

## Pracovní úkoly

1. Změřte voltampérovou charakteristiku vakuové diody (EZ 81) bod po bodu.
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  $U_I = -9$  V a proud tekoucí diodou  $I = -350$  mA.
6. Sestavte stabilizátor napětí a ověřte jeho funkci.

## Teoretická část

Vakuová dioda je tvořena vakuovou trubicí, ve které se nachází žhavicí katoda, katoda a anoda. Ze žhavicí katody vylétávají elektrony, které jsou buď urychleny elektrickým polem mezi katodou a anodou, v tom případě je dioda zapojena v propustném směru, nebo naopak zpomalovány, v tomto případě je katoda zapojena ve směru závěrném.

Zenerova dioda je polovodičová dioda, která je schopna propouštět proud i v závěrném směru, bez toho aniž by se poničila. V propustném směru se chová jako obyčejná polovodičová dioda. To znamená, že je potřeba nejprve překonat prahové napětí  $U_p$ , aby diodou tekla proud. Napětí, při kterém dochází k nárůstu proudu v závěrném směru, se nazývá Zenerovo napětí a značí se  $U_Z$ .

Nelineární prvky mají pro různá zatížení různý vnitřní odpor. Tento dynamický vnitřní odpor lze spočítat[1] jako podíl  $\Delta U / \Delta I$ , kde  $\Delta U$  je změna napětí v okolí bodu pro který chceme dynamický vnitřní odpor zjistit a  $\Delta I$  je odpovídající změna proudu. Lze tedy tvrdit, že dynamický vnitřní odpor nelineárního prvku lze zjistit jako převrácenou hodnotu derivace V-A charakteristiky v daném bodě.

Aby Zenerova dioda fungovala jako stabilizátor napětí, zapojí se podle schématu 2. Zároveň musí platit, že vstupní napětí je větší než Zenerovo a odpor  $R_s$  je zvolen tak, aby zatěžovací přímka protínala charakteristiku v průrazné oblasti[2]. Poté změna vstupního napětí vyústí ve velmi malou změnu výstupního napětí.

## Metoda měření

Nejprve jsme měřili podle schématu 1 V-A charakteristiku vakuové diody v závěrném směru. Poté v propustném směru (voltmetr byl zapojen podle čárkované části schématu).

Voltampérovou charakteristiku Zenerovy diody jsme zaznamenávali pomocí A-D převodníku viz schéma 2. Poté jsme za pomoci Zenerovy diody sestavili podle schématu 3 stabilizátor napětí. Při ověřování funkčnosti stabilizátoru byly oba multimetry zapojeny jako voltmetry.

## Pomůcky

- Vakuová dioda EZ-81
- Zenerova dioda KZ-703
- Multimetr M-3270D (zapojený jako ampérmetr)
- Multimetr MY-65 (zapojený jako voltmetr)
- Převodník UDAQ-1408E
- Počítač
- Vodiče
- Transformátor
- Laboratorní zdroj napětí

## Schémata

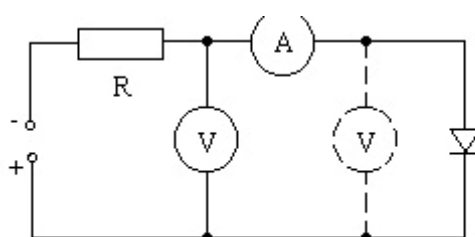


Schéma 1[2]

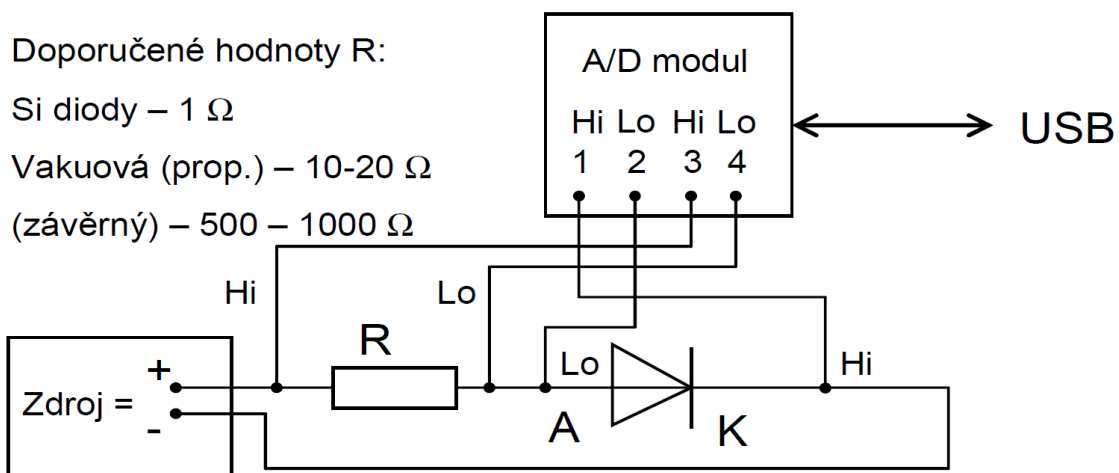


Schéma 2[2]

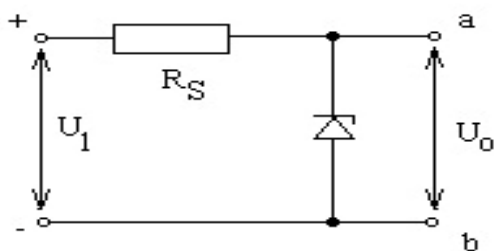


Schéma 3[2]

# Výsledky měření

Laboratorní podmínky by neměly ovlivnit výsledky měření.

Grafy 1 a 2 ukazují V-A charakteristiku vakuové diody. Graf č. 2 detailněji ukazuje průběh charakteristiky v okolí počátku. Chyba měření je v tomto případě daná chybou přístroje, která se v našem případě pohybovala okolo 0.8%.

Graf č. 3 ukazuje V-A charakteristiku Zenerovy diody. Průběh této charakteristiky jsme měřili pomocí převodníku, který měří pouze napětí, pokud chceme měřit proud, musíme do obvodu zařadit odpor o přesně známé velikosti, viz odpor R ve schématu 2.

**Tabulka 1 : dynamický vnitřní odpor Zenerovy diody**

<b><math>I = 200\text{mA}</math></b>	
$R_i [\Omega]$	rel. chyba [%]
0.177	2
<b><math>I = -400\text{mA}</math></b>	
$R_i [\Omega]$	rel. chyba [%]
0.0367	9

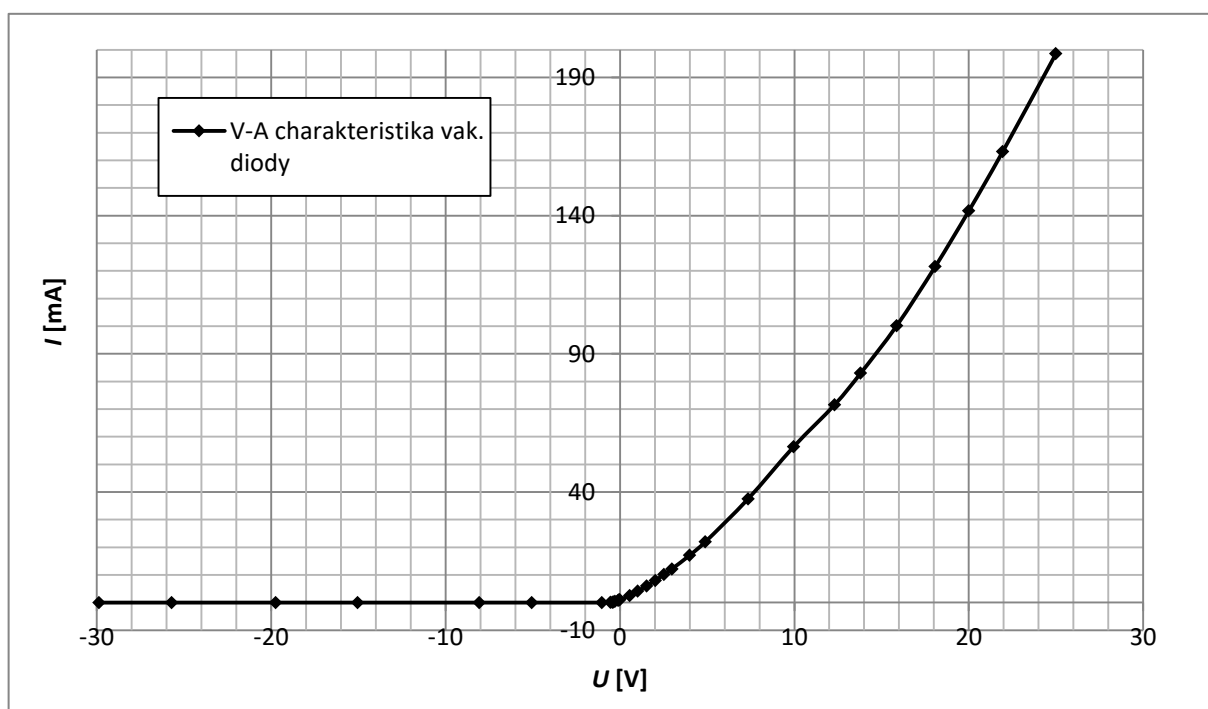
**Tabulka 2: Zenerovo napětí**

$U_z [\text{V}]$	rel.chyba [%]
-6.79	2

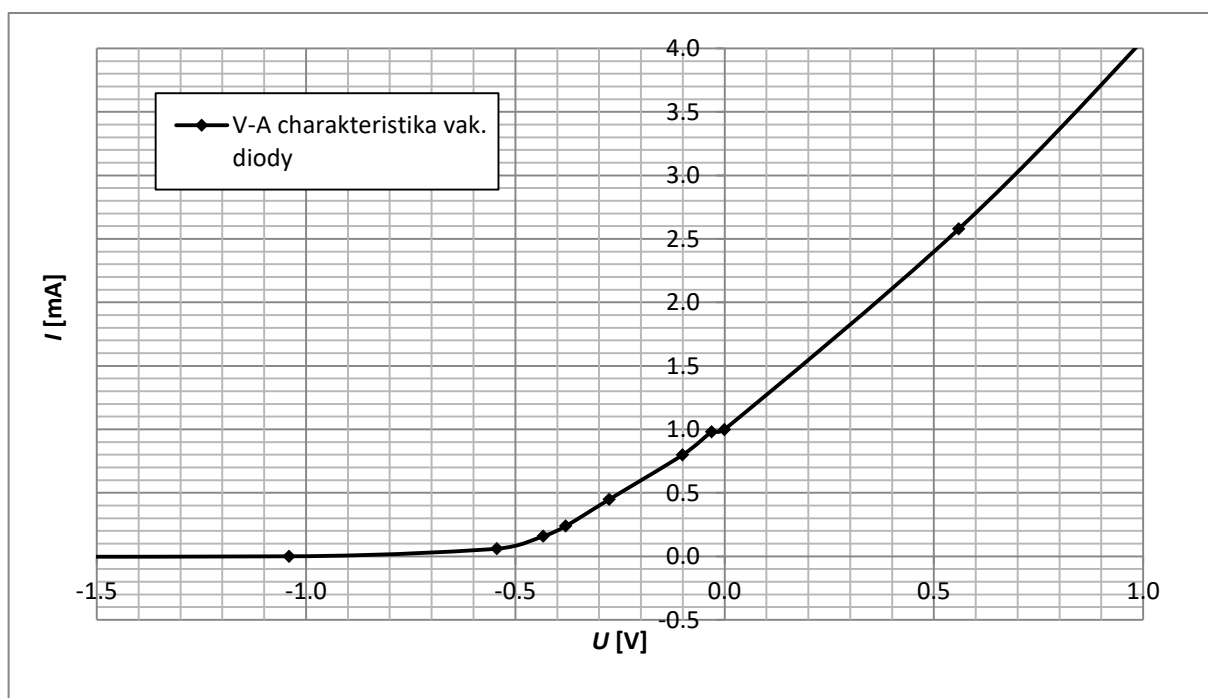
Dynamický vnitřní odpor jsme určili ze směrnice v okolí daných bodů, tj. zhruba 15 hodnot v rozsahu 50mA. Tabulka č. 1 zachycuje tyto údaje. Chyba je v tomto případě daná hlavně nepřesností fitu. Zenerovo napětí, zaznamenané v tabulce č. 3, jsme určili z průsečíku lineárního fitu v okolí bodu 400mA s osou x, chyba je opět daná nepřesností daného fitu.

Graf č. 4 ukazuje detailněji voltampérovou charakteristiku Zenerovy diody v závěrném směru, do grafu je také vynesena zatěžovací přímka pro napětí zdroje -9V a proud tekoucí diodou -350mA. Zatěžovací přímka protíná charakteristiku v bodě [-6.80V;-350mA].

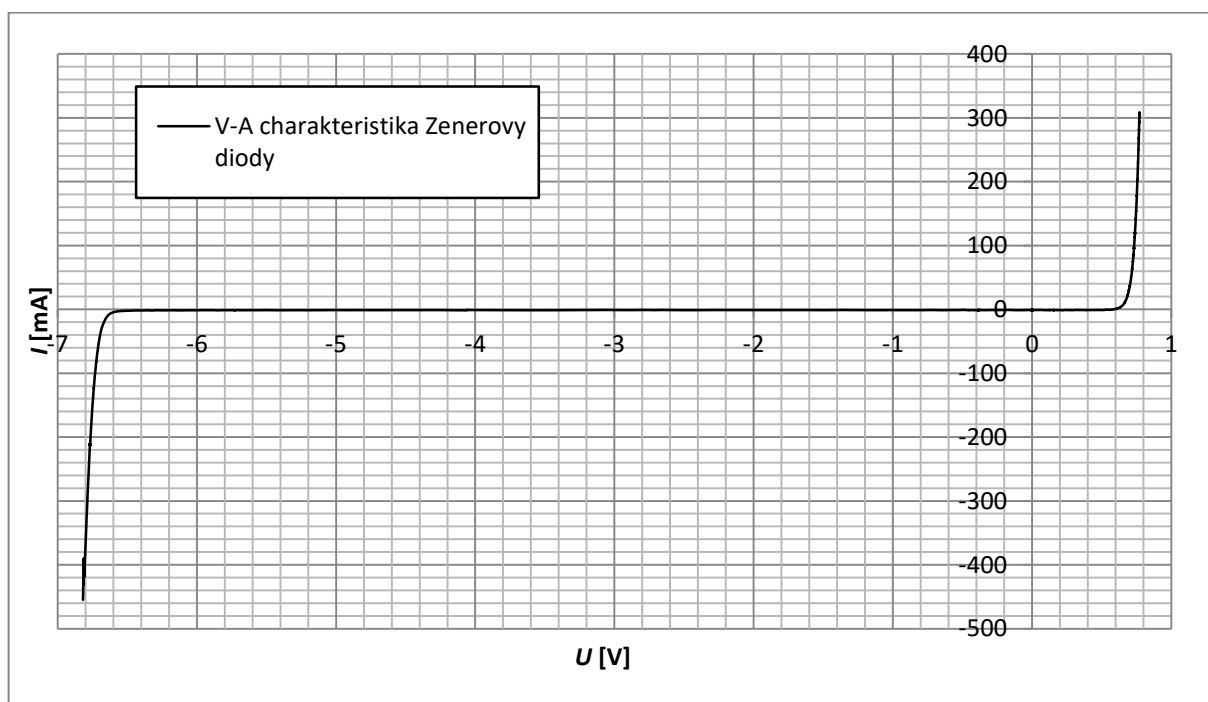
Graf č. 5 ukazuje funkci stabilizátoru napětí, na x-ové ose je vyneseno vstupní napětí  $U_I$  a na y-ové ose je vyneseno výstupní napětí  $U_O$ . Z grafu je patrné, že v oblasti Zenerova napětí dochází ke stabilizaci napětí.



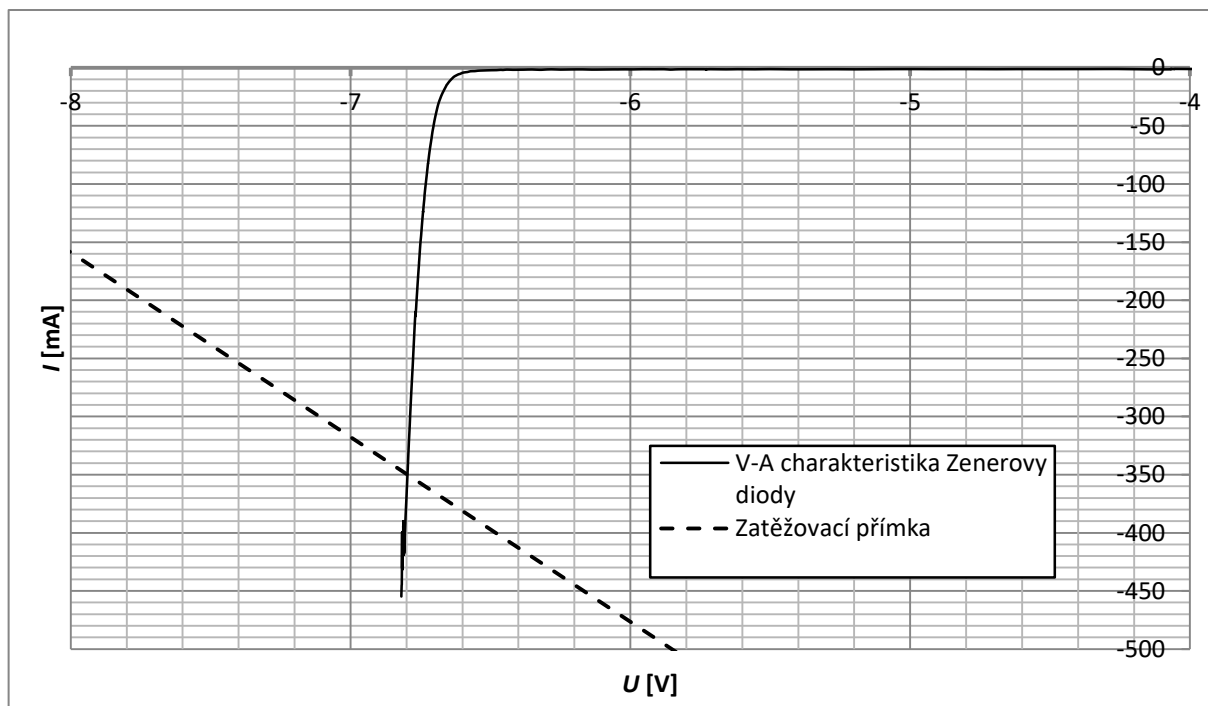
Graf 1: V-A charakteristika vakuové diody. Naměřené body jsou spojeny hladkou křivkou.



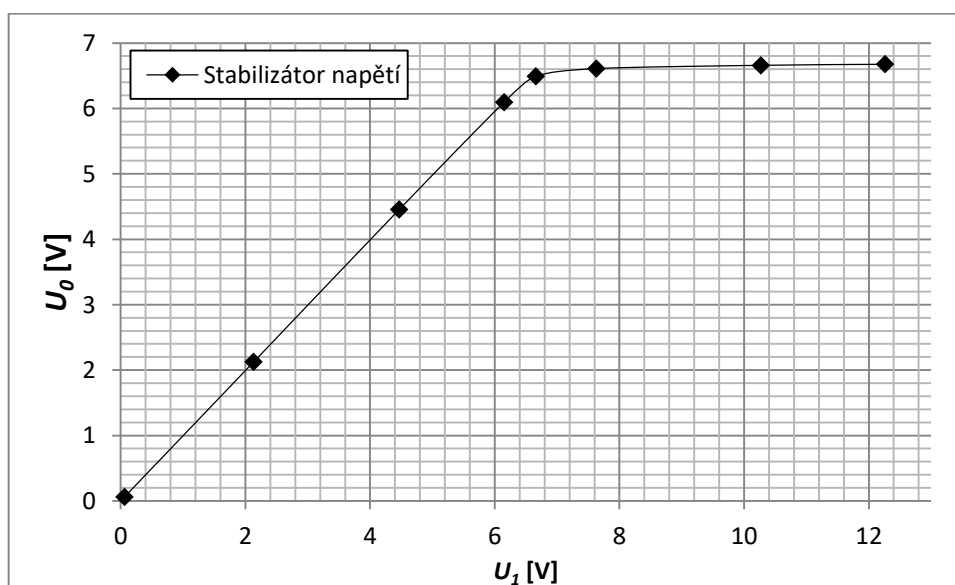
Graf 2: V-A charakteristika vakuové diody v okolí počátku



Graf 3 : V-A charakteristika Zenerovy diody



Graf 4 : V-A charakteristika Zenerovy diody se zatěžovací přímkou



Graf 5: ověření funkce stabilizátoru napětí

## Diskuse

Naměřená voltampérová charakteristika vakuové diody je zcela v souladu s teorií. Pokud na diodu nepřivedeme žádné napětí, protéká jí proud, který je způsoben žhavením. Chyba měření je v tomto případě daná čistě přesností přístrojů.

U voltampérové charakteristiky Zenerovy diody je potřeba přesně určit odpor  $R$  (viz schéma 2). V našem případě jsme použili odpor o velikosti  $1\Omega$ . Takto malý odpor by mohl být ovlivněn odporem přívodních vodičů. Při použití D/A převodníku může hrát roli také počet bitů. V našem případě jsme použili 14bitový převodník, který poskytuje dostatečnou přesnost.

Dynamický vnitřní odpor Zenerovy diody jsme určili pomocí směrnice lineárního fitu. Bohužel v okolí -400mA došlo při měření k nějakému problému a data byla hodně zašuměná, což lze pozorovat v grafu č. 3 a zejména v grafu č. 4.

Chyba měření u ověření funkce stabilizátoru je opět daná přesností přístrojů.

## Závěr

Voltampérové charakteristiky diod EZ-81 a KZ-703 jsou v souladu s teorií.

Dynamický vnitřní odpor Zenerovy diody v propustném směru při proudu 200mA byl:

$$R_i = (0.177 \pm 0.004) \Omega$$

A v závěrném směru při proudu -400mA:

$$R_i = (0.037 \pm 0.003) \Omega$$

Zenerovo napětí je:

$$U_z = (-6.79 \pm 0.13) V$$

Je tedy v souladu s hodnotou udávanou výrobcem, který udává 6-7.8V.

## Literatura

- [1] Základy elektroniky. [online]  
[cit. 3.11.2016]. Dostupné z:  
<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/zdrojeiu.htm>
- [2] Charakteristiky diod. Fyzikální praktikum [online].  
[cit. 3.11.2016]. Dostupné z:  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_211.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_211.pdf)