

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM II

Úloha č.: .....V.....

Název: Meranie osciloskopom

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 14. 11. 2005

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: **Hájek**.....dne ..... výsledek klasifikace .....**2**.....

Připomínky:

Strana 5, posledný stĺpec tabuľky: „Aký význam má uvádzanie prúdu v  $\mu\text{A}$ ?“

Graf 1: „Uvedte tvar závislosti.“

Graf 2: „Bolo by lepšie uviesť koeficienty.“

## Pracovné úlohy:

1. Pomocou osciloskopu zmerajte špičkovú hodnotu napätia na sekundári prevodného transformátora a porovnajte ju s hodnotou nameranou voltmetrom.
2. Podľa vlastnej voľby sledujte činnosť jednocestného alebo dvojcestného usmerňovača s kremíkovými diódami KY711
  - a. pri maximálnej hodnote zaťažovacieho odporu  $10\text{ k}\Omega$  sledujte závislosť jednosmerného napätia na filtračnej kapacite  $C$  v intervale  $0\text{--}10\text{ mF}$ . Hodnotu usmerneného napätia pri  $C = 10\text{ mF}$ <sup>1</sup> porovnajte so špičkovou hodnotou pulzného priebehu.
  - b. zmerajte závislosť filtračnej kapacity  $C$ , potrebnej k tomu, aby striedavá zložka usmerneného napätia tvorila 10 % špičkovej hodnoty (t.j. asi 1 V), na odoberanom prúde. Pri jednocestnom usmerňovači merajte do prúdu  $0,6\text{ mA}$ , pri dvojcestnom do prúdu  $1\text{ mA}$ .
  - c. namerané závislosti spracujte graficky. Do grafu udávajúceho závislosť filtračnej kapacity  $C$  na prúde vynesť takisto závislosť časovej konštanty  $t = R_z C$  na prúde.
3. Charakteristiku vákuovej diódy EZ81 a Zenerovej diódy KZ703 zobrazte na osciloskope podľa schémy pripojenej k úlohe. Orientačne načrtnite pozorované charakteristiky a vyznačte mierky na osiach. Odhadnite napätie na diódach pri prúde  $20\text{ mA}$  v priepustnom smere. Určite Zenerovo napätie.

## Teoretická časť:

Na štúdium obvodov so striedavým napätím používame osciloskop, na ktorom môžeme sledovať celý priebeh napätia. Presnosť odčítania je menšia ako na voltmetri, no na osciloskope môžeme odčítať výšku a šírku pulzu, zvlnenie jednosmerného napätia a pod.

### Stredná hodnota napätia

Ak napätie časovo nezávislé je jeho stredná hodnota rovná okamžitej hodnote. Ak sa mení periodicky s časom, je stredná hodnota definovaná vzťahom, vid' [1]

$$U_s = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad (1)$$

kde  $u$  je okamžitá hodnota napätia,  $t$  čas a  $T$  doba jednej periódy.

Na jednosmerných rozsahoch analógových i digitálnych meracích prístrojoch meriame vždy strednú hodnotu.

### Efektívna hodnota napätia

Efektívna hodnota napätia  $U$  súvisí s okamžitou hodnotou napätia  $u(t)$  integrálnym vzťahom

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt, \quad (2)$$

kde  $t$  je čas a  $T$  perióda.

Ak závislosť napätia na čase je harmonická funkcia  $u(t) = U_0 \sin(\omega t + j)$ , podľa (2) platí

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

kde  $U_0$  je špičková hodnota prúdu. Podobný vzťah by platil aj pre prúd.

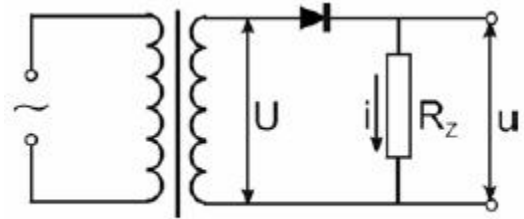
Výchyľky meracích prístrojov s elektromagnetickým či elektrodynamickým systémom sú úmerné efektívnej hodnote prúdu pretekajúcim týmto systémom. Pri bežne používaných meracích prístrojoch je výchyľka úmerná strednej hodnote prúdu (pri striedavých rozsahoch sa signál usmerňuje), ale ich stupnica je kalibrovaná tak, aby sme pri harmonickom priebehu signálu mohli odčítať priamo efektívne hodnoty napätia.

---

<sup>1</sup> Zadanie úlohy v skriptách [1] udáva hodnotu  $C = 0\text{ }\mu\text{F}$ , kým zadanie úlohy na stránke fyzikálnych praktík [3] udáva hodnotu  $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ . Uvažujem zadanie podľa [3].

## Jednocestný usmerňovač

Jednocestný usmerňovač zapojíme podľa schémy na obrázku 1. Na primárne vinutie transformátora zapojíme striedavé napätie zo siete, ktoré na sekundárnom vinutí indukuje striedavé napätie. Usmerňovač (dióda) prepustí prúd do záťaže len vtedy, keď na hornej strane transformátora bude kladná polovlna striedavého napätia, pri zápornej polovlne bude úbytok napätia na zaťažovacom odpore nulový. Stredná hodnota jednocestne usmerneného harmonického napätia súvisí so špičkovou hodnotou podľa vzťahu

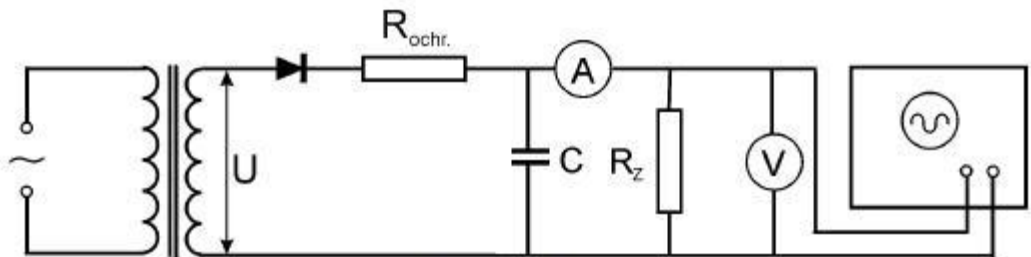


Obrázok 1

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

## Filtrácia napätia

Usmernené napätie z diód je pulzujúce. Toto napätie môžeme vyhladiť (filtrovať), ak pripojíme paralelne k zaťažovaciemu odporu  $R_z$



Obrázok 2

kondenzátor s kapacitou  $C$  – obrázok 2. Ak by bol odpor  $R_z$  nekonečne veľký, nabíjal by sa tento kondenzátor na špičkovú hodnotu usmerneného napätia a napätie na kondenzátore by zostalo konštantné. Keďže  $R_z$  má konečnú hodnotu, vybíja sa kondenzátor  $C$  cez odpor  $R_z$  s časovou konštantou  $R_z C$ . V čase medzi nasledujúcimi dvoma pulzmi bude časový priebeh  $u$  na odpore  $R_z$  rovný

$$u = U_0 e^{-\frac{t}{R_z C}}, \quad (5)$$

kde  $U_0$  je špičková hodnota napätia, na ktoré sa nabíja kondenzátor a  $t$  čas. Kondenzátor sa nabíja cez odpor  $r$  rovný súčtu vnútorného odporu zdroja a ochranného odporu  $R_{ochr}$ .

Kvôli zjednodušeniu predpokladáme, že časová konštanta vybíjania  $t_v = R_z C$  je podstatne dlhšia ako doba medzi po sebe nasledujúcimi pulzmi ( $t$  je pri jednosmernom usmernení doby periódy kmitu  $T$ ) a že doba, počas ktorej sa kondenzátor nabíja, je zanedbateľne krátka. Tieto predpoklady sú dobre splnené, keď činiteľ filtrácie je veľký. Činiteľ filtrácie  $k_f$  je definovaný ako pomer špičkovej hodnoty striedavého napätia  $U_0$  na sekundári transformátora ku špičkovej hodnote striedavej zložky usmerneného napätia  $\Delta U$

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

Ak je zmena napätia na kondenzátore malá, môžeme priebeh napätia medzi dvoma nasledujúcimi nabíjacími pulzmi vyjadriť približne vzťahom (prvé dva členy Taylorovho rozvoja)

$$u \cong U_0 \left( 1 - \frac{t}{R_z C} \right). \quad (7)$$

Pre strednú hodnotu napätia  $U_s$  podľa (1) platí

$$U_s = U_0 \left( 1 - \frac{T}{2R_z C} \right). \quad (8)$$

V okamihu, keď príde nasledujúci pulz, sa nabíja kondenzátor napätím  $U_0$ . Za bodu  $t_0$ , kým príde nasledujúci pulz, sa kondenzátor vybíja na hodnotu

$$u(t_0) = U_0 \left( 1 - \frac{t_0}{R_z C} \right). \quad (9)$$

Pre jednocestný usmerňovač platí  $t_0 \cong T$ , potom pre činiteľ filtrácie platí

$$k_f = \frac{U_0}{U_0 - u(t_0)} = \frac{R_z C}{T}. \quad (10)$$

Na udržanie daného činiteľa filtrácie je nutné pri zmene záťažovacieho odporu, t.j. zmene prúdu odoberaného záťažou, zmeniť filtračnú kapacitu tak, aby časová konštanta záťažovacieho obvodu zostala konštantná. Prúd záťažou, ktorý označíme  $I_s$ , je s odporom  $R_z$  zviazaný Ohmovým zákonom

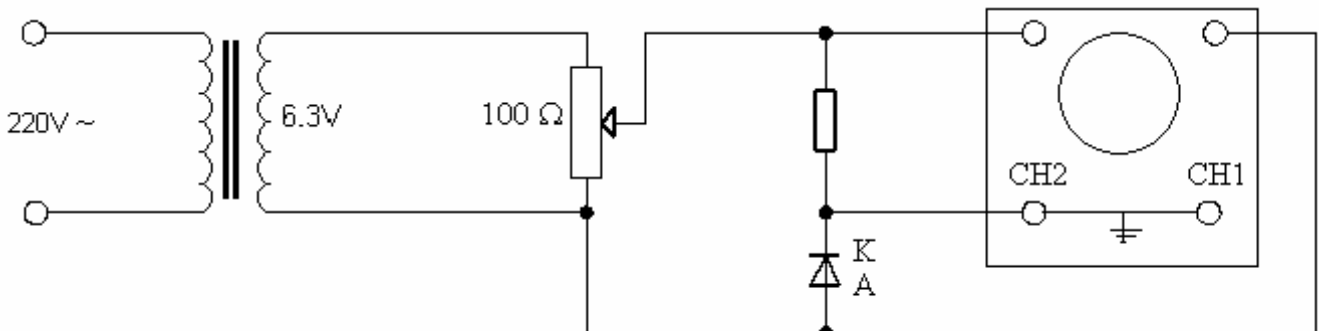
$$I_s = \frac{U_s}{R_z}, \quad (11)$$

kde  $U_s$  je jednosmerné napätie na záťaži. Ak je činiteľ filtrácie  $k_f = 1$ , je  $U_s = U_0$ . Zo vzťahov (10) a (11) vyplýva pre závislosť filtračnej kapacity na prúde odoberanom záťažou približný vzťah

$$C = \frac{T k_f I_s}{U_0} = \frac{T}{\Delta U} I_s. \quad (12)$$

### Voltmapérová charakteristika diódy

Na určenie tejto závislosti použijeme zapojenie znázornené na obrázku 3.



Obrázok 3

### Výsledky merania:

Pri jednotlivých úlohách predpokladám, že napätie má sínusový priebeh, o čom som sa presvedčil na začiatku merania (na osciloskope som zobrazil časový priebeh napätia). Mierne odchýlky od sínusového priebehu sú spôsobené tým, že dochádza k magnetickému nasýteniu jadra.

#### Špičková hodnota napätia na sekundári prevodného transformátora

Špičkovú hodnotu napätia na sekundári som meral pomocou osciloskopu. Na osciloskope som nastavil os nulového napätia do spodnej časti obrazovky osciloskopu; rozsah som nastavil tak, že jeden diel na osciloskope zodpovedal 2 V. Chybu určenia napätia odhadujem na jeden najmenší zobrazovaný dielik na obrazovke osciloskopu, t.j.

$$U_0 = (11,2 \pm 0,4) V.$$

Napätie na svorkách transformátora som zmeral aj pomocou voltmetra. Chybu odhadujem podľa oscilácie napätia v obvode

$$U_{ef} = (7,6 \pm 0,1) V.$$

Pre pomer týchto hodnôt platí (chybu som určil podľa lineárneho zákona hromadenia chýb, viď [1])

$$\frac{U_0}{U_{ef}} = 1,47 \pm 0,07,$$

ktorý v rámci chyby sa zhoduje s teoretickou hodnotou danou vzťahom (3).

V nasledujúcich úlohách som na usmerňovanie napätia používal jednocestný usmerňovač.

#### Závislosť jednosmerného napätia na filtračnej kapacite $C$

Na určenie tejto závislosti som použil zapojenie na *obrázku 2*. Na odporovej dekáde som nataril odpor  $R_z = 10\text{ k}\Omega$ . Hodnotu usmerneného napätia som meral pomocou digitálneho voltmetra, pričom chybu určenia napätia odhadujem na 0,1 V. Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1*. Nameraná závislosť je zobrazené v *grafe 1*. Teoretická závislosť je daná vzťahom (8) – na určenie teoretickej závislosti som potreboval periódu napätia, ktorú som určil podľa stopy na osciloskope:  $T = (20,0 \pm 0,5)\text{ ms}$ .

*Tabuľka 1 – Závislosť jednosmerného napätia na filtračnej kapacite*

$C [\mu\text{F}]$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_s [\text{V}]$	3,13	6,25	7,81	8,58	9,03	9,38	9,63	9,85	9,99	10,16	10,21

Pri kapacite  $C = 10\text{ mF}$  som pomocou osciloskopu určil hodnotu špičkového napätia (chybu odhadujem takým istým spôsobom ako v predchádzajúcej úlohe)

$$U_0 = (10,8 \pm 0,4)\text{ V}.$$

Nameral som menšiu hodnotu ako pri meraní priamo na svorkách transformátora. Je spôsobené tým, že v obvode bola zapojená aj kremíková dióda, ktorá začína viesť prúd pri napätí asi 0,5 V.

Pre pomer špičkovej hodnoty napätia  $U_0$  a strednej hodnoty usmerneného napätia  $U_s$  pri filtračnej kapacite  $C = 10\text{ mF}$  platí

$$\frac{U_0}{U_s} = 1,06 \pm 0,07.$$

#### *Závislosť kapacity C na odoberanom prúde $I_s$*

Použil som zapojenie znázornené na *obrázku 2*. Menil som kapacitu a odpor tak, aby striedavá zložka napätia tvorila približne 10 % špičkovej hodnoty napätia, t.j. asi 1 V. Striedavú zložku napätia som odčítal na obrazovke osciloskopu (pri tejto úlohe jeden diel na obrazovke osciloskopu predstavoval 0,5 V). Prúd prechádzajúci zaťažovacím odporom  $R_z$  som meral pomocou miliampérmetra (chybu určenia prechádzajúceho prúdu odhadujem na 1 % z nameranej hodnoty). Namerané hodnoty a hodnoty časovej konštanty  $t = R_z C$  sú uvedené v *tabuľke 2*. Nameraná závislosť filtračnej kapacity na odoberanom prúde a závislosť časovej konštanty  $\tau$  sú znázornené v *grafe 2*.

*Tabuľka 2 – Závislosť filtračnej kapacity C na odoberanom prúde  $I_s$*

$C [\mu\text{F}]$	$R [\text{k}\Omega]$	$\tau [\text{ms}]$	$I_s [\text{mA}]$
2,0	98,0	196,0	0,108
2,5	80,0	200,0	0,133
3,0	67,0	201,0	0,159
3,5	57,2	200,2	0,185
4,0	50,0	200,0	0,212
4,5	44,2	198,9	0,239
5,0	39,1	195,5	0,270
5,5	35,5	195,3	0,299
6,0	32,9	197,4	0,322
6,5	30,0	195,0	0,352
7,0	28,0	196,0	0,379
7,5	26,1	195,8	0,408
8,0	24,4	195,2	0,434
8,5	23,0	195,5	0,460
9,0	21,4	192,6	0,494
9,5	20,1	191,0	0,525
10,0	19,0	190,0	0,556
10,5	18,3	192,2	0,5579
11,0	17,3	190,3	0,608

## Voltampérové charakteristiky diód

V tejto úlohe som použil zapojenie podľa schémy, ktorá je uvedená pri popise úlohy. Diódy boli pripojené na striedavé napätie sériovo spolu s referenčným odporom. Napätie na dióde a na referenčnom odpore som zobrazoval na dvoch osiach osciloskopu – na zvislej osi bol prúd tečúci diódou a na vodorovnej napätie na dióde. Vákuovú diódu som pred meraním nechal žhaviť. Charakteristiky vákuovej diódy EZ 81 resp. Zenerovej diódy KZ 703, ktoré som pozoroval na obrazovke osciloskopu sú znázornené v *grafe 3* resp. v *grafe 4*.

Pri prúde  $20\text{ mA}$  v priepustnom smere som odčítal napätie pre vákuovú a Zenerovú diódu (chybu určenia napätia odhadujem na jeden dielik na obrazovke osciloskopu)

- vákuová dióda:  $U = (5,6 \pm 0,2)\text{ V}$
- Zenerova dióda:  $U = (0,55 \pm 0,05)\text{ V}$

Pri Zenerovej dióde som určil aj Zenerovo napätie

- Zenerovo napätie:  $U_z = (7,8 \pm 0,2)\text{ V}$

## Diskusia výsledkov:

V jednotlivých úlohách som používal striedavé napätie  $6,3\text{ V}$ , ktoré som dostal transformáciou zo sieťového napätia  $220\text{ V}$ . Predpokladal som, že napätie má harmonický priebeh (menšie odchýlky od sínusového priebehu sú spôsobené magnetickým nasýtením jadra).

Špičková hodnota napätia na transformátore určená pomocou osciloskopu a efektívna hodnota napätia na transformátore určená voltmetrom spĺňajú teoretický vzťah (3). Chyba merania ja hlavne daná nepresným odčítaním z obrazovky osciloskopu. Pri meraní voltmetrom je chyba daná nestabilitou siete – počas merania kolísala meraná hodnota.

Pri meraní strednej hodnoty usmerneneho napätia  $U_s$  v závislosti na filtračnej kapacite  $C$  som namerál vyššie hodnoty ako teoretické hodnoty dané vzťahom (8). Pri odvodení teoretickej závislosti sme predpokladali zjednodušujúce predpoklady (doba nabíjania kondenzátora je zanedbateľne krátka, doba vybíjania je podstatne dlhšia ako perióda  $T$ ). Tieto predpoklady pri meraní nemôžeme zanedbať. Pri malých hodnotách filtračnej kapacity je doba vybíjania porovnateľná s periódou, a preto pri malých hodnotách  $C$  v *grafe 1* sú najväčšie odchýlky nameraných hodnôt od teoretickej závislosti. So zväčšujúcim sa kapacitou sa zväčšuje aj doby vybíjania, t.j. namerané hodnoty sa približujú ku teoretickej krivke.

Pri meraní závislosti filtračnej kapacity  $C$  na odoberanom prúde  $I_s$  som dostal lineárnu závislosť. Lineárna závislosť vyplýva z teoretického vzťahu (12), vid' *graf 2*.

Závislosť časovej konštanty  $t = R_z C$  na odoberanom prúde  $I_s$  je takisto lineárna (jedna konštantná hodnota). Odchýlky od konštantnej hodnoty sú dané hlavne nepresným určením odporu, pri ktorom tvorí striedavá zložka usmerneneho napätia 10 % zo špičkovej hodnoty, vid' *graf 2*.

Pozorované charakteristiky diód sú znázornené v *grafoch 3* a *4*. Tieto charakteristiky zodpovedajú teoretickým závislostiam, vid' [1], úloha 11 – charakteristiky diód. Chyba určenia napätia pri prúde  $20\text{ mA}$  a Zenerovho napätia je daná nepresným odčítaním z obrazovky osciloskopu.

## Záver:

Na sekundári prevodného transformátora som určil pomocou osciloskopu hodnotu špičkového napätia a pomocou voltmetra som určil efektívnu hodnotu napätia.

- špičková hodnota napätia:  $U_0 = (11,2 \pm 0,4)\text{ V}$
- efektívna hodnota napätia:  $U_{ef} = (7,6 \pm 0,1)\text{ V}$

Závislosť usmerneneho napätia na filtračnej kapacite je znázornená v *grafe 1*. Pri kapacite  $C = 10\text{ mF}$  som pomocou osciloskopu určil hodnotu špičkového napätia

$$U_0 = (10,8 \pm 0,4)\text{ V} .$$

Závislosť filtračnej kapacity  $C$  a časovej konštanty  $t = R_z C$  na odoberanom prúde  $I_s$  (ak činiteľ filtrácie mal hodnotu  $k_f = 10$ ) sú znázornené v *grafe 2*.

Voltampérová charakteristika vákuovej diódy EZ 81 je znázornená v *grafe 3*; charakteristika Zenerovej diódy KZ 703 je znázornená v *grafe 4*. Pri prúde  $I = 20\text{ mA}$  v priepustnom smere som určil napätie na vákuovej a na Zenerovej dióde.

- vákuová dióda:  $U = (5,6 \pm 0,2)\text{ V}$

- Zenerova dióda:  $U = (0,55 \pm 0,05)\text{ V}$

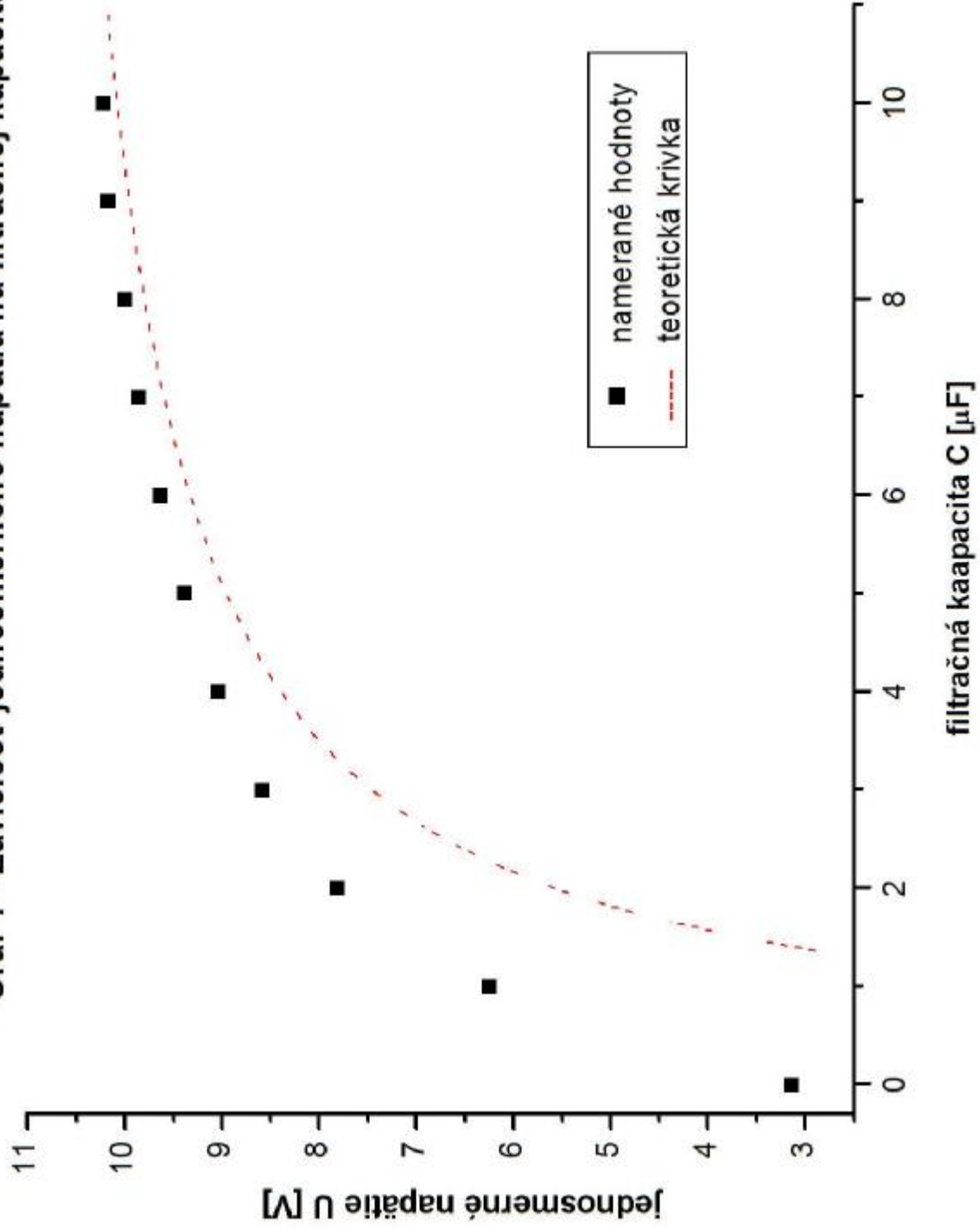
Pre Zenerovu diódu som určil aj Zenerovo napätie

$$U_z = (7,8 \pm 0,2)\text{ V}.$$

### **Literatúra:**

- [1] Bakule, J.; Štenberk: Fyzikálne praktikum II; SPN; Praha 1989
- [2] Englich, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000
- [3] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/205.htm>

Graf 1 - Závislosť jednosmerného napätia na filtračnej kapacite C





Graf 2 - Závislosť filtračnej kapacity C a časovej konštanty  $\tau$  na odoberanom prúde I

