

Zjišťování vybraných povrchových struktur pomocí skenovacího mechanismu a měření el. náboje a proudu

Surveys of selected surface structures using scanning mechanism and
the measurement of electrical charge and current

Bc. Lukáš Juřica

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš JUŘICA**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Zjišťování vybraných povrchových struktur pomocí
skenovacího mechanismu a měření el. náboje
a proudu, jejich aplikace v bezpečnostním průmyslu**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte doporučenou literaturu a další informační zdroje a vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte a z dostupných prostředků sestavte měřicí pracoviště.
3. Provedte skenování různých povrchových struktur s využitím měření elektrického náboje nebo proudu.
4. Posudte uvedenou techniku s ohledem na uplatnění v bezpečnostních aplikacích – např. snímání otisků prstů.
5. Navrhněte další využití výsledků práce pro praktické aplikace.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. SEDLÁČEK, M.: Zpracování signálů v měřicí technice. Dotisk 2. vyd. – Praha : ČVUT, 1999
2. REGTIEN P. P. L.: Measurement science for engineers, London and Sterling, VA, 2004
3. TUMANSKI, S.: Principles of Electrical Measurement, ISBN 0750310383, Taylor & Francis, 2006
4. FRADEN, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1996
5. HLADNI, I.: Inside Delphi 2006, ISBN 1598220039, Wordware publishing, 2006
6. PHYSIK INSTRUMENTE, User manual, dostupný z [http://www.pi-portal.ws/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=284&Itemid=261]
7. WITTE A., W.: Electronic test instruments — theory and application, Hewlett-Packard Company, 1993
8. DIETMEIER U.: Vzorce pro elektroniku, BEN 2007
9. SEDLÁK, Bedřich, ŠTOLL, Ivan. Elektřina a magnetismus. Baďura Aleš. 2. rozš. vyd. Praha 2 : Academia, 2002. 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
10. HORÁK, Zdeněk, KRUPKA, František. Fyzika : Příručka pro fakulty strojního inženýrství. Vlk Miloslav . 1. vyd. Praha 1 : STN- Nakladatelství technické literatury, 1966. 904 s. ISBN 04-017-66.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

7. června 2010

Ve Zlíně dne 19. února 2010


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá měřením povrchových struktur pomocí elektrického náboje a proudu. Je především zaměřena na sestavení měřicího pracoviště, na kterém bylo provedeno skenování různých povrchových struktur s využitím měření elektrického náboje a proudu. V praktické části jsou popsány měřicí experimenty na sestavené aparatuře.

Klíčová slova: Elektrický náboj, elektrický proud, otisk prstu, tichý výboj

ABSTRACT

This thesis deals with the measurement of surface structures using electrical charge and current. It focuses mainly on a creating of a measure workplace where we were scanning different surface structures using the measurement of electrical charge and current. Practical part describes experiments of measurement on the assembled device.

Keywords: Electrical charge, electrical current, fingerprint, silent discharge

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Milanovi Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a věcné připomínky, které mi poskytl při řešení této diplomové práce. A doc. RNDr. Voljtěchu Křesálkovi, CSc. za cenné teoretické poznatky, které mi poskytl při řešení praktické části.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 VYBRANÉ KAPITOLY Z OBLASTI ELEKTRINY | 11 |
| 1.1 ELEKTRICKÝ NÁBOJ..... | 11 |
| 1.1.1 Vlastnosti elektrického náboje | 11 |
| 1.1.2 Coulombův zákon..... | 13 |
| 1.2 INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE | 14 |
| 1.3 ELEKTRICKÝ POTENCIÁL | 15 |
| 1.4 ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ | 17 |
| 1.5 ELEKTRICKÝ PROUD | 18 |
| 1.5.1 Pojem elektrického proudu, hustota proudu | 18 |
| 1.6 OHMŮV ZÁKON | 21 |
| 2 MĚŘENÍ..... | 22 |
| 2.1 DEFINICE MĚŘENÍ..... | 22 |
| 2.1.1 Základní teorie měření | 23 |
| 2.2 MĚŘENÍ PROUDU | 24 |
| 2.3 MĚŘENÍ NAPĚTÍ..... | 25 |
| 3 VÝBOJ..... | 27 |
| 3.1 ROZDĚLENÍ VÝBOJŮ | 27 |
| 3.2 VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA PLYNU..... | 28 |
| 3.3 VÝBOJ ZA OBVYKLÉHO A ZVÝŠENÉHO TLAKU | 30 |
| 3.3.1 Tichý výboj | 30 |
| 3.3.2 Jiskrový výboj | 31 |
| 3.3.3 Obloukový výboj | 31 |
| 4 SNÍMAČE OTISKU PRSTU | 32 |
| 4.1 POUŽÍVANÉ DRUHY SNÍMAČŮ..... | 33 |
| 4.1.1 Optické senzory na základě odrazu (reflexní)..... | 33 |
| 4.1.2 Optické senzory na základě odrazu (reflexní) se skládáním obrazu | 34 |
| 4.1.3 Optické bezkontaktní snímače | 34 |
| 4.1.4 Transmisní optické snímače | 34 |
| 4.1.5 TFT optické snímače | 35 |
| 4.1.6 Elektrooptické snímače..... | 35 |
| 4.1.7 Kapacitní snímače | 35 |
| 4.1.8 Ultrazvukové snímače..... | 36 |
| 4.1.9 Tlakové snímače otisku prstu..... | 36 |
| 4.1.10 Rádiové snímače otisku prstu..... | 36 |
| 4.1.11 Teplotní snímače | 36 |
| 4.1.12 Elektroluminiscenční snímače..... | 37 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 38 |
| 5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ | 39 |
| 5.1 MERCURY C-862..... | 39 |
| 5.1.1 Zapojení | 40 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2 | MIKROPOSUV M-110. 1DG | 40 |
| 5.2.1 | Základní technická specifikace | 41 |
| 5.3 | ELEKTROMETR KEITHLEY 6517A | 41 |
| 5.3.1 | Přední panel..... | 42 |
| 5.4 | MĚŘICÍ HROTY A PLOŠKA..... | 43 |
| 5.4.1 | Měřicí hroty..... | 43 |
| 5.4.2 | Měřicí ploška..... | 45 |
| 6 | POUŽITÝ SOFTWARE | 46 |
| 6.1 | SOFTWARE PI MERCURY | 46 |
| 6.1.1 | Pracovní plocha | 47 |
| 6.2 | SOFTWARE POSUVY..... | 48 |
| 6.2.1 | Pracovní plocha | 49 |
| 7 | MĚŘENÍ..... | 51 |
| 7.1 | MĚŘENÍ ROZSAHU POSUVŮ | 51 |
| 7.2 | MĚŘENÍ NÁBOJE | 52 |
| 7.2.1 | Experiment č. 1..... | 52 |
| 7.2.2 | Experiment č. 2..... | 53 |
| 7.3 | MĚŘENÍ PROUDU | 55 |
| 7.3.1 | Experiment č. 3..... | 55 |
| 7.3.2 | Experiment č. 4..... | 60 |
| 7.3.3 | Experiment č. 5..... | 61 |
| | ZÁVĚR | 63 |
| | ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ..... | 65 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 67 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 69 |
| | SEZNAM TABULEK | 72 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 73 |

ÚVOD

V dnešní době patří mezi nejpoužívanější biometrické techniky rozpoznávání otisku prstu. Tato technologie je známá již mnoho let a je s oblibou používána hlavně pro relativní jednoduchost získání srovnávacího vzorku, pro vysoké procento použitelné populace, dále pro četnost zdrojů. Pro tyto účely bylo již vyvinuto mnoho snímačů založených na různých metodách sejmutí otisků prstů, jako jsou např. optické, kapacitní, tepelné snímače atd.

V této práci jsme se snažili najít způsob, jak detekovat různé povrchové struktury nebo nečistoty zanesené na zkoumaný povrch, například při zanechání otisku prstu. Vycházel jsem z poznatků diplomové práce, která byla podobně zaměřená a zabývala se měřeními kontaktního potenciálu [21]. V naší práci jsme měřili změny náboje a elektrického proudu za účelem tyto nerovnosti detekovat a tím navrhnout nový způsob snímání otisků prstů. Praktická část práce obsahuje sérii měření, které jsou označeny názvem „Experiment č. 1 až 6. U jednotlivých měření je uveden jejich podrobný popis.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VYBRANÉ KAPITOLY Z OBLASTI ELEKTŘINY

1.1 Elektrický náboj

Pojem elektrický náboj bývá používán ve dvou významech. Vyjadřuje jednak určitý stav elektricky nabitých těles, nebo fyzikální veličinu, která je mírou tohoto stavu.

Pokud jde o první význam, pojem elektrický náboj vznikl v historii fyziky a vychází z představy elektřiny jako jakési nevážitelné látky, fluida, které se přenáší z tělesa na těleso. V současné době je tato představa dávno překonána, protože víme, že elektrický náboj je vždy vázán na částici látky a sám o sobě tedy neexistuje. Pro stručnější vyjadřování však často místo správného termínu „částice s elektrickým nábojem“ říkáme „elektrický náboj“ nebo jen „náboj“.

Pokud se jedná o druhý význam, elektrický náboj je skalár, značí se písmenem Q a jeho jednotka v soustavě SI je coulomb [C]. Protože 1 coulomb představuje poměrně velký elektrický náboj, používáme často dílčí jednotku mikrocoulomb [μC]. [12]

1.1.1 Vlastnosti elektrického náboje

Elektrický náboj ve významu určitého stavu elektricky nabitých těles má řadu experimentálně ověřených vlastností.

Elektrický náboj je možné přenášet z povrchu jednoho tělesa na povrch jiného tělesa. Jev, při kterém těleso získává elektrický náboj, je nazýván elektronování tělesa. K měření elektrického náboje na tělese slouží elektrometr. Elektrický náboj se také může přemísťovat v jednom tělese. Látky, ve kterých se náboj přemísťuje snadno, jsou nazývány vodiče. Látky, ve kterých nedochází k přemísťování náboje, jsou izolanty neboli dielektrika.

Existují dva druhy náboje, jeden bývá označován jako kladný, druhý jako záporný. Toto značení bylo stanoveno dohodou. Elektrický náboj je dělitelný. Podle současných představ však existuje nejmenší elektrický náboj, který již nelze dále dělit. Nazývá se elementární náboj a značí se písmenem e . Nosiči elementárního náboje jsou protony a elektrony. Elementární náboj protonu je kladný, elektronu záporný, přičemž velikost elementárního náboje je:

$$e=1,602*10^{-19}\text{C}$$

Každý atom představuje soustavu kladných nábojů $+e$ umístěných v jádře atomu a soustavu záporných nábojů $-e$ rozmístěných v elektronovém obalu. Atom je navenek elektricky neutrální, je-li v něm počet nábojů $+e$ a $-e$ stejný. Podobně je elektricky neutrální těleso, jehož všechny náboje $+e$ jsou kompenzovány stejným počtem v tělese rovnoměrně rozmístěných nábojů $-e$. [12]

Elektrony v elektronovém obalu atomu jsou vázány elektrickými silami k jeho jádru. Odpoutá-li se z obalu jeden nebo více elektronů, vzniká z původně neutrálního atomu kladný ion, připojí-li se k obalu jeden nebo více elektronů, vzniká záporný ion. Poměrně malými silami jsou vázány k atomovému jádru elektrony nejvíce vzdálené od jádra. U kovů se tyto elektrony snadno od atomu odpoutávají a vznikají tak volné elektrony.

Při těsném styku dvou těles dochází k přemísťování elektronů z tělesa na těleso. Těleso s nadbytkem volných elektronů se pak nabíjí záporně, těleso, jemuž se elektronů nedostává, se nabíjí kladně. Při tom se celkový elektrický náboj na obou tělesech nemění. Platí zákon zachování elektrického náboje: V elektricky izolované soustavě je celkový elektrický náboj stálý. Elektrický náboj nelze tedy ani tvořit ani zničit, lze ho jen přemísťovat.

Těleso s elektrickým nábojem působí silou na jiná tělesa, a to na tělesa z elektrovaná i na tělesa elektricky neutrální. Dvě tělesa se souhlasným náboji se navzájem odpuzují, dvě tělesa s nesouhlasnými náboji se navzájem přitahují. Rovněž se navzájem přitahují těleso zelektrizované a neelektrické. [12]

1.1.2 Coulombův zákon

Dva bodové náboje v klidu se navzájem přitahují nebo odpuzují stejně velikými elektrickými silami opačného směru. Velikost každé této síly je přímo úměrná absolutní hodnotě součinu nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

Coulombův zákon:

$$F_e = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} \quad 1)$$

kde Q_1 a Q_2 jsou velikosti nábojů, r je jejich vzdálenost a k je konstanta. Velikost konstanty- k v Coulombově zákoně závisí na vlastnostech prostředí, v němž na sebe náboje působí,

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad 2)$$

kde ϵ je permitivita prostředí a platí:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad 3)$$

ϵ_0 je permitivita vakua, ϵ_r je relativní permitivita. Vztah pro Coulombův zákon je analogický Newtonovu gravitačnímu zákonu, ale velký rozdíl je ve velikosti sil, protože elektrické síly jsou na rozdíl od nepatrných gravitačních sil značně velké, navíc gravitační síla je jen přitažlivá. V jiném prostředí než ve vakuu na sebe vždy dva náboje působí ϵ_r krát menší silou než ve vakuu. [12]

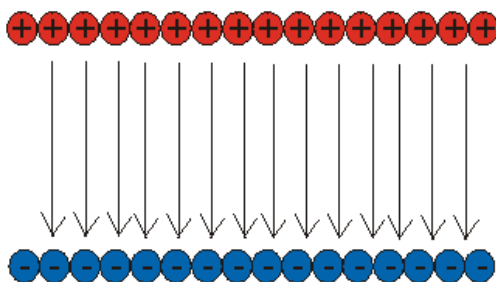
1.2 Intenzita elektrického pole

Intenzitu elektrického pole E v daném místě pole definujeme jako podíl síly F_e , která působí na kladný bodový náboj Q_0 , a velikosti tohoto náboje Q_0 .

Jednotkou je $N \cdot C^{-1}$ (newton na coulomb). Intenzita je vektorová veličina, jejíž velikost určíme:

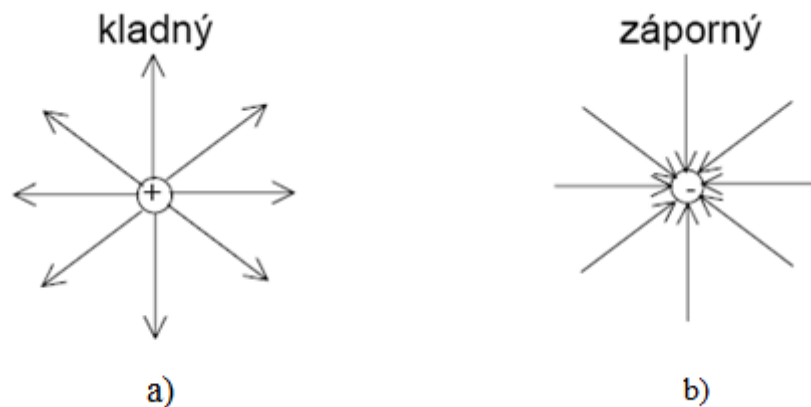
$$E = \frac{F_e}{Q_0} \quad 4)$$

Intenzita elektrického pole E má stejný směr jako elektrická síla F_e působící v daném místě pole na kladný bodový náboj Q_0 . Má-li vektor intenzity E ve všech místech elektrického pole stejný směr i velikost, jde o stejnorodé (homogenní) elektrické pole. Homogenní pole je např. mezi dvěma nesouhlasně nabitými rovnoběžnými deskami.



Obr. 1 Homogenní elektrické pole

V okolí bodového elektrického náboje je radiální elektrické pole, jehož intenzita E má v různých místech směr paprsků z náboje vystupujících (kladný náboj) obr. 2a), nebo do něho vstupujících (záporný náboj) obr. 2b). Zavedením intenzity elektrického pole E vytváříme matematický model zvaný vektorové pole. [12]

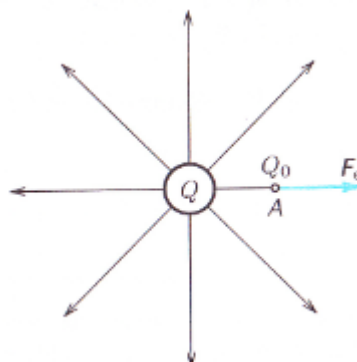


Obr. 2 Radiální elektrické pole náboje a) kladného, b) záporného

1.3 Elektrický potenciál

Druhá veličina, důležitá pro popis vlastností elektrického pole, je elektrický potenciál φ . Je to skalár, který určíme pomocí práce vykonané při přemístování elektrického náboje v elektrickém poli. Elektrický potenciál φ_A v bodě A elektrického pole v okolí náboje Q definujeme jako podíl práce W, kterou vykonají síly elektrického pole při přemístování kladného bodového náboje Q_0 z bodu A do místa nulové intenzity, Obr. 3. Tedy platí:

$$\varphi_A = \frac{W}{Q_0} \quad 5)$$

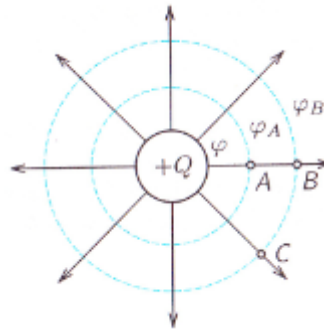


Obr. 3 Elektrický potenciál [12]

Jednotkou elektrického potenciálu je volt [V]. Z definičního vztahu 5) vyplývá, že $1 \text{ V} = 1 \text{ J.C}^{-1}$.

Elektrické pole má v daném místě potenciál 1 V, jestliže síly elektrického pole vykonají při přemístění náboje 1 C z tohoto místa do místa nulové intenzity práci 1 J.

Množina bodů, které mají v elektrickém poli stejný elektrický potenciál φ , tvoří hladinu potenciálu neboli ekvipotenciální plochu. Kolmo k ekvipotenciálním plochám probíhají elektrické siločáry.[12]

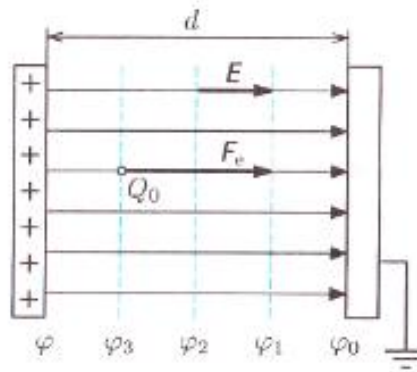


Obr. 4 Ekvipotenciální plochy radiálního elektrického pole[12]

U radiálního pole bodového náboje nebo náboje rovnoměrného na kulovém vodiči tvoří ekvipotenciální plochy soustředné kulové plochy Obr. 4. Elektrický potenciál φ na ekvipotenciální ploše o poloměru r je dán vztahem

$$\varphi = \frac{kQ}{r} \quad 6)$$

Ekvipotenciální plochy u homogenního pole mezi dvěma rovnoběžnými kovovými deskami jsou roviny s těmito deskami Obr. 4. Je-li jedna deska nabitá kladně a druhá je uzemněná, je hladina nejvyššího potenciálu φ na kladné desce a hladina nulového potenciálu φ_0 na desce uzemněné.[12]



Obr. 5 Ekvipotenciální plochy homogenního elektrického pole [12]

1.4 Elektrické napětí

Jestliže v bodě A elektrického pole je potenciál φ_A , v bodě B potenciál φ_B Obr. 5, pak jejich rozdíl $\varphi_A - \varphi_B$ určuje elektrické napětí U . Elektrické napětí, definujeme jako rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma body elektrického pole:

$$U = \varphi_a - \varphi_B \quad 7)$$

Elektrické napětí měříme ve stejných jednotkách jako potenciál, tedy v jednotkách voltů [V].

Elektrické napětí je možné určit také jako podíl práce W vykonané při přemístování kladného elektrického náboje Q_0 mezi body A a B elektrického pole tohoto náboje Q_0 . Tedy

$$U = \varphi_a - \varphi_B = \frac{W}{Q_0} \quad 8)$$

Změříme-li elektrické napětí U mezi dvěma rovnoběžnými vodivými deskami, můžeme určit velikost intenzity E homogenního elektrického pole mezi deskami. Vztah mezi veličinami U a E vyplývá z následující úvahy Obr. 5.

Jestliže se přemístí kladný bodový náboj Q_0 působením elektrické síly o velikosti $F_e = Q_0 E$ z kladné desky na uzemněnou desku po dráze d , vykoná elektrické pole práci $W = F_e d = Q_0 E d$. Protože potenciál kladné desky je

$$\varphi = \frac{W}{Q_0} = \frac{Q_0 E d}{=Q_0} = E d \quad 9)$$

a potenciál uzemněné desky je $\varphi_0=0$, je elektrické napětí mezi deskami $U=\varphi-\varphi_0 = E d-0=E d$.
Pro homogenní elektrické pole tedy platí vztah

$$U = E d \quad 10)$$

Vyjádříme-li napětí U ve voltech a vzdálenost d v metrech, dostaneme ze vztahu $E=U/d$ jednotku intenzity elektrického pole volt na metr [$V \cdot m^{-1}$]. [12][10]

1.5 Elektrický proud

1.5.1 Pojem elektrického proudu, hustota proudu

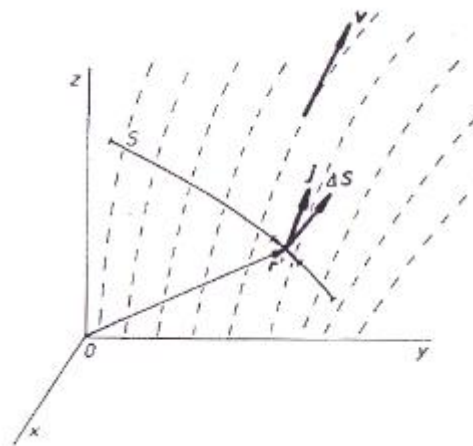
Samotné přemísťování elektrického náboje se nazývá elektrický proud. Pro jeho kvantitativní zavedení předpokládáme, že pozorování je prováděno v určité inerciální soustavě, ve které je dána pevná orientovaná plocha S Obr. 6. Můžeme si představit, že v prostoru dochází k pohybu nositelů náboje, z nichž některé prochází uvažovanou plochou S . Projde-li v časovém intervalu Δt touto plochou v kladném směru náboj ΔQ , definujeme veličinu.

$$I_{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad 11)$$

kteřou nazýváme průměrným proudem. Limitní hodnotu

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad 12)$$

označíme jako okamžitý proud tekoucí plochou S .



Obr. 6 K definici proudu a jeho hustoty [9]

Obecně je třeba považovat proud za funkci času. Je-li proud skutečně s časem proměnný, mluvíme o nestacionárním proudu, proud časově neproměnný nazýváme proudem stacionárním. Množství náboje Q , které proteče danou plochou v konečném časovém intervalu $(0,t)$, je dáno vztahem

$$Q = \int_0^t I(t) dt, \quad (13)$$

který se v případě stacionárního proudu redukuje na prostý součin

$$Q = It. \quad (14)$$

Proud je skalární veličina, která může nabývat kladných i záporných hodnot. Kladný je tehdy, protéká-li v kladném směru kladný náboj. Jestliže přitom vytéká z jednoho objemu a vtéká do druhého, znamená pravá strana rovnice 11) přírůstek náboje za jednotku času v objemu, z něhož náboj vytéká. Průchod kladného náboje jedním směrem je ekvivalentní průchodu záporného náboje opačným směrem.[9]

Přejdeme k definici hustoty proudu. Hustotou proudu rozumíme vektorovou veličinu $\mathbf{j}(\mathbf{r})$, definovanou v každém bodě ploch S protékané proudem, která popisuje rozložení proudu na této ploše. Proud I_i , tekoucí libovolnou částí S_i plochy S , lze vyjádřit vztahem

$$I_i = \int_{S_i} j \cdot dS, \quad 15)$$

který můžeme považovat za integrální definiční rovnici hustoty proudu. Z významu hustoty proudu vyplývá, že proud ΔI , tekoucí velmi malou ploškou ΔS a tvořící část plochy s , bude možno přibližně vyjádřit vztahem (viz obr. 6)

$$\Delta I = j(r') \cdot \Delta S, \quad 16)$$

ve kterém r' představuje libovolný bod plošky ΔS . Ve speciálním případě, kdy má proudová hustota ve všech bodech plochy stejnou velikost a směr, se redukuje integrál (3,5) na prostý součin

$$I = j \cdot S. \quad 17)$$

Hustota proudu reprezentuje nové vektorové pole. Z tohoto, co o ní víme, je zřejmé, že její orientace udává v daném bodě kladný směr proudu a její velikost vyjadřuje velikost proudu připadající na jednotku plochy. Hustota stacionárního proudu zřejmě nezávisí na čase, zatímco nestacionárního proudu je explicitní funkcí času.[9]

Pro popis rozložení proudu ve vodiči je výhodné zavést pojmy analogické těm, které se užívají pro popis rozložení elektrického pole. Proudovou čarou rozumíme křivku, jejíž tečny mají vždy směr hustoty proudu. Proudovou trubicí rozumíme část prostoru vymezenou plochou, tvořenou proudovými čarami. Touto plochou, která tvoří plášť trubice, tedy neprotéká žádný proud. [9][8]

Jednotkou proudu v Mezinárodní soustavě jednotek je ampér (A), který je v této soustavě základní jednotkou a je definován pomocí magnetických účinků proudu. Vztah mezi ampérem a jednotkou náboje coulombem je dán výrazem (12), respektive (13). Jeden coulomb je takové množství náboje, které proteče danou plochou za jednu sekundu, jestliže touto plochou teče proud jednoho ampéru. Jednotkou hustoty objemového proudu je podle (15) až (17) ampér na metr čtvereční ($A \cdot m^{-2}$). [9]

1.6 Ohmův zákon

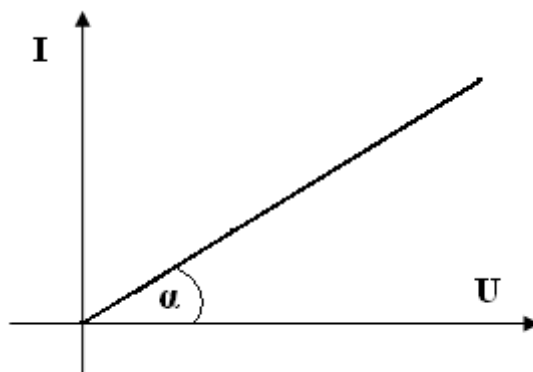
G. S. Ohm roku 1826 experimentálně ukázal, že proud I ve vodiči je lineární funkcí napětí U na konci vodiče tj., že platí

$$I = GU. \quad 18)$$

Konstanta úměrnosti G je číselně rovna proudu, je-li potenciálový rozdíl na koncích vodiče 1 V, a nazývá se elektrická vodivost vodiče. Její převrácená hodnota $1/G$ se nazývá elektrický odpor vodiče a značí se R , takže vztah 18) lze psát ve tvaru

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{nebo} \quad U = IR \quad 19)$$

Tyto vztahy jsou matematickým vyjádřením Ohmova zákona. Z nich plyne úměrnost mezi proudem procházejícím vodičem a napětím na jeho koncích. Toto napětí se také nazývá úbytek napětí na odporu R nebo úbytkové napětí.



Obr. 7 Grafické znázornění Ohmova zákona

2 MĚŘENÍ

2.1 Definice měření

Měření v širším slova smyslu slova zahrnuje široký obor, zasahující prakticky do všech vědních a technologických disciplín. Rozvoj elektrotechniky podmiňuje vznik nových měřicích přístrojů, které tvoří základ elektronických měření.

Význam elektronických měření není třeba zdůrazňovat, neboť tvoří základ při odvozování kvantitativních vztahů všech experimentálních prací, vědeckých pokusů a konfrontace teoretických poznatků s praxí.

Na měření se můžeme dívat jako na činnost, při které určujeme velikost fyzikální veličiny ve zvolených jednotkách. Výsledkem této činnosti je číselné vyjádření měřené veličiny, udávající počet jednotek v ní obsažených. Jednotky musí být buď vždy přesně a jednoznačně definovány jako fyzikální konstanty, nebo jsou vztaženy k mezinárodně stanovené jednotce.

Jednotky nezávislé na ostatních považujeme za základní. Ostatní jednotky jsou odvozené od základních jednotek tak, aby jejich vzájemný vztah byl co nejjednodušší a číselné faktory byly rovny jedné. Takto stanovené jednotky tvoří měrovou soustavu.

U nás je zavedena měrová soustava SI (Système International d' Unités) sedmi základních jednotek (metr, kilogram[kg], sekunda[s], ampér[A].....).

Mezi odvozené jednotky využívané v elektrotechnice patří například: volt[V], ohm[Ω], coulomb [C].

Měrová soustava SI vychází z absolutních mezinárodních normálů. Je koherentní a racionalizovaná. Její důsledné používání v technické praxi vede k jednoznačnému zápisu a vyjádření experimentálních výsledků získaných různými pracovníky. Výsledky měření mohou být mezi sebou spolehlivě a jednoznačně porovnány a kontrolovány. [15]

Velikost změřené veličiny závisí na zvolené jednotce. Zvolíme-li pro danou veličinu jednotku k-krát menší, bude její velikost k-krát větší a naopak. Dílčí nebo násobné jednotky se odvozují z jednotek hlavních připojováním předpon:

| Předpona | | Číselný ekvivalent | |
|--------------|--------|-----------------------|--------------------|
| Název | Značka | Desetinný tvar | Exponenciální tvar |
| tetra | T | 1 000 000 000 000 | 10^{12} |
| giga | G | 1 000 000 000 | 10^9 |
| mega | M | 1 000 000 | 10^6 |
| kilo | k | 1 000 | 10^3 |
| hekto | h | 100 | 10^2 |
| deka | Da | 10 | 10^1 |
| deci | d | 0,1 | 10^{-1} |
| centi | c | 0,01 | 10^{-2} |
| mili | m | 0,001 | 10^{-3} |
| mikro | μ | 0,000 001 | 10^{-6} |
| nano | n | 0,000 000 001 | 10^{-9} |
| piko | p | 0,000 000 000 001 | 10^{-12} |
| femto | f | 0,000 000 000 000 001 | 10^{-15} |

Tab. 1 Násobky jednotek

2.1.1 Základní teorie měření

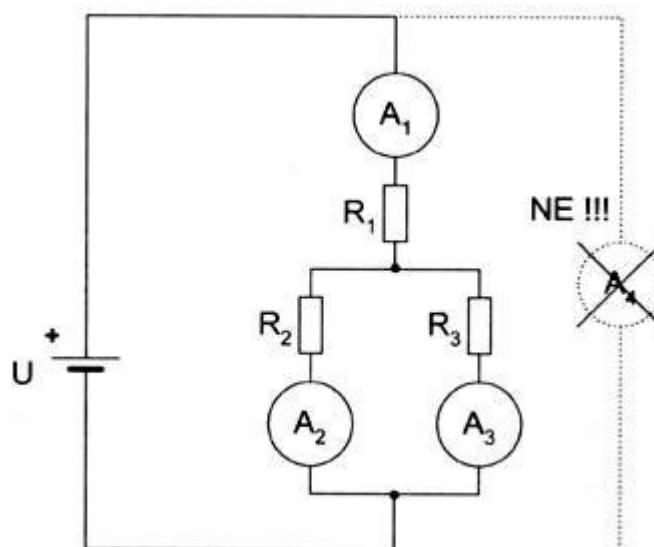
Každé měření je proces, na kterém se podílí: měřený objekt (k němuž přiřazujeme číselnou měřenou veličinu), měřicí přístroj (obsahuje snímač měřené veličiny, měnič transformující vhodně měřenou veličinu pro konkrétní identifikaci a indikátor) a operátor. Měření vždy probíhá v určitém čase, při vhodně definovaných podmínkách a v určitém prostředí. Všechny tyto činitele více či méně ovlivňují proces měření. Proto nemůže být měření v žádném případě dokonale přesné, neboť i při pečlivém dodržení všech podmínek přesného měření samostatným měřením do jisté míry měníme měřenou veličinu. Vzniklé veličiny vyjadřuje chyba měření.[15]

2.2 Měření proudu

K měření elektrického proudu bývá využíván přístroj nazývaný ampérmetr. Ampérmetr bývá zapojen vždy do série s prvkem v obvodu, u kterého je požadováno změření proudu. Na obr. 8 měří ampérmetr A1 celkový proud obvodu, ampérmetr A2 proud tekoucí rezistorem R2 a ampérmetr A3 proud rezistoru R3.

Ampérmetr by neměl mít na obvod žádný vliv, úbytek napětí, který na něm při průchodu proudu vzniká, by měl být velmi malý. Proto musí mít ampérmetr co nejmenší vnitřní odpor, a tak se nesmí nikdy ampérmetry zapojovat do obvodu paralelně. Zapojíme-li ampérmetr jak je uvedeno na obr. 8 (ampérmetr A4) může dojít k jeho rychlému zničení, protože v tomto případě měříme zkratový proud zdroje, který většinou ampérmetr spálí.[11]

Jestliže budeme chtít zjistit vnitřní odpor ampérmetru, musíme nastavit na přístroji jeho maximální výchylku a milivoltmetrem změnit úbytek napětí mezi svorkami přístroje. Z těchto hodnot pak pomocí Ohmova zákona vnitřní odpor měřicí cívky snadno vypočítáme. Vnitřní odpor mikroampérmetrů bývá 100 až 1000 Ω , se zvyšujícím se proudovým rozsahem přístroje klesá. Ampérmetry pro měření proudu v jednotkách ampérů mají vnitřní odpor desetiny až setiny ohmů.[11][14]



Obr. 8 Sériové připojení ampérmetru do měřeného obvodu[11]

Chceme-li ampérmetr zapojit do obvodu, o kterém nevíme, jak velký proud jím prochází, navolíme na přístroji co nejvyšší rozsah a až po připojení obvodu ke zdroji nastavíme nižší rozsah.

Pro měření stejnosměrných proudů se v dnešní době používají především soustavy magnetoelektrické. Nejcitlivější galvanometry jsou schopny měřit proud 10^{-11} A. Běžné ampérmetry se vyrábějí pro měření proudů od $1\mu\text{A}$ do cca 10kA.

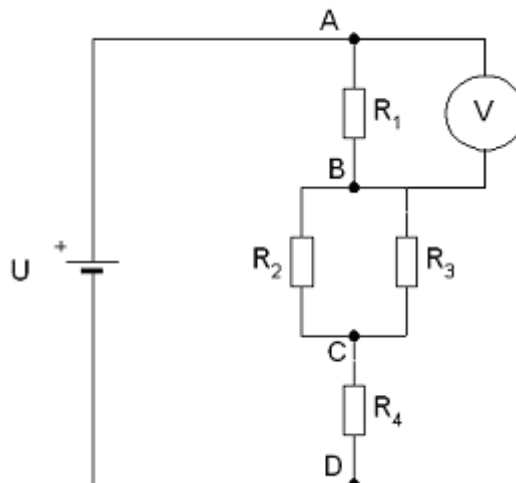
Nejvyšší přesnost magnetoelektrických stejnosměrných ampérmetrů bývá 0,2, třída přesnosti 0,1 se vyskytuje pouze u nepřesnějších laboratorních přístrojů. [11][14][2]

2.3 Měření napětí

Elektrické napětí patří mezi nejčastěji měřené veličiny, hodnotu napětí měříme ve voltech [V] nebo ve zlomcích či násobcích této jednotky. Běžně jsou měřené hodnoty od 10^{-9} V (nanovolty) až do 10^3 V (kilovolty). Elektrické napětí bývá měřeno převážně voltmetry.

Zapojují se vždy paralelně k prvku obvodu, na němž chceme velikost napětí měřit. Požadujeme-li zjistit napětí na rezistoru R1 v obvodu na obr. 9 zapojíme voltmetr mezi bod A a B, jestliže chceme zjistit napětí na paralelně zapojených rezistorech R2 a R3, připojíme voltmetr mezi bod B a C. Zapojíme-li voltmetr mezi bod A a D změříme napětí v celém obvodu. [11]

Voltmetr zapojený do měřicího obvodu má mít co nejmenší vliv na velikost proudu, který obvodem prochází, proto musí mít co největší vnitřní odpor. [11]



Obr. 9 Paralelní připojení voltmetru do měřeného obvodu[11]

Pro měření stejnosměrných napětí řádově od desetin V do stovek V bývají používány většinou analogové magnetoelektrické voltmetry nebo číslicové voltmetry. Rozsah magnetoelektrických voltmetrů je obvykle řádově od desítek mV až do 1000 V a jejich vstupní odpor bývá řádově od stovek Ω/V až do desítek $k\Omega/V$. Pro napětí nižší než desetiny V nebo při požadavku vysokého vstupního odporu se používají vhodné vstupní děliče. Pro měření napětí, které je vyšších než stovky V je nutné vzhledem k bezpečí obsluhy využít odporový dělič a obvod uzemnit. Běžné číslicové voltmetry či multimetry bývají používány, jako samostatné přístroje mají obvykle nejnižší rozsah stovky mV s rozlišením jednotky μV (kvalitní laboratorní přístroje) až stovky μV (servisní ruční multimetry). Jejich vstupní odpor bývá $10 M\Omega$ či vyšší.[11][14] [15]

3 VÝBOJ

Plyny jsou za normálních podmínek velmi dobrými izolanty. Aby byl plyn vodivý, musí obsahovat volné částice s nábojem a být ve vnějším elektrickém poli. Vodivými se plyny stávají ionizací: dodáním energie se některé molekuly plynu rozštěpí na volný elektron a kation. Uvolněné elektrony se mohou připojovat k neutrálním molekulám a vytvářet tak anionty. Elektrický proud v plynech tvoří kladné i záporné ionty a volné elektrony. Energie potřebná k rozštěpení molekuly se nazývá ionizační energie – bývá většinou udávána v elektronvoltech ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; např. pro vodík 13,5 eV, pro kyslík 15,6 eV).

Zároveň s ionizací probíhá v plynu i opačný děj, zvaný rekombinace. Nesouhlasně nabitě částice se přitahují a vytvářejí opět neutrální molekuly. Pokud převyšuje ionizace rekombinaci, zvyšuje se počet ionizovaných molekul a tedy i vodivost; pokud je tomu opačně, tak se vodivost zmenšuje. Pokud se ionizovaný plyn nachází v elektrickém poli mezi dvěma elektrodami, vznikne elektrický proud jako uspořádaný pohyb kationtů k záporně nabitě katodě, aniontů a elektronů ke kladně nabitě anodě (ionty, které dorazí na elektrody, ztrácejí svůj náboj a mění se v neutrální molekuly). Děj, kdy elektrický proud prochází plynem, se nazývá výboj.[22]

3.1 Rozdělení výbojů

a) nesamostatný výboj – vznik iontů a elektronů je způsoben cizím zdrojem – ionizátorem, elektrický proud prochází pouze za přítomnosti tohoto ionizátoru; skončí-li ionizátor působit, převládne rekombinace nad ionizací a výboj zaniká;

b) samostatný výboj – při tomto výboji není zapotřebí vnějšího ionizátoru, výboj si udržuje sám potřebný počet nositelů náboje, ionty vznikají samovolně; převládá ionizace narázem, většinou bývá doprovázena světelnými a zvukovými efekty.

V bodě a) je ionizace plynu vyvolána ionizačními činidly:

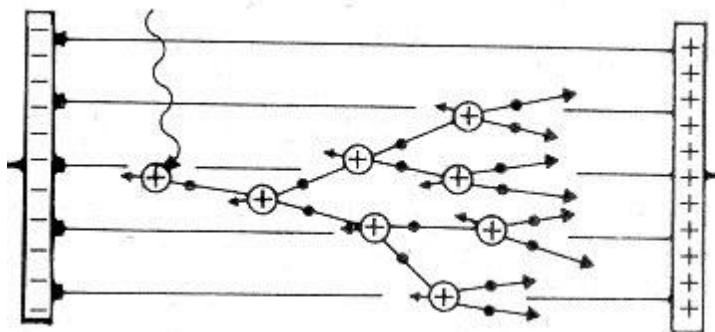
ionizace zářením – ionizátorem jsou různé druhy záření (UV záření, RTG záření, radioaktivního záření),

tepelná ionizace – ionizace vzniká při zahřátí plynu na vysokou teplotu (plamen, topná spirála).

V případě b) probíhá:

ionizace nárazem – ionty nebo elektrony urychlené elektrickým polem narážejí na dosud neutrální molekuly (atomy) a ty jsou rozděleny na nabitě částice, počíná lavinová ionizace

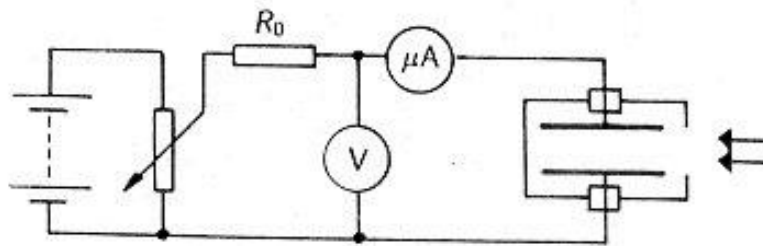
Obr. 10. Vysoce ionizovaný plyn při samostatném výboji se nazývá plasma. Obsahuje přibližně stejný počet nábojů kladných a záporných, takže je navenek elektricky neutrální. Plasma je např. přítomné v nitru a v atmosféře hvězd, ve sluneční koróně apod.[22]



Obr. 10 Lavinová ionizace [22]

3.2 Voltampérová charakteristika plynu

Elektrické vlastnosti ionizovaného plynu mohou být měřeny v ionizační komoře (deskový kondenzátor, do jehož prostoru mezi deskami vniká ionizační záření; v závislosti na napětí mezi deskami se měří proud procházející plynem, Obr. 11. Výsledná závislost je na obr. 12. V závislosti na napětí U lze rozlišit tři odlišné části křivky. [13]

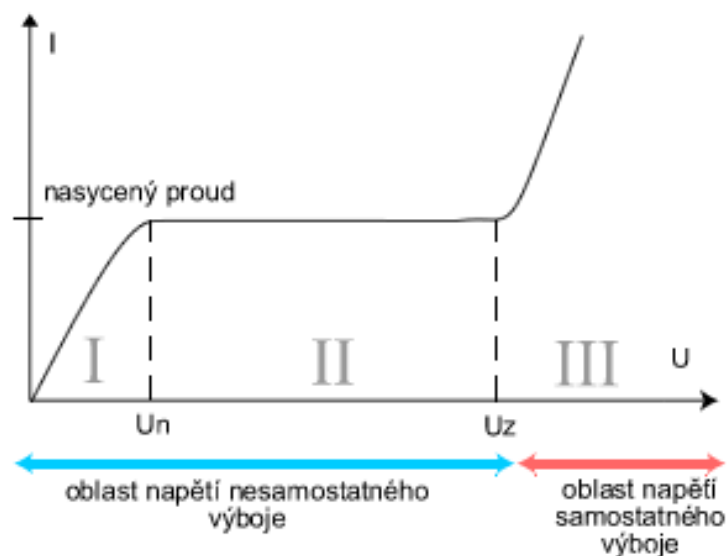


Obr. 11 Ionizační komora (deskový kondenzátor) [22]

Oblast I: Postupně zvyšujeme napětí na elektrodách – zvyšuje se i proud v obvodu a to přímo úměrně – platí Ohmův zákon. (ionizátor ionty vytváří, ty ale také rekombinují)

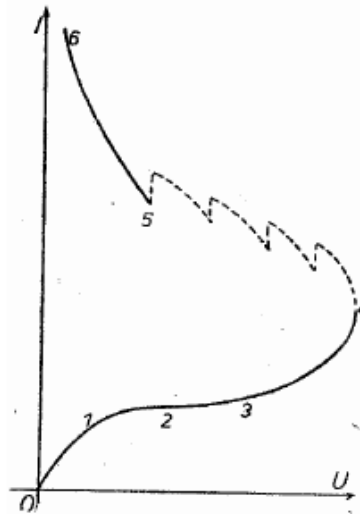
Oblast II: Při napětí U_n je rychlost iontů tak velká, že téměř nerekombinují a výboje se zúčastní prakticky všechny z ionizované částice. Při dalším zvyšování napětí proud už neroste – neplatí Ohmův zákon. Proud se nazývá nasycený.

Oblast III: Při napětí U_z (zápalné, asi 10^6 V/m pro vzduch) vznikne samostatný výboj – napětí je tak velké, že urychluje ionty natolik, že dokážou nárazy ionizovat ostatní molekuly. (pro větší napětí než zápalné by se proud udržel i bez ionizátoru)



Obr. 12 Voltampérová charakteristika plynu

3.3 Výboj za obvyklého a zvýšeného tlaku



Obr. 13 Výboj v závislosti na napětí [16]

Při normálním tlaku je zapotřebí velké intenzity elektrického pole (v řádu asi 106 V/m), aby mohlo dojít ke vzniku ionizace nárazem. Nyní budeme zkoumat výboje v závislosti na napětí v Obr. 13. V části křivky 3–4 můžeme vidět vznik tichého výboje (neboli: Townsendůva výboje), který se projevuje světélkováním plynu a slabým šelestem na elektrodách. Tichý výboj není sám od sebe stabilní; udrží se, když do obvodu zařadíme větší omezující odpor. Není-li tento odpor dostatečně veliký, roste ionizace nárazem lavinovitě a může při určitém vhodném napětí zasáhnout celý prostor, čímž vzniká výboj jiskrový (část 4–5). Zmenšíme-li omezující odpor ještě více a je-li výkon zdroje dostatečně veliký, změní se výboj jiskrový na výboj obloukový (úsek 5–6). Důležitou podmínkou obloukového výboje je zesílená emise při povrchu katody. Napětí, které je zapotřebí, k udržení oblouku je ovšem podstatně menší než při výboji jiskrovém. Samostatný výboj za normálního tlaku má tedy tři typy; níže popíšeme jednotlivé typy výboje podrobněji.[16][22]

3.3.1 Tichý výboj

V blízkosti nabitých vodičů je zvláště velká intenzita elektrického pole tam, kde má povrchová vrstva malý poloměr křivosti, zvláště tedy u hrotů. Veliká intenzita elektrického pole může vést k tomu, že v okolním plynu nastane ionizace nárazem, a tím dojde k výboj.

Tento tichý výboj má ve vzduchu červeně fialové zabarvení, vzniká např. na stožárech lodí nebo hrotech věží (Eliášovo světlo), projevuje se světélkováním a jiskřením. Také na dálkovém vedení elektrického proudu (při napětích nad 100 000 V) nastává tichý výboj, tak zvaná koróna. Koróna způsobuje značné ztráty energie, jsou-li dráty vedení příliš tenké; užívá se proto dutých vodičů, neboť při téměř odporu mají menší křivost. [16]

3.3.2 Jiskrový výboj

Jiskrový výboj je krátkodobý samostatný výboj, který vzniká při vysokém napětí mezi dvěma vodiči za atmosférického tlaku a je doprovázen zvukovými a světelnými efekty. Jiskra má podobu jasně svítících rozvětvlujících se kanálků, ve kterých dochází k ionizaci při teplotě až 30 000 K. Nejznámějším jiskrovým výbojem je blesk, kterým se vyrovnává napětí (miliony voltů) mezi dvěma mraky nebo mezi mrakem a zemí.

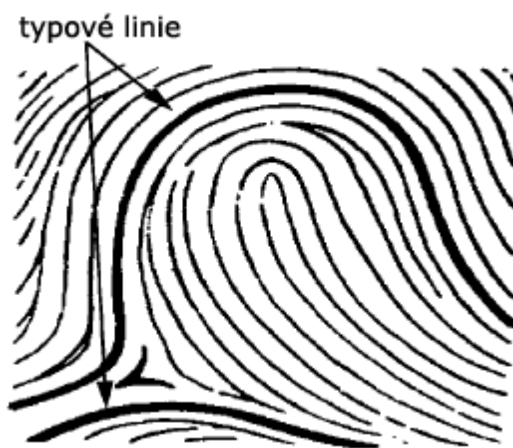
3.3.3 Obloukový výboj

Oblouk vzniká po krátkém dotyku obou elektrod, při kterém se jejich konce proudem rozžhaví, a po mírném oddálení elektrod od sebe. Mezi elektrodami se vytvoří následkem vysoké teploty (asi 6000 °C) vrstva silně ionizovaného vzduchu. Elektricky nabitě částice, které se pohybují velmi rychle již vlivem vysoké teploty, jsou ještě dále urychlovány elektrickým polem a svou energii přenášejí při srážkách i na neutrální molekuly. Další nositelé náboje vznikají termoemisí, podobně jako v elektronkách (viz dále). Rozžhavaná katoda emituje elektrony, které s sebou odnášejí i částičky uhlíku, proto se katoda během doby zahrocuje, kdežto anoda se vlivem dopadajících iontů a elektronů prohlubuje a tvoří se na ní kráter. Kráter anody má teplotu asi 3 500 až 3 900 °C a je hlavním zdrojem obloukového světla (asi 85 %), kdežto na katodu připadá jen 10 % a na vlastní oblouk 5 %. Teplota katody je 2 700 až 3 150 °C, kdežto oblouk má teplotu asi 4 800 až 5 000 °C. [16][22]

4 SNÍMAČE OTISKU PRSTU

Technologie otisku prstu, je v současné době jedna z nejpoužívanějších biometrických identifikačních metod a má mnohaletou historii, z níž ta nejvýznamnější, a nejznámější je ve forenzní sféře. Daktyloskopie je již nedílnou součástí mnoha vyšetřování kriminálních činů a díky této metodě bylo odhaleno mnoho kriminálních činů. V této době počítačové techniky se stala metoda získávání otisků zcela automatizovaná. Identifikace otisku prstu je s oblibou používána hlavně pro relativní jednoduchost získání srovnávacího vzorku, pro vysoké procento použitelné populace, dále pro četnost zdrojů ze, kterých lze získat vzorek, a také protože jde o používanou metodu která má velkou databázi u policie.

Každý člověk má specifický otisk prstu, který tvoří obrazce papilárních linií na vnější straně prstů rukou, nohou a dlaní. Na hranici pokožky a škály jsou škárové papily, které vyživují pokožku. Kvůli dosažení větší plochy, kterou do pokožky pronikají živiny, jsou silně zvlněné. Vzorovou oblast otisku tvoří linie, obklopeny typovými liniemi Obr. 14, které definujeme následovně. Jsou to dvě nejvnitřnější linie utvořené tak aby obemkly centrální část otisku.[20][18]



Obr. 14 Typové linie centrální části otisku[20]

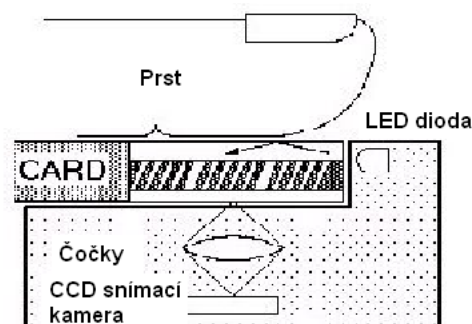
Papilární linie, která se rozbíhá do tří směrů, je nazývána delta. Prvním, kdo popsal jednotlivé typy charakteristických vzorů papilárních linií, byl Jan Evangelista Purkyně. V té době je zařadil do devíti základních vzorů. Z tohoto rozdělení, vznikla novodobá klasifikace, která rozeznává tři nejzákladnější vzory.

- 1) Smyčka - Tady papilární linie vytváří smyčku a mezi deltou a středem centrální oblasti se musí nacházet aspoň jedna probíhající linie. Smyčky tvoří téměř 2/3 vzorů všech otisků prstů.
- 2) Vír (spirála) - Tento vzor má nejméně dvě delty s alespoň jednou samostatně probíhající linií. Papilární linie zde vytvářejí kruhové, oválné či spirálovité obrazce s jádrem uprostřed. Vír tvoří 1/3 všech otisků prstů.
- 3) Oblouk – Četnost tohoto otisku tvoří pouhých 5 - 10 % všech otisků. Jak je z názvu patrné, papilární linie zde vytvářejí jednoduché oblouky. Tento typ neobsahuje žádné delty a bývá rozdělován do podkategorií oblouk plochý / klenutý.[20]

4.1 Používané druhy snímačů

4.1.1 Optické senzory na základě odrazu (reflexní)

Optické senzory jsou jedny z nejstarších technologií, které snímají otisk prstu. Hlavní funkce spočívá v přiložení prstu nad skleněnou podsvětlenou vrstvou, světlo se odráží od prstu a prochází do CCD snímače, který zachycuje vizuální obraz otisku (viz. Obrázek 33). Nevýhoda tohoto typu snímače je jeho poměrná náchylnost k chybám a tím k opakovanému snímání (špinavý prst nebo skenovací ploška vede ke špatnému obrazu, z čehož vyplývá, že jsou vyšší nároky na údržbu) Obr. 15[18]



Obr. 15 Princip snímání reflexními optickými senzory [18]

4.1.2 Optické senzory na základě odrazu (reflexní) se skládáním obrazu

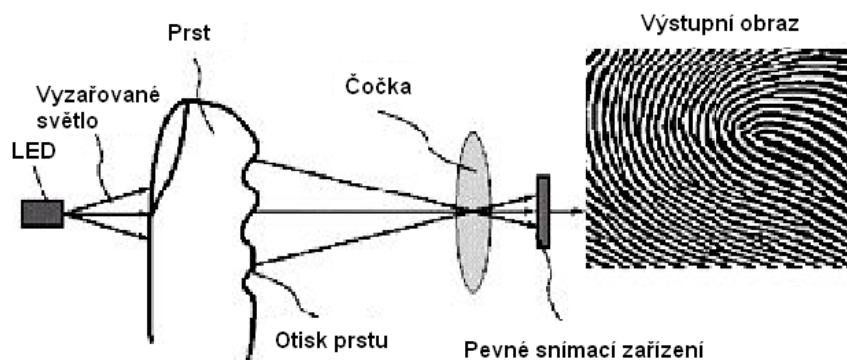
Princip činnosti je totožný jako u předešlého snímače, ale výsledný obraz není snímán staticky ale šablonováním. Tyto senzory používají reflexní rolovací senzory, kdy je jedno-dimenzionální snímací zařízení spolu se zdrojem světla a optickými čočkami uloženo v průhledné rolovací tubě, po které prst klouže.[18]

4.1.3 Optické bezkontaktní snímače

TST (Touchless Technology – bezkontaktní technologie) není zapotřebí optického hranolu pro přímé snímání obrazu prstu. Světelné paprsky jsou vysílány LED diodami, ty se odrážejí od papilárních linií prstu pod různými úhly do optické čočky. Signál je poté zpracován CMOS čipem.[18]

4.1.4 Transmisní optické snímače

Funkce těchto přístrojů Obr. 16 je založena na snímání světelných paprsků, které procházejí prstem ruky – prst je z vrchní části prosvěcován všesměrovým zdrojem světla (ve většině případů klasická infračervená LED dioda). Obraz otisku prstu je následně zpracován (obdobně jako u předchozích principů) soustavou čoček a snímacím zařízením. V závislosti na druhu výrobce rozlišujeme buď standardní CCD - Charged Coupled Device kameru (společnost Mitsubishi), CMOS - Complementary Metal Oxid Semiconductor kameru (společnosti NEC, Delsy) anebo polymerický organický fotodetektor vyvinutý společností NanoIdent.[18]



Obr. 16 Princip transmisních snímačů otisku prstu [18]

4.1.5 TFT optické snímače

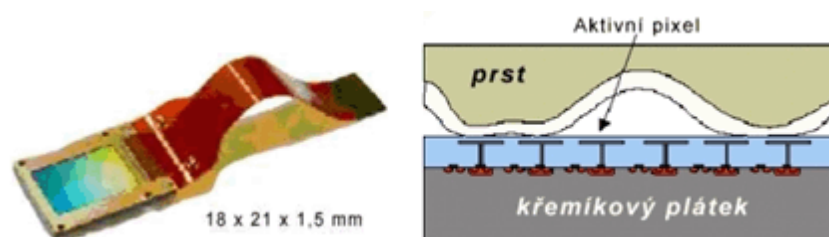
Zde je nahrazeno klasické snímací zařízení, tedy určitý typ kamery (CMOS nebo CCD), TFT displejem (TFT - Thin Film Transistor).[18]

4.1.6 Elektrooptické snímače

Princip snímání je v závislosti na skutečnosti, že některé polymerní materiály jsou schopny emitovat světelné záření, pokud se nabudí vhodným napětím. Jestliže takový materiál přímo propojíme se snímacím zařízením (CMOS kamerou), lze získat obraz otisku prstu tím, že polymerní materiál emituje světlo jen v místech dotyku prstu, tzn. ve styčných bodech papilárních linií. Tento typ zařízení vyrábí například společnost Ethentica nebo TesTec[18]

4.1.7 Kapacitní snímače

Na rozdíl od předchozího typu jsou tyto snímače velmi malé a ploché. Snímač měří kapacitní odpor v ploše dotyku. Silikonový plátek na snímacím zařízení plní funkci jedné desky kondenzátoru a prst funkci druhé desky. Protože vyvýšené linie na povrchu prstu přiléhají na snímací povrch více než okolní prostory, mají vyšší kapacitní odpor. Podle získaných hodnot napětí na kondenzátoru je sestaven obraz otisku prstu. Tím je možné zjistit místa (pixely), kde se prst dotýká snímače těsněji. Velkou předností těchto snímačů není jen nízká cena, ale především malé rozměry – ty určují oblast použití, tj. integrace do mobilních telefonů, notebooků či jiných typů elektroniky. Mohou ovšem nastat jisté problémy s určováním otisků suchých či vlhkých prstů přímo z konstrukce snímače, protože vlhkost výrazně ovlivňuje hodnoty kapacitního odporu.[20][18]



Obr. 17 Pohled na čip a princip kapacitního snímače [20]

4.1.8 Ultrazvukové snímače

Tento typ snímačů je poměrně nový, a proto není zatím tak rozšířený typy. Čtecí zařízení vysílá zvukové vlny směrem k dotykové ploše, poté změří odpor kůže a tím získá vzor papilárních linií. Přestože mají tyto snímače poněkud větší rozměry než je obvyklé, jejich předností je jejich odolnost proti vlhkosti a nečistotám na prstech.[20]

4.1.9 Tlakové snímače otisku prstu

Piezoelektrické materiály, které jsou schopny snímat změnu tlaku, existují již dlouho. Problémem však je jejich citlivost pro detaily papilárních linií. Jedno z možných řešení je umístit vodivostní membránu (která je tvořena maticí piezoelektrických tlakových senzorů) na CMOS kameru se silikonovým čipem (vyráběna společností Opsi). Podle další metody lze umístit membránu na TFT podložku (společnosti Sanyo, Fidellica, Alps Electric). Jedna z nejnovějších metod používá maticový systém mikro mechanických spínačů o velikosti pouhých 50 μ m. Ty vytvářejí síť spínající v místech, kde se prst dotýká svými prohlubněmi papilárních linií.[18]

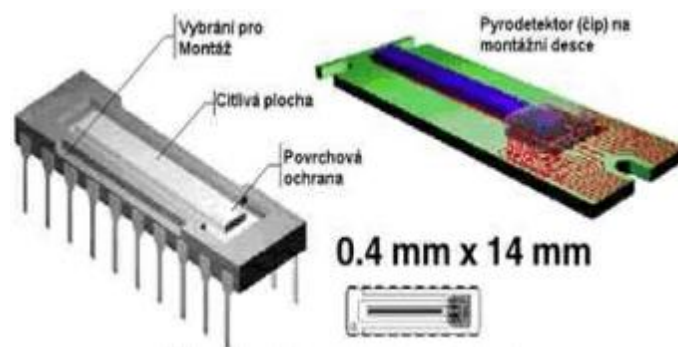
4.1.10 Rádiové snímače otisku prstu

Funkce tohoto snímače je založen na měření síly rádiového signálu, který je vyslán do prstu vysílačem nízkého RF (Radio frequency) signálu a snímán maticí miniaturních antén, jenž tvoří styčnou plochu s prstem. Síla signálu je závislá na odporu či vodivosti spojení, tedy na rozdílu vzdálenosti mezi kůží a anténní soustavou tvořenou pixely, což znamená, že rádiový signál bude jiný v místě, kde se prst přímo dotýká senzoru (rýhy papilárních linií) a v místě kde se ho nedotýká (prohlubně papilárních linií).[18]

4.1.11 Teplotní snímače

Teplotní snímač obsahuje miniaturním a mimořádně citlivým teplotetkujícím čip. Tento čip se nazýváme pyrodetektorem a jeho funkcí je snímat rozdíl teplot mezi jednotlivými papilárními liniemi a prostoru mezi nimi. Otisk se získá pomalým pohybem prstu přes citlivou plochu o velikosti 0,4 x 14 mm. Výsledný obraz otisku je pak

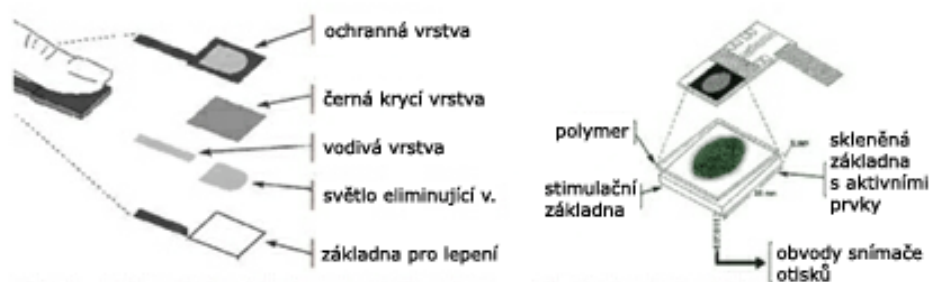
softwarovým složením jednotlivých digitální pásů, neboli frámů z výstupu snímače. Tyto systémy využívají algoritmů rozpoznávání podle markant, což ale velmi ztěžuje nízká kvalita získaných obrazů otisků. Velké problémy se již mohou stát již při ukládání etalonů do databáze. Jelikož otisk dostaneme pohybem prstu přes citlivou vrstvu čipu, jeho opakovaným snímáním můžeme získat rozdílné otisky téhož prstu. Zároveň může být uložený referenční vzorek nekompletní, poněvadž neobsahuje celou centrální vzorovou oblast otisku a oprávněný uživatel není pak následně autentizován. Tyto velké nevýhody způsobují značnou nespolehlivost a četnost takovýchto systémů je velmi nízká. [20]



Obr. 18 Teplotní snímač otisků [20]

4.1.12 Elektroluminiscenční snímače

Je to zatím nejnovější technologie vyskytující se na trhu. Snímací plocha se skládá z několika vrstev. Z hlediska funkčnosti je nejdůležitější ta vrstva, která eliminuje světlo v místech styku s liniemi prstu. Výhodou těchto snímačů je dobré rozlišení okolo 500 dpi a miniaturní rozměry, ale hlavně ta skutečnost, že extrémně suché prsty nesnižují následnou kvalitu otisku. Bohužel jsou velmi náchylné na znečištění vodou a pevnými částicemi prachu oproti jiným snímačům. [20]



Obr. 19 Struktura plochy a konstrukce elektroluminiscenčního snímače [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

5.1 Mercury C-862

Mercury je miniaturizovaný servo-regulátor určený pro řízení pohybů ve výzkumných a průmyslových aplikacích. Poskytuje kompletní a samostatné ovládání systému, pro menší motory používané v aplikacích, kde vyžadujeme velmi přesná určení pozice. V závislosti na rozlišení stupnice se můžeme pohybovat o 0,1 mikrometru. Mercury poskytuje řízení polohy, rychlosti a zrychlení, které lze zadávat pomocí příkazů, anebo od výrobce zadaných hodnot, tak dostaneme motorek do požadované polohy. [19]



Obr. 20 Regulátor Mercury C-862 [19]

5.1.1 Zapojení

Pro naše měření požadujeme řízení tří os x, y, z, proto potřebujeme tři regulátory, ke kterým připojíme odpovídající motorizované osy. Dále připojíme každý regulátor k napájení. Řídící počítač jsme propojili přes sériový port COM1 na vstup RS-232IN prvního regulátoru a z výstupu RS-232 OUT na vstup RS-232IN dalšího regulátoru. Tímto způsobem propojíme všechny regulátory a nastavíme pomocí DIP přepínače adresu každého regulátoru (každý regulátor musí být nastaven na svoji adresu). Propojení je realizováno mezi regulátory pomocí 16 pinového konektoru. [19]

5.2 Mikroposuv M-110.1DG

Tento lineární mikroposuv je vyráběný firmou PI. Díky své vysoké přesnosti a možnosti skládat více jednotek v několika osový celek je vhodný především pro testování, metrologii, testování kvality a další aplikace s požadavkem na vysokou přesnost.[6]



Obr. 21 Mikroposuv M-110.1DG [6]

5.2.1 Základní technická specifikace

- Velmi jemný posuv po kroku 0,007 μm
- Garantovaný rozsah dráhy posuvu nejméně 5 mm
- Možnost skládat více posuvů dohromady pro jedno, dvou i tříosovou translaci
- Maximální rychlost 1,5 mm/s

Ovládání pomocí přiloženého softwaru PI Mercury [6]

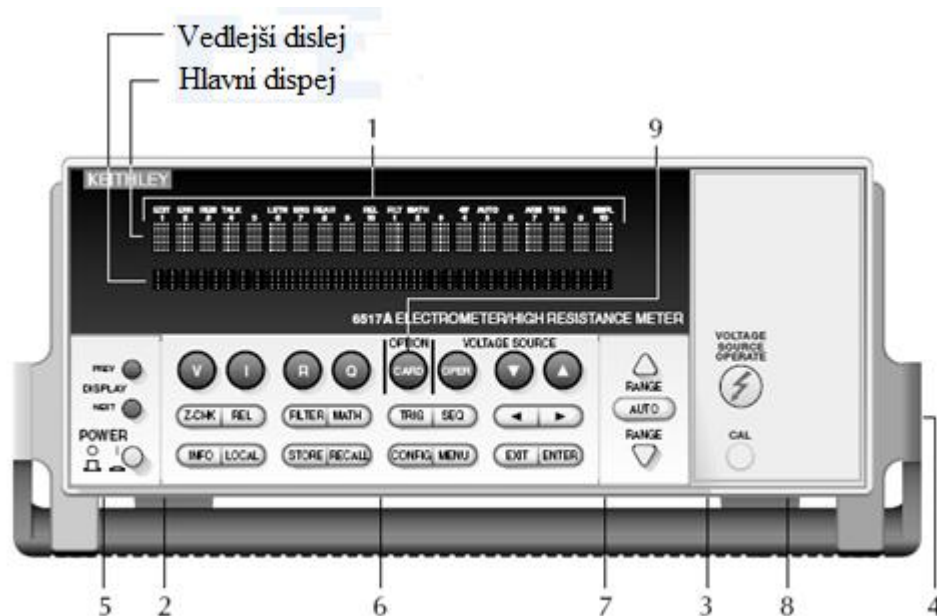
5.3 Elektrometr Keithley 6517A

Keithley 6517A je vysoce odolný, přesný a citlivý elektrometr; nabízí celou řadu funkcí, které zjednodušují měření vysokých odporů a rezistivity izolačních materiálů. Měří rychlostí až 125 měření za sekundu.[17]

Funkce přístroje:

- Měření napětí od 1 μV do 210 V
- Měření proudu od 1 aA do 21 mA
- Měření náboje od 10 fC do 2,1 μC
- Měření odporu od 10 Ω do 210 T Ω
- Měření povrchové rezistivity
- Měření vnitřního měrného odporu
- Externí měření teploty od -25° C až do 150°C pomocí dodávaného termočlánku
- Vestavěný napěťový zdroj s rozsahem 0 V – 100 V
- Ukládání dat
- Dálkové ovládání pomocí rozhraní RS-323
- Filtrování a průměrování

5.3.1 Přední panel



Obr. 22 Přední panel Elektrometru Keithley 6517A [17]

1 Hlásiče

| | |
|------|-------------------------------------|
| ERR | <i>Chybné čtení</i> |
| FILT | <i>Digitální filtr povoleno</i> |
| MATH | <i>Matematický výpočet povoleno</i> |
| SRQ | <i>Servisní požadavek</i> |

2 Funkční tlačítka

Zvolí měření funkce; napětí (V), proudu (I), odporu (R) nebo náboje (Q)

3 Rozsah



Nastavení rozsahu měřené veličiny

4 Držadlo

Vytáhnutím a otočením dostaneme držák do požadované polohy

5 Dialogová tlačítka

PREV / NEXT Prochází více obrazovek s funkcemi

6 Ovládací tlačítka

| | |
|--------|---|
| Z-CHK | <i>Vynuluje vybranou funkci</i> |
| REL | <i>Povolí nebo zakáže relativní čtení</i> |
| FILTER | <i>Zobrazí statut digitálního filtru pro dané funkce (zapíná a vypíná tuto funkci)</i> |
| MATH | <i>Zobrazí matematický výpočet (zapíná a vypíná tuto funkci)</i> |
| SEQ | <i>Zvládá vybrané zkušební posloupnosti</i> |
| ◀ ▶ | <i>Přesune kurzor mezi číslice data vstupu, výběrové menu a zobrazení informací</i> |
| INFO | <i>Zobrazí kontext - citlivé informace o tomto displeji</i> |
| LOCAL | <i>Zruší dálkové ovládání</i> |
| STORE | <i>Umožňuje ukládání dat</i> |
| RECALL | <i>Zobrazí čtení dat (čtení, číslo, čas)</i> |
| CONFIG | <i>Konfiguruje funkce a operace</i> |
| MENU | <i>Zřizuje komunikaci, provádí kalibrace, definuje meze, digitální výstup a další různé operace</i> |
| EXIT | <i>Zruší výběr, vrací zpět do menu</i> |
| ENTER | <i>Potvrzení výběru</i> |

7 VOLTAGE SOURCE KEYS

| | |
|------|-------------------------|
| OPER | <i>Zapíná zdroj</i> |
| ▲ ▼ | <i>Nastavuje napětí</i> |

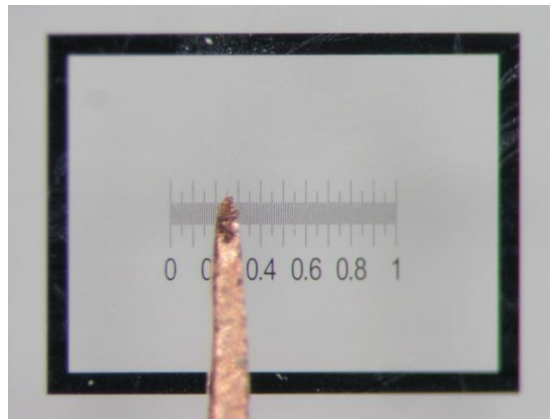
8 VOLTAGE SOURCE OPERATE

Indikátor zapnutí zdroje

5.4 Měřicí hroty a ploška

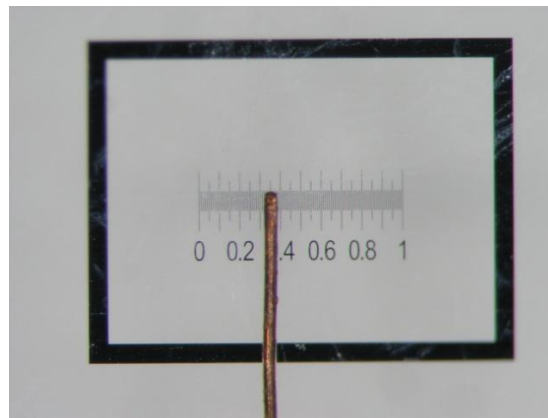
5.4.1 Měřicí hroty

K měření jsme využívali kovových hrotů. Hrot H1 byl vyroben z měděného drátku o průměru 200 μm , který jsme si malým pilníkem opracovali do špičky. V dalším textu je tento hrot označen zkratkou H1, viz Obr. 23



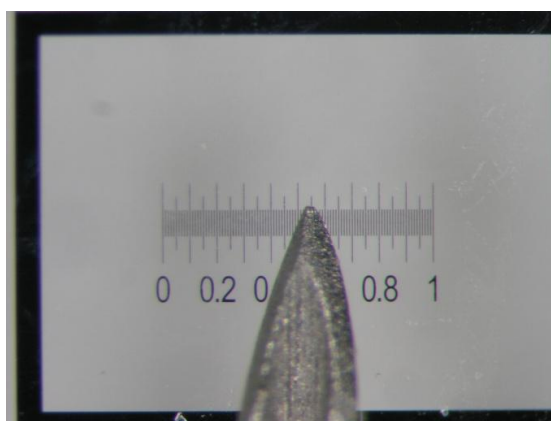
Obr. 23 Hrot H1

Další hrot H2, který jsme využili při měření proudu, byl měděný drát o průměru 60 μm .



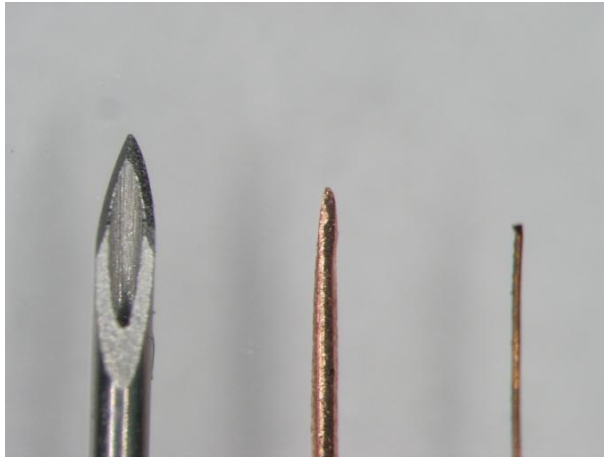
Obr. 24 Hrot H2

Hrotem H3 byla injekční jehla o průměru 450 μm . Obr. 25



Obr. 25 Hrot H3

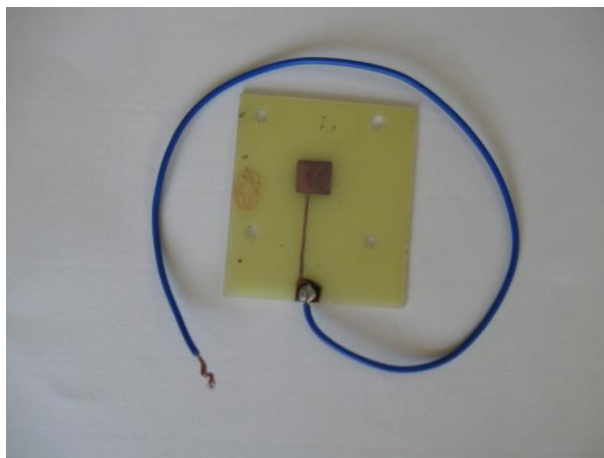
Srovnání jednotlivých hrotů je na Obr. 26.



Obr. 26 Srovnání hrotů z pravé strany H1, H2 a H3

5.4.2 Měřicí ploška

Pro náš experiment jsme potřebovali vodivou plošku, kterou jsme umístili na mikroposuvy. Základním požadavkem bylo, aby byla odizolovaná od vozíčku posuvu, jelikož ploškou protékal proud a mohlo by dojít k přeskočení proudu na motorčky a k jejich následovnému zničení. To jsme vyřešili použitím kuprexitové destičky, kterou jsme vyleptali a vznikla nám vodivá ploška o rozměrech 1cm x 1cm, ke které jsme si napájeli přívodní drát. Obr. 27



Obr. 27 Měřicí ploška

6 POUŽITÝ SOFTWARE

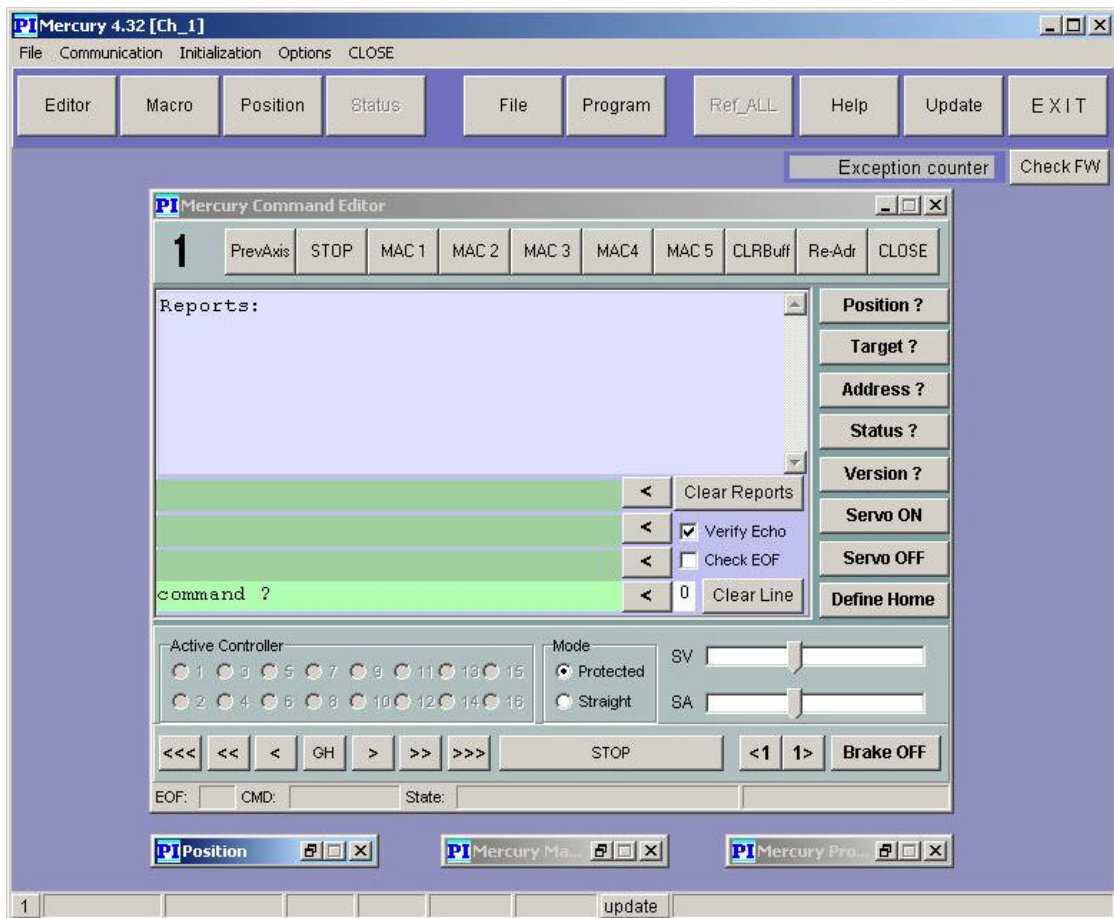
6.1 Software PI Mercury



Obr. 28 Úvodní okno software PI [6]

Program firmy PI Mercury je určen pro ovládání mikroposuvů. Software podporuje až 16 regulátorů v uzavřeném cyklu, které jsou propojeny RS-232 kabely. Je-li připojen pouze jeden regulátor Mercury, zvolíme „Single Axis“ a z výběrového okna číslo zařízení, které chceme ovládat. Chceme-li ovládat více regulátorů, které jsou zapojeny v sérii za sebou, zvolíme buď „Network, scan 1 to 4“ (máme-li připojen1 až 4 regulátory), nebo „Network, scan 1 to 16“ (jsou-li připojeny více než 4 regulátory). Pokud víme, že je Mercury správně nakonfigurován pro připojení pohonu motoru, pak zvolíme „Do nothing“. Kliknutím na ikonu „START“ spustíme ovládací program. [6]

6.1.1 Pracovní plocha



Obr. 29 Pracovní plocha softwaru PI

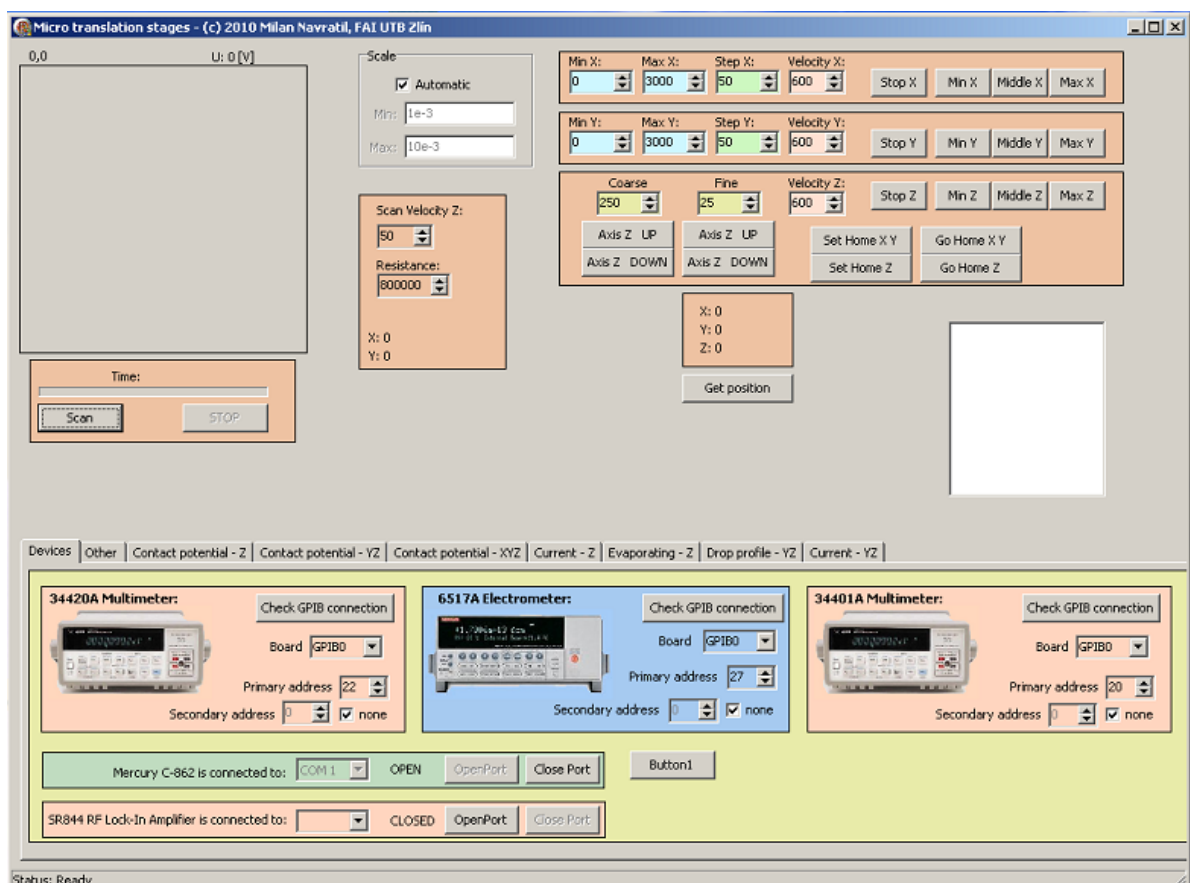
Pracovní plocha umožňuje nastavit rychlost posuvu a počet kroků posuvu. V políčku „Active Controller“ si zaškrtneme číslo pohonu, který chceme ovládat.

Ovládání probíhá vkládáním příkazů do příkazového řádku příkazem „MR“. Zadávací jednotka je count, který je roven $0,007 \mu\text{m}$. Chceme-li popojet na pravou stranu, například v ose x o 100 countů, zadáme příkaz „MR100“, jestliže chceme popojet na levou stranu o tu samou hodnotu, zadáme „MR-100“. Posun je možno realizovat také softwarovým tlačítkem, u kterého je vzdálenost posuvu přímo dána. Rychlost posuvů je možné ovládat přímo na pracovní ploše pomocí softwarového tlačítka „SV“, jehož rozsah je od 10 000 countů/s až 210 000, pokud chceme nastavit menší rychlost, musíme zadat do příkazového řádku příkaz „SV“ a požadovanou rychlost (pokud požadujeme např. rychlost 500 countů/s, zadáme SV500). Velmi užitečné je okno „Position“, které nám ukazuje

hodnotu polohy, ve které se nacházíme a její chybu v jednotkách countů. Okénko polohy a chyby je možné zapnout nebo vypnout zaškrtnutím příslušných políček.[6]

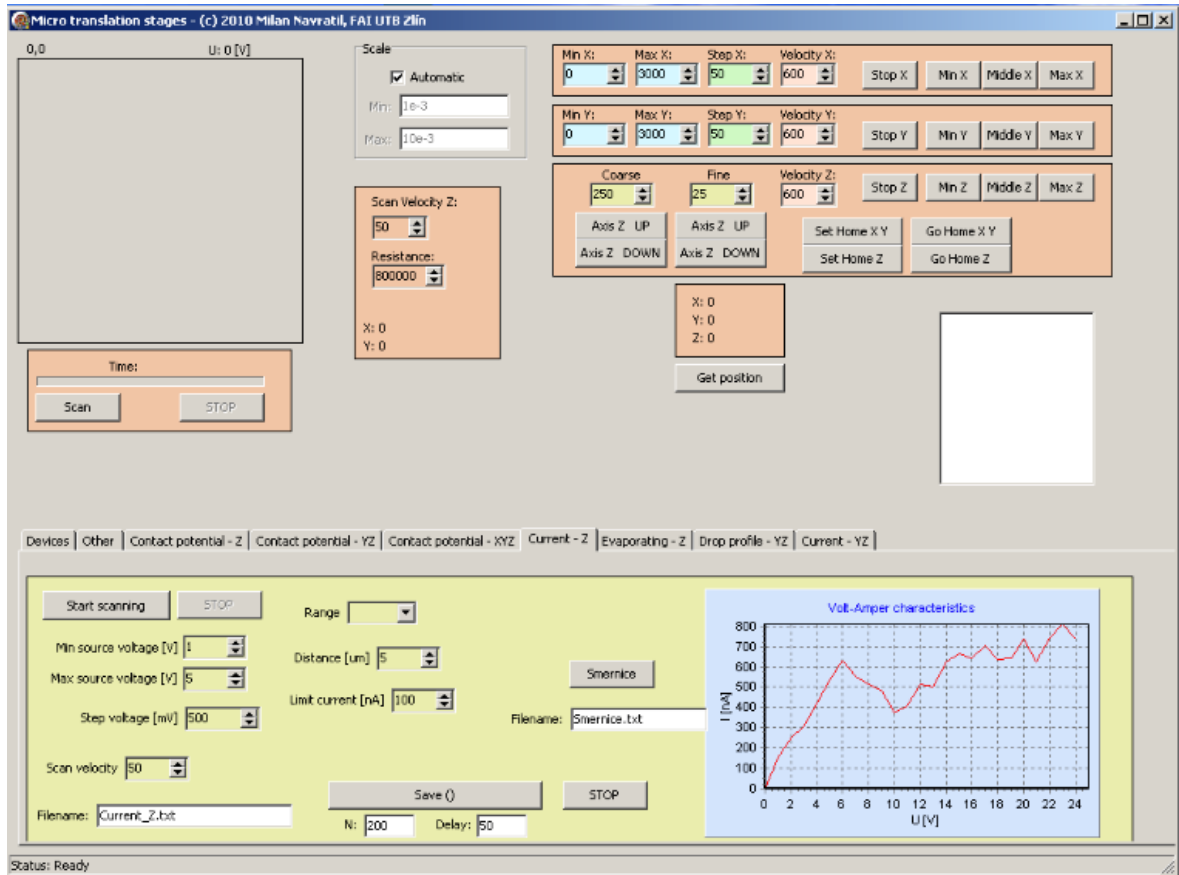
6.2 Software Posuvy

Program Posuvy je napsaný v programovacím jazyce Delphi. Slouží k ovládání mikroposuvů PI a měřicího zařízení Keithley 6517A a ukládání naměřených hodnot do vybraného textového souboru. Po spuštění se objeví úvodní okno, kde si vybereme požadovaný měřicí přístroj, v našem případě jsme využívali elektrometr Keithley 6517A a kliknutím na ikonku „Check GIB connection“ se naváže komunikace s vybraným zařízením. Dalším krokem je zvolení dané záložky, v našem případě „Current-Z“, po klepnutí na danou záložku se dostaneme na pracovní plochu.



Obr. 30 Úvodní okno softwaru Posuvy

6.2.1 Pracovní plocha



Obr. 31 Pracovní plocha softwaru Posuvy

Pracovní plocha umožňuje nastavit požadované parametry pro vybrané měření:

- **Min. source voltage** - Nastavuje minimální napětí zdroje, od kterého chceme měřit
- **Max. source voltage** - Nastavuje maximální napětí zdroje, od kterého chceme měřit
- **Step voltage** - Nastavuje krok, po kterém chceme měřit napětí
- **Scan velocity** - Umožňuje nastavení rychlosti skenování
- **Distance** - Určuje krok posuvu vozíčku
- **Limit current** - Limitní hodnota pro detekci dotyku
- **N** - Nastavuje počet měření
- **Delay** - Nastavuje rychlost ukládání dat
- **Filename** - Výběr souboru, kde chceme ukládat data
- Tlačítko „**Start scanning**“ - Spouští skenování

- Tlačítko „**Save**“ - Spouští ukládání naměřených hodnot
- Tlačítko „**STOP**“ - Zastavuje ukládání naměřených hodnot

7 MĚŘENÍ

7.1 Měření rozsahu posuvů

Během prvních měření se ukázalo, že výrobcem udávaného rozsahu 5 mm (posuv z jedné krajní polohy do druhé krajní polohy) neodpovídá tatáž hodnota udávaná v jednotkách „count“. Count představuje 0,007 μ m. Proto jsme se rozhodli provést opakované měření tohoto rozsahu za účelem stanovení střední hodnoty a odchylky.

To jsme zjišťovali pomocí Softwaru PI, ve kterém jsme si otevřeli okno „Position“. Do příkazového řádku jsme zadali příkaz „MR 1 000 000“. Vozíček nám dojel do krajní polohy. Poté jsme zadali příkaz „MR -1 000 000“ a vozíček odjel do druhé krajní polohy. Odečetli jsme z okna „Position“ hodnotu v countech a uložili jí do tabulky. To jsme opakovali dvacetkrát, jelikož jsme zjistili, že hodnota posuvu není vždy stejná. Měření jsme provedli pro osu x, y, z, protože pro každou osu byla vzdálenost posuvu jiná. Poté jsme z daných hodnot spočítali průměr a směrodatnou odchylku, a tím jsme získali skutečný rozsah posuvů v countech. Viz tabulka Tab. 2.

| | Osa x | Osa y | Osa z |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Střední vzdálenost l [count] | 833209 | 883191 | 855343 |
| Směrodatná odchylka | 580 | 520 | 810 |

Tab. 2 Rozsah posuvů v countech

Pro přepočítání jednoho countu na μ -metr jsme využili vzoreček:

$$1 \text{ count} = \frac{l}{5000} [\mu\text{m}]$$

Viz. Tab. 3.

| | Osa x | Osa y | Osa z |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Střední vzdálenost l [count] | 833209 | 883191 | 855343 |
| 1 count [μm] | 0,0060 | 0,0057 | 0,0059 |

Tab. 3 Přepočítání countů na μ m

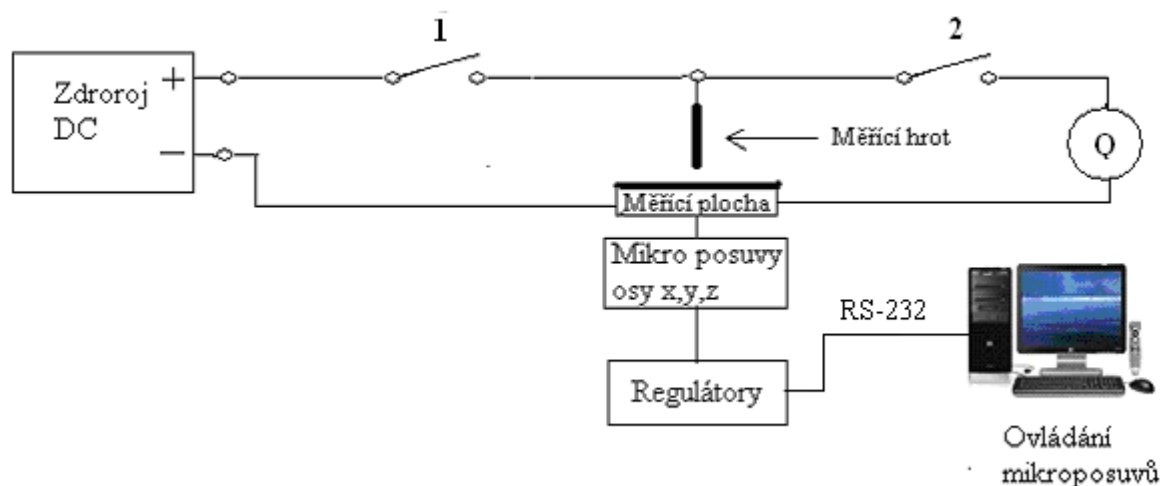
7.2 Měření náboje

Předpokládali jsme, že nečistoty zanesené na zkoumaný povrch (při zanechání otisku prstu apod.) způsobí změnu kapacity a tuto změnu jsme pak schopni detekovat měřením elektrického náboje.

7.2.1 Experiment č. 1

Při tomto měření jsme tedy měřili pokles náboje při vybíjení hrotu přes vzduchovou mezeru na měděnou plošku připojenou na zem zdroje.

Z dostupných prostředků laboratoře jsme sestavili měřicí soustavu. Ta se skládala z přístroje Keithley 6517A, který nám sloužil k měření náboje, k obvodu byl připojen paralelně. Přístroj Keithley 6517A byl zároveň využit jako zdroj stejnosměrného napětí. K pohybu vozíčku v ose z byl použit mikroposuv PI, který byl ovládán přes sběrnici RS-232 a na které byla připevněna čtyřmi šrouby měřicí ploška. Dále jsme použili dva přepínače a měřicí hrot H1 o průměru 200 μm . Schéma zapojení je na Obr. 32.



Obr. 32 Blokové schéma měřicí sestavy pro měření náboje Q

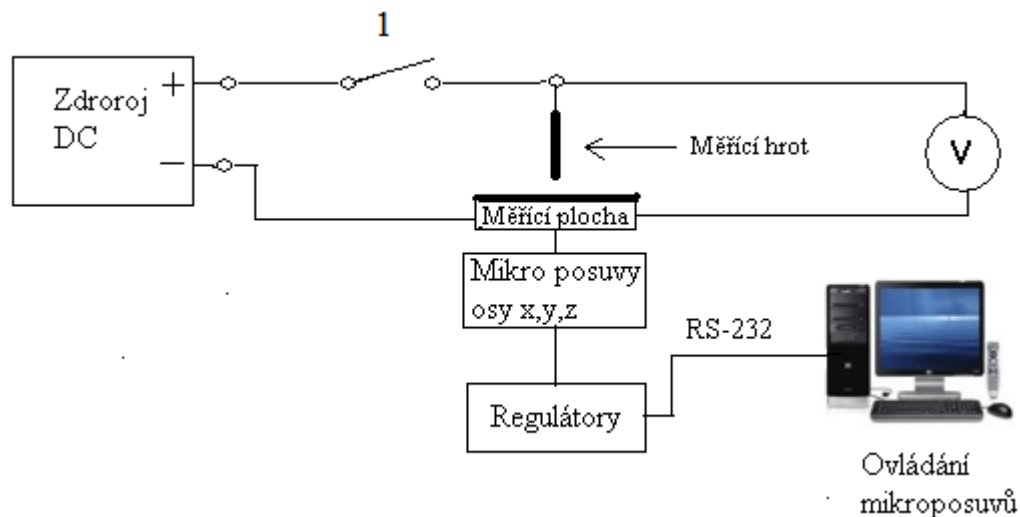
Po sestavení měřicího obvodu (viz. Obr. 32) jsme si na přístroji Keithley nastavili funkci měření náboje pomocí tlačítka Q a zdroj jsme nastavili na napětí 1 V. Spínač 1 jsme dali do sepnuté polohy a spínač 2 do rozepnuté polohy. Mikroposuvy, které jsme ovládali pomocí softwaru PI, jsme si v ose z nastavili na mezeru mezi ploškou a hrotem na

vzdálenost 29,5 μm (5000 countů). Po připojení napětí se hrot nabíjí. Rozepnutím přepínače 1 jsme odpojili zdroj od hrotu a sepnutím přepínače 2 by se měl hrot vybíjet přes destičku a my bychom měli zaznamenat tuto změnu na měřicím zařízení. Ve skutečnosti se nám ale náboj stále zvětšoval. Tento problém jsme se pokoušeli vyřešit zvýšením napětí na 10 V, ale výsledek měření byl stále stejný. Dalším možným řešením bylo změnit vzdálenost mezi ploškou a hrotem. Měření jsme zopakovali ve vzdálenosti 59 μm (10 000 countů) a 11,8 μm (2 000 countů), ale měření nevykazovalo opakovatelné výsledky.

Chyba mohla být způsobena okolními vlivy, jako je kosmické záření, náboj vzduchu, náboj na ruku apod. Proto se přímé měření náboje neukázalo jako vhodná metoda řešení daného problému.

7.2.2 Experiment č. 2

Pro měření napětí (experiment 2) jsme využili stejné zařízení s tím rozdílem, že přístrojem Keithley jsme měřili napětí a z obvodu jsme odstranili jeden spínač. Obr. 33



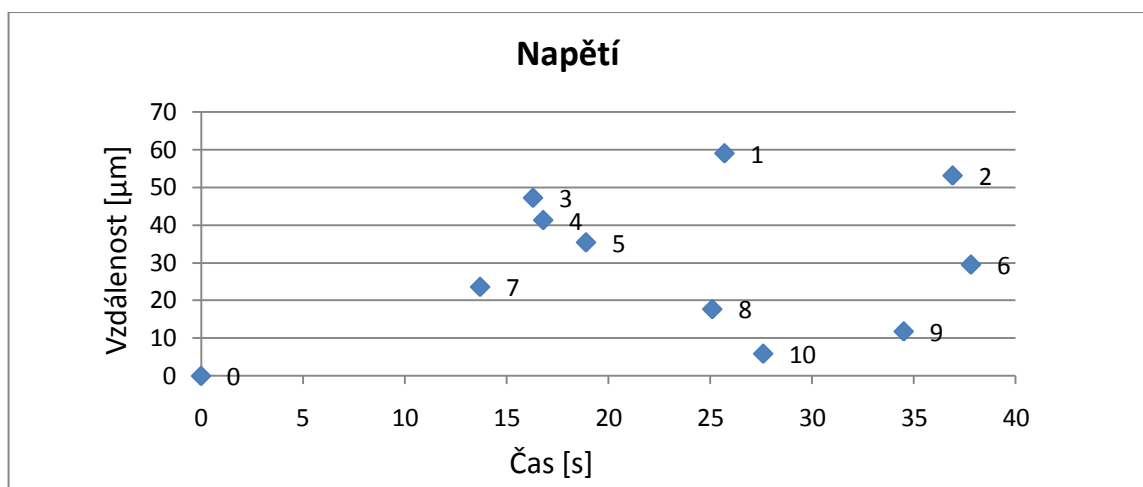
Obr. 33 Blokové schéma měřicí sestavy pro měření napětí U

Jelikož přímé měření náboje nebylo možné kvůli rušivým vlivům okolí, zkusili jsme měřit pokles napětí na hrotu. Ten jsme nabíli na danou hodnotu napětí tím, že jsme sepnuli přepínač 1. Pokles napětí na hrotu vznikal vybíjením přes vzduchovou mezeru na měděnou destičku, která je připojena na zem zdroje. Měřili jsme čas vybíjení závislý na

mezeře mezi hrotem a ploškou. Předpokládali jsme, když budeme plošku přibližovat k hrotu, že dojde ke zkracování času vybíjení, a tím bychom získali lineární závislost délky mezery mezi měřicími médii a časem vybíjení.

Pro měření jsme použili totožnou sestavu jako u měření náboje s tím rozdílem, že jsme odstranili přepínač 2 a na přístroji Keithley přepnuli měření z náboje Q na měření napětí U . Pro ovládání mikroposuvů jsme použili software PI.

Na přístroji Keithley jsme nastavili napětí zdroje 1 V a rozsah měření 20 V. Přepínač 1 jsme sepnuli, a tím jsme dosáhli napětí na hrotu 1 V. Po rozeznutí přepínače 1 nám voltmetr místo ubývání napětí ukázal pomalý růst napětí, což byla chyba. Tu jsme vyřešili zvýšením napětí na 10 V a měřili jsme čas vybíjení z 10 V na napětí 6V. Měření jsme začínali s velikostí mezery mezi hrotem a ploškou 59 μm (10 000 countů) a změřili jsme čas poklesu napětí. Poté jsme zmenšili mezeru o 5,9 μm (1000 countů) a opakovali měření až do styku s ploškou. Naměřené hodnoty jsme uložili do tabulky a z ní zhotovili graf. Viz Obr. 35



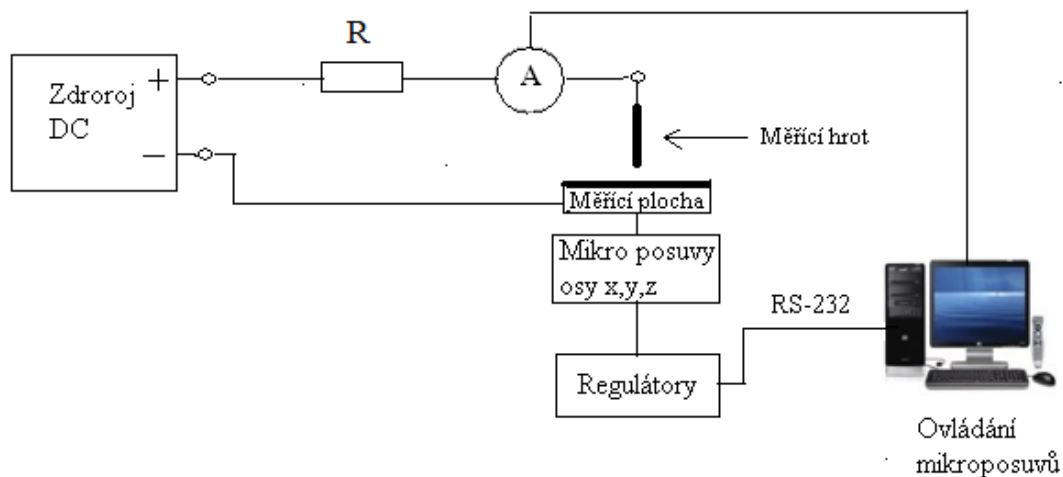
Obr. 34 Závislost vzdálenosti na čase poklesu napětí

V grafu je u každého vneseného bodu popis čísla měření. Jak vidíme, hodnoty neodpovídají našemu předpokladu, že se při zmenšování vzdálenosti bude čas snižovat. Čas jednotlivých měření nebyl závislý na mezeře, ale i zde se projevovalo působení okolních vlivů, což mělo vliv na délku vybíjení.

7.3 Měření proudu

Předpokládali jsme, že nečistoty zanesené na zkoumaný povrch (při zanechání otisku prstu apod.) způsobí změnu průchodu proudu a tuto změnu jsme pak schopni detekovat měřením tichého výboje.

Pro měření proudu jsme si upravili obvod využitý při měření náboje. Vypínač 1 jsme nahradili omezovacím rezistorem R o hodnotě $1000\text{ M}\Omega$. A přístroj Keithley jsme použili jako ampérmetr, který jsme zapojili sériově do obvodu. K ovládání posuvu jsme využívali software PI a software Posuvy, který jsme také používali pro ukládání měření. Obr. 36



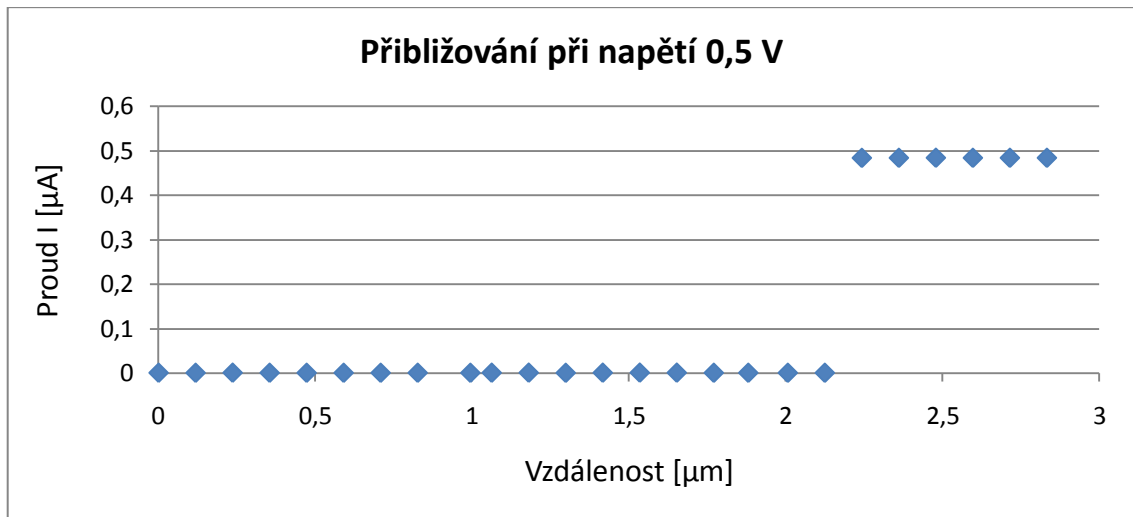
Obr. 35 Blokové schéma pro měření Proudů I

7.3.1 Experiment č. 3

Tento experiment byl založen na měření proudu při tichém výboji, který probíhal ve vzduchové mezeře mezi ploškou a hrotem. V obvodu jsme ponechali rezistor R o hodnotě $1\text{ M}\Omega$ pro stabilizaci výboje. Pro ovládání mikroposuvů jsme využili software PI, který nám umožňoval posouvat s vozíčkem po menším kroku. Pro zaznamenávání hodnot jsme využili Software Posuvy. Pro měření byl využit hrot H1.

Nejprve jsme nastavili na zdroji napětí $0,5\text{ V}$. V programu Posuvy jsme si nastavili počet měření a soubor, kam se mají naměřené hodnoty ukládat.

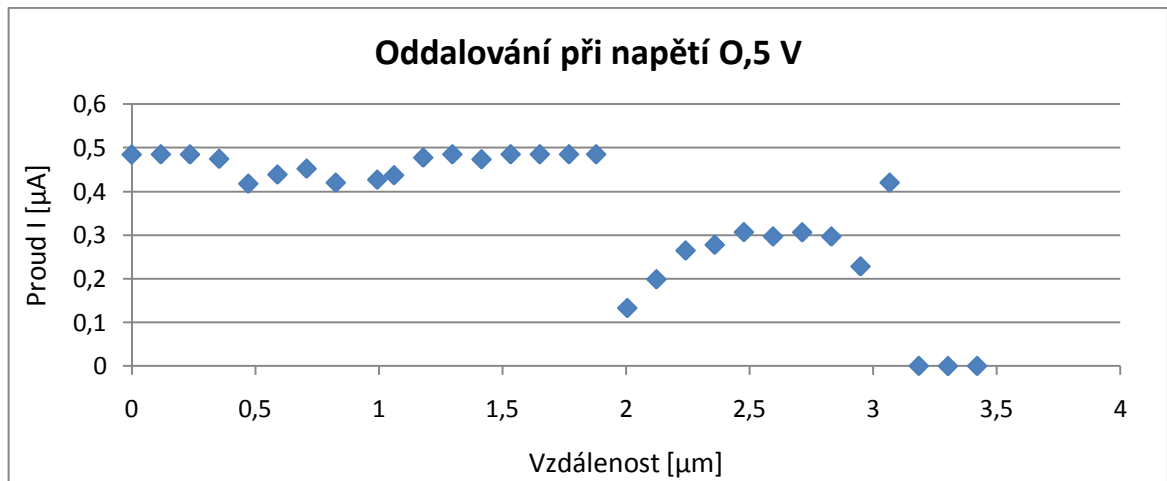
V první části tohoto experimentu jsme si nastavili mezeru na $2,95 \mu\text{m}$ (500 countů) a změřili 100x protékající proud. Poté jsme se přiblížili s vozíčkem o $0,118 \mu\text{m}$ (20 countů) a provedli znovu měření. To jsme provedli 25x, až jsme se dotkli hrotem destičky, a tím dostali zkrat, tzn., že jsme naměřili plný proud protékající obvodem. Naměřené hodnoty jsme zanesli do tabulky, zprůměrovali, určili směrodatnou odchylku a sestrojili graf. Viz Obr. 37.



Obr. 36 Přibližování při napětí 0,5 V

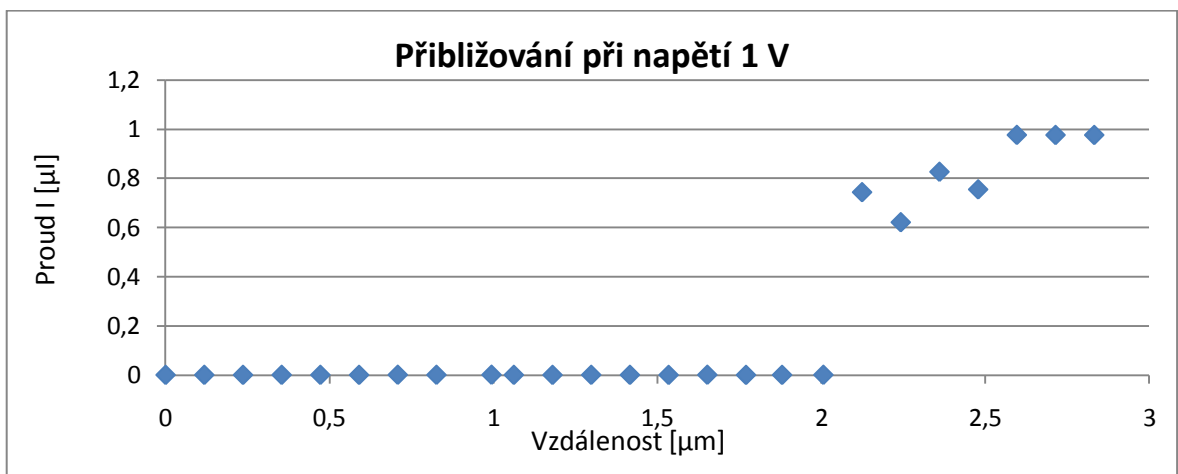
Z výpočtu směrodatné odchylky jsme zjistili, že v oblasti přechodu dochází k navýšení fluktuace. Grafické znázornění směrodatné odchylky je pro každé měření v příloze P1.

V druhé části tohoto experimentu jsme si najeli vozíčkem do polohy, kdy jsme se dotýkali hrotem měděné destičky a změřili jsme 100x protékající proud, poté jsme se oddálili o $0,118 \mu\text{m}$ (20 countů) a provedli znovu měření, to jsme opakovali až do vzdálenosti $3,54$ (600 countů). Viz Obr. 38.

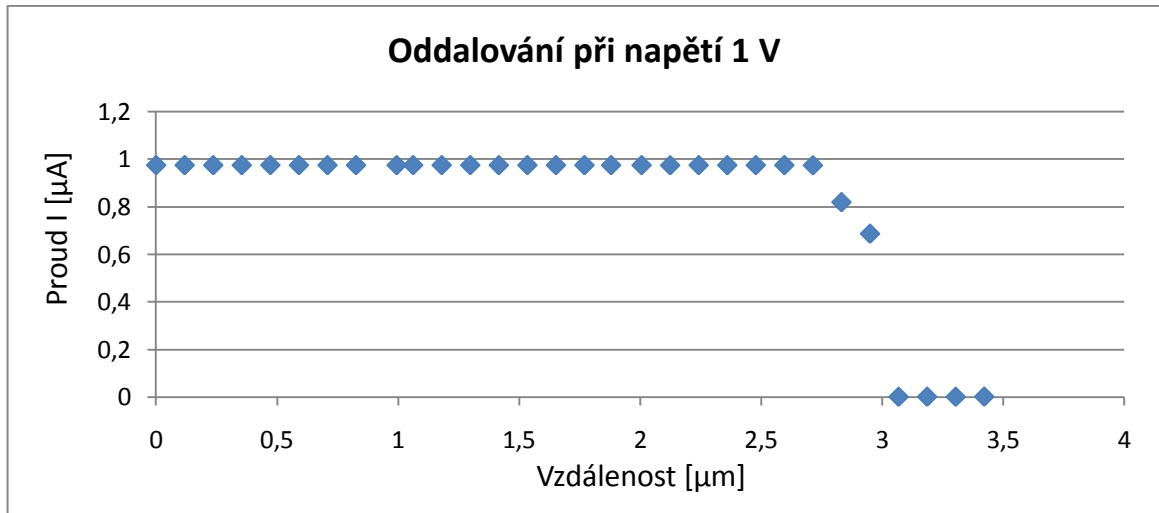


Obr. 37 Oddalování při napětí 0,5 V

Jelikož se nám objevil nepředpokládaný průběh proudu v oblasti mezi 2. až 3. mikrometrem, zkusili jsme navýšit napětí na 1 V a provedli jsme totožné.

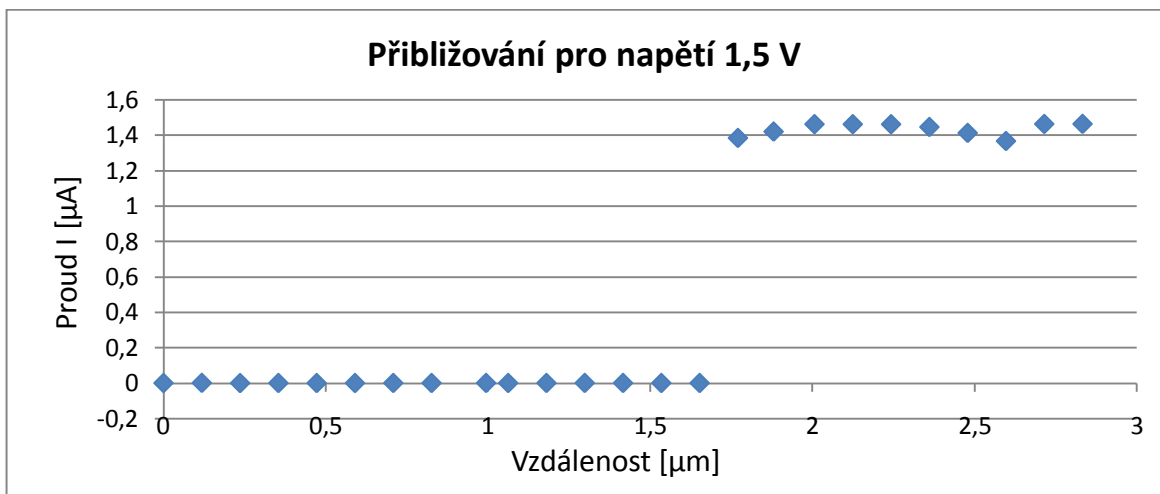


Obr. 38 Přibližování při napětí 1 V

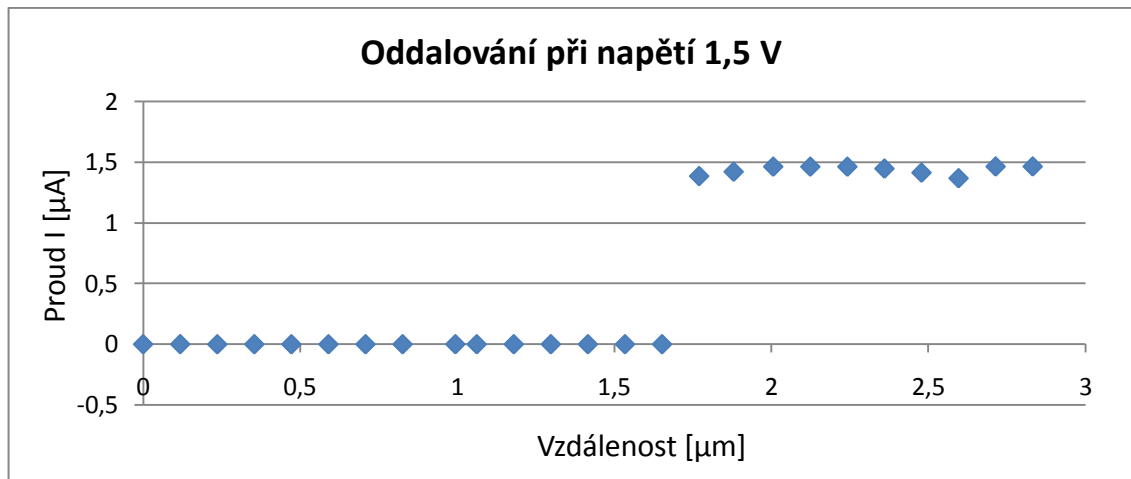


Obr. 39 Oddalování 1 V

Měření jsme také opakovali pro napětí 1,5 V.



Obr. 40 Přibližování pro napětí 1,5 V

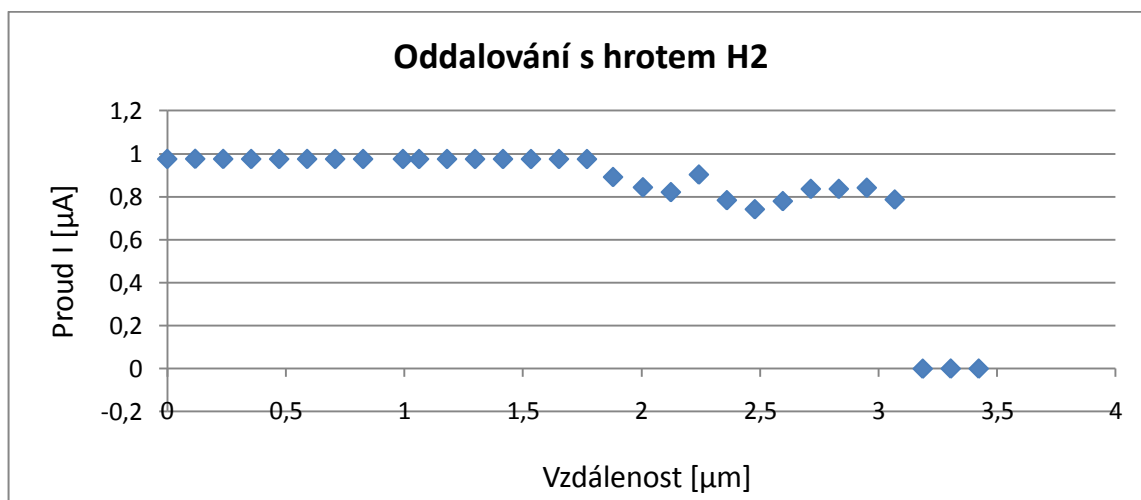


Obr. 41 Oddalování pro napětí 1,5V

Z přiložených grafů je zřejmé, že nejvýhodnější napětí pro další zkoumání je 1 V, při kterém se nám podařilo naměřit několik hodnot při vzniku výboje. Pro lepší prozkoumání oblasti, kdy dochází k výboji, jsme se pokoušeli přibližovat nebo oddalovat po menších krocích, což bylo $0,0059 \mu\text{m}$ (1 count), $0,0295 \mu\text{m}$ (5 countů), $0,059 \mu\text{m}$ (10 countů), ale díky chybě posuvů, která činila až $0,0295 \mu\text{m}$ (5 countů), nebylo možné danou oblast podrobně prozkoumat. Při měření se ukázalo, že měřicí soustava je velmi náchylná na okolní vlivy, jakými jsou malé otřesy, počasí a různé další rušení.

7.3.2 Experiment č. 4

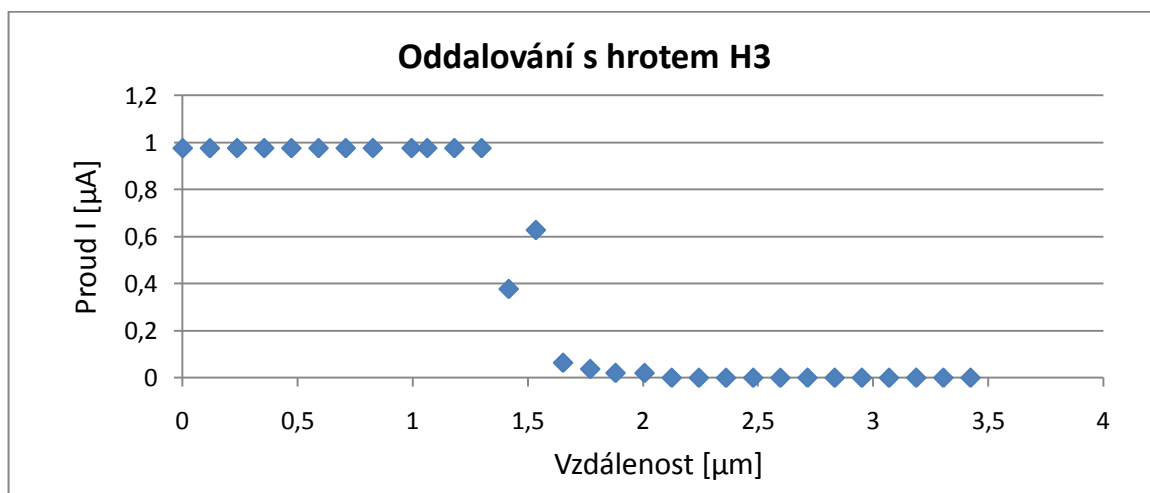
V tomto experimentu jsme použili menší hrot H2 a provedli totožné měření při napětí 1 V jako v předchozím experimentu. Obr. 43



Obr. 42 Oddalování s hrotem H2

Graf přibližování je uveden v příloze P2.

Experiment jsme provedli také s hrotem H3.



Obr. 43 Oddalování s hrotem H3

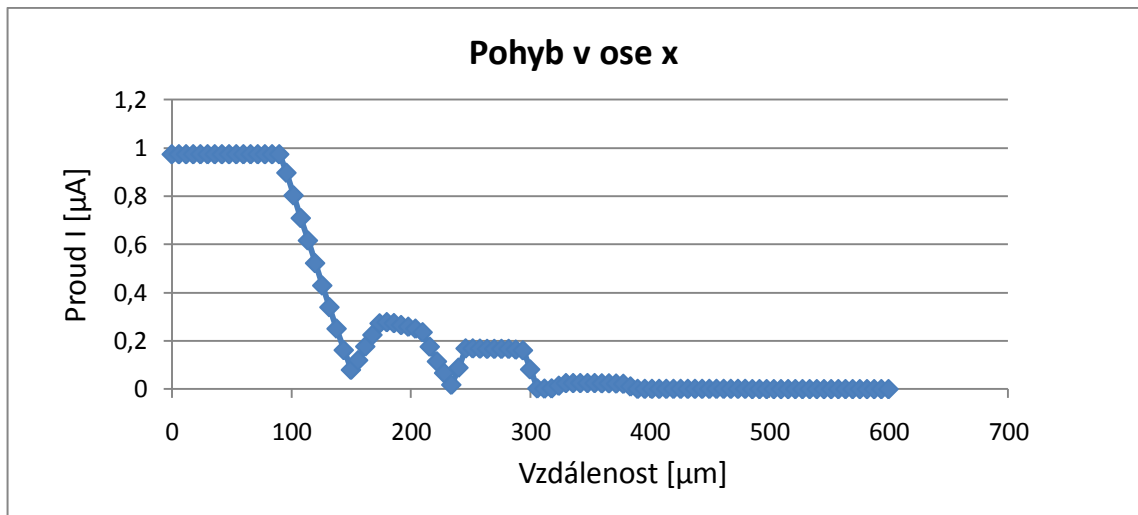
Graf přibližování je uveden v příloze P2.

Z přiložených grafů je zřejmé, že nejvýhodnější pro dané měření je nejtenčí hrot H2, kterým bylo možno lépe zmapovat oblast, kdy dochází k výboji. Avšak nepodařilo se nám prozkoumat celý rozsah požadované oblasti. Hrot H3 se neukázal vhodný pro dané měření zřejmě kvůli jeho velkému průměru.

7.3.3 Experiment č. 5

Při přejetí s vozíčkem v ose x jsme zjistili, že pojezd vozíčku s hrotem není rovnoběžný, ale ploška je mírně nakloněná na jednu stranu v ose z . To nás vedlo k předpokladu, že když najedeme hrotem na plošku, kde se dotýkáme a pojedeme s vozíčkem v ose $x+$ tak, aby se nám hrot oddaloval od plošky, docílíme jemnějšího posuvu, kdy se nám bude hrot oddalovat, a tak zjistíme, zda menší posuv povede k lepším výsledkům. Rychlost posuvu v ose x byla $60 \mu\text{m/s}$ ($10\,000$ countů/s). Z grafu je patrné, že se náš předpoklad ukázal jako správný.

Experimentem jsme si zjistili, že vzdálenost, o kterou musíme odjet z bodu, kdy se dotýkáme do bodu, kdy se přestaneme dotýkat (mezerou nám přestane protékat proud), činí $600 \mu\text{m}$ ($100\,000$ countů). Pro měření jsme použili hrot H2 a napětí jsme zvolili 1 V . K ovládání posuvů jsme použili software PI. Softwarem Posuvy jsme zaznamenávali naměřené hodnoty a uložili je do textového souboru, z kterých jsme následovně zhotovili graf. Obr. 45



Obr. 44 Pohyb v ose x

Měření jsme provedli také s hroty H1 a H3, ovšem dosažené výsledky byly podstatně horší, než s hrotem H2. Viz příloha P3

Z naměřených výsledků je zřejmé, že se náš předpoklad ukázal jako správný. K tomu, abychom docílili podrobného prozkoumání průchodu proudu při tichém výboji, je zapotřebí jemnějších posuvů. Nými používané mikroposuvy, kterými jsme byli schopni se pohybovat řádově ve stovkách nanometrů, nejsou dostatečně jemné. Pro tento typ experimentu je zapotřebí kroku pohybu v jednotkách nanometrů.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo z dostupných prostředků univerzitní laboratoře sestavit měřicí pracoviště a na něm provést skenování různých povrchových struktur s využitím měření elektrického náboje a proudu. Dále pak posoudit vhodnost této metody pro snímání otisků prstů.

Diplomová práce je rozdělena na dvě části. Na teoretickou, kde jsme řešili literární zpracování zadaného tématu a praktickou, kde jsou popsána použitá zařízení, software a jednotlivé experimenty pro měření elektrického náboje a proudu.

Pro měření elektrického náboje jsme si sestavili měřicí pracoviště z dostupných prostředků univerzitní laboratoře a provedli dva typy měření. Experiment č. 1 byl zaměřen na přímé měření náboje. Ten se nám však nepodařilo změřit kvůli náchylnosti měřicího zařízení na chyby způsobené okolními vlivy, jako je kosmické záření, náboj vzduchu, náboj na rukou apod. Proto se přímé měření náboje neukázalo jako vhodná metoda řešení daného problému. V Experimentu č. 2 jsme zkusili měřit pokles napětí na hrotu, jelikož přímé měření náboje nebylo možné kvůli rušivým vlivům okolí. Z naměřených výsledků je patrné, že hodnoty neodpovídají našemu předpokladu, kdy se při zmenšování vzdálenosti bude čas vybíjení hrotu snižovat. Čas jednotlivých měření nebyl závislý na mezeře, ale i zde se projevovalo působení okolních vlivů, což mělo vliv na délku vybíjení.

U měření elektrického proudu jsme předpokládali, že nečistoty zanesené na zkoumaný povrch (při zanechání otisku prstu apod.) způsobí změnu průchodu proudu a tuto změnu jsme pak schopni detekovat měřením tichého výboje. Pro měření elektrického proudu jsme si sestrojili vhodnou měřicí sestavu a provedli tři typy měření. Experiment č. 3 spočíval v měření proudu při tichém výboji postupně při napětích 0.5, 1 a 1.5 V. Výboj probíhal ve vzduchové mezeře mezi ploškou a hrotem. Z naměřených výsledků bylo zřejmé, že nejvýhodnější napětí pro další zkoumání je 1 V, při kterém se nám podařilo naměřit několik hodnot při vzniku výboje. Pro lepší prozkoumání oblasti, kdy dochází k výboji, jsme se pokoušeli přibližovat nebo oddalovat po menších krocích, což byl 1 count, 5 countů, 10 countů, ale díky chybě posuvů, která činila až 5 countů, nebylo možné danou oblast podrobně prozkoumat. Při měření se ukázalo, že měřicí soustava je velmi náchylná na okolní vlivy, jakými jsou malé otřesy, počasí a různé další rušení.

V experimentu č. 4 jsme použili dvou hrotů H2 a H3o různém průměru a provedli totožné měření při napětím 1 V jako v předchozím experimentu. Výsledky měření ukázaly, že nejvhodnější je hrot H2. Tímto hrotem bylo možno lépe zmapovat oblast, kdy dochází k výboji. Avšak nepodařilo se nám prozkoumat celý rozsah požadované oblasti.

Při experimentu č. 5 jsme využili vlastnosti měřicího zařízení, nerovnoběžnosti osy x s osou Z a tím jsme docílili jemnějšího posuvu, tj. posuvem v ose x jsme simulovali pohyb v ose z . Z dosažených výsledků je patrné, že se náš předpoklad ukázal jako správný. K tomu, abychom docílili podrobného prozkoumání průchodu proudu při tichém výboji, je zapotřebí jemnějších posuvů v řádu nanometru.

Tabulky s naměřenými hodnotami jednotlivých experimentů jsou uvedeny na přiloženém CD.

Z provedených měření jsme dospěli k závěru, že námi použitá metoda měření náboje není vhodná k zjišťování povrchových struktur. U experimentů, kde jsme měřili procházející proud při tichém výboji, jsme došli k přesvědčení, že tato metoda by mohla být vhodná k měření dané problematiky za použití zařízení, kde jsme schopni posuvu v jednotkách nanometrů. Tímto zařízením by mohlo být například PI P-611.3s NanoCube.

V dané metodě bych doporučoval pokračovat s využitím zařízení s možností jemnějších posuvů, které bude umístěno v prostoru zabezpečeném proti otřesům a jiným rušivým vlivům (klimatické podmínky, elektrické rušení, atd.).

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to create the measure workplace from available resources of university laboratory. In that we were suppose to scan different surface structures using the measurement of electrical charge and current and to consider availability of this way for scanning fingerprints.

The thesis is divided into two parts. In theoretical part we made given topic literary and in practical part we described used equipment, software and individual experiments for the measuring electrical charge and current.

For measuring of electrical charge we created the measuring workplace from available resources of university laboratory and we did two types of measurement. The experiment No. 1 focused on the direct measuring of the charge. But that can not be measured because of propensity of measuring equipment to the mistakes caused by environmental influences, for example cosmic rays, charge of air, charge on hands etc. Because of that we found this method not available for the solving of given problem. In the experiment No. 2 we tried to measure the decline of voltage on the spike because the direct measuring of charge wasn't possible because of an interference of environment. From the measured results is evident that the values do not correspond with our assumption that with reducing of distance should be the time of discharging of the spike shorter. The time of individual measurements did not depend on the gap but even there appeared influences of environment which had effect on the length of discharging.

During the measuring of the electrical current we supposed that impurities on the space (during the leaving the fingerprint) cause the change of the current flow and this change we are able to detect by the measuring of silent discharge. For measuring of the electrical current we created suitable measuring device and did three types of measurement. The experiment No. 3 consisted of measuring of the current with silent discharge gradually with the voltage 0.5, 1 and 1.5 V. The discharge took place in the air gap between the facet and spike. From the measured results was evident that the most useful voltage for another examination is 1 V by which we measured some values of the discharge. For better survey of place where the discharge came up, we tried to get near or far in smaller steps which were 1 count, 5 counts, 10 counts, but because of the mistake of movements which was as many as 5 counts was not possible to explore better given place.

During the measuring we found out that the measuring device is very predisposed to environmental influences (small vibrations, weather and other disturbance).

In the experiment No. 4 we used two spikes H2 and H3 with different average and did the similar measuring with the same voltage 1 V. The results of measuring showed that the most suitable is the spike H2. With this spike we could better write down the place where the discharge appears. But we were not able to explore the entire range of desired area.

In the experiment No. 5 we used the qualities of measuring equipment, the defect in parallelism of axis x with axis z and by this we got exacter movement, this means by movement in axis x we simulated the movement in axis z. From measured results is evident that our assumption was right. For reaching the detailed examination of current flow during the silent discharge is necessary to move in nanometres.

The tables with measured values of individual experiments are shown in annexes.

From the measurements, we concluded that used method of the charge measuring is not suitable for detection of surface structures.

In the experiments, where we measured the flowing current during the silent charge we found out that this method could be available to measure similar problems using the equipment with possibility to move in nanometres. This equipment could be for example PI P-611.3s NanoCube.

I recommend continue in this method using the equipment with possibility of exacter movements which will be situated in place secured against disturbances and other interference (climatic conditions, electrical interference etc.)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SEDLÁČEK, M.: *Zpracování signálů v měřicí technice*. Dotisk 2. vyd. - Praha: ČVUT, 1999
- [2] REGTIEN P. P. L.: *Measurement science for engineers*, London and Sterling, VA, 2004
- [3] TUMANSKI, S.: *Principles of Electrical Measurement*, ISBN 0750310383, Taylor & Francis, 2006
- [4] FRADEN, J.: *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1996
- [5] HLADNI, I.: *Inside Delphi 2006*, ISBN 1598220039, Wordware publishing, 2006
- [6] PHYSIK INSTRUMENTE, User manual, dostupný z [http://www.pi-portal.ws/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=284&&Itemid=26]
- [7] WITTE A., W.: *Electronic test instruments – theory and application*, Hewlett-Packard Company, 1993
- [8] DIETMEIER U.: *Vzorce pro elektroniku*, BEN 2007
- [9] SEDLÁK, Bedřich, ŠTOLL, Ivan.: *Elektřina a magnetismus*. Baďura Aleš. 2. vydání. Praha 2: Academia, 2002. 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [10] HORÁK, Zdeněk, KRUPKA, František.: *Fyzika: Příručka pro fakulty strojního inženýrství*. Vlk Miloslav. 1. vydání. Praha 1 : STN- Nakladatelství technické literatury, 1966. 904 s. ISBN 04-017-66. text
- [11] KUBICA, Libor.: *Elektrická měření*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 256 s. ISBN 80-7300-022-9.
- [12] SVOBODA, Emanuel.: *Přehled vysokoškolské fyziky*. 3. vydání. Praha: Prometheus, 1998. 497 s. ISBN 80-7196-116-7.
- [13] HIPPEL, A.R.v. *Molekulová fyzika hmoty*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1963. 674 s. DT 539.
- [14] HAASZ, Vladimír; SEDLÁČEK, Miloš.: *ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ: Přístroje a metody*. Praha: České vysoké učení technické, 2003. 337 s. ISBN 80-01- 02731-7.

- [15] EICHLER, Josef.: *Elektronická měření*. 1. vydání. Praha: STNL-Nakladatelství technické literatury, 1977. 485 s. ISBN 04-526-77
- [16] FUKA, Josef; HAVELKA, Bedřich.: *Elektrina a magnetismus*. 3. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1965. 656 s. ISBN 14-702-79.
- [17] Model 6517A *Electrometer/High Resistance Meter Getting Started Manual*. Cleveland, Ohio, U.S.A.: Keithley Instruments, 2000. 104 s. Dostupné z [WWW: www.keithley.com]. 6517A-903-01 Rev. B.
- [18] ŠČUREK, Radomír.: *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi* [online]. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008 [cit. 2010-06-13]. Dostupné z WWW: [www.fbi.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fbi/biometricke_metody.pdf].
- [19] *Mercury C-862 : User Manual*. Germany : Physik Instrumente, 2004. 59 s. Dostupné z WWW: [www.pi.ws].
- [20] SKOUMAL, Miroslav.: *Identifikace člověka pomocí biometrických údajů*. Ústí nad Labem, 2007. 50 s. Bakalářská práce. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně. Dostupné z WWW: [http://minsky.ic.cz/veci/identifikace_cloveka_pomoci_biometrickych_udaju.pdf].
- [21] ČECHMÁNEK, Michal.: *Zjišťování vybraných povrchových struktur pomocí skenovacího mechanismu a měření kontaktního potenciálu, jejich aplikace v bezpečnostním průmyslu*. Zlín, 2009. 71 s. Diplomová práce. UTB.
- [22] *Vedení elektrického proudu v plynech a ve vakuu*. Liberec: Honsoft, 2006. 12 s. Dostupné z WWW: [<http://jan.gfxs.cz/studium/files/elektro/plyny.pdf>].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Qnáboj[C]

eelementární náboj [C]

k konstanta

εpermitivita prostředí

ε_0 permitivita vakua

ε_r relativní permitivita

Eintenzita elektrického pole [N · C⁻¹]

Q_0kladný bodový náboj[C]

F_eelektrická síla [N]

Wpráce [J]

φelektrický potenciál [V]

ddráha [m]

Uelektrické napětí [V]

$I_{\Delta t}$ průměrný proud [A]

Δtčasový interval[s]

Splocha [m²]

$j(r)$vektorová veličina hustoty proudu

Gkonstanta úměrnosti

Rodpor [Ω]

Iproud [A]

RF.....radiová frekvence

CMOS...Complementary Metal Oxide Semiconductor - Polovodič s vrstvou kysličníku křemíku

CCD.....Charged Coupled Device - Zařízení s nábojovou vazbou

TFT.....tenkovrstvý tranzistor

Seznam obrázků

- Obr. 1 Homogenní elektrické pole
- Obr. 2 Radiální elektrické pole náboje a) kladného, b) záporného
- Obr. 3 Elektrický potenciál
- Obr. 4 Ekvipotenciální plochy radiálního elektrického pole
- Obr. 5 Ekvipotenciální plochy homogenního elektrického pole
- Obr. 6 K definici proudu a jeho hustoty
- Obr. 7 Grafické znázornění Ohmova zákona
- Obr. 8 Sériové připojení ampérmetru do měřeného obvodu
- Obr. 9 Paralelní připojení voltmetru do měřeného obvodu
- Obr. 10 Lavinová ionizace
- Obr. 11 Ionizační komora (deskový kondenzátor)
- Obr. 12 Voltampérová charakteristika plynu
- Obr. 13 Výboj v závislosti na napětí
- Obr. 14 Typové linie centrální části otisku
- Obr. 15 Princip snímání reflexními optickými senzory
- Obr. 16 Princip transmisních snímačů otisku prstu
- Obr. 17 Pohled na čip a princip kapacitního snímače
- Obr. 18 Teplotní snímač otisků
- Obr. 19 Struktura plochy a konstrukce elektroluminiscenčního snímače
- Obr. 20 Regulátor Mercury C-862
- Obr. 21 Mikroposuv M-110.1DG
- Obr. 22 Přední panel Elektrometru Keithley 6517A
- Obr. 23 Hrot H1
- Obr. 24 Hrot H2
- Obr. 25 Hrot H3

Obr. 26 Srovnání hrotů z pravé strany H1, H2 a H3

Obr. 27 Měřicí ploška

Obr. 28 Úvodní okno software PI

Obr. 29 Pracovní plocha softwaru PI

Obr. 30 Úvodní okno softwaru Posuvy

Obr. 31 Pracovní plocha softwaru Posuvy

Obr. 32 Blokové schéma měřicí sestavy pro měření náboje Q

Obr. 33 Blokové schéma měřicí sestavy pro měření napětí U

Obr. 34 Závislost vzdálenosti na čase poklesu napětí

Obr. 35 Blokové schéma pro měření Proudů I

Obr. 36 Přibližování při napětí 0,5 V

Obr. 37 Oddalování při napětí 0,5 V

Obr. 38 Přibližování při napětí 1 V

Obr. 39 Oddalování 1 V

Obr. 40 Přibližování pro napětí 1,5 V

Obr. 41 Oddalování pro napětí 1,5V

Obr. 42 Oddalování s hrotem H2

Obr. 43 Oddalování s hrotem H3

Obr. 44 Pohyb v ose x

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Násobky jednotek

Tab. 2 Rozsah posuvů v countech

Tab. 3 Přepoččet countů na μm

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1:

Grafy fluktuací u jednotlivých měření

PŘÍLOHA P4:

Grafy přibližování s hrotem H2 a H3

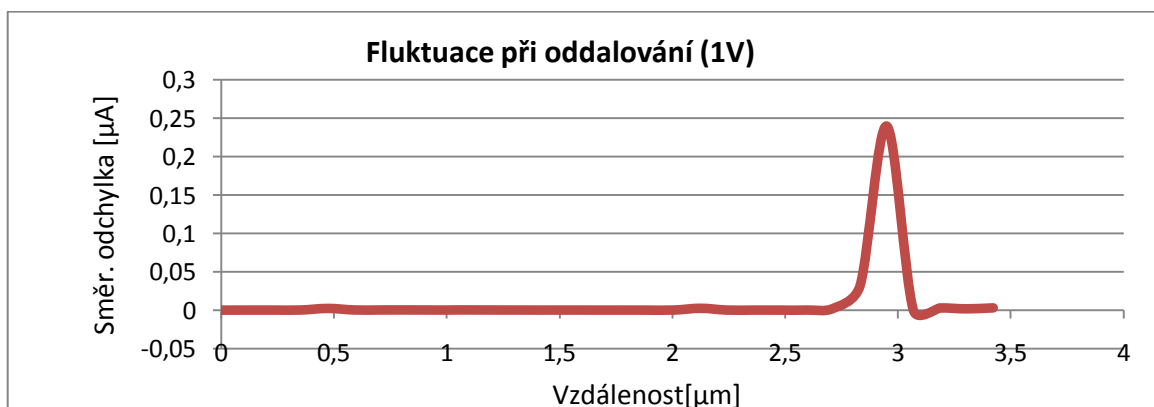
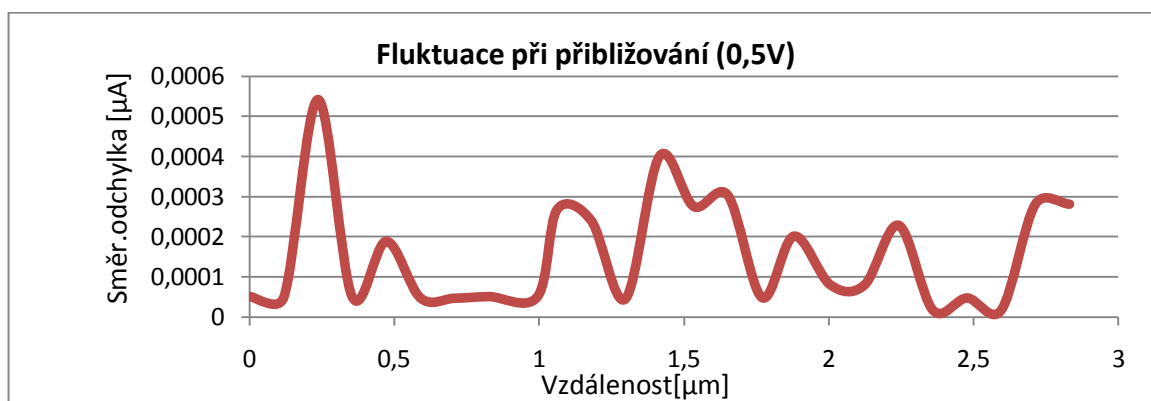
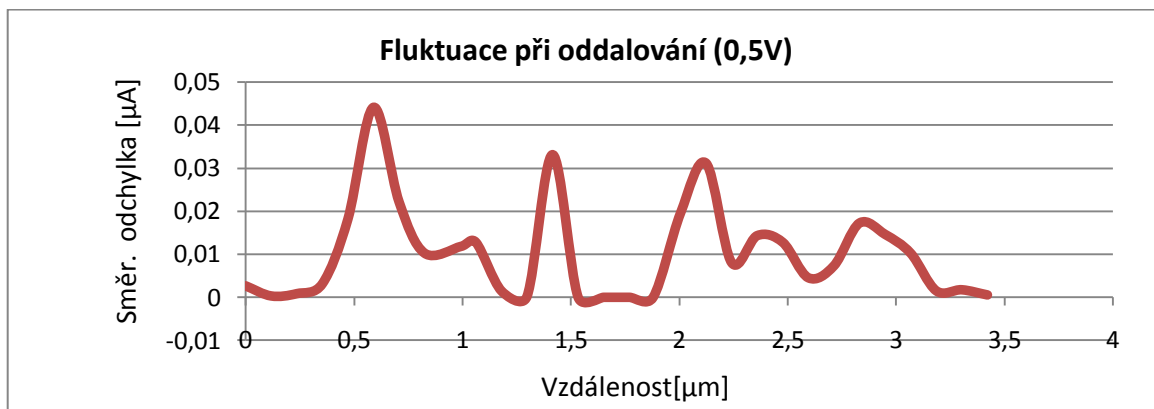
PŘÍLOHA P3:

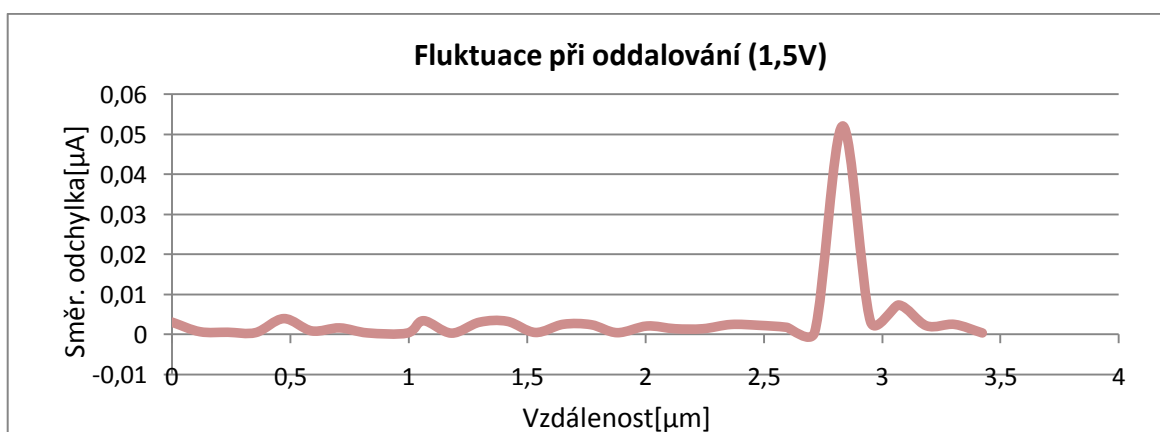
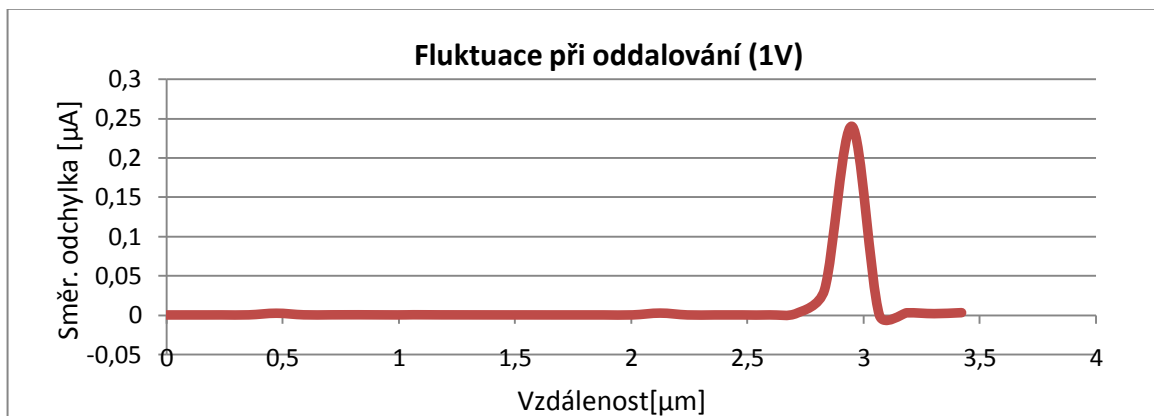
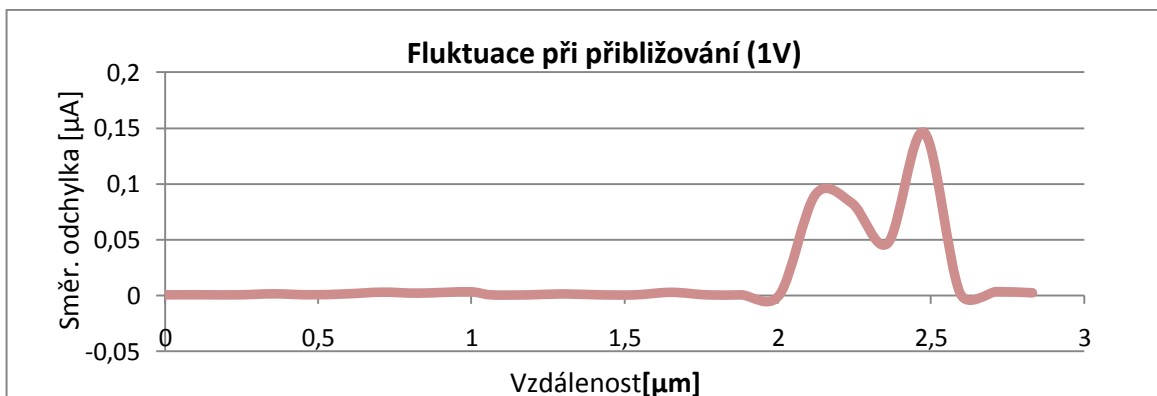
Grafy pohybu v ose x s hrotem H1 a H3

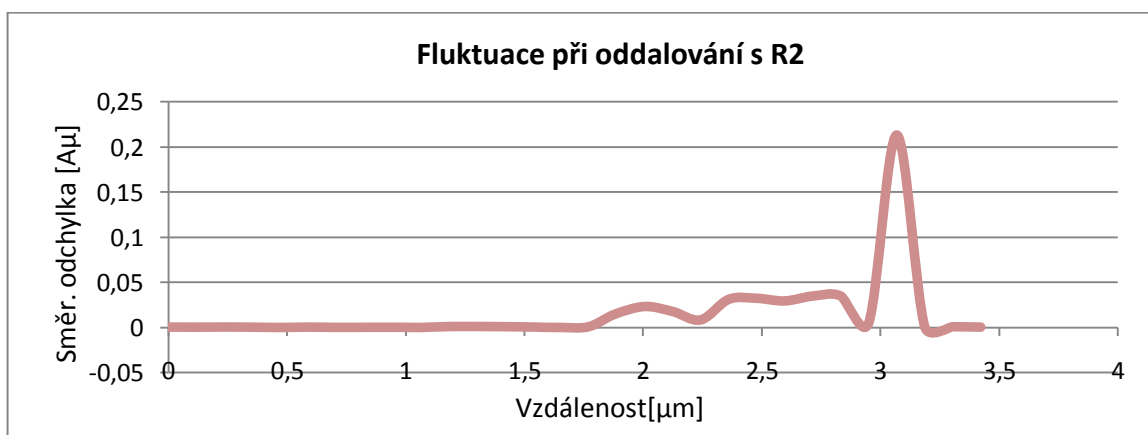
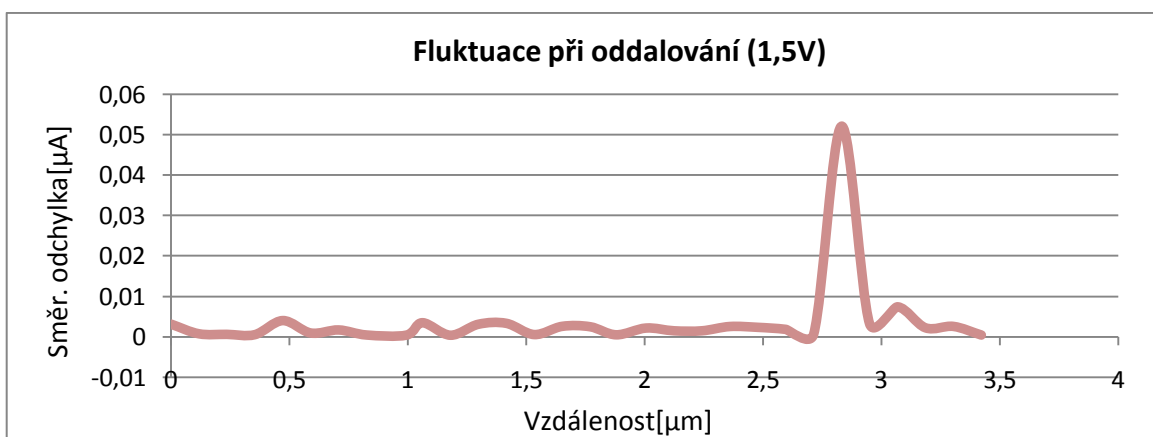
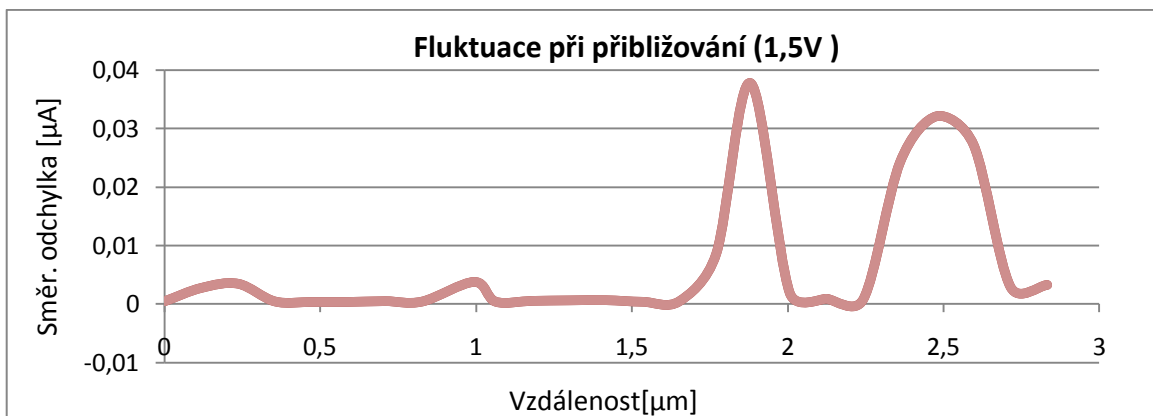
CD:

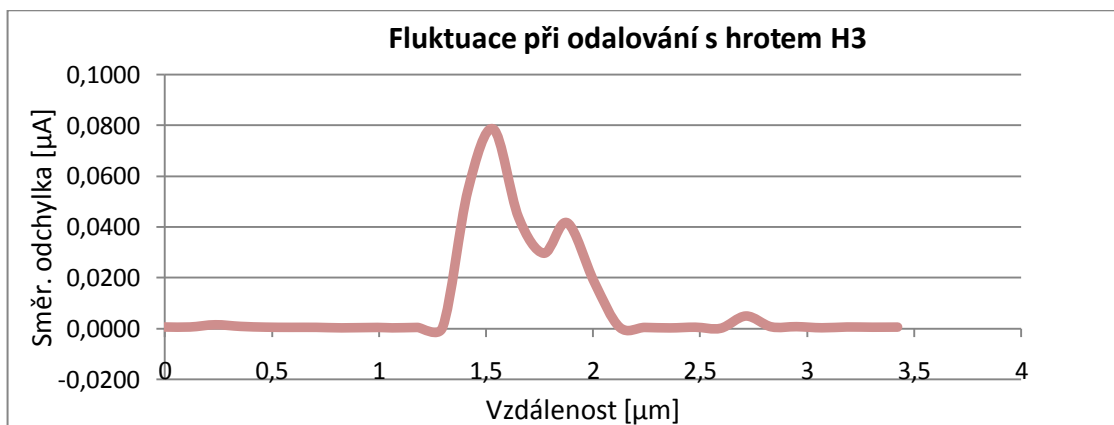
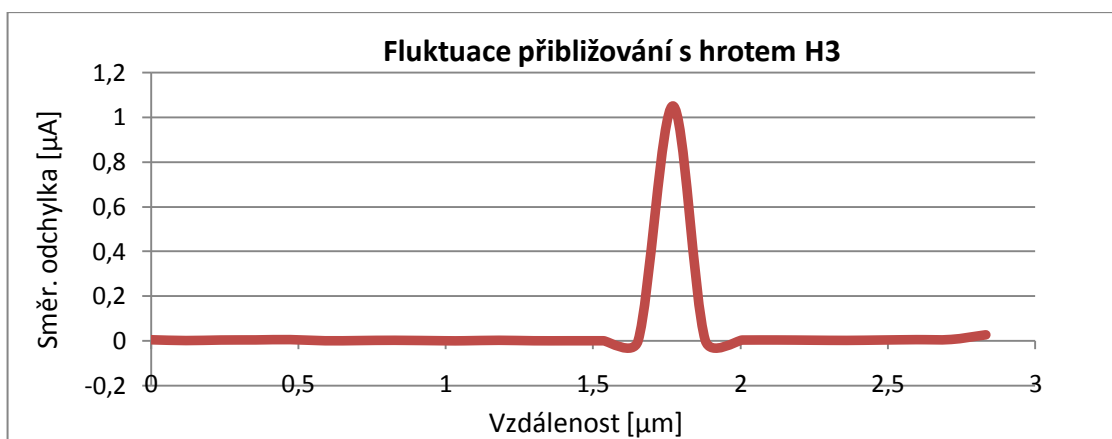
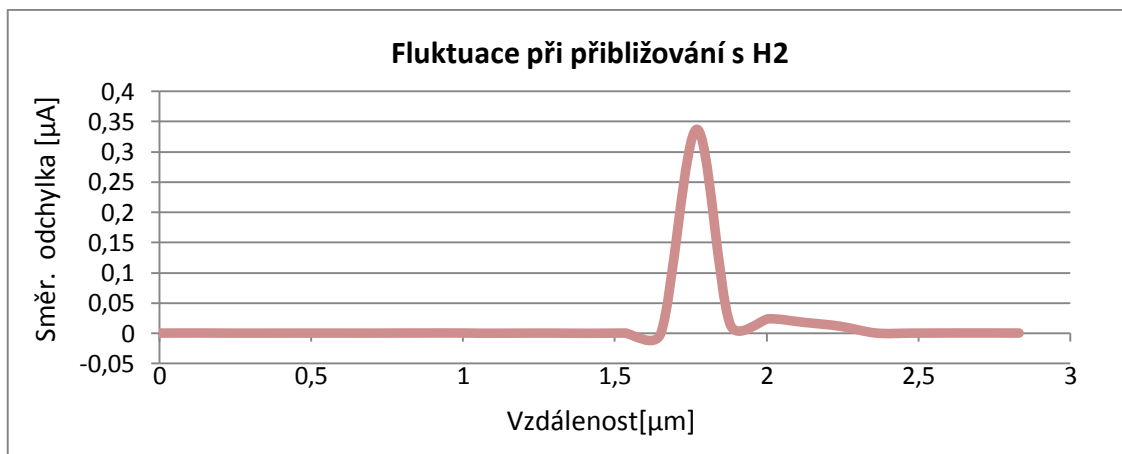
Obsahuje naměřená data a tuto diplomovou práci.

PŘÍLOHA P I:

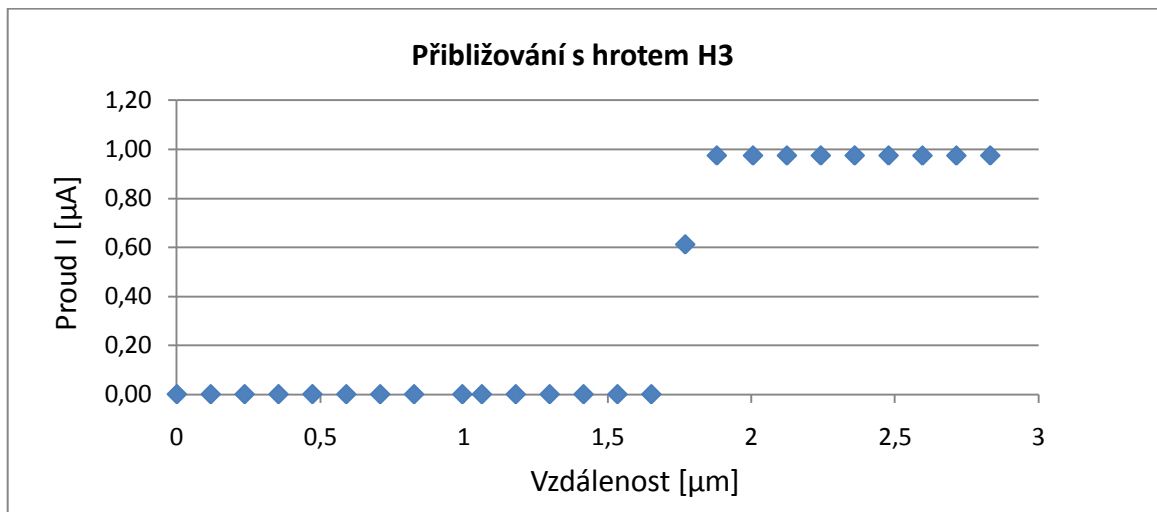
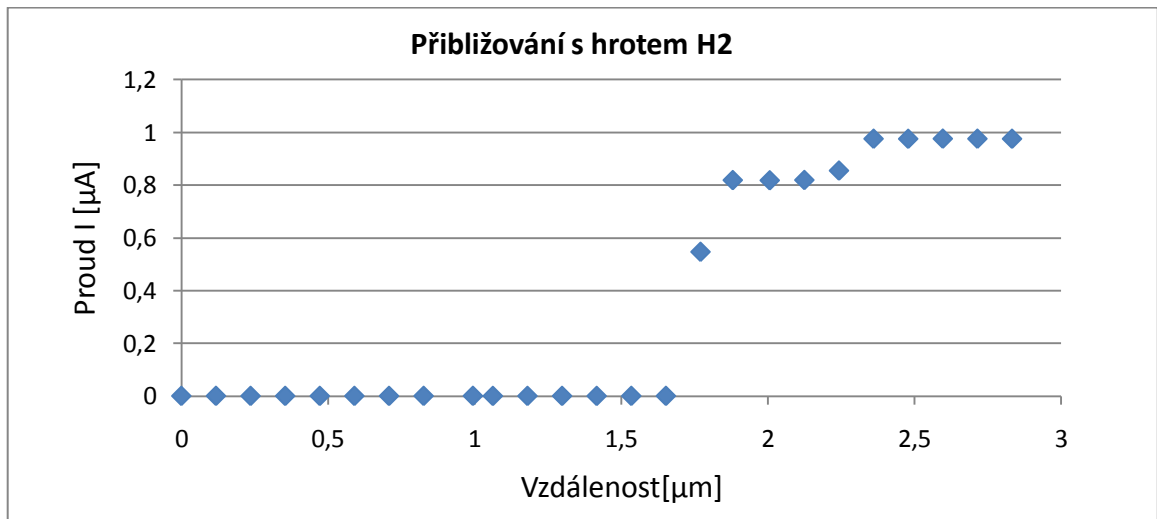








PŘÍLOHA P2:



PŘÍLOHA P3:

