
Elektroluminiscenční dioda

= LED (Light-Emitting Diode)

- Využívají elektroluminiscenční jev
- Různé složení PN a různé příměsi = široký rozsah vlnových délek
- se zvyšující se frekvencí emitovaného světla roste mezní napětí v propustném směru (Si–0,6V, Zelená GaP–1,7V, Modrá SiC–2,5V)
- Materiál diody má velký index lomu – kulový vrchlík (aby se světlo neodráželo zpět)

- Malá spotřeba
- Doba sepnutí $\sim 10\text{ns}$ (frekvence až 100MHz).

- Displeje
- Obrazovky



obr. 70

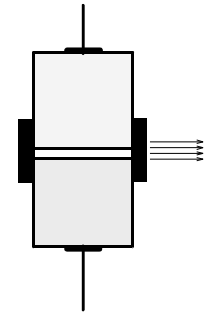
Polovodičový laser

- Stimulovaná emise světla
- stejné materiály jako LED
- P a N silně dotovány
- Rekombinace na tenké přechodové vrstvě
- Z obou stran zrcadlově pokovená (jedna strana polopropustně)

- Na straně polopropustného zrcadla vychází koherentní, kolimované, monochromatické světlo

- Proti jiným laserům horší kvalita záření
- Výhody: velikost, hmotnost, velká účinnost (až 50%)

- Optoelektronika
- CD přehrávač



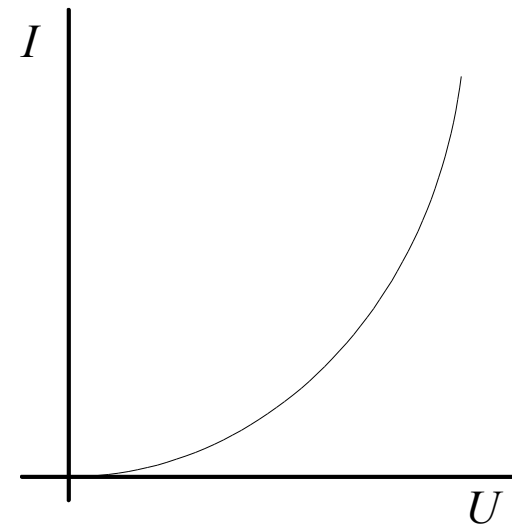
obr. 71

Varistor

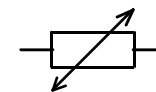
$$I = k \cdot U^\alpha \quad [A, V] \quad \alpha = 2 \div 7 \quad k = 10^{-2} \div 10^{-4}$$

= Variable Resistor

- Závislost odporu na napětí
- Parametry k – použitý materiál
 α – mechanické provedení
- Spékání karbidu křemíku při teplotě 1300°C
- Bodově spojená zrna
- Mezi zrny slabá vrstvička dielektrika
- Ve struktuře jsou náhodně orientované PN přechody
- Na hrotech zrn silné elektrické pole – autoemise elektronů
- Průrazy tenké vrstvičky dielektrika
- Postupně se otevírající PN přechody na rozhraních zrn
- Termoemise elektronů v zahřívajících se spojích zrn



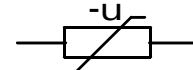
obr. 72



obr. 73

Použití – ochrana proti přepětí

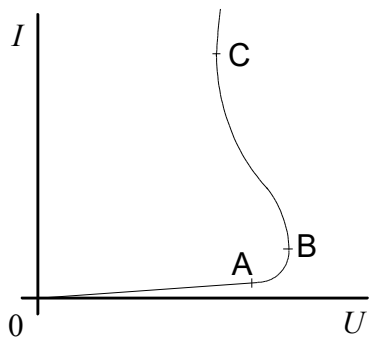
Termistor NTC



obr. 77

= Negative Temperature Coefficient
 -Spékané polykrystalické polovodiče

B – citlivost
 – závisí na materiálu a konstrukci

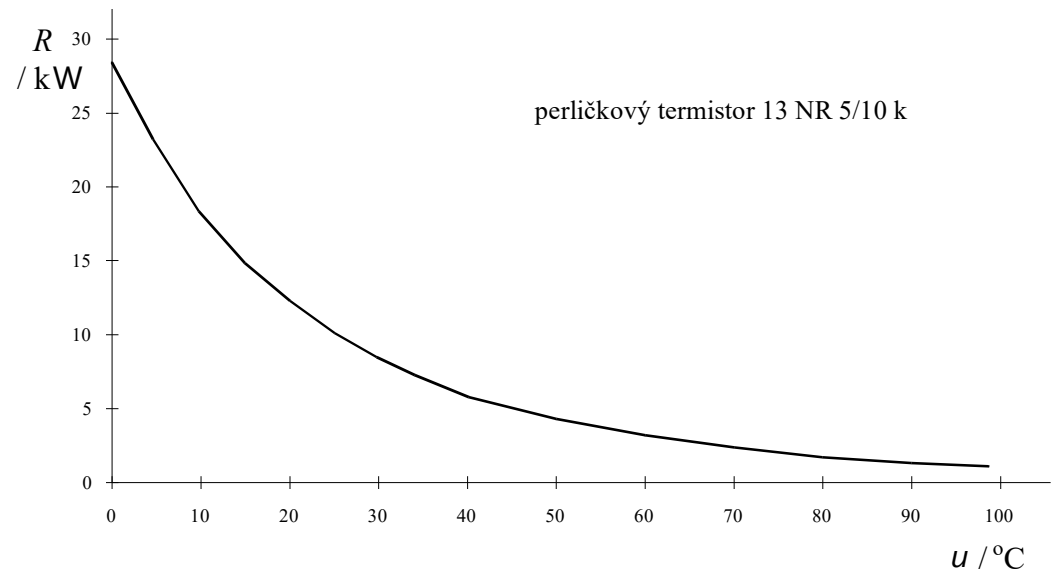


obr. 75

$$R = R_{\infty} \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

$$R = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$$B = 1000 \div 5000 K$$

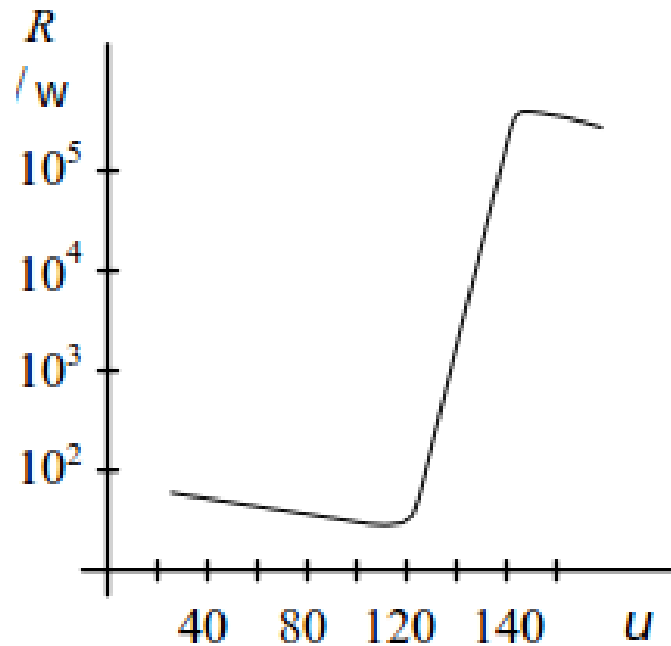


obr. 74

Termistor PTC

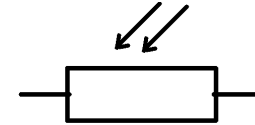
-Využívá rychlé změny elektrického odporu při Curiově teplotě
(změna feromagnetikum - paramagnetikum)

-Kladná teplotní závislost elektrického odporu pouze v malém rozsahu teplot



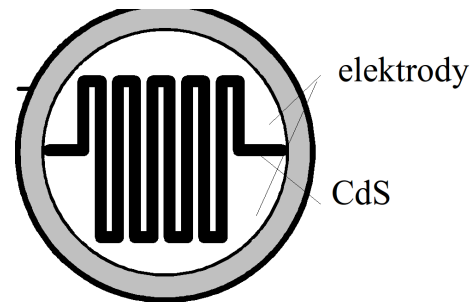
Fotorezistor

- Vnitřní fotoelektrický jev
- Snižování elektrického odporu při osvětlení



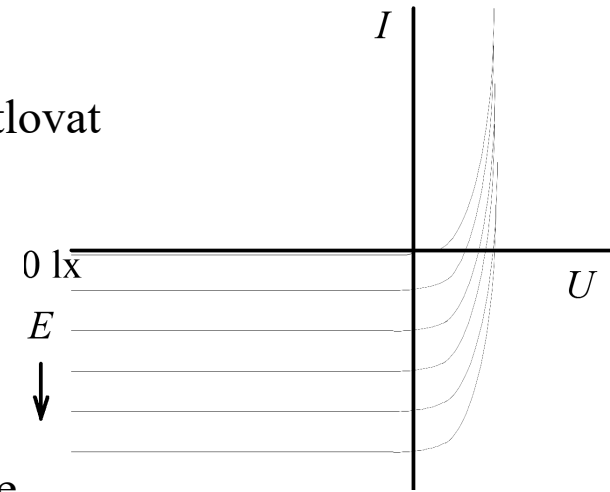
Nevýhoda – pomalé

- elektrony se kumulují v centrech – snížení pravděpodobnosti rekombinace
- při skokové změně osvětlení klesá odpor až desítky sekund



Fotodioda

- Polovodičová dioda s PN přechodem, který je možné osvětlovat
- Využívá vnitřní fotoelektrický jev a fotovoltaický jev



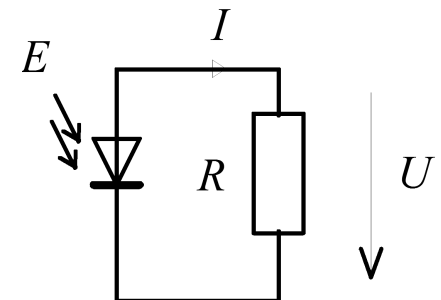
1. kvadrant – minimální ovlivnění osvětlením – nepoužívá se

3. kvadrant – závěrný směr – počet nositelů s osvětlením vzrůstá
– odporový provoz – chová se jako fotorezistor

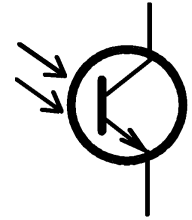
4. kvadrant – chová se jako zdroj napětí

– průsečík dané charakteristiky s osou x udává napětí bez zátěže

– průsečík s osou y udává maximální možný odebíraný proud (vývody zkratovány)



Fototranzistor



- tranzistor řízený osvětlením = vyveden pouze kolektor a emitor, na přechod emitor-báze může dopadat světlo
- stejné charakteristiky jako běžný bipolární tranzistor, místo bazového proudu je osvětlení