

Úloha č. 2: Meranie zotavovacej doby PN prechodu

1. Zadanie

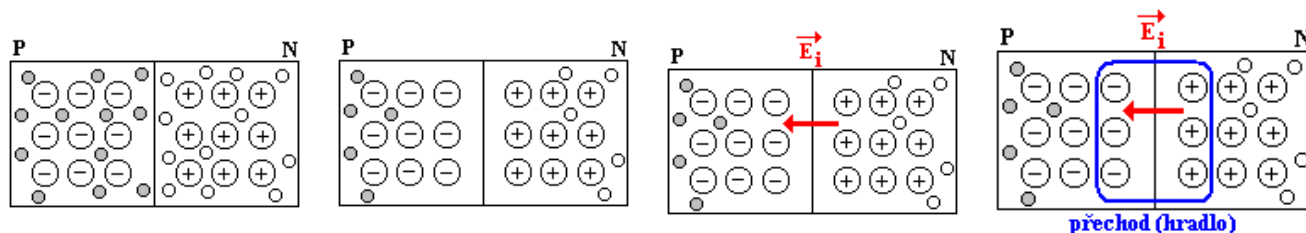
Meranie zotavovacej doby PN prechodu pre rôzne druhy diód a niekoľko veľkostí pracovných prúdov.

Použité diódy: 1N4007 (usmerňovacia), 1N4148 (signálová), BA159 (rýchla dióda), MUR160 (veľmi rýchla dióda), 1N5819 (Schottky dióda).

2. Teória

2.1. PN prechod

PN prechod vytvoríme spojením dvoch polovodičov a to polovodiču typu P a polovodiču typu N na mikroskopickej úrovni. Po vytvorení PN prechodu bude dochádzať k difúzii dier z polovodiča typu P do polovodiča typu N (obr.1). V polovodiči typu N diery rekombinujú s elektrónmi. Pri rozhraní oboch polovodičov sa v polovodiči typu P nachádzajú elektricky nevykomenzované nepohyblivé záporné ióny - akceptory. Analogicky dochádza k difúzii elektrónov z polovodiča typu N do polovodiča typu P, kde rekombinujú s dierami. Potom pri rozhraní oboch polovodičov v polovodiči typu N vznikajú nepohyblivé nevykomenzované kladné ióny, donory (obr.2). V oblasti prechodu vzniká depletičná oblasť (hradlová vrstva) s elektrickým poľom, ktorého intenzita smeruje z oblasti polovodiča N do oblasti polovodiča P (obr.3). Driftové sily tohto elektrického poľa bránia ďalšiemu prenikaniu elektrónov a dier do oblasti prechodu PN (obr.4). V oblasti prechodu dochádza k rovnovážnemu stavu (drift. sily = difúz.sily). V tejto oblasti sa nenachádzajú žiadne častice s nábojom, preto má táto vrstva veľký odpor.



Obr. 1:

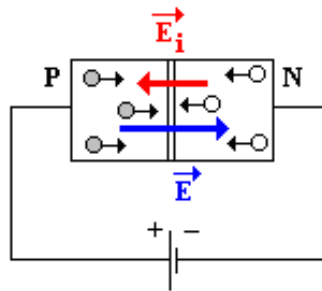
Obr. 2:

Obr. 3:

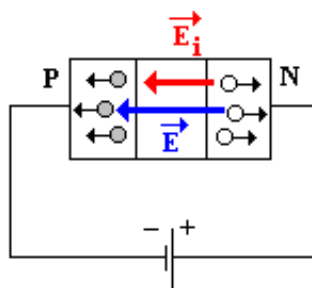
Obr. 4:

PN prechod môžeme následne zapojiť do obvodu jednosmerného prúdu a to dvoma možnosťami. Ak pripojíme PN prechod tak, že oblasť P pripojíme ku kladnému pólu zdroja, vzniká v polovodiči pôsobením zdroja elektrické pole, ktoré je orientované proti poľu depletačnej oblasti (obr.5). Dôjde tak k zúženiu depletačnej vrstvy a obvodom prechádza elektrický prúd. PN prechod je tak zapojený v priepustnom smere.

Ak by sme zapojili ku kladnému pólu oblasť N, depletačná oblasť (oblasť, kde sa nenachádzajú voľní nositelia nábojov) sa zväčší. PN prechodom tak neprechádza žiaden prúd a je teda zapojený v závernom smere (obr.6)[1].



Obr. 5:



Obr. 6:

2.1.1 Rovnica diódy

Shockleyho rovnica ideálnej diódy pre vzťah prúdu v oboch smeroch PN prechodu.

$$I = I_0(e^{\frac{eU_D}{nkT}} - 1) \quad (1)$$

U - napätie na PN prechode

U_T - teplotné napätie (cca 26 mV)

Priepustný smer

$$U \gg U_T$$

$$I \approx I_0(e^{U/U_T})$$

$$R_d \approx U_T/I$$

Záverny smer

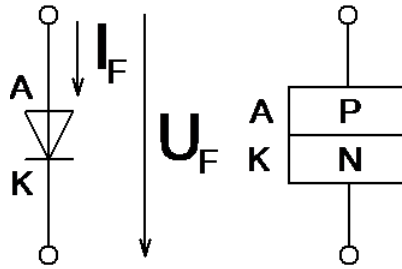
$$U \gg |U_T|$$

$$I \gg I_0$$

3. Dióda

Dióda je tvorená jedným PN prechodom. Schématická značka a štruktúra diódy je ukázaná na obrázku č. 7.

V priepustnom smere je dióda zapojená ak je anóda (vrstva P) proti katóde (vrstva N) pólovaná kladne (je zapnutá). Diódou potom prechádza priepustný prúd i_F (určený záťažou) a je na nej priepustné napätie.



Obr. 7: Schéma diódy a PN prechodu

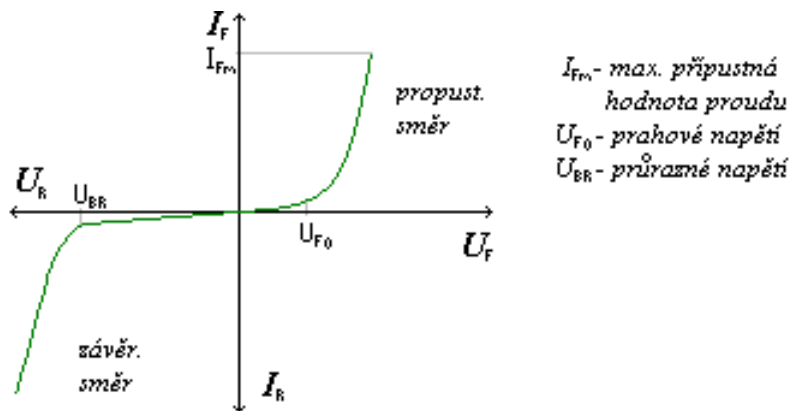
Pri opačnej polarite napätia je dióda v závernom smere (je vypnutá). Na dióde je záverné napätie U_R určené veľkosťou vonkajšieho zdroja a prechádza ňou záverný prúd i_R [2].

3.1. Voltampérová charakteristika

Voltampérová charakteristika je zobrazená na obrázku č.8. Má dve vetvy a to priepustnú a závernú.

Priepustná vetva charakterizuje priepustný stav PN prechodu. Dôležité parametre sú priepustné prahové napätie U_{T0} a diferenciálny priepustný odpor r_F , definovaný v určitom pokojovom bode charakteristiky ako $r_F = \frac{dU_F}{dI_F}$.

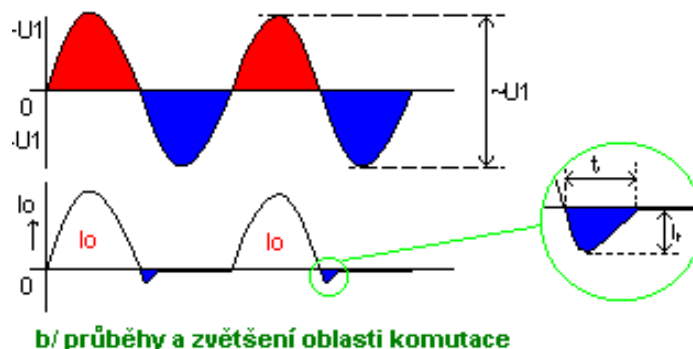
Záverný stav charakterizuje záverná vetva. Dôležitými parametrami sú diferenciálny záverný odpor a záverné prierazné napätie U_{BR} . Po prekročení hodnoty U_{BR} sa mnohonásobne zmenší hodnota r_R . Veľkosť prúdu je potom podstatne závislá na napätí a odporu obvodu, v ktorom je dióda zapojená. S predpokladom neobmedzeného nárastu prúdu dochádza k deštrukcii diódy [2].



Obr. 8: Voltampérová charakteristika PN prechodu

3.2. Zotavovacia doba diódy

Pri prechode diódy z priepustného stavu do záverného sa prejavuje určitá zotrvačnosť nosičov náboja. To sa prejaví zvýšením záverného prúdu po určitú dobu. Túto dobu nazývame záverná zotavovacia doba diódy. Všeobecne to môžeme nazývať komutácia diódy.



Obr. 9: Zobrazený prechod pracovného stavu diódy

Na obrázku č.9 je zväčšená oblasť prechodu pracovného stavu diódy. Veľkosť danej špičky (zväčšená oblasť na obr.č.9) v závernom smere je jedným z parametrov kvality diód. Veľkosť špičky je daná ako veľkosťou vrcholu tak hlavne dobou trvania. Táto doba trvania je naša doba zotavovania diódy. Jej hodnota sa pohybuje v rozsahu rádovo 1-100 ns. Doba kedy vplyv komutácie končí sa nazýva ustálený záverný prúd.

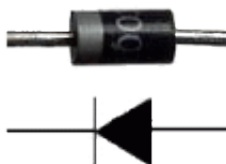
Ak by dióda s určitou dobou komutácie mala spracovávať kratšie impulzy, dostane sa dióda do stavu, kedy nestačí (z časových dôvodov) v závernom smere rehabilitovať a klesá jej usmerňovací účinok. Výrobca preto udáva primeranú hodnotu kmitočtu, kedy je dióda efektívna. Túto hodnotu nazývame medzný kmitočet diódy, ktorý zvykne byť uvádzaný v katalógu [4].

3.3. Použité diódy

1. Usmerňovacia dióda 1N4007 Druh diódy (obr.č.10), ktorý využíva práve vlastnosti PN prechodu, ktorý sme opísali vyššie.

Parametre diódy sú, kde U_{rrm} - opakujúce sa napätie v závernom smere maximálne (maximal reverse recovery), I_F - prúd v priepustnom smere, U_F - napätie v priepustnom smere, U_F - zotavovacia doba [3]:

$$U_{rrm}=1000 \text{ V}, I_F=1\text{A}, U_F=1,1 \text{ V}, t_{rr}= 2000 \text{ ns}$$



Obr. 10: Príklad usmerňovacej diódy

2. Signálová dióda 1N4148

Parametre:

$U_{rrm}=100\text{ V}$, $I_F=200\text{ mA}$, $U_F=1\text{ V}$, $t_{rr}=4\text{ ns}$



Obr. 11: Príklad signálovej diódy

3. Rýchla dióda BA159

Parametre:

$U_{rrm}=1000\text{ V}$, $I_F=1\text{ A}$, $U_F=1,3\text{ V}$, $t_{rr}=500\text{ ns}$

4. Veľmi rýchla dióda MUR160

Parametre:

$U_{rrm}=600\text{ V}$, $I_F=1\text{ A}$, $U_F=1,25\text{ V}$, $t_{rr}=50\text{ ns}$

5. Schottkyho dióda 1N5819

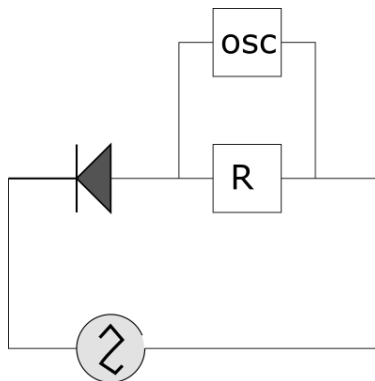
Parametre:

$U_{rrm}=40\text{ V}$, $I_F=1\text{ A}$, $U_F=0,6\text{ V}$, $t_{rr}=?\text{ ns}$

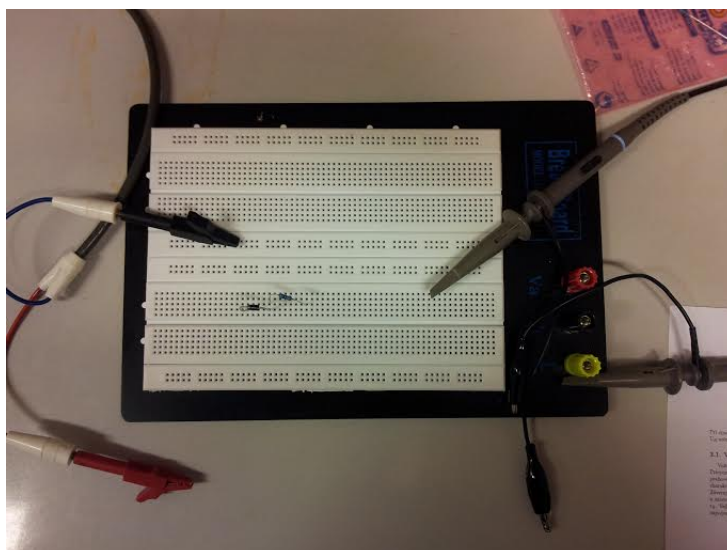
4. Postup merania

Cieľom úlohy je zmerať zotavovaciu dobu PN prechodu pre 5 rôznych druhov diód a niekoľko veľkostí pracovných prúdov, vyhovujúcich danej dióde.

Danú diódu zapojíme podľa nasledujúcej schémy zobrazenej na obrázku č.12. Do obvodu zapojíme zdroj striedavého napätia paralelne s diódou. Do série s diódou zapojíme záťaž, napríklad rezistor. Pracovnú dosku pre zapájanie nášho obvodu je ukázaný na obrázku č.13.

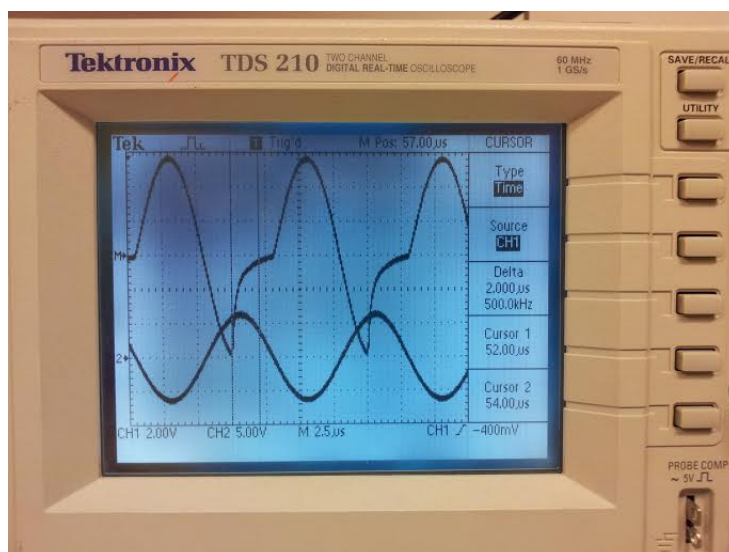


Obr. 12: Schematické zapojenie pre diódu



Obr. 13: Pracovná doska pre zapojenie jednotlivých komponent

Paralelne s diódou zapojíme tiež osciloskop, a meriame amplitúdu napätia. Následne čas medzi hranou signálu a bodom keď je napätie na dióde ustálené odčítame z osciloskopu ako zotavovaciu dobu PN prechodu danej diódy (obr.14).



Obr. 14: Príklad výstupu z osciloskopu, kde na hornom kanáli môžeme pozorovať krivku pre zotavovaciu dobu PN.

5. Literatúra

- (1) fyzika.jreichl.com/main.article/view/265-fyzikalni-podstata-prechodu-pn
- (2) feil.vsb.cz/kat430/data/vsp/vsp-predn.pdf
- (3) gme.cz/dioda-1n4007-p220-002
- (4) *amapro.cz/datove_zdroje/katalogy/tesla/diody.php*