Úkoly

1. Změřte charakteristiky křemíkové (KY 721) a vakuové (EZ 81) diody pomocí zapisovače XY4106.
2. Změřte charakteristiky Zenerovy diody (KZ 703) bod po bodu.
3. Určete její dynamický vnitřní odpor v propustném směru při proudu 200 mA a v závěrném směru pro proud 400 mA.
4. Určete odpovídající Zenerovo napětí při tomto proudu.
5. Pro tento proud (pracovní bod) zakreslete do grafu zatěžovací přímku pro napětí zdroje 9V.
6. Určete odpovídající stabilizační činitel.

Teorie

Diody jsou elektronické součástky, které díky svým charakteristikám nacházejí své uplatnění v usměrňovacích a stabilizačních obvodech. V našem měření budeme zkoumat vakuovou a polovodičové diody – křemíkovou a zenerovu.

V baňce vakuové diody se nachází žhavící vlákno, katoda a anoda. V praxi často žhavící vlákno plní zároveň i funkci katody (přímo žhavené diody), ze které se termoemisí uvolňují elektrony. Přiložíme-li na anodu kladný potenciál, budou tyto elektrony „vysávány“ a diodou poteče proud. Přiložíme-li na anodu záporný potenciál, diodou proud nepoteče a elektrony vytvoří kolem katody elektronový oblak, který zamezí jejich dalšímu úniku z katody.

Polovodičové diody jsou tvořeny jedním přechodem PN. Přiložímeli totiž k sobě polovodiče P a N, vytvoří se na jejich rozhraní spád potenciálu (hradlová vrstva) tak, že výsledné elektrické pole bude mít směr od polovodiče N k polovodiči P. Přiložímeli tedy na P záporný a na N kladný potenciál (závěrný směr), hradlová vrstva se zvětší a diodou budou procházet jen minoritní náboje. Zapojímeli však diodu opačně (propustný směr), vnější pole hradlovou vrstvu postupně vyruší a diodou začnou procházet majoritní náboje.

Speciální případem polovodičové diody je zenerova dioda, u které se v závěrném směru projevuje jev emise polem a lavinovitý průraz. Od určitého napětí (zenerovo napětí) se začnou elektrony vytrhávat z vazeb a stanou se tak volnými nositeli náboje. Pokud se zároveň dostatečně urychlí, srážkami vyrážejí další elektrony, které se tak stanou dalšími volnými nositeli náboje. Od tohoto napětí bude proud diodou s rostoucím napětím rapidně stoupat.

Jakost stabilizace napětí při zapojení zenerovy diody jako stabilizátor lze charakterizovat stabilizačním činitelem:

$$s_U = \frac{U}{U_z} \cdot \frac{\Delta U_z}{\Delta U} = \frac{U}{U_z} \cdot \frac{R_s + r_i}{r_i} \tag{1}$$

kde U je nestabilizované napětí, U_z napětí na diodě, R_s sériový odpor a r_i dynamický odpor diody

Detailnější popis diod lze najít v [1].

Pomůcky

zenerova dioda KZ703, křemíková dioda KY721, vakuová dioda EZ 81, voltmetr s volitelnými rozsahy (třída přesnosti $\delta = 0,5$), ampérmetr s volitelnými rozsahy ($\delta = 0,5$), mikroampérmetr se třemi volitelnými rozsahy ($\delta = 1,0$), Stabilizovaný zdroj napětí BS525, sada propojovacích kabelů, plotter XY4160

Měření

Charakteristiky křemíkové a vakuové diody jsme proměřili podle zapojení na str.80 obr. 5 v [1]. Výsledné grafy jejich charakteristik jsou v příloze 1.

Zenerovu diodu jsme proměřili nejprve v propustném směru. Protože jsme očekávali, že odpor diody bude v tomto směru malý, voltmetr jsme zapojili až za ampérmetr. Stejné zapojení jsme použili i pro měření průrazné části charakteristiky diody. Pro měření v závěrném směru (do průrazného napětí) jsme zvolili zapojení voltmetru ještě před ampérmetrem. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 1.

Tabulka 1: měření zenerovy diody

Závěrný směr – průraz

U [V]	ΔU	I [mA]	ΔI
6,9	0,1	**21,4**	0,1
6,9	0,1	**53,5**	0,3
7,0	0,1	**222**	1
7,1	0,1	**520**	6
7,2	0,1	**940**	6

Propustný směr

U [V]	ΔU	I [mA]	ΔI
0,68	0,01	**21,0**	0,1
0,71	0,01	**60,0**	0,3
0,73	0,01	**120**	1
0,73	0,01	**140**	1
0,74	0,01	**160**	1
0,74	0,01	**180**	1
0,75	0,01	**200**	1
0,76	0,01	**240**	1
0,77	0,01	**340**	6
0,81	0,01	**1000**	6

Závěrný směr

U [V]	ΔU	I [μA]	ΔI
2,00	0,01	**0,5**	0,3
2,6	0,1	**1,0**	0,3
3,0	0,1	**1,5**	0,3
3,4	0,1	**2,5**	0,3
4,0	0,1	**5,0**	0,3
4,6	0,1	**10,0**	0,3
5,1	0,1	**20,0**	0,3
5,5	0,1	**35,0**	0,3
5,7	0,1	**50,0**	0,3
6,1	0,1	**75,0**	0,5
6,3	0,1	**100,0**	0,5
6,1	0,1	**100,0**	2,5
6,5	0,1	**200,0**	2,5
6,8	0,1	**300,0**	2,5
6,9	0,1	**400,0**	2,5
7,1	0,1	**500,0**	2,5

Dynamický odpor zenerovy diody při proudu 400 mA v závěrném směru a při proudu 200mA v propustném směru jsme určili ze směrnice přímky fitováním naměřených hodnot lineární funkcí. Vyšlo nám

$$\mathrm{R}_{-400\mathrm{mA}} = (3,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-1}\,\Omega$$

$$\mathrm{R}_{200\mathrm{mA}} = (2,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-1}\,\Omega$$

Zenerovo napětí při proudu 400mA pak je

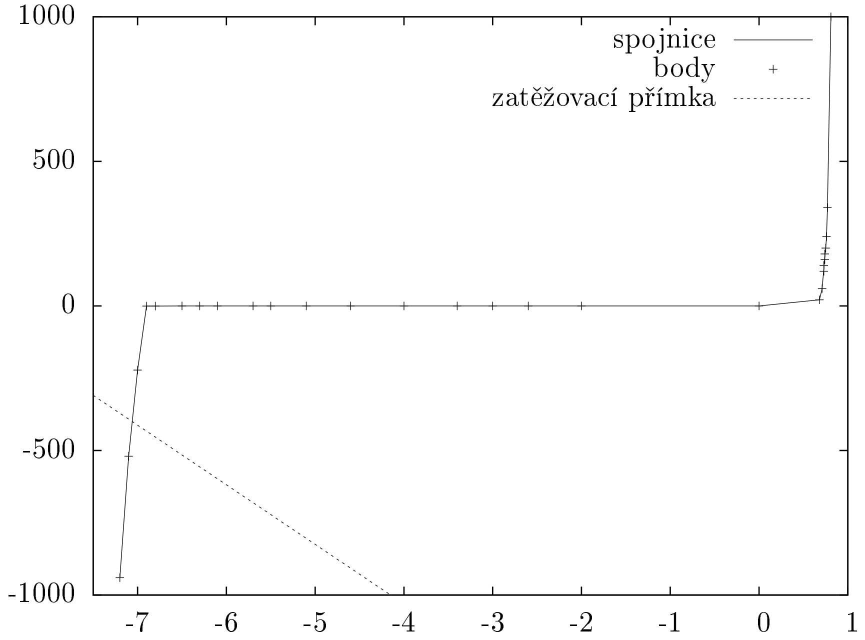
$$\mathrm{U}_{-400\mathrm{mA}} = (7,06 \pm 0,03)\,\mathrm{V}$$

Sériově předřazený odpor $\mathrm{R_s}$ jsme určili podle zadání U = 9V

$$\mathrm{R_s} = \frac{\mathrm{U} - \mathrm{U_Z}}{\mathrm{I}} = (4,9 \pm 0,2)\,\Omega$$

Stabilizační činitel měřené diody jsme stanovili na

$$s_u = 12 \pm 2$$



Obrázek 1: charakteristika zenerovy diody se zatěžovací přímkou

Diskuse

Výsledky experimentů potvrzují očekávání. Při zkoumání charakteristiky křemíkové diody začal nezanedbatelný proud protékat až po dosažení určitého napětí, což odpovídá vymizení hradlové vrstvy na PN přechodu.

Abychom se dostali k oblasti saturovaného proudu u vakuové diody, museli bychom mít silnější zdroj. Jev, který jsme ovšem zaznamenali a který je pro elektronky charakteristický, je tzv. „klidový proud“, což je proud procházející diodou při nulovém napětí. Toto nastává kvůli termoemisi elektronů, z nichž některé mají dostatečnou energii k tomu, aby se na anodu dostaly. Po přiložení napětí v závěrném směru klidový proud vymizí, jak je znázorněno v levé části grafu EZ81 v příloze 1.

Při měření zenerovy diody v závěrném směru jsme dle očekávání zjistili nepřesnosti metody měření v okolí průrazu. Pro stejná napětí a různá zapojení (voltmetr před nebo za ampérmetrem, viz. stať měření) jsme naměřili různé hodnoty proudu (větší proud při voltmetru za ampérmetrem). Z výsledků se přikláníme spíše k hodnotám naměřených s mikroampérmetrem.

V průběhu měření jsme také sledovali teplotní závislost vnitřního dynamického odporu zenerovy diody. Při stanoveném napětí bylo možno na ampérmetru sledovat postupný pokles proudu. Měření jsme proto provedli tak, aby se dioda příliš neohřívala – po změření hodnoty jsme napětí hned stáhli.

Tuto závislost na teplotě si vysvětlujeme jako zkrácení střední volné dráhy elektronů. Z toho usuzujeme, že zkoumaná zenerova dioda dosahuje průrazu zejména kvůli lavinovitému násobení nositelů náboje, které s rostoucí teplotou klesá.

Závěr

Proměřili jsme charakteristiky křemíkové a vakuové diody, výsledky jsou v příloze 1.

Charakteristiku zenerovy diody jsme proměřili bod po bodu ve třech úsecích – propustný a závěrný směr a průraz v závěrném směru. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 1. Grafické znázornění charakteristiky je na obrázku 1. Dynamické vnitřní odpory $\mathrm{R}_{-400\mathrm{mA}}$ resp. $\mathrm{R}_{200\mathrm{mA}}$ při proudech 400mA v závěrném resp. 200mA v propustném směru jsme stanovili na

$$\mathrm{R}_{-400\mathrm{mA}} = (3,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-1}\,\Omega$$

$$\mathrm{R}_{200\mathrm{mA}} = (2,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-1}\,\Omega$$

Příslušné zenerovo napětí při proudu 400mA pak je

$$\mathrm{U}_{-400\mathrm{mA}} = (7,04 \pm 0,03)\,\mathrm{V}$$

Stabilizační činitel měřené diody jsme stanovili na

$$s_u = 12 \pm 2$$

Literatura

[1] Bakule R., Šternberg J., Fyzikální praktikum II., SPN Praha 1989