

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh a realizace pracoviště pro měření polohy
a vzdálenosti v laboratoři senzorů a neelektrických
veličin**

**Design and Realisation of Laboratory
Experiment for Measurement of Position and
Distance**

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Hudeček**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Návrh a realizace pracoviště pro měření polohy a vzdálenosti
v laboratoři senzorů neelektrických veličin
Design and Realisation of Laboratory Experiment for Measurement
of Position and Distance**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Řada úloh pro měření a testování je dnes vyhodnocována s využitím technologie Virtuální instrumentace. Jedná se o doplnění PC komponentou pro měření či generování signálů a SW komponentou, která zajistí automatizaci úlohy či sofistikované zpracování signálu. Práce se zabývá komplexním řešením pracoviště měření polohy a vzdálenosti a zejména vývojem SW v LabVIEW pro automatizaci úlohy měření v laboratoři senzorů neelektrických veličin.

Body zadání:

1. Seznámení se s požadavky na úlohu měření polohy a vzdálenosti.
2. Definování koncepce úlohy a koncepce obslužné aplikace. (optický dálkoměr průmyslový a vestavný, reflexní optické senzory)
3. Seznámení se s oblastí virtuální instrumentace a prostředím LabVIEW.
4. Navržení koncepce obslužného SW úlohy. (měření a ukládání dat do DB, vyhodnocení a vizualizace)
4. Implementace SW.
5. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9..
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 978-1934891087.
- [3] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabVIEW: advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, c2007. ISBN 978-0-8493-3325-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019




doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. dubna 2019


.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Petru Bilíkovi PhD. za pomoc a trpělivost, cenné rady a připomínky při vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Davidu Valovi za cenné rady při návrhu mechanické části bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a realizovat měřicí stanoviště do laboratoře senzorů a neelektrických veličin. Tato měřicí úloha bude sloužit studentům pro práci a seznámení se se senzory vzdálenosti a polohy, měřicí kartou National Instruments, krokovým motorem a jeho řídicí deskou.

Práce se zabývá návrhem vhodné konstrukce pro měřicí senzory a řídicí a měřicí karty. Dále se práce zabývá komunikací po sériové lince, sběru dat pomocí měřicí karty a následné vizualizace v prostředí LabVIEW. Celá úloha je realizována tak, aby se dala ovládat přes aplikaci vytvořené v LabVIEW. Měřená data jsou vizualizovaná pro porovnání jednotlivých senzorů vzdálenosti. Dále ukládána pro jejich další možné zpracování.

Klíčová slova

LabVIEW, virtuální instrumentace, sériová linka, měřicí karta NI, reflexní optický senzor, optický dálkoměr průmyslový a vestavný, krokový motor

Abstract

The goal of this work is to design and implement measurement station in the laboratory of sensors and non-electric quantities. This measurement task will be for students to work with and familiarize themselves with distance and position sensors, the National Instruments measuring card, the stepper motor, and its control board.

The thesis deals with the design of suitable structures for measuring sensors and control and measuring cards. Further, the work deals with serial line communication, data collection using a measurement card and subsequent visualization in LabVIEW. The entire task is implemented so that it can be controlled through an application created in LabVIEW. Measured data is visualized for comparison of individual distance sensors. Also stored for their possible further processing.

Key words

LabVIEW, virtual instrumentation, serial bus, NI measuring card, reflective optical sensor, optical rangefinder industrial and built-in, stepper motor

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Seznam obrázků.....	8
1. Úvod.....	9
2. Teoretická část.....	10
2.1.1. Senzory polohy.....	11
2.1.2. Optické senzory polohy.....	11
2.2.1. Krokový motor.....	16
2.3.1 LabVIEW a virtuální instrumentace.....	18
2.4.1 Snímač, senzor, čidlo.....	18
2.5.1 Měřicí řetězec.....	19
3. Praktická část.....	21
3.1.1. Měřicí pracoviště.....	21
3.1.2 Hardware.....	23
3.2.1 Koncové spínače.....	25
3.2.2 Optické senzory Sharp a Balluff.....	27
3.2.3 Návrh a realizace optického 8-bitového enkodéru.....	29
3.3.1 LabVIEW aplikace.....	31
3.3.2 Sériová komunikace.....	33
3.3.3 Sběr měřených dat.....	34
4. Závěr.....	35
Seznam použité literatury.....	36
Přílohy.....	37

Seznam použitých zkratk

NI	National Instruments
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
USB	Universal Serial Bus
PC	osobní počítač
Soustava SI	Mezinárodní systém jednotek
VISA NI	Virtual Instrument Software Architecture
VI	Virtual Instrument
DAQ Assistant	Data Acquisition Assisntent
Hz	Hertz, jednotka frekvence
nm	nano metry
V	Volt, jednotka elektrického napětí
A	Ampér, jednotka elektrického proudu
Ω	Ohm, jednotka elektrického odporu
CCD	charge-coupled device
PSD	polohově citlivé senzory
TTL	tranzistor-tranzistor logic
CMOS	complementary metal-oxide semiconductor
B	bajt
S/s	vzorky za vteřinu
F	Farad, jednotka elektrické kapacity
LSB	nejméně významný bit

Seznam obrázků

Obr. 1: Lineární a rotační pohyb	10
Obr. 2: Polohově citlivé optické senzory.....	12
Obr. 3: Inkrementální senzor polohy	13
Obr. 4: Kotouč pro snímání úhlové polohy s prostorovým kódem	14
Obr. 5: Clonící senzor.....	15
Obr. 6: Princip fungování triangulačního senzoru.....	15
Obr. 7: Michelsonův interferometr a jeho princip	16
Obr. 8: Možnosti zapojení statorového vinutí	17
Obr. 9: Princip otáčení rotoru	17
Obr. 10: Statorové vinutí b) a rotor s vyniklými póly a)	18
Obr. 11: Analogový měřicí řetězec.....	19
Obr. 12: Digitální měřicí řetězec	20
Obr. 13: Hrubý návrh měřicího pracoviště	21
Obr. 14: Upravený návrh úlohy	21
Obr. 15: Instalované prvky na podkladovou desku	22
Obr. 16: (zleva) Krokový motor, pružná spojka a trapézová tyč.....	22
Obr. 17: Uchycení optických senzorů Sharp (vlevo) a Balluff (vpravo).....	23
Obr. 18: Schéma zapojení AI, DI měřicí karty	24
Obr. 19: Řídící karta krokového motoru.....	25
Obr. 20: Měřicí mód karty USB-6008 pro digitální vstup.....	25
Obr. 21: Průběh sepnutí koncových snímačů	26
Obr. 22: Schéma zapojení koncového snímače	26
Obr. 23: Průběh sepnutí koncového spínače se zapojeným kondenzátorem	27
Obr. 24: Křivka závislosti vzdálenosti na výstupním napětí	28
Obr. 25: Výstupní charakteristika napětí na vzdálenosti	29
Obr. 26: El. schéma zapojení součástek	29
Obr. 27: Rozložení součástek na desce.....	30
Obr. 28: Masky pro výrobu desky plošných spojů	30
Obr. 29: Odleptaná a osazená deska plošných spojů.....	30
Obr. 30: Jednoduché VI pro ovládání krokového motoru	31
Obr. 31: Čtení registrů karty a jejich následné formátování.....	31
Obr. 32: Čelní panel VI	32
Obr. 33: Stavový diagram VI	32
Obr. 34: Digitální reprezentace dat (vlevo)	33
Obr. 35: Průběh analogových snímačů za jeden běh lineárního vedení (vpravo)	33
Obr. 36: Nastavení komunikace s řídicí kartou	33
Obr. 37: Konfigurace analogového kanálu.....	34
Obr. 38: Konfigurace digitálního kanálu.....	34

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na oblast virtuální instrumentace. V poslední době se jako trend v měřicí a řídicí technice uplatňuje právě virtuální instrumentace. Nejen díky tomu, že se zde uplatňuje filozofie vývojových prostředí používajících principů grafického programování, ale také softwarová podpora a hardwarový vývoj měřicích karet, které mohou mít i univerzálnější využití, vede čím dál větší oblibě virtuální instrumentace v průmyslu.

Díky této univerzálnosti je použito právě programového prostředí (LabVIEW) a měřicí karty (USB-6008) od firmy National Instruments. Měřicí úloha je koncipovaná tak, že poloha krokového motoru, na kterém jsou uchyceny optické senzory, je ovládán pomocí sériového rozhraní z prostředí LabVIEW. Tedy uživatel má k dispozici na PC aplikaci, díky které může ovládat polohu snímačů. Senzory vzdálenosti jsou připojeny k napájení a jejich výstupy jsou měřeny pomocí měřicí karty. Karta předává měřená data do PC přes USB rozhraní a aplikace v LabVIEW je naprogramovaná tak, aby tyto údaje převáděla do grafické podoby s převodem do fyzikálních jednotek vzdálenosti a následné uložení do databáze. Uživatelé tak budou moci porovnat výstupy jednotlivých senzorů vzdálenosti.

V teoretické části se tedy tato práce zabývá rozdílnostmi jednotlivých senzorů polohy a vzdálenosti, principy přenosu dat a jejich následné zpracování a v poslední řadě princip fungování krokového motoru. Tedy všech klíčových prvků pro vytvoření této měřicí úlohy.

Praktická část se zabývá již konkrétním řešením problémů při vytváření měřicího stanoviště. Tvorbou digitálního optického senzoru, na bázi funkce optočlenů. Zpracování výstupních signálů z optických analogových senzorů vzdálenosti. Ovládání krokového motoru přes sériovou linku. Hromadný sběr dat, které jsou již převedené do číselné hodnoty reprezentující hodnoty ze soustavy SI, a jejich ukládání do souboru, pro následné zpracování. Synchronizace paralelně běžících smyček (procesů) a předávání dat mezi jednotlivými smyčkami.

V závěru je shrnuta celková realizace měřicího stanoviště. Zhodnoceny dosažené výsledky práce. Možnosti rozšiřitelnosti měřicího stanoviště.

2. Teoretická část

Poloha

Poloha tělesa udává umístění či orientaci vůči okolnímu prostoru.

Vzdálenost

Výraz vzdálenost se používá pro vyjádření odlehlosti dvou bodů a pro vyjádření jejich vzájemné polohy.

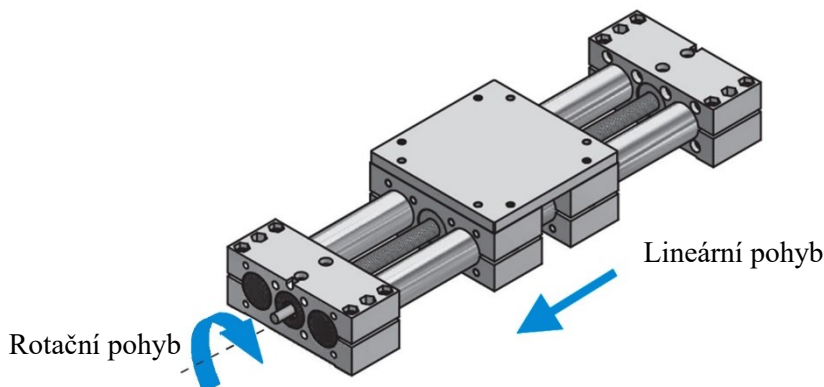
Dráha

Dráha označuje délku trajektorie, kterou těleso urazí za určitou dobu. Dráha je tedy vzdálenost, kterou těleso urazí mezi dvěma časovými okamžiky a měří se podél trajektorie. Dráha je charakteristikou mechanického pohybu. [6]

Mechanický pohyb

Lze rozdělit na lineární, rotační, kruhový a obecný (mnoho-osý pohyb).

Lineární a rotační pohyb je realizován pouze v jedné ose, a proto je nejjednodušší na měření. Avšak pro lineární a rotační pohyb se nemusí vždy používat stejné metody na zjištění polohy. Při lineárním pohybu se mění pouze jedna ze souřadnic x,y,z. U rotačního pohybu je tomu stejně, avšak těleso kolem této osy rotuje. Většinou se jedná o těleso na tyčovém.



Obr. 1: Lineární a rotační pohyb [7]

Kruhový pohyb je pohyb realizovaný na dvou osách. Jeho pohyb lze vyjádřit rovnicí (2.1)

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (2.1)$$

r = poloměr otáčení [mm]

x = osa x [mm]

y = osa y [mm]

Pro mnoho-osý pohyb platí, že parametry všech tří os (x,y,z) se mění v závislosti na mechanické konstrukci daného tělesa, popřípadě stroji na kterém se nachází.

2.1.1. Senzory polohy

Senzory polohy se rozdělují do několika kategorií.

Dvoustavové senzory

- kontaktní (jazýčková relé, mikrospínače)
- bezkontaktní (magnetické, kapacitní, optické)

Senzory s binárním výstupem

- inkrementální
- absolutní s kódovým výstupem

Senzory se spojitým výstupem

- odporové
- indukční
- indukčnostní
- magnetostrikční
- kapacitní
- optoelektrické
- ultrazvukové

[4]

Nejčastější vyráběná provedení senzorů polohy jsou s dvoustavovým výstupem, otevřeným kolektorem popřípadě jako spínací kontakt. V provedení s dvoustavovým výstupem se jedná o logické úrovně, realizované mechanickými mikrospínači, spínacími relé. Mohou pouze indikovat, zdali se měřený objekt nachází či nenachází v dané nastavené poloze. Přesnější údaj o poloze zajišťují senzory s binárním výstupem, které podle počtu bitů a rozsahu měření dokáží rozlišit přesnou polohu vůči měřenému bodu. Další možností je provedení se spojitým výstupem, které poskytuje mnohem přesnější představu o poloze, jsou to různé polovodičové součástky jako optické závory, magneto-rezistivní členy, kapacitní a indukční senzory.

2.1.2. Optické senzory polohy

U optických senzorů polohy se využívá závislosti výstupní veličiny detekční části senzoru a parametry zdroje optického záření. Posunem, respektive změnou polohy měřeného objektu dochází k těmto detekovatelným změnám: změna polohy zdroje detekovatelného záření, zastínění světelného záření mezi zdrojem a detektorem, změna úhlu odrazu paprsků zdroje od měřeného objektu, interference zdrojového a odraženého paprsku.

Optické senzory lze rozdělit do několika kategorií:

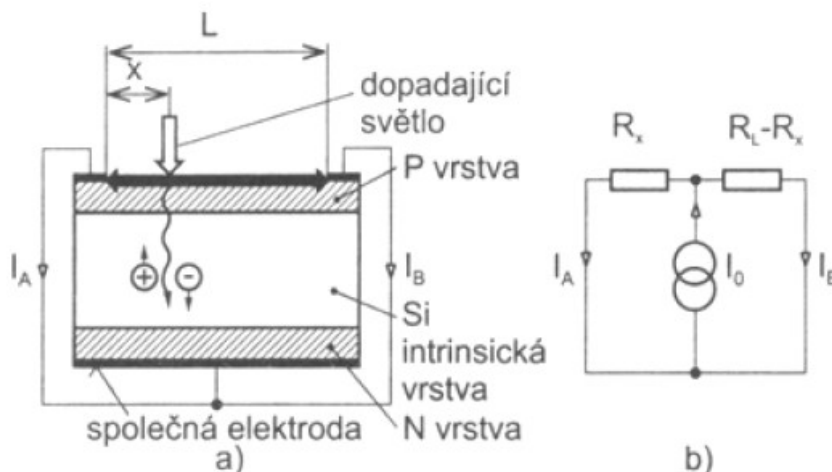
- 1) Polohově citlivé senzory (PSD)
- 2) CCD
- 3) Inkrementální optoelektronické senzory posuvu
- 4) Absolutní optoelektronické senzory polohy s prostorovým kódem
- 5) Senzory rozměrů clonícího typu
- 6) Optoelektronické senzory polohy s triangulací

[5]

7) Optoelektronické senzory polohy na interferometrickém systému

Polohově citlivé senzory (PSD)

Position sensitive photo – detectors jsou senzory určené k aplikacím, kdy měřená veličina ovládá polohu světelné stopy. Tato světelná stopa při dopadu na čelní plochu fotodiody PIN, v její intrinsické vrstvě I, generuje páry elektron – díra. Elektrické pole na přechodu PI a NI vyvolá posuv děr blíže k vrstvě P a elektronů k vrstvě N. Generované páry elektron-díra vyvolávají proud o intenzitě I_0 , který působí v místě dopadu světelného paprsku. Změna polohy dopadu paprsku a proud protékající v daném místě vytvářejí pomyslný napěťový dělič, jehož hodnoty odporů se liší v závislosti právě na poloze dopadajícího paprsku. Tento vztah lze popsat vzorcem (2.2)[5].



Obr. 2: Polohově citlivé optické senzory
a) princip řádkového senzoru b) náhradní elektrické schéma [5]

$$I_A = I_0 \frac{R_L - R_X}{R_L}; I_B = I_0 \frac{R_X}{R_L} [A; A, \Omega] \quad (2.2)[5]$$

I_0 = celkový proud generovaný dopadajícím paprskem

I_A = proud nakrátko levou částí elektrody

I_B = proud nakrátko pravou částí elektrody

R_X, R_L = odpory náhradního schématu Obr. 2 a)

L = celková šířka čelní plochy senzoru

X = vzdálenost dopadu paprsku od levé části čelní plochy

Pakliže počítáme s rovnoměrným rozložením odporu ve vrstvě P, odpory z náhradního schématu b) jsou lineární funkcí polohy těžiště světelné stopy X , pak platí (2.3)[5].

$$\frac{I_B}{I_0} = \frac{R_X}{R_L} = \frac{X}{L}; \frac{I_A}{I_0} = \frac{L - X}{L} [-; \Omega, m] \quad (2.3)[5]$$

$$\frac{I_A - I_B}{I_A + I_B} = \frac{I_A - I_B}{I_0} = \frac{L - X}{L} - \frac{X}{L} = 1 - 2 \frac{X}{L} [-; A, m] \quad (2.4)[5]$$

Aby nedocházelo k ovlivnění závislosti měřené vzdálenosti na intenzitě paprsku, tedy na celkovém proudu I_0 , lze odstranit jeho závislost pomocí principu poměrového měřicího obvodu, viz vzorec (2.4)[5].

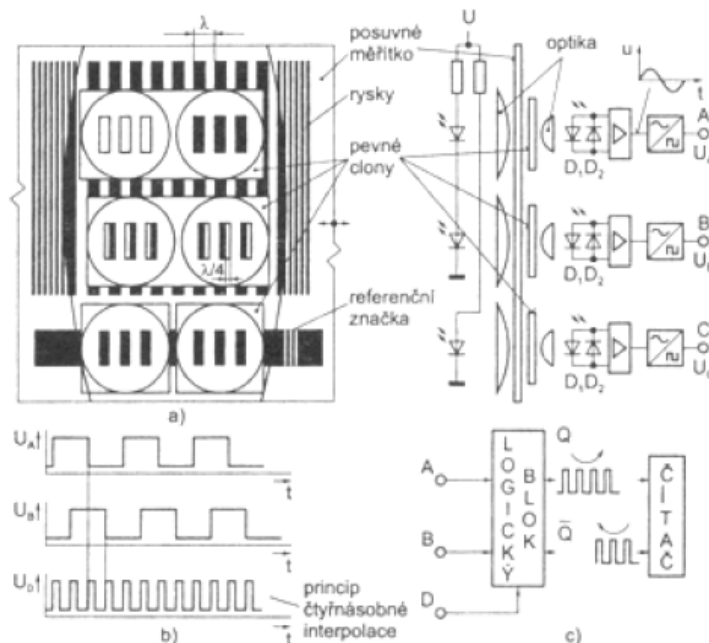
Charged-coupled device – CCD

Fotony dopadající na fotocitlivou plochu, kde narážejí do atomů a předávají jim energii tak, že elektrony těchto atomů přecházejí do excitovaného stavu. Takto hromaděné náboje nabíjejí daný elektronický prvek, kapacitor. Přesun náboje se děje sériově. Vyrábějí se ve dvojím provedení, a to buď řádkovém, pro snímání kódu v jedné ose (řádku) anebo plošném, kde se jedná o matice pixelů pro snímání obrazu nebo záznamu videa.

Inkrementální optoelektronické senzory posuvu

Tyto senzory pracují s principem clonění zdroje světelného toku, tedy objekt, který je snímán a pohybuje se má na sobě tzv. posuvné měřítko. Druhá clona je nepohyblivá a nachází se těsně nad fotocitlivou částí senzoru, rozděljuje tak dopadající záření na rovnoměrné úseky, tedy kroky. Snímáný prvek má tedy na svém povrchu masku (pravítko nebo kotouč), která blokuje nebo propouští světelný tok skrz masku. Při pohybu objektu dochází k překrývání jednotlivých masek a tím dochází k clonění dopadajícího světla na fotodiodu. To vede k změnám napětí na diodě (propustný a závěrný směr) a po úpravě na unifikovaný tvar impulzů tento signál inkrementuje obsah čítače. Poloha snímaného objektu je dána obsahem čítače a správným vynulováním obsahující čítače v referenční poloze.

Pro určení směru pohybu má sensor alespoň tři soustavy clonících proužků, pevných clon a fotocitlivých elementů. Zdroj světla je pro všechny tyto kanály stejný. Jedena sada proužků je posunuta o $\lambda/4$, kde λ představuje šířku kroku, viz *Obr. 3*: Inkrementální sensor polohy a) uspořádání, b) signály z kanálů A, B a čtyřnásobné interpolaci c) vyhodnocení směru pohybu. Pak signály U_A , U_B připojené na vstupy RS klopného obvodu nastavují jeho výstup Q do logické úrovně závislé na sledu náběžných hran obou signálů. Tento výstup Q řídí směr čítání čítače.



Obr. 3: Inkrementální sensor polohy

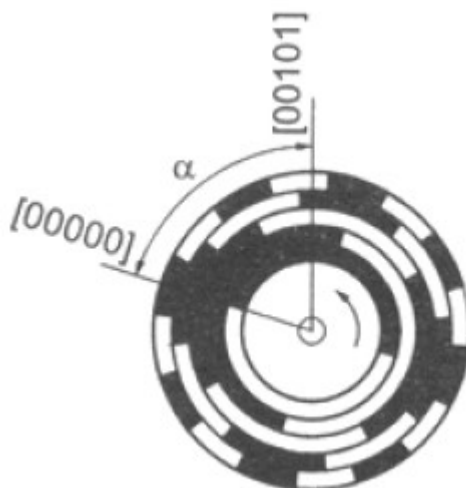
a) uspořádání, b) signály z kanálů A, B a čtyřnásobné interpolaci c) vyhodnocení směru pohybu [5]

Zmenšením délky kroku λ pro lepší rozlišení posuvu, má své fyzikální limity, a to na přibližně $7 \mu\text{m}$, kdy dochází k ohybu světla, a tedy jeho nesprávného dopadu na fotodiody. [5]

Nevýhodou těchto snímačů je, že chybu vzniklou možnými rušivými impulzy na vstupu čítače lze odhalit, až po opětovném dosažení referenční značky. Tedy v tomto případě by měl být obsah čítače nulový.

Absolutní optoelektronické senzory polohy s prostorovým kódem

Podstatou je pravítko, respektive kotouč s řadou stop, tyto stopy střídají průsvitné a neprůsvitné, nebo světlo odrazné a světlo absorpční proužky tak, že vytvářejí binární kód, popřípadě jiný kód (například Grayův). Kódovací obrazec se buď z jedné strany prosvětluje a na druhé straně je fotocitlivý prvek, který zaznamenává průsvitné a stínící proužky nebo se zdroj světla nachází stejné straně jako fotocitlivý prvek a díky odraznosti světla jsou vyhodnocovány stavy 0 a 1. Kritickým místem konstrukce je dodržení přesné geometrie snímacích prvků, které musí u senzorů úhlové polohy sledovat poloměr. Při zastavení kotouče v mezní poloze může dojít k hazardním stavům (některé fotodetektory čtou sousední proužky). Z tohoto důvodu se na kódových kotoučcích používá kódů s jednotkovou vzdáleností, tedy například Grayova kódu, viz *Obr. 4*. Při změně polohy dochází u Grayova kódu k změně pouze jednoho bitu a tím se omezí chyba pouze na jeden bit. (ten který se zrovna mění).



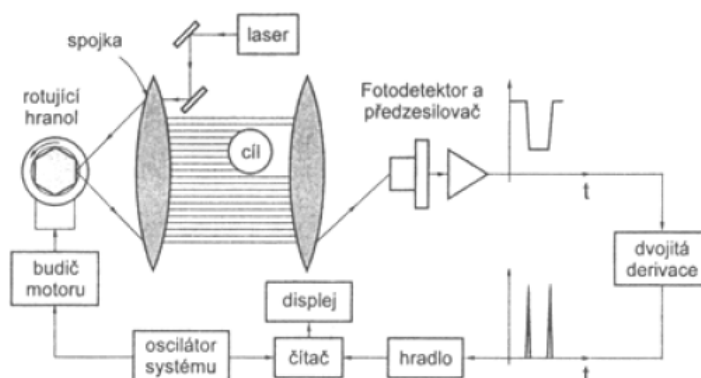
Obr. 4: Kotouč pro snímání úhlové polohy s prostorovým kódem [5]

Vliv rušivých impulzů je strukturou kódu minimalizován. Při zjištění změn u více bitů lze použít předchozí čtení a chyba není akumulována až do průchodu referenční značkou, jako je tomu u inkrementálních typu. Jde tedy o absolutní měření pracující jako převodník poloha – číslo. Podle počtu stop se dá určit jeho rozlišení, tj. počet stop odpovídá počtu bitů. Dalším kódovacím kotoučem připojeným přes převod do pomala lze rozšířit rozsah měření. Tímto však mohou vzniknout přídavné chyby mrtvým chodem a hysterezí (vůlí) převodního mechanismu. Kódové senzory polohy pracují i na magnetickém principu. Místo foto-citlivých snímačů jsou použity magneto-senzitivní prvky.

Senzor rozměrů clonícího typu

Válcový objekt na *Obr. 5* je umístěn v prostoru rovnoběžných světelných svazků. Laserový paprsek je rozmítán rotujícím hranolem a kolimační optika vytváří pole paralelních optických paprsků. Při rozmítání vzniká na fotocitlivém prvku pokles signálu odpovídající clonícímu účinku měřeného objektu. [5]

Šíře impulzu nese informaci o rozměru objektu, který je vyhodnocován metodami pro číslicové měření časových intervalů. Pokud je dodržena rovnoběžnost paprsků, údaj snímače nezávisí na poloze měřeného objektu.

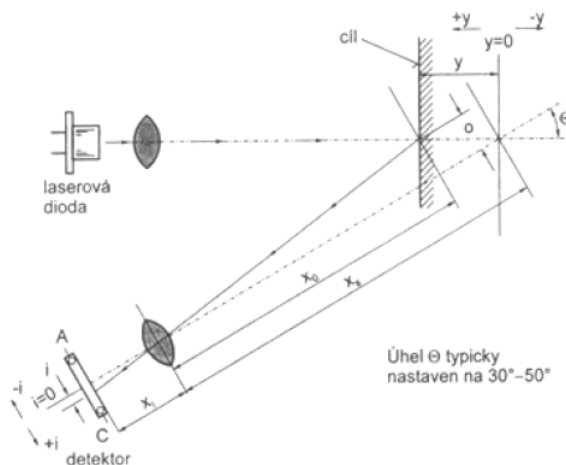


Obr. 5: Clonící senzor [5]

Optické senzory s triangulací

Tyto senzory pracují s odraženým paprskem. Je zapotřebí aby materiál, od kterého se paprsek odráží měl difuzní vlastnosti, tedy dopadající paprsek se odráží do všech směrů.

Nejčastěji se používá světelný paprsek z infračerveného pásma (okolo 760-850 nm) modulovaný kmitočtem 16 kHz. Takto modulované paprsky dopadají na povrch měřeného objektu, jehož pohyb vyvolá odpovídající posuv obrazu stopy na senzoru typu PSD nebo řádkovém senzoru CCD. Modulovaný signál se snadno zesiluje střídavým zesilovačem a dále vyhodnocuje synchronní detekci. Proto je možné senzor použít i pro objekty s malou odrazivostí. Další výhodou modulovaného paprsku je potlačení vlivu okolního osvětlení a driftu detektoru. Měřené vzdálenosti se pohybují v rozmezí jednotek a desítek centimetrů, rozlišovací schopnost je nejčastěji 16 bitů.



Obr. 6: Princip fungování triangulačního senzoru [5]

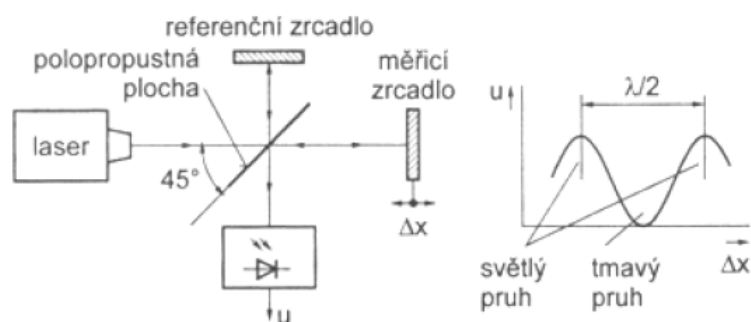
Dynamické vlastnosti senzoru jsou dány šířkou pásma střídavého zesilovače nebo dolnofrekvenční propusti za synchronním detektorem. Z hlediska vztahu mezi nosnou a modulační frekvencí je, při dostatečné úrovni intenzity odraženého paprsku, možné měřit kmitů objektu (do několika kHz). [5]

S klesající úrovní intenzity odraženého paprsku je nutné pro zachování potřebného odstupu signál/šum zmenšit šíři pásma dolní propusti. Pak maximální kmitočet ve spektru měřeného pohybu musí ležet v pásmu propustnosti dolno-propustného filtru.

Triangulační principy nacházejí uplatnění díky dostupnosti zdrojů koherentních optických svazků (laserové diody) a řádkových i plošných optoelektronických senzorů jako jsou PSD, CCD, matice foto-elementů a kvadrantové prvky.

Optoelektronické senzory polohy na interferometrickém principu

Princip těchto senzorů vychází z jevu, ke kterému dochází při interferenci světelných vln, tedy jejich skládáním. Na můžeme vidět Michelsonův interferometr, jehož princip byl použit i pro stavbu detektorů (LIGO a VIRGO) určených k detekci gravitačních vln.



Obr. 7: Michelsonův interferometr a jeho princip [5]

Svazek rovnoběžných paprsků dopadá pod úhlem 45° na polopropustnou plochu. Zde se část světla odráží v pevném (referenčním) zrcadlu a část postupuje k pohyblivému měřicímu zrcadlu. Paprsky odražené od obou zrcadel se vektorově sčítají na polopropustné ploše. Intenzita osvětlení v tomto místě je měřena optoelektronickým senzorem. Počítáním maxim a minim intenzity osvětlení se určuje poloha s rozlišením na $\lambda/2$ (hrubá stupnice), tedy jednu periodu. Interpolací závislosti intenzity na poloze měřícího zrcadla se získají údaje o poloze uvnitř intervalu $\lambda/2$ (jemná stupnice).

Michelsonův interferometr lze použít také pro měření tloušťky vrstev, optických vlastností plynů, vlnové délky světleného záření a podle nejnovějších výsledků i pro detekci gravitačních vln.

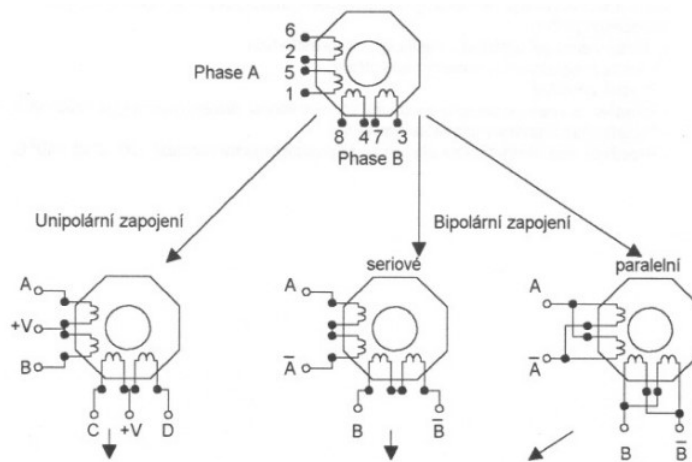
Existuje více typů a modifikací interferometrů, které se v dnešní době využívají v optoelektronických senzorech. [5]

2.2.1. Krokový motor

Krokový motor patří do kategorie synchronních motorů, to znamená že se rotor točí stejnou rychlostí jako točivé magnetické pole ve statoru. Točivé magnetické pole není vytvářeno střídavým proudem, ale postupným zapínáním jednotlivých cívek statoru.

Stator motoru se skládá z několika dvojic cívek (obvykle 4 dvojice), které mohou být různě zapojeny (vyvedeny obě strany cívky, dvě a dvě cívky spojeny jednou stranou vinutí, všechny cívky se společnou jednou stranou, sériově, paralelně, ...), viz Obr. 8.

Rotor je váleček buď z magneticky měkkého nebo tvrdého materiálu s vyniklými póly. [8]

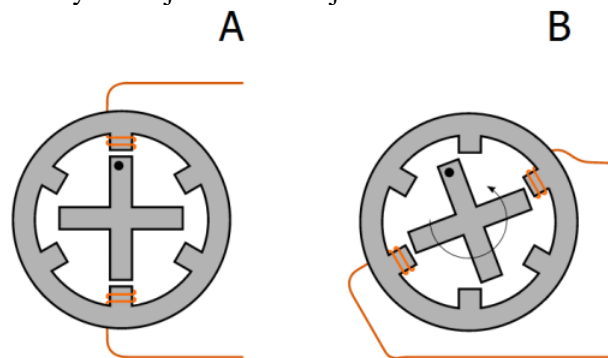


Obr. 8: Možnosti zapojení statorového vinutí

Princip

Cívkami na pozici A protéká elektrický proud, ten indukuje magnetický tok, který prochází místem s nejnižším magnetickým odporem. Jelikož stator nemůže otáčet, natočí se rotor do pozice s nejmenším magnetickým odporem. Ostatními cívkami v tuto chvíli neprotéká žádný proud.

Přepnutím aktivních cívek do polohy B se vytvoří magnetický tok na jiném místě. Rotor se tedy natočí tak, aby kladl co nejnižší magnetický odpor, tedy o 60° doleva. Rychlým a postupným přepínáním jednotlivých dvojic cívek se zajistí rotace rotoru.



Obr. 9: Princip otáčení rotoru [8]

Krokový motor lze ovládat různými druhy řízení:

Aktivovat vždy dvě sousední cívky – rotor se tedy natočí mezi dva pólové nástavce statoru (dvě aktivní cívky způsobí téměř dvojnásobný točivý moment).

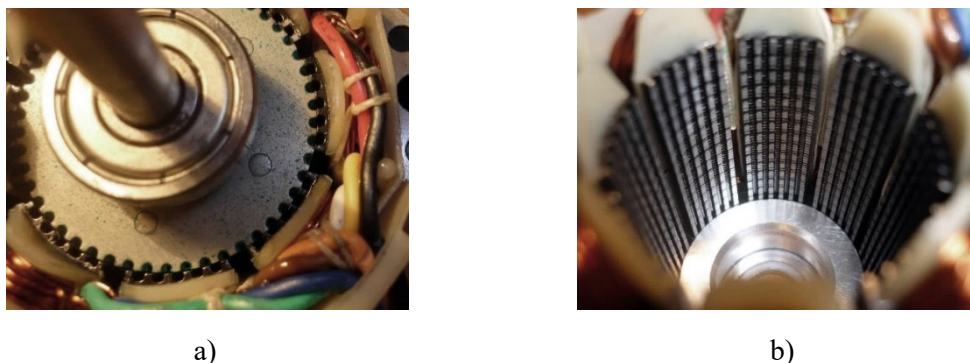
Pokud je rotor z magneticky tvrdého materiálu může jedna cívka tlačit a druhá cívka táhnout, musí být ovšem každá jinak polarizovaná.

Počet kroků motoru lze zdvojnásobit spínáním vždy jedné cívky, poté dvojice cívek (rotor se natočí mezi dva póly) a poté zase jedné cívky. Počet kroků je možné zvýšit mikrokrokováním, tedy postupným zapínáním jednotlivých cívek, motor má pak hladší chod.

Pokud se cívky přepínají moc rychle, projevuje se tzv. ztráta kroku. Točivé magnetické pole „ujede“ rotoru, který se nedokáže tak rychle otočit. Ztráta kroku může nastat při velkém mechanickém zatížení (motor nedokáže zátěž utočit) motoru.

Kvůli zamezení ztrátě kroku je nutné pohon s krokovým motorem ideálně předimenzovat. Se vzrůstajícími otáčkami strmě klesá kroutící moment motoru. Největší moment má tedy motor při nulových otáčkách. Stává se, že připojená zátěž, i když motor nebude nijak přetížen, způsobí rezonanci, a to může vést ke ztrátě kroku. [8]

Na Obr. 10 je reálná mechanická konstrukce dvoupólového krokového motoru. Na rotoru se nacházejí vyniklé póly, na statoru 4 pólové dvojice, každá se šesti vyniklými póly.



Obr. 10: Statorové vinutí b) a rotor s vyniklými póly a) [8]

2.3.1 LabVIEW a virtuální instrumentace

Programovací a vývojové prostředí LabVIEW (z anglického Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“, je produkt americké firmy National Instruments, která je průkopníkem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace, technické disciplíny, která zažívá velký rozvoj v oblasti, výzkumu, školství a průmyslu.

Prostředí LabVIEW, ve kterém se používá G-jazyk, tedy „grafický“ jazyk je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů jako je robot. „S určitou nadsázkou lze říci, že prostředí LabVIEW nemá omezení své použitelnosti.“ [1][4]

Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků (hardware) řešením virtuálním (zdánlivým) za přispění programových prostředků (software) a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění změn v konfiguraci, což je u realizace skutečnými nástroji za pomoci reálných součástek často velice nákladné nebo přímo nemožné.

Pojem virtuální instrumentace se promítnul i do označení souborů, které při jejich vygenerování jsou označeny, koncovkou .vi, tedy virtual instrument (zdánlivý přístroj). [1][2][3]

2.4.1 Snímač, senzor, čidlo

Snímač

Dá se popsat jako fyzické zařízení pro sběr informací. Snímač obsahuje senzor a další většinou elektronické obvody pro zpracování signálu.

Senzor

Senzor nebo také čidlo se definuje jako převodník jedné fyzikální veličina na druhou. Ve většině případů je žádaný převod na elektrickou veličinu. Neboť většina dnešních vyhodnocovacích zařízení je

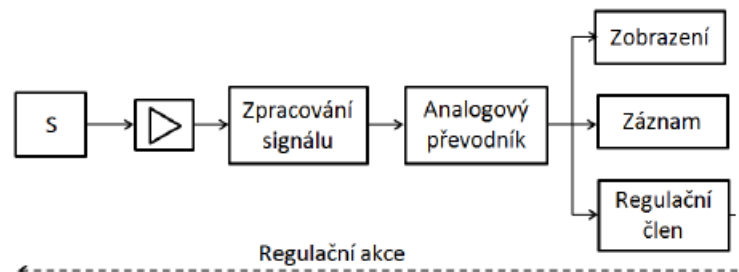
číslicový, a pro dekodování elektrických veličin se snadno přizpůsobují (přídavné obvody a někdy již rovnou integrované apod.)

2.5.1 Měřicí řetězec

Primární snímače zajišťují převod neelektrické veličiny na elektrickou. Informace z primárního snímače je většinou dostupná ve formátu, který se bez zpracování nehodí pro další použití. Proto je nutné signál ze senzoru před použitím upravit a převést do vhodného tvaru. Zařízení pro úpravu signálu jsou součástí systému, který získává, zpracovává a používá informaci o daném ději či procesu. Celý systém se označuje jako měřicí řetězec. Během průchodu signálu řetězcem dochází k několikerému převodu měřené veličiny. Podle konečného formátu výstupního signálu se stejně jako samotné senzory dělí měřicí řetězce na analogové a digitální.

Analogový řetězec

V tomto případě je signál od začátku řetězce až do konce analogový, tj. využívá k přenosu informace spojitě se měnící veličiny.

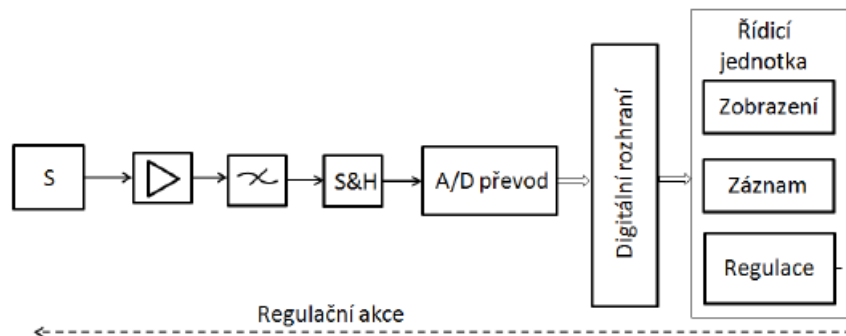


Obr. 11: Analogový měřicí řetězec [4]

Signál ze snímače S je nejprve zesílen a impedančně přizpůsoben, dále je zpracován z hlediska měřené informace (teplotní korekce, linearizace apod.), následuje převod v analogovém převodníku na signál vhodný k přenosu a dalšímu použití (unifikovaný proudový, napěťový nebo pulzní signál). Výsledný analogový signál je pak přiveden do místa, kde je využit k zamýšlenému účelu (zobrazení, záznam, řízení procesu). Tento model je velmi jednoduchý a v minulosti patřil mezi nejrozšířenější. Pro jednotlivé části měřicího řetězce je k dispozici řada dostupných zařízení a obvodových řešení (měřicí zesilovače, převodníky napětí-proud, kmitočet-napětí apod.) s unifikovanými parametry a vlastnostmi. Nevýhodou analogového měřicího řetězce je jeho relativně omezená možnost úpravy signálu, jednosměrný tok informace a nemožnost konfigurovat parametry jednotlivých členů řetězce na dálku.

Digitální řetězec

Pokud je zpracování informace nebo výstup z měřicího řetězce ve formě digitálního signálu, je jeho struktura dána schématem podle Obr. 12. [4]



Obr. 12: Digitální měřicí řetězec [4]

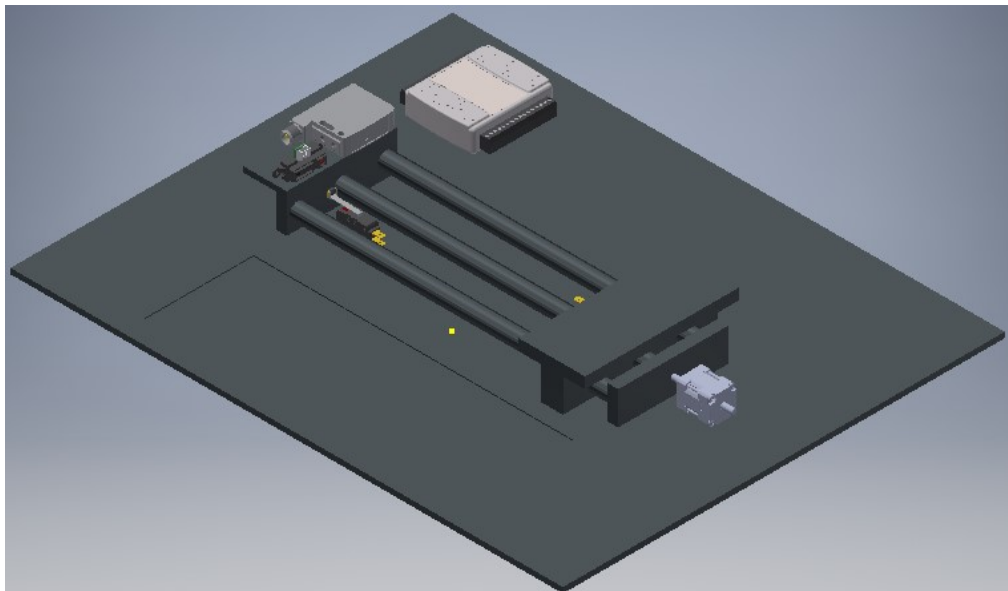
Po převodu na elektrický signál a jeho prvotním zesílení následuje filtrace signálu z důvodu omezení frekvenčního pásma. To má za cíl zamezení vzniku zrcadlových frekvencí během vzorkování a také omezení vysokofrekvenčního šumu, který by se jinak také mohl zrcadlit ve výsledném signálu. Dalším krokem je vzorkování (sample & hold) a analogově-číslicový (A/D) převod. Výsledný digitální údaj je přes digitální rozhraní předán do řídicí jednotky, která zajišťuje jeho další využití. Pro přenos digitální informace slouží buď standardní rozhraní jako RS232, RS485, USB a další, nebo speciální formáty sensorových sběrnic pro jednotlivé oblasti aplikací. Při digitální reprezentaci signálu je možno mnohem snadněji provádět kalibraci a korekce chyb snímačů i kompenzaci vedlejších vlivů prostředí na převodník. Obousměrná komunikace umožňuje interaktivní nastavování měřicí konfigurace senzoru podle úrovně signálu a velikosti rušivých vlivů i s ohledem na potřeby nadřazeného systému.

[4]

3. Praktická část

3.1.1. Měřicí pracoviště

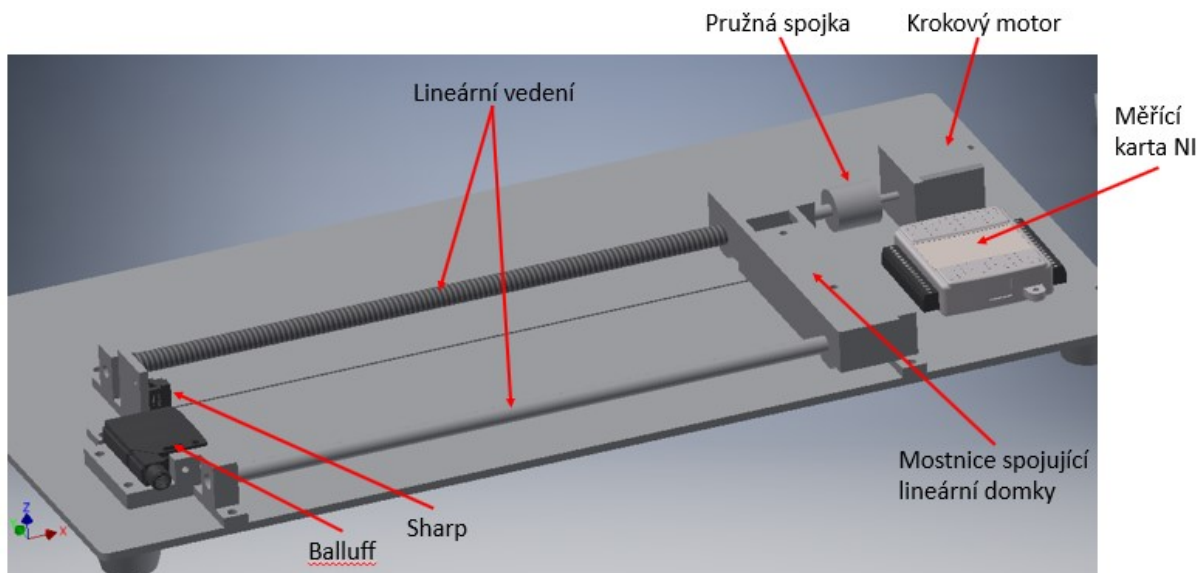
Návrh konstrukce je prováděn v Autodesk Inventor Professional 2018 (studentská licence).



Obr. 13: Hrubý návrh měřicího pracoviště

Z toho hrubého návrhu se vycházelo a hledali se, volně dostupné na trhu, CNC součásti, kterými by se dali nahradit jednotlivé části úlohy a tím došlo k úspoře peněz na této práci.

Tento první návrh se projevil jako velmi neefektivní, a to jak z pohledu rozměrů podkladové desky, tak i z pohledu množství potřebných univerzálních součástí.

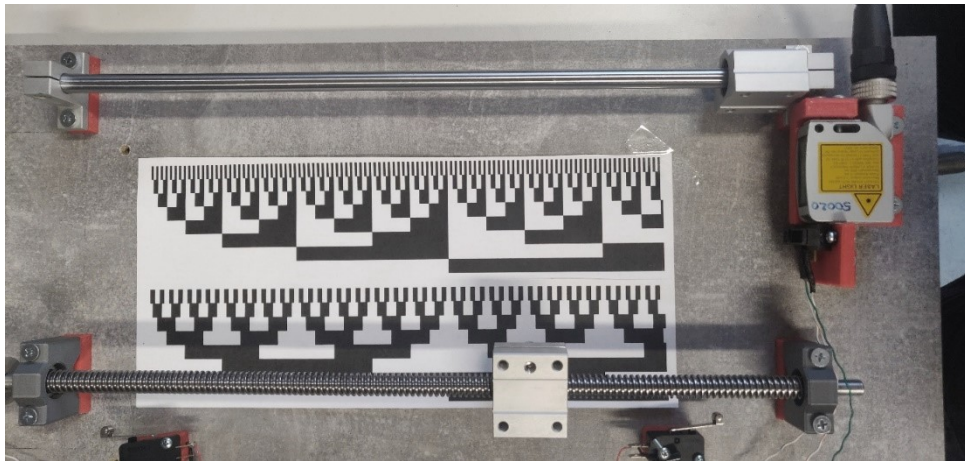


Obr. 14: Upravený návrh úlohy

Výsledné rozměry podkladové desky jsou 300x600 mm. Lineární vedení jsou použita pouze dvě namísto původních tří. Je to z důvodu úspory dílů, ale také na lineárním bude připojena pouze mostnice,

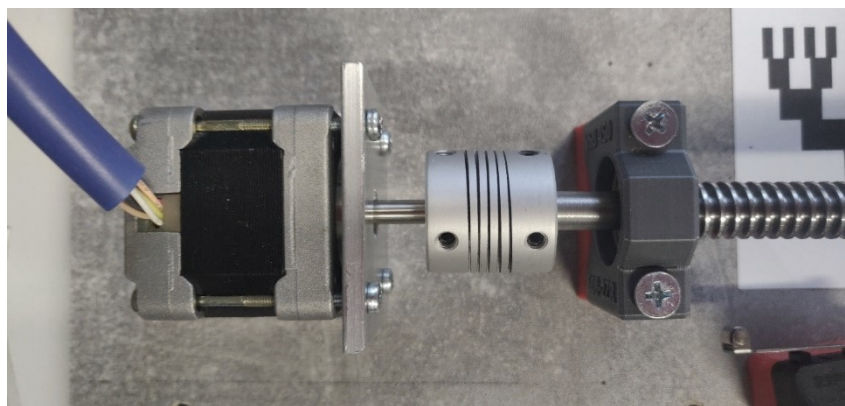
na které bude zavěšen senzor s optočleny. Jinými slovy krokový motor nemusí vyvíjet vysoký kroutící moment a nebude tak přetěžován.

Pro lineární vedení byla zvolena trapézová tyč, jelikož z přechozích pokusů realizovat tuto úlohu vyplynulo, že kolejnicové vedení je náročnější na přesné usazení, tedy rovnoběžné usazení kolejnic. Trapézová tyč byla zvolena o průměru 12 mm a stoupáním 3 mm z důvodu dostupnosti trapézové matice a lineárního pojezdového domku pro tento typ vedení. Pomocná vodící tyč již mohla být zvolena s menším průměrem, ale opět vzhledem k dostupnosti uzavřeného lineárního setu k této tyči byl zvolen průměr 10 mm. Vodící tyč tak byla na originálním uchycení připevněna k podkladové desce. Pro uchycení trapézové tyče se vytvořila univerzální součástka nahrazující funkci chybějícího lineárního domku s kuličkovým ložiskem. Ta pak byla vytištěna na 3D tiskárně a bylo do ní vsazeno kuličkové ložisko pro uchycení na trapézovou tyč. Tyto dvě lineární vedení pak byla spojena mostnicí, univerzálně navrženou pro spojení dvou pojezdových lineárních domků. Mostnice slouží nejen pro zavěšení senzoru na bázi optočlenů, ale také jako odrazová plocha pro optické snímače vzdálenosti, připevněnými na konci lineárního vedení. Mostnice taktéž má na boku vertikální stěnu svěřenou směrem dolů a tato stěna slouží jako nájezdová plocha pro koncové spínače umístěné na obou koncích vedení. Lineární vedení je celkem dlouhé 375 mm. Ale skutečný rozsah pojezdu je limitován pozicí koncových spínačů.



Obr. 15: Instalované prvky na podkladovou desku

Pružná spojka je nezbytnou součástí, která spojuje hřídel krokového motoru a trapézovou tyč. Pružná spojka chrání krokový motor před mechanickými rázy přicházejících z opačného konce vedení a také v případě nepřesného usazení os hřídele krokového motoru a trapézové tyče, je schopna kompenzovat a přenášet kroutící moment bez velkého zatěžování krokového motoru.



Obr. 16: (zleva) Krokový motor, pružná spojka a trapézová tyč

Další součásti kromě mostnice, které bylo zapotřebí navrhnu a vytisknout speciálně pro tuto úlohu jsou držáky obou optických senzorů (Sharp a Balluff). Jelikož řídicí karta krokového motoru je velmi rozměrná, byla umístěna do speciálního držáku, do kterého se zasouvá, a nachází se pod základovou deskou celé úlohy.

Krokový motor byl umístěn na hliníkový vinkl ve tvaru L o rozměrech 50x50x4mm a tedy bylo zapotřebí zvednou všechny ostatní součásti taktéž do požadované výšky. To se dosáhlo vytištěním podložek požadované výšky, opět na 3D tiskárně. Jelikož nebylo potřeba speciálních nároků na použitý tištěný materiál, byl použit ABS plast.



Obr. 17: Uchycení optických senzorů Sharp (vlevo) a Balluff (vpravo)

3.1.2 Hardware

Použitý hardware:

Měřicí karta NI USB-6008

Řídicí karta krokového motoru Microcon CD20M

Převodník RS232 – USB

Optický snímač Sharp GP2Y0A41SK0F

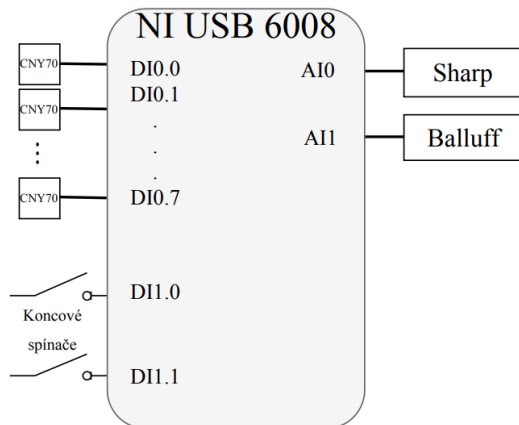
Optický snímač Balluff BOD 21M-LA02-S92

Realizovaný 8-bit optickým enkodérem

Krokový motor Microcon SX17-0502

Napětový zdroj 24V DC

Napětový zdroj 5V DC



Obr. 18: Schéma zapojení AI, DI měřicí karty

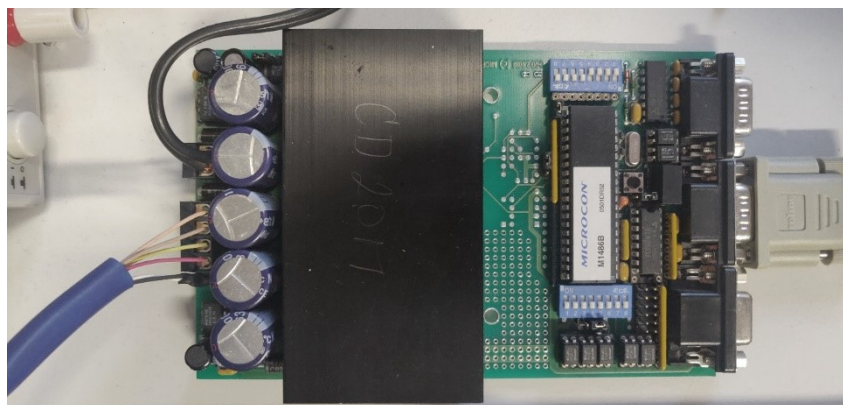
Pro snímání polohy optického enkodéru byly využity digitální vstupy měřicí karty USB-6008, DI0.0 až DI0.7. Na DI1.0 a DI1.1 jsou připojeny koncové spínače. Analogové snímače Sharp a Balluff pak připojeny na analogové vstupy karty AI0+ a AI1+.

Měřicí karta NI UBS-6008 má své vlastní hardwarové časování digitálních vstupů, proto tedy je potřeba ošetřit rychlost čtení, jelikož nepotřebujeme čist stav digitálních vstupů maximální vzorkovací frekvencí 1 kS/s, časovými funkcemi v LabVIEW, jako je například funkce WAIT. Pro čtení stavů koncových spínačů stačí jejich hodnotu zjišťovat desetkrát za vteřinu, nastavíme tedy konstantu funkce WAIT na 100 (tedy 100 ms). Je třeba ovšem počítat s tím, že samotné vykonání smyčky zjišťující stav koncových snímačů také trvá nějakou dobu je třeba si tedy ověřit, zdali doba opakování smyčky netrvá více jak 10 % časové konstanty WAIT. To ověříme tak, že do smyčky přivedeme z vnější jeden časovač a vyvedeme ho ze smyčky kde se od něj odečte hodnota druhého časovače, avšak tento časovač je uvnitř smyčky.

Krokový motor Microcon SX17-0502 má rozlišení jednoho kroku na $1,8^\circ$. K celému otočení okolo své osy potřebuje 200 kroků. Jelikož se ale ovládá po mikrokrocích, kdy základní nastavení je 64 mikrokroků na krok, tak řídicí karta krokového motoru potřebuje zaslat údaj o tom, že má udělat 12 800 mikrokroků.

K tomuto údaji je potřebné znát stoupání trapézové tyče, což činí 3 mm/ot.

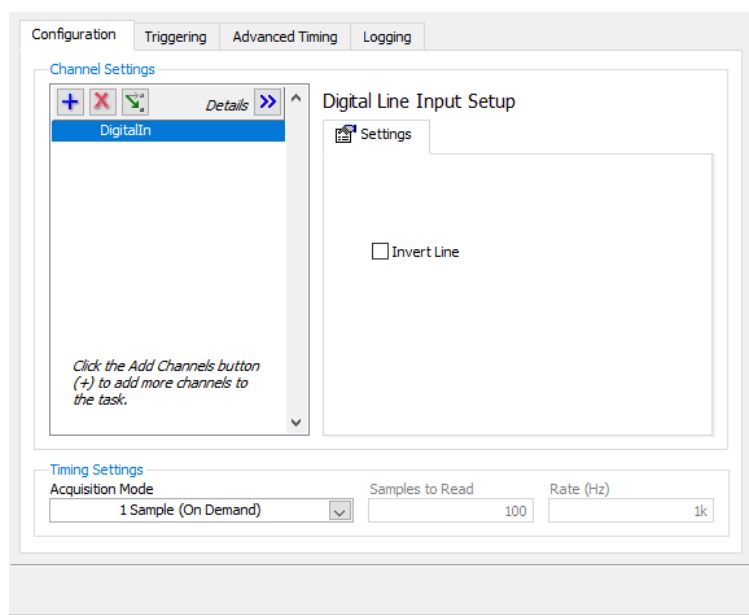
Řídicí karta krokového motoru **Microcon CD20M** je osazena čipem s vlastní pamětí, který ze sériové linky čte příkazy podobné G-kódu. Společnost Microcon vybavila tento čip knihovnou příkazů, které může uživatel najít manuálu. Tento čip dokáže také vykonávat off-line příkazy, jelikož dokáže zpracovávat krátké kódy definované uživatelem. Nejpodstatnější informací však je, že je třeba posílat příkazy v 0,5 vteřinových intervalech, jelikož jeho paměť EEPROM nedokáže rychleji zapisovat příchozí data. Proto kdekoliv v kódu bude konstanta 500 u smyčky WAIT je to právě z tohoto důvodu.



Obr. 19: Řídící karta krokového motoru

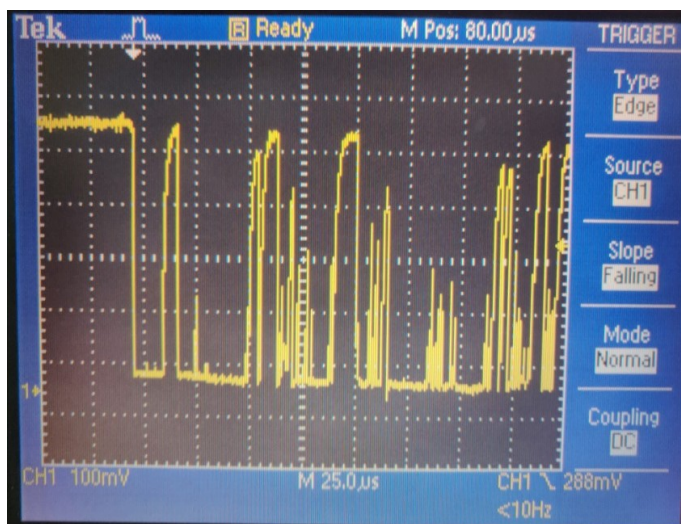
3.2.1 Koncové spínače

Koncové spínače jsou klasické jazýčkové spínače s nájezdným ramenem a válečkem na konci. Z důvodu omezených vstupů, měřicí karty USB-6008, byly kontakty koncových spínačů připojeny k digitálnímu vstupu karty (5V/GND). Ke snímání polohy koncových snímačů nebylo zapotřebí připojovat Pull-Up rezistor, jelikož samotná karta již obsahuje 4,7 k Ω Pull-Up rezistor. Samotná karta USB-6008 umožňuje pouze jeden režim snímání a to Samples (On Demand) v uzamčeném režimu snímání 1 kHz.



Obr. 20: Měřicí mód karty USB-6008 pro digitální vstup

Proto bylo zapotřebí na osciloskopu a dále v aplikaci LabVIEW ověřit, zdali nedochází při spínání koncových snímačů k jejich kmitání, a tedy nechtěným impulzům navíc.



Obr. 21: Průběh sepnutí koncových snímačů

Toto chování mělo za následek, že karta dokázala zaznamenat několik desítek impulsů, což je pro další použití zcela nevyhovující. Běžně se používají RC články k zamezení těmito dějům. Jako nejvhodnější se jevíly kondenzátory s kapacitou kolem jednotek μF neboť pak časová konstanta průběhu nabití kondenzátoru pohybovala v jednotkách ms což odpovídá maximální citlivosti karty 1 kHz.

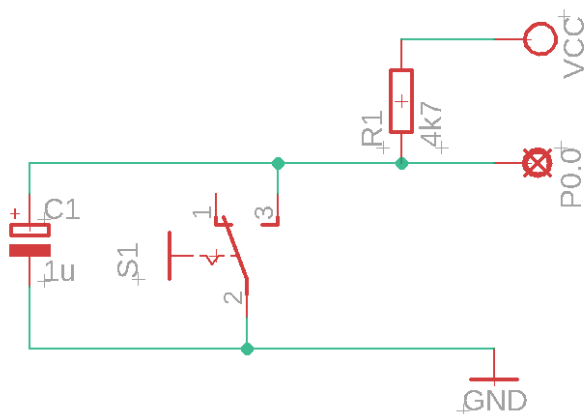
Nejlepší průběh byl dosažen při použití 1 μF kondenzátoru viz vzorec (3.1).

$$\tau = R \cdot C = 4700 \cdot 10^{-6} = 4,7 \text{ ms [s; } \Omega, \text{F]} \quad (3.1)$$

τ = časová konstanta [s]

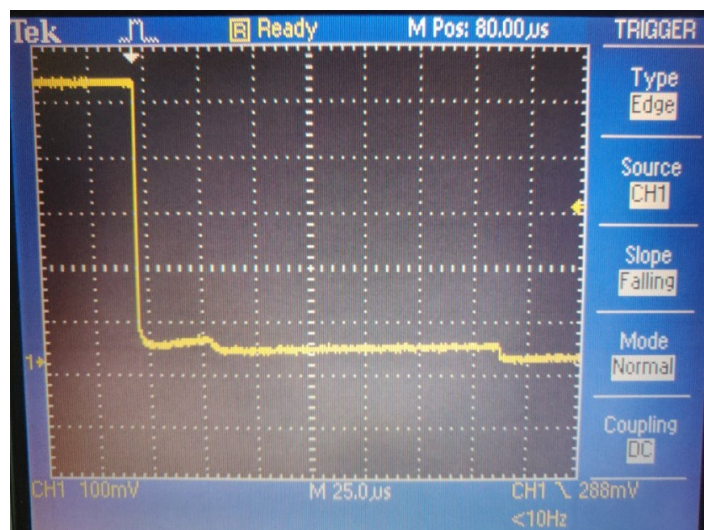
R = elektrický odpor [Ω]

C = elektrická kapacita [F]



Obr. 22: Schéma zapojení koncového snímače

Po zapojení kondenzátoru do obvodu je průběh vyhlazený a nedochází k výkyvům napětí v takové míře, že by ho karta vyhodnotila jako změnu logické hodnoty. Jelikož je měřicí karta kompatibilní s logickými úrovněmi TTL tak log. 0 vyhodnocuje do 0,8 V a log. 1 od 2,0 V.



Obr. 23: Průběh sepnutí koncového spínače se zapojeným kondenzátorem

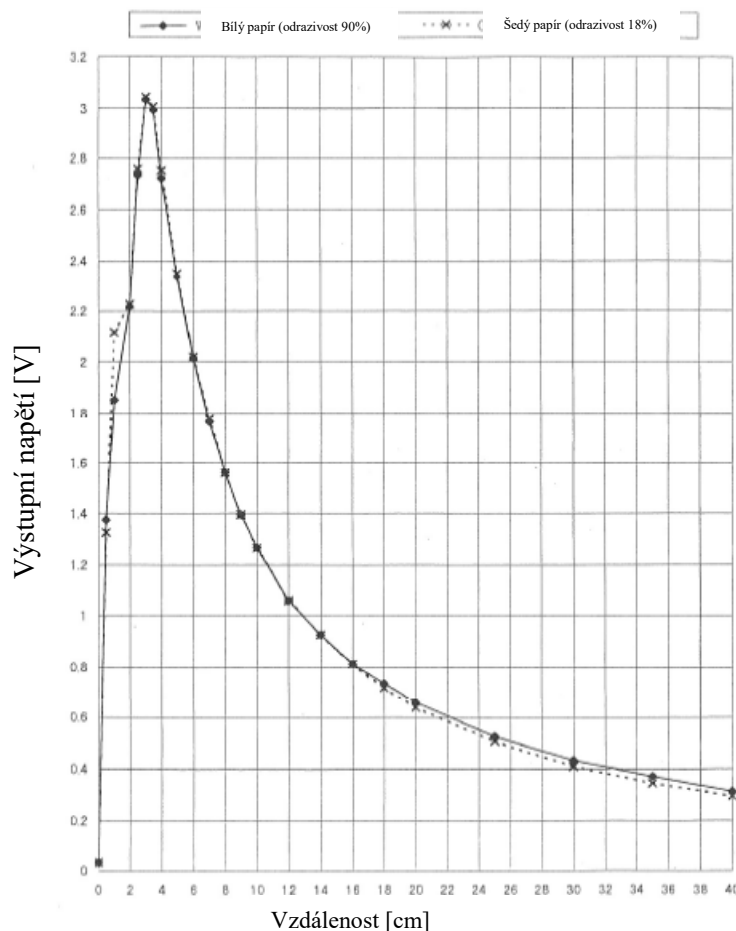
Koncové spínače jsou zapojené tak, že v nesepnutém stavu je na výstupu logická 0. Tedy koncový spínač ve svém vnitřním zapojení „zkratuje“ digitální vstup karty (nesouvisí s obrázkem č.17). Jelikož má karta na svém vstupu permanentně zapojený pull-up, je v případě, že na vstupu není připojeno nic na vstupu vyhodnocena log. 1. Tedy aby VI aplikace byla schopna vyhodnotit poruchový stav, tedy stav, kdy by došlo k přerušení například drátu vedoucím na vstup koncového spínače, tedy jinými slovy rozpojení el. obvodu. Je zapojen koncový spínač v opačném logickém stavu.

3.2.2 Optické senzory Sharp a Balluff

Tyto senzory převádějí vzdálenost na spojitý signál na jejich výstupu

Sharp GP2Y0A41SK0F

Jedná se o triangulační optický senzor vzdálenosti, využívá tedy stále stejného odrazového úhlu od měřeného předmětu. Pokud měřený objekt změni svoji vzdálenost změni se i poloha dopadajícího paprsku, který se odráží od měřeného objektu. Tato změna je zaznamenána fotocitlivou vrstvou v přijímací části senzoru a na výstupu se změni hodnota napětí.



Obr. 24: Křivka závislosti vzdálenosti na výstupním napětí

Výstupní křivka není lineární. Za účelem běžného používání je potřeba tuto křivku linearizovat. Výrobce dodává aproximační polynom (3.2), po jehož aplikování je napětí převedeno na jednotku vzdálenost (cm v tomto případě).

$$l = 2,7735 \cdot U^4 - 22,6492 \cdot U^3 + 69,0593 \cdot U^2 - 97,8179 \cdot U + 63,1339 \text{ [cm]} \quad (3.2)$$

Výrobce doporučuje připojit paralelně k napájení a zemi, co nejbližší vstupu senzoru minimálně 10 μF . To by mělo minimalizovat rušení na napájecí vedení a tím i na výstupu ze senzoru.

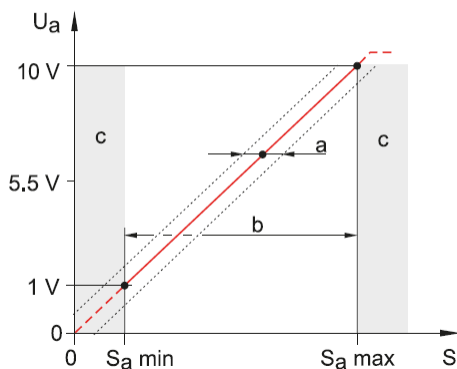
Senzor pracuje v rozmezí 4 až 20 cm. Pod vzdáleností menší než 4 cm dochází k chybě, tedy špatnému vyhodnocení vzdálenosti, a to nehledě na aplikování aproximačního polynomu.

Proto je tato úloha řešena, že koncovými snímači lze nastavit dojezdy lineárního posunu.

Sharp GP2Y0A41SK0F

Tento průmyslový senzor má lineární výstupní charakteristiku, je třeba výstupní hodnotu pouze vynásobit vhodným koeficientem, dle požadovaných jednotek na výstupu.

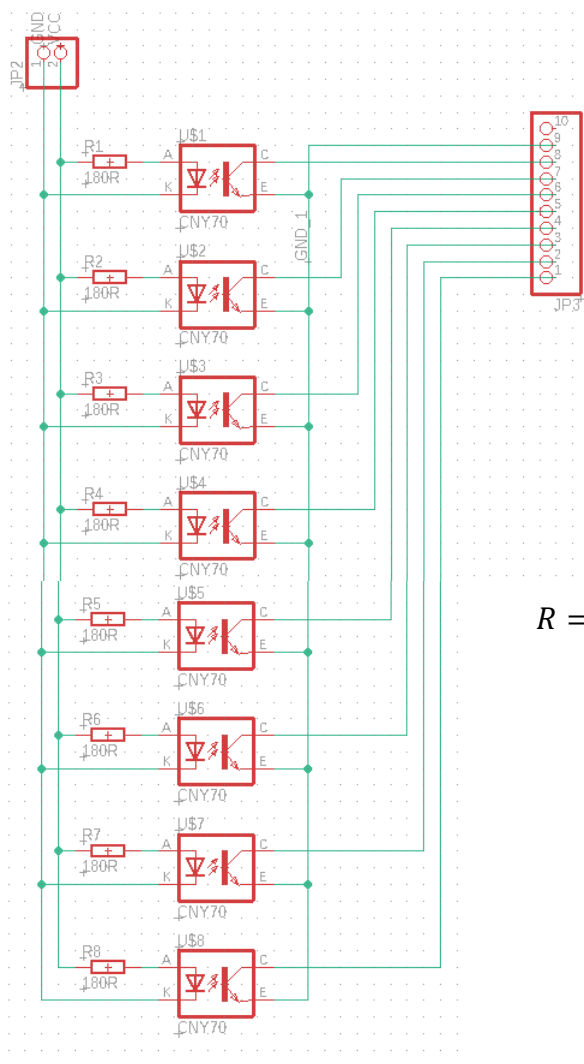
BOS 21M-LA...



Obr. 25: Výstupní charakteristika napětí na vzdálenosti

3.2.3 Návrh a realizace optického 8-bitového enkodéru

Návrh vychází z optočlenů. Prvků, které se skládají z infračervené diody (zdroj záření), a fototranzistoru, který na základě odražené intenzity záření otvírá nebo přivírá tok elektrického proudu touto součástkou. Jako optočlen byla zvolena součástka CNY-70. Návrh probíhal v prostředí Eagle.



1) Dimenzování vstupních odporů

Z datasheetu výrobce vyplývá, že infračervené diody potřebují napájení 1,25 V a proud 20 mA. Jako zdroj napájení jsem zvolil 5V zdroj. Toto napětí přivedu paralelně na všech 8 infračervených diod s vhodně zvoleným předřadným odporem. Podle vzorce (3.3) vypočítám vhodný předřadný odpor.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_{cc} - U_{LED}}{I} = \frac{5 - 1,25}{0,02} = 187,5 \left[\Omega; \frac{V}{A} \right]$$

(3.3)

Obr. 26: El. schéma zapojení součástek

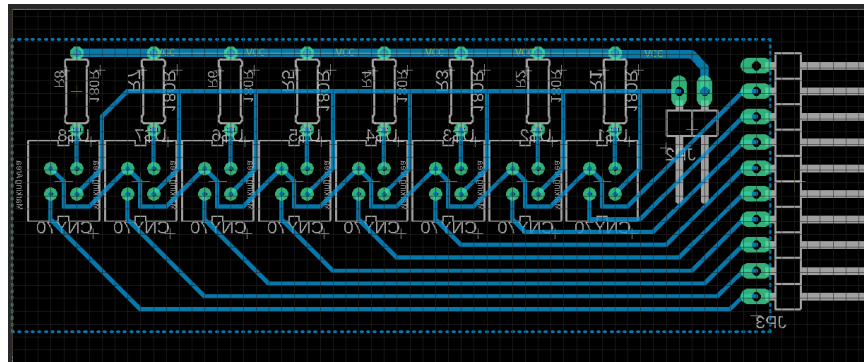
Jelikož se rezistory vyrábějí v normovaných řadách, vyberu tedy nejbližší hodnotu. Předřadný odpor bude činit 180 Ω.

2) Dimenzování výkonových ztrát na odporech

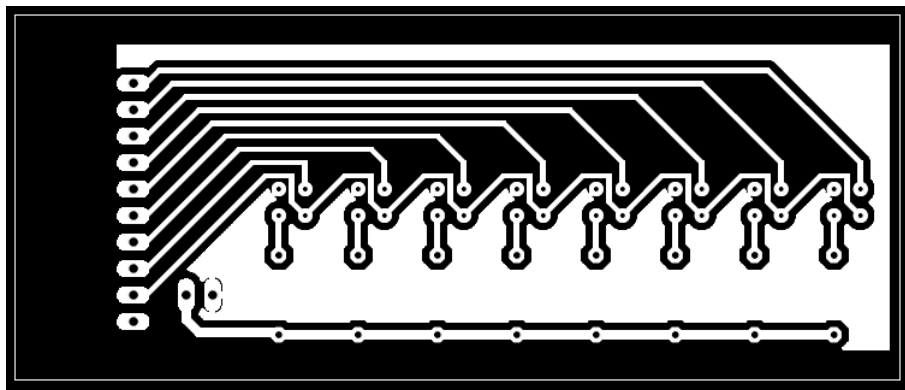
Vypočítáním výkonu podle vzorce (3.5) dojdeme k závěru, že 0,6 W řada odporů bude stačit. Je třeba však nejprve znovu vypočítat proud, který bude procházet obvodem podle rovnice (3.4)

$$I = \frac{U_{LED}}{R} = \frac{3,75}{180} = 0,0208 \text{ [A; } \frac{V}{R}] \quad (3.4)$$

$$W = U_{LED} \cdot I = 3,75 \cdot 0,0208 = 0,078 \text{ [W; V} \cdot \text{A}] \quad (3.5)$$

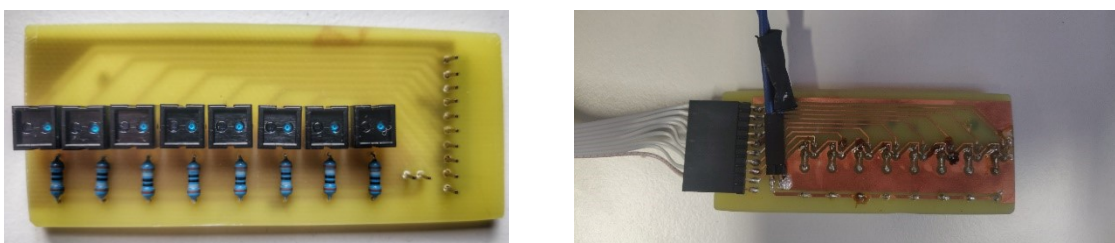


Obr. 27: Rozložení součástek na desce



Obr. 28: Maska pro výrobu desky plošných spojů

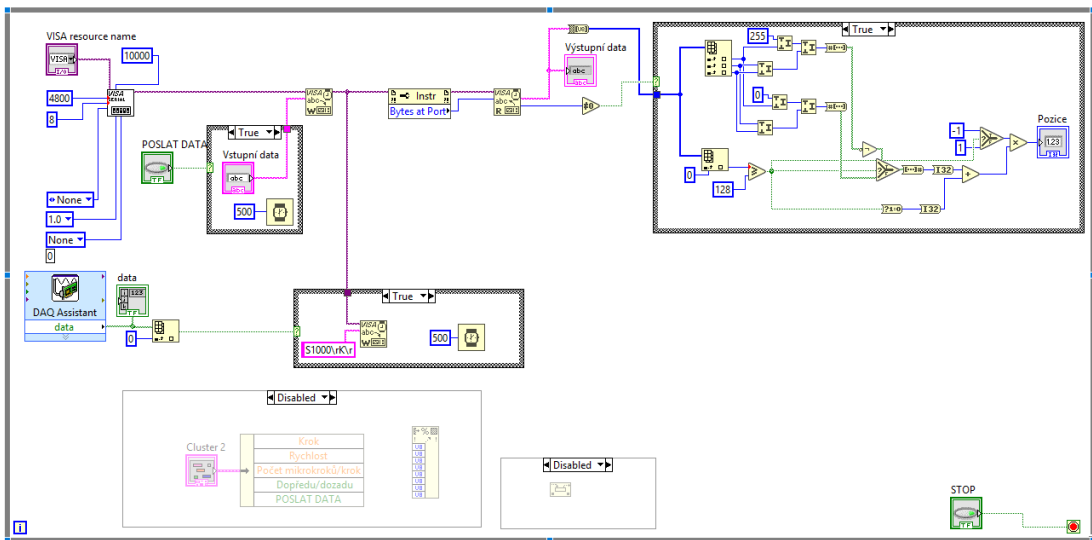
Deska má rozměry 85x35 mm. A je pro ni vyroben speciální závěsný držák, jelikož je zapotřebí zajistit mezeru kódového pravítka a optočtenů, dle výrobcem stanovené vzdálenosti do 1 mm.



Obr. 29: Odleptaná a osazená deska plošných spojů

3.3.1 LabVIEW aplikace

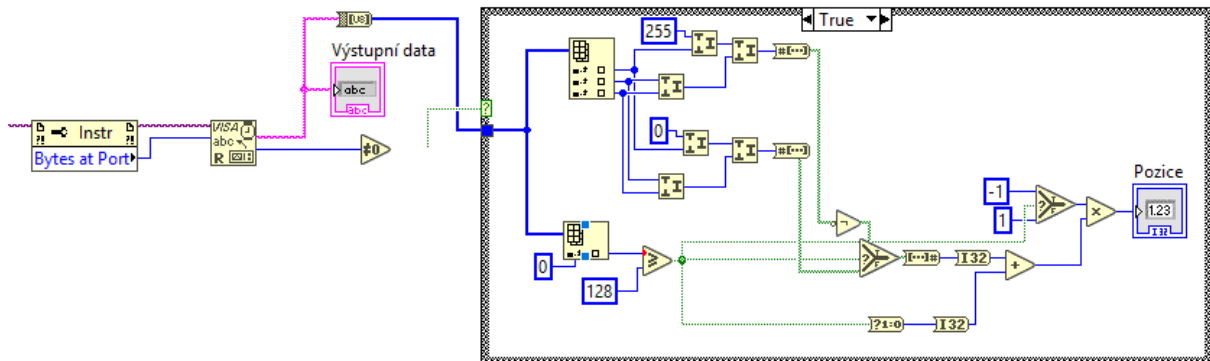
Pro účel seznámení se s fungováním příkazů pro ovládání řídicí karty krokového motoru jsem vytvořil toto VI:



Obr. 30: Jednoduché VI pro ovládání krokového motoru

Pomocí DAQ Asistenta se snímá logická hodnota koncového snímače. DAQ Asistent zasílá data v poli, proto je třeba oddělit pouze první hodnotu pro správnou indikaci stavu. Tato boolean hodnota aktivuje CASE strukturu, která se stará o to, aby v případě, že krokový motor zajede do koncové polohy, co nejrychleji zastavil. To je docíleno posláním příkazu S1000\rK\r.

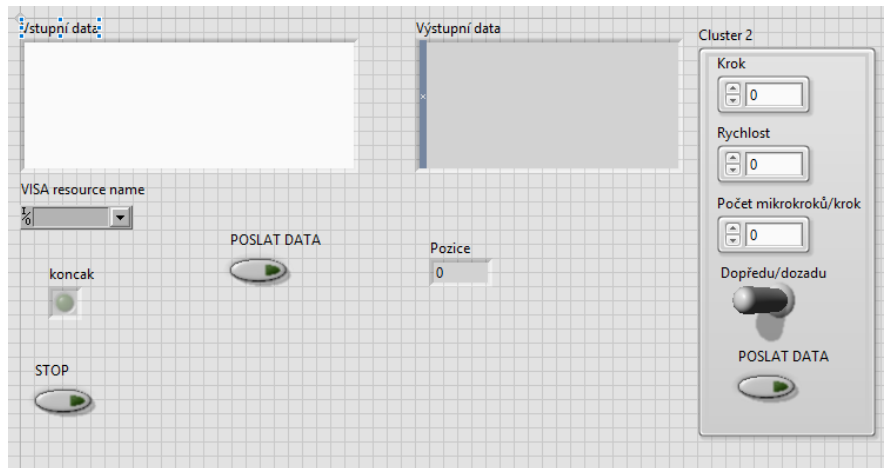
Dalším krokem je implementace odpovědi řídicí karty, krokového motoru, která má čítací registr o velikosti 3 B, na příkazy pro jeho vyčtení, a tedy další možnosti zjištění polohy.



Obr. 31: Čtení registrů karty a jejich následné formátování

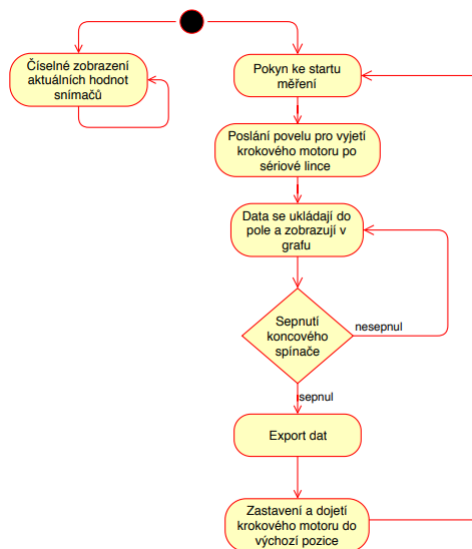
Karta posílá data v tak zvaném dvojkovém doplňku, tedy rozlišuje kladnou a zápornou pozici od počáteční polohy. Následná CASE struktura, která získává data po jednotlivých bajtech pak má za úkol správné převedení na signed int. To se provádí tak, že se doplní chybějící bajt do 3 bajtové informace, tedy hodnota 0, aby se pak následně složilo číslo 32 bitové, se kterým je snazší pracovat v LabVIEW. V případě, že je číslo záporné je první poslaná bajtová hodnota rovna nebo vyšší hodnotě 128. V případě, že bylo posláno záporné číslo je zapotřebí doplnit první bajt naopak hodnotou 255. Následně se hodnoty znegují v binární logice a je přičtena hodnota logická 1. Nyní je možné hodnotu převést na I32 tedy signed integer, a vynásobit hodnotou -1. Je-li vyčtená hodnota z registru řídicí karty kladná je tento proces ignorován a převeden na I32.

Na čelním panelu má uživatel prozatím k dispozici okno pro zadání příkazu pro řídicí kartu. Zde musí příkazy vypisovat ručně.



Obr. 32: Čelní panel VI

Výslednou podobu stavového diagramu funkčnosti VI aplikace naleznete na Obr. 33.

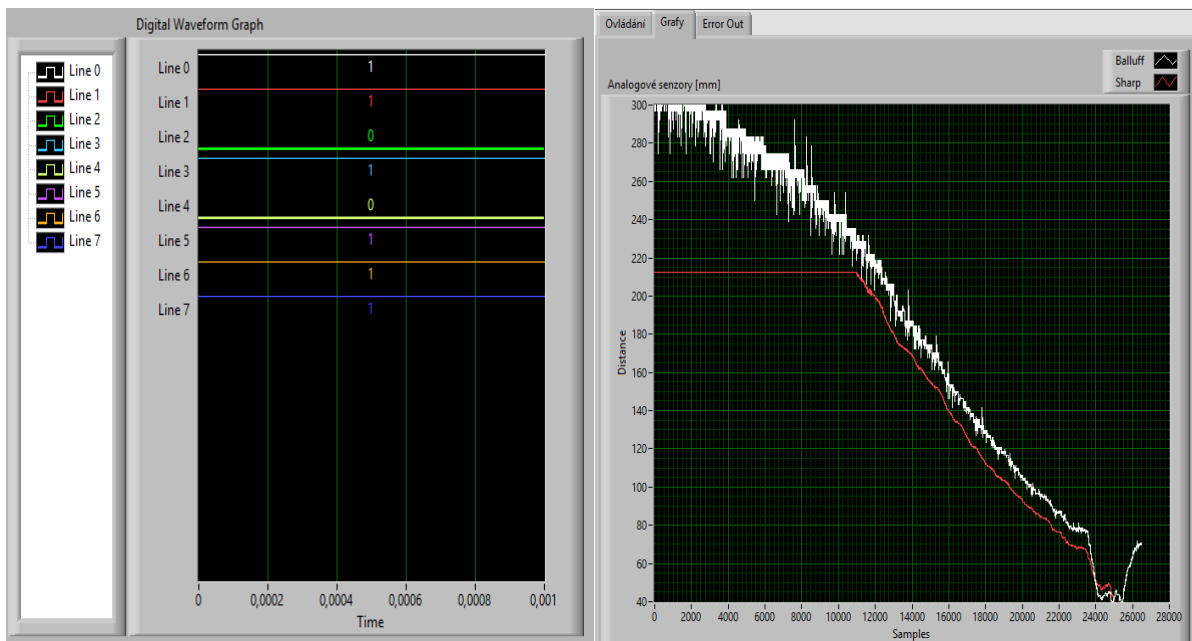


Obr. 33: Stavový diagram VI

Požadovaným výsledkem je automatizovaná aplikace, kdy uživatel pouze zmáčkne tlačítko start a aplikace sama obslouží pojezd lineárního vedení. Na konci se uživateli uloží změřená data do textového souboru ve vhodném formátování, tak aby uživatel mohl data jednoduše exportovat do tabulkových programů.

Grafy

Grafy byly rozděleny na analogové a digitální, pro přesnější a názornější grafické zobrazení.

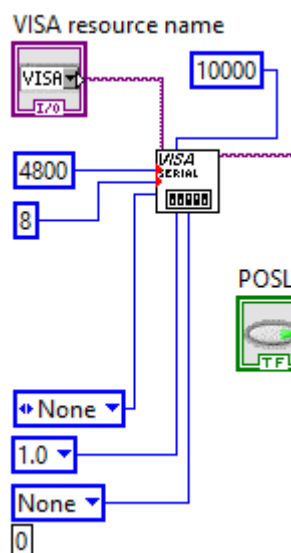


Obr. 34: Digitální reprezentace dat (vlevo)

Obr. 35: Průběh analogových snímačů za jeden běh lineárního vedení (vpravo)

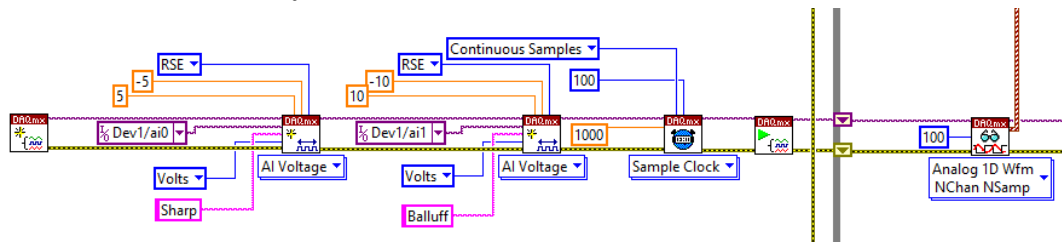
3.3.2 Sériová komunikace

Pro úspěšné zprovoznění sériové komunikace v LabVIEW je zapotřebí doinstalovat VISA NI driver.



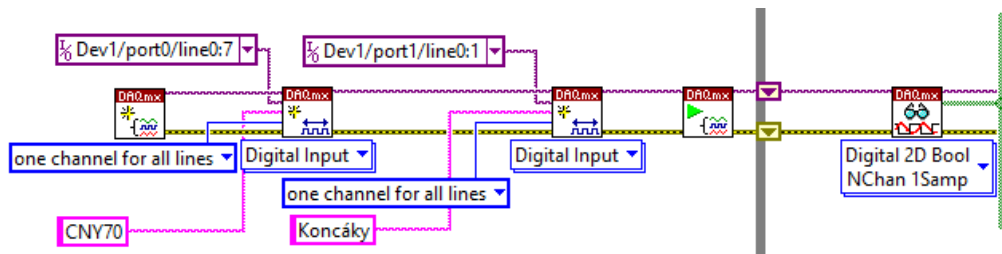
Obr. 36: Nastavení komunikace s řídicí kartou

3.3.3 Sběr měřených dat



Obr. 37: Konfigurace analogového kanálu

Na Obr. 37 je konfigurace analogového kanálu měřicí karty. Pro porovnání na Obr. 38 konfigurace digitálního kanálu měřicí karty. Jak je jistě patrné, měřicí karta si u digitálních vstupů nastavuje hardwarové časování, tedy uživatel neovlivní rychlost čtení dat. Zato u analogového kanálu se musí stanovit jak frekvenci, tak počet vyčítaných vzorků za vteřinu a tím se defacto stanoví rychlost smyčky vyčítající analogová data.



Obr. 38: Konfigurace digitálního kanálu

Pro přenos změřených dat do dalšího oběhu smyčky se používá Shift registr, který je v tomto případě ovládán logickými stavy koncových spínačů.

Pro výčet hodnoty čítače krokového motoru bylo zapotřebí upravit algoritmus pro jejich získávání, jelikož zde původně nebyl zahrnut fakt, že paměť řídicí karty potřebuje mezi jednotlivými příkazy 0,5 sekundové zpoždění. Nyní jsou příkazy posílány po jednom, místo v celku, za sebou a s každým třetím prvkem, který je vyčten po sériové lince a zapsán do shift registru, se vyčtou poslední tři uložené hodnoty a z těchto hodnot je poskládána hodnota čítače, viz Obr. 31.

4. Závěr

Cílem bakalářské práce byla navrhnout a zrealizovat měřicí stanoviště pro studenty druhého ročníku studujících předmět Signály a Měření.

Úloha jako taková poskytuje příležitost seznámit se se senzory polohy a vzdálenosti. Jelikož ve výsledku byly požadavky na automatizaci měření, studenti nebudou muset ovládat krokový motor manuálně přes sériové rozhraní, ale budou se pouze zabývat výsledky měření.

Po mechanické stránce úloha nepotřebuje žádné další prvky pro efektivnější chod. Ba naopak na základové desce se nachází dostatek místa pro rozšíření o další senzory. Lineární závitová tyč je na konci obrobena do hladké hřídele a přechází, takže je zde místo například na rotační enkodér. Jelikož je mostnice navržena pro 3D tisk lze ji upravit pro libovolné účely a tím na ni připevnit další senzory.

Při realizaci optického digitálního snímače absolutního kódu jsem narazil na několik problémů. První je fakt, že při hromadné výrobě jedné součástky (v tomto případě CNY-70) ve výsledku nemusí být vůbec shodné jejich elektrické vlastnosti. Při testování jsem zjistil, že přestože jsou fototranzistory namířeny vůči stejnému bodu na jednobarevném povrchu, je jejich kolektor různě otevřený, a to někdy i v rozdílu víc jak 1V. Další problémem bylo zvolení připojení těchto optočlenů na digitální vstup měřicí karty. Karta totiž je kompatibilní s TTL i CMOS hradly, a tak je zakázané pásmo jednak velmi malé, ale také rozlišovací hodnota log. 1 je příliš nízká pro tento typ snímače. A to mně přivádí k dalšímu problému. Schopnost rozlišení, respektive šířka nejmenšího bit (LSB) na kódovém pravítku. Optočlen, respektive fototranzistor je hodně závislý na odrazivosti světelného toku infračervené diody. V kombinaci s nízkou rozlišovací úrovní log. 1 se stává, že log. 0 je rozpoznána, pokud je optočlen celou svojí plochou nad bílou částí papíru. Jakmile dojde k překrytí přibližně 15% bílé plochy plochou černou, měřicí karta už vyhodnocuje tento stav jako log. 1. Z toho vyplývá, že pokud je zapotřebí rozlišovací schopnost menší, než je přibližně 3/2 délky plochy optočlenu, je tento senzor naprosto nepoužitelný. Jediným řešením je tyto stavy vyhodnocovat přes analogové vstup, což ale zabere větší náročnost na kalibraci.

Co se týče srovnání běžně dostupného senzoru vzdálenosti s průmyslovým senzorem, může si čtenář udělat sám porovnání na Obr. 35. Přidáním kondenzátoru paralelně k napájení se nepodařilo odstranit šum, a při změnách polohy dochází k velkým výkyvům hodnot. Průmyslový snímač má sice větší nároky na energii, ale zato jeho hodnota neplave ani na posledním LSB bitu. Další jeho výhodou je v tom, že má lineární výstup a při dosažení mezních hodnot buď nemá na výstupu žádné napětí nebo se zarazí na horní hranici a dál již nepokračuje.

Srovnání binárního kódu a Grayova kódu bohužel nelze provést s dosavadním senzorem postaveným na principu optočlenů. Lze jediné upozornit na fakt, že Grayův kód díky své stavbě má LSB bity 2x větší než binární kód, jelikož ke střídání logických hladin LSB u Grayova kódu dochází s každou druhou kombinací.

Seznam použité literatury

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 978-1934891087.
- [3] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabVIEW: advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, c2007. ISBN 978-0-8493-3325-5.
- [4] DUBEC, Miroslav a Jaromír SKOTNICA. *Senzory a měření* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/648374/mod_resource/content/1/9_SaM.pdf
- [5] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005dotisk. ISBN 80-01-03123-3.
- [6] Vzdálenost. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vzd%C3%A1lenost>
- [7] DVOUTRUBKOVÉ LINEÁRNÍ JEDNOTKY. In: *Mnsystems* [online]. [cit. 2019-04-2]. Dostupné z: <https://www.mnsystems.cz/trubkove-linearni-jednotky/dvoutrubkove-linearni-jednotky>
- [8] *Krokový motor: princip* [online]. [cit. 2019-04-4]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-krokovy-motor-princip/>

Přílohy

Příloha A:	2019_HUD0103_BP_přílohaA.zip
Obsah:	mostnice.pdf Drzak_DPS.pdf Drzak_ridici_karty.pdf Podkladova_deska_HUD0103.pdf Vinkl50x50x5_HUD0103-1.pdf deska8_CNY70.sch deska8_CNY70.brd main_VI.zip

Všechny přílohy se nacházejí v elektronické podobě na IS EDISON