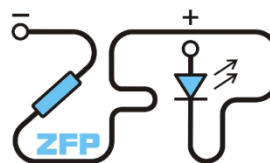


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

# Fyzikální praktikum **PII**



Úloha č. 11

Název úlohy: **Charakteristiky diod**





Jméno: **Josef Iosephus Kučera**

Obor: **FOF**

Datum měření: **6. 11. 2019**

Datum odevzdání: **viz internet**

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	
Teoretická část	0 - 2	
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: .....

dne: .....

# Pracovní úkol

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 přímkou pro napětí zdroje  $U_1 = -9$  V a proud tekoucí diodou  $I = -350$  mA.
6. Sestavte stabilizátor napětí a ověřte jeho funkci.

## Theorie

### VAKUOVÁ DIODA

Vakuová dioda jest tvořena baňkou s vakuem, ve kterém jsou umístěny 2 elektrody, anoda a katoda. Žhavení topného vlákna uvnitř diody způsobuje emisi elektronů.

Velikost emisního proudu  $I$  z katody žhavené na teplotu  $T$  je dána Richardsonovým-Dushmanovým zákonem [1-3]:

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

$A$  a  $w_0$  jsou konstanty charakterizující emisní látku katody,  $S$  plocha katody a  $k$  Boltzmannova konstanta. Materiál pro emisní vrstvu se volí tak, aby výstupní práce  $w_0$  byla co nejmenší.

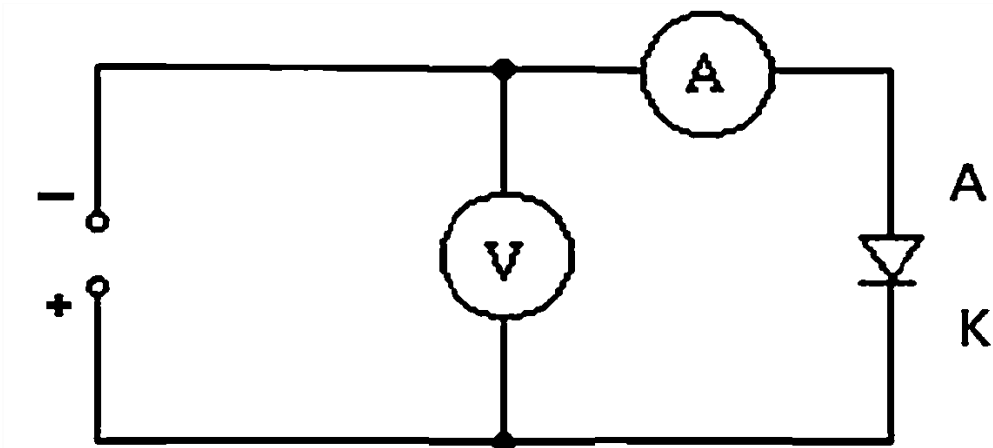
Diodou prochází při žhavení elektrický proud i v případě, kdy není přítomno elektrické pole. Při záporném napětí na anodě vůči katodě se velikost tohoto proudu zmenšuje a při napětí  $U_a = -0,5$  až  $1$  V je již neměřitelný.

Přibližně je možno popsat závislost anodového proudu  $I_a$  na anodovém napětí  $U_a > 0$  vztahem [1-3]:

$$I_a = aU_a^{3/2} \quad (2)$$

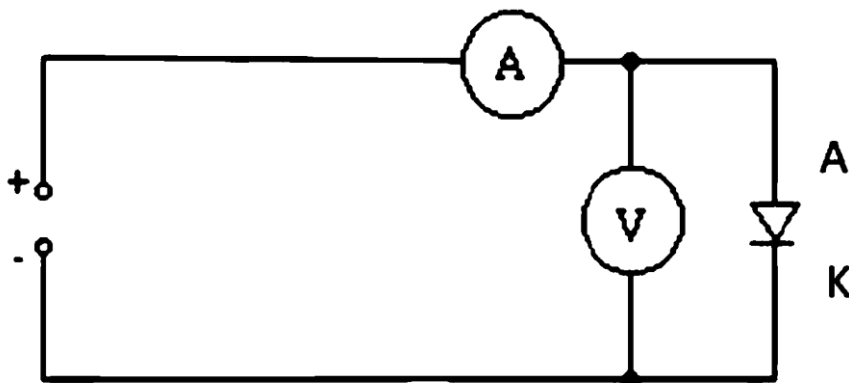
v němž  $a$  je konstanta závislá na geometrickém uspořádání elektrod.

Pro měření voltampérové charakteristiky vakuové diody v závěrném směru, jsme diodu do obvodu zapojili dle obrázku 1.



Obrázek 1: Vakuová dioda v závěrném směru

Pro měření voltampérové charakteristiky vakuové diody v propustném směru, jsme diodu do obvodu zapojili dle obrázku 2.



Obrázek 2: Vakuová dioda v propustném směru

## POLOVODIČOVÉ DIODY

Čistý polovodič se chová jako lineární prvek. Jeho odpor není závislý na velikosti a polaritě napětí. Nelineární a nesouměrnou charakteristiku lze získat u polovodiče dopovaného vhodnými příměsemi.

Oblast s děrovou vodivostí nazveme oblastí s vodivostí typu P, oblast s elektronovou vodivostí oblastí typu N. Navazují-li uvnitř monokrystalu polovodiče na sebe oblasti typu P a N, mluvíme o přechodu P – N.

Usměrňovací schopnost polovodičových diod se charakterizuje pomocí usměrňovacího poměru  $\eta$ , který je definován jako poměr proudu  $I_p$  v propustném směru ku proudu ve směru závěrném  $I_z$  při konstantní absolutní hodnotě napětí na usměrňovači [1-3]:

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

## ZENEROVY DIODY

Podstatou vlastní činnosti Zenerových diod je elektrický průraz přechodu P – N zapojeného v závěrném směru. Při tomto elektrickém průrazu nedochází však ke zničení usměrňujícího přechodu P – N, pokud Zenerův proud nepřesáhne jistou maximální hodnotu.

Zenerovo napětí se udává pro pracovní bod doporučený výrobcem. Poloha pracovního bodu se předepisuje pomocí proudu  $I_z$ , který se volí zpravidla v rozmezí od  $0,2 I_{zm}$  do  $I_{zm}$ , tak, aby ležel v lineární části průrazné oblasti. Proud  $I_{zm}$  je určen maximálním ztrátovým výkonem  $P_{zm}$  a je přibližně roven [1-3]:

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

Vlastnosti stabilizačního proudu Zenerovy diody se popisují především [1-3]:

- a) stabilizačním činitelem  $S_u$ , který je definován jako poměr relativní změny vstupního napětí  $\frac{\Delta U_1}{U_1}$  k relativní změně výstupního napětí  $\frac{\Delta U_0}{U_0}$ , tedy

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

Čím je stabilizační činitel větší, tím méně závisí výstupní napětí na napětí vstupním;

- b) vnitřním odporem

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

Z předchozích dvou lze zapsat stabilizační činitel:

$$S_u = \frac{U_0(R_S + r_i)\Delta I}{U_1 r_i \Delta I} \cong \frac{U_{z0}(R_S + r_i)}{U_1 r_i} \quad (7)$$

Je-li  $r_i \ll R_S$  a  $U_z \ll U_1$ , můžeme stabilizační činitel přibližně vyjádřit v pracovním bodě určeném proudem  $I_z$  vztahem [1-3]:

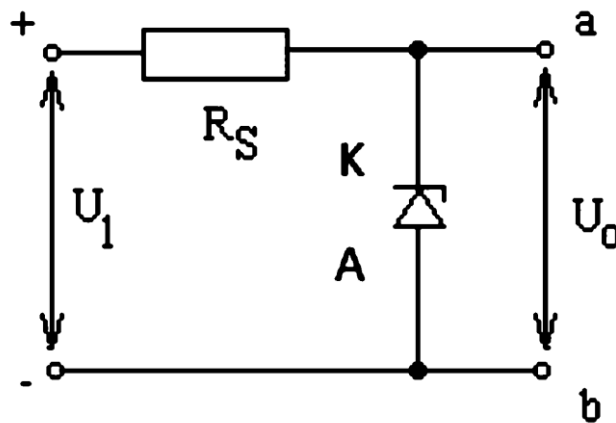
$$S_u = \frac{U_{z0}}{I_z r_i} \quad (8)$$

Zatímco první předpoklad je prakticky vždy splněn, druhý jen výjimečně při extrémně vysokém napětí zdroje.

Poslední vzorec, který se nám bude hodit, je Ohmův zákon:

$$R = \frac{U}{I} \quad (9)$$

Zenerovu diodu jsme zapojovali do obvodu jakožto stabilisátor elektrického napětí dle obrázku 3.



Obrázek 3: Zenerova dioda v závěrném směru

# Výsledky měření

## 1. Voltampérová charakteristika vakuové diody

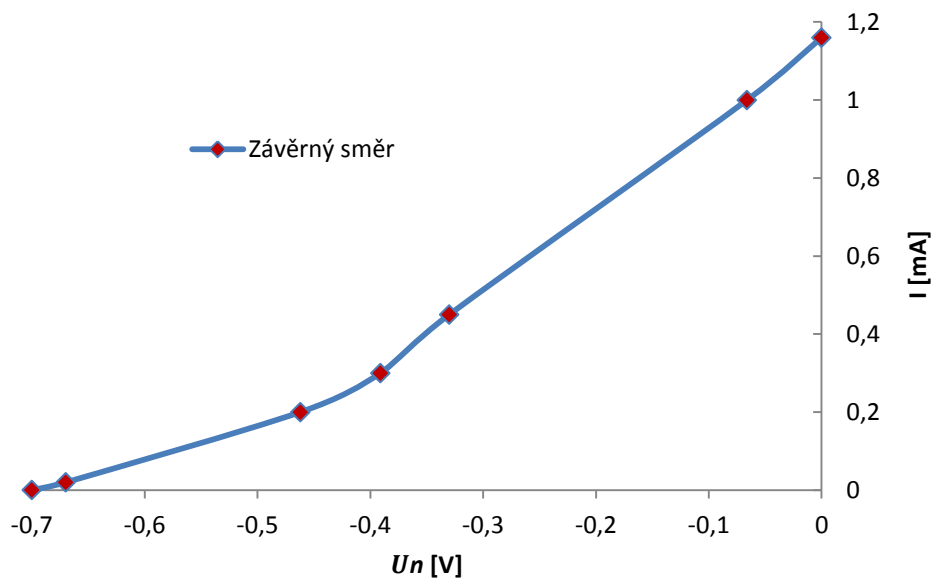
Abychom určili voltampérovou charakteristiku vakuové diody bod po bodu, zapojili jsme ji do obvodu nejprve v závěrném směru dle Obrázku 1, abychom zjistili velikost napětí  $U_n$ , při kterém již diodou neprotéká žádný elektrický proud  $I$ .

Naměřené hodnoty našeho měření jsou uvedeny v Tabulce 1.

**Tabulka 1:** Voltampérová charakteristika - závěrný směr

$U_n$ [V]	$\epsilon U_n$ [V]	$I$ [mA]	$\epsilon I$ [mA]
0	$\pm 0,01$	1,16	$\pm 0,01$
-0,07	$\pm 0,01$	1,00	$\pm 0,01$
-0,33	$\pm 0,01$	0,45	$\pm 0,01$
-0,39	$\pm 0,01$	0,30	$\pm 0,01$
-0,46	$\pm 0,01$	0,20	$\pm 0,01$
-0,67	$\pm 0,01$	0,02	$\pm 0,01$
-0,70	$\pm 0,01$	0	$\pm 0,01$

Tyto hodnoty pak následně byly vyneseny do Grafu 1.



**Graf 1:** Voltampérová charakteristika vakuové diody v závěrném směru

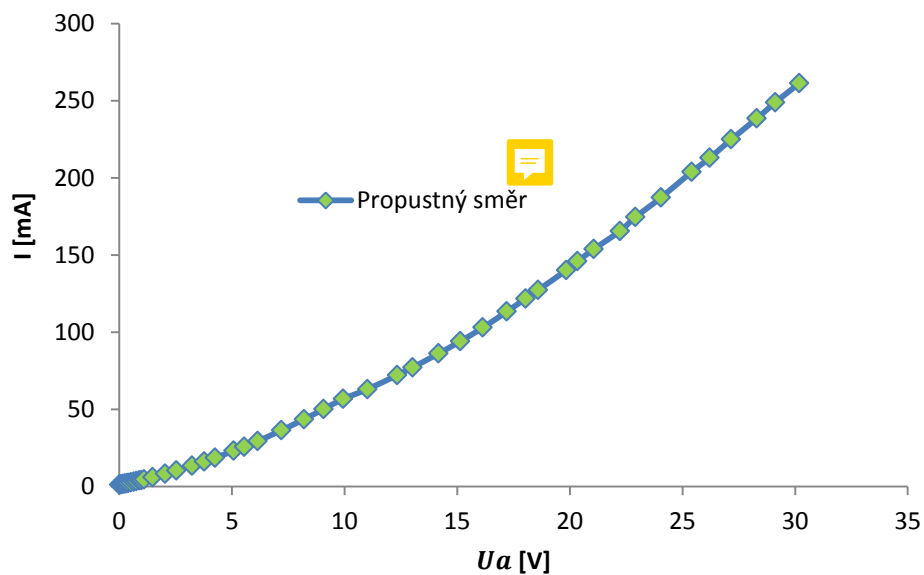
Vidíme, že hodnota napětí musí být v závěrném směru  $U_n < -0,7$ , aby elektrický proud procházející diodou již nebyl měřitelný.

Poté jsme proměřili voltampérovou charakteristiku vakuové diody v propustném směru. V obvodu z Obrázku 2 jsme v rámci intervalu hodnot napětí  $U_a \in \langle 0; 30 \rangle$  V měřili proud  $I$ , který diodou protékal. Vybrané důležité hodnoty tohoto měření jsou sepsány v Tabulce 2.

**Tabulka 2:** Voltampérová charakteristika - propustný směr

$U_a$ [V]	$\epsilon U_a$ [V]	$I$ [mA]	$\epsilon I$ [mA]
0,52	$\pm 0,01$	2,62	$\pm 0,01$
1,09	$\pm 0,01$	4,56	$\pm 0,01$
2,04	$\pm 0,01$	8,26	$\pm 0,01$
3,22	$\pm 0,01$	13,46	$\pm 0,01$
5,54	$\pm 0,01$	25,74	$\pm 0,01$
9,94	$\pm 0,01$	56,80	$\pm 0,10$
15,14	$\pm 0,01$	94,20	$\pm 0,10$
20,34	$\pm 0,01$	146,00	$\pm 1,00$
25,41	$\pm 0,01$	204,00	$\pm 1,00$
30,18	$\pm 0,01$	261,40	$\pm 1,00$

Všechny hodnoty tohoto měření jsou pak vyneseny v grafu 2.

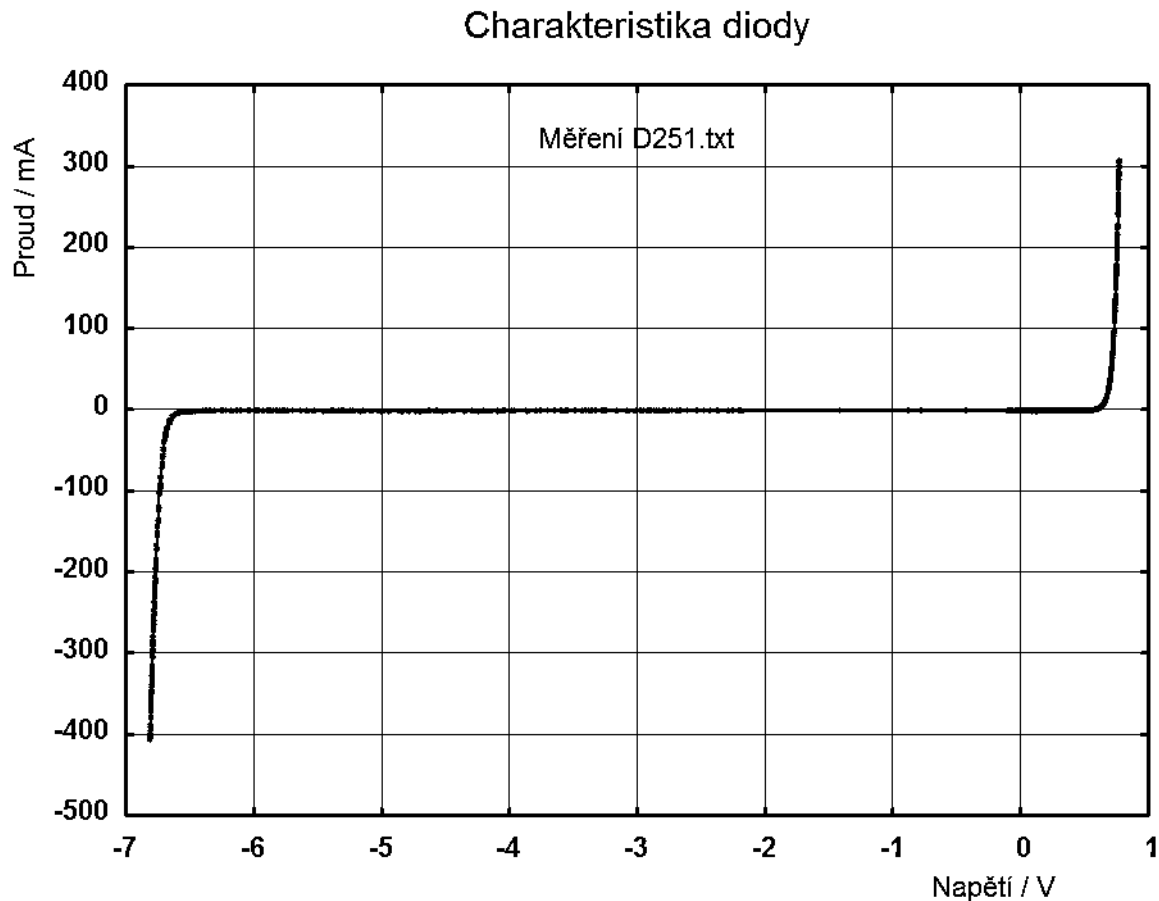


**Graf 2:** Voltampérová charakteristika vakuové diody v propustném směru

## 2. Voltampérová charakteristika Zenerovy diody

Pro měření voltampérové charakteristiky Zenerovy diody jsme využili počítačový převodník UDAQ-1408E.

Naměřená data pro naši Zenerovu diodu byla vynesena v Grafu 3.



Graf 3: Voltampérová charakteristika Zenerovy diody

## 3. Dynamický vnitřní odpor

Dle Ohmova zákona (9) můžeme z grafu bajvočko vypočítat, že pro zadané proudy  $I_1 = (200 \pm 1) \text{ mA}$  a  $I_2 = (-400 \pm 1) \text{ mA}$  má napětí na diodě hodnoty  $U_1 = (0,7 \pm 0,1) \text{ V}$  a  $U_2 = (-6,7 \pm 0,1) \text{ V}$

Z těchto hodnot tedy dle vzorce (9) vychází hodnoty proměnlivého odporu  $R_1 = (3,5 \pm 0,1) \Omega$  a  $R_2 = (16,75 \pm 0,10) \Omega$

## 4. Zenerovo napětí

Z grafu lze určit bajvočko, že Zenerovo napětí  $U_Z = (6,6 \pm 0,1) \text{ V}$



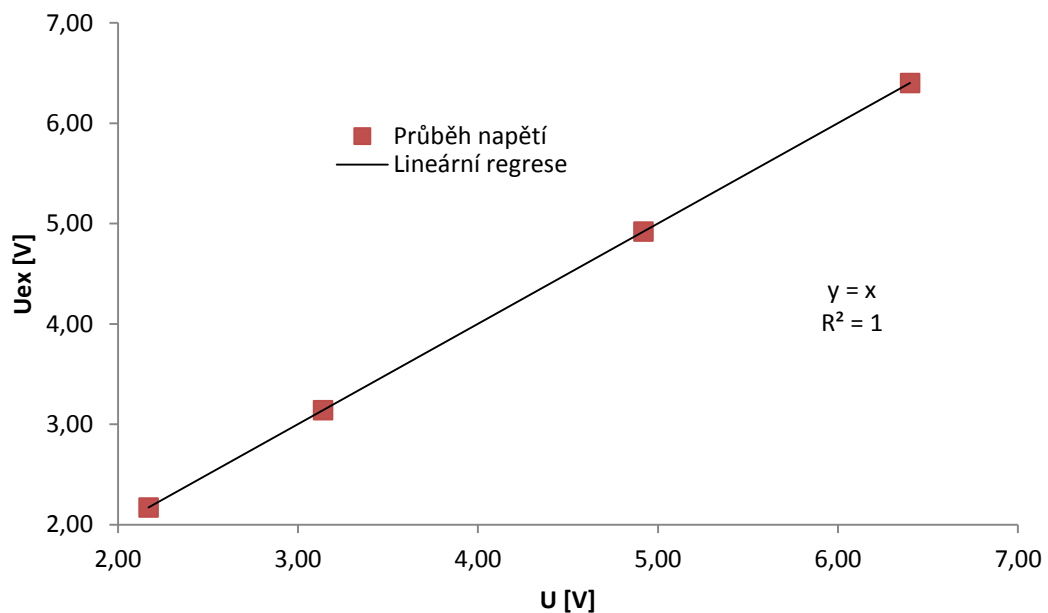
## 5. Stabilisátor napětí

Při proměřování stabilizační funkce Zenerovy diody byly naměřeny hodnoty napětí vstupního  $U$  a výstupního  $U_{ex}$ . Data jsou uvedena v Tabulce 3.

Tabulka 3: Stabilisátor napětí

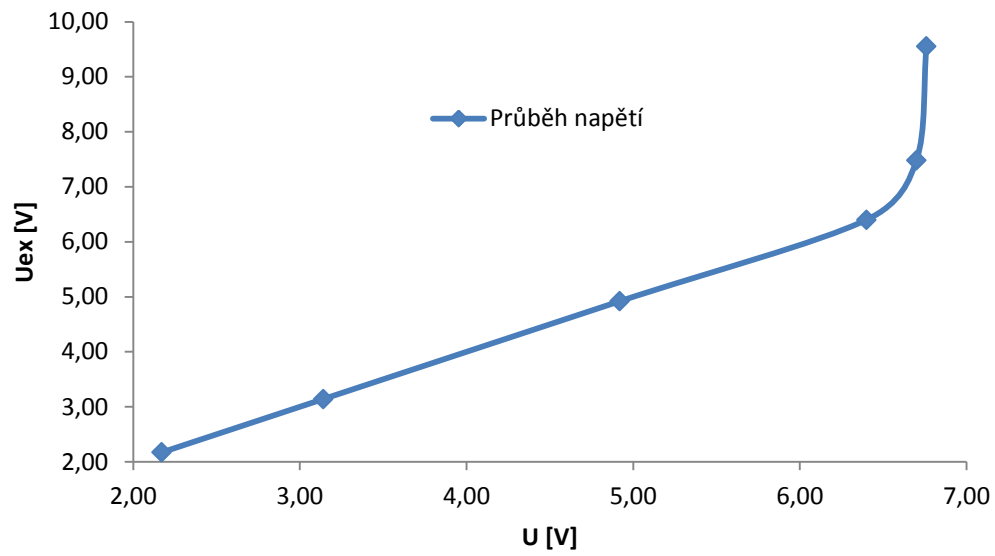
$U$ [V]	$\epsilon U$ [V]	$U_{ex}$ [V]	$\epsilon U_{ex}$ [V]
2,17	$\pm 0,01$	2,17	$\pm 0,01$
3,14	$\pm 0,01$	3,14	$\pm 0,01$
4,92	$\pm 0,01$	4,92	$\pm 0,01$
6,40	$\pm 0,01$	6,40	$\pm 0,01$
6,70	$\pm 0,01$	7,48	$\pm 0,01$
6,76	$\pm 0,01$	9,55	$\pm 0,01$

Vidíme, že stabilisátor plní svou funkci až do Zenerova napětí  $U_Z$ .



Graf 4: Stabilisátor stabilisuje

Jakmile však překročí napětí tuto hranici napětí Zenerova  $U_Z$ , přeteče pohár trpělivosti a lineární průběh je v háji.



Graf 5: Stabilisátor přestává stabilisovat

# Diskuse

## VAKUOVÁ DIODA

Podářilo se nám ověřiti, že vakuová dioda vykazuje průchod elektrického proudu i přesto, že na ni nepůsobí elektrické pole.

Dle očekávání vyšlo napětí na vakuové diodě v závěrném směru  $U_n = (-0,7 \pm 0,1) V$ , při kterém již elektrický proud protékající diodou nebyl měřitelný, v intervalu  $(-1; 0) V$ .

## ZENEROVA DIODA

Získali jsme takřka tabulkový grafický průběh závislosti proudu na přiloženém napětí Zenerovy diody jak v závěrném, tak i v propustném směru.

Z grafického průběhu závislosti elektrického proudu na napětí přiloženém na diodu jsme odvodili hodnotu dynamického odporu pro protékající proud v propustném směru  $I_1 = (200 \pm 1) mA$ , a to  $R_1 = (3,5 \pm 0,1) \Omega$ .

Z grafického průběhu závislosti elektrického proudu na napětí přiloženém na diodu jsme odvodili hodnotu dynamického odporu pro protékající proud v závěrném směru  $I_2 = (-400 \pm 1) mA$ , a to  $R_2 = (16,75 \pm 0,10) \Omega$

Naměřená hodnota Zenerova napětí vyšla  $U_Z = (6,6 \pm 0,1) V$ , což posléze experimentálně ověřeno při zapojení Zenerovy diody do obvodu jakožto stabilisátoru napětí.



# Závěr

Napětí v závěrném směru na vakuové diodě  $U_n < -0,7$ , aby neprotékal žádný proud.

Pro zadaný proud na Zenerově diodě v propustném směru  $I_1 = (200 \pm 1) mA$  vyšla hodnota dynamického odporu  $R_1 = (3,5 \pm 0,1) \Omega$ .

Pro zadaný proud na Zenerově diodě v závěrném směru  $I_2 = (-400 \pm 1) mA$  vyšla hodnota dynamického odporu  $R_2 = (16,75 \pm 0,10) \Omega$

Naměřená hodnota Zenerova napětí vyšla  $U_Z = (6,6 \pm 0,1) V$

U stabilisátoru napětí jsme experimentálně ověřili, že po překročení hodnoty Zenerova napětí  $U_Z$  u vstupního napětí přestává stabilisátor plnit svou funkci.

# Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983 stať 4.5.2.
- [2] Stránský J. a kol.: Polovodičová technika I, SNTL, Praha 1973, stať 3.1.
- [3] Bakule R., Šternberk J.: Fyzikální praktikum II., SPN, Praha 1989