Oddělení fyzikálních praktik při kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II

Úloha č. 5

Název: Měření napětí osciloskopem

Vypracoval: Štěpán Roučka stud. skup. F13 dne 3. 11. 2004

Odevzdal dne: .... vráceno: ....

Odevzdal dne: .... vráceno: ....

Odevzdal dne: ....

Posuzoval: .... dne .... výsledek kvalifikace ....

Připomínky:

Úloha 5 Štěpán Roučka

Měření napětí osciloskopem

Pracovní úkol

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na sekundáru převodního transformátoru a srovnejte ji s hodnotou naměřenou voltmetrem.
2. Podle vlastní volby sledujte činnost jednocestného nebo dvoucestného usměrňovače s křemíkovými diodami `KY711`.
   a) při maximální hodnotě zatěžovacího odporu $R_z = 10\,\mathrm{k\Omega}$ sledujte závislost stejnosměrného napětí (měřeného elektronickým voltmetrem) na filtrační kapacitě C v intervalu $0 - 10\ \mu$F. Hodnotu usměrněného napětí při $C = 0\,\mu$F srovnejte se špičkovou hodnotou pulsního průběhu změřenou osciloskopem
   b) změřte závislost filtrační kapacity C, potřebné k tomu, aby střídavá složka usměrněného napětí činila 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 vyneste 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.

Teorie

Pro střední hodnotu napětí $\langle U \rangle$ s periodickým průběhem platí vztah

$$\langle U \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U(t)\mathrm{d}t \tag{1}$$

kde T značí periodu. Při měření střídavého napětí o vysoké frekvenci pomocí voltmetru pro stejnosměrné napětí měříme právě střední hodnotu napětí.

Efektivní hodnota napětí je definována vztahem

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t)\mathrm{d}t} \tag{2}$$

Speciálně pro napětí s harmonickým průběhem platí

$$U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \tag{3}$$

kde U_0 značí amplitudu napětí. Voltmetry pro střídavé napětí ukazují efektivní napětí. Správné výsledky dávají ovšem pouze pro harmonický průběh napětí. Pro usměrnění napětí lze použít jednocestného, nebo dvoucestného usměrňovače, popřípadě můstkového zapojení. Já jsem zvolil můstkové zapojení, které dává stejné výsledky jako dvoucestný usměrňovač a jehož zapojení je na obrázku 1. Průběh výstupního napětí na usměrňovači odpovídá absolutní hodnotě vstupního napětí. Pro jeho střední hodnotu platí

$$\langle U \rangle = \frac{2\,U_0}{\pi} \tag{4}$$

Abychom eliminovali pulsy napětí, zapojujeme paralelně k zátěži kondenzátor. Potom pro napětí U mezi po sobě následujícími pulzy platí

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{R_z C}} \tag{5}$$

Dále definuji činitel filtrace k_f

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} \tag{6}$$

kde U_0 je napětí na sekundáru transformátoru a ΔU je špičková hodnota střídavé složky usměrněného napětí. Pokud je činitel filtrace velký a tedy malá změna napětí na kondenzátoru, lze aproximovat hodnotu napětí mezi pulzy vztahem

$$U = U_0 \left(1 - \frac{t}{R_z C}\right) \tag{7}$$

Užitím vztahu (1) jsem vypočetl střední hodnotu napětí.

$$\langle U \rangle = U_0 \left(1 - \frac{T}{4\,R_z C}\right) \tag{8}$$

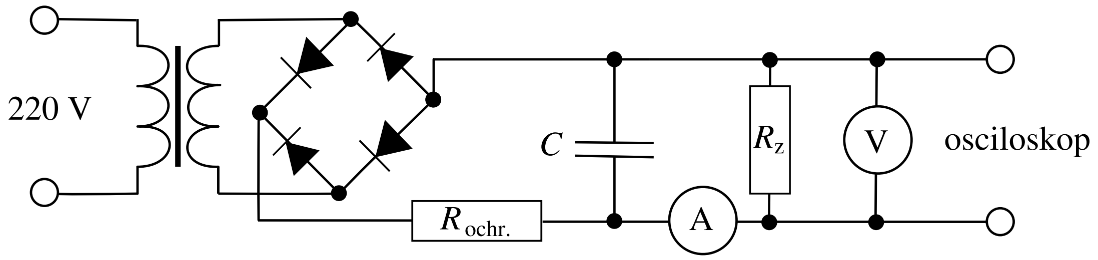
činitel filtrace pro dvojcestné usměrnění vypočteme následovně

$$k_f = \frac{U_0}{U_0 - U(T/2)} = \frac{2\,R_z C}{T} \tag{9}$$

Konečně pokud $k_f \gg 1$ tak pro kapacitu platí vztah

$$C = \frac{T\,k_f I_s}{2\,U_0} \tag{9}$$

kde I_s je proud zátěží a U_0 můžeme za splnění výše uvedené podmínky nahradit střední hodnotou napětí.



Obrázek 1. Obvod s dvoucestným usměrňovačem

Měření

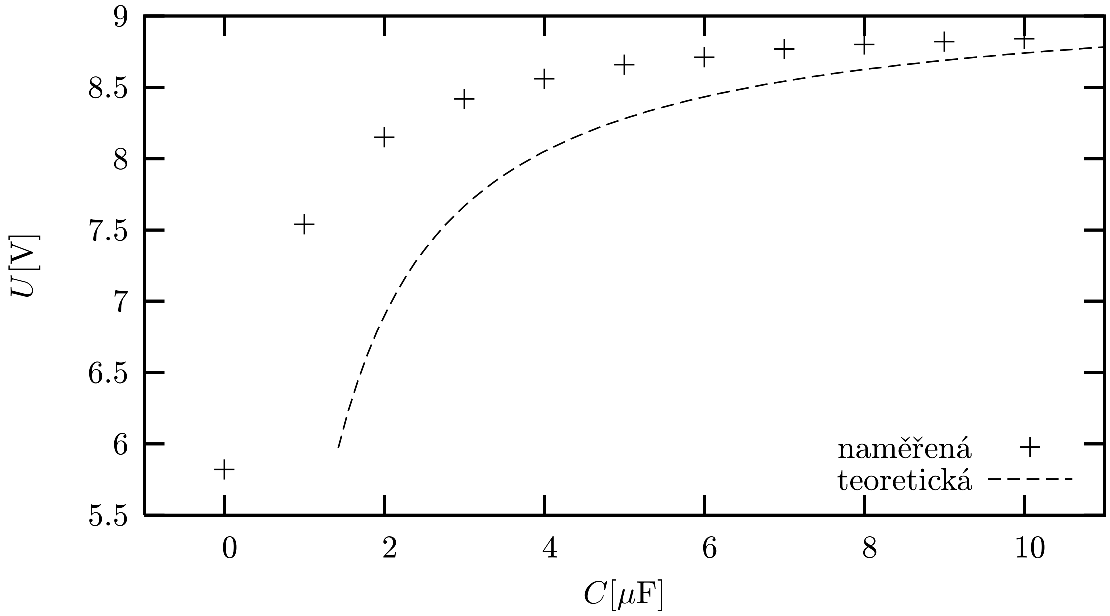
Nejprve jsem změřil amplitudu napětí na osciloskopu $U_0 = (10.2 \pm 0.2)\,\mathrm{V}$. Chybu měření amplitudy odhaduji ze škálování na stínítku osciloskopu. Efektivní napětí na voltmetru je $U_{ef} = (7.5 \pm 0.2)\,\mathrm{V}$. Chyba voltmetru je 1% z rozsahu. Efektivní hodnota napětí vypočítaná ze špičkové hodnoty napětí je $U_{ef} = (7.2 \pm 0.1)\,\mathrm{V}$.

Pro další měření jsem zvolil můstkové zapojení ekvivalentní dvoucestnému usměrňovači. Schéma zapojení je na obr. 1. Zátěžový odpor jsem nastavil na odporové dekádě $R_z = 10\,\mathrm{k\Omega}$. Hodnotu kapacity jsem měnil v rozmezí $0 - 10\,\mu\mathrm{F}$. Naměřenou závislost jsem zapsal do tabulky 1. Chyba měření voltmetrem je 0.20 V. Chyba nastavené kapacity je ve srovnání s nepřesností napětí zanedbatelná. Závislost jsem graficky znázornil v Grafu 1 ve srovnání s teoretickou aproximací vypočtenou ze vztahu (8). Z grafu je vidět, že teoretická závislost se lépe shoduje s naměřenými daty pro vyšší kapacity a tedy vyšší činitel filtrace, což je v souladu předpoklady.

C[μF]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U[V]	5.82	7.54	8.15	8.42	8.56	8.66	8.71	8.77	8.80	8.82	8.84

Tabulka 1.: Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě

Graf 1.: Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě



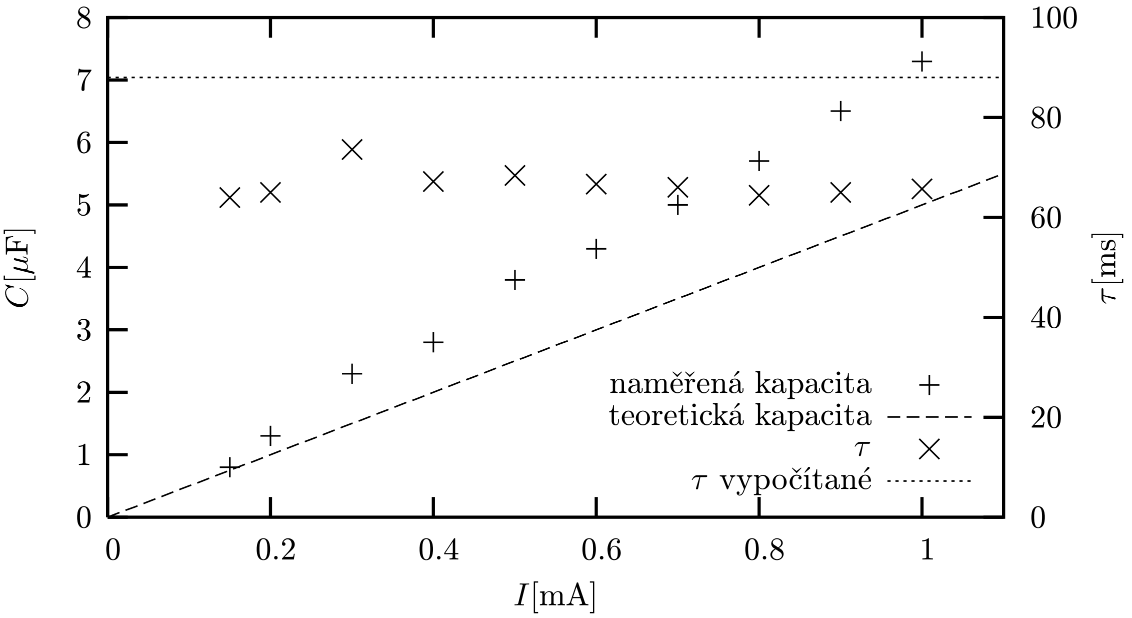
Špičková hodnota napětí na osciloskopu při nulové kapacitě byla $U_{ef} = (9.2 \pm 0.2)\,\mathrm{V}$

Dále jsem měřil kapacitu potřebnou pro udržení konstantní amplitudy střídavé složky usměrněného napětí v závislosti na procházejícím proudu. Kapacitu jsem nastavoval tak, aby amplituda byla $U_0 = 1\,\mathrm{V}$. Filtrační koeficient byl potom roven střední hodnotě napětí měřené voltmetrem. Proud jsem měnil změnou hodnoty zátěžového odporu. Hodnoty kapacity C a časové konstanty τ v závislosti na proudu I a odpovídajícím odporu R jsem zapsal do tabulky 2. Do tabulky jsem také zapsal hodnoty napětí U na zátěži, které jsou úměrné činiteli filtrace, pokud činitel je velký. To, že se hodnoty napětí se zvyšujícím proudem snižují lze možná vysvětlit následovně: Napětí ze zdroje se dělí mezi zátěžový odpor na jedné straně a vnitřní odpor zdroje, ampérmetru, diod a ochranný odpor na straně druhé. Při snižujícím se zátěžovém odporu se tedy více napětí ztrácí mimo zátěžový odpor. Přesnost měření ampérmetrem je 1% rozsahu, v tomto přpadě tedy 0.06 mA, chyba napětí je 0.2 V Přesnost nastavení odporu na kapacitní dekádě je 0.1% nastavené hodnoty a je tedy zanedbatelná ve srovnání s chybou proudu. Do grafu 2 jsem vynesl závilost filtrační kapacity a časové konstanty na proudu. Zobrazil jsem také teoretickou závislost kapacity vycházející ze vztahu (9) a časovou základnu vypočítanou taktéž ze vztahu (9).

I[mA]	U[V]	C[μF]	R[kΩ]	τ[ms]
0.15	9.0	0.8	80	64
0.20	8.9	1.3	50	65
0.30	8.9	2.3	32	74
0.40	8.8	2.8	24	67
0.50	8.7	3.8	18	68
0.60	8.7	4.3	15.5	67
0.70	8.7	5.0	13.2	66
0.80	8.7	5.7	11.3	64
0.90	8.7	6.5	10.0	65
1.00	8.7	7.3	9.0	66

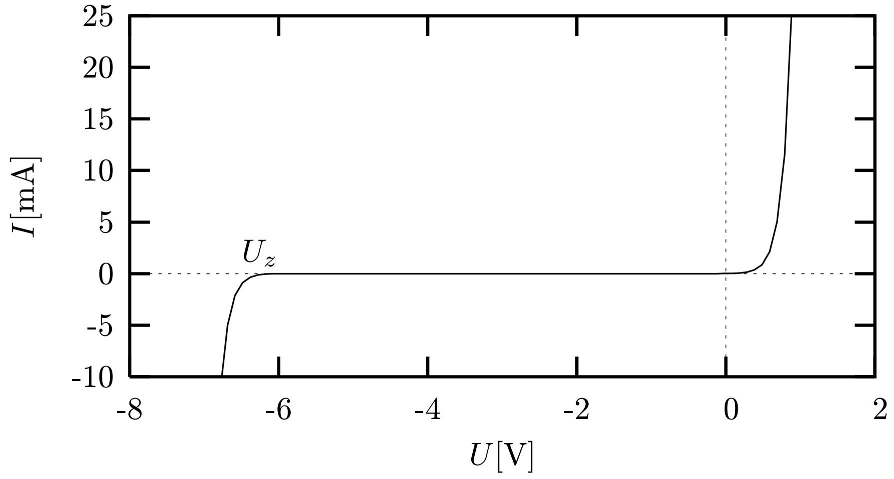
Tabulka 2.: Závislost kapacity potřebné k udržení konstantního činitele filtrace na proudu

Graf 2.:Závislost kapacity potřebné k udržení konstantního činitele filtrace na proudu



Nakonec jsem zapojil obvod podle schématu připojeného k úloze a zkoumal jsem charakteristiky vakuové a zenerovy diody. Napětí na Zenerově diodě při proudu 20 mA

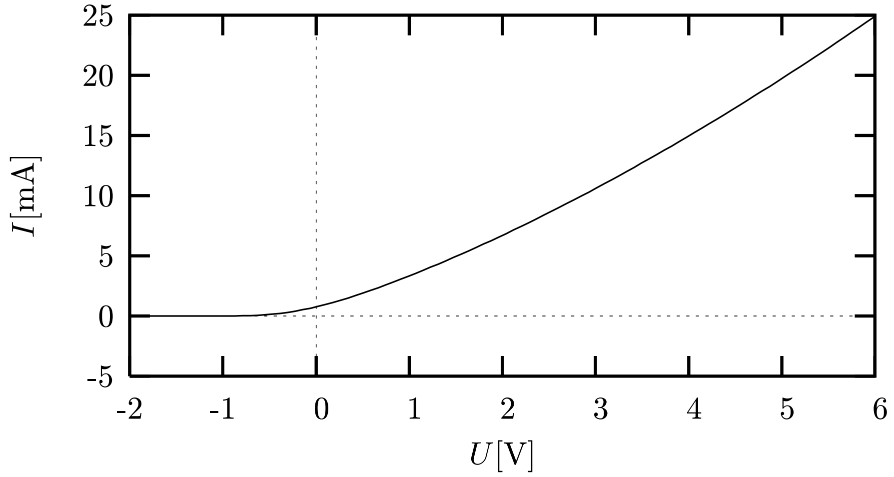
Graf 3.: Charakteristika Zenerovy diody



v propustném směru bylo $U = (0.6 \pm 0.1)$ V. Charakteristiku zenerovy diody jsem načrtl do grafu 3. Určil jsem zenerovo napětí $U_z = (6.4 \pm 0.4)$ V.

Napětí na Vakuové diodě při proudu 20 mA v propustném směru bylo $U = (5.2 \pm 0.4)$ V. U vakuové diody jsem pozoroval, že při nulovém napětí procházel diodou proud přibližně 0.5 mA, který byl způsoben elektrony emitovanými z katody s dostatečnou rychlostí na to, aby se dostaly na anodu. Do grafu 4 jsem načrtl charakteristiku vakuové diody.

Graf 4.: Charakteristika vakuové diody



Diskuze

Efektivní hodnota napětí na sekundáru transformátoru vypočítaná ze vztahu (3) je sice blízká hodnotě naměřené voltmetrem, ovšem ani v rámci chyby se s ní neshoduje. To je způsobeno tím, že u jádra transformátoru dochází při nejvyšších magnetizacích k magnetickému nasycení a napětí na sekundárním vinutí potom nemá sinusový průběh. Na osciloskopu to vypadá, jako by maxima napětí byla „useknutá". Proto neplatí vztah (3) a tudíž i hodnota efektivního napětí z něho vypočítaná je nesprávná. Voltmetr ovšem měřené napětí usměrňuje, měří jeho střední hodnotu a tu potom přepočítává na efektivní hodnotu za předpokladu sinusového průběhu napětí. Ani údaj voltmetru tedy není správný. Korekci této chyby nedovedu spočítat. Protože se hodnoty podle voltmetru a podle špičkové hodnoty příliš neliší, odhaduji, že skutečné efektivní napětí jim bude blízké.

Teoretická závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě se s naměřenými daty shoduje lépe při vysokých filtračních kapacitách. To je zřejmě způsobeno nedostatečným splnění předpokladů kladených na činitel filtrace, které při nízkých kapacitách nejsou splněny. Tuto neshodu by bylo možné korigovat užitím Taylorova rozvoje vyšších řádů při odvozování vztahu (8).

Při ostatních měřeních se potvrdily teoretické vztahy. Největší nepřesnosti výsledků byly způsobeny jednak nízkou přesností odečítání ze stínítka osciloskopu a potom také nedokonalou transformací napětí.

Závěr

Úspěšně jsem změřil závislost napětí na filtrační kapacitě resp. závislost filtrační kapacity potřebné k udržení konstantního činitele filtrace na procházejícím proudu a zakreslil jsem je do grafu 1 resp. 2. Pozoroval jsem charakteristiky Zenerovy a vakuové diody, které jsem potom zakreslil do grafu 3 a 4.

Literatura

[1] Studijní texty, úloha 5. `http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/`

[2] Bakule, R., Šternberk, J.: Fyzikální praktikum II. SPN Praha