

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II

Úloha č.: XI

Název: Charakteristiky diod

Vypracovala: stud. sk. dne: 26.04.04.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

- I. Stanovte a graficky znázorněte charakteristiky vakuové diody, polovodičové diody a Zenerovy diody.
- II. Ze zakreslených charakteristik stanovte dynamický vnitřní odpor ve zvolených bodech propustné a závěrné části charakteristiky. Pro Zenerovu diodu určete též dynamický vnitřní odpor v pracovním bodě, Zenerovo napětí a stabilizační činitel.

II. Teorie

A. Vakuová dioda

Vakuová dioda je tvořena baňkou, ve které jsou umístěny dvě elektrody, anoda a katoda. Baňka je vakuována, takže střední volná dráha elektronů je větší než její rozměry a zbytkový plyn neovlivňuje pohyb elektronů. Ze žhavené katody se uvolňují elektrony. Velikost emisního proudu I je dána Richardsonovým-Dushmanovým zákonem:

$$I = AST^2 e^{\frac{-w_0}{kT}} \quad (1)$$

T teplota žhavené katody

A, w_0 konstanty charakterizující emisní látku katody

S plocha katody

k Boltzmannova konstanta

Pokud není mezi anodou a katodou elektrické pole, některé emitované elektrony nemají dostatečnou rychlost na to, aby se dostaly na anodu a vrací se na katodu. V okolí katody se vytváří záporný prostorový náboj. Při nulovém napětí protéká tedy nepatrný proud. Při záporném napětí na anodě vůči katodě se velikost tohoto proudu zmenšuje a postupně se stává neměřitelným. Zvětšujeme-li napětí mezi anodou a katodou do kladných hodnot, proud vzrůstá a je ho možno popsat třípólovým zákonem:

$$I = aU^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

a konstanta závislá na geometrickém uspořádání elektrod

Podle tohoto vztahu se proud zvyšuje až na hodnotu emisního proudu. Další zvyšování napětí by již nemělo mít vliv na vzrůst anodového proudu. Tato oblast se nazývá oblast nasycení proudu. Lze ji dosáhnout pouze u elektronek s katodou z čistých kovů nebo thoriového wolframu. U běžných kyslíčkových katod dochází k přehřátí vrstvy a zvýšení emisního proudu.

B. Polovodičové diody

Polovodičové diody jsou tvořeny z dvou typů polovodiče. V jedné části převládá vodivost typu P , tj. vedení kladnými dírami. V druhé části převládá vodivost typu N , tj. vedení elektrony. Mezi dvěma částmi je přechod $P-N$. Je-li oblast P připojena ke kladnému pólu a N k zápornému, je dioda zapojena v propustném směru. Při opačné polaritě je zapojena v závěrném směru a její odpor výrazně vzroste. Proud, který protéká při propustném směru je mnohem větší. Polovodičové diody proto slouží jako usměrňovací prvek. Jejich usměrňovací schopnost se charakterizuje pomocí usměrňovacího poměru:

$$\eta = \frac{I_p}{I_z} \quad (3)$$

I_p proud v propustném směru

I_z proud v závěrném směru

Usměrňovací poměr je závislý na teplotě, s rostoucí teplotou však rychleji vzrůstá závěrný proud než proud v propustném směru. Proto usměrňovací poměr klesá. Přeroste-li teplota nad určitou mez, může dojít k poškození přechodu, proto nelze používat germaniové diody při teplotách nad 60°C , křemíkové diody mohou pracovat i při teplotě 100°C .

C. Zenerovy diody

Podstatnou vlastností činnosti Zenerových diod je elektrický průraz přechodu $P-N$ zapojeného v závěrném směru. Při průrazu nedochází k zničení $P-N$ přechodu, pokud nepřesáhne maximální hodnotu danou nejvyšším dovoleným ztrátovým výkonem, který je dioda schopna vyžářit ve formě tepla. K průrazu dochází vlivem dvou jevů:

1. ZENERŮV JEV

Při Zenerově jevu dochází k vnitřní emisi elektronů vyvolané elektrickým polem. Při dosažení kritické hodnoty intenzity dojde k vytržení elektronu z valenčního pásu, a tyto elektrony se tunelovým přechodem zakázaného pásu dostanou do pásu vodivostního. Tím se podstatně zvýší počet volných elektronů a odpor se tedy sníží.

2. LAVINOVÝ PRŮRAZ

Se vzrůstajícím závěrným napětím se zvyšuje intenzita elektrického pole a šířka oblasti přechodu. Při jisté intenzitě nabývají nositelé náboje dostatečné energie k uvolnění dalšího valenčního elektronu. Vzniklé nositelé jsou potom opět urychleni polem, způsobí při srážkách vznik dalších párů a dochází k lavinovému násobení nositelů a k rychlému poklesu odporu přechodu.

Podle polarity zapojení a podle fyzikálních podmínek lze charakteristiku rozdělit na tři oblasti: propustnou, závěrnou a průraznou (Zenerovu). Propustná a závěrná část je shodná s usměrňovací polovodičovou diodou, průrazné části dosáhneme překročením Zenerova napětí v závěrném směru. Zde dynamický odpor diody náhle poklesne o 4 až 5 řádů. Pracovní bod Zenerovy diody volíme v této oblasti charakteristiky. Zenerovo napětí U_z se udává pro pracovní bod doporučený výrobcem. Poloha pracovního bodu se předepisuje pomocí proudu I_z tak, aby ležel v lineární části průrazné oblasti. Proud I_{zm} je určen maximálním ztrátovým výkonem diody P_{zm} .

$$I_{zm} = \frac{P_{zm}}{U_z} \quad (4)$$

Stabilizační činitel S_u je definován jako poměr relativní změny vstupního napětí $\frac{\Delta U_1}{U_1}$ ke změně výstupního napětí $\frac{\Delta U_0}{U_0}$:

$$S_u = \frac{U_0}{U_1} \cdot \frac{\Delta U_0}{\Delta U_1} \quad (5)$$

Dynamický vnitřní odpor diody je definován jako

$$r_i = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0} \quad (6)$$

$U_0, I_0 \dots \dots \dots$ hodnoty napětí a proudu v daném bodě

Pokud obvod rozložíme na část lineární se statickým odporem R_s a nelineární, charakterizovanou dynamickým odporem, lze změnu napětí vyjádřit jako

$$\Delta U_0 = R_s \Delta I + \Delta I r_i \quad (7)$$

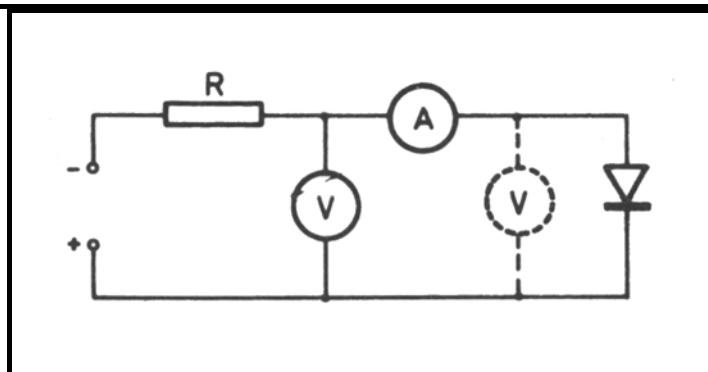
Složením těchto tři rovnic dostaneme vztah pro stabilizační činitel:

$$S_u = \frac{U_{z0}}{I_z r_i} \quad (8)$$

D. Měření charakteristik

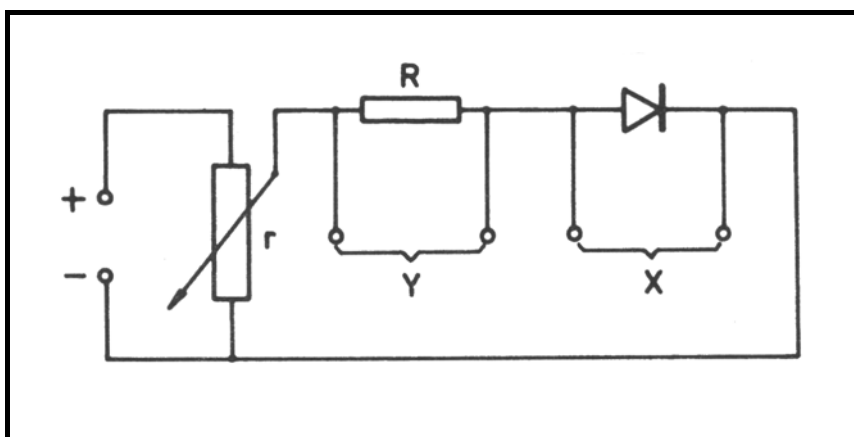
Diody mají v různých částech charakteristiky řádově značně odlišné vnitřní odpory.

Přihlédneme-li tedy k vnitřním odporům měřících přístrojů, nelze proto měřit v jediném zapojení celou charakteristiku. Pro oblasti s vysokým dynamickým odporem proto používáme zapojení pro měření velkých odporů (plná čára), pro oblasti s nízkým dynamickým odporem pak zapojení pro měření malých odporů (čárkovaně), viz obr. 1.



obr. 1

Zapisovač XY 4103 (zapojení viz obr. 2) má dva nezávislé napěťové vstupy a psací zařízení, které se může pohybovat ve dvou kolmých směrech. Výchylka v jednom směru je úměrná napětí přiváděnému na svorky X, v druhém napětí na svorkách Y. Chceme-li některým ze vstupů měřit proud, musíme snímat napětí na přesném odporu známé velikosti zapojeném sériově do obvodu.



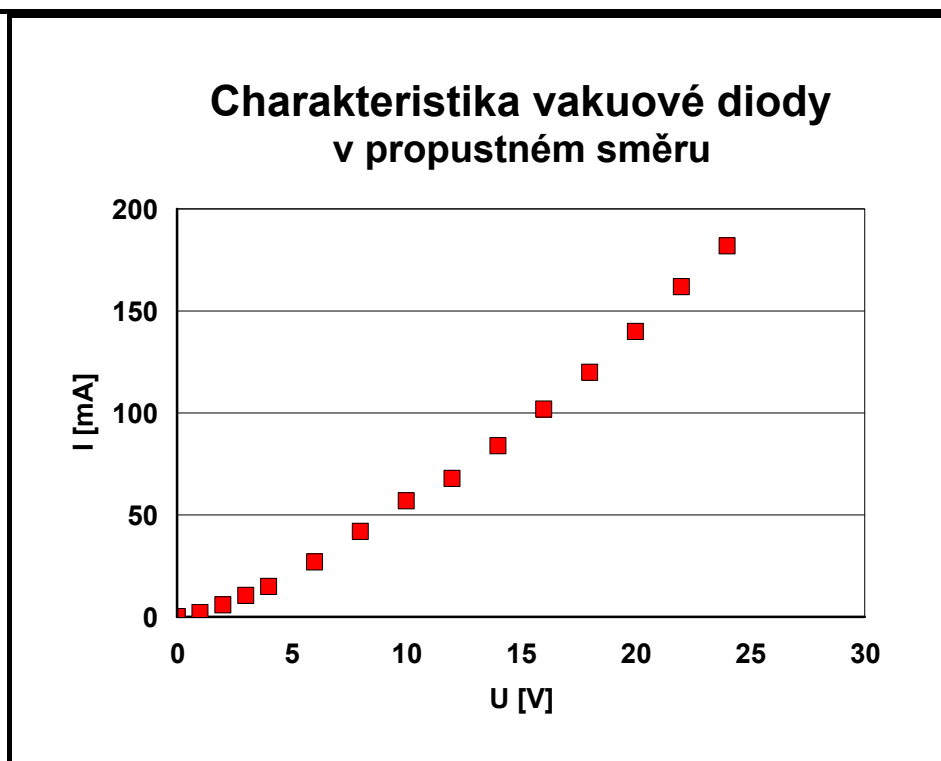
obr. 2

III. Výsledky měření

A. Vakuová dioda

tab. 1 – vakuová dioda v propustném směru

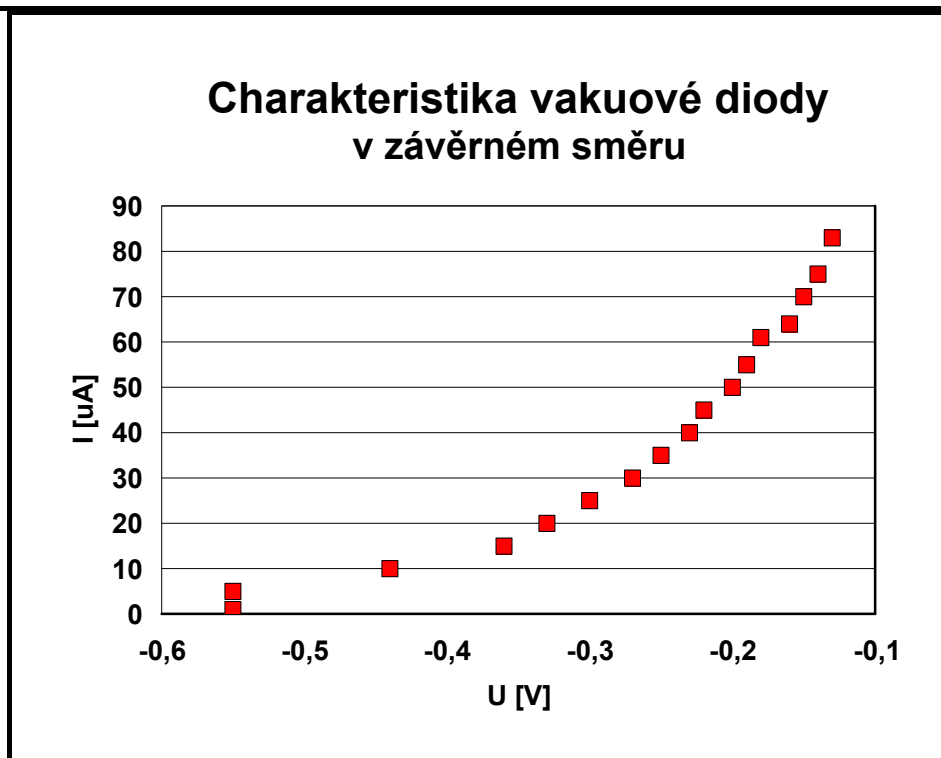
U [V]	0	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
I [mA]	0,2	2,25	6	10,6	15,0	27	42	57	68	84	102	120	140	162	182



graf 1

tab. 2 – vakuová dioda v závěrném směru

U [V]	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,44	0,55
I [μA]	83	75	70	64	61	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	1



graf 2

Charakteristika vakuové diody změřená na zapisovači viz graf 3.

Dynamický vnitřní odpor při napětí 4V v propustném směru $r_i = (227 \pm 55)\Omega$

Dynamický vnitřní odpor při napětí 0,2V v závěrném směru $r_i = (2000 \pm 600)\Omega$

B. Zenerova dioda

Charakteristika Zenerovy diody viz graf 4. Na zapisovači jsme proměřili Zenerovu diodu KZ703 v propustném směru a diodu KZ704 v závěrném a průrazném směru.

Dynamický vnitřní odpor v propustném směru při 700mV $r_i = (0,2 \pm 0,1)\Omega$

Dynamický vnitřní odpor v závěrném směru z grafu nelze vyčíst, je vidět, že byl velmi vysoký.

Dynamický vnitřní odpor v průrazném směru při 8,2V $r_i = (0,33 \pm 0,15)\Omega$

Zenerovo napětí při 10 mA $U_Z = 8V$

Stabilizační činitel $S_U = (242 \pm 242)$

IV. Diskuse

Vakuovou diodu jsme proměřili v propustném i závěrném směru jak krokovou metodou, tak pomocí zapisovače. Obě získané charakteristiky se shodují s teoretickými předpoklady. Při nulovém napětí prochází diodou proud asi 0,2mA. Zenerovu diodu jsme proměřili jen pomocí zapisovače. Ze záznamu zapisovače jsme určili dynamický vnitřní odpor, Zenerovo napětí a stabilizační činitel. Odečet ze stupnice byl velmi nepřesný, proto jsou všechny tyto hodnoty zatíženy velkou chybou.

V. Závěr

Charakteristika vakuové diody viz grafy 1, 2, 3.

Charakteristika Zenerovy diody viz graf 4.

Dynamický vnitřní odpor v propustném směru při 700mV $r_i = (0,2 \pm 0,1)\Omega$

Dynamický vnitřní odpor v průrazném směru při 8,2V $r_i = (0,33 \pm 0,15)\Omega$

Zenerovo napětí při 10 mA $U_Z = 8V$

VI. Literatura

Bakule, R., Štenberk, J.: Fyzikální praktikum II., SPN Praha

Spružil, B., Zieleniecová, P.: Úvod do teorie fyzikálních měření, SPN Praha, 1986