

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum II

Úloha č. 5

Název: Měření osciloskopem

Pracoval: Jiří Kozlík

dne: 17.10.2013

Odevzdal dne: 24.10.2013

Pracovní úkol

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na svorkách sekundárního vinutí transformátoru a porovnejte ji s hodnotou naměřenou na střídavém rozsahu digitálního voltmetru.
2. Podle vlastní volby sledujte činnost jednocestného nebo dvoucestného 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, u dvoucestného do proudu 1 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. Zobrazte na osciloskopu $V-A$ charakteristiku vakuové diody EZ81 a Zenerovy diody KZ703 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.

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuze výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:

dne:

1 Teorie

Při měření nestejnosměrného napětí se podle použitého přístroje lze dopracovat k různým hodnotám. Jsou to dle [1]: *špičkové napětí* U_0 - amplituda napětí, *střední hodnota napětí* definovaná jako

$$U_s = \int_0^T u(t) dt \quad (1)$$

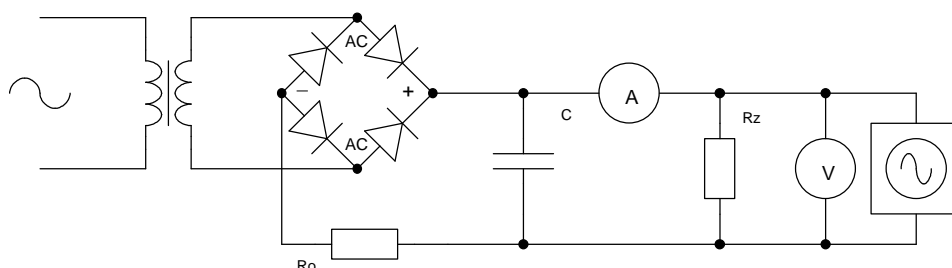
a *efektivní hodnota napětí*

$$U_{ef}^2 = \int_0^T u^2(t) dt \quad (2)$$

$T = \frac{1}{f}$ je perioda napětí. Efektivní a špičková hodnota spolu dále dle [1] souvisí vztahem

$$U_0 = \sqrt{2}U_{ef} \quad (3)$$

Pro praxi je často třeba transformované napětí usměrnit - k tomu slouží například Graetzův čtyřdiodový můstek (viz obr. 1) Při zapojení bez kondenzátoru je napětí sice usměrněné, ale



Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření s usměrňovačem

stále pulzní (s průběhem $|\sin \omega t|$), je tedy třeba jej stabilizovat (filtrovat). Děje se tak například kondenzátorem paralelně připojeným ke spotřebiči, který se pulzem nabije a pak se pomalu vybíjí přes zatěžovací odpor. Závislost napětí na kondenzátoru je obecně exponenciální, po linearizaci a uvažování nekonečně rychlého nabíjení kondenzátoru se dle [1] zjednoduší na tvar

$$u = U_0 \left(1 - \frac{t}{R_z C}\right) \quad (4)$$

který popisuje průběh napětí mezi dvěma pulzy. R_z je zatěžovací odpor, C kapacita kondenzátoru, u okamžité napětí a U_0 jeho amplituda na kondenzátoru.

Pro posouzení míry vyhlazení zavádíme tzv. *koeficient filtrace* [1]:

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} = \frac{U_0}{U_0 - u(t_0)} \quad (5)$$

kde $u(t_0)$ je napětí na kondenzátoru v čase příchodu dalšího pulzu. Po dosazení (4) do (5) a uvažování $t_0 = \frac{T}{2}$ pro dvoucestné usměrnění dostáváme vztah pro koeficient filtrace:

$$k_f = 2 \frac{R_z C}{T} \quad (6)$$

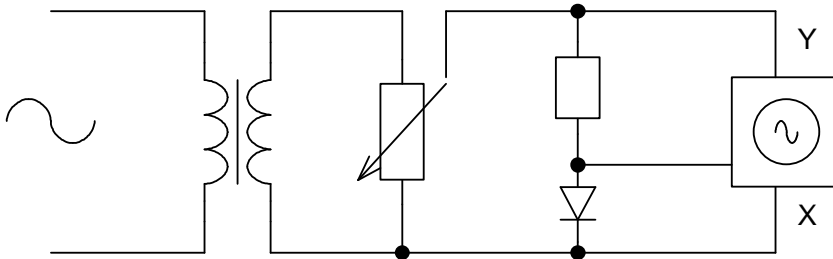
Uvažujeme-li $k_f \gg 1$, pak lze položit U_{ss} na zátěži přibližně rovno U_0 . Pak dle [1] dosazením do (6) s využitím Ohmova zákona [2]

$$U = RI \quad (7)$$

platí

$$C = \frac{Tk_f I_{ss}}{2U_0} \quad (8)$$

Pomocí osciloskopu je také možno přímo zobrazit VA charakteristiku diody - na osu x promítáme přímo napětí na diodě a na osu y napětí na rezistoru o známém odporu sériově zapojeném s diodou.



Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření VA charakteristiky diod

2 Pomůcky

transformátor, Graetzův můstek, odporová dekáda, kapacitní dekáda, digitální multimetr, osciloskop, reostat, přívodní vodiče, vakuová dioda EZ81, Zenerova dioda KZ703

3 Výsledky měření

Podmínky měření

$T = \frac{1}{f} = 0,02\text{ s}$ frekvence sítě je 50 Hz, uvažujeme ji přesnou.

Odporovou a kapacitní dekádu uvažujeme přesnou vzhledem k chybám měření multimetrem a zejména osciloskopem. Přesnost osciloskopu odhadnuta vzhledem k tloušťce čáry a chybě

Tabulka 1: Přesnost přístrojů

Voltmetr	
DC 20 V	$\pm(0,1\% + 3 \text{ digits})$
AC 20 V	$\pm(0,6\% + 10 \text{ digits})$
Ampérmetr	
20 mA	$\pm(0,5\% + 5 \text{ digits})$
Osciloskop	
všechny rozsahy	$\pm 1 \text{ dílek}$

způsobené vibracemi stolu a podlahy (přeneseným na osciloskop).

3.1 Charakteristika dvoucestného usměrňovače

Nejprve byly změřeny hodnoty napětí na sekundárním vinutí naprázdno. U_0 na osciloskopu (1 díl. . . 5 V), U_{ef} na multimetru s rozsahem AC 20 V. Vzhledem ke značně proměnlivým hodnotám na jeho displeji však byla chyba odhadnuta na 0,1 V.

$$U_0 = (9,5 \pm 1) \text{ V}$$

$$U_{ef} = (6,5 \pm 0,1) \text{ V}$$

Závislost střední hodnoty napětí na kapacitě kondenzátoru je popsána v tab. 2 a obr. 3.¹ Chyba měření napětí (rozsah DC 20 V) byla odhadnuta kvůli měnícím se hodnotám na 0,02 V.

Tabulka 2: Měření závislosti $U(C)$

	C [10^{-6} F]	U [V]		C [10^{-6} F]	U [V]
1	0,03	4,95	13	0,57	6,04
2	0,06	4,99	14	0,73	6,31
3	0,08	5,02	15	0,89	6,49
4	0,1	5,08	16	1,3	6,74
5	0,12	5,11	17	2	7,04
6	0,15	5,17	18	3	7,27
7	0,17	5,22	19	4	7,41
8	0,2	5,32	20	5	7,54
9	0,25	5,43	21	6	7,58
10	0,29	5,51	22	7	7,60
11	0,36	5,69	23	1	7,69
12	0,42	5,84			

Špičkové napětí pro kondenzátor o kapacitě 10 μF bylo odečteno z osciloskopu:

$$U_0(10 \mu\text{F}) = (8 \pm 1) \text{ V}$$

Naměřené hodnoty závislosti $C(I)$ za podmínky konstantního koeficientu filtrace $k_f = 10$ je v tab. 3 a obr. 4. Do grafu byly pro porovnání vyneseny i teoretické závislosti s dosazenými hodnotami T , k_f do (6) a navíc s $U_0 = U_0(10 \mu\text{F})$ do (8). Chyba měření proudu je zanedbatelná vzhledem k přesnosti odečítání z osciloskopu.

3.2 VA charakteristiky diod

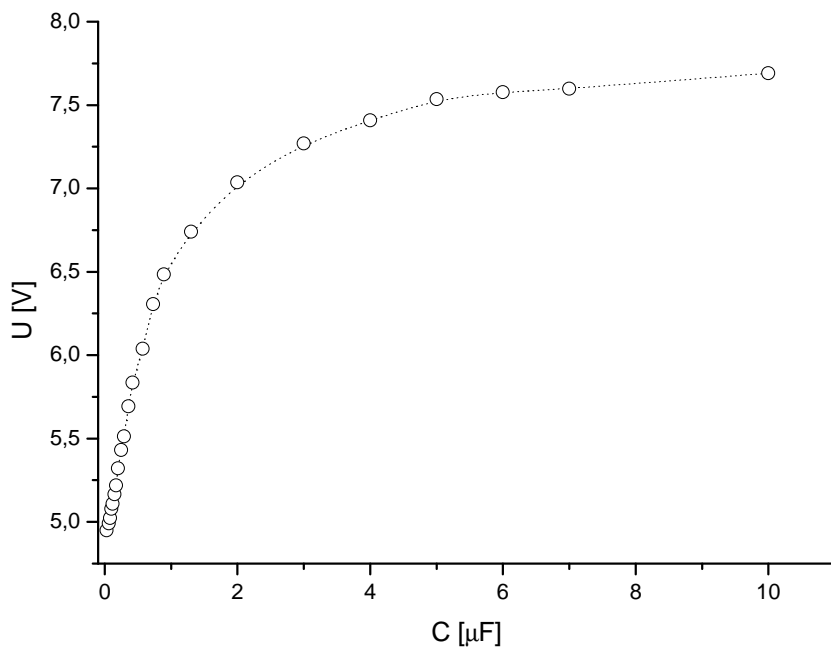
V zapojení podle schématu (obr. 2) je osciloskop zapojen dvakrát jako voltmetr. Pro převod osy y na I využijeme Ohmův zákon (7), $R = 100 \Omega$. Výsledky jsou na obr. 5 a 6. Byly odečteny následující hodnoty napětí:

vakuová: $U_{20 \text{ mA}} = (3,2 \pm 0,4) \text{ V}$

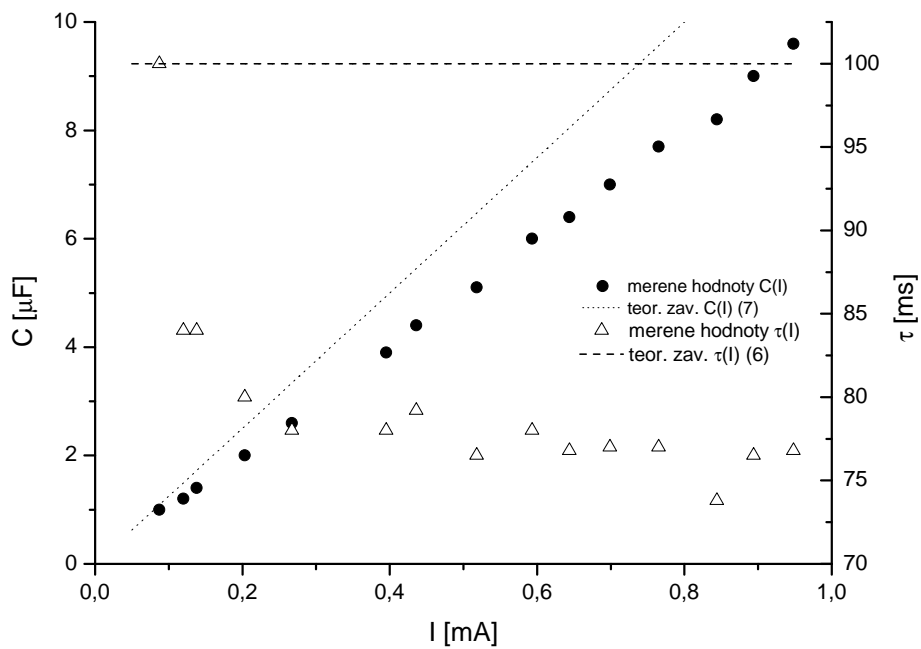
Zenerova: $U_{20 \text{ mA}} = (0,6 \pm 0,2) \text{ V}$

Zenerova: $U_Z = (-6,8 \pm 0,4) \text{ V}$

¹křivka je pouze vodítkem pro oko



Obrázek 3: Závislost $U(C)$



Obrázek 4: Závislost $C(I)$ při konstantním k_f

Obrázek 5: VA charakteristika Zenerovy diody

Obrázek 6: VA charakteristika vakuové diody

Tabulka 3: Měření závislosti $C(I)$ při konstantním k_f

	R_z [$10^3 \Omega$]	I [10^{-3} A]	C [10^{-6} F]	τ [s]
1	100	0,087	1	0,1
2	70	0,120	1,2	0,084
3	60	0,138	1,4	0,084
4	40	0,203	2	0,08
5	30	0,267	2,6	0,078
6	20	0,395	3,9	0,078
7	18	0,436	4,4	0,0792
8	15	0,518	5,1	0,0765
9	13	0,593	6	0,078
10	12	0,644	6,4	0,0768
11	11	0,699	7	0,077
12	10	0,765	7,7	0,077
13	9	0,844	8,2	0,0738
14	8,5	0,894	9	0,0765
15	8	0,948	9,6	0,0768

4 Diskuze výsledků

Efektivní a špičková hodnota napětí na sekundáru transformátoru splňují vztah (3) v rámci chyb měření. Napětí však nemá přesně harmonický průběh, což je způsobeno hysterezí jádra transformátoru.

Závislost $U(C)$ odpovídá předpokládanému průběhu, v důsledku (5) a (6) se $u(t_0)$ a tedy i naměřená střední hodnota U asymptoticky přibližují ke špičkové hodnotě U_0 , což bylo pozorováno (viz obr. 3).

Závislost $C(I)$ má předpokládaný lineární průběh (obr. 4), směrnice se ovšem neshoduje s teoretickou závislostí (8). Je to způsobeno zejména nepřesným odečítáním ΔU resp. k_f z osciloskopu a tedy nastavením špatných hodnot kapacity. Ten samý problém nastává i pro závislost $\tau(I)$, která má být dle (6) konstantní. Naměřená závislost zachovává pouze tento charakter, nikoli hodnotu. To ukazuje pravděpodobně na systematickou chybu při odečítání z osciloskopu.

Tvar voltampérových charakteristik diod odpovídá teoretickým předpokladům (např. [3]).

5 Závěr

Byl ověřen vztah mezi efektivní a špičkovou hodnotou střídavého napětí. Charaktery závislostí $U(C)$ a $C(I)$ odpovídají předpokladům, odchylky byly způsobeny nepřesným odečítáním z osciloskopu.

Voltampérové charakteristiky diod odpovídají teorii, byly zjištěny následující hodnoty napětí:

$$\text{vakuová: } U_{20 \text{ mA}} = (3,2 \pm 0,4) \text{ V}$$

$$\text{Zenerova: } U_{20 \text{ mA}} = (0,6 \pm 0,2) \text{ V}$$

$$\text{Zenerova: } U_Z = (-6,8 \pm 0,4) \text{ V}$$

Reference

[1] Studijní text k Praktiku II. [online], [cit. 2013-10-18].

URL <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_209.pdf>

- [2] Mikulčák, J.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Praha: Prometheus, první vydání, c2003, ISBN 80-719-6264-3, 276 s.
- [3] Sedlák, B.; Štoll, I.: *Elektrina a magnetismus*. Praha: Karolinum, vyd. 3., v nakl. karolinum 2. vydání, 2012, ISBN 80-246-2198-2, 595 s.