

# Návrh a realizace experimentální úlohy na měření polohy

Petr Kovář

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2014/2015

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Kovář**  
Osobní číslo: **A12528**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a realizace experimentální úlohy na měření polohy**  
Téma anglicky: **The Design and Development of Laboratory Tasks for Position Measurement**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rozbor vhodných senzorů určených na měření polohy.
2. Navrhněte experimentální úlohu pro výukové účely s využitím vybraných senzorů.
3. Realizujte a ověřte funkčnost experimentální úlohy.
4. Navrhněte vhodné zadání k měření s vytvořenou úlohou.
5. Vypracujte vzorový protokol z měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. RIPKA, Pavel, Stanislav ĎADO, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. **Senzory a převodníky**. Praha: České vysoké učení technické, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
2. HRUŠKA, František. **Senzory v systémech informatiky a automatizace**. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
3. **Elektrotechnická měření**. 1. Vyd. Praha: BEN technická literatura, 2002, 255 s. ISBN 80-7300-022-9.
4. MARTINEK, Radislav. **Senzory v průmyslové praxi**. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
5. HRUŠKA, František. **Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití [online]**. 2. rozšířené vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2010 [cit. 2015-01-31]. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Skočík**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**6. února 2015**

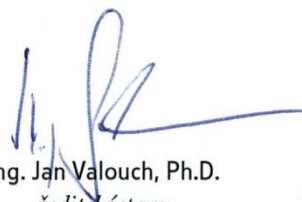
Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2015**

Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Jan Valouch, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

### **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 připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- 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/bakalářské 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 3.6.2015



.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Bakalářka práce pojednává o měření vzdálenosti pomocí senzorů s různými fyzikálními principy a následně jejich praktické ukázky. V teoretické části je uvedeno, jak funguje senzor, jeho význam a typické vlastnosti senzorů. Dále jsou zmíněny senzory, které se používají na měření polohy a jejich fyzikální principy. V praktické části je vytvořen návrh úlohy na měření polohy, konkrétní výběr použitých senzorů a výběr prvků konstrukce. V práci je uvedena realizace experimentální úlohy a ověření její funkčnosti. Následně je vypracován návrh vhodného zadání na měření experimentální úlohy a vzorový protokol z provedeného měření. Vytvořená experimentální úloha bude sloužit pro výukové účely v předmětu Senzory.

Klíčová slova: Senzory, senzory přiblížení, laboratorní úloha, měření polohy

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is about measuring distance while using a sensor with different physical principals and consecutively following its practical demonstrations. The theoretical section includes how the sensor operates, its importance and its typical characteristics. Also mentioned are the sensors which are used for the measurement of a location and their physical principles. The practical section explains a proposal suggesting the measurement of a location, the specific selection of used sensors and selection of the construction elements. The thesis expresses the realization of the experimental job and verification of its functionality. Next, an appropriate assignment is created for an experimental job and model protocol of carried measurement. This experimental job will be used for the educational purposes in the subject "Sensors".

Keywords: sensor, proximity sensors, laboratory measurement, position measurement

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Skočíkovi za metodickou pomoc, věcné připomínky, cenné rady a odborné vedení, které mě při zpracování práce poskytl.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

ÚVOD.....	8
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>9</b>
<b>1 SENZOR A JEHO VÝZNAM.....</b>	<b>10</b>
<b>2 PARAMETRY SENZORU.....</b>	<b>11</b>
2.1 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI.....	11
2.2 STATICKÉ VLASTNOSTI.....	12
<b>3 HISTORIE A ROZVOJ SENZORŮ.....</b>	<b>14</b>
<b>4 METODY ZMENŠENÍ CHYB SENZORŮ.....</b>	<b>15</b>
<b>5 SENZORY NA MĚŘENÍ POLOHY.....</b>	<b>18</b>
5.1 ODPOROVÉ SENZORY.....	18
5.2 INDUKČNÍ SENZORY.....	19
5.2.1 Princip činnosti.....	20
5.3 KAPACITNÍ SENZORY.....	22
5.3.1 Princip činnosti.....	22
5.4 MAGNETICKÉ SENZORY.....	24
5.5 ULTRAZVUKOVÉ SENZORY.....	26
5.6 OPTICKÉ SENZORY.....	28
5.6.1 Fyzikální základy.....	28
<b>6 VYUŽITÍ V PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZPEČNOSTI.....</b>	<b>29</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>30</b>
<b>7 CÍL PRAKTICKE ČÁSTI.....</b>	<b>31</b>
<b>8 NÁVRH ÚLOHY NA MĚŘENÍ POLOHY.....</b>	<b>32</b>
<b>9 VÝBĚR VHODNÝCH SENZORU.....</b>	<b>34</b>
9.1 POSUVNÝ POTENCIOMETR ALPS.....	34
9.2 OPTICKÝ SENZOR SHARP.....	35
9.3 HALLŮV SENZOR ALLEGRO.....	36
9.4 INDUKČNÍ SENZOR LANBAO.....	37
9.5 KAPACITNÍ SENZOR GREEGOO.....	37
<b>10 VÝBĚR PRVKŮ KONSTRUKCE.....</b>	<b>38</b>
<b>11 REALIZACE PROTOTYPU LABORATORNÍ ÚLOHY.....</b>	<b>40</b>
<b>12 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI LABORATORNÍ ÚLOHY.....</b>	<b>47</b>
<b>13 NÁVRH ZADANÍ.....</b>	<b>50</b>
<b>14 PROTOKOL.....</b>	<b>54</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>65</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>69</b>

## ÚVOD

Měření polohy se využívá ve všech možných odvětví průmyslu. Senzory jsou často využívány k automatizaci. Dnes každý ví, že se průmyslová výroba bez automatizace neobejde. Senzory se často využívají v kombinaci s řídicími počítačovými systémy a programovatelnými automaty. Průmyslová výroba by byla zcela bezmocná bez snímačů, které jsou často nazývané senzory. Tyto senzory dávají počítači informace o stavu prostředí, ve kterém se nacházejí. Může jít o informace o tlaku, teplotě a vzdálenosti atd.

Podle toho, k čemu jsou senzory polohy využívány a v jakém prostředí používány, se odvíjí jejich cena. S cenou souvisí jejich přesnost, kvalita, odolnost. Cena senzorů se odvíjí i od toho na jakém fyzikálním principu fungují a na jakou vzdálenost jsou schopné snímat. Odpor, kapacita, indukčnost, magnetismus, šíření světla, šíření zvuku jsou fyzikální veličiny a vlastnosti, které lze využít k měření polohy. Tyto senzory, které využívají k snímání polohy změnu odporu, magnetismus, patří mezi levnější a ne moc často využívané v průmyslu. Nejčastěji se můžeme setkat se senzory využívající ke snímání kapacitu, indukčnosti, ultrazvuk a v poslední řadě světlo. Tyto senzory jsou poměrně dražší.

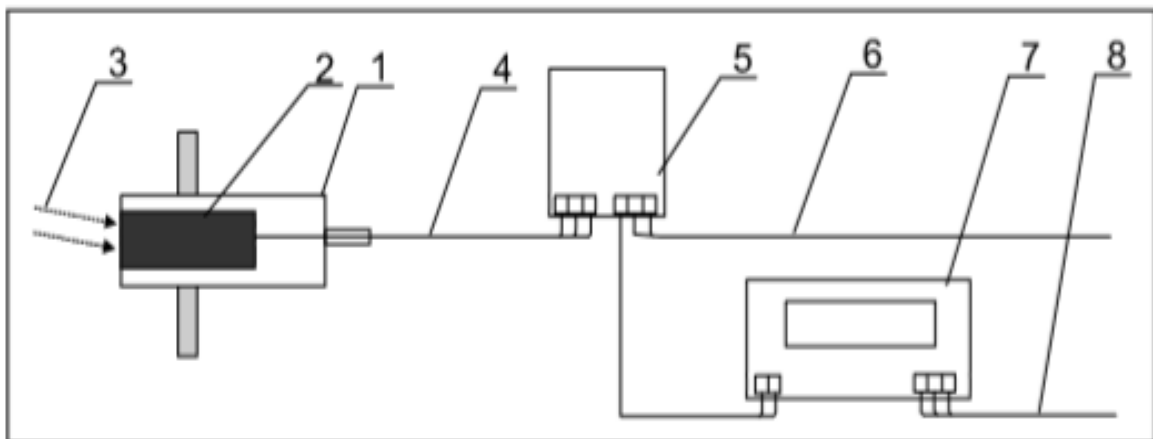
Senzory na měření polohy se dají rozdělit na dva druhy. Senzory měření vzdálenosti a senzory snímající přiblížení. Senzory přiblížení se využívají v průmyslových výrobních, kde není potřeba měřit vzdálenosti, ale pouze např. indikovat přítomnost předmětu, výšky hladiny vody apod. Ke snímání dochází kolikrát na krátké vzdálenosti a mají robustní konstrukci. Využívají se zde často kapacitní, indukční, optické senzory. Senzory na měření vzdálenosti v sobě obsahují obvody, pomocí nich mají senzory na výstupu proměnlivý signál. Tyto změny výstupního signálu můžeme použít pro výpočet vzdálenosti snímaného předmětu. Na měření vzdálenosti se často využívají optické senzory a ultrazvukové senzory, kvůli možnosti měřit větší vzdálenosti.

Fyzikální principy těchto senzorů a i přímo senzory polohy se využívají i v průmyslu komerční bezpečnosti. Kde se využívají na ochranu osob a majetku. Používají se jako technická ochrana. Můžeme se s nimi setkat např. u perimetrické, prostorové, předmětové ochrany. Dále i v automobilovém průmyslu, kde mají nejčastější využití jako „parkovací senzory“, které jsou umístěny v náraznících automobilu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SENZOR A JEHO VÝZNAM

Systémy automatizace se neustále rozvíjí ve službách, v domácnosti, v průmyslu a i zdravotnictví. Kvalita vstupních informací je základ funkce těchto systémů a jde hlavně kvalitu podsystému měření. Schéma měřícího řetězce je na obr. 1. Z obecného pohledu lze rozdělit schéma měřícího řetězce na snímač, převodník a vyhodnocovací jednotka. Snímač (1), který je základním prvkem, obsahuje senzor (2), kde dochází ke snímání nebo převodu fyzikálního podnětu (3) na měronosný signál obvykle neunifikovaný (4). Lze říct, že senzor tvoří rozhraní mezi obvody zpracovávající informace a podnětem sledovaného objektu. Další částí měřícího řetězce je elektronický obvod nazývaný převodník (5), který vyhodnocuje signál vyslaný ze senzoru a upravuje jej na unifikovaný signál (6), např. 0-10V DC. Pokud chceme dále zpracovávat signál měřené veličiny, např. měření dodávky tepla, může se použít vyhodnocovací jednotka (7) a její výstup (8). [1]



Obr. 1. Schéma měřícího řetězce [1]

Senzor je element, který je ovlivněn měřenou veličinou, generující v senzoru mechanické, fyzikální, chemické změny a proto významnou částí snímače. [1]

Měřící soustava je obdoba čidel, receptoru u živých tvorů, kteří mají oči, nos atd. jako snímače a buňky citlivé na světlo, vůni jako senzory. [2]

## 2 PARAMETRY SENZORU

Pro každou aplikaci je zapotřebí vybrat senzor podle kladených požadavků na určitý typ senzoru. Často jsou požadavky protichůdné a musíme volit kompromis mezi přesností a cenou. [3]

Na vlastnosti senzorů jsou obecné požadavky, mezi které patří:

- Velká přesnost
- Velká citlivost
- Vysoká spolehlivost
- Jednoznačně dána závislost mezi výstupní veličinou a měřenou veličinou
- Cena / náklady na provoz
- Co nejmenší závislost na vlivech prostředí
- Přijatelné statické charakteristiky

Rozhodující požadavky na senzor návrhář volí často podle závislosti mezi výstupní a měřenou veličinou nebo také podle vhodných průběhů charakteristik. Podstatné parametry a charakteristiky jsou popisovány dynamickými a statickými vlastnostmi. [3]

### 2.1 Dynamické vlastnosti

Dochází k změně v čase, jak u měřené hodnoty fyzikální nebo jiné veličiny. Senzory indikující mezní stavy nebo senzory zařazené v regulačních smyčkách musí být navrženy tak, aby s minimálním zkreslením výstupní signál sledoval vstupní signál. Tyto vlastnosti je potřeba znát pro syntézu a analýzu regulačních a měřících systémů. [4]

Dynamické vlastnosti se dají zobrazit dynamickými charakteristikami [5]:

- **Frekvenční charakteristika** - popisuje ji frekvenční funkce. Jde o chování přístroje při harmonické změně vstupní veličiny.
- **Přechodová charakteristika** - popisuje ji přechodová funkce. Je to odezva na skokovou změnu vstupní veličiny.
- **Rychlostní charakteristika** - popisuje ji rychlostní funkce. Jde o odezvu na vstupní veličinu, která se mění s konstantní rychlostí.
- **Impulsní charakteristika** - popisuje ji impulsní funkce. Jde o odezvu na vstupní veličinu ve formě impulsu.

## 2.2 Statické vlastnosti

Převodní charakteristika je dána funkční závislosti mezi výstupní veličinou  $y$  a vstupní veličinou ( $y = f(x)$ ). Závislost lze často vyjádřit polynomem [4]:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_n \cdot x^n \quad (2.1)$$

Ideální charakteristika je pak dána:

$$y = K \cdot x \quad (2.3)$$

kde  $K$  - citlivost senzoru

- **Rozlišitelnost** senzoru je určena hodnotou snímané veličiny, která odpovídá směrodatné odchylce signálu na výstupu senzoru. Rozlišitelnost číslicových senzorů je omezena na 1 LSB.
- **Dynamický rozsah** je dán rozsahem přípustných hodnot měřené fyzikální veličiny.
- **Opakovatelnost** senzoru je dána změnou naměřené hodnoty za stále velikosti vstupní veličiny. Zde není zahrnuta hystereze.
- **Relativní chyba** je určena vztahem [4]:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{max} - x_{min}} \quad (2.3)$$

kde  $\Delta x$  - absolutní chyba

- **Offset** se nazývá aditivní chyba, která vznikne posunem lineární charakteristiky. Pokud absolutní chyba je nezávislá na měřené hodnotě, jde o chybu s aditivním charakterem. Když měřená veličina dosáhne maxima rozsahu, relativní chyba je nejmenší.
- **Přesnost senzoru** může být vyjádřeno absolutní chybou, která se často vyjadřuje procentuálně z rozsahu.
- **Chyba linearity** je stanovena odchylkou od ideální lineární charakteristiky. Chyba linearity pro analogový signál je dána vztahem [4]:

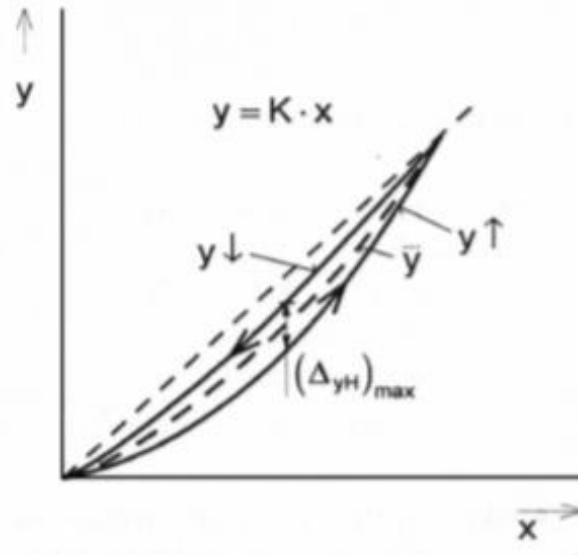
$$\delta_L = \left( \frac{y - y_L}{y_{max} - y_{min}} \right)_{max} \quad (2.4)$$

kde  $y_L$  je ideální lineární funkcí  $y = K \cdot x$

Hodnota  $K$  jde vypočítat pomocí lineární regrese a to metodou nejmenších čtverců.

- Chyba hystereze je podle obr. 2 určena vztahy:

$$\delta_L = \left( \frac{y_{\downarrow} - y_{\uparrow}}{y_{max} - y_{min}} \right)_{max} \quad (2.5)$$



Obr. 2. Hystereze [4]

Hystereze omezuje přesnosti řady magnetických materiálů a mechanických systémů. U detailního technického popisu senzoru by měly být uváděny chyby při laboratorních teplotách a také v celém pracovním rozsahu. Pro lidi, navrhující senzory, je potřebné znát nejen hodnoty teplotního driftu offsetu a teplotní koeficient citlivosti, ale celkově teplotní závislosti. Pro kritické aplikace může být uváděna i vlhkost, radiace apod. [4]

### 3 HISTORIE A ROZVOJ SENZORŮ

Vývoj senzoru v historii ukazuje fakta, jak se postupně uplatňovaly základní principy. Zde jsou uvedeny nějaké údaje [1]:

- Změna odporu vodiče při deformaci, r. 1856
- Odporový teploměr, r. 1871
- Tenzometrické snímače pro měření tlaku, r. 1917
- Uhlíkové snímače měření tlaku, r. 1924
- Polarografie, r. 1924
- Většina fyzikálních principů je uplatněna v technice měření, r. 1920-1935

Technologie výroby je to, co ovlivňuje velkým způsobem vývoj senzoru. Starší generace senzorů jsou prvky elektromagnetické a mechanické. Při výrobě se používá elektrotechnická a strojní technologie. Jde zpravidla o robustní a hmotnější senzory. Technologie výroby jsou pak modernizovány, např. při výrobě rezistorů, vodičů, kapacitorů je výroba modernizována tlustovrstvými technologiemi na bázi keramiky, plastů nebo kovů. Při rozvojem polovodičových technologií dochází i k rozvoji aplikace technologií do výroby senzorů. Polovodičové technologie nám dávají možnost vyrábět tzv. integrované senzory, které obsahují aktivní polovodičové prvky, včetně procesoru pro zpracování signálu, mikrokontrolerů, zesilovačů apod. Dochází tímto k snížení šumu, zvýšení rychlosti zpracování signálu, snížení parazitní impedance. [1]

V následujícím období bude pokračovat rozvoj senzorů. A lze předpokládat, že půjde o rozvoj hlavně biosenzorů a MEMS senzorů. Komunikace se bude rozšiřovat do oblasti bezdrátového propojení. Největší tempo výzkumu bude u použití nových materiálů pro senzory. [1]

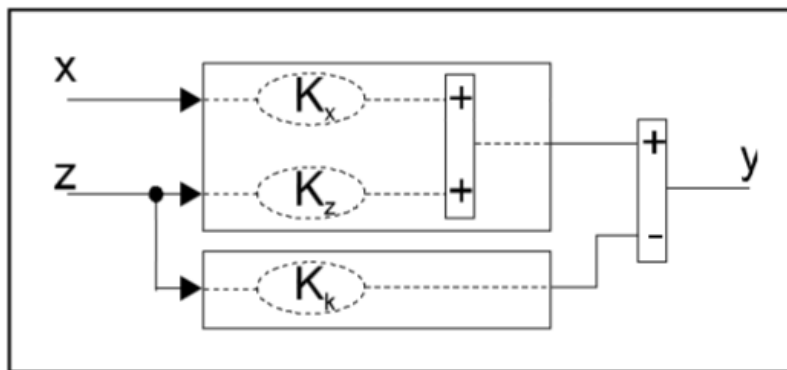
## 4 METODY ZMENŠENÍ CHYB SENZORŮ

Senzory dávají výstupní signál zatížený vnějšími a vnitřními parazitními vlivy při reakci na vnější vstupní podnět. Vnější vlivem může být jednak vazba výstupu na další obvody, vazba na měřený proces a vyhodnocování. Vnitřním rušením a náhodnými a systematickými procesy senzoru jsou dány vnitřní chyby senzoru. Vstupní vazba senzoru je např. zajištění co nejdokonalejšího přestupu tepla z měřené plochy do senzoru, při měření teploty. Takže podstatou vstupní vazby je kvalita přenosu měřeného podnětu. [1]

Pro zmenšení chyb snímání chyb senzoru v praxi jsou používány metody např.:

- Kompenzační metoda
- Metoda diferenciálního zapojení
- Metoda zpětnovazebního senzoru
- Metoda automatické kalibrace
- Metoda filtrace

### a) Kompenzační metoda



Obr. 3. Schéma kompenzačního zapojení senzorů [1]

Jde o zapojení měřicího a kompenzačního senzoru. Měřicí senzor má na vstupu poruchovou veličinu  $z$  a vnější podnět. Kompenzační senzor současně snímá poruchovou veličinu. V rozdílovém členu je pak vyhodnocován výstup  $z$  obou senzorů dle rovnice:

$$y = K_x \cdot x + z(K_z - K_k) \quad (4.1)$$

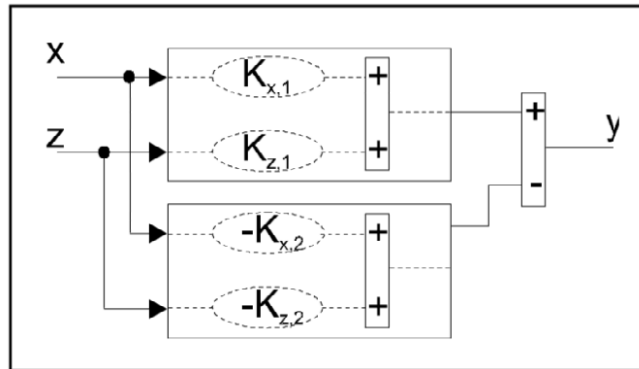
Kde  $K_x$  – citlivost senzoru měřené veličiny

$K_z$  – citlivost senzoru poruchové veličiny

$K_k$  – citlivost korekčního senzoru

Rovnost citlivosti kompenzačního a měřícího senzoru na poruchovou veličinu je podmínkou pro kvalitní kompenzaci. [1]

### b) Metoda diferenčního zapojení



Obr. 4. Schéma diferenčního zapojení senzoru [1]

V rozdílovém členu je výstup vyhodnocen dle rovnice:

$$y = 2 \left( \frac{\delta f(x)}{\delta x} \right)_{x_0} + \frac{x^3}{3!} \left( \frac{\delta^3 f(x)}{\delta x^3} \right)_{x_0} = 2Kx(1 + \delta_y) \quad (4.2)$$

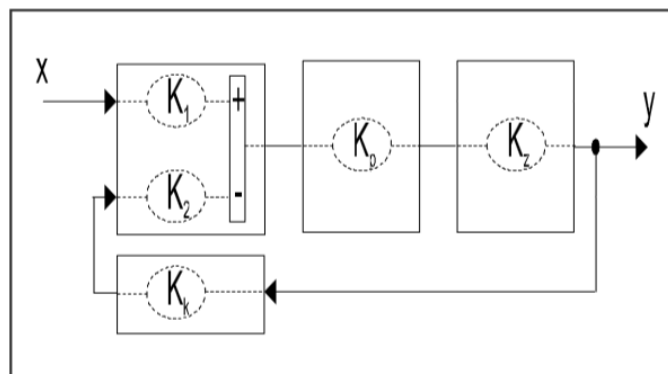
$$K = \left( \frac{\delta f}{\delta x} \right)_{x_0} \quad (4.3)$$

Kde  $K$  – konstanta statické charakteristiky v bodě  $x_0$

$\delta_y$  – relativní chyba měření od nelinearity

Ze vztahu vyplývá, že se zvyšuje citlivost zapojení dvojnásobně. Rušivé aditivní chyby senzoru jsou tímto způsobem zapojení eliminovány. [1]

### c) Metoda zpětnovazebního senzoru



Obr. 5. Schéma zpětnovazebního senzoru [1]

Zpětná vazba výstupu senzoru je zavedena do zapojení senzoru. Pokud konstanty senzoru jsou  $K_1 = K_2 = 1$ , můžeme pro výstup  $y$  napsat:

$$y = K_p \cdot K_p(x - x_0) = K_p \cdot K_p(x - K_k y) \quad (4.4)$$

Kde  $K_x$  – zesílení převodníku

$K_z$  – zesílení zesilovače

$K_k$  – zesílení korekce

Pokud je zesílení převodníku a zesilovače dostatečně velké, závisí přenos senzoru jedinečně na zesílení korekčního zesilovače. Tento zesilovač musí mít dobrou odolnost vůči rušivým vlivům a dobrou stabilitu přenosu, dále musí vykazovat malé chyby nelinearity. Senzor musí mít dobrou stabilitu nuly a tyto požadavky lze dostatečně splnit. [1]

#### **d) Metoda automatické kalibrace**

Používá se v obvodech, kde se využívá číslicová technika. Podle kalibračních údajů, které se získávají přepínáním na referenční a nulové napětí, se upravuje výstupní signál senzoru. Příkladem může být měřicí systém termovize. [1]

#### **e) Metoda filtrace**

Slouží k zajištění potlačení spektra rušivých signálů. Dochází k vyfiltrování spektra jiných frekvencí než frekvence měřeného signálu pomocí klasických filtrů. Pokud jsou frekvence rušivých veličin a senzorů ve společném pásu, musí se použít složitější řešení. Použije se periodicky proměnný signál o známé frekvenci, jestliže se rušivé vlivy uplatňují v citlivé části senzoru. [1]

## 5 SENZORY NA MĚŘENÍ POLOHY

Senzory posuvu, rozměrů a polohy se vyrábí v lineárním nebo rotačním provedení. Lze je rozdělit do kategorií:

- Dvoustavové senzory
  - Kontaktní
  - Bezkontaktní
- Senzory s binárním výstupem (tvar logického signálu): ty mohou být absolutní nebo inkrementální
  - Optické
  - Magnetické
- Senzory se spojitým výstupem
  - Odporové
  - Kapacitní
  - Indukční
  - Ultrazvukové
  - Optické

Dvoustavových senzorů polohy se vyrábí nejvíce – logický signál, spínací kontakt nebo výstup s otevřeným kolektorem. Polohové snímače mohou pracovat na dvoustavovém principu (jazýčkový kontakt, mechanický mikrospínač, Wiegandův senzor), nebo mohou obsahovat polohový senzor se spojitým výstupem (magnetorezistor, kapacitní senzor, Hallův senzor, optickou závoru,...) a na jeho výstupu komparátor. Polohové snímače lze používat i jako senzory rychlosti a úhlové polohy. Pro tyto aplikace se používají nejčastěji magnetické senzory, které jsou robustní a spolehlivé. Pokud měřený objekt není feromagnetický a nelze na objekt umístit permanentní magnet, je nutné použít senzor, který funguje na principu vířivých proudů. Ultrazvukové a kapacitní senzory lze použít u objektu, které jsou nevodivé (např. papír). Dále jako čidla polohy se používají i senzory optické. [4]

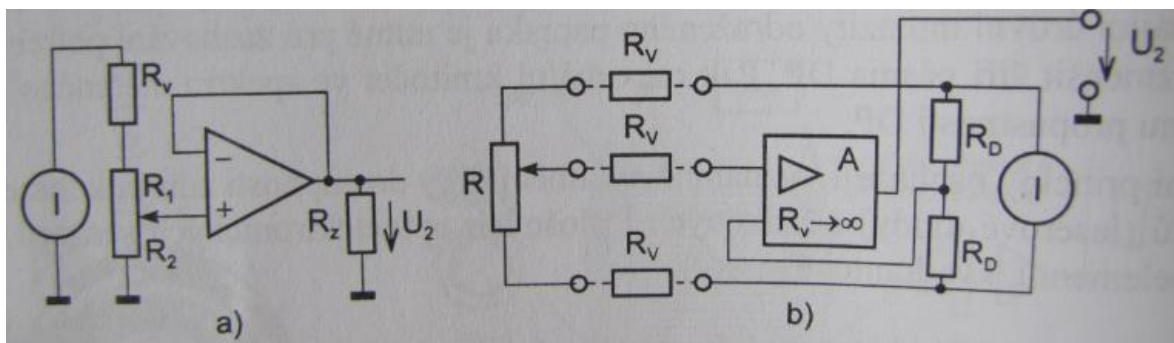
### 5.1 Odporové senzory

U těchto senzorů se používají odporové potenciometry s pohyblivým jezdcem (kontaktem), který je mechanicky ovládaný měřenou veličinou. Odporové dráhy jsou často vinuté z vodivých plastů a pouze u precizních potenciometrů se využívá odporový drát.

Nejčasněji se používají potenciometry přímočarého posuvu jezdce, s rotačním pohybem jezdce a se spirálovým pohybem jezdce. [4]

Lankem ovládané senzory měří posunutí až do 40m. Jde o lanko mechanicky připevněné a navinuté na optimálně tvarovaném bubnu, které je drženo pružinou ve svinutém stavu. K bubnu je mechanicky vázán jezdec potenciometru. Pružinový systém udržuje lanko stále napnuté, potlačuje vliv otřesu a hysterezi. Rychlost odvíjení je až 2 m/s. [4]

Senzor polohy se chová jako napěťový dělič s dělicím poměrem dle měřené polohy. Toto potenciometrické zapojení vylučuje chyby způsobené změnou rezistivity odporové dráhy. Měřicí obvody s velkým vstupním odporem a proudovým napájením, které vylučuje vliv odporu přívodů  $R_V$ , jsou na obr. 6. [4]



Obr. 6. Měřicí obvody pro odporový senzor: a) Napěťový sledovač, b) můstek [4]

*Rozlišovací schopnost* vinutých potenciometrů je určena skokovou změnou odporu při pohybu jezdce mezi sousedními závity a je omezena opakovatelností (výsledky se liší při opakovaném měření se stejnou polohou.). Převodní charakteristika je stupňovitá. *Linearita* závisí na rovnoměrnosti odporového vinutí nebo vrstvy. *Šum potenciometru* vzniká při pohybu jezdce po vinutí. Způsobují ho různé mechanické a elektrické efekty. [4]

Odporové senzory polohy jsou v mnoha aplikacích nahrazovány bezkontaktními potenciometry. Úhlová poloha otáčivého magnetu je snímána dvojicí magnetických senzorů. Tyto potenciometry mívají nižší přesnost. [4]

## 5.2 Indukční senzory

Indukční senzory mají široké použití v automatizaci průmyslu, zvláště v provedení senzoru přiblížení (iniciátorů). Pracují bezdotykově a bez zpětného působení. Mají uzavřené pouzdro a díky tomu jsou odolné vůči vlivům prostředí, ve kterém pracují. Vyznačují se také vysokou spolehlivostí. Tento senzor je polovodičový prvek pracující s vysokou

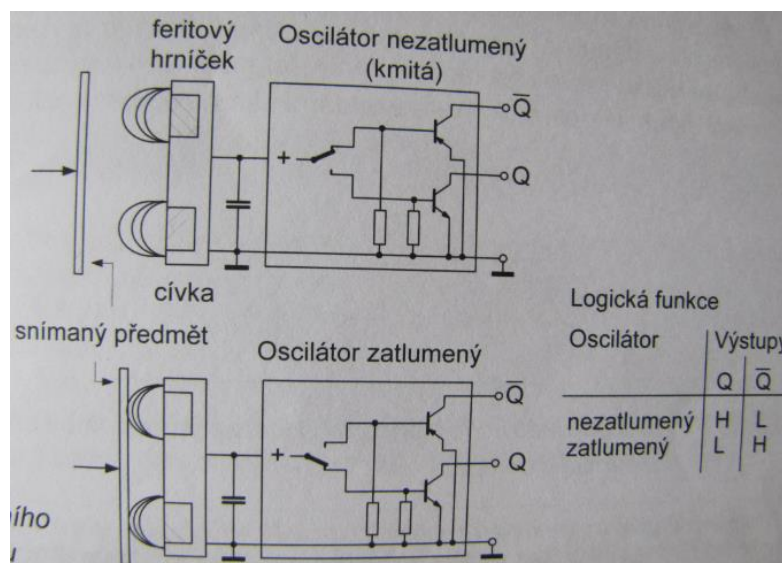
spínací frekvencí a má téměř neomezenou životnost, pokud nedojde k mechanickému poškození. [6]

Příklady použití:

- Inspekční úloha
- Regulační úlohy
- Počítání kusů
- Zpětné hlášení polohy akčního členu

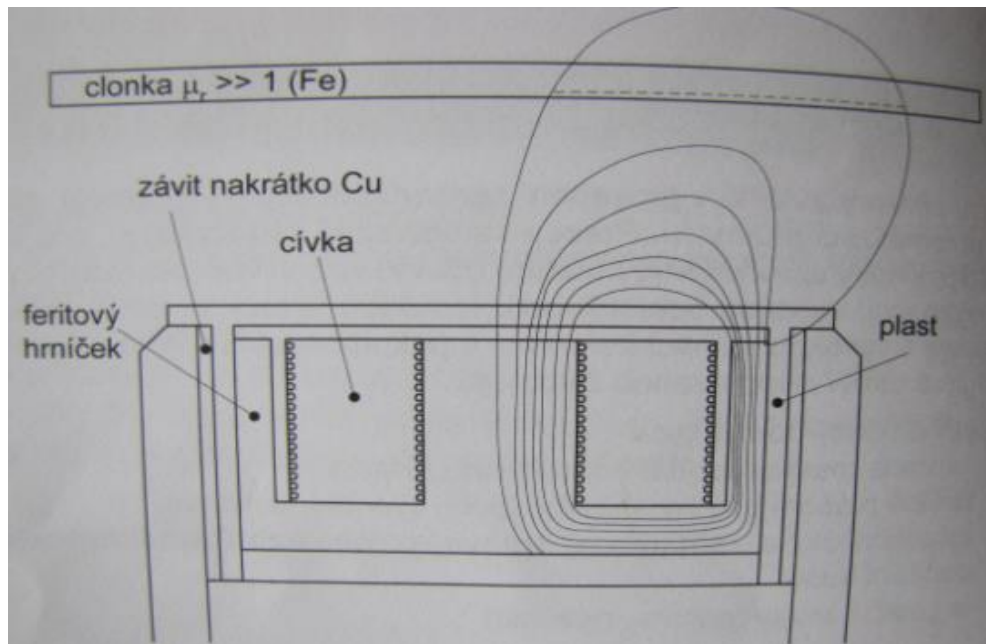
### 5.2.1 Princip činnosti

Základ tvoří feritový hrníček a cívka, která je aktivním prvkem indukčního senzoru. Cívka je umístěna na jádru poloviny feritového hrníčku a protéká jí vysokofrekvenční střídavý proud generovaný oscilátorem. Aktivní plocha je pak magnetické pole, vystupující z otevřené strany feritového hrníčku (obr. 7). [6]



Obr. 7. Princip indukčního senzoru [6]

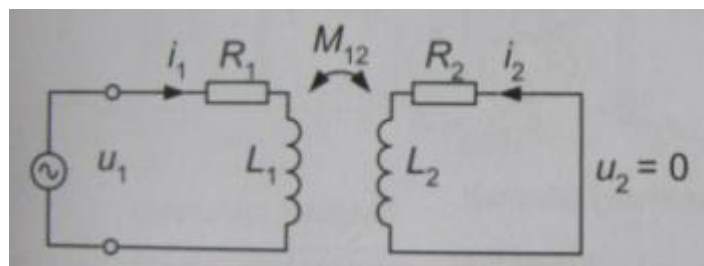
Pokud se nachází v blízkosti aktivní plochy předmět, který je z elektronicky vodivé materiálu, magnetické pole se zdeformuje. Na obr. 8 je zakreslena pouze polovina symetrického magnetického pole kvůli přehlednosti. [6]



Obr. 8. Průběh magnetických siločar bez clonky a s clonkou (přerušovaná čára)[6]

Vířivé proudy se indukují v předmětu. Je dáno, že snímaný předmět je z konstrukční oceli, tudíž je feromagnetický a elektricky vodivý. V terminologii indukčních senzorů se snímanému předmětu říká tlumicí clonka. Vlivem vířivých proudů dojde ke změně magnetického pole, které má pak vliv na cívku. Nastane změna její elektrické impedance. [6]

Tato změna impedance je vyhodnocena, zesílena a převedena na výstupní signál. Jednoduše lze považovat clonku za závit na krátko a celé uspořádání jako transformátor. Cívka senzoru představuje primární okruh a clonka sekundární okruh. [6]



Obr. 9. Transformátorové náhradní schéma indukčního senzoru s tlumicí clonkou [6]

Vlivem induktivní vazby, působí proud  $i_2$ , tekoucí sekundárním okruhem, na primární okruh. Dochází ke změně impedance cívky  $Z$ . [6]

Matematické odvození vychází z rovnic ideálního transformátoru:

Primární okruh:

$$u_1 = (R_1 + j\omega L_1) \cdot i_1 + j\omega M_{12} i_2 \quad (5.1)$$

Sekundární okruh:

$$0 = u_2 = (R_2 + j\omega L_2) \cdot i_2 + j\omega M_{12} i_1 \quad (5.2)$$

Z toho plyne:

$$Z = \frac{u_1}{i_1} = R_1 + j\omega L_1 + (R_2 - j\omega L_2) \cdot \frac{\omega^2 M_{12}^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \quad (5.3)$$

$$Re(Z) = R_1 + R_2 \cdot \frac{\omega^2 M_{12}^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \quad (5.4)$$

$$Im(Z) = \omega L_1 - \omega L_2 \cdot \frac{\omega^2 M_{12}^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \quad (5.5)$$

Díky přítomnosti vodivého materiálu se reálná část impedance zvýší vůči vlastnímu odporu cívky v závislosti na  $L_2, R_2, \omega$  a  $M_{12}$ . Indukčnost  $L_2$  a Odpor  $R_2$  jsou dány materiálem a tvarem clonky. Kmitočet  $\omega$  se volí podle účelu. Jelikož v imaginární části se indukčnost  $L_2$  vyskytuje v čitateli a jmenovateli, je méně ovlivňována. Z toho plyne, že znatelné změny impedance nastávají až při velmi malých vzdálenostech mezi clonkou a cívkou. Pro detekci vodivého předmětu ji nepoužíváme. Zde se uplatňuje pouze reálná část impedance, která vytváří zatlumení oscilátoru.[6]

### 5.3 Kapacitní senzory

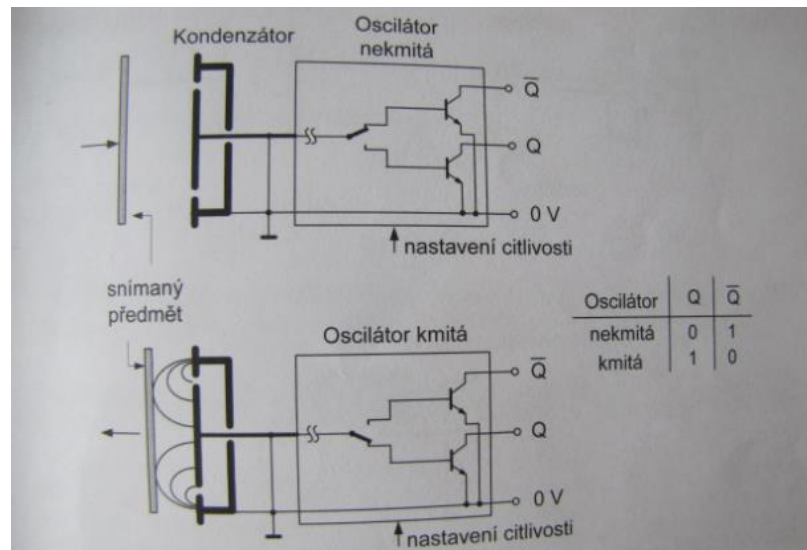
Tyto senzory pracují stejně jako indukční senzory, bez zpětného působení, bezdotykově a s polovodičovým výstupem. Lze pomocí nich detekovat jak vodivé tak i nevodivé materiály. Používají se jako senzory přiblížení.[6]

Příklady použití:

- Hlídání hladit kapalin
- Hlídání hladit sypkých hmot
- Snímání nekovových předmětů

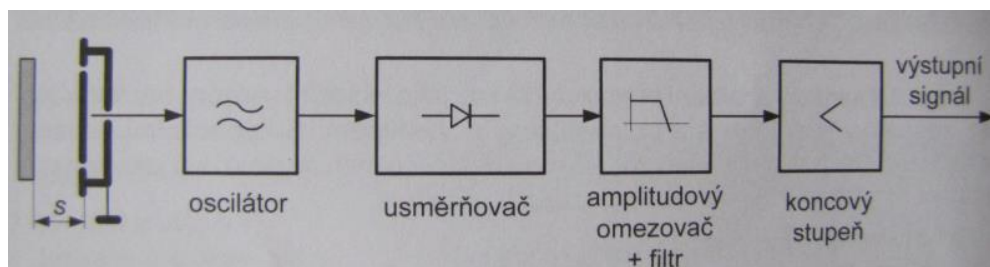
#### 5.3.1 Princip činnosti

U kapacitního senzoru je aktivním prvkem kotoučová elektroda nacházející se uvnitř válcového pouzdra, které zde slouží jako stínění (obr. 10. [6])



Obr. 10. Princip kapacitního senzoru [6]

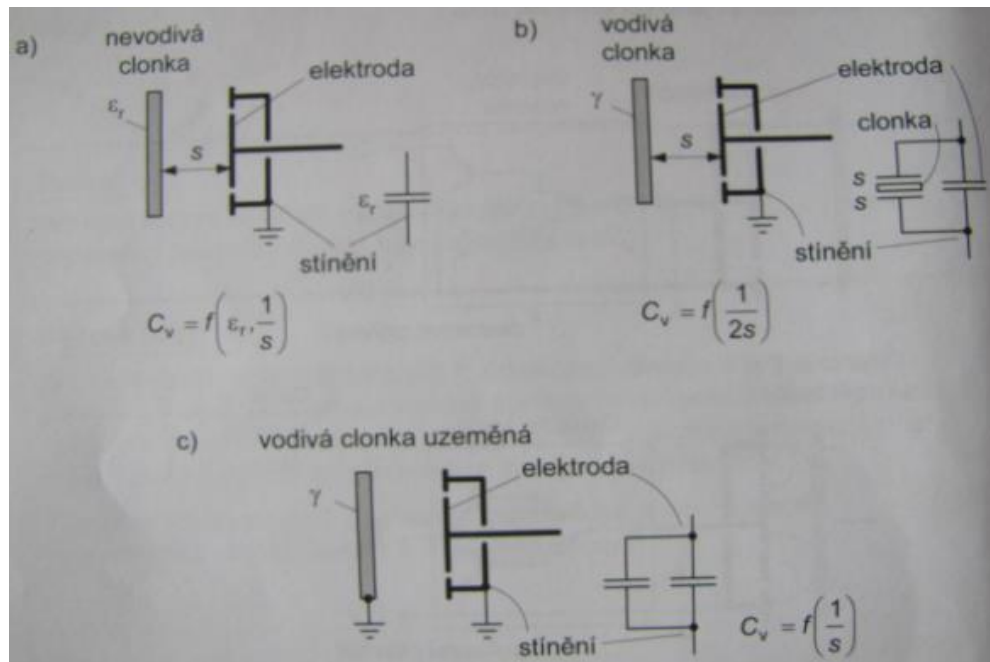
Obě elektrody vytvářejí kondenzátor s kapacitou  $C_z$ . Pokud se ke snímací ploše senzoru přiblíží clonka, změní se hodnota kapacity o  $\Delta C$ . Kondenzátor je součástí RC oscilátoru, jehož výstupní napětí je závislé na aktivní kapacitě mezi stíněním a elektrodou senzoru  $C_V = \Delta C + C_z$ . Na Obr. 11 je uvedeno blokové schéma senzoru. Výstupní napětí oscilátoru se usměrňuje, filtruje, potlačí se případné poruchy signálu a je k dispozici řídicí signál pro koncový stupeň. [6]



Obr. 11. Blokové schéma kapacitního senzoru [6]

Kapacitní senzor je možné ovládat třemi způsoby:

- Elektricky nevodivou clonkou
- Elektricky vodivou izolovanou clonkou
- Elektricky vodivou uzemněnou clonkou



Obr. 12. Možnosti ovládaní kapacitních senzoru [6]

Podle obr. 12a zvýší kapacitu  $C_v$  nevodivá clonka jen změnou dielektrika v rozsahu elektrického pole kondenzátoru. Toto zvýšení kapacity je závislé na rozměrech a permitivitě  $\epsilon_r$  clonky a je relativně velmi malé. Proto je spínací vzdálenost mála. [6]

Přiblížením elektricky vodivé neuzemněné clonky (kov), podle obr. 12b, vzniknou dva v sérii zapojené kondenzátory paralelně k základnímu kondenzátoru  $C_z$ . Vznik kondenzátoru mezi clonkou a stíněním a mezi elektrodou senzoru a clonkou. Zvětšení kapacity  $\Delta C$  a spínací vzdálenosti je větší než u případu s elektricky nevodivou clonkou. [6]

U elektricky vodivé uzemněné clonky, viz obr. 12c, se dosáhne největší změny kapacity a i největší spínací vzdálenosti. Přídavný kondenzátor se nyní nachází mezi clonkou a elektrodou senzoru (paralelně k  $C_z$ ). [6]

Kapacitní senzory se používají také i pro snímání různých tvarů těles, kapalin a sypkých hmot. [6]

## 5.4 Magnetické senzory

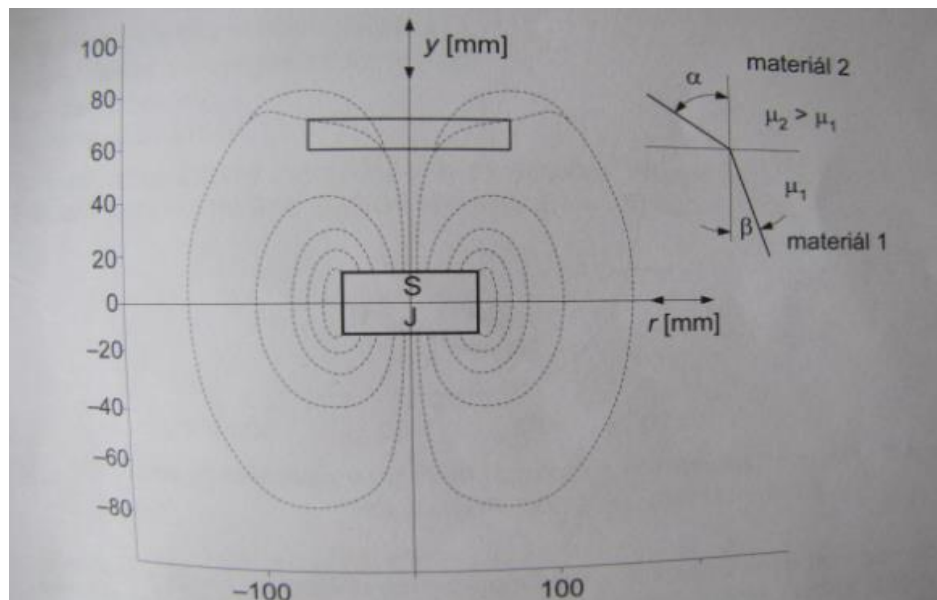
Tyto senzory jsou založeny na principech známých z měření magnetického pole. Zdroj magnetického pole bývá trvalý magnet umístěný na snímaném předmětu. Občas může být magnet součástí senzoru. Snímaný předmět musí být z feromagnetického materiálu.

Feromagnetický materiál má relativní permeabilitu mnohokrát větší než 1. Co znamená, že má silnější reakci na magnetické pole. [6], [7]

Příklady použití:

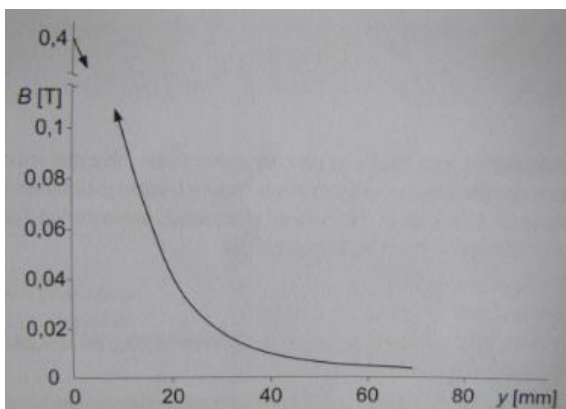
- Snímání hladit kapalin a sypkých materiálů
- Jednoduché identifikační systémy
- Snímání poloh pneumatikých válců

Na obr. 13 je ukázka, jak vypadá magnetické pole vytvořené válcovým magnetem. Magnetické siločáry probíhají (dle dohody) od severního pólu k jižnímu a uzavírají se vnitřkem magnetu. [6]

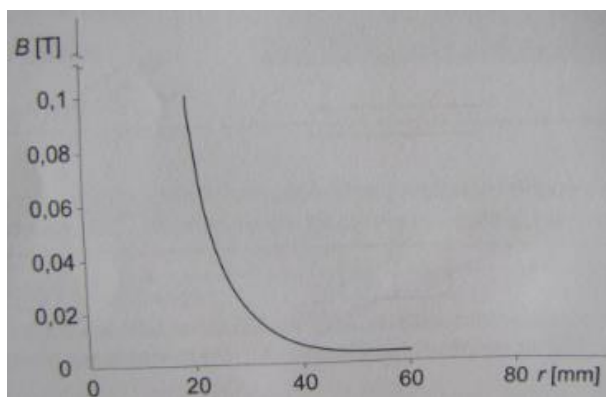


Obr. 13. Magnetické pole válcového magnetu ovlivněné feromagnetickým předmětem [6]

Z obr. 14 a obr. 15 je možno odpočítat hodnotu magnetické indukce v radiálním a axiálním směru od magnetu stejného tvaru. [6]



Obr. 14. Magnetická indukce anizotropního feritu v závislosti na vzdálenosti v axiálním směru [6]



Obr. 15. Magnetická indukce anizotropního feritu v závislosti na vzdálenosti v radiálním směru [6]

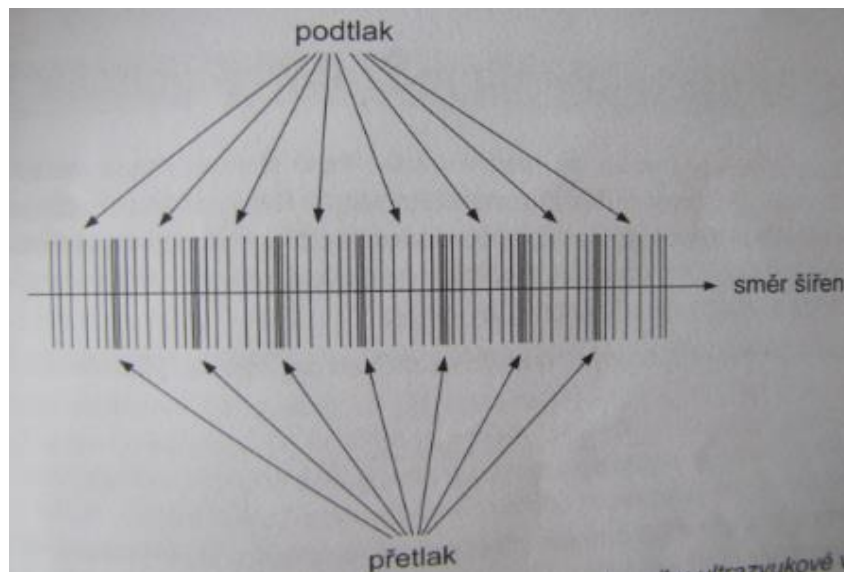
Siločáry se lámou na rozhraní dvou materiálů s rozdílnou permeabilitou (v případě, že nejdou kolmo). Jde o podobnost známého Snellova Zákona lomu z optiky. Siločáry lze také nasměrovat dle potřeby pomocí feromagnetických předmětů. Příkladem mohou být pólové nástavce magnetu.[6]

Na obr. 13 je znázorněno, jak se doformuje magnetické pole ocelovou destičkou. Tuto deformaci lze měřit čidlo různých principů činnosti. V automatizační technice se používají magnetorezistivní prvky, snímací cívky s přesycováním jádrem a Hallový sondy. [6]

## 5.5 Ultrazvukové senzory

Akustické vlny ve frekvenčním rozsahu, nad hranicí lidské slyšitelnosti, označujeme jako ultrazvuk. Frekvence ultrazvuku je větší než 2 GHz. Zvuk vzniká tak, že dochází ke chvění

hmoty. Toto chvění je předáváno hmotným částicím prostředí. Zvukové vlny se mohou šířit pouze hmotou na rozdíl od elektromagnetických vln. Nešíří se vzduchoprázdnem. Ve vzduchu nastane zředování a zhušťování částic. Místa zředění a zhuštění postupují vzduchem rychlostí nazvanou rychlost šíření zvuku  $c$ , jak je uvedeno na obr. 16. U částic nedochází k jejich přemísťování, ale pouze kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Předpokladem pro šíření zvuku hmotou je její pružnost a setrvačnost (elasticita). [6]



Obr. 16. Zředování a zhušťování částic při vzniku ultrazvukové vlny [6]

Zvukovou vlnu tvoří dvě sousední místa minimálně nebo maximálně zhuštěných vln. Kmitočet  $f$  se nazývá počet těchto zředění nebo zhuštění za sekundu. Mezi těmito akustickými veličinami platí vztah:  $c = \lambda \cdot f$ . Rychlost šíření zvuku závisí na prostředí a jeho fyzikálním stavu: teplotě, tlaku a na vlhkosti. Nezávisí na kmitočtu. [6]

U šíření zvuku vzduchem, které je nejčastější při použití ultrazvukových senzorů, se vyskytují pouze podélné vlny. Vzduch, kde se šíří zvuk, má vůči základnímu atmosférickému tlaku v místech zředění části podtlak a v místech zhuštěných částic mírný přetlak. Tyto změny tlaku se nazývají akustický tlak  $p$ . Při šíření zvuku kmitají částice kolem rovnovážné polohy určitou rychlostí, která se nazývá akustická rychlost  $v$ . Tuto rychlost nelze zaměňovat za rychlost šíření. Součin akustické rychlosti a akustického tlaku je intenzita zvuku  $I$ . Je to měrný výkon neboli akustická energie procházející jednotkovou plochou za 1 s. Akustická energie procházející plochou za jednu sekundu je pak akustický výkon. [6]

## 5.6 Optické senzory

Tyto senzory, nazývané fotoelektronické nebo optoelektronické, dnes představují z hlediska funkčního rozsahu a aplikačních možností nejvíce využívané senzory v průmyslové automatizaci. Při montážních technologiích jsou využívány v bezpečnostních aplikacích, inspekčních úlohách během výroby, v jednoduchých aplikacích. [6]

Další využití:

- Detekce přítomnosti, značek
- Kontrola polohy/velikosti, plnění/obsahu, chybějících částí
- Hlídaní rozměrů na velké vzdálenosti
- Hlídaní hladin
- Regulace polohy navíjení pasů

Jedním z důvodů, proč roste zájem o optosenzory jsou jejich stále menší rozměry a stále stoupající výkonnost. Využívají se především tam, kde je požadována větší spínací vzdálenost. Jsou odolné vůči rušivým elektromagnetickým polím. Méně odolné jsou pak proti silnému znečištění, vlhkosti a infrazářením. [6]

### 5.6.1 Fyzikální základy

Základní vlastností prvků je přeměna elektromagnetického vlnění na elektrický proud a obráceně. Pod pojmem světlo se rozumí elektromagnetické spektrum od ultrafialové oblasti až po infračervené oblasti (přibližně:  $0,3\mu\text{m} < \lambda < 1,2\mu\text{m}$ ). U optických senzorů se z počátku jako vysílací prvky využívaly z velké části žárovky. Příjímáči prvky pak byly fotodiody nebo fotobuňky. Použití u senzorů bylo značně omezené vlivem celé řady nepříznivých vlastností prvků. [6]

Jako vysílací prvky se dnes využívají polovodičové laserové diody a luminiscenční diody. Jako příjímáči prvky se používají fototranzistory, diody s laterálním efektem, fotodiody. [6]

## 6 VYUŽITÍ V PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZPEČNOSTI

Fyzikální principy těchto senzorů se používají u technické ochrany objektu. Zejména u perimetrické ochrany, plášťové, prostorové ochrany, nebo se dále využívají v automobilovém průmyslu. Vždy jde o ochranu osob a majetku. Příklady využití fyzikálních principu využívaných u senzorů:

- Změna odporu – využití u poplachových folií na skla, dále pak zabezpečení stěn objektu proti pokusu vniknutí do objektu skrz zdi, kdy je ve stěně natažen vodič. V obou případech po přerušení nebo poškození dojde ke změně odporu na vedení.
- Kapacita – využití u kapacitních detektorů, kde mezi dvěma elektrodami vzniká elektrostatické pole. Statické pole se v případě vložení předmětu do něj mění.
- Ultrazvuk – využití u ultrazvukových detektorů, kdy detektor využívá odrazu zvukových vln na principu Dopplerova jevu.
- Světlo – využití u IR závor a barrier, které fungují na principu vysílání a přijímání infračerveného záření.

V automobilovém průmyslu se jedná přímo o senzory měřící vzdálenost. Jedná se především o parkovací senzory, které jsou umístěny v náraznících automobilu. Kde se jedná spíše o ochranu majetku. Dále se využívají senzory, které snímají vzdálenost automobilu, jedoucího před automobilem se senzory. Tyto senzory jsou součástí bezpečnostního systému, který se snaží zabránit případné kolizi zabrzděním vozu.

## **II. PRAKTIVCKÁ ČÁST**

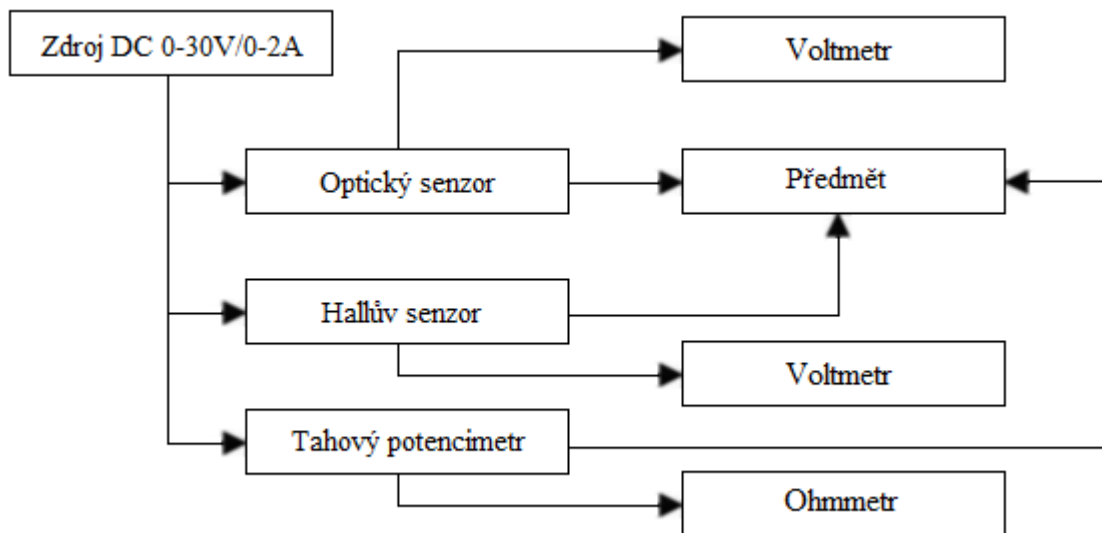
## 7 CÍL PRAKTICKE ČÁSTI

Cílem je navrhnout a realizovat experimentální laboratorní úlohu určenou na měření polohy. Tuto úlohu budou využívat studenti v laboratořích v předmětu Senzory. V předmětu Senzory studenti získávají znalosti ohledně všech možných druhů senzorů, využívaných v oboru automatizace, který je dnes součástí mnoha průmyslových odvětví. Jedná se o znalosti především z pohledu využívaných principů a fyzikálních jevů. Jelikož se jedná o hodně rozsáhlou a náročnou oblast, využívá se i laboratoř pro usnadnění studia. Díky ní jsou přednášky v daném předmětu doplněny a zefektivněny. Dochází k rychlému rozvoji tohoto oboru a stávající laboratoř vyžaduje aktualizace svých úloh pro dosažení aktuálnosti vývoje. Součástí celku je i výše zmíněná úloha na měření polohy. Jejím cílem bude vyhodnocování základních charakteristik vybraných senzorů pro měření polohy s reálnými výstupními signály a ukázkou jejich praktického provedení.

Úloha musí být realizována a navržena tak aby měření nebylo časově náročné a studenti byli schopni během laboratorního cvičení, které trvá dvě hodiny, provést měření. U experimentálních úloh je požadována jednoduchost provedení s možností úpravy, případně rozšíření dle dalších požadavků. Nutnost použití konstrukce, kde lze snadno vyměnit jednotlivé díly nebo měnit rozmístění senzorů a nahrazovat novými. Dalším požadavkem je dodržení podobného vzhledu a použití stejné tvarované základny u všech nově vznikajících úloh. Tudíž je zřejmé, že lidé, kteří tyto úlohy navrhují a realizují, potřebují spolu komunikovat.

## 8 NÁVRH ÚLOHY NA MĚŘENÍ POLOHY

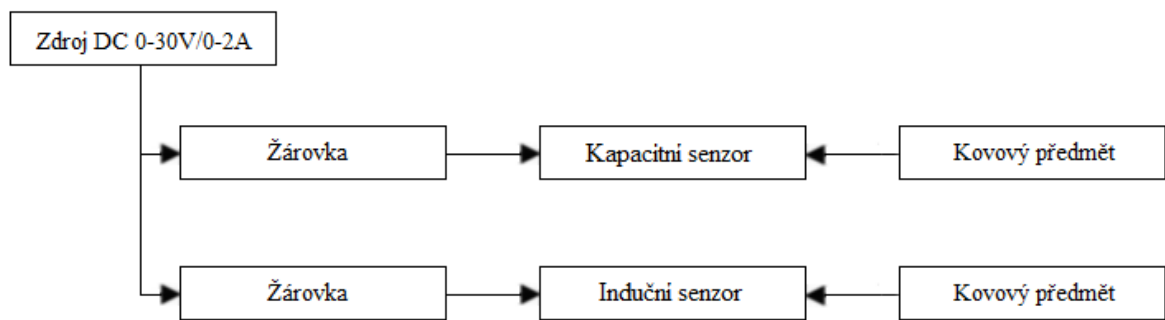
Při návrhu bylo vytvořeno schéma, viz obr. 17, podle kterého se budou konstruovat jednotlivé druhy senzoru pro měření polohy. Ze schématu vyplývá, že senzory budou měřit pohyb snímaného předmětu a budou měřeny výstupní signály senzorů na multimetrech.



Obr. 17. Funkční schéma návrhu

Na laboratorní úloze se bude provádět měření výstupního signálu z jednotlivých senzorů pro 10 stanovených hodnot, v různé vzdálenosti předmětu od senzorů, v rozsahu od 0 až 100 mm. Toto měření se bude opakovat desetkrát pro každý senzor kvůli následnému určení minimální, maximální, průměrné hodnoty a směrodatné odchylky. Z průměrných hodnot budou pak následně vytvořeny grafy, které nám budou ukazovat změnu výstupního signálu jednotlivých senzorů v závislosti na poloze snímaného předmětu.

Součástí experimentální úlohy budou u senzory přiblížení, které se využívají v průmyslu. Studenti budou mít tak praktickou ukázkou toho jak senzory vypadají a na jakém principu fungují. Po přiblížení kovového předmětu k senzoru dojde k sepnutí a rozsvícení žárovek, viz obr 18.



Obr. 18. Funkční schéma návrhu u senzorů přiblížení

## 9 VÝBĚR VHODNÝCH SENZORU

Senzorů na měření polohy existuje spousta druhů, proto bylo za potřebí si stanovit priority, podle kterých vybírat. Po konzultaci se vedoucím práce byla stanovena hlavní priorita cena a samozřejmě dostupnost, kvůli případné jednoduché výměně. U uvedených principů (viz kapitola 5) využívaných u senzoru polohy byly vybrány následující:

- odporový - potenciometr ALPS
- magnetický - Hallův senzor
- optický - senzor SHARP
- kapacitní - senzor GREGOO
- indukční – senzor Lanbao

### 9.1 Posuvný potenciometr ALPS

Jedná se o tahový potenciometr, který nabízí firma ALPS pod označením RSAON12-10KBX2. Tyto potenciometry jsou nabízeny v různých hodnotách odporu např. 10 k $\Omega$ , 20 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , s různými délkami drah např. 45 mm, 60 mm, 100 mm a dalšími jinými vlastnostmi. Pro potřebu experimentální úlohy byl zvolen potenciometr s odporem 10 k $\Omega$  a délkou dráhy 100 mm. Na této dráze budou měřeny výstupní hodnoty senzoru, jelikož jezdec s rozměry 128 x 16 x 8 mm byl využit pro upevnění posuvného tělesa. Více technických informací je uvedeno v Technické dokumentaci, Externí příloha PI.



*Obr. 19. Posuvný potenciometr ALPS [8]*

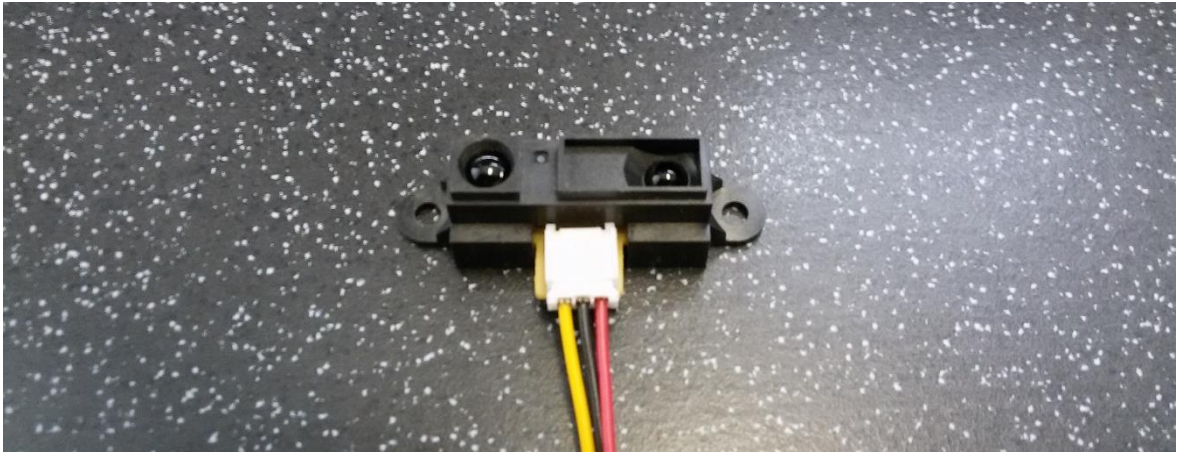
Technické parametry:

Typ potenciometru	tahový
Hodnota	10k $\Omega$
Výkon	500mW
Montáž	THT
Tolerance	$\pm 20\%$
Průběh	lineární
Materiál tělesa	kov
Rozměry tělesa	128 x 16 x 8mm
Vlastnosti potenciometrů	stereo
Rozměry jezdcce	8 x 1.2 x 12mm
Max. prac. napětí	200V AC, 10V DC
Délka dráhy	100mm

Obr. 20. Technické parametry potenciometru [9]

## 9.2 Optický senzor SHARP

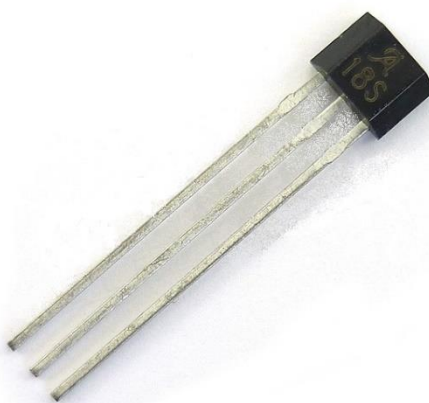
Jde o optický senzor od firmy SHARP s označením GP2Y0A21YK0F s analogovým výstupem. Firma vyrábí různé typy optických senzorů s různými snímacími vzdálenostmi. Pro experimentální úlohu byl vybrán senzor se snímací vzdáleností předmětu od 100 mm do 800mm. Tento předmět musí být reflexní kvůli možnému odražení světla. Senzor byl vybrán především proto, že se jedná o jeden z nejlevnějších. Jeho maximální provozní napětí je 5 VDC a maximální provozní proud 30 mA. Více technických informací je uvedeno v Technické dokumentaci, Externí příloha PI.



Obr. 21. Optický senzor SHARP

### 9.3 Hallův senzor Allegro

Jedná se o Hallův senzor od firmy Allegro MicroSystem s označením A3518. Je to citlivý, teplotně stabilní lineární senzor. Poměrový, lineární Hallův senzor poskytuje napěťový vstup, který je umřeny aplikovanému magnetickému poli a má klidové výstupní napětí, které je přibližně 50 % napájecího napětí (bez magnetického pole). Tento senzor se může použít pro lineární a i rotační snímání polohy, často využívaný v náročném prostředí automobilových a průmyslových aplikacích, při teplotách od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Maximální napájecí napětí je 5,5 VDC a maximální napájecí proud 12 mA. Více technických informací je uvedeno v Technické dokumentaci, Externí příloha PI.



Obr. 22. Hallův senzor [10]

## 9.4 Indukční senzor Lanbao

Indukční senzor nabízí firma Lanbao pod označením LR30BF10DLO. Jedná se o senzor přiblížení, který obsahuje spínací kontakt NO (normal open). Spínací vzdálenost 1 mm. Vyžadují napěťové omezení do 30 VDC a proudové omezení na 100 mA. Jsou vhodné na použití v oblasti automobilového průmyslu a dalších různých provozech týkající se průmyslu. Mají velkou pevnost a odolnost. Více technických informací je uvedeno v Technické dokumentaci, Externí příloha PI.



Obr. 23. Indukční senzor Lanbao

## 9.5 Kapacitní senzor GREEGOO

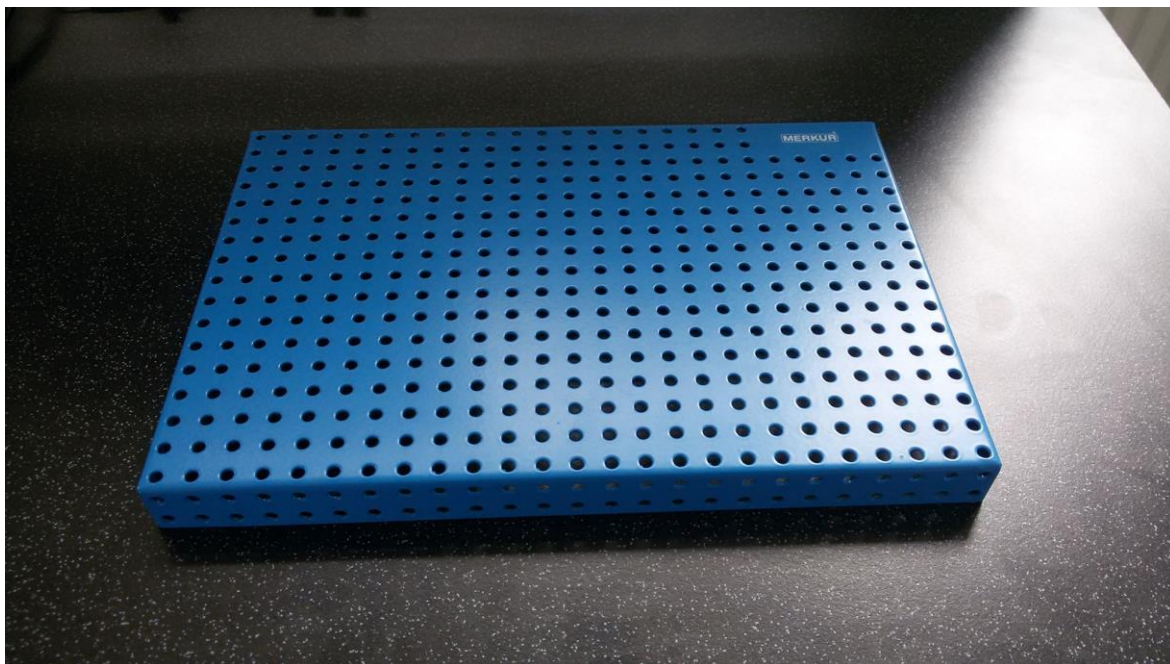
Kapacitní snímač nabízí firmy GREEGOO s označením CM30-3010PA. Jedná se o senzor přiblížení, který obsahuje spínací kontakt NO (normal open). Spínací vzdálenost 1 mm. Vyžadují napěťové omezení do 36 VDC a proudové omezení na 200 mA. Požití je stejné jako u předchozích indukčních senzorů. Více technických informací je uvedeno v Technické dokumentaci, Externí příloha PI.



Obr. 24. Kapacitní senzor GREEGOO [11]

## 10 VÝBĚR PRVKŮ KONSTRUKCE

Jelikož v laboratořích se už vyskytuje a dále připravuje více úloh, bylo nutné se dohodnout na jednotvárnosti stavebnice. Jako základna, pro sestavení modelu úlohy, byly použity dvě univerzální kovové lakované desky značky Merkur o rozměrech 250x170x20 mm. Tyto dvě desky, pro experimentální úlohu, byly spojeny delšími stranami k sobě do tvaru „obdélníku“. Na obr. 25 jde vidět, že jsou v desce předvrtané otvory pro snadnou montáž.



Obr. 25. Deska Merkur

Dalším prvkem konstrukce bylo uchycení senzorů ke konstrukci. Jako spojovací materiál byly zvoleny úhelníky, které už mají taky předvrtané díry pro uchycení.



Obr. 26. Úhelník

Dále u některých senzorů bylo pro uchycení použito univerzální pájivé pole s distančními sloupky. Pro propojení vodičů pak byly použity bílé svorkovnice a konektory typu banánek, pro připojení na zdroj a multimetry.



Obr. 27. Bílá svorkovnice

Pro uchycení senzoru přiblížení byla zvolena dřevěná překližka o průměru 5mm, která bude přelakována černým lakem kvůli funkčnosti a praktičnosti. Dále byly vybrány dvě žárovky s paticemi na zapájení do univerzálního pájivého pole.



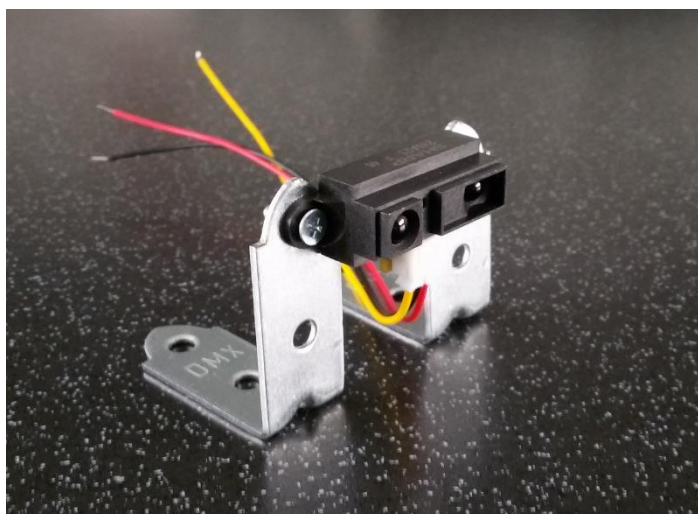
Obr. 28. Patice [12]

## 11 REALIZACE PROTOTYPU LABORATORNÍ ÚLOHY

Po předchozích etapách jako je návrh úlohy po měření polohy, výběr vhodných senzorů a výběr prvku konstrukce se může přistoupit k realizaci laboratorní úlohy. Realizace byla prováděna na Fakultě aplikované informatiky ve Zlíně v laboratoři senzorů, kde bylo k dispozici přístrojové vybavení a potřebné nářadí pro realizaci této úlohy.

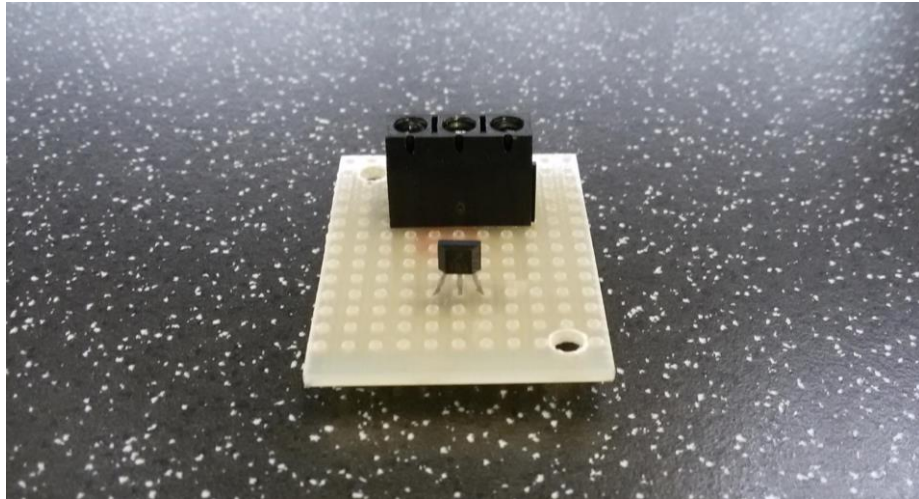
Jako základní konstrukce byly použity dvě desky Merkur, jak bylo uvedeno v kapitole 10. Pro spojení dvou desek bylo použito pět šroubů o průměru 4,0 mm a délce 10 mm, aby nedošlo náhodou k rozpojení těchto dvou desek.

Pro uchycení **optického senzoru** byly použity dva úhelníky. Senzor byl přichycen na obou stranách šrouby o průměru 3,0 mm (viz obr. 29) a stejnými dvěma šrouby k základní desce.



Obr. 29. Uchycení Optického senzoru

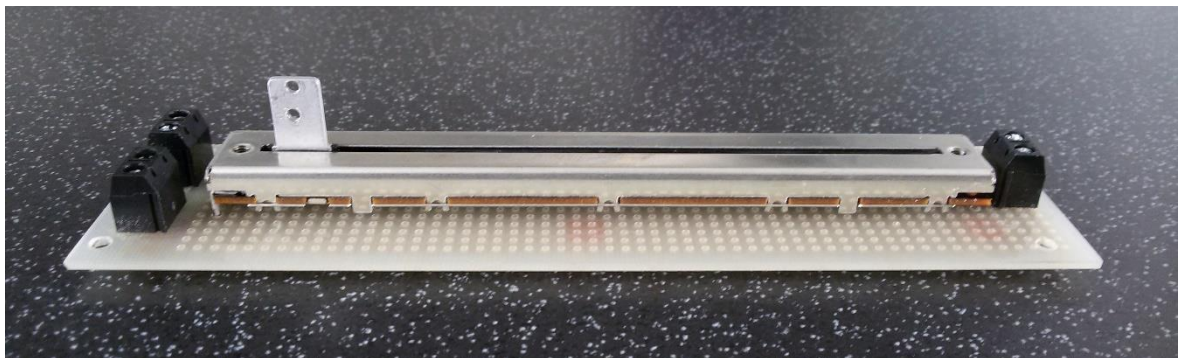
Pro připevnění **Hallova senzoru** k základně se muselo nejprve upravit pájivé pole na vhodný rozměr pomocí pákových nůžek. Dále pak byla využita stolní vrtačka, s průměrem vrtáku 3 mm, na vyvrtání dvou děr na protilehlých stranách, tak aby bylo možné pomocí distančních sloupků a šroubů uchytit pájivé pole k desce. Poté bylo pájivé pole osazeno Hallovým senzorem a šroubovací svorkovnicí. Tyto dvě součástky byly připájeny na pájivé pole a následně připájeny i vodiče, pro propojení Hallova senzoru s šroubovací svorkovnicí viz obr. 30.



Obr. 30. Osazení pojivého pole Hallovým senzorem a svorkovnicí

Dalším krokem bylo uchycení **tahového potenciometru**, který je taky určen pro montáž na pájivé pole. Pájivé pole, pro osazení potenciometru, bylo upraveno na vhodný rozměr pomocí pákových nůžek. Vyvrtány 4 díry v každém rohu pájivého pole, kvůli uchycení pomocí distančních sloupků a šroubů k desce. Jelikož rozteč nožiček potenciometru neseseděla přesně na rozteč děr na pájivém poli, bylo nutné opatrně nožičky pozohýbat do správných poloh. Dále se musely rozšířit díry na pájivém poli, pomocí stolní vrtačky s vrtákem o průměru 1,5 mm, jelikož průměr nožiček potenciometru byl větší než průměr děr v pájivém poli. Po úspěšném osazení potenciometru a šroubovacích svorkovnic byly tyto součástky připájeny k pájivému poli. Následně byly připájeny i vodiče pro propojení potenciometru se šroubovacími svorkovnicemi.

Pro uchycení **snímaného předmětu** byl využit jezdec potenciometru. Jako uchycení předmětu byl zvolen úhelník. Bylo potřeba rozšířit původní díru v jezdcí potenciometru vrtákem o průměru 2 mm a udělat další druhou stejnou díru kousek od první, kvůli pevnému uchycení viz obr. 27.

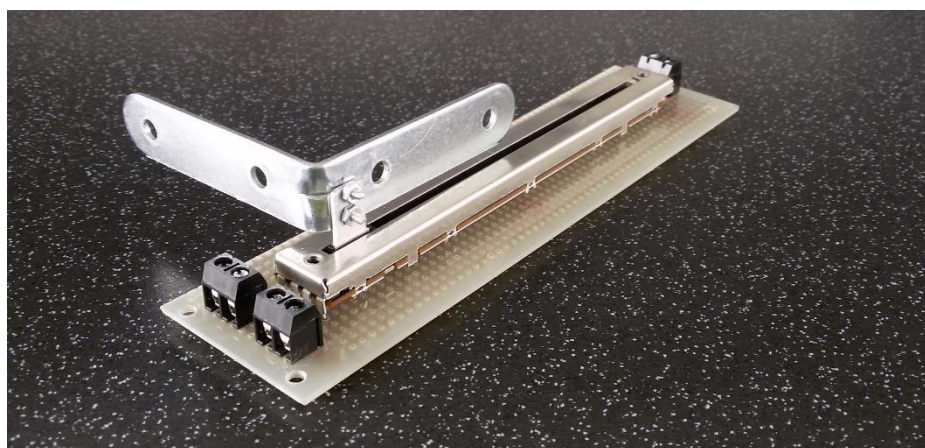


Obr. 31. Potenciometr s vyvrtanými dírami v jezdcí

Dále musely být vyvrtány dvě stejné díry do úhelníku ve správné vzdálenosti děr od sebe a na správném místě viz obr 32. Průměr vrtáku byl zvolen 2mm, kvůli šroubům, které se vyrábí od nejmenšího průměru 2 mm.



Obr. 32. Úhelník s vyvrtanými dírami



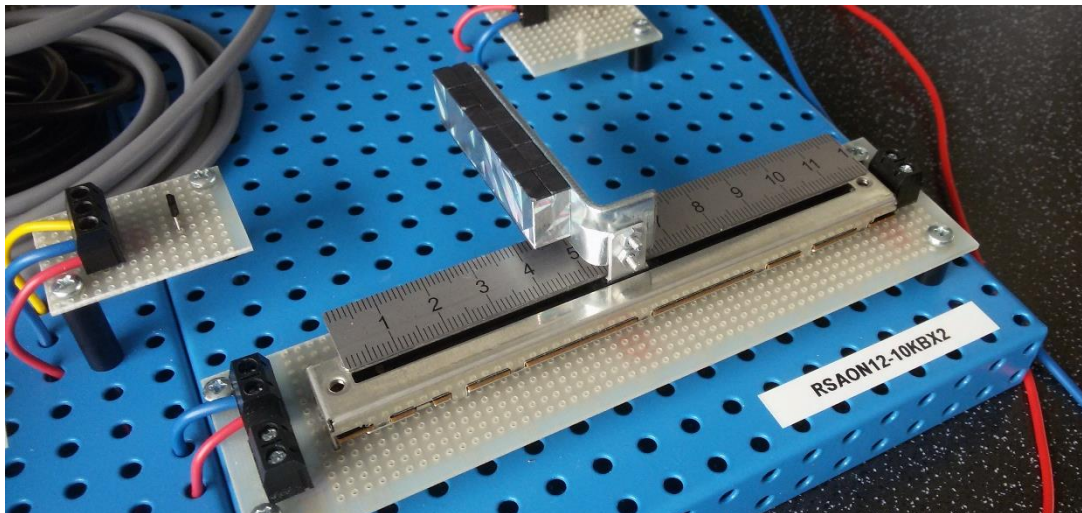
Obr. 33. Zkouška připevnění úhelníku k jezdcí potenciometru

Kvůli praktičnosti a lepšímu posouvání úhelníku po dráze jezdcí, byl úhelník z jedné strany upraven nůžkami na plech a zarovnan pomocí brusky viz obr. 34.



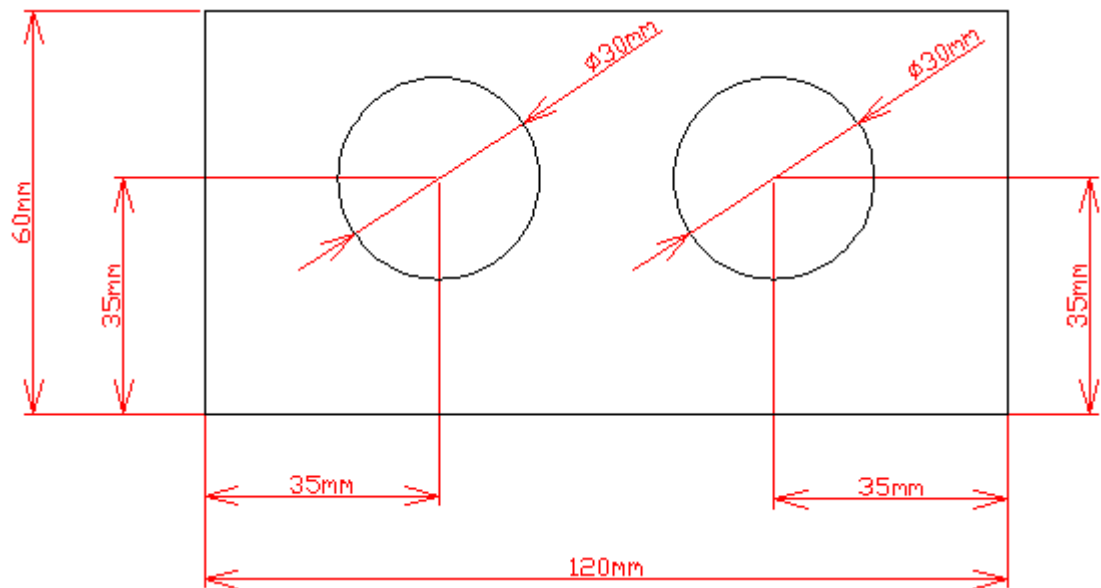
Obr. 34. Přichycení upraveného úhelníku k potenciometru

Jako **předmět** byly zvoleny magnetky, kvůli větší reakci Hallova senzoru, které dále byly omotány reflexní páskou, kvůli odražení paprsku vysílaného z optického senzoru. Předmět byl přilepen na úhelník spojený s potenciometrem. Na potenciometr bylo přilepeno zastříhnuté a obroušené ocelové pravítko, podle kterého lze nastavovat různé vzdálenosti od počáteční polohy viz obr 35. **Počáteční poloha** je nastavena na doraz posuvného jezdce, kdy úhelník začíná přímo nad nulovou hodnotou ocelového pravítka.



Obr. 35. Realizace předmětu a posuvu

Dalším krokem realizace úlohy bylo uchycení senzorů přiblížení (indukční a kapacitní senzor). Pro uchycení byla zvolena dřevěná překližka o průměru 5 mm, kvůli svojí pevnosti a dostupnosti. Bylo do ní potřeba udělat dvě přesné díry, o průměru 30 mm. Překližka byla dána vyrobit stolařovi, dle zvolených rozměrů viz obr. 36.



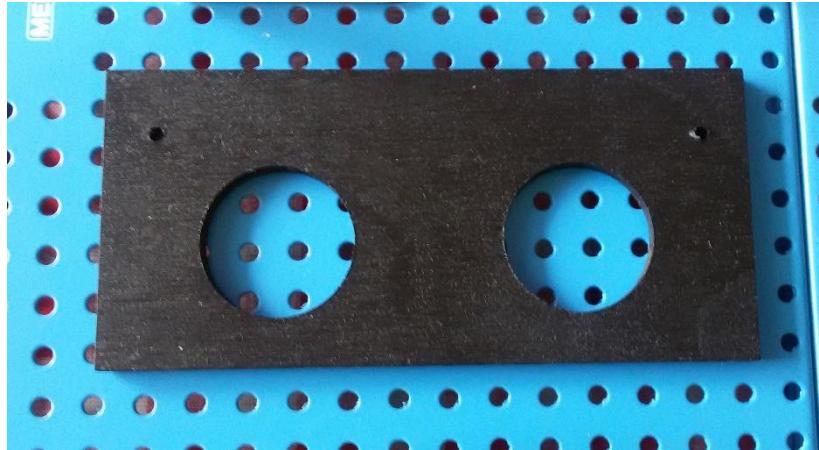
Obr. 36. Rozměry konstrukce pro ukotvení senzorů přiblížení

Pro uchycení překližky pomocí úhelníku bylo potřeba do překližky vyvrtat dvě díry vrtákem o průměru 3 mm, viz obr. 37.



Obr. 37. Konstrukce pro ukotvení senzorů přiblížení

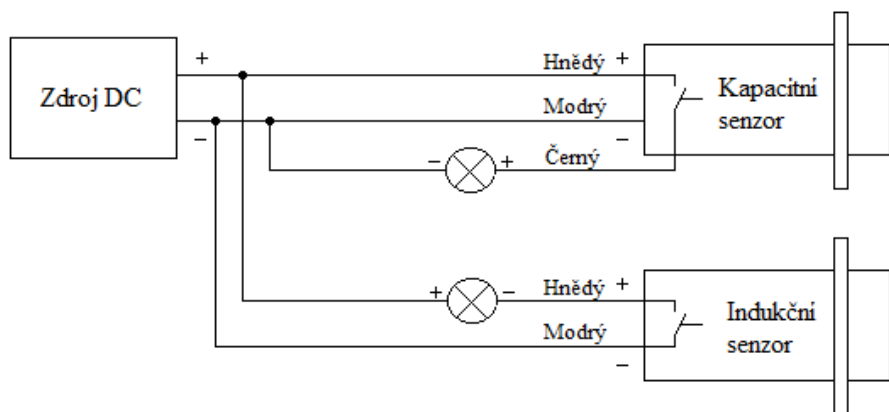
Kvůli funkčnosti a praktičnosti byla překližka nastříkána černým lakem, viz obr. 38.



Obr. 38. Nalakovaná překližka

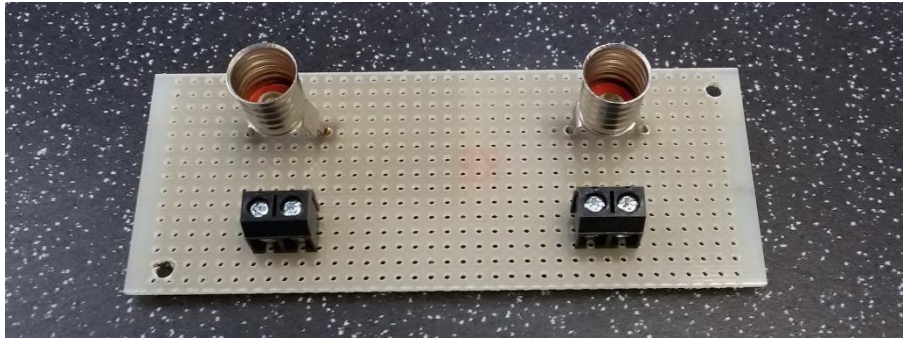
Oba úhelníky byly uchyceny k desce pomocí jednoho šroubu o průměru 4 mm a délce 10mm. Senzory pak byly vsunuty do děr překližky a uchyceny pomocí speciálních matic, které jsou určeny k tomuto účelů.

Dále byly použity dvě žárovky se závitem do patič, které budou rozsvěcovány pomocí senzoru přiblížení. Byly zvoleny žárovky na 12 V o výkonu 1,2 W, kvůli proudovému omezení u indukčního senzoru, které je 100 mA. Dále bylo navrženo zapojení oborou senzoru přiblížení, viz obr. 39.



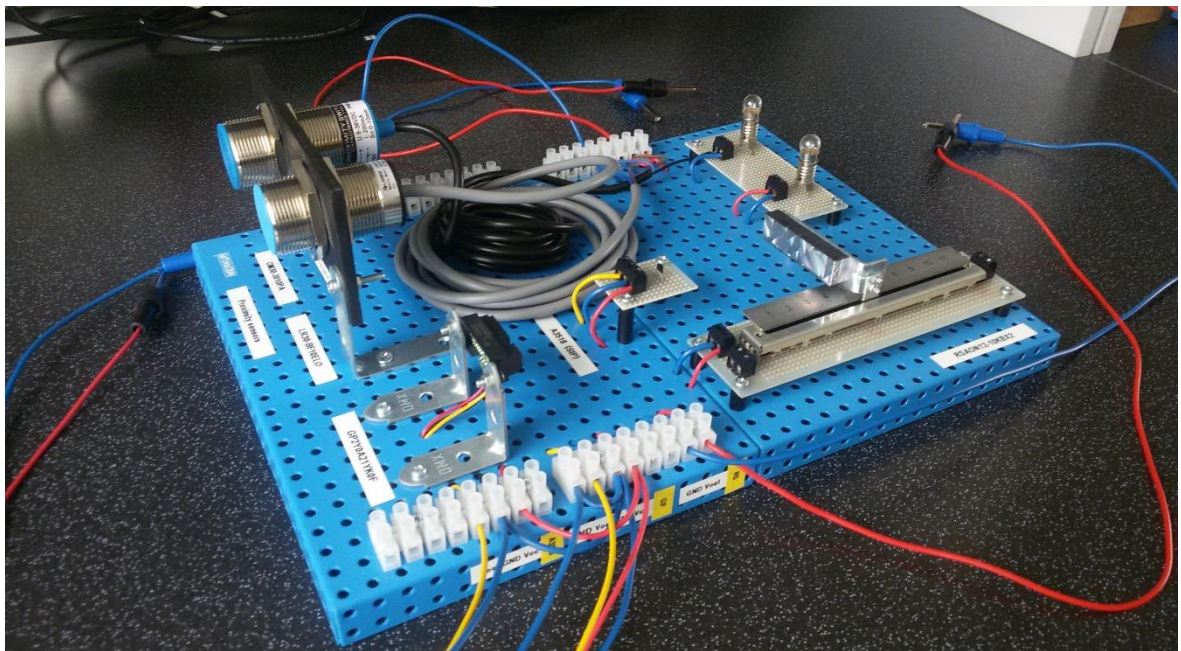
Obr. 39. Schéma zapojení senzoru přiblížení

Patice žárovek se musely osadit na pájivé pole, které se upravilo na vhodný rozměr pomocí pákových nůžek. Udělaly se díry na dvou protilehlých stranách, kvůli uchycení na desku. Protože pájivé pole mělo menší průměr děr, než byl průměr nožiček u patice, bylo potřeba rozšířit díry pro nožičky patice vrtákem o průměru 1,5 mm. Po osazení pájivého pole paticemi a šroubovými svorkovnicemi byly připájeny i vodiče pro propojení patič se šroubovacími svorkovnicemi viz obr 40.



Obr. 40. Osazení pájivého pole paticemi pro žárovky

Dalším krokem realizace úlohy bylo přesné rozmístění senzorů na desce. Optický senzor, který má snímací vzdálenost od 100 mm, byl na desce umístěn ve vzdálenosti 100 mm od předmětu. Hallův senzor je pak umístěn 10 mm od předmětu. Na rozmístění dalších senzorů a komponentů úlohy nebyly kladeny žádné požadavky, tudíž byly rozmístěny dle uvážení. Následovalo napojení vývodů senzorů (barevně rozlišené vodiče) na bílé svorkovnice a vytvoření vývodu opatřenými konektory typu banánek, pro napojení na zdroje a multimetry. Poslední bylo označení senzorů a vývodů popisky. Vzhled celkové konstrukce je na obr. 41.



Obr. 41. Realizovaná laboratorní úloha

## 12 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI LABORATORNÍ ÚLOHY

Pro ověření funkčnosti laboratorní úlohy bylo potřeba programovatelný stejnosměrný napájecí zdroj HAMEG HM8143, který má dva výstupy. Jeden výstup byl nastaven na napětí 5V a proudově omezen na 300mA. Ten byl použit na napájení optického a Hallova senzoru. Druhý výstup byl použit na napájení senzorů přiblížení (indukční a kapacitní senzor), který byl nastaven na napětí 12V a proudově omezen na 100mA. Pro měření výstupního signálu na potenciometru byl využit multimetr METEX M-3860M, který byl nastaven na měření odporu. Pro optický a Hallův senzor byly použity multimetry PICOTEST M3510A a Agilent 34401A, který byly nastaveny na měření napětí.

Stolními digitálními multimetry PICOTEST M3510A a Agilent 34401A byly použity kvůli přesnějšímu měření.



Obr. 42. Napájecí zdroj HAMEG HM8143



Obr. 43. Multimetr Agilent 34401A

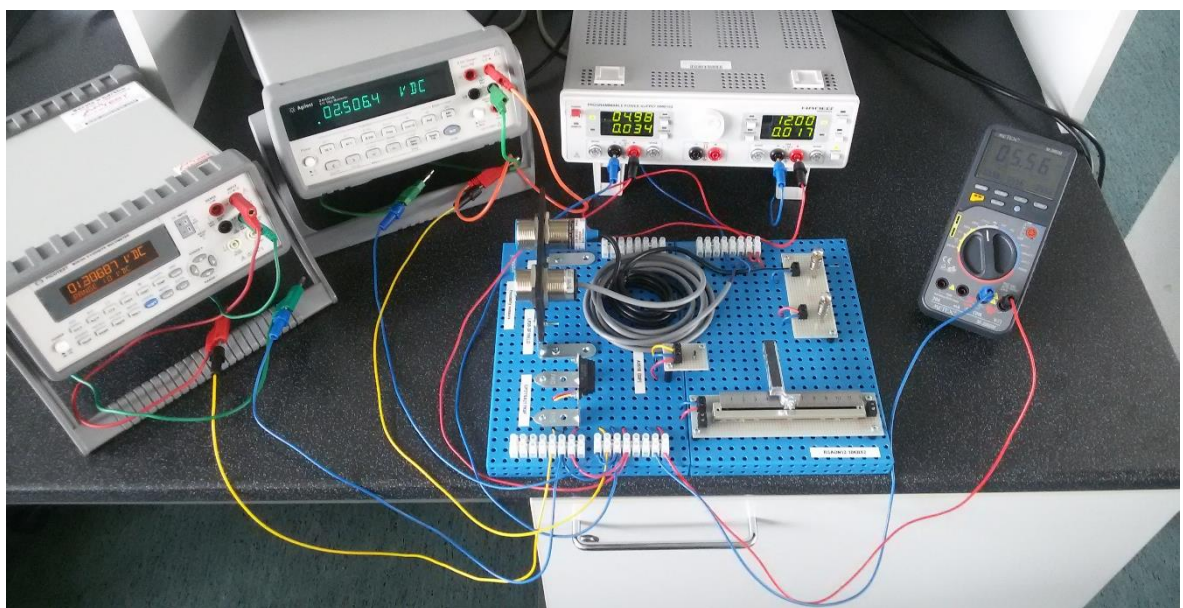


Obr. 44. Multimetr PICOTEST M3510A



Obr. 45. Multimetr METEX M-3860M

Předmětem bylo posouváno na deset různých poloh. Celkově změřených poloh pro optický, Hallův senzor a potenciometr bylo jedenáct. Počínaje počáteční (nulovou) polohou. Měření se opakovalo desetkrát pro možný výpočet minimální, maximální, průměrné hodnoty a směrodatné odchylky. Průměrné hodnoty pak byly použity na vytvoření grafů závislosti změny výstupního napětí, odporu dle změny vzdálenosti. U senzorů přiblížení se zjistilo, že byly použity žárovky, které měly výkon 3 W a kvůli proudovému omezení obou senzorů je nešlo použít. Musely být vyměněny za žárovky výkonu 1,2 W. Naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení je uvedeno v kapitole 14. Celková měřicí sestava úlohy je zobrazena na obr. 46.



Obr. 46. Měřicí sestava

## 13 NÁVRH ZADANÍ

### Cíl úlohy:

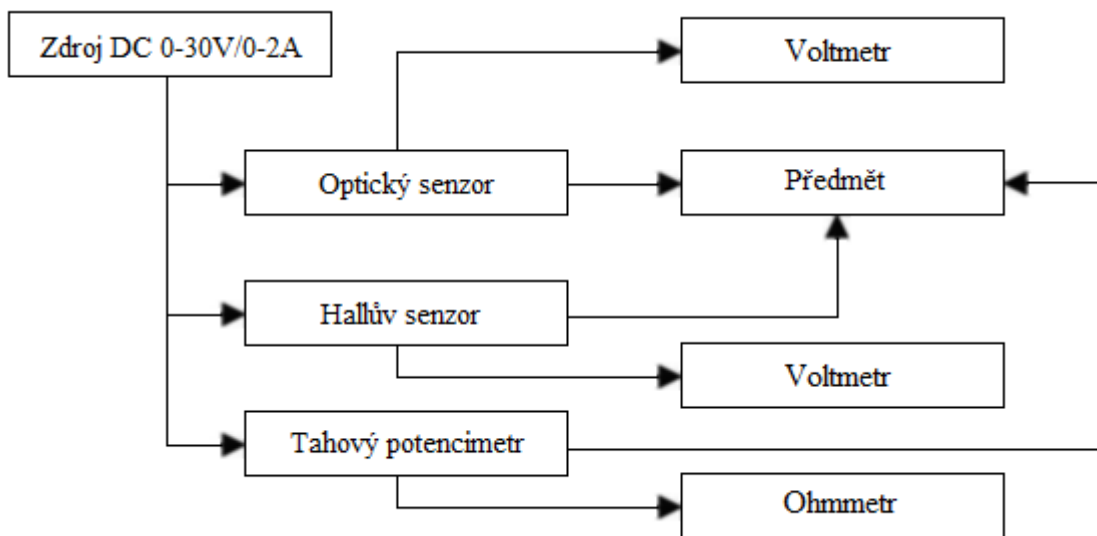
Měření polohy pomocí vybraných senzorů. Vyhodnocení výstupních charakteristik pro Hallův senzor, optický senzor a tahový potenciometr. Seznámení se s funkcí kapacitního a indukčního senzoru využívaných v průmyslové praxi. Osvojit si práci s moderní měřicí technikou

### Úkol měření:

- úkol č. 1.: Seznamte se s měřicí laboratorní úlohou a nastudujte fyzikální principy senzorů v literatuře [6].
- úkol č. 2.: Seznamte se s technickými parametry vybraných senzorů a použitých měřicích přístrojů uvedenými v Externí příloze PI.
- úkol č. 4.: Změřte výstupní charakteristiku vybraných senzorů.
- Hallova senzoru
  - optického senzoru
  - posuvného potenciometru
- úkol č. 5.: Ověřte funkčnost kapacitního a indukčního senzoru (proximity sensors) využívaných v průmyslové praxi.
- úkol č. 6.: Získaná data zpracujte ve formě protokolu a to dle požadavků kladených na daný předmět.

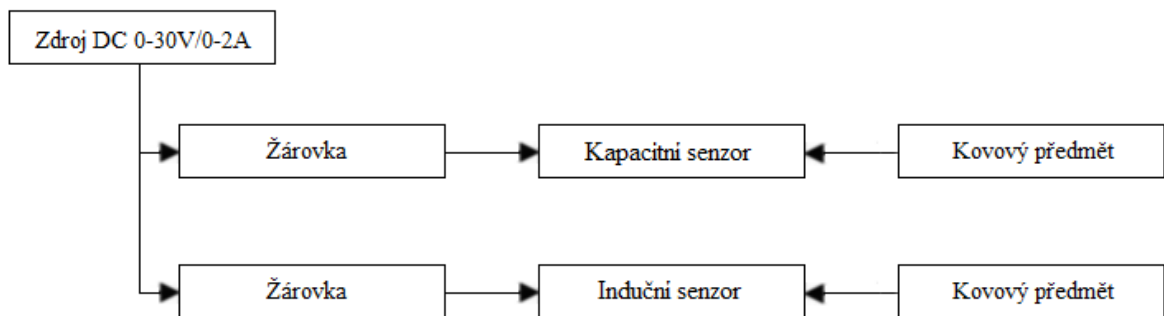
### Popis úlohy:

Předmět pohybující se po určité dráze (dráze jezdce potenciometru) je snímán třemi senzory. Pro snímání výstupních hodnot jsou použity tři multimetry. Hallův a optický senzor je napájen stejnosměrným zdrojem. Potenciometr napájení nevyžaduje. Z naměřených a vypočítaných hodnot se vytvoří výstupní charakteristiky.



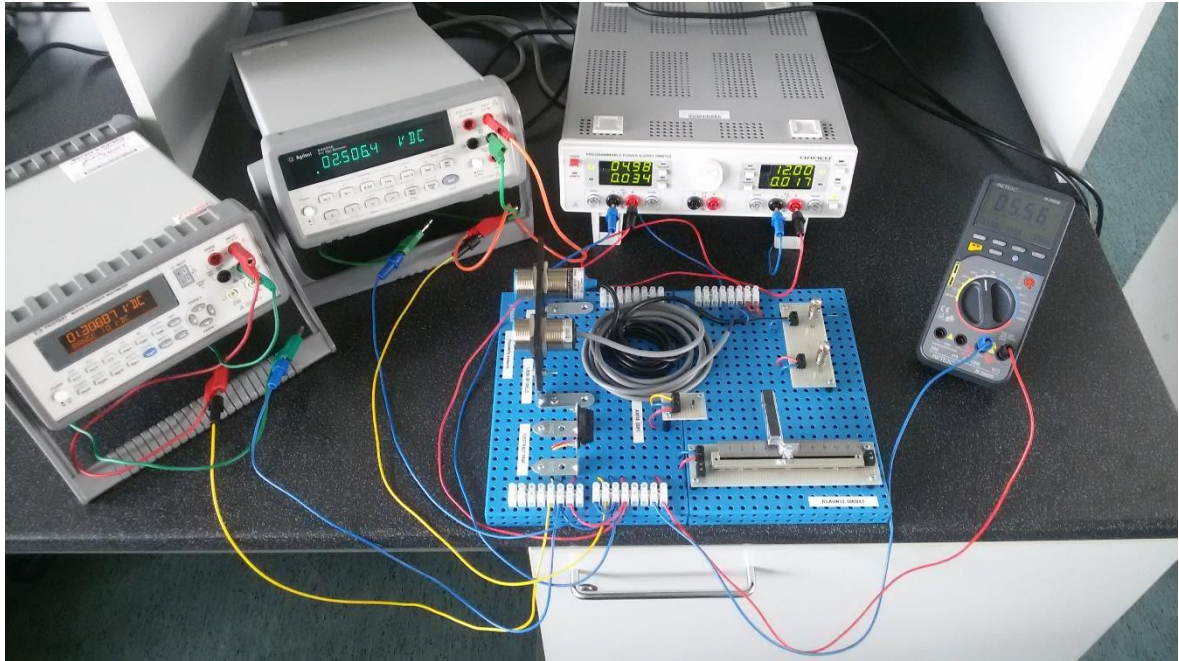
Obr. 47. Protokol – Funkční schéma návrhu

Indukční a kapacitní senzory reagují na přiblížení kovového předmětu rozsvícením žárovek. Senzory přiblížení jsou napájeny stejnosměrným zdrojem.



Obr. 48. Protokol – Funkční schéma návrhu u senzoru přiblížení

Cela sestava s použitými přístroji je zobrazena na obr. 49. Podrobnější informace jsou uvedeny v postupu měření.



Obr. 49. Návrh zadání – Měřící sestava

**Postup měření:**

Pro napájení použijte napájecí zdroj HAMEG HM8143, který má dva výstupy. Jeden výstup nastavte na napětí 5V a proud 300mA. Ten použijte na napájení optického a Hallova senzoru. Druhý výstup nastavte na napětí 12V a proud 100mA. Požijte ho na napájení senzorů přiblížení (indukční a kapacitní senzor). Pro měření výstupního signálu na potenciometru použijte multimetr METEX M-3860M, nastavte na měření odporu. U optického a Hallova senzoru, pro přesnější měření, použijte multimetry PICOTEST M3510A a Agilent 34401A, které nastavte na měření napětí. Měřící soustavu zapojte dle uvedených popisků na desce, kde jsou označeny vývody jednotlivých senzorů a napájení.

**ad.úkol 4.:**

Měření proved'te pro 11 různých hodnot u všech senzorů. U Hallova senzoru začněte měřit na nulové poloze (doraz jezdce potenciometru na levé straně) a pokračujte po kroku 5 mm až do 50 mm. U optického senzoru a potenciometru začněte měřit stejně od nulové polohy a pokračujte po kroku 10 mm až do 100 mm (pravá strana dorazu jezdce potenciometru). Toto měření opakujte desetkrát.

ad. úkol 5.:

U senzorů přiblížení použijte jakýkoliv kovový předmět. Použijte i více různých druhů kovových předmětů a vyzkoušejte, jestli senzory na předměty reagují a to rozsvícením žárovek.

**Vyhodnocení:**

Naměřené hodnoty vložte do tabulek a vypočítejte minimální, maximální, průměrnou hodnotu a směrodatnou odchylku. Z průměrných hodnot vytvořte grafy závislosti výstupního napětí, odporu na změně polohy. Popište u těchto grafů, o jakou závislost se jedná. A porovnejte mezi sebou jednotlivé typy senzorů. Popište reakci kapacitního a indukčního senzoru na různé druhy kovových předmětů.

## 14 PROTOKOL

Vzorový protokol z měření byl zpracován dle podmínek laboratoří v předmětu senzory.

<b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky</b>			
Jméno a příjmení	Petr Kovář	Ročník	III.
Předmět	Senzory	Datum měření	25. 5. 2015
Název úlohy	Měření polohy	Hodnocení	

### Cíl úlohy:

Měření polohy pomocí vybraných senzoru. Vyhodnocení výstupních charakteristik pro Hallův senzor, optický senzor a tahový potenciometr. Seznámení se s funkcí kapacitního a indukčního senzoru využívaných v průmyslové praxi. Osvojit si práci s moderní měřicí technikou.

### Úkol měření:

- úkol č. 1.: Seznamte se s měřicí laboratorní úlohou a nastudujte fyzikální principy senzorů v literatuře [6]
- úkol č. 2.: Seznamte se s technickými parametry vybraných senzorů a použitých měřicích přístrojů uvedenými v Externí příloze PI
- úkol č. 4.: Změřte výstupní charakteristiku vybraných senzorů
- Hallova senzoru
  - optického senzoru
  - posuvného potenciometru
- úkol č. 5.: Ověřte funkčnost kapacitního a indukčního senzoru (proximity sensors) využívaných v průmyslové praxi
- úkol č. 6.: Získaná data zpracujte ve formě protokolu a to dle požadavků kladených na daný předmět

**Teorie:**

*Poznámka: Teorie ohledně fyzikálních principů je v literatuře [6]. Technické specifikace senzorů a použitých měřících zařízení je uvedena v Externí příloze PI. Proto jsem zde pouze uvedl obecné popisy funkcí vybraných senzorů.*

- Hallův senzor Allegro A3518

Poměrový, lineární Hallův senzor poskytuje napěťový vstup, který je umřeny aplikovanému magnetickému poli a má klidové výstupní napětí, které je přibližně 50 % napájecího napětí (bez magnetického pole). Po přiblížení magnetu do vzdálenosti, kdy začne magnetické pole magnetu ovlivňovat Hallův senzor, začne výstupní napětí růst nebo klesat, dle polarizace magnetu.

- Optický senzor SHARP GP2Y0A21YK0F

Optický senzor Sharp pracuje na principu snímání odraženého světla od předmětu. Obsahuje vysílací část a přijímací část a obvod pro zpracování signálu. Dioda (IRED) vysílá infračervené záření na reflexní předmět, od kterého se odráží zpět na speciální fotodiodu. Senzor vyhodnocuje vzdálenost objektu dle změny intenzity záření dopadající na přijímací část.

- Potenciometr ALPS RSAON12-10KBX2

Tahový potenciometr ALPS funguje na principu odporového napěťového děliče. Tím že dochází k změně délky dráhy vedení, mění se i odpor na vedení. Existují potenciometry s průběhem exponenciálním a lineárním. Potenciometr ALPS RSAON12 – 10KBX2 má lineární průběh. Z toho plyne, že hodnota odporu potenciometru bude narůstat lineárně až do maximální odporové hodnoty.

- Senzory přiblížení (GREGOO CM30-3010PA a Lanbao LR30BF10DLO)

Jde o senzory, u kterých dojde k sepnutí obvodu při změně kapacity nebo indukce přiblížením kovového předmětu. Kapacitní senzor obsahuje PNP tranzistor s kontaktem NO (normal open). Po přiblížení kovového předmětu dojde k sepnutí tranzistoru a proud začne protékat přes žárovku. Indukční senzor obsahuje kontakt NO. Po přiblížení kovového předmětu se sepne obvod a žárovka se rozsvítí. Oba senzory reagují na přiblížení předmětu od 10 mm a mají důležité proudové omezení.

**Popis úlohy:**

Předmět pohybující se po určité dráze (dráze jezdce potenciometru) je snímán třemi senzory. Pro snímání výstupních hodnot jsou použity tři multimetry. Hallův a optický senzor je napájen stejnosměrným zdrojem. Potenciometr napájení nevyžaduje. Z naměřených a vypočítaných hodnot se vytvoří výstupní charakteristiky. Indukční a kapacitní senzory reagují na přiblížení kovového předmětu rozsvícením žárovek. Senzory přiblížení jsou napájeny stejnosměrným zdrojem.

**Postup měření:**

Pro napájení byl použit napájecí zdroj HAMEG HM8143, který měl dva výstupy. Jeden výstup byl nastaven na napětí 5V a proud 300mA. Ten byl použit na napájení optického a Hallova senzoru. Druhý výstup byl nastaven na napětí 12V a proud 100mA. Byl použit na napájení senzorů přiblížení (indukční a kapacitní senzor). Pro měření výstupního signálu na potenciometru byl použit ruční multimetr METEX M-3860M, který byl nastaven na měření odporu. U optického a Hallova senzoru, pro přesnější měření, byly použity stolní multimetr PICOTEST M3510A a Agilent 34401A, které byly nastaveny na měření napětí. Měřicí soustava byla zapojena dle uvedených popisků na desce, kde jsou popsány vývody jednotlivých senzorů a napájení.

**ad. úkol 4.:**

Měření bylo provedeno pro 11 různých hodnot u všech senzorů. U Hallova senzoru se začalo měřit na nulové poloze (dorzaz jezdce potenciometru na levé straně) a pokračovalo po kroku 5 mm až do 50 mm. U optického senzoru a potenciometru se začalo stejně od nulové polohy a pokračovalo se po kroku 10 mm až do 100 mm (pravá strana dorazu jezdce potenciometru). Toto měření bylo opakováno desetkrát.

**ad. úkol 5.:**

U senzorů přiblížení byl použit jakýkoliv kovový předmět (i více různých druhů předmětů) a bylo vyzkoušeno, jestli senzory na předměty reagují rozsvícením žárovek.

Byly vytvořeny tabulky s naměřenými daty a následně z nich byla vypočítaná minimální, maximální, průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Byly vytvořeny grafy závislosti výstupního napětí, odporu na změně polohy.

**Vypracování:****Použité senzory:**

Hallův senzor: Allegro MicroSystem A3518

Optický senzor: SHARP GP2Y0A21YK0F

Potenciometr: ALPS RSAON12-10KBX2

Kapacitní senzor: GREEGOO CM30-3010PA

Indukční senzor: Lanbao LR30BF10DLO

**Použité přístroje:**

Napájecí zdroj: HAMEG HM8143

Multimetry: METEX M-3860M

PICOTEST M3510A

Agilent 34401A

**Naměřené hodnoty:**

<b>Hallův senzor</b>											
č. m.	<b>I [mm]</b>										
	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>
	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>										
<b>1.</b>	2,237	2,398	2,453	2,473	2,488	2,497	2,501	2,505	2,507	2,508	2,510
<b>2.</b>	2,234	2,399	2,449	2,470	2,486	2,496	2,502	2,504	2,507	2,508	2,509
<b>3.</b>	2,233	2,398	2,452	2,473	2,483	2,496	2,501	2,504	2,507	2,508	2,510
<b>4.</b>	2,236	2,395	2,450	2,475	2,488	2,495	2,501	2,504	2,506	2,508	2,510
<b>5.</b>	2,233	2,398	2,450	2,470	2,486	2,493	2,502	2,505	2,506	2,509	2,510
<b>6.</b>	2,235	2,391	2,453	2,476	2,486	2,498	2,501	2,504	2,507	2,508	2,510
<b>7.</b>	2,233	2,398	2,458	2,473	2,482	2,493	2,502	2,503	2,506	2,508	2,509
<b>8.</b>	2,234	2,395	2,455	2,478	2,483	2,493	2,502	2,505	2,507	2,508	2,510
<b>9.</b>	2,237	2,391	2,454	2,479	2,488	2,497	2,501	2,505	2,507	2,509	2,510
<b>10.</b>	2,232	2,393	2,452	2,473	2,482	2,496	2,500	2,504	2,506	2,508	2,509
<b><math>\bar{x}</math></b>	2,234	2,396	2,453	2,474	2,485	2,495	2,501	2,504	2,507	2,508	2,510
<b><math>\sigma</math></b>	0,0017	0,0029	0,0025	0,0029	0,0024	0,0017	0,0006	0,0006	0,0005	0,0004	0,0005
<b>Min.</b>	2,232	2,391	2,449	2,470	2,482	2,493	2,500	2,503	2,506	2,508	2,509
<b>Max.</b>	2,237	2,399	2,458	2,479	2,488	2,498	2,502	2,505	2,507	2,509	2,510

Tab. 1. Naměřené výstupní napětí Hallova senzoru

Označení:  $\bar{x}$  – Průměr

$\sigma$  – směrodatná odchylka

Při měření byly zapisovány hodnoty na tři desetinná místa, aby změny výstupních hodnot byly viditelné a dalo se s nimi dále pracovat. Minimální, maximální, průměrná hodnoty a směrodatné odchylky byly vypočítány v tabulkové aplikaci Microsoft Excel.

Příklad výpočtu průměrné hodnoty:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{(2,237 + 2,234 + 2,233 + 2,236 + 2,233 + 2,235 + 2,233 + 2,234 + 2,237 + 2,232)}{10}$$

$$\bar{x} = 2,232 \text{ [V]}$$

Příklad výpočtu směrodatné odchylky:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = \frac{1}{10} ((2,237 - \bar{x})^2 + (2,234 - \bar{x})^2 + (2,233 - \bar{x})^2 + (2,236 - \bar{x})^2 + (2,233 - \bar{x})^2 + (2,235 - \bar{x})^2 + (2,233 - \bar{x})^2 + (2,234 - \bar{x})^2 + (2,237 - \bar{x})^2 + (2,232 - \bar{x})^2)$$

$$\sigma = 0,0017$$

Výsledná hodnota z uvedeného příkladu výpočtu:

$$\underline{x = 2,232 \pm 0,002 \text{ [V]}}$$

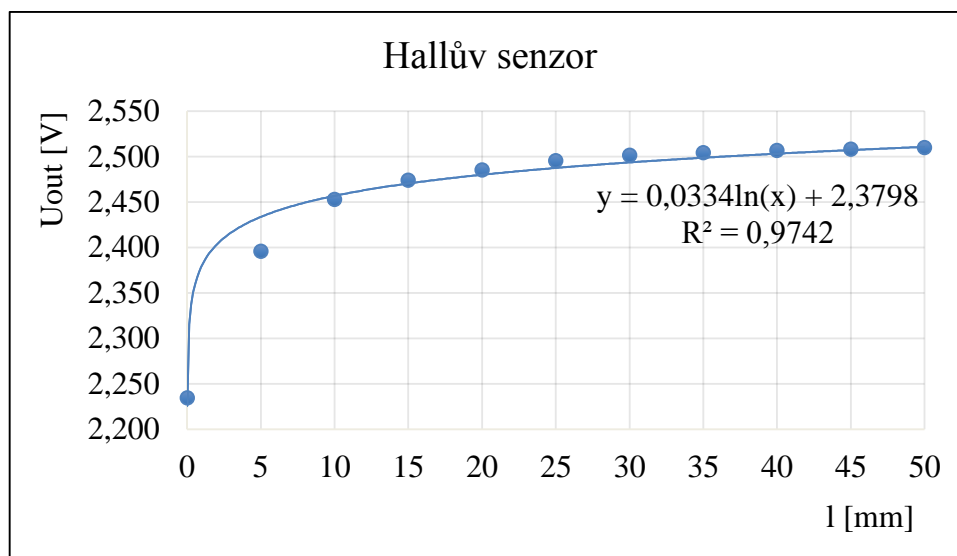
Optický senzor											
č. m.	l [mm]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
;											
1.	2,209	1,950	1,705	1,559	1,413	1,317	1,212	1,128	1,066	1,010	0,970
2.	2,226	1,973	1,711	1,561	1,413	1,312	1,203	1,128	1,067	1,020	0,971
3.	2,226	1,969	1,729	1,576	1,410	1,313	1,215	1,120	1,067	1,030	0,972
4.	2,223	1,959	1,720	1,559	1,411	1,311	1,215	1,120	1,066	1,010	0,972
5.	2,222	1,968	1,708	1,560	1,411	1,316	1,211	1,125	1,067	1,010	0,971
6.	2,226	1,970	1,709	1,565	1,413	1,315	1,209	1,123	1,068	1,020	0,972
7.	2,223	1,920	1,719	1,570	1,413	1,309	1,206	1,125	1,066	1,020	0,970
8.	2,223	1,964	1,720	1,561	1,410	1,306	1,211	1,122	1,068	1,020	0,973
9.	2,226	1,959	1,715	1,559	1,412	1,310	1,215	1,128	1,068	1,010	0,972
10.	2,222	1,960	1,715	1,568	1,410	1,305	1,215	1,122	1,067	1,020	0,971
$\bar{x}$	2,223	1,959	1,715	1,564	1,412	1,311	1,211	1,124	1,067	1,017	0,971
$\sigma$	0,0048	0,0146	0,0068	0,0055	0,0013	0,0038	0,0040	0,0030	0,0008	0,0064	0,0009
Min.	2,209	1,920	1,705	1,559	1,410	1,305	1,203	1,120	1,066	1,010	0,970
Max.	2,226	1,973	1,729	1,576	1,413	1,317	1,215	1,128	1,068	1,030	0,973

Tab. 2. Naměřené výstupní napětí Optického senzoru

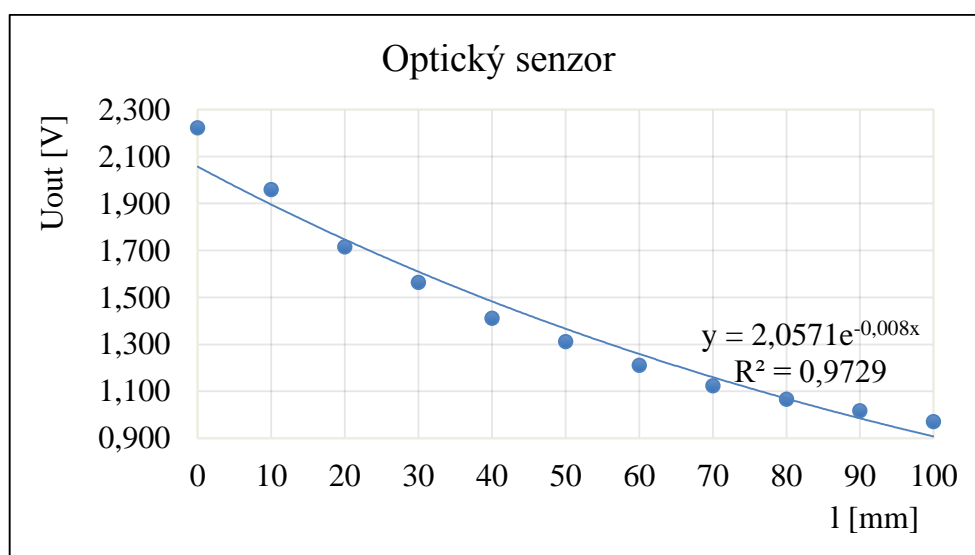
Potenciometr											
č. m.	l [mm]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Rout [k $\Omega$ ]											
1.	0,006	0,825	2,020	3,158	4,360	5,530	6,660	7,820	8,980	10,080	11,020
2.	0,006	0,824	2,034	3,186	4,350	5,520	6,660	7,800	8,960	10,100	11,010
3.	0,007	0,860	2,020	3,168	4,400	5,520	6,640	7,886	8,960	10,100	11,030
4.	0,006	0,858	2,035	3,189	4,400	5,540	6,660	7,830	8,980	10,100	11,010
5.	0,006	0,828	2,025	3,178	4,390	5,520	6,630	7,830	8,950	10,090	11,010
6.	0,006	0,835	2,030	3,179	4,360	5,530	6,660	7,850	8,960	10,100	11,020
7.	0,006	0,845	2,039	3,181	4,380	5,530	6,660	7,860	8,990	10,090	11,020
8.	0,006	0,850	2,020	3,180	4,380	5,520	6,660	7,800	8,990	10,100	11,020
9.	0,006	0,855	2,028	3,183	4,350	5,540	6,660	7,800	8,960	10,100	11,030
10.	0,007	0,838	2,021	3,171	4,350	5,540	6,630	7,860	8,970	10,080	11,020
$\bar{x}$	0,006	0,842	2,027	3,177	4,372	5,529	6,652	7,834	8,970	10,094	11,019
$\sigma$	0,0004	0,0130	0,0067	0,0088	0,0194	0,0083	0,0125	0,0283	0,0134	0,0080	0,0070
Min.	0,006	0,824	2,020	3,158	4,350	5,520	6,630	7,800	8,950	10,080	11,010
Max.	0,007	0,860	2,039	3,189	4,400	5,540	6,660	7,886	8,990	10,100	11,030

Tab. 3. Naměřený výstupní odpor Potenciometru

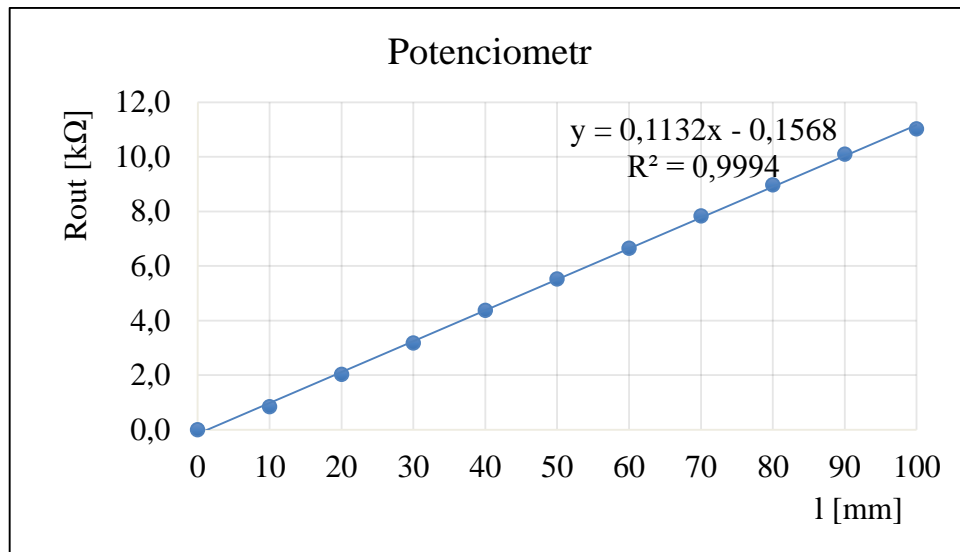
Dále byly vytvořeny grafy z průměrných hodnot. Závislost výstupního signálu senzorů na poloze předmětu.



Obr. 50. Závislost výstupního napětí Hallova senzoru na poloze předmětu



Obr. 51. Závislost výstupního napětí optického senzoru na poloze předmětu



Obr. 52. Závislost odporu potenciometru na poloze předmětu

### Vyhodnocení:

Byly ověřeny fyzikální principy všech vybraných senzorů a funkčnost úlohy. U senzorů se nevyskytla žádná chyba a senzory fungovaly bezproblémově. Měření probíhalo současně pro Hallův, optický senzor a posuvný potenciometr. Měření pohybu předmětu, na dané dráze 100 mm (délky dráhy jezdce), bylo opakováno desetkrát. Z naměřených hodnot bylo pak možno vypočítat minimální, maximální, průměrné hodnoty a směrodatnou odchylku. Z průměrných hodnot byly následně vytvořeny grafy závislosti na poloze předmětu. Z grafu lze vidět, že výstupní napětí Hallova senzoru roste se vzdalujícím předmětem. Jedná se o logaritmickou závislost. U optického senzoru výstupní napětí exponenciálně klesá se vzdalujícím se předmětem. Potenciometr má oproti předchozím dvěma senzorům odlišnou charakteristiku. Při posouvání předmětu po dráze odpor potenciometru roste a mění se lineárně. Z vypočítaných směrodatných odchylek lze říct, že nejmenší rozptyl hodnot je u Hallova senzoru. Největší rozptyl hodnot má pak tahový potenciometr. Dále byla ověřena funkčnost kapacitního a indukčního senzoru (senzoru přiblížení). Po přiblížení různých kokových předmětů k oběma senzorům do vzdálenosti 1 mm, jak udává výrobce, došlo k rozsvícení žárovek.

## ZÁVĚR

Hlavní cíl bakalářské práce byl návrh a realizace experimentální úlohy na měření polohy. Laboratorní úloha, která byla vytvořena, bude sloužit pro výukové účely na Fakultě aplikované informatiky ve Zlíně. V těchto hodinách se studenti obeznámí s fyzikálními principy senzorů, využívaných na měření polohy a budou mít možnost praktické ukázky senzorů s různým druhem konstrukce a montáže.

Bakalářská práce obsahuje dvě části. První část je teoretická, kde je popsáno, co jsou to senzory a jejich význam. Dále jsou uvedeny vlastnosti senzorů a obecné požadavky na jejich vlastnosti. Část je i věnována metodám zmenšení chyb senzorů. Nakonec jsou uvedeny druhy senzorů, které se využívají na měření polohy a jejich fyzikální princip.

Druhá část je praktická, kde ze začátku je popsán cíl a požadavky na laboratorní úlohu, kde se jedná zejména o jednoduchost, jednotvárnost a časová nenáročnost. Dle těchto požadavků byl vymyšlen návrh laboratorní úlohy a vybrány jednotlivé druhy senzorů, které byly použity na experimentální úlohu. Na výběr senzoru byly kladeny požadavky jako je dostupnost a cena, která hrála největší roly při výběru. Jelikož ceny těchto senzorů, po zjištění, se šplhají i do tisíce korun za kus, byli jsme nuceni jako hlavní prioritu zvolit cenu. Následně byl zakoupen senzor optický, Hallův, kapacitní, indukční a tahový potenciometr. Nejdražší byly senzory přiblížení (kapacitní a indukční senzor), které se využívají v průmyslové praxi a jsou i tak podle toho konstruovány. Pořizovací cena za oba kusy byla zhruba patnáct set korun. Další vybrané senzory byly už cenově mnohem dostupnější. Celková cena za pořízené senzory byla přibližně dva tisíce korun. Dalšími požadavky byla konstrukce, která bude mít stejný tvar jako všechny ostatní úlohy. Proto byly, jako základna, použity desky Merkur, které jsou optimální pro konstrukci těchto typů laboratorních úloh. Konstrukce a možnost připevnění byla u každého vybraného senzoru odlišná. Proto bylo potřeba vymyslet jejich uchycení k základně. Konstrukce a rozmístění senzorů bylo vymyšleno tak, aby optický a Hallův senzor současně s tahovým potenciometrem snímaly jeden pohybující se předmět. V další část je věnována realizaci této laboratorní úlohy a ověření zda vybrané senzory fungují. Proběhlo zkušební měření, které se opakovalo desetkrát, kvůli možnosti statického zpracování výsledků a vytvoření vzorového protokolu z měření. Bylo i vytvořeno vhodné zadání k měření s vytvořenou úlohou, podle kterého studenti mohou provádět zkušební měření.

Součástí této práce je i Externí příloha, která obsahuje technickou dokumentaci vybraných senzorů a doporučené měřicí techniky.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HRUŠKA, František. *Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití* [online]. 2. rozšířené vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2010 [cit. 2015-01-31]. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>.
- [2] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
- [3] ADÁMEK, Martin. Učebnice. *Umel.feec.vutbr* [online]. 2002 [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_1\\_3.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_3.htm)
- [4] RIPKA, Pavel, Stanislav ĎADO, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. *Senzory a převodníky*. Praha: České vysoké učení technické, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
- [5] ŠŤASTNÝ, František. Dynamické vlastnosti senzorů. *Senzory* [online]. 1997 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html\\_tree/node16.html](http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html_tree/node16.html)
- [6] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.
- [7] *Elektrotechnická měření*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 255 s. ISBN 80-730-0022-9.
- [8] Potenciometr. *Conrad* [online]. 2015 © [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/regulator-posuvny-alps-401768-10-k-0-5-w.k442121#>
- [9] Potenciometr. *Tme* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/rsaon12-10kx2/posuvne-potenciometry/alps/#>
- [10] Hallův senzor. *Official* [online]. 2011 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://shop.official.cz/halluv-senzor-a3518-sua-7879.html>
- [11] Kapacitní senzor. *Technoline* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://eshop.technoline.cz/kapacitni-snimace/2410-kapacitni-snimac-greegoo-cm30-3010pa-kapacitni-senzor>
- [12] Objímka. *Gme* [online]. 2015 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/i-objimka-e10-dr-p070-506>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

MEMS Micro Electro Mechanical Systems

DC Stejnoseměrné napětí

LSB Nejmeně významný bit.

IR InfraRed

tzv. Takzvaně.

apod. A podobně.

atd. A tak dále

m Metr

mm Milimetr

V Volt

A Ampér

mA Miliampér

Hz Hertz

μ Mikro

r. Rok.

°C Stupeň Celsia

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schéma měřicího řetězce [1]</i> .....	10
<i>Obr. 2. Hystereze [4]</i> .....	13
<i>Obr. 3. Schéma kompenzačního zapojení senzorů [1]</i> .....	15
<i>Obr. 4. Schéma diferenčního zapojení senzoru [1]</i> .....	16
<i>Obr. 5. Schéma zpětnovazebního senzoru[1]</i> .....	16
<i>Obr. 6. Měřicí obvody pro odporový senzor: a) Napěťový sledovač, b) můstek [4]</i> .....	19
<i>Obr. 7. Princip indukčního senzoru [6]</i> .....	20
<i>Obr. 8. Průběh magnetických siločar bez clonky a s clonkou (přerušovaná čára)[6]</i> .....	21
<i>Obr. 9. Transformátorové náhradní schéma indukčního senzoru s tlumicí clonkou [6]</i> .....	21
<i>Obr. 10. Princip kapacitního senzoru [6]</i> .....	23
<i>Obr. 11. Blokové schéma kapacitního senzoru [6]</i> .....	23
<i>Obr. 12. Možnosti ovládaní kapacitních senzorů [6]</i> .....	24
<i>Obr. 13. Magnetické pole válcového magnetu ovlivněné feromagnetickým předmětem [6]</i> .....	25
<i>Obr. 14. Magnetická indukce anizotropního feritu v závislosti na vzdálenosti v axiálním směru [6]</i> .....	26
<i>Obr. 15. Magnetická indukce anizotropního feritu v závislosti na vzdálenosti v radiálním směru [6]</i> .....	26
<i>Obr. 16. Zředování a zhušťování částic při vzniku ultrazvukové vlny [6]</i> .....	27
<i>Obr. 17. Funkční schéma návrhu</i> .....	32
<i>Obr. 18. Funkční schéma návrhu u senzorů přiblížení</i> .....	33
<i>Obr. 19. Posuvný potenciometr ALPS [8]</i> .....	34
<i>Obr. 20. Technické parametry potenciometr [9]</i> .....	35
<i>Obr. 21. Optický senzor SHARP</i> .....	36
<i>Obr. 22. Hallův senzor [10]</i> .....	36
<i>Obr. 23. Indukční senzor Lanbao</i> .....	37
<i>Obr. 24. Kapacitní senzor GREEGOO [11]</i> .....	37
<i>Obr. 25. Deska Merkur</i> .....	38
<i>Obr. 26. Úhelník</i> .....	38
<i>Obr. 27. Bílá svorkovnice</i> .....	39
<i>Obr. 28. Patice [12]</i> .....	39
<i>Obr. 29. Uchycení Optického senzoru</i> .....	40

Obr. 30. Osazení pojivého pole Halloovým senzorem a svorkovnicí .....	41
Obr. 31. Potenciometr s vyvrtnými dírami v jezdcí .....	41
Obr. 32. Úhelník s vyvrtnými dírami .....	42
Obr. 33. Zkouška připevnění úhelníku k jezdcí potenciometru .....	42
Obr. 34. Přichycení upraveného úhelníku k potenciometru .....	42
Obr. 35. Realizace předmětu a posuvu .....	43
Obr. 36. Rozměry konstrukce pro ukotvení senzorů přiblížení .....	44
Obr. 37. Konstrukce pro ukotvení senzorů přiblížení .....	44
Obr. 38. Nalakovaná překližka .....	45
Obr. 39. Schéma zapojení senzoru přiblížení .....	45
Obr. 40. Osazení pájivého pole patičkami pro žárovky .....	46
Obr. 41. Realizovaná laboratorní úloha .....	46
Obr. 42. Napájecí zdroj HAMEG HM8143 .....	47
Obr. 43. Multimetr Agilent 34401A .....	48
Obr. 44. Multimetr PICOTEST M3510A .....	48
Obr. 45. Multimetr METEX M-3860M .....	49
Obr. 46. Měřicí sestava .....	49
Obr. 47. Protokol – Funkční schéma návrhu .....	51
Obr. 48. Protokol – Funkční schéma návrhu u senzoru přiblížení .....	51
Obr. 49. Návrh zadání – Měřicí sestava .....	52
Obr. 50. Závislost výstupního napětí Hallova senzoru na poloze předmětu .....	60
Obr. 51. Závislost výstupního napětí optického senzoru na poloze předmětu .....	60
Obr. 52. Závislost odporu potenciometru na poloze předmětu .....	61

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Naměřené výstupní napětí Hallova senzoru .....	57
Tab. 2. Naměřené výstupní napětí Optického senzoru .....	59
Tab. 3. Naměřený výstupní odpor Potenciometru .....	59

## SEZNAM PŘÍLOH

Externí Příloha PI: Technická dokumentace