

1 Úkol

1. Změřte voltampérovou charakteristiku vakuové diody (EZ 81) pomocí zapisovače 4106
2. Změřte voltampérovou charakteristiku Zenerovy diody (KZ 703) pomocí převodníku UDAQ-1408E.
3. Pro Zenerovu diodu 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 U_Z .
5. Zakreslete do V-A charakteristiky zatěžovací přímku pro napětí zdroje $U_1 = -9$ V a proud $I = 400$ mA.
6. Sestavte stabilizátor napětí a ověřte jeho funkci.

2 Teorie

2.1 Vakuová dioda

Vakuová dioda je baňka, do které jsou zavedeny dvě elektrody. Uvnitř je vakuum, proto je pro průchod proudu dodat elektrony, které zpravidlá vznikají tepelnou emisí katody. Velikost emisního proudu I je dán Richardsonovým-Dushmanovým zákonem

$$I = AST^2 \exp -w_0/kT, \quad (1)$$

kde A a w_0 jsou konstanty charakterizující emisní látku, S plocha katody a k Boltzmanova konstanta. Při nulovém napětí mezi elektrodami teče elektronkou proud řádově o velikost 10^{-5} až 10^{-4} A. To se dá ještě snížit záporným napětím na elektrodách, kdy se proud vytrácí asi při napětí $U = -1$ V.

Velikost proudu v závislosti na napětí je popsána přibližně rovnicí

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

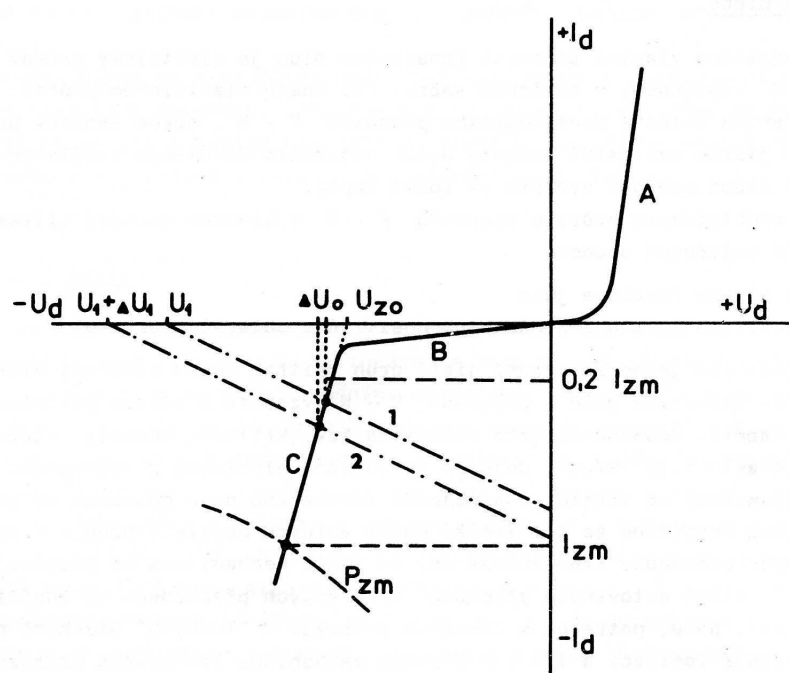
kde a je konstanta závislá na geometrickém uspořádání elektrod. Proud při zvyšování napětí roste až po hodnotu popsanou v rovnici 1, kdy dosáhne nasycenosti a dále neroste.

2.2 Zenerova dioda

Zenerova dioda je speciální případ PN přechodu, který není zničen při proražení proudu v závěrném směru. Její VA charakteristika je na obrázku 2.2.

Zenerova dioda se dá použít jako stabilizátor napětí. Její účinnost se popisuje stabilizačním činitelem, který je definován

$$S = \frac{U_{out}}{U_{in}} \frac{\Delta U_{in}}{\Delta U_{out}}. \quad (3)$$



Obr. 1

Obrázek 1: VA charakteristika Zenerovy diody

2.3 Souřadnicový zapisovač

Souřadnicový zapisovač je zařízení, které mění souřadnice pera v závislosti na napětí. V našem případě měříme na ose y napětí na odporu $5\ \Omega$, z čehož dle Ohmova zákona snadno dopočítáme odpovídající proud

$$I = \frac{U}{R}. \quad (4)$$

2.4 Chyby

U zapisovače jsem bral jako chybu měřidla hodnotu odpovídající $0.5\ \text{mm}$, která je závislá na zvoleném rozsahu a bude uvedena u každého měření.

Dále jsem odečítal hodnoty z multimetrů MASTERTECH MY-65, které mají dle výrobce chybu na stejnosměrného napětí na rozsahu $20\ \text{V} \pm 0.1\% \pm 3d$.

Dále jsem použil vztah pro chybu součinu a podílu veličin, kdy se relativní chyby sčítají.

3 Měření

3.1 VA charakteristika vakuové diody

Pomocí zapisovače jsem změřil VA charakteristiku vakuové diody. Výsledný graf je v příloze. Pro kladé hodnoty napětí (1) byl rozsah os $y = 50\text{mV/cm}$, $x = 200\text{mV/cm}$. Pro závěrný směr (2) jsem změnil rozsah na $y = 0.1\text{mV/cm}$, $x = 200\text{mV/cm}$. Charakteristiku jsem také proměřil za pomoci počítače, který odečítal hodnoty z dvou multimetrů. Grafy jsou omět v příloze,

3.2 VA charakteristika Zenerovy diody

U VA charakteristiky Zenerovy diody (3) jsem již rozsah neměnil a pro celý graf byl rozsah os $y = 500\text{mV/cm}$, $x = 500\text{mV/cm}$. Tuto charakteristiku jsem opět zpracoval za pomoci počítače a výsledný graf je v příloze.

3.3 Dynamický vnitřní odpor Zenerovy diody

Z grafu vytvořeným zapisovačem jsem určil dynamické vnitřní odpory pro proudy $200\ \text{mA}$ v propustném směru a $400\ \text{mA}$ v závěrném směru, a to tak, že jsem odečetl hodnoty v blízkosti hledané hodnoty a proložil je přímkou. Její převrácená hodnota směrnice je hledaný odpor. Odečtené hodnoty jsou v tabulkách 1 a 2.

Pro propustný směr vyšla hodnota dynamického odporu $R = (0.24 \pm 0.02)\ \Omega$, pro závěrný $R = (0.33 \pm 0.06)\ \Omega$.

U/V	I/mA
0.80 ± 0.03	0.10 ± 0.01
0.85 ± 0.03	0.30 ± 0.01
0.90 ± 0.03	0.45 ± 0.01
0.95 ± 0.03	0.75 ± 0.01

Tabulka 1: Charakteristiky Zenerovy diody pro propustný směr proudu.

U/V	I/mA
-7.05 ± 0.03	-0.40 ± 0.01
-7.10 ± 0.03	-0.50 ± 0.01
-7.15 ± 0.03	-0.70 ± 0.01

Tabulka 2: Charakteristiky Zenerovy diody pro závěrný směr proudu.

3.4 Pracovní bod a Zenerovo napětí

Do grafu jsem dle zadání zanesl přímku odpovídající napětí -9 V a proudu 400 mA. Tak jsem získal odpovídající Zenerovo napětí, jehož hodnota je $U_z = (6.95 \pm 0.3)\text{V}$.

3.5 Stabilizátor napětí

Sestavil jsem usměrňovač napětí a proměřil jeho funkčnost. Výsledky jsou v tabulce 3 spolu s odpovídajícím stabilizačním koeficientem.

4 Diskuze

Měření na zapisovači bylo přesnější, než jsem očekával, a to díky velké škále rozsahů, který na něm byly k dispozici. Díky tomu je vzniklá chyba pouze v řádu procent. Menší problém vznikl volbou pera, které zaprvé v počátku zápisu vytvořilo znatelnou kaňku. To se však dalo také dobře využít pro jeho nalezení. Zadruhé pero vynechávalo při rychlejší změně výchylky, což se projevilo především u VA charakteristiky Zenerovy diody, kdy u malé změny napětí, které se volilo na zdroji došlo k velké změně proudu a zdroj neměl dostatečnou citlivost pro výkres celistvé křivky. Další drobná chýna byla způsobena pozicováním papíru, který u grafu Zenerovy diody zřejmě nebyl vodorovně s osou y.

Měřicí přístroje napojené na počítač se ukázaly být mnohem rychlejší a přesnější. Díky hustému vzorkování navíc klesá statistická chyba. Výstupní graf však podle mě neposkytuje dostatečně přesná data na zpracování a musel bych vyhodnocovat přímo naměřené hodnoty. Navíc je podle mě v makru tvořící graf špatně zadaná jednotka na ose y, protože pochybuji, že by Zenerova dioda snesla proud o velikosti 1 kA.

Zenerova dioda se ukázala jako dobrý stabilizátor. Krajní hodnoty, které jsem prověřoval bych bral s rezervou, protože byly velmi blízko Zenerovu napětí a proto není vidět

U_{in}/V	U_{out}/V	S
7.058 ± 0.007	6.942 ± 0.007	
7.580 ± 0.008	6.985 ± 0.007	11.19 ± 0.04
8.027 ± 0.008	7.009 ± 0.007	16.26 ± 0.06
8.559 ± 0.009	7.035 ± 0.007	16.81 ± 0.06
9.026 ± 0.009	7.060 ± 0.007	14.61 ± 0.05
9.521 ± 0.010	7.086 ± 0.007	14.16 ± 0.05
10.03 ± 0.01	7.117 ± 0.007	11.61 ± 0.04
10.56 ± 0.01	7.145 ± 0.007	12.95 ± 0.04
11.00 ± 0.01	7.169 ± 0.007	11.89 ± 0.04
11.52 ± 0.01	7.198 ± 0.007	11.14 ± 0.04
12.08 ± 0.01	7.229 ± 0.007	10.90 ± 0.04

Tabulka 3: Závislost výstupního napětí na vstupním pro stabilizační obvod

jasná závislost S na vstupním napětí.

5 Závěr

Změřil jsem VA charakteristiku vakuové diody za pomoci souřadnicového zapisovače a převodníku.

Změřil jsem VA charakteristiku Zenerovy diody za pomoci souřadnicového zapisovače a převodníku.

Určil jsem dynamický odpor Zenerovy diody pro proudy 200 mA resp. -400 mA

$$R = (0.24 \pm 0.02)\Omega, \text{ resp.} \quad (5)$$

$$R = (0.33 \pm 0.06)\Omega, \quad (6)$$

Určil jsem Zenerovo napětí pro pracovní bod dle zadání

$$U_z = (6.95 \pm 0.3)V. \quad (7)$$

Ověřil jsem funkci stabilizátoru.

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum II**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_211.pdf (18. 11. 2011)
- [2] *J. Englich: Zpracování výsledků fyzikálních měření*
 LS 1999/2000