

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM II.
PRO OBOR OBECNÁ FYZIKA

V. Meření osciloskopem

Autor:
Samuel Kočišćák

26. novembra 2016

1 Pracovní úlohy

1 Pomocou osciloskopu zmerajte špičkovú hodnotu napätia na svorkách sekundárneho vinutia transformátora a porovnajte ju s hodnotou nameranou na striedavom rozsahu digitálneho voltmetra.

2 Podľa vlastnej voľby sledujte činnosť jednocestného alebo dvojcestného usmerňovača s kremíkovými diódami *KY711*.

2a) Pri maximálnej hodnote zaťažovacieho odporu $10\text{k}\Omega$ sledujte závislosť jednosmerného napätia na filtračnej kapacite C v intervale $0\mu\text{F}$ až $10\mu\text{F}$. Hodnotu usmerneného napätia pri $10\mu\text{F}$ porovnajte so špičkovou hodnotou usmerneného napätia.

2b) Zmerajte závislosť filtračnej kapacity C potrebnej na to, aby striedavá zložka tvorila asi 10% špičkovej hodnoty (t.j. asi 1V) na odoberanom prúde. Pri jednocestnom usmerňovači merajte do prúdu $0,6\text{mA}$, pri dvojcestnom do prúdu 1mA .

2c) Namerané závislosti spracujte graficky. Do grafu uvádzajúceho závislosť filtračnej kapacity C na prúde vynesť závislosť časovej konštanty $\tau = R_z C$ na prúde.

3 Zobrazte na osciloskope V-A charakteristiku vákuovej diódy *EZ81* a Zenervovej diódy *KZ703* podľa schémy pripojenej k úlohe. Orientačne načrtnite pozorované charakteristiky a vyznačte meradlá na osách. Odhadnite napätia na diódach pri prúde 20mA v priepustnom smere. Určte Zenerovo napätie.

2 Teoretická časť

2.1 Stredná a efektívna hodnota napätia

Ak je napätie nezávislé na čase, jeho stredná hodnota U_s je rovná okamžitej hodnote u . Ak sa $u(t)$ mení v čase periodicky s periódou T , jeho stredná hodnota je definovaná vzťahom

$$U_s = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt \quad (1)$$

Na jednosmerných rozsahoch meracích prístrojov ak je perióda T dostatočne malá meriame práve túto veličinu U_s . Frekvencia sieťového napätia $f = 50\text{Hz}$. Efektívnu hodnotu napätia U definujeme vzťahom

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt} \quad (2)$$

Ak sa funkcia $u(t)$ v čase mení harmonicky podľa predpisu $u = U_0 \sin(\omega t + \phi)$, kde ω je uhlová frekvencia, ϕ je počiatočná fáza a U_0 špičková hodnota napätia, platí vzťah

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

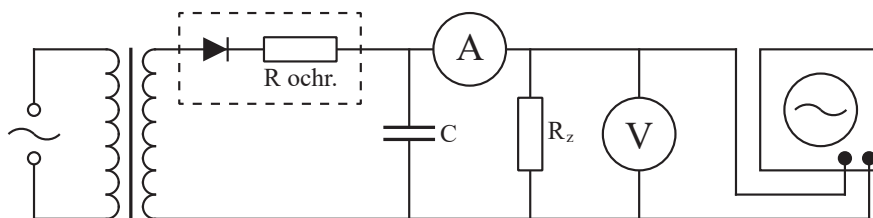
pričom by platil analogický vzťah medzi efektívnou hodnotou prúdu I a špičkovou hodnotou prúdu I_0 . Na striedavých rozsahoch meracích prístrojov meriame veľkosti

efektivných veličín U resp. I . Tieto hodnoty sú získané usmernením a prepočtom z meranej strednej hodnoty U_s resp. I_s tohoto usmerneného napätia resp. prúdu. Platia zároveň len pre harmonický priebeh, pretože len pre ten platí vzťah 3.

2.2 Jednocestný usmerňovač

Jednocestný usmerňovač vzniká zapojením diódy do striedavého obvodu. Diódou tečie prúd iba ak je okamžité napätie na nej orientované v jej priepustnom smere. To utlmí na nulu záporné časti inak harmonického priebehu prúdu obvodom. Efektívna hodnota napätia U_e takto upraveného signálu bude

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



Obr. 1: Schéma zapojenia jednocestného usmerňovača s filtráciou

Ak za usmerňovač zapojíme filtračné zariadenie (najjednoduchším takýmto zariadením je kondenzátor), napätie v tejto časti obvodu nebude klesať až na nulu, ale bude oscilovať medzi napätím U_0 a $U_0 - \Delta U$. Priebeh signálu bude vyzeráť ako kladné pulzy na hodnotu U_0 spojené exponenciálnym poklesom napätia podľa predpisu

$$u = U_0 \exp\left(-\frac{t}{R_Z C}\right), \quad (5)$$

kde R_Z je hodnota zaťažovacieho odporu a C kapacita kondenzátora, podľa schémy na obrázku 1. Ochranný odpor je v obvode zapojený aby zabránil preťaženiu zdroja pri nabíjaní kondenzátora. Nabíjanie kondenzátora sa správa podobne (exponenciálne), ako jeho vybíjanie preto je potrebné voliť ochranný odpor oveľa menší, ako zaťažovací odpor R_Z . Ak je časová konštanta vybíjania $\tau_v = R_Z C$ oveľa väčšia, než čas medzi jednotlivými nabíjacími pulzmi a koeficient filtrácie k_f definovaný ako

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} \quad (6)$$

je vysoký, možno vzťah 5 aproximovať prvými dvomi členmi Taylorovho rozvoja

ako

$$u \approx U_0 \left(1 - \frac{t}{R_Z C} \right) \quad (7)$$

Urobme zjednodušenie a predpokladajme, že nabíjací pulz je nekonečne krátky a okamžite nabije kondenzátor na napätie U_0 . Potom sa kondenzátor v čase $t = 0$ nabije na napätie U_0 a za čas t_0 než príde ďalší nabíjací pulz napätie klesne na hodnotu

$$u(t_0) = U_0 \left(1 - \frac{t_0}{R_Z C} \right) \quad (8)$$

Pre jednocestný usmerňovač, pre ktorý platí naše priblíženie $t_0 \approx T$ bude činiteľ filtrácie

$$k_f = \frac{U_0}{U_0 - u(T_0)} = \frac{R_Z C}{T}, \quad (9)$$

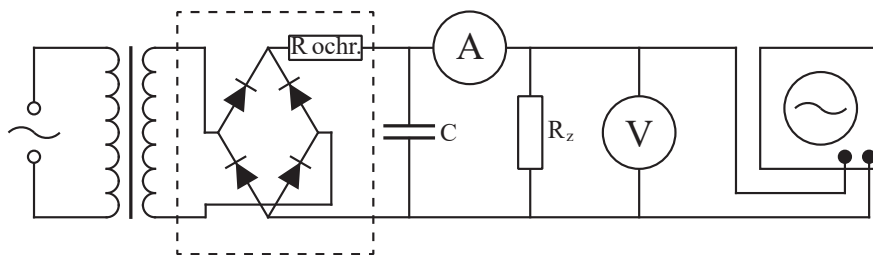
z čoho vyplýva, že pre udržanie činiteľa filtrácie na konštantnej úrovni bude pri zvýšení prúdu I_{ss} pretekajúceho zaťažovacím odporom potrebné zvýšiť kapacitu kondenzátora C . S odporom R_Z je tento prúd podľa Ohmovho zákona vo vzťahu

$$I_{ss} = \frac{U_{ss}}{R_Z}, \quad (10)$$

kde U_{ss} je jednosmerná zložka napätia na zaťažovacom odpore. Ak je koeficient filtrácie vysoký ($k_f \gg 1$), bude platiť $U_{ss} = U_0$. Z týchto vzťahov vyplýva^[51] predpoveď pre závislosť filtračnej kapacity C na odoberanom prúde I_{ss} za podmienky konštantného vysokého k_f

$$C = T k_f I_{ss} (n U_0)^{-1} \quad (11)$$

Analogické vzťahy sa dajú odvodiť pre dvojcestný usmerňovač, ktorý vznikne z jednocestného výmenou diódy za usmerňovací mostík (viď obrázok 2). Tým dosiahneme lepšie výsledky pri vyhladzovaní signálu, keďže takýto usmerňovač dokáže obrátiť polaritu záporných polvln harmonického signálu. Týmto usmerňovačom sa však nebudeme bližšie zaoberať.



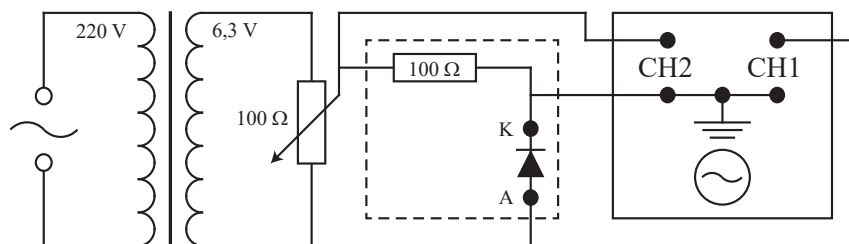
Obr. 2: Schéma zapojenia dvojcestneho usmerňovača s filtráciou

2.3 Zobrazenie voltampérovej charakteristiky

Ak zapojíme diódu do obvodu ako na obrázku 3, tak prvý kanál osciloskopu (CH1) meria napätie na dióde a druhý kanál (CH2) meria napätie na odpore zapojenom sériovo s diódou. Ak je tento odpor oveľa väčší, než odpor diódy, tak prakticky celý napätový úbytok sa realizuje na tomto odpore a z napätia na ňom možno podľa ohmovho zákona

$$I = \frac{U}{R} \quad (12)$$

určiť prúd tečúci diódou. Voltampérová charakteristika diódy je priestor jej fyzikálnych stavov, v ktorom sa možno pohybovať zmenou napätia na nej. Ak budeme teda na osciloskope zobrazovať $y = f(x)$ závislosť prúdu na odpore a pri tom harmonicky meniť napätie na dióde, na osciloskope sa zobrazí jej voltampérová charakteristika. Obor napätí v tejto charakteristike je zhodný s oborom nadobúdaných hodnôt napätia na potenciometri (viď. schéma na obrázku 3) a možno ho teda meniť zmenou deliaceho pomeru na potenciometri.



Obr. 3: Schéma zapojenia osciloskopu do obvodu na meranie V/A charakteristiky diódy

3 Výsledky merania

Pri meraní sme používali digitálny multimeter *Metex M-3270D*^[Mx]. Okrem neho sme použili aj analógový jednosmerný voltmeter so 120 dielikmi na stupnici na rozsahu 12V s vnútorným odporom $R_v \approx 12 \text{ k}\Omega$, triedou presnosti 0,5 a chybou 2 dielikov. K tomu, prečo sme zvolili práve tento voltmeter sa vrátíme v diskusii. Pri meraniach sme používali kapacitnú dekádu *Centrad DC05*^[Cr]. Pri všetkých meraniach sme použili osciloskop *Instek G0S-620Centrad DC05*^[Iu]. Osciloskop mal na obrazovke 50×40 dielikov a nastaviteľný rozsah $U_{roz sah} = 5 \text{ mV}$ až 5V na 5 dielikov, za jediný zdroj nepresnosti sme považovali nepresnosť určenia dielika, vždy sme uvažovali $\sigma_U = U_{roz sah}/5$. Ako zaťažovací odpor sme používali 6-miestnu odporovú dekádu s presnosťou 0,1%. Teplota v laboratóriu pri meraní bola približne 23°C. Teplota nebola pri meraní konštantná, no jej drobná zmena nemala na meranie vplyv.

3.1 Meranie sieťového signálu

Pri tomto meraní sme do zásuvky (230V, 50Hz) zapojili transformátor s napätím na sekundárnom vinutí (podľa popisu na štítku) 8V. Efektívne napätie na tomto vinutí sme určili pomocou vyššie spomenutého digitálneho multimetra *Metex* na hodnotu

$$U = 6,53(1) \text{ V} \quad (13)$$

a špičkové napätie sme určili osciloskopom na hodnotu

$$U_0 = 8,8(4) \text{ V} \quad (14)$$

Predpokladáme, že tieto dve hodnoty budú spolu súvisieť podľa vzťahu 3. Ak určíme U_0 z U týmto vzťahom, tak dostávame (za zachovanej relatívnej chyby určenia napätia):

$$U_0 = \sqrt{2}U = 9,23(1) \text{ V}, \quad (15)$$

Čo je mierne viac, než sme určili osciloskopom. K tomuto rozdielu sa vrátíme v diskusii.

3.2 Určenie závislosti strednej hodnoty napätia na usmerňovači v závislosti od filtračnej kapacity

Pri tomto meraní sme obvod zapojili podľa schémy na obrázku 1. Hodnotu zaťažovacieho odporu R_z sme nastavili na 5k Ω , no na určenie napätia sme použili vyššie pomenutý analógový voltmeter, ktorý bol pripojený paralelne k odporu R_z , teda výsledná hodnota zaťažovacieho odporu bola približne

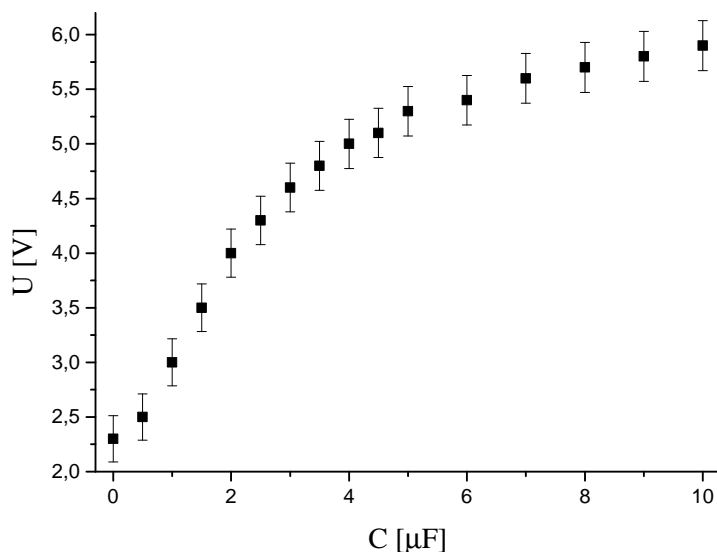
$$R_{z_{vysl}} = \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_z} \right)^{-1} \approx 3,5 \text{ k}\Omega \quad (16)$$

a jej presnú hodnotu nepoznáme. Všetky namerané dáta možno vidieť v prílohe a znázornené v grafe na obrázku 4.

Špička jednosmerného priebehu napätia na osciloskope pri filtračnej kapacite $C = 10 \mu\text{F}$ bola $U_{DC} = 7,2(2) \text{ V}$ a špička striedavej zložky napätia bola $U_{AC} = 1,20(5) \text{ V}$. Hodnota stredného napätia nameraného voltmetrom U pri filtračnej kapacite $C = 10 \mu\text{F}$ bola 5,9(2)V, čo je presne o U_{AC} menej, než U_{DC} .

3.3 Závislosť filtračnej kapacity na odoberanom prúde pri konštantnom koeficiente filtrácie

Z konštantného striedavého napätia $\Delta U = U_{AC}$ a konštantného špičkového napätia U_{DC} vyplýva konštantný koeficient filtrácie. Špičkové napätie sa pri malých odoberaných prúdoch nemení, teda stačí udržiavať špičkovú stredavú zložku napätia ΔU na konštantnej hodnote. Z dôvodov vhodných rozsahov sme sa rozhodli udržiavať $\Delta U \approx 0,8 \text{ V}$ s nepresnosťou rovnou polovici dielika stupnice na osciloskope, v našom prípade teda $\Delta U = 0,80(1) \text{ V}$. Z minulého experimentu vieme, že špičková hodnota



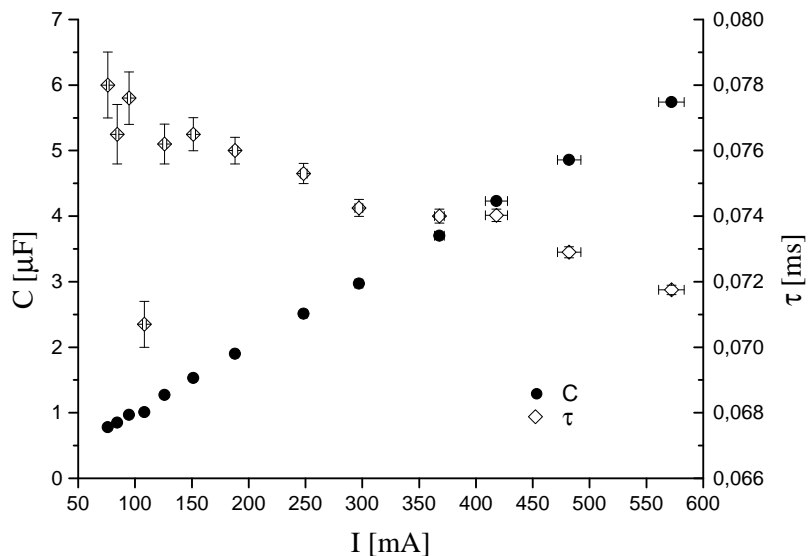
Obr. 4: Graf stredného napätia na usmerňovači v závislosti od filtranej kapacity

$U_{DC} = 7,2(2)$ V. Meranie sme teda realizovali pri koeficiente filtrácie (podľa vzťahu 6):

$$k_f = \frac{0,80(1) \text{ V}}{7,2(2) \text{ V}} = 0,111(1) \quad (17)$$

Pri meraní sme z obvodu odpojili voltmeter, ktorý zbytočne vnáša chybu svojim vnútorným odporom R_v , a na odporovej dekáde sme menili hodnotu odporu od 100 kΩ do 12,5 kΩ. Pri každom nastavenom odpore sme upravovali filtračnú kapacitu C tak, aby sme na osciloskope namerali špičkovú striedavú zložku $U_{AC} = 0,8$ V. Odčítali sme stredný prúd I ampérmetrom a výsledné dáta sú zvislosť $C = f(I)$. Presnosť určenia prúdu I poznáme, za presnosť určenia C považujeme jednu platnú cifru (najmenší nastavovaný dielik) plus 1% a nepresnosť vnesenú nepresným určením U_{AC} zanedbajme. K oprávnenosti tohto priblíženia sa vrátíme v diskusii. Všetky namerané dáta možno vidieť v prílohe a znázornené v grafe na obrázku 5. V tom istom grafe vidno dopočítané dáta $\tau = R_z C = f(I)$, za chybu ich určenia považujeme

$$\sigma_\tau = \sqrt{\left(\frac{\tau}{C} \sigma_C\right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_z} \sigma_{R_z}\right)^2} \quad (18)$$

Obr. 5: Graf napätia potrebného na udržanie konštantného k_f

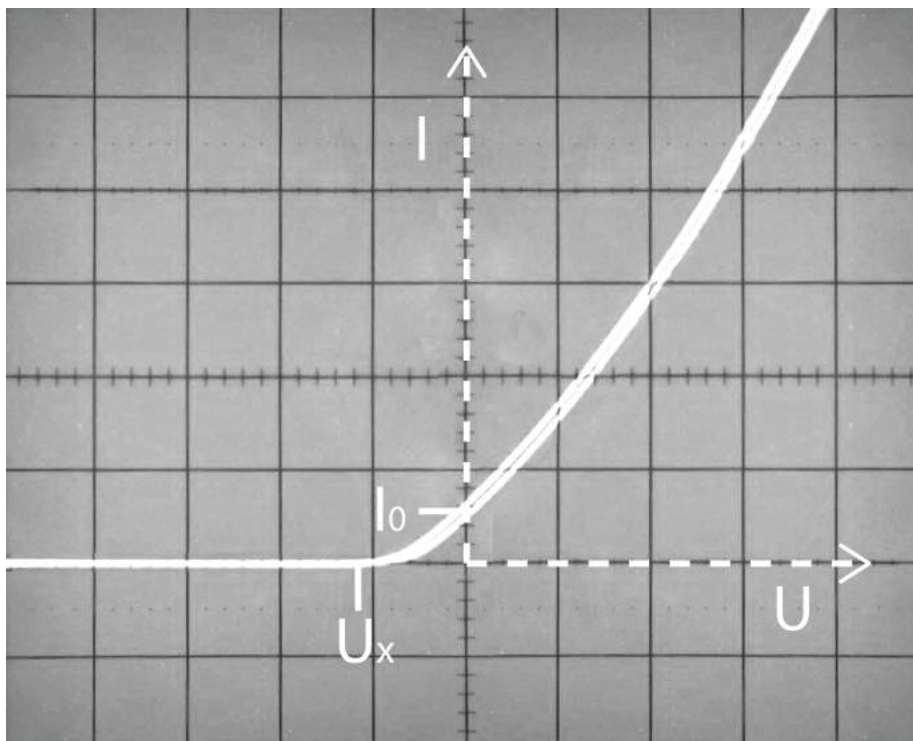
3.4 Voltampérová charakteristika diód

Pri vykresľovaní voltampérovej charakteristiky diód sme zapojili obvod podľa schémy na obrázku 3. Na obrázkoch 6 a 7 možno vidieť zobrazené závislosti. Mierka na obrázku 6 je 0,5V na väčší dielik v x -ovom smere a 0,1V na väčší dielik v y -ovom smere. Na obrázku 7 je mierka 2V na dielik v x -ovom aj y -ovom smere. Na obrázkoch sú zvýraznené niektoré merané body charakteristík, ktoré však boli merané na iných rozsahoch, s vyššou presnosťou, než s akou ich možno určiť z týchto obrázkov.

Pre obe diódy sme sa pokúsili odhadnúť napätie U_x , pri ktorom začínajú prepúšťať prúd v priepustnom smere, napätie U_{20} prislúchajúce prúdu v priepustnom smere $I_{20} = 20 \text{ mA}$, pre Zenerovu diódu sme odhadli Zenerovo napätie U_z , pri ktorom dióda začína prepúšťať prúd v závernom smere a pre vákuovú diódu sme odhadli prúd I_0 tečúci diódou bez napätia na svorkách (iba so žeravením). Zámer aj rozsah sme si vhodne upravili tak, aby sme využili maximum mierky osciloskopu a dosiahli teda najvyššiu presnosť. Pri určovaní I_0 a U_{20} sme potrebovali spraviť prepočet napätia na zaťažovacom rezistore na prúd. Prepočet sme urobili podľa Ohmovho zákona a chybu pri tomto prepočte neuvažujeme.

Pre vákuovú diódu sme určili hodnoty parametrov:

$$U_x = -0,56(5) \text{ V}, \quad (19)$$



Obr. 6: Voltampérová charakteristika vákuovej diódy

$$I_0 = 0,58(2) \text{ mA}, \quad (20)$$

$$U_{20} = 5,2(2) \text{ V} \quad (21)$$

a pre Zenerovu diódu:

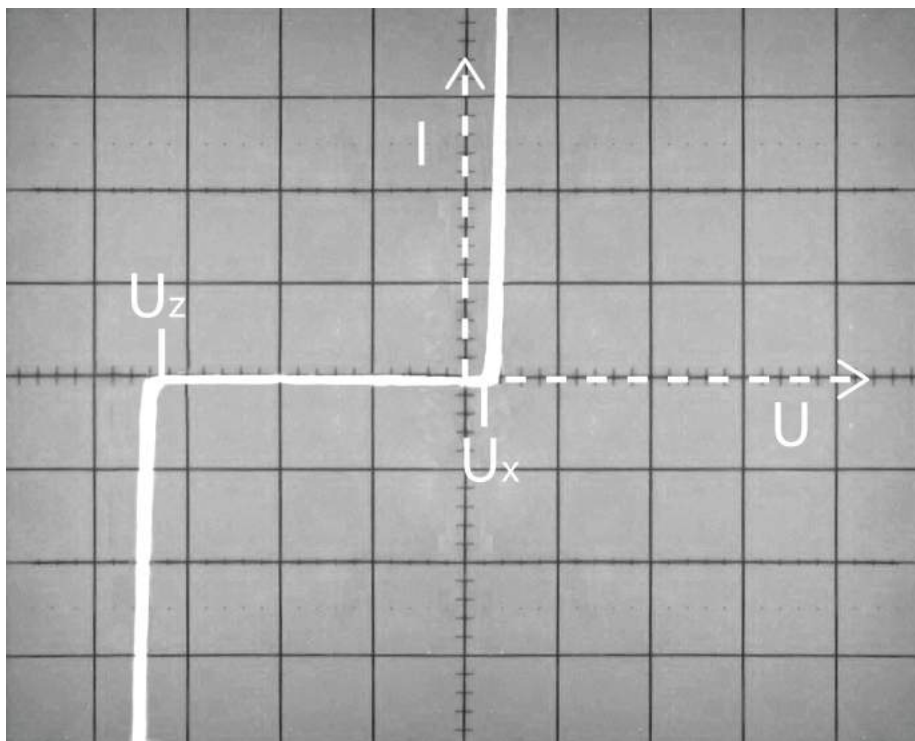
$$U_z = -6,6(1) \text{ V}, \quad (22)$$

$$U_x = 400(10) \text{ mV}, \quad (23)$$

$$U_{20} = 0,68(10) \text{ V} \quad (24)$$

4 Diskusia výsledkov

Pri meraní v úlohe 1 sme namerali inú hodnotu U_0 , než predpovedal osciloskop. Táto nezrovnalosť bola pravdepodobne vnesená nedokonalosťou transformátora, keďže -



Obr. 7: Voltampérová charakteristika Zenerovej diódy

ako bolo vidieť z priebehu napätia na osciloskope - výstup transformátora nemal úplne sinusoidálny priebeh, ale bol mierne zdeformovaný. Voltmeter očakáva harmonický priebeh, teda nemohol napätie určiť úplne presne.

Pri meraní v úlohe 2b sme použili analógový voltmeter a nie digitálny, pretože digitálny nestredoval napätie s dostatočne vysokou frekvenciou, teda napätie na displeji nebolo konštantné. Ručička analógového voltmetra má našťastie dosť vysoký moment zotrvačnosti na to, aby analógový voltmeter veľmi dobre stredoval napätie s frekvenciou 50Hz. Použitím analógového voltmetra sme prišli o presnosť merania, teda odporúčame pri ďalšom podobnom meraní použiť digitálny voltmeter so stredovaním cez väčší časový interval.

V úlohe 2b sme zanedbali chybu vnesenú nepresným určením napätia U_{AC} . Keďže nepoznáme závislosť $C = f(U_{AC})$, ale máme odpozorované, že nie je príliš strná a zároveň sme vždy nastavovali dekádu C tak, aby sme sa dostali na konkrétnu hodnotu na stupnici dekády, je toto priblíženie validné a chyba vnesená zanedbaním chyby U_{AC} je naozaj oveľa menšia ako ostatné chyby (hlavne chyba určenia C).

Na obrázkoch 6 a 7 vidno, že čiara voltampérovej charakteristiky je rozdvojená, teda naše meranie malo istú hysteréziu. Tá je vnesená pravdepodobne kapacitou prírodných vodičov osciloskopu (BNC káble). Pri meraní parametrov voltampérovej cha-

rakteristiky jednotlivých diód sa nám ju podarilo potlačiť tým, že sme rozsah nastavili znemou napätia potenciometrom tak, aby meraný bod bol bodom obratu a teda v tom bode čiara nebol rozdvojená. V bode obratu sa prúd mení najpomalšie, teda kapacita prívodného vodiča nehrá takmer žiadnu úlohu.

V úlohe 3 sme nezapočítali chybu vnesenú prepočtom prúdu I na napätie U a naopak, no celé meranie v úlohe 3 bolo nerpesné, v podstate len odhadovanie a táto chyba je malá v porovnaní s chybou určenia bodov na charakteristike.

5 Záver

Pomocou osciloskopu sme zmerali špičkové napätie U_0 a diskutovali sme jeho porovnanie s efektívnou hodnotou U určenou digitálnym ampérmetrom.

Študovali a znázornili sme závislosť jednosmerného napätia U na filtračnej kapacite C a závislosť časovej konštanty τ filtračnej kapacity C potrebnej na udržanie konštantného koeficientu filtrácie k_f na prúde I pre jednocestný usmerňovač.

Na osciloskope sme zobrazili voltampérovú charakteristiku vákuovej aj Zenerovej diódy a určili sme niektoré jej parametre.

6 Zoznam použitej literatúry

- [St] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Študijný text k meraniu: Měření napětí osciloskopem*. [cit. 2016-11-21]. URL: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_205.pdf>.
- [Mx] QTEST. *Digitální multimetr M-3270D* [cit. 2016-11-21]. URL: <<http://www.qtest.cz/mereni-elektricky-ch-velicin/metex-m3270d.htm>>.
- [Cr] Farnell. *Decade Capacitor Box Datasheet* [cit. 2016-11-21]. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/1931189.pdf?_ga=1.198257199.124744188.1479757169>.
- [It] Gwinstek. *GOS-630 & GOS-620* [cit. 2016-11-21]. URL: <http://www.gwinstek.com/en-global/Download/DownloadFile/DownloadFile/download%23_%2301_Oscilloscope%23_%2304_GOS%23_%23GOS-2.pdf>.