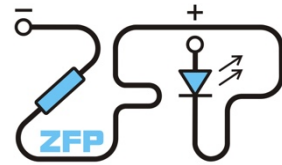


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum II.



Úloha č. 5.

Název úlohy: Měření osciloskopem

Jméno: Jan Hrabovský

Obor: FOF

Datum měření: 10.10.2018

Datum odevzdání:

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:

10 – Měření osciloskopem

Základní fyzikální praktikum (Fyzikální praktikum II. OF)

Vypracoval: Jan Hrabovský

UKČO: 61088176

Datum měření: 10.10.2018

Pracovní úkoly:

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na svorkách sekundárního vinutí transformátoru a porovnejte ji s hodnotou naměřenou na střídaném 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 $0\text{--}10\text{ }\mu\text{F}$. Hodnotu usměrněného napětí při $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ 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. Proud upravujte nastavením odporu R_z a jeho hodnotu zapisujte společně s hodnotami proudu a kapacity C . U jednocestného usměrňovače měřte do proudu $0,6\text{ mA}$, 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.

Teoretická část:

V případě měření nestejnosměrného napětí se dle typu a přístroje a metody měření můžeme dopracovat k různým naměřeným hodnotám zjištěného napětí. Nejvyšší hodnotu, kterou jsme schopni naměřit označujeme jako napětí špičkové U_0 . Střední hodnota napětí je definována vztahem (1) a dále je definována hodnota efektivního napětí (2), kde u je okamžitá hodnota napětí a T je jeho perioda.

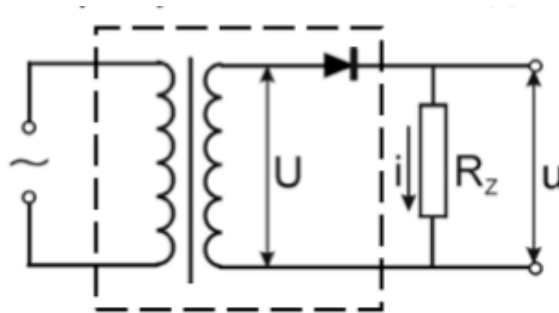
$$U_s = \int_0^T u(t) dt \tag{1}$$

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

V případě, kdy je průběh napětí harmonický, můžeme dále definovat vztah mezi efektivním a špičkovým napětím jako (3)

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

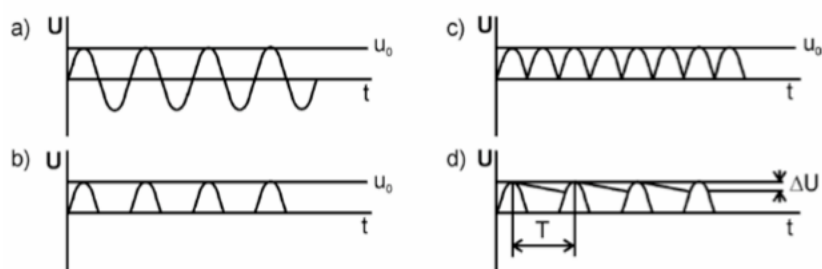
Při měření střídavých rozsahů je nejprve důležité signál usměrnit a výsledná výchylka je následně úměrná střední hodnotě usměrněného proudu. V případě, kdy však signál není harmonický, neodpovídá signál měřicího přístroje efektivním hodnotám, jelikož napětí odečtené na přístroji není v tomto případě efektivní hodnotou.



Obr.1. Jednocestný usměřňovač

K usměrnění proudu se využívají usměřňovače. Jednocestný usměřňovač je znázorněn na Obr.1., kdy je na primární vinutí transformátoru přivedeno střídavé napětí a v sekundárním vinutí se indukuje střídavé napětí U , jehož průběh je zobrazen na Obr.2. (vlevo nahoře). Usměřňovač dále propustí pouze kladnou půlvlnu střídavého proudu, který pouze po dobu svého působení dá původ vzniku napětí na zatěžovacím odporu. Průběh je zakreslen na Obr.2 (vlevo dole). Střední hodnota jednocestně usměrněného U_e harmonického napětí tak souvisí se špičkovou hodnotou dle vztahu (4)

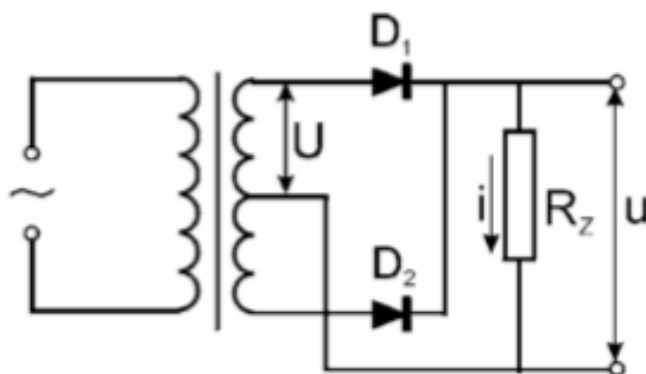
$$U_e = \frac{U_0}{\pi} \quad (4)$$



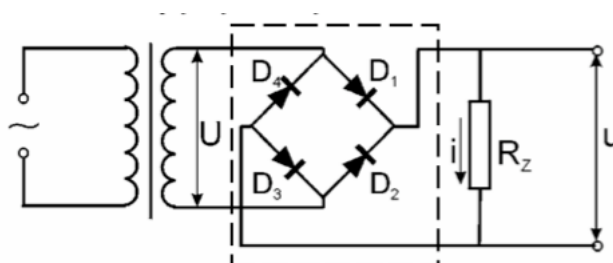
Obr.2. Průběhy napětí na primárním a sekundárním obvodu transformátoru

V případě dvojcestného usměřňovače je zapojení zobrazeno na Obr.3. Zapojení tak umožňuje, aby v každém případě jedna z diod propouštěla příslušnou půlvlnu napětí (Obr.2. vpravo nahoře). V případě zapojení můstkového (Grentzův můstek) jsme schopni dosáhnout stejného průběhu napětí na zátěži jako s dvojcestným usměřňovačem, avšak i za podmínky, kdy není střed sekundárního vinutí transformátoru vyveden (Obr.4). Dále je zapotřebí napětí stabilizovat (filtrovat), což se v praxi realizuje kondenzátorem o kapacitě C paralelně připojeným ke spotřebiči, který se pulzem nabije a následně pomalu vybíjí přes zatěžovací odpor (R_z), čímž kompenzuje pokles v případě zapojení bez kondenzátoru (Obr.5 a Obr.6). V případě nekonečně velkého odporu R_z by došlo k nabití kondenzátoru na špičkovou hodnotu usměrněného napětí a napětí na kondenzátoru by zůstalo konstantní. V případě reálných odporů dochází k vybíjení kondenzátoru přes odpor

s časovou konstantou $R_Z C$. V čase mezi následujícími dvěma pulzy pak bude časový průběh u na odporu R_Z odpovídat vztahu (6), kde U_0 je špičková hodnota napětí, na které se nabíjí kondenzátor a t čas.



Obr.3. Schéma dvojcestného usměrňovače s odporovou zátěží



Obr. 4

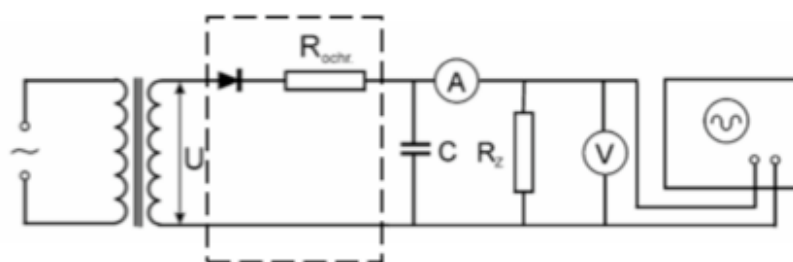
Obr.4. Schéma můstkového zapojení

$$u = U_0 \left(1 - \frac{t}{R_Z C} \right) \quad (6)$$

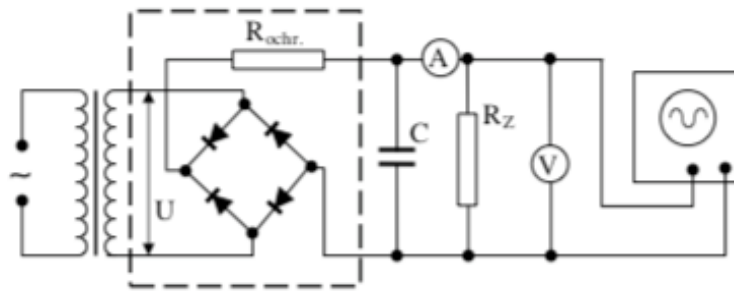
Pro posouzení míry vyhlazování se zavádí koeficient filtrace, který lze vyjádřit jako (7),

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} = \frac{U_0}{U_0 - u(t_0)} \quad (7)$$

Kde $u(t_0)$ je napětí na kondenzátoru v čase příchodu dalšího pulzu.



Obr.5. Jednosměrný usměrňovač se zapojeným kondenzátorem



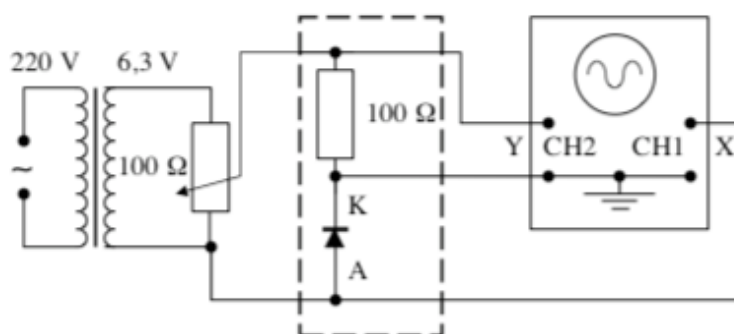
Obr.6. Dvousměrný usměrňovač se zapojeným kondenzátorem

Kombinací dvou předešlých vztahů a předpokladu $t_0 = T/2$ pro dvoucestné usměrnění dostáváme vztah pro koeficient filtrace (8) a uvažujeme-li $k_f \gg 1$, pak lze předpokládat U_{ss} na zátěži přibližně rovno U_0 a kombinací (8) a Ohmova zákona ($U=RI$) (9)

$$k_f = 2 \frac{R_z C}{T} \quad (8)$$

$$C = \frac{T k_f I_{ss}}{2 U_0} \quad (9)$$

Využitím osciloskopu je tak možné zobrazit přímo voltampérovou charakteristiku diody, kdy je na horizontální osu promítáno napětí na diodě a na osu vertikální napětí na rezistoru o známém odporu zapojeném sériově s diodou, jak je zobrazeno na schématu zapojení (Obr.7)



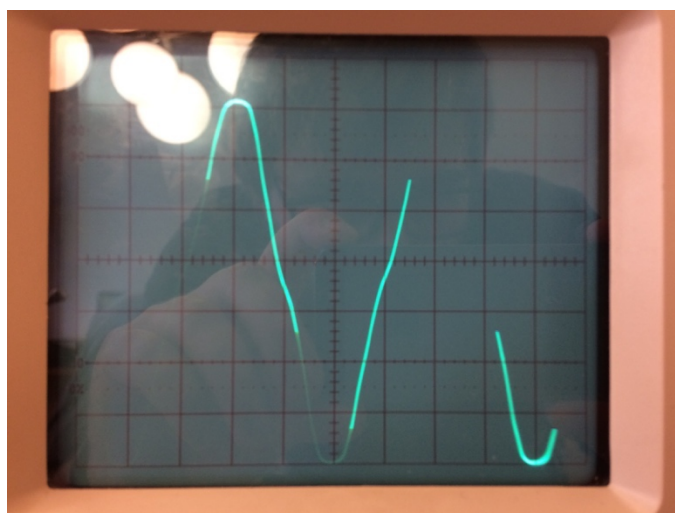
Obr.7. Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky

Experimentální část:

K měření napětí byl použit digitální multimetr MY-65 v nastavení rozsahu AC 20 V (rozlišení $1 \text{ mV} \pm (1\% \pm 10 \text{ dg})$ pro frekvence 40 Hz až 1 kHz a rozlišení $1 \text{ mV} \pm (0,06\% \pm 10 \text{ dg})$ pro frekvence 50 Hz až 60). V nastavení DC 20 V (rozlišení $1 \text{ mV} \pm (0,1\% \pm 3 \text{ dg})$). Jako frekvence externího napětí byla použita hodnota 52 Hz, jež byla získána odečtem na horizontální ose osciloskopu, jak je uvedeno v prvním proměřovaném bodu (tedy hodnota blízká teoretické hodnotě uvnitř sítě 50 Hz). Pro měření průchozího proudu v obvodu se zapojeným polovodičem byl použit digitální multimetr METEX M-3270D,

který při rozsahu DC 400 μ A měří s přesností $\pm (0,8\% \pm 2\text{dg})$ a v rozsahu DC do 4 mA $\pm (1,2\% \pm 2\text{dg})$.^[3] Jako chyba odečtu na osciloskopu byla brána půlka nejmenšího dílku, což odpovídá 1/10 z nataveného rozlišení dílku na obrazovce osciloskopu, což bylo dáno především tloušťkou čáry a pohledovou chybou odečtu. Chyba při přepočtech byla počítána standardní metodou přenosu chyb dle typu použitého vzorce k výpočtu.

V první části měření byly změřeny hodnoty napětí na sekundárním vinutí transformátoru (s označením 8 V, Max. 11,5), který byl zapojen do místní přípojky, při nastavení naprázdno, přičemž na multimetru byl použit rozsah hodnot 20 V a na osciloskopu nastavení, kdy jeden vertikální dílek odpovídal hodnotě 5 V (Obr.8.) Při takovémto nastavení bylo na multimetru odečteno napětí $(11,3 \pm 0,2)$ V a na osciloskopu peaktopeak napětí $(36 \pm 0,5)$ V. Na horizontální ose jeden dílek odpovídal hodnotě 5 ms a odečtená prodleva min-max hodnota činila $(9,5 \pm 0,5)$ ms. Při použití vzorce (3) a dosazení jako hodnoty efektivního napětí U_{ef} hodnotu naměřenou na multimetru získáme údaj pro teoretickou hodnotu špičkového napětí $U_{0,teor} = (16,03 \pm 0,2)$ V.

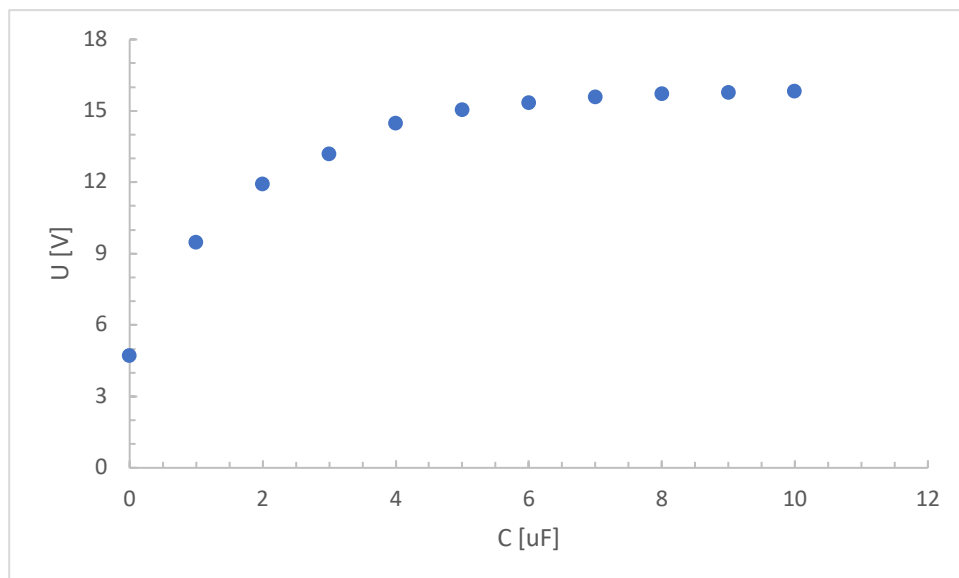


Obr.8. Záznam měření na osciloskopu INSTEK oscilloscope GOS 620 (20 MHz) s nastavením horizontální osy 5 ms/dílek, vertikální osy 5 V/dílek, napětí na sekundárním vinutí transformátoru při nastavení naprázdno

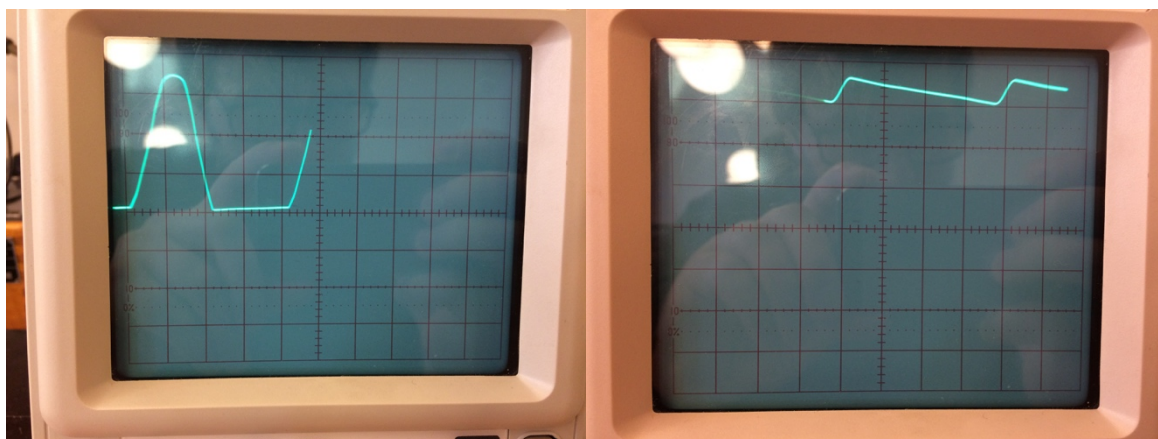
V další části byla pozorována závislost střední hodnoty napětí na kapacitě kondenzátoru u jednocestného usměrňovače, který byl sestaven dle Obr. 1. a za podmínek nastaveného maximálního odporu 10 k Ω . Data z průběhu měření jsou zanesena v tabulce (Tab.1.) a vynesena v příloženém grafu (graf.1.) Srovnání hodnot a průběhů signálů lze sledovat na Obr.9. K nastavení požadované kapacity byla použita laboratorní dekáda. GenRad DC05, u které je udávána přesnost měření 1%^[4] Chyba měření napětí je uvedena na začátku experimentální části.

Tab.1. Data pro pozorování závislosti střední hodnoty napětí na kapacitě kondenzátoru pro jednocestný usměrňovač (10 k Ω)

C[uF]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U [V]	4,73	9,48	11,95	13,21	14,49	15,06	15,36	15,59	15,72	15,78	15,83



Graf.1. Závislost střední hodnoty napětí na kapacitě kondenzátoru pro jednocestný usměrňovač (10 kΩ)

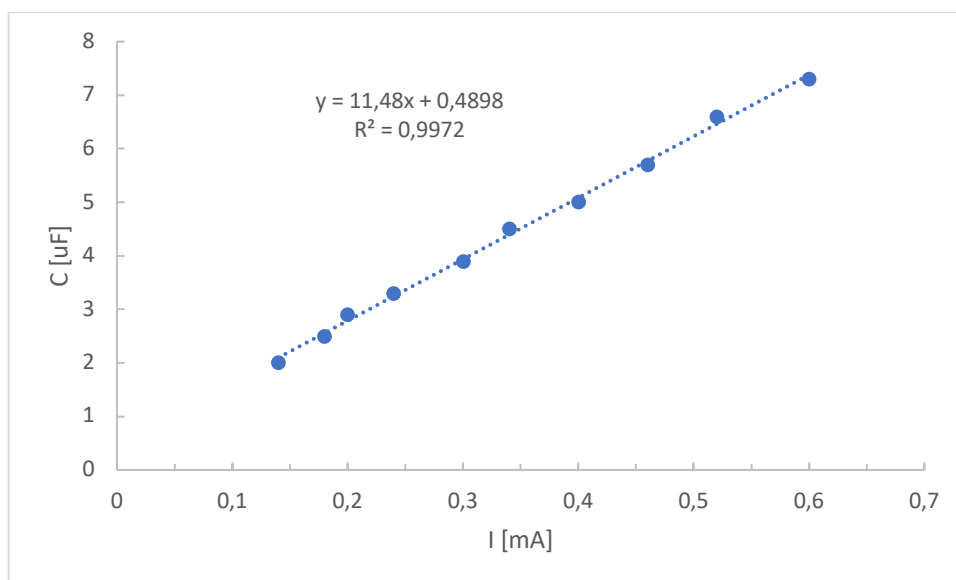


Obr.9. Srovnání průběhu napětí na osciloskopu se zapojeným jednocestným usměrňovačem s připojeným paralelním kondenzátorem o nulové kapacitě (situace vlevo) a kapacitě 10 μF (situace napravo). Hodnota jednoho dílku na vertikální stupnici je 5 V.

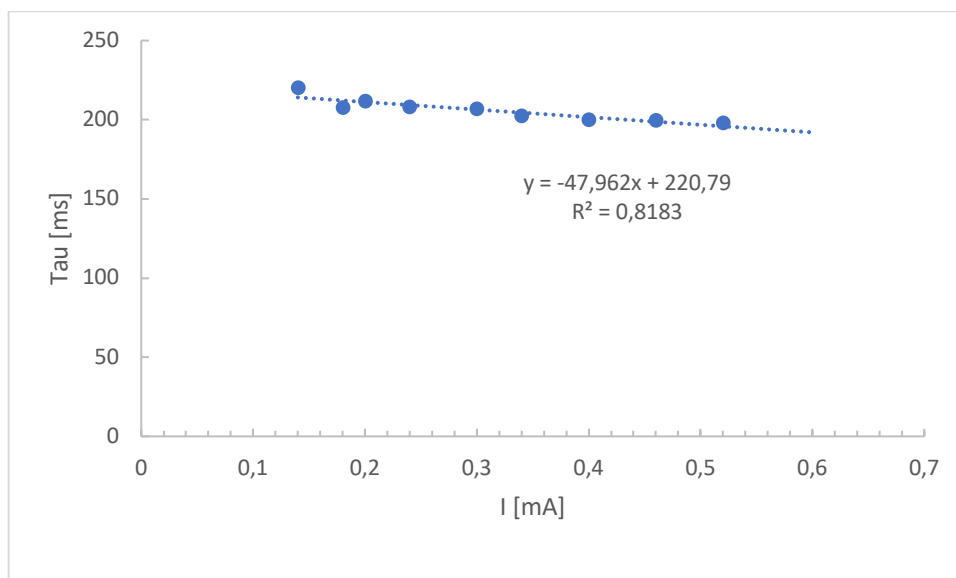
Pro další část měření byla odečtena špičková hodnota napětí ($17 \pm 0,5$) V a následně byla měřena hodnota filtrační kapacity C na odebíraném proudu tak, aby střídavá složka usměrněného napětí tvořila 10 % její špičkové hodnoty. Po konzultaci s dozorem v praxi byla pro lepší možnost odečtu zvolena hodnota 1,5 V (8,8 % špičkové hodnoty napětí) namísto 1,7 V, která odpovídá 10 % špičkové hodnoty odečtené na displeji. Jelikož byl pro měření zvolen jednocestný usměrňovač, byla tato závislost sledována až do hodnoty 0,6 mA. Záznam měření je zanesen v Tabulce (Tab.2.). Z naměřených hodnot byla dále dle vztahu $\tau = RC$ [1] dopočtena hodnota časové konstanty. Následně byla vynesena závislost kapacity C (Graf.2.) a časové konstanty (Graf.3.) na odebíraném proudu. Na použité odporové dekádě byla uvedena hodnota chybovosti 1 % z rozsahu a na použité dekádě kapacit uvedena hodnota spolehlivosti 1 % [4]. Nicméně tyto hodnoty a hodnoty spolehlivosti ostatních měřících přístrojů jsou marginální oproti chybě odečtu na monitoru použitého osciloskopu.

Tab.2. Závislost zjištěné kapacity a nastaveného odporu na odebíraném proudu pro jednocestný usměřovač pro sledování hodnoty napětí střídavé složky 1,5 V (konstantní hodnota koeficientu filtrace).

C [μF]	R [$\text{k}\Omega$]	I [mA]	τ [ms]
7,3	27	0,6	197
6,6	30	0,52	198
5,7	35	0,46	200
5	40	0,4	200
4,5	45	0,34	203
3,9	53	0,3	207
3,3	63	0,24	208
2,9	73	0,2	212
2,5	83	0,18	208
2	110	0,14	220



Graf.2. závislost kapacity zařazeného kondenzátoru na odebíraném proudu pro jednocestný usměřovač při konstantní hodnotě koeficientu filtrace



Graf.3. Závislost časové konstanty na filtrační kapacitě pro jednocestný usměřovač při konstantní hodnotě koeficientu filtrace

V poslední části měření byly sledovány voltampérové charakteristiky vakuové diody (EZ81) a Zenerovy diody (KZ703). Tyto dvě součástky byly zapojeny dle schématu na Obr. 7., což nám umožnilo přímo na osciloskopu měřit voltampérovou charakteristiku obou součástek. Vertikální stupnice byla okalibrována pomocí zařazeného odporu $100\ \Omega$ dle zapojení Obr.7.

Na přiložených obrázcích jsou uvedeny ilustrativní schémata. Pro preciznější odečty jednotlivých hodnot byly v některých případech voleny menší rozsahy obou použitých hodnot a pro proměřované součástky byly zjištěny tyto charakteristické body:

Vakuová dioda:

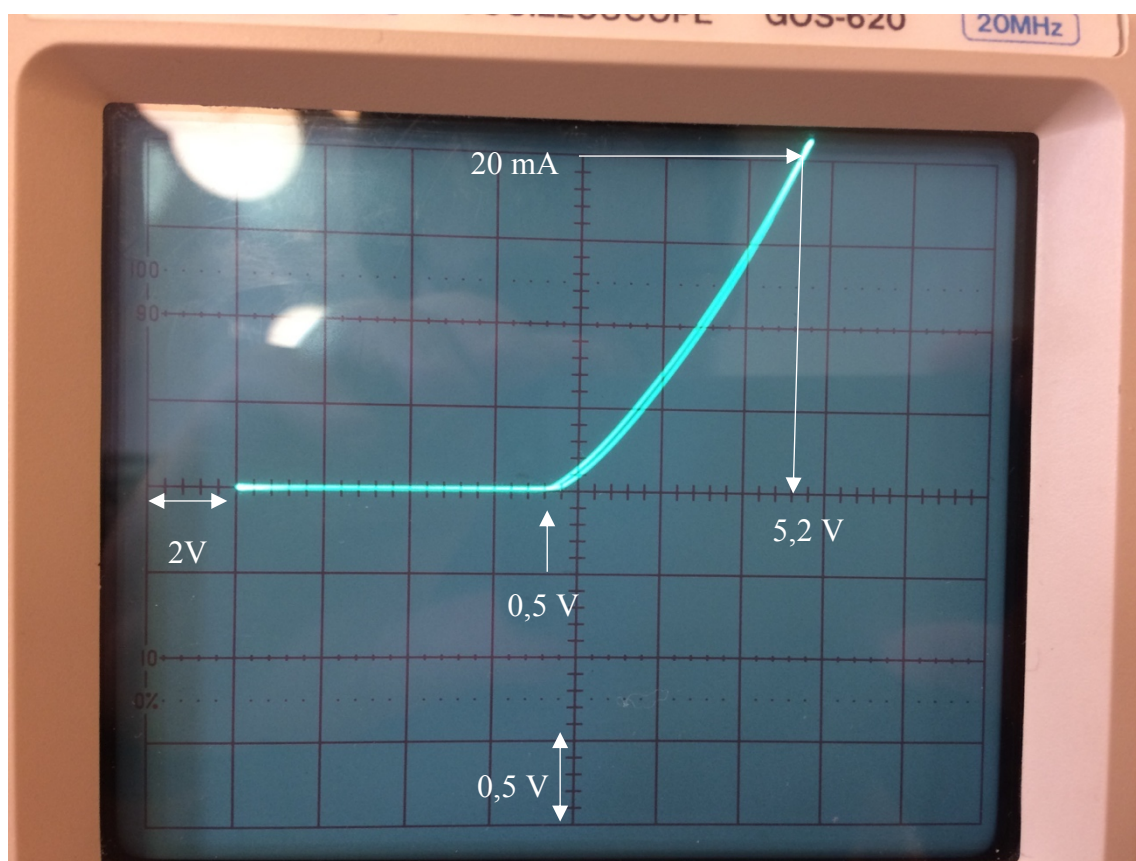
$$U_{20\text{mA}} = (5,2 \pm 0,1)\ \text{V}$$

$$U_0 = (0,56 \pm 0,02)\ \text{V}$$

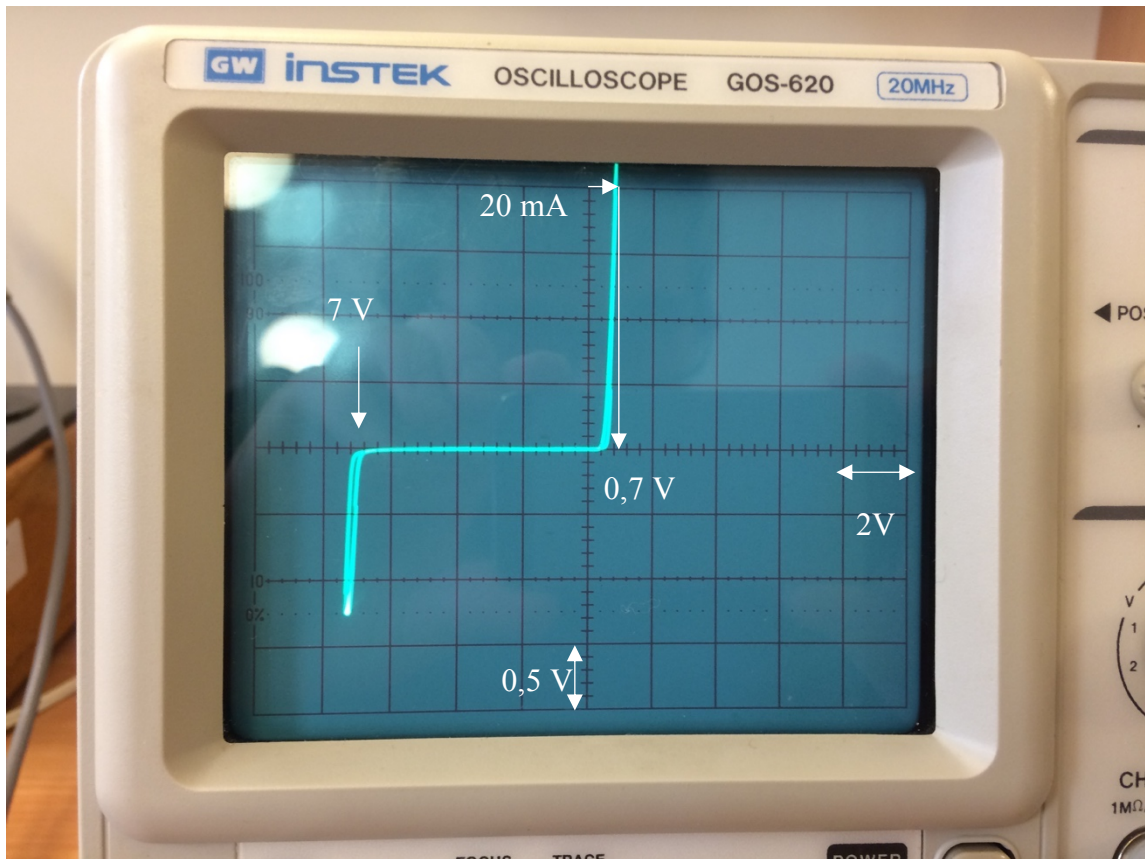
Zenerova Dioda:

$$U_{20\text{mA}} = (0,7 \pm 0,1)\ \text{V}$$

$$U_{\text{Zenerovo}} = (7,0 \pm 0,1)\ \text{V}$$



Obr.10. Voltampérová charakteristika vakuové diody včetně vyznačených charakteristických bodů, které byly dle zadání stanovovány. V reálné situaci byl vertikální stupnice předem okalibrována a zjištěn přepočít mezi napětím a proudem, který odpovídal vztahu, kdy $0,1\ \text{V}$ byl ekvivalentní hodnotě $1\ \text{mA}$.



Obr.11. Voltampérová charakteristika zenerovy diody včetně vyznačených charakteristických bodů, které byly dle zadání stanovovány. V reálné situaci byl vertikální stupnice předem okalibrována a zjištěn přepočít mezi napětím a proudem, který odpovídal vztahu, kdy 0,1 V byl ekvivalentní hodnotě 1 mA.

Diskuse:

V první části praktika byla ověřována platnost vztahu (3), nicméně tento se ani v rámci uvažovaných chyb nepodařilo prokázat, ač si jsou hodnoty blízké. To mohlo být způsobeno značnou proměnlivostí zobrazovaných hodnot na použitém multimetru, jenž se ani s časem neustálily u jedné hodnoty. Jelikož před praktikem bylo od dozoru sděleno, že transformátor byl dodán z předešlé opravy, lze konstatovat, že stále neprodukuje zcela harmonické napětí.

Ve zbylých měřeních je nutné konstatovat, že chyba odečtu na osciloskopu byla shledána jako řádově větší, než chyby ostatních měřidel a použitých aparatur. Chybovost odporové dekády a kapacitové dekády tak nebyla ve výpočtech vůbec uvažována, ač jsou její hodnoty v experimentální části uvedeny. Chyba odečtu hodnot na osciloskopu byla redukována snahou odečítat výsledné hodnoty při co nejvíce zjemněném intervalu.

Pozorovaný trend závislosti napětí na použité kapacitě (Graf.1.) odpovídá teoretické závislosti, kdy se hodnota napětí blíží asymptoticky k hodnotě špičkového napětí.

Pro konstantní hodnotu koeficientu filtrace byly sledovány především dvě závislosti ($C(I)$ a $\tau(I)$) které v rámci trendů odpovídají teoretickým předpokladům. V případě časové konstanty je však patrný mírný pokles s rostoucí hodnotou protékajícího proudu. Jelikož je tato závislost jasně patrná, lze vyloučit, že by byla způsobena chabou odečtu hodnot na stupnici osciloskopu, kterou předpokládám v rámci měření za přibližně obdobnou. Je tak

možné, že se v této části měření projevily i další chyby měření, například chyba stanovení protékajícího proudu, což samozřejmě mělo vliv na nastavení dalších parametrů měření.

U vakuové diody bylo pozorováno, že i při nulové hodnotě urychlujícího napětí byla detekována nenulová hodnota protékajícího proudu, což je způsobeno samovolnými přechody elektronů s dostatečnou rychlostí k anodě. V případě Zenerovy diody byl sledován průraz a odečteno příslušné průrazné napětí, které je charakteristickým bodem této součástky.

Na závěr lze konstatovat, že v rámci kvalitativních pozorování byly naplněny všechny předpoklady pro tvary a průběhy závislostí ^[1,2]

Závěr:

V rámci měření byl ověřován vztah mezi efektivní a špičkovou hodnotou střídavého napětí, který ovšem ani v rámci chyby ověřen nebyl. Dále byly sledovány charaktery závislostí usměrněného napětí na zvolené kapacitě na kondenzátoru zařazeného v jednocestném usměrňovači a závislost kapacity a časové konstanty na odebíraném proudu pro konstantní hodnotu koeficientu filtrace. Tyto závislosti souhlasí s teoretickými předpoklady. Odchyly od ideálních průběhů byly v rámci možností diskutovány.

Měřením voltampérových charakteristik pro předložené vzorky diod byly sledovány jejich charakteristické průběhy, odečteny charakteristické hodnoty a napětí pro průchozí hodnotu proudu 20 mA. Byly odečteny následující hodnoty:

Vakuová dioda:

$$U_{20\text{mA}} = (5,2 \pm 0,1) \text{ V}$$

$$U_0 = (0,56 \pm 0,02) \text{ V}$$

Zenerova Dioda:

$$U_{20\text{mA}} = (0,7 \pm 0,1) \text{ V}$$

$$U_{\text{Zenerovo}} = (7,0 \pm 0,1) \text{ V}$$

Výsledky měření jsou zaneseny v příložených tabulkách (tab.1. a Tab.2.) a požadované závislosti vyneseny v grafech (Graf.1., Graf.2., Graf.3.). Voltampérové charakteristiky jsou graficky znázorněny na příložených obrázcích (Obr.10. a Obr.11.)

Literatura:

[1] Studijní text, Fyzikální praktikum II., úloha 5 – Měření osciloskopem, online zdroj, [cit. 13.10.2018], dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] Sedlák B., Štol I., Elektřina a magnetismus, Praha, Karolinum, vyd. 3., 2012, ISBN 80-246-2198-2

[3] Produktové listy k měřicím přístrojům, Soubor dokumentů z Fyzikálního praktika II, online zdroj, [cit. 9.10.2018], dostupné z: work.jhrabovsky.cz/mff/praktikum2

[4] Conrad, Odporová dakáda Gen Rad ELC DC05, online zdroj, [cit. 13.10.2018], dostupné z: <https://www.conrad.fr/ce/fr/product/090456/Boite-a-decades-de-capacite-ELC-DC05>