

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 2

Úloha č.: 11.

Název: Charakteristiky diod

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F – 14 dne 9. 11. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změřte charakteristiky křemíkové (KY 721) a vákuové (EZ 81) diódy pomocí zapisovača 4106.
2. Změřte charakteristiky Zenerové diódy (KZ 703) bod po bodě.
3. Určte její dynamický vnitřní odpor v přepustném směru při proudu 200 mA a v závěrném směru při proudu 400 mA.
4. Určte zodpovídající Zenerovo napětí při tomto proudu.
5. Pro tento proud (pracovní bod) zakreslite do grafu zatěžovací přímku pro napětí $U_1 = 9 \text{ V}$
6. Určte zodpovídající stabilizační činitel.

Teoretická časť:

Vákuová dióda

Je tvorená evakuovanou bunkou, v ktorej sa nachádza anóda a katóda. Katóda je žhavená tak, aby emitovala elektróny. Ak nie je medzi anódou a katódou elektrické pole, nemajú všetky emitované elektróny dostatočnú energiu na to, aby sa dostali na anódu. V dôsledku toho sa okolo katódy vytvorí záporný priestorový náboj, ktorý zabraňuje ďalším elektrónom dostať sa na anódu. Aj pri nulových hodnotách napätia tečie diódou prúd, pri priložení záporného napätia sa prúd znižuje až k nemerateľným hodnotám. Naopak, pri kladnom napätí sa prúd diódou zväčšuje, závislosť prúdu od priloženého napätia môžeme popísať tzv. Langmuirovým zákonom

$$I_a = aU_a^{\frac{3}{2}},$$

kde a je konštanta závislá na geometrickom usporiadaní elektród. U elektróniek s katódou z čistého kovu ďalším sa ďalším zvyšovaním napätia dá dosiahnuť tzv. oblasť nasýteného prúdu [1], kde sa už anódový prúd nezväčšuje. Pri bežných oxidových katódach k takémuto javu nedochádza.

Polovodičová dióda

Polovodičová dióda je obvykle tvorená dvoma oblasťami s rôznym typom vodivosti – elektrónovou (polovodič typu N) a dierovou (polovodič typu P). Voltampérová charakteristika P – N prechodu je nesúmerná. Ak pripojíme kladný pól zdroja v k vrstve P, je odpor polovodiča malý, dióda je zapojená v priepustom smere. Ak obrátíme polaritu napätia, odpor vzrastie o niekoľko rádov, dióda je zapojená v závernom smere. Takáto dióda teda môže slúžiť ako usmerňovací prvok.

Zenerova dióda

Podstatným rozdielom oproti bežným polovodičovým diódam je u tohto typu diód prerez v P – N prechode v závernom smere, pri ktorom nedochádza k jeho poškodeniu. K prerazu dochádza podľa [1] vplyvom dvoch odlišných fyzikálnych javov: lavínového násobenia nositeľov náboja a Zenerovho javu.

Voltampérovú charakteristiku môžeme rozdeliť na tri časti: priepustnú, závernú a prieraznú. Priepustná a záverná časť charakteristiky je zhodná s polovodičovou diódou, prieraznú časť dosiahneme prekročením Zenerovho napätia v závernom smere. V tejto časti dynamický odpor poklesne o niekoľko rádov. Pracovný bod Zenerovej diódy volíme práve v tejto oblasti charakteristiky. Zenerovo napätie U_z sa udáva pre pracovný bod odporučený výrobcom. Prúd I_{zm} je určený maximálnym stratovým výkonom diódy.

Zenerova dióda sa používa predovšetkým pre stabilizovanie napätia v obvodoch (schéma zapojenia vid' [1]), stabilizačný činiteľ je podľa [1] definovaný ako

$$S_u = \frac{U_0}{U_1} \frac{\Delta U_1}{\Delta U_0}, \quad (1)$$

kde U_1 je vstupné napätie a U_0 je výstupné napätie. Dynamický vnútorný odpor diódy je definovaný ako

$$r_i = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0}. \quad (2)$$

Pre zmenu napätia zdroju môžeme potom písať

$$\Delta U_1 = R_s \Delta I + \Delta I r_i . \quad (3)$$

Z (1), (2) a (3) dostanem pre stabilizačný činiteľ vzťah

$$S_u = \frac{U_0 (R_s + r_i) \Delta I}{U_1 r_i \Delta I} = \frac{U_0 (R_s + r_i)}{U_1 r_i} . \quad (4)$$

Výsledky meraní:

Voltampérové charakteristiky kremíkovej a vákuovej diódy sme zobrazili pomocou zapisovača 4106. Na osi x je vynášané napätia na dióde, na osi y je napätie na rezistore s odporom $R = 10 \Omega$. Priepustnú charakteristiku kremíkovej diódy sme zobrazovali pri nastavení $x = 100 \text{ mV/cm}$, $y = 100 \text{ mV/cm}$, závernú charakteristiku sme zobrazovali pri nastavení $x = 1 \text{ V/cm}$, $y = 100 \text{ mV/cm}$. Priepustnú charakteristiku vákuovej diódy sme zobrazovali pri nastavení $x = 2 \text{ V/cm}$, $y = 50 \text{ mV/cm}$, závernú charakteristiku sme zobrazovali pri nastavení $x = 200 \text{ V/cm}$, $y = 100 \text{ mV/cm}$. Charakteristika polovodičovej diódy je zobrazená v priloženom grafe 1, záverná charakteristika vákuovej diódy je zobrazená v grafe 2, priepustná charakteristika vákuovej diódy je zobrazená v grafe 3.

Charakteristiku Zenerovej diódy sme merali bod po bode. Hodnoty napätia sme merali na digitálnom multimetri, ktorého vnútorný odpor je dostatočne veľký oproti odporu diódy (aj v závernom smere), preto sme napätie merali priamo na dióde (zapojenie ampérmetra pred voltmetrom). Prúd sme merali ampérmetrom s triedou presnosti 0,5 na rozsahoch 6 mA, 24 mA, 60 mA, 240 mA, 1,2 A. Namerané hodnoty v priepustnom smere sú uvedené v tabuľke 1, v závernom smere v tabuľke 2, voltampérová charakteristika v priepustnom smere je zakreslená v grafe 4, v závernom smere v grafe 5.

Tabuľka 1: Hodnoty prúdu a napätia v priepustnom smere

U [V]	0,468	0,547	0,563	0,574	0,590	0,601	0,608	0,615	0,622	0,629	0,631	0,635
I [mA]	0,01	0,50	0,75	1,00	1,55	2,05	2,50	3,05	3,80	4,50	4,55	5,45
	6 mA											
U [V]	0,644	0,655	0,664	0,671	0,677	0,680	0,690	0,698	0,706	0,711	0,727	0,733
I [mA]	7,20	10,0	13,2	16,2	19,8	22,4	30,0	39,5	51,0	60,0	100	120
	24 mA						60 mA			240mA		
U [V]	0,738	0,742	0,744	0,746	0,747	0,748	0,750	0,751	0,752	0,754	0,755	
I [mA]	140	160	170	180	186	190	200	206	210	220	230	
	240 mA											

V tabuľke sú uvedené rozsahy, na ktorých boli merané hodnoty prúdov. Hodnoty napätia boli merané na digitálnom multimetri, chyba merania je oproti chybe merania prúdu zanedbateľná.

Tabuľka 2: Hodnoty prúdu a napätia v závernom smere

U [V]	6,24	6,43	6,52	6,57	6,60	6,63	6,64
I [mA]	0,05	0,90	2,05	5,00	10	20	30
	6 mA			24 mA		60 mA	
U [V]	6,66	6,69	6,72	6,75	6,76	6,77	6,78
I [mA]	50	100	200	300	350	400	450
	240 mA				1,2 A		

Dynamický odpor diódy v priepustnom smere pri prúde 200 mA určíme lineárnou regresiou z piatich blízkyh hodnôt ako

$$r_i^{(200)} = (0,20 \pm 0,01) \Omega ,$$

podobne určíme dynamický odpor v závernom smere pri prúde 400 mA lineárnou regresiou zo štyroch blízkych hodnôt ako

$$r_i^{(400)} = (0,20 \pm 0,01) \Omega.$$

Chyba je určená z prístrojovej chyby sporej s chybou určenou lineárnou regresiou. Zenerovo napätie pri tomto prúde určíme ako priesečník dotyčnice k voltampérovej charakteristike v pracovnom bode s osou napätia x . Dostaneme

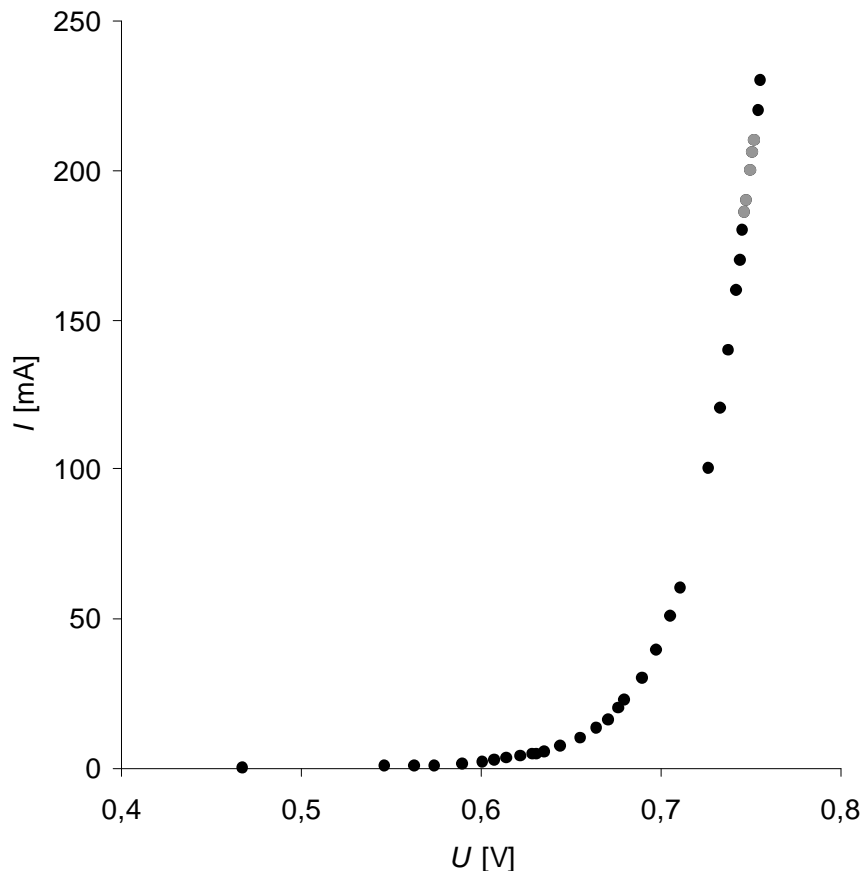
$$U_z = (6,69 \pm 0,29) \text{ V}.$$

Pri napätí zdroja $U = (9,0 \pm 0,1) \text{ V}$ (odčítanej z displeju zdroja) bol prúd diódou $I = (400 \pm 3) \text{ mA}$ a napätie na dióde $U_0 = 6,78 \text{ V}$ pri odpore $R_s = (4,9 \pm 0,1) \Omega$. Odchýlky sú určené z chyby meracích prístrojov. Odpor sme nastavovali na odporovej dekáde, chybu sme určili z toho, pri akej zmene odporu sa hodnota prúdu viditeľne nemenila. Zaťažovacia priamka je zakreslená v grafe 4. Stabilizačný činiteľ určíme podľa vzťahu (4) ako

$$S_u = 19 \pm 1,$$

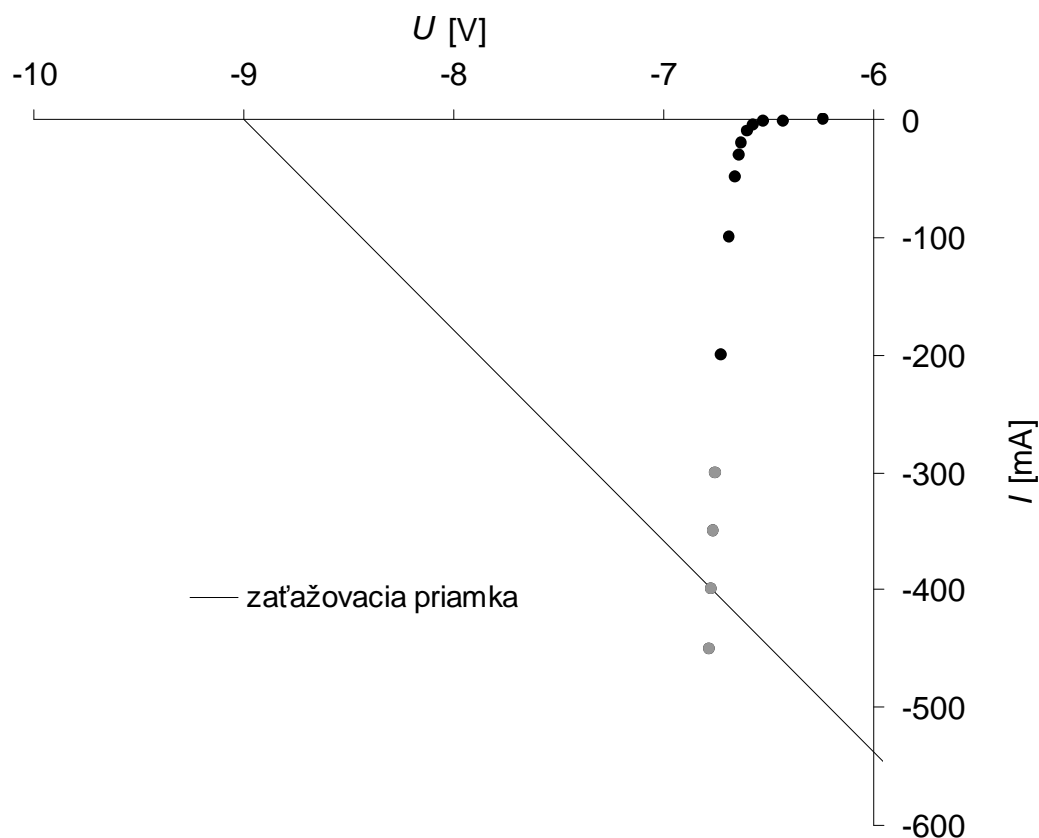
chyba je určená prenesením chýb veličín zo vzťahu (4).

Graf 4: Voltampérová charakteristika Zenerovej diódy v priepustnom smere.



Šedou farbou sú v grafe zakreslené body, z ktorých bol určený dynamický odpor pri prúde 200 mA. Veľkosť bodov približne zodpovedá chybe merania prúdu.

Graf 5: Voltampérová charakteristika Zenerovej diódy v závernom smere



Šedou farbou sú v grafe zakreslené body, z ktorých bol určený dynamický odpor pri prúde 400 mA v závernom smere. Veľkosť bodov približne zodpovedá chybe merania prúdu. V grafe je zaznačená zaťažovacia priamka zdroja.

Diskusia:

Zaznamenaná charakteristika vákuovej a polovodičovej diódy sa zhoduje s teoretickými predpokladmi. Pri polovodičovej dióde v závernom smere netečie merateľný prúd, pri vákuovej dióde tečie aj pri nulovom napätí prúd asi 0,2 mA.

Charakteristiku Zenerovej diódy sme merali bod po bode, jej priebeh tiež zodpovedá teoretickým predpokladom. Hodnoty sme merali pre pomerne veľký rozsah prúdov, charakteristiku diódy sme teda zobrazili do dvoch grafov, aby boli namerané body dostatočne viditeľné. Hodnoty prúdu boli merané väčšinou v hornej časti rozsahu ampérmetra, aby sa minimalizovala relatívna chyba. Vzhľadom k tomuto faktoru, ako aj vzhľadom k mierke grafov, sú chybové úsečky porovnateľné s veľkosťou zobrazených bodov, preto nie sú v grafe vynesené. V závernom smere pri hodnote Zenerovho napätia objaví prierazný prúd.

Určili sme dynamický vnútorný odpor diódy pri prúde 200 mA v priepustnom smere a pri 400 mA v závernom smere lineárnou regresiou blízkych hodnôt. Chyba určená z lineárnej regresie je podstatne menšia ako chyba merania prúdu (hodnoty boli merané v dostatočnej blízkosti, vykazujú teda vcelku presnú lineárnu závislosť), ktorá tiež musíme pri výpočte dynamických odporov zohľadniť. Hodnoty prúdu sa však aj pri malej zmene napätia menili výrazne, preto môže byť meranie zaťažené ešte systematickou chybou spôsobenou týmto faktorom.

Zaťažovacia priamka prechádza s dostatočnou presnosťou pracovným bodom. Stabilizačný činiteľ je vypočítaný s pomerne malou odchýlkou, na jeho chybu má najväčší vplyv práve chyba dynamického odporu.

Záver:

Charakteristiky vákuovej a polovodičovej diódy sú zobrazené na priložených grafoch 1 – 3. Charakteristika Zenerovej diódy je vynesená v grafoch 4 a 5. Dynamický odpor diódy v priepustnom smere pri prúde 200 mA je $r_i^{(200)} = (0,20 \pm 0,01) \Omega$, v závernom smere pri prúde 400 mA je $r_i^{(400)} = (0,20 \pm 0,01) \Omega$. Zenerovo napätie pri tomto prúde sme určili ako $U_z = (6,69 \pm 0,29) \text{ V}$, stabilizačný činiteľ ako $S_u = 19 \pm 1$.

Literatúra:

[1] Doc. RNDr. Roman Bakule, CSc., Doc. RNDr. Jiří Šternberk, CSc., Fyzikální praktikum II. Elektřina a magnetismus, Státní pedagogické nakladatelství Praha