

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM II.

úloha č..5.....

Název: Měření osciloskopem.....

Pracoval: Jakub Michálek..... stud. skup. 12..... dne: 4. prosince 2009.....

Odevzdal dne: .....

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
	max. 20	

Posuzoval: ..... dne .....

## Pracovní úkol

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na sekundáru převodního transformátoru a porovnejte ji s hodnotou naměřenou voltmetrem.
2. Sledujte činnost jednocestného usměrňovače s křemíkovými diodami KY711
  - (a) při maximální hodnotě zatěžovacího odporu  $10\text{ k}\Omega$  sledujte závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě  $C$  v intervalu  $(0; 10)\ \mu\text{F}$ . Hodnotu usměrněného napětí při  $C = 10\ \mu\text{F}$  srovnajte se špičkovou hodnotou pulzního průběhu
  - (b) změřte závislost filtrační kapacity  $C$ , potřebné k tomu, aby střídavá složka usměrněného napětí tvořila 10 % špičkové hodnoty (tj. asi 1 V), na odebíraném proudu. U jednocestného usměrňovače měřte do proudu 0,6 mA.
  - (c) naměřené závislosti zpracujte graficky. Do grafu uvádějícího závislost filtrační kapacity  $C$  na proudu vynesete také závislost časové konstanty  $\tau = R_z C$  na proudu.
3. Charakteristiku vakuové diody EZ81 a Zenerovy diody KZ703 zobrazte na osciloskopu podle schématu připojeného k úloze. Orientačně načrtněte pozorované charakteristiky a vyznačte měřítka na osách. Odhadněte napětí na diodách při proudu 20 mA v propustném směru. Určete Zenerovo napětí.

## 1 Teorie

### 1.1 Napětí

Označme na množině  $P$  periodických funkcí  $f$ , pro něž existuje střední hodnota  $|f|$ , operátor střední hodnoty  $\langle \cdot \rangle : P \rightarrow \mathbb{R}$ , který definujeme

$$\langle f \rangle = (L) \int_0^T f(t) dt,$$

kde  $T$  značí periodu funkce  $f$ . Pak pro periodické napětí  $u(t)$  podle [1, s. 31] definujeme následující významné hodnoty:

- střední hodnota  $U_e = \langle u \rangle$ ,

- efektivní hodnota  $U = \langle u^2 \rangle$ .

Efektivní hodnotu udávají na stejnosměrných rozsazích analogové a digitální přístroje, pokud je perioda  $T$  velmi malá. Pro harmonické napětí  $u(t) = \Re [U_0 e^{i\omega t}]$  platí

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

## 1.2 Usměrňovač

Usměrňovač funguje díky vhodně zapojeným diodám. Přímo z definice bychom rovněž dokázali, že funkce  $u^+(t) := \max\{u(t), 0\}$ , která představuje výstupní napětí z jednocestného usměrňovače, splňuje

$$U_e = \frac{U_0}{\pi}. \quad (2)$$

Aby se průběh napětí vyhladil, používá se kondenzátor paralelně připojený do obvodu. Kondenzátor se vybíjí přes obvod podle vztahu

$$u = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \approx U_0 \left(1 - \frac{t}{RC}\right), \quad (3)$$

kde  $R$  značí odpor obvodu a  $C$  kapacitu. Pro přehlednost zavádíme časovou konstantu  $\tau = RC$ .

Činitel filtrace definujeme

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} = \frac{RC}{T}, \quad (4)$$

který přibližně platí pro jednocestné usměrnění. Nakonec [1] uvádí vztah pro jeho odhad v jednocestně usměrněném obvodu

$$C = \frac{T k_f}{U_0} I, \quad (5)$$

kde  $I$  značí proud zátěží.

### 1.3 Zpracování

Při výpočtu chyb odvozených veličin užívám Gaussův vzorec,

$$\Delta f(x_i) = \sqrt{\left(\sum_i \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}, \quad (6)$$

v němž značím  $\Delta$  absolutní chyby (kvadratický součet statistické chyby a chyby měřidla); dále značím  $\delta$  relativní chyby. Gaussův vztah platí pro nekorelované veličiny.

U digitálních přístrojů počítám chybu způsobem uvedeným v návodu, u ručkových přístrojů předpokládám rovnoměrné rozdělení, a přístroji s třídou přesnosti  $p$  připisuji směrodatnou chybu  $\sigma$ . Třída přesnosti udává maximální chybu  $u$  z rozsahu v procentech; za předpokladu rovnoměrného rozdělení uvádí [2] směrodatnou chybu  $\sigma = \frac{u}{\sqrt{3}}$ . Za nepřesnost odečítání z ručkových přístrojů navíc kvadraticky přičítám polovinu nejmenšího dílku.

## 2 Výsledky měření

### Přístroje

Používal jsem osciloskop 60S-620 a digitální voltmetr a ampérmetr značky Mastech MY-65. Na rozsahu 0–20 V má tento přístroj odhadnutou chybu přístroje na 0,6 % z hodnoty. Mnohem větší chybu však představuje nestálost cifer, takže ji považuji za dominantní a za platné považuji ty cifry, které se neměnily. Velmi přesná je odporová dekáda s přesností 0,1 % a kondenzátorová dekáda má přesnost 1 %.

### 2.1 Špičková hodnota napětí

Jak vyplývá z příloženého protokolu, pro špičkovou hodnotu napětí vychází

$$U_0 = (10,5 \pm 0,5) \text{ V}.$$

Volmetrem jsem změřil efektivní hodnotu napětí

$$U = (7,57 \pm 0,02) \text{ V},$$

takže jejich podíl vychází

$$\frac{U_0}{U} = 1,39 \pm 0,07. \quad (7)$$

$R$ [k $\Omega$ ]	$U$ [V]
0	3,14
1	5,91
2	7,21
3	7,87
4	8,27
5	8,55
6	8,73
7	8,85
8	8,95
9	9,04
10	9,12

Tabulka 1: Závislost stejnosměrného napětí  $U$  na zátěžovém odporu  $R$ . Absolutní chyba výsledků je 0,08 V.

## 2.2 Činnost usměrňovače

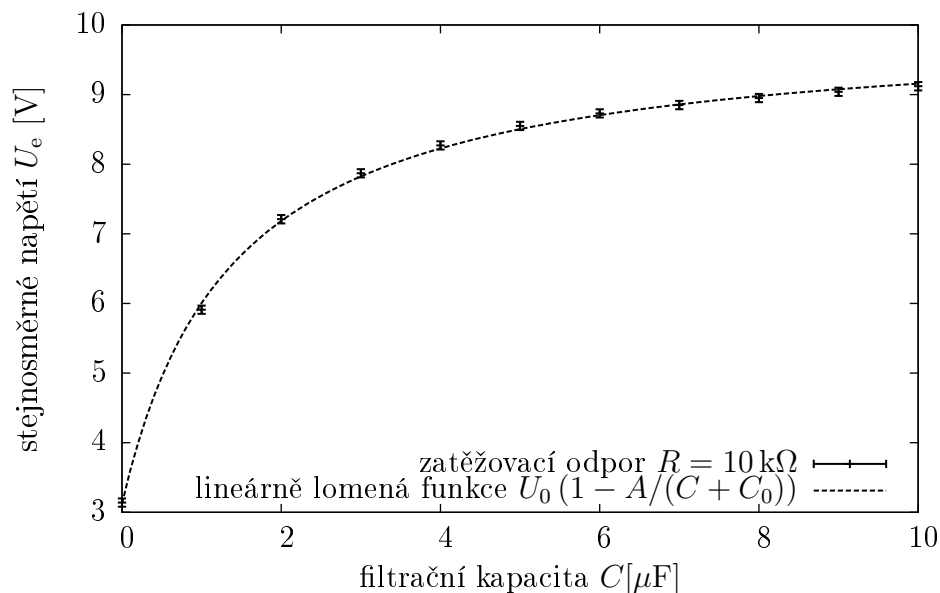
Proměřil jsem jednocestný usměrňovač. Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě při hodnotě zatěžovacího odporu  $R = 10 \text{ k}\Omega$  shrnuje tab. 1. Rovněž jsem ji vynesl do grafu na obr. 1.

Změřil jsem závislost filtrační kapacity  $C$  potřebné k tomu, aby střídavá složka usměrněného napětí tvořila 10 % špičkové hodnoty. V tomto případě se nejedná o amplitudu střídavé složky, ale o její dvojnásobek. Měřené hodnoty shrnuje tab. 2. Výsledný fit přímé úměrnosti mezi kapacitou a proudem můžeme porovnat se vztahem 5, do něhož dosadíme  $U_0 = 10,5 \text{ V}$  a  $T = \frac{1}{50} \text{ s}$ . Pro naměřenou směrnicí  $Z = (1,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{ F A}^{-1}$  pak dostaneme

$$k_f = \frac{U_0 Z}{T} = 9,5 \pm 0,6. \quad (8)$$

## 2.3 Charakteristiky diod

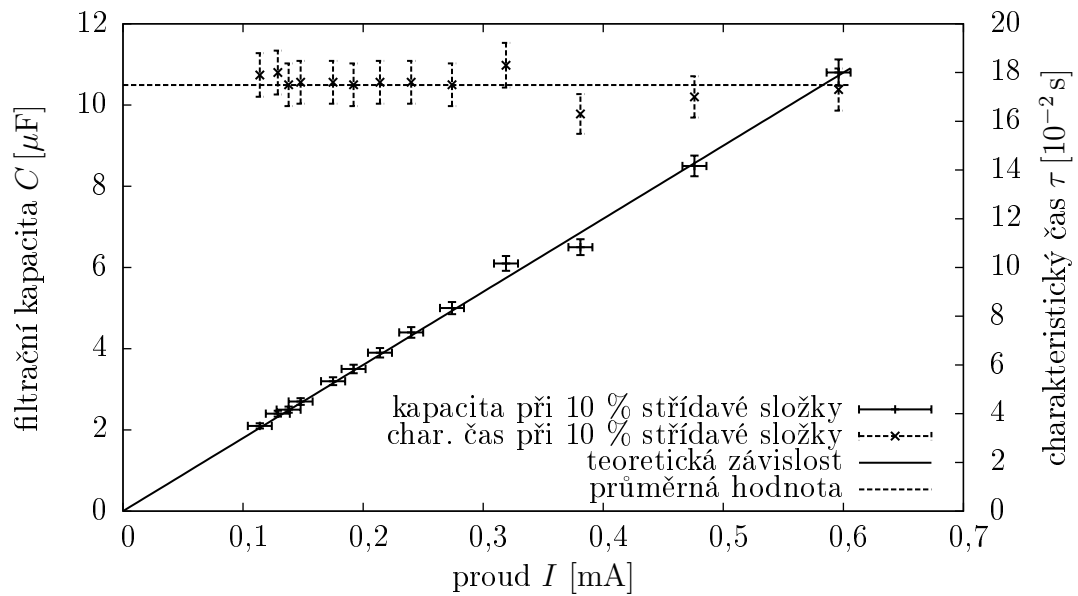
Napětí při proudu v propustném směru 0,2 mA jsem odhadl u vakuové diody  $(4,3 \pm 0,4) \text{ V}$  a u Zenerovy diody  $(0,68 \pm 0,03) \text{ V}$ . U vakuové diody jsem navíc změřil nenulový proud při nulovém napětí, které činilo  $(0,3 \pm 0,1) \text{ V}$ . Naměřil jsem Zenerovo napětí  $U_Z = (7,0 \pm 0,2) \text{ V}$ . Charakteristiky jsem pro přehlednost načrtl na obr. 3 a 4.



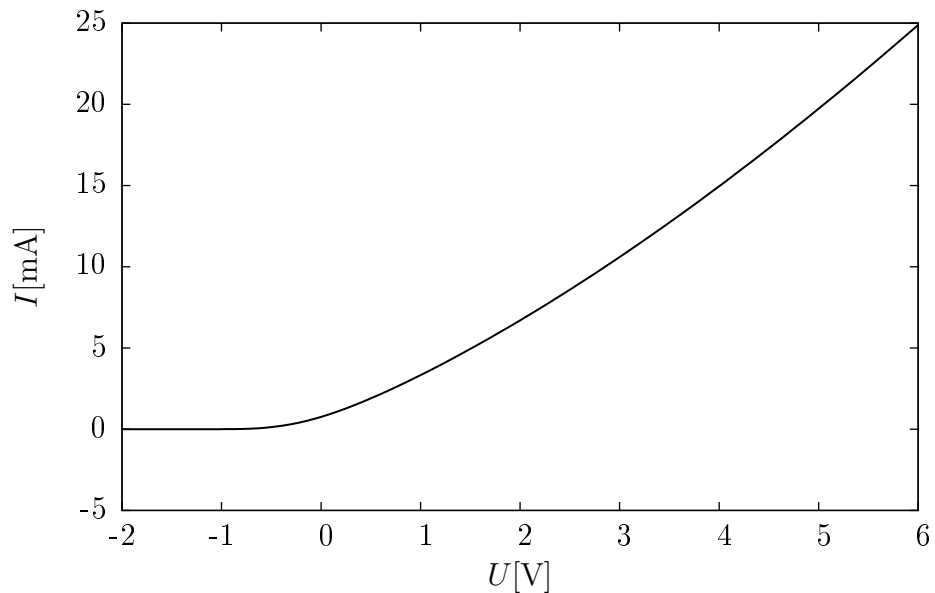
Obrázek 1: Závislost stejnosměrného napětí na kapacitě proložená lineárně lomenou funkcí, která má parametry  $U_0 = (9,99 \pm 0,05) \text{ V}$ ,  $A = (0,95 \pm 0,03) \mu\text{F}$ ,  $C_0 = (1,38 \pm 0,04) \mu\text{F}$ .

$C$ [ $\mu\text{F}$ ]	$I$ [mA]	$R$ [ $10^4 \Omega$ ]	$CR$ [ $10^{-2} \text{ s}$ ]
2,1	0,114	8,5	17,9
2,4	0,129	7,5	18,0
2,5	0,138	7,0	17,5
2,7	0,148	6,5	17,6
3,2	0,175	5,5	17,6
3,5	0,192	5,0	17,5
3,9	0,214	4,5	17,6
4,4	0,240	4,0	17,6
5,0	0,274	3,5	17,5
6,1	0,319	3,0	18,3
6,5	0,381	2,5	16,3
8,5	0,476	2,0	17,0
10,8	0,596	1,6	17,3

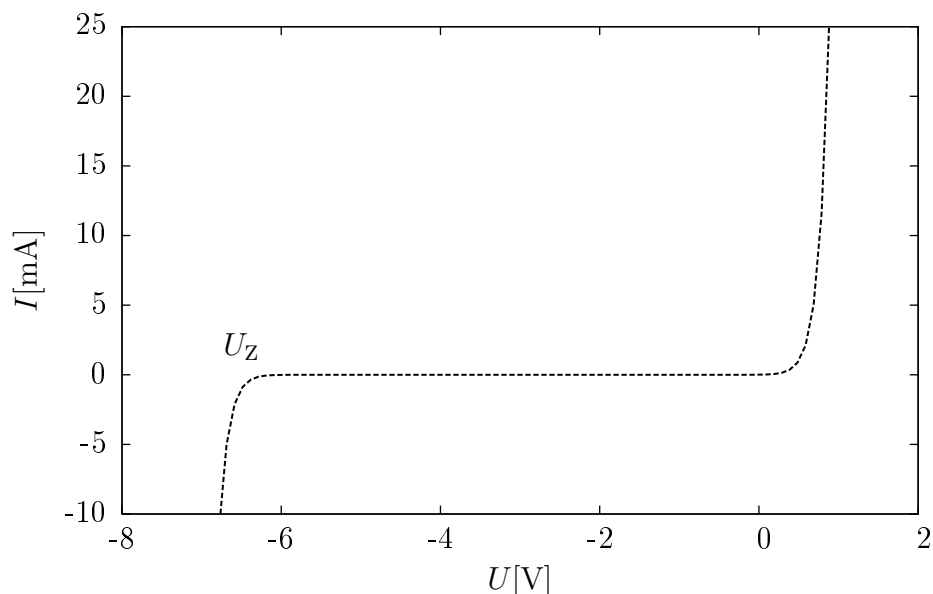
Tabulka 2: Závislost kapacity  $C$  na proudu, aby střídavá složka tvořila 10 % napětí.



Obrázek 2: Závislost kapacity a charakteristického času  $\tau$  na proudu (graf má dvojici svislých os). Závislost jsem proložil přímkou se směrnici  $C = ZI$ , kde  $Z = (1,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{ F A}^{-1}$ .



Obrázek 3: Charakteristika vakuové diody



Obrázek 4: Charakteristika vakuové diody

### 3 Diskuse

Pokud by byl signál harmonický, měl by poměr (7) vycházet  $\sqrt{2} \approx 1,41$ . Vidíme, že změřený výsledek leží blízko očekávané hodnoty (v rámci chyby), a signál lze proto považovat za harmonický.

Jak vyplývá z proložení na obr. 1, závislost stejnoměrného napětí na kapacitě lze proložit přímkou úměrou. Závislost je rostoucí a všechny body leží v rámci chyby na křivce. Z uvedeného modelu nepřímé úměry vyplývá, že pokud bychom nasadili dostatečně velkou kapacitu, přiblížili bychom se napětí 10 V, což potvrzuje fit, který dává  $U_0 = (9,99 \pm 0,05)$  V (viz popisek).

Činitel filtrace (8) se v rámci chyby shoduje s očekávanou hodnotou 10. Musím zde poznamenat, že největší chyba jde na vrub malému rozlišení osciloskopu, chyby voltmetru i obou dekád jsou v porovnání s touto chybou malé. Částečně se mohly projevit i nepříznivé jevy způsobené transformací napětí. Závislost kapacity na proudu pro udržení konstantního činitele vypadá podle obr. 2 jako přímá úměra a hodnoty  $\tau$  na témže obrázku jsou rozloženy přibližně normálně se středem  $\tau = (17,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$  s. Potvrdil se tak předpoklad, že se tato veličina nebude měnit, který je nutnou podmínkou rozumného určení činitele filtrace.

Charakteristika vakuové diody odpovídá teorii, zejména jsem ověřil, že i při nulovém napětí protéká diodou proud, který je způsoben tepelným pohybem částic. Určené Zenerovo napětí se shoduje s údajem na diodě, který



hovoří o 6 – 7,8 V. Průběh charakteristik odpovídá způsobu použití prvků.

## 4 Závěr

Ověřil jsem v rámci chyby vztah mezi špičkovou a střední hodnotou napětí. Naměřil jsem závislost stejnosměrného napětí na kapacitě, kterou jsem vynesl na obr. 1. Dále jsem udržoval konstantní činitel filtrace  $k_f = 10$ , při kterém jsem měřil závislost kapacity na proudu (viz obr. 2). Uvedené závislosti se shodují s teoretickými předpověďmi. Určil jsem charakteristický čas  $\tau = (17,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$  s. Z grafu jsem odvodil činitel filtrace  $k_f = 9,5 \pm 0,6$ , který se rovněž v rámci chyby shoduje s teoretickou předpovědí. Nakonec jsem zakreslil charakteristiky diod (obr. 3 a 4) a při proudu 0,2 mA jsem odhadl napětí u vakuové diody  $(4,3 \pm 0,4)$  V a u Zenerovy diody  $(0,68 \pm 0,03)$  V. Naměřil jsem Zenerovo napětí  $U_Z = (7,0 \pm 0,2)$  V.

## Reference

- [1] Bakule, R.; Šternberk, J.: *Fyzikální praktikum II. Elektřina a magnetismus*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989.
- [2] English, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. 1999. Dostupný na <http://physics.mff.cuni.cz/to.en/vyuka/zfp/mereni.pdf> (přístup 16. října 2009).