

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Možnosti snímání a zobrazování úhlu natočení anténiho
rotátoru**

**vedoucí práce: Ing. Tomáš Kavalír
autor: David Kratina**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David KRATINA**
Osobní číslo: **E11B0431P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Možnosti snímání a zobrazování úhlu natočení anténního rotátoru**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce se zabývá možnostmi snímání a zobrazování polohy (úhlu natočení) anténního rotátoru v rozsahu 0 - 360°. Součástí práce je i praktická realizace systému snímání a zobrazování.

1. Seznamte se s možnostmi snímání úhlů natočení v horizontální poloze a možnostmi zobrazení.
2. Vyberte vhodné metody, proveďte návrh snímače a podpůrných obvodů.
3. Sestavte prototyp snímače a zobrazovací jednotky pro rotátor.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky, parametry zařízení a diskutujte možné nepřesnosti a rušivé vlivy.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kavalír**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kavalír**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na možnosti snímání horizontálních úhlů natočení a následného zobrazení. Nejprve je popsáno několik typů snímačů, jako jsou odporové, induktivní, kapacitní, optické a magnetické snímače polohy. Poté se práce zabývá popisem možností zobrazení. Jako první je čtenáři přiblížen selsyn, pak LCD zobrazovač, poté LED zobrazovač a nakonec Rotator manager pro PC. V poslední části je popsáno čidlo AS5043.

Klíčová slova

Odporový snímač polohy, Selsyn, Kapacitní snímač polohy, Optický snímač polohy, Magnetický snímač, Rotátor, Magnet, AS5043, LCD displej, LED zobrazovač, Rotator manager, SSI, bezdotykové snímání polohy

Abstract

The master theses presents the possibility of horizontal scan angle and subsequent display. First, it describes several types sensors such as resistive, inductive, capacitive, optical and magnetic train position sensor. After a description of the work deals with representation of the possibilities. The first reader is approached synchros, then LCD, LED displays, and then finally Rotator manager for PCs. The last section describes the sensor AS5043.

Key words

Resistive position sensor, Synchro, Capacitive position sensor, Optical position sensor, Magnetic sensor, Rotator, Magnet, AS5043, Liquid crystal display (LCD), LED display device, Rotator manager, SSI, proximity sensing

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 30/5/2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Tomášovi Kavalírovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

OBSAH

1 SNÍMAČE POLOHY ROTÁTORU.....	11
1.1 ODPOROVÉ SNÍMAČE POLOHY.....	11
1.1.1 Výhylková metoda měření.....	12
1.1.2 Místková metoda měření.....	13
1.2 SELSYN.....	14
1.3 KAPACITNÍ SNÍMAČE POLOHY.....	14
1.4 OPTICKÉ SNÍMAČE POLOHY.....	15
1.4.1 Inkrementální rotační snímač.....	15
1.4.2 Inkrementální rotační snímač typu SIN/COS.....	16
1.4.3 Absolutní snímač polohy.....	21
1.5 MAGNETICKÝ SNÍMAČ ÚHLU NATOČENÍ ROTÁTORU.....	22
2 MOŽNOSTI ZOBRAZENÍ.....	23
2.1 SELSYN.....	23
2.2 LCD DISPLEJ.....	23
2.3 LED ZOBRAZOVAČE.....	24
2.4 PC ZPRACOVÁNÍ.....	25
3 NÁVRH A KONSTRUKCE SNÍMAČE A ZOBRAZOVAČE PRO ROTÁTOR.....	27
3.1 POPIS ČIDLA.....	27
3.2 KONSTRUKCE ČIDLA.....	30
3.3 ZOBRAZOVAČ.....	32

ÚVOD

Předkládaná práce je zaměřena na snímače a zobrazovací jednotky pro rotátor. V dnešní době pokročilého rozvoje elektroniky do téměř všech strojů a zařízení je třeba jít s dobou. Při propojení pohyblivých částí s elektronikou je ve velké většině potřeba snímat pohyb těchto částí, ať už z informativního hlediska, tak i z hlediska řízení, jako zpětná vazba.

Pohyby lze dělit na posuvný a na rotační. Tyto pohyby lze mezi sebou převádět. Snímací čidla těchto pohybů pracují na podobném principu. Převádějí informaci o pohybu do zpracovatelnější veličiny. Ve většině případů je to elektrické napětí (respektive proud). Tato informace je zpracována příslušnými obvody, které tuto informaci jen vyobrazí tak, aby byla srozumitelná pro člověka nebo po vyhodnocení upraví řízení.

SEZNAM SYMBOLŮ

I	[A]	Proud
U	[V]	Napětí
R	[Ω]	Odpor
U_n	[V]	Napájecí napětí
R_{SN}	[Ω]	Snímaný odpor
z	[-]	Činitel zatížení
U_n	[V]	Napětí na fázi
φ	[$^\circ$]	Fázový posuv
C	[F]	Kapacita
S	[m]	Plocha elektrod kondenzátoru
d	[m]	Vzdálenost elektrod kondenzátoru
C_{SN}	[F]	Měřená kapacita
$RS-485$		Datová sběrnice
EMC		Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost)

1 Snímače polohy rotátoru

Snímač je technické zařízení pro specializovaný sběr informací pro řídicí systém. Měřenou veličinu převádí na signál, jenž lze přenášet a dále zpracovávat v měřicích a řídicích systémech.

Snímání polohy rotátoru umožňuje několik typů snímačů. Dělí se podle druhu snímané veličiny, podle dotyku s prostředím, stupně integrace. Hlavními vlastnostmi jsou práh citlivosti, citlivost, dynamický rozsah, reprodukovatelnost a chyby (aditivní, multiplikační).

Důležitým faktorem u snímačů je elektromagnetická kompatibilita EMC. Je to schopnost zařízení správně pracovat v prostředí, ve kterém působí jiné zdroje elektromagnetických signálů. Zároveň je však důležité, aby svou vlastní elektromagnetickou činností neovlivňovala své okolí. To znamená, že nesmí produkovat signály, které by moc rušily jiná zařízení. EMC je důležitá i při komunikaci čidla se zobrazovačem a je třeba použít stíněný vodič.

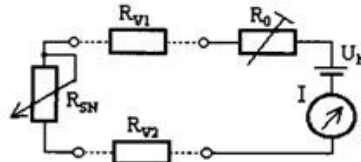
1.1 Odporové snímače polohy

Základem těchto snímačů jsou potenciometry. Běžec je mechanicky spojen hřídelí rotátoru. Běžec těchto potenciometrů se posouvá po odporové dráze a tím se mění měřený odpor.

Odporové potenciometry mají několik vlastností, jako je třída přesnosti (rozlišovací schopnost), která uvádí spolehlivě rozlišitelný přírůstek odporu potenciometru. Další vlastností je linearita, je to největší odchylka výstupního napětí od vztažné přímky. Uvádí se v procentech, u uhlíkových 2% a u drátových 0,05% až 0,1%. Neméně důležitou vlastností je životnost potenciometru, která uvádí počet přeběhů odporové dráhy potenciometru při provozních podmínkách ($10^6 - 10^7$). U drátových potenciometrů se uvádí i teplotní koeficient odporu, je dán největší poměrnou změnou odporu při změně teploty o 1°C. Negativní vlastností je termický šum. Další negativní vlastností je změna přechodového odporu při pohybu jezdce. Vzniká při působení vlhkosti, nebo nečistot na odporové dráze.

Potenciometry se dělí podle tvaru dráhy na lineární, logaritmické a exponenciální. Dále se dělí podle pohybu běžce na posuvné a rotační, ty se dále dělí na jednootáčkové a víceotáčkové. Podle materiálu použitého na odporovou dráhu lze dělit odporové snímače na kovové (drátové potenciometry) a nekovové (uhlíkové nebo vodivý plast).

Vyhodnocování se provádí pomocí napěťového děliče, který má dělicí poměr určený měrnou polohou. Pomocí vyhodnocovacích odporů se stanoví změna napětí (respektive proudu) výchylkami nebo nulovými metodami, viz obr. 1.



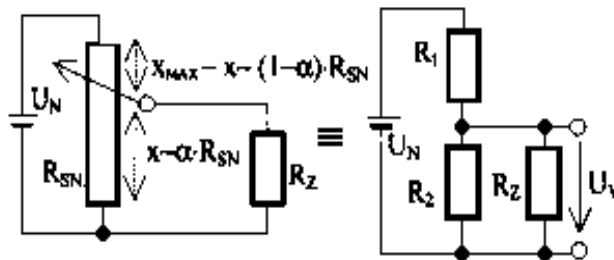
Obr. 1. Napěťový dělič pro měření napětí , převzato z [1]

1.1.1 Výchylová metoda měření

Výchylové metody používají přímé měření proudu změnou odporu. Jsou lineární, změna proudu závisí na změně R_{sn} a R_v a U_n . Nulu měřicího rozsahu nastavujeme pomocí R_0 .

$$I = \frac{U_N}{R_{SN} + 2R_V + R_0 + \Delta R_{SN}} \quad (1.1.1.1)$$

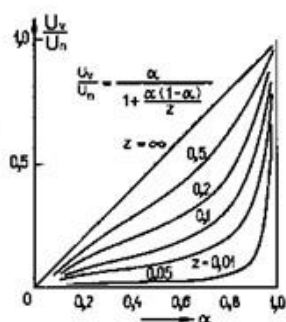
Při tomto měření se častěji využívá měření napětí pomocí potenciometrického zapojení odporového snímače, viz obr. 2.



Obr. 2. Potenciometrické zapojení odporového snímače , převzato z [1]

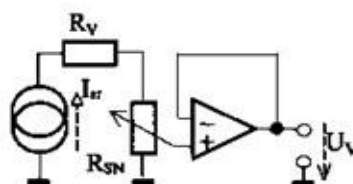
Je-li činitel zatížení z nekonečně velký, tak je přenos tohoto snímače lineární funkcí poměrné polohy jezdce. Čím je činitel zatížení menší, tím jsou větší chyby měření, viz obr. 3.

$$z = \frac{R_2}{R_{SN}} \quad (1.1.1.2)$$



Obr. 3. Závislost výstupního napětí na poloze jezdce a na zátěži, převzato z [1]

Výhodnější je použít napěťový sledovač, viz obr. 4.

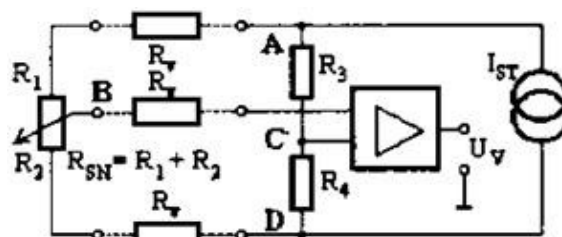


Obr. 4. Schéma použití napěťového sledovače, převzato z [1]

1.1.2 Můstková metoda měření

Výhodou tohoto měření je vyšší přesnost, protože změny teploty neovlivňují přesnost měření a odpor vedení R_v také neovlivní přesnost měření. Snímaný odpor R_{sn} se dělí na R_1 a R_2 , viz obr. 5.

$$R_{SN} = R_1 + R_2 \quad (1.1.2.1)$$



Obr. 5. Můstek pro měření odporu potenciometru, převzato z [1]

Vyvážení můstku vychází z rovnice

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow \Delta U_{BC} = 0 \quad (1.1.2.2)$$

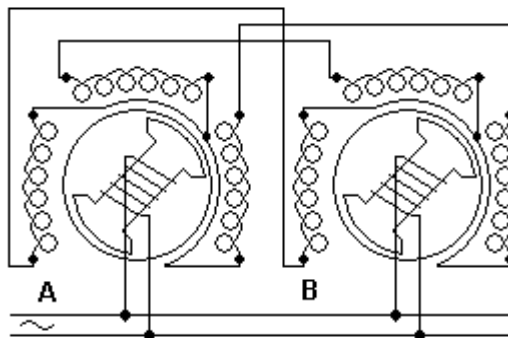
Při posunu jezdce dochází ke změně napětí ΔU_{BC}

$$\Delta U_{BC} = U_N \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (1.1.2.3)$$

1.2 Selsyn

Selsyn je zařízení, které přenáší otáčivý moment a úhel natočení. Pomocí selsynu lze synchronizovat různá zařízení. Selsyn se nejvíce využíval v první polovině dvacátého století, zvláště pak ve druhé světové válce, kde nacházel své uplatnění ve vojenské technice, především v letectví. Díky své jednoduchosti nachází i v dnešní době své uplatnění.

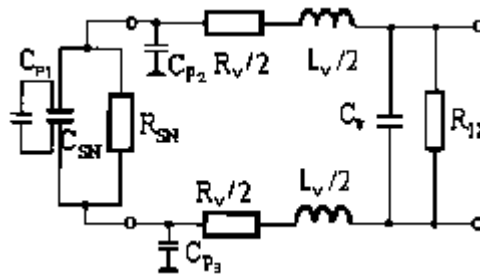
Jedná se o speciální využití synchronního třífázového motoru, na kterém je budící vinutí rotoru buzeno střídavým proudem. Proud, který prochází tímto vinutím, indukuje magnetické pole. Prostorová orientace pole závisí na natočení rotoru. Protože rotor je buzen střídavým proudem, je magnetické pole časově proměnné. Ve vinutích statoru se indukuje napětí, jeho velikost je závislá na natočení cívky rotoru k příslušné cívice statoru. Skalární součin vektorů procházejících osami daných cívek je přímo úměrná této závislosti. Na přijímací straně vzniká magnetické pole superpozicí magnetických polí vytvořených cívkami. Orientace tohoto pole je shodná s orientací pole vyvolaného rotorem, který je na vysílací straně. Rotor na přijímací straně se pootočí tak, aby byl ve shodné poloze s polohou vysílacího selsynu.



Obr. 6. Měření úhlu natočení, převzato ze [2]

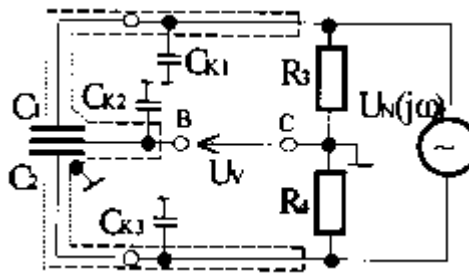
1.3 Kapacitní snímače polohy

Kapacitní snímače polohy pracují na principu laditelného kondenzátoru. Při změně natočení rotátoru se změní překrytí ploch kondenzátoru.



Obr. 7. Zapojení kapacitního snímače polohy, převzato ze [3]

Pro měření kapacitního snímače polohy se využívá můstková metoda. Pro výpočty je třeba použít náhradní schéma snímače, viz obr. 8.



Obr. 8. Náhradní schéma snímače, převzato ze [3]

Se vzrůstající plochou překrytí roste i výsledná kapacita.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_R \frac{S}{d} = \epsilon \frac{S}{d} \quad (1.3.1.1)$$

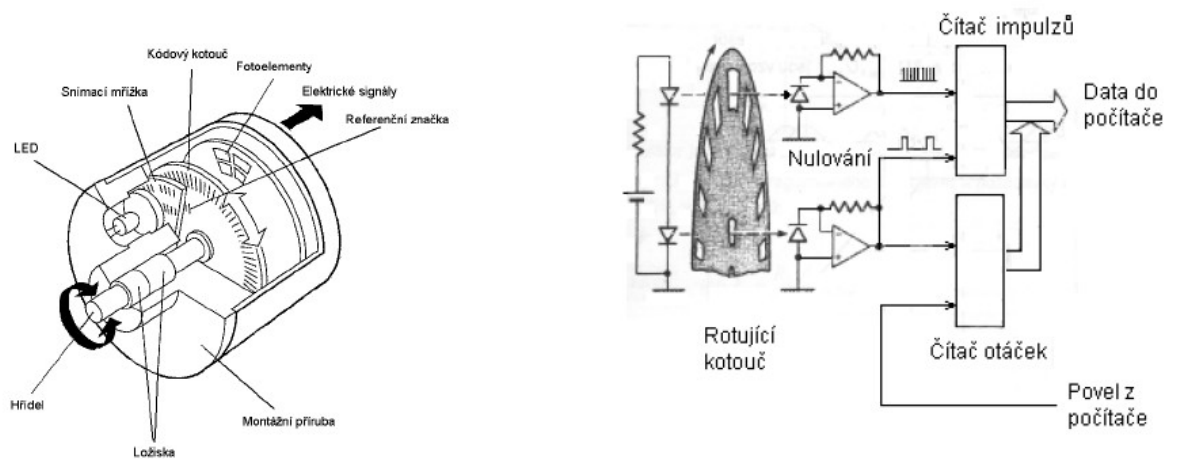
$$C_1 = C_0 + \Delta C \quad (1.3.1.2)$$

$$C_2 = C_0 - \Delta C \quad (1.3.1.3)$$

1.4 Optické snímače polohy

1.4.1 Inkrementální rotační snímač

Optické snímače pracují na principu clonění světelného toku mezi fotocitlivými prvky a zdrojem světla. Spočtením impulsů za určený časový úsek zjistíme informaci o rychlosti otáčení hřídele. Při použití kotouče se dvěma řadami otvorů, které jsou posunuty vůči sobě o polovinu šířky otvoru, je možné zjistit i směr otáčení hřídele. Jeden otvor na kotouči je určen pro určení počáteční polohy a jejím průchodu. Tento otvor odpovídá úhlu natočení 0° . Při průchodu světla tímto otvorem je generován nulový impuls.



Obr. 9. Inkrementální rotační snímač, převzato ze [4]

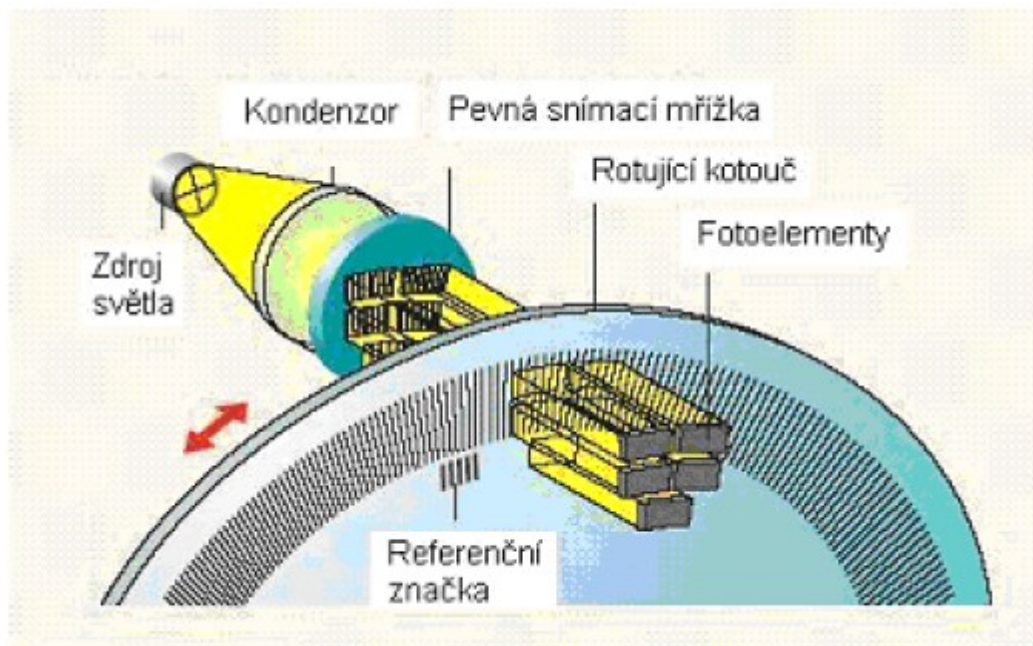
1.4.2 Inkrementální rotační snímač typu SIN/COS

Tento typ čidel má na svém výstupu dva sinusové průběhy napětí, které jsou vzájemně posunuté oproti sobě o 90° . Tyto průběhy jsou převáděny na obdélkové průběhy pomocí komparátorů. Tyto snímače umožňují zjistit 3 veličiny a to rychlost otáčení hřídele, směr, kterým se hřídel otáčí a výsledný úhel natočení vůči nulové poloze.

Princip měření těchto snímačů je také založen na clonění světelného toku. Proti pevné mřížce se otáčí mřížka, která je na obvodu rotujícího kotouče. Když jsou mřížky přesně proti sobě, tak jimi prochází maximální světelný tok, který je snímán fotodetektorem. V tomto případě je na výstupu fotodetektoru maximální signál. Při pootočení pohyblivé mřížky, byť jen o nepatrný úhel, fotodetektor bude mírně zastíněn a na výstupu dojde ke snížení úrovně výstupního signálu. Když se bude mřížka dále otáčet, bude více zastíňovat fotodetektor až do úplného zastínění. Úroveň signálu bude taky klesat do nuly. Dalším pootáčením kotouče dojde k postupnému odclonování, tím dojde i ke vzrůstu úrovně signálu. Signál z fotodetektoru je přímo závislý na zastínění od překrytí mřížek. Jelikož při otáčení dochází k postupnému zvětšování a zmenšování osvitlu fotodetektoru, je na jeho výstupu sinusový signál. Frekvence tohoto signálu závisí na rychlosti otáčení hřídele s kotoučkem.

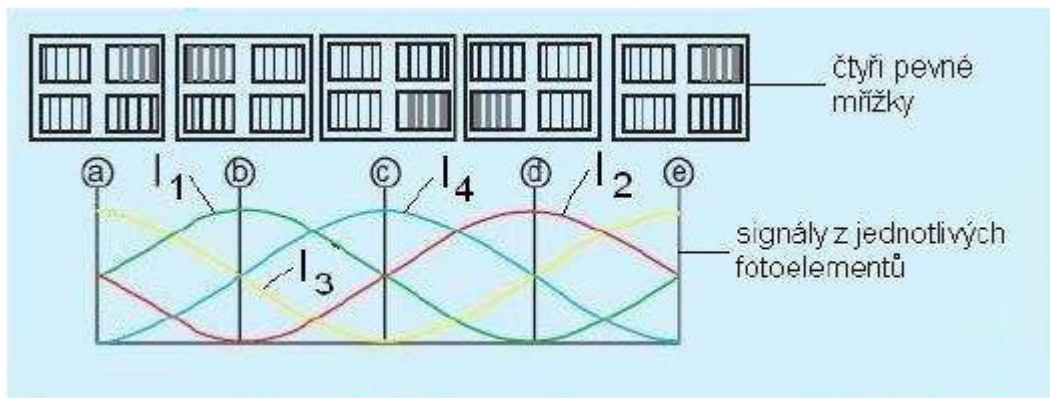
Tyto inkrementální rotační snímače používají pro vytvoření dvou fázově posunutých signálů o 90° čtyři statické mřížky a jednu pro nulovou polohu. Čtyři základní pevné mřížky jsou vůči sobě posunuty o čtvrtinu dělicí periody. Jsou paprskovité, aby odpovídaly úhlu

natočení snímacího kotouče. Otáčením kotouče s mřížkami budou vytvářeny čtyři sinusové průběhy, I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , které jsou vůči sobě posunuty o 90° .



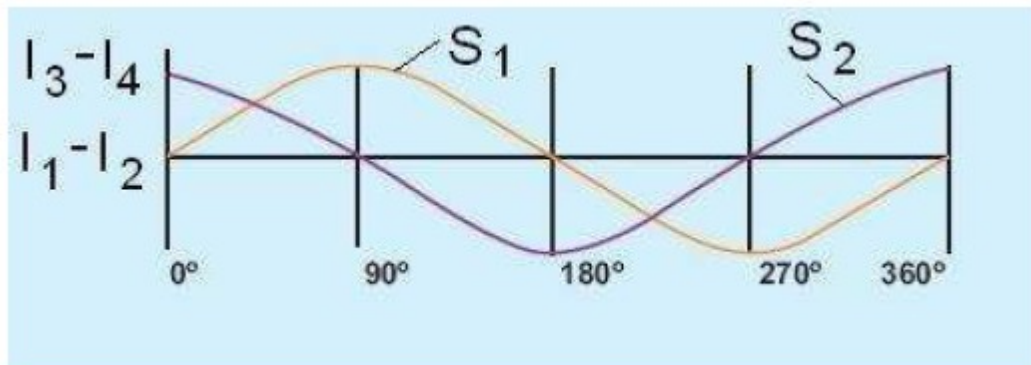
Obr. 10. Inkrementální snímač typu SIN/COS, převzato ze [4]

Jedná se o čtyři stejnosměrné signály, které jsou modulované sinusovými průběhy.



Obr. 11. Průběh signálů z jednotlivých fotodetektorů, převzato ze [4]

Abychom vyloučili stejnosměrnou složku, je třeba signály vhodně diferenčně zapojit, pak získáme dva střídavé fázově posunuté o 90° signály S_1 a S_2 , viz obr. 12.



Obr. 12. Střídavé fázově posunuté signály, převzato ze [4]

Jedná se o antiparalelní zapojení fotodetektorů 3 a 4, 1 a 2. Odečtením sinusových průběhů signálů I_2 od I_1 a I_4 od I_3 získáme dva symetrické sinusové průběhy, vzájemně posunuté o 90° .

$$S_1 = A_0 \sin \varphi \quad (1.4.2.1)$$

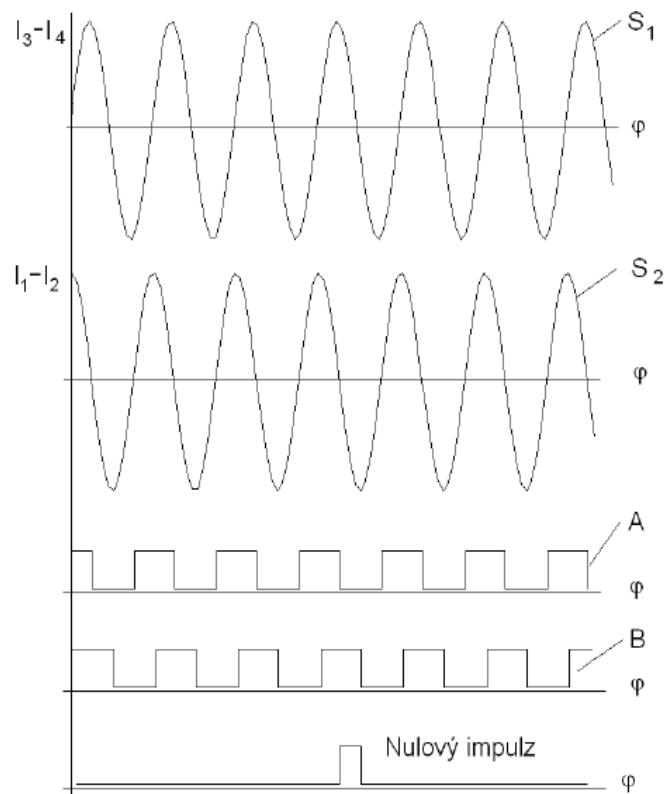
$$S_2 = A_0 \sin \varphi \quad (1.4.2.2)$$

$$\varphi = 2\pi \frac{X}{Y} \quad (1.4.2.3)$$

kde - X je úhel natočení

- Y je úhel odpovídající rozteči štěrbin (perioda)

Pomocí napěťových komparátorů jsou tyto sinusové průběhy přeměněny na obdélkové průběhy, které jsou vůči sobě taktéž posunuty o 90° . Signály jsou pak zesíleny v zesilovači, vzniknou tak vůči sobě posunuté signály A a B, podle kterých je možno určit směr otáčení hřídele, viz obr. 13.



Obr. 13. Průběhy signálů, převzato ze [4]

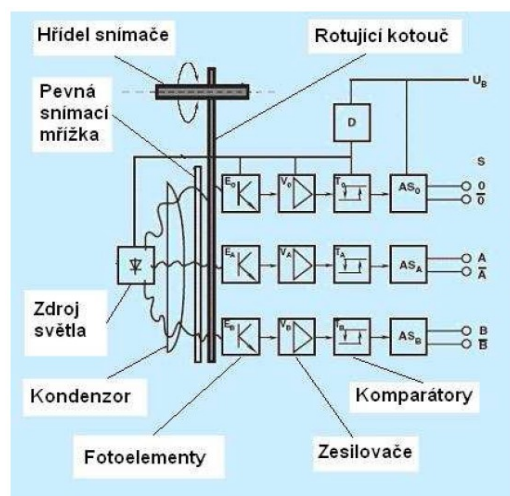
Takováto kombinace čtyřpólového rastru neuvádí informaci o úhlu natočení. Proto je třeba generovat nulový impuls. Při využití všech hran je možné zvýšit citlivost až čtyřikrát.

Inkrementální rotační snímače mají 3 výstupy: - kanál A (a-invertovaný)

- kanál B (B-invertovaný)

- kanál 0 (O-index invertovaný)

-



Obr. 14. Blokové zapojení inkrementálního rotačního snímače, převzato ze [4]

Zmenšením periody Y zvýšíme rozlišovací schopnost snímače. Fyzická hranice je $4\mu\text{m}$, což umožňuje dělení kružnice maximálně na 10 000 bodů. Použitím interpolační metody analogové nebo číslicové je možné tuto hranici překročit. Analogová interpolace využívá nově vytvořené signály, které jsou vůči sobě předsazeny o úhel β .

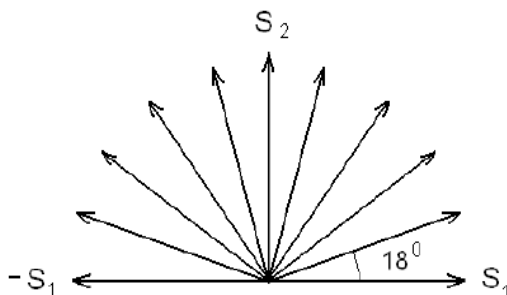
$$S_{10} = S_1 = A_0 \sin \varphi \quad (1.4.2.4)$$

$$S_{11} = S_1 \cos \beta + S_2 \sin \beta = A_0 \sin(\varphi + \beta) \quad (1.4.2.5)$$

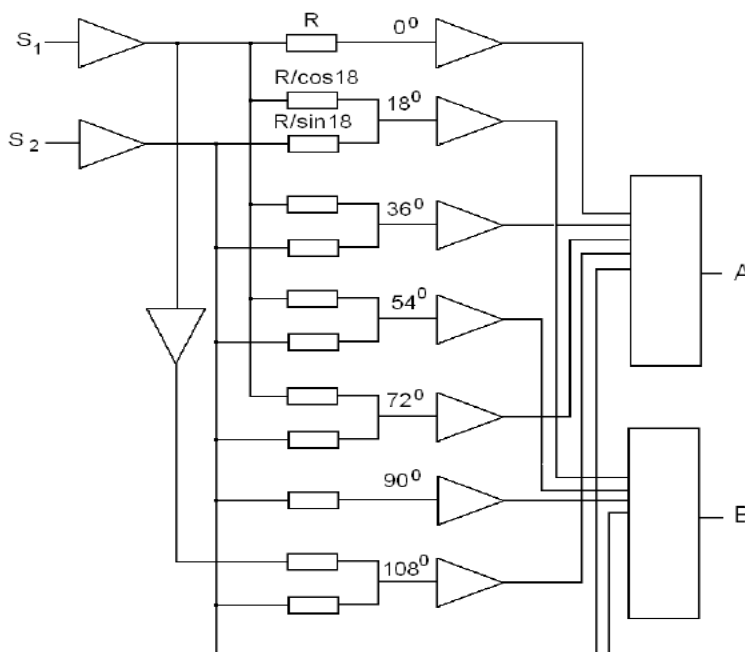
$$S_{12} = S_1 \cos 2\beta + S_2 \sin 2\beta = A_0 \sin(\varphi + 2\beta) \quad (1.4.2.6)$$

Princip interpolace s faktorem 5 (tj. $\beta = 360^\circ/20 = 18^\circ$) je na obrázku 14. V tomto případě lze získat obdélníkový signál s pětinasobnou frekvencí oproti vstupní frekvenci.

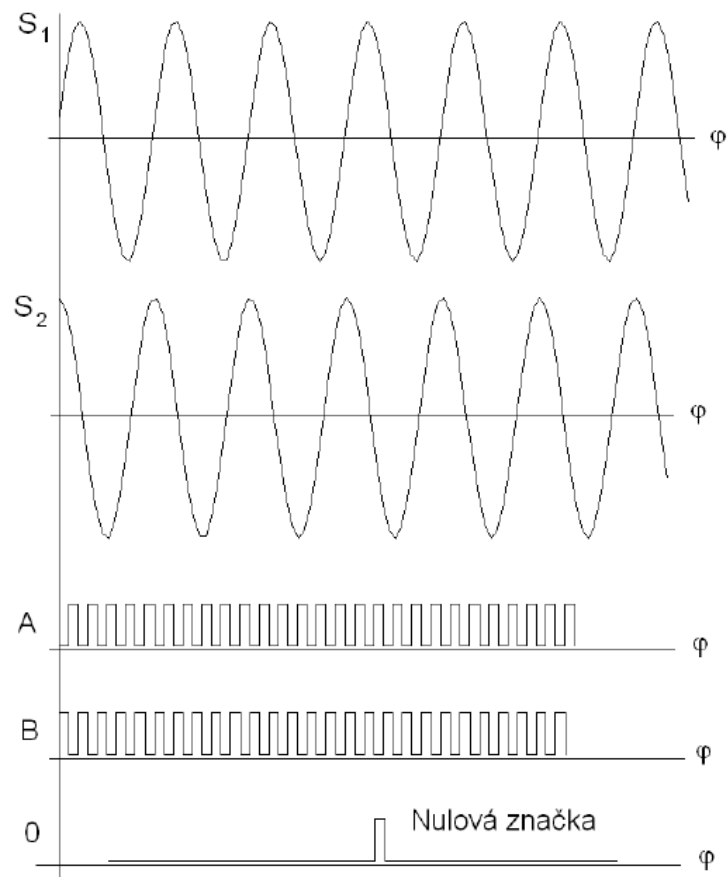
Při analogovém řešení je dán maximálně dosažitelný interpolační faktor číslem 25.



Obr. 15. Fázové posunutí signálů, převzato ze [4]



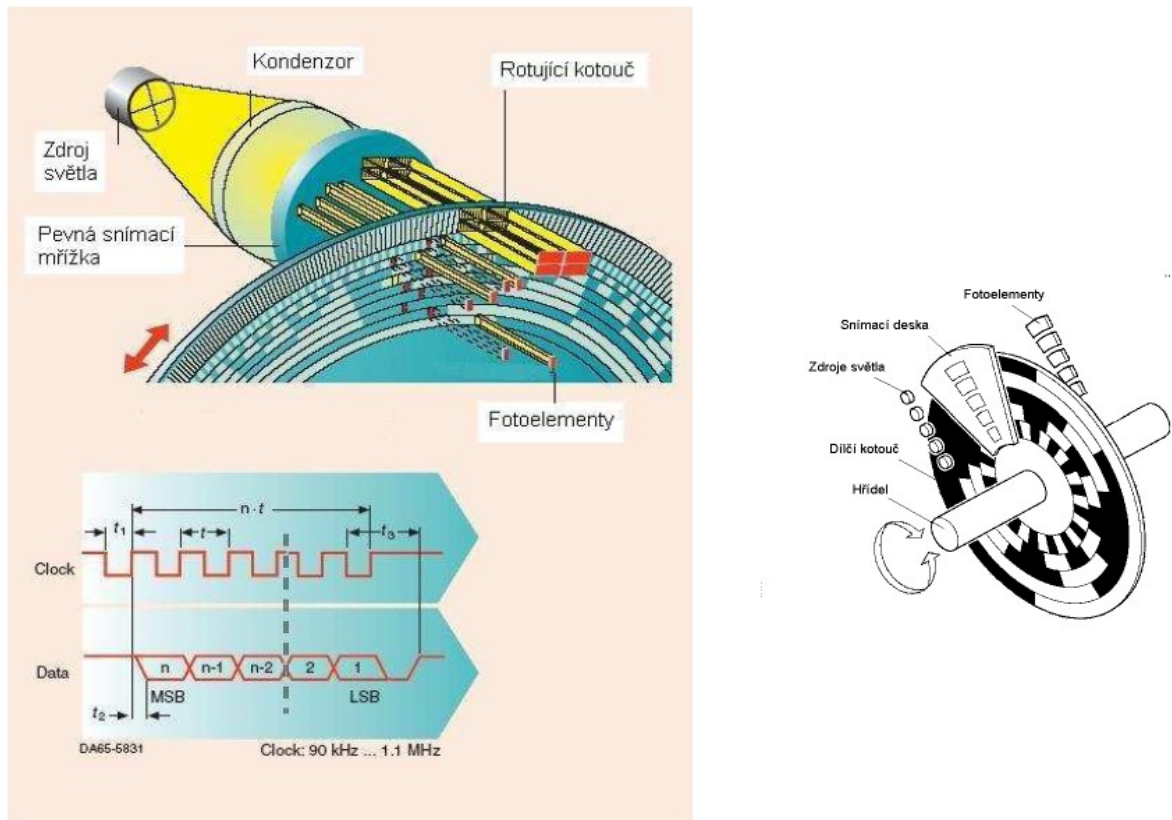
Obr. 16. Princip analogové interpolace s faktorem 5, převzato ze [4]



Obr. 17. Průběhy signálů, převzato ze [4]

1.4.3 Absolutní snímač polohy

Absolutní snímače polohy jsou konstruovány na stejném principu jako inkrementální čidla. Tyto snímače umožňují zjištění úhlu natočení ihned po připojení napájení. Nepotřebují se před zjišťování úhlu natočení potočit. Kotouč těchto snímačů má několik stop s dírami určujícími specifický kód. U těchto snímačů se často používá Grayův kód. U tohoto kódu při přechodu do sousední polohy nastává změna pouze v jednom bitu, proto je detekce chyb a jejich následná korekce snadná.

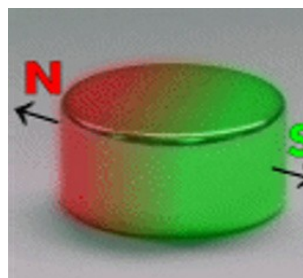


Obr. 18. Konstrukční uspořádání absolutního snímače polohy, převzato ze [4]

1.5 Magnetický snímač úhlu natočení rotátoru

Magnetický snímač úhlu natočení rotátoru pracuje na principu halové sondy. Jedná se o bezkontaktní snímání, tudíž nedochází k mechanickému opotřebení. Na hřídeli se otáčí magnet, který svým magnetickým polem ovlivňuje Hallovy sondy uvnitř čidla. K dosažení snímání kruhového otáčení je zapotřebí čtyř Hallových sond. Čidla obsahují převodníky vzorkující výstupní hodnoty sond. Dále je zapotřebí vyhodnocovací elektronika.

Pro lepší funkci čidla je zapotřebí kotoučový magnet, který je diametrálně magnetizovaný, viz obr. 19.



Obr. 19. Diametrálně magnetizovaný magnet, převzato z [5]

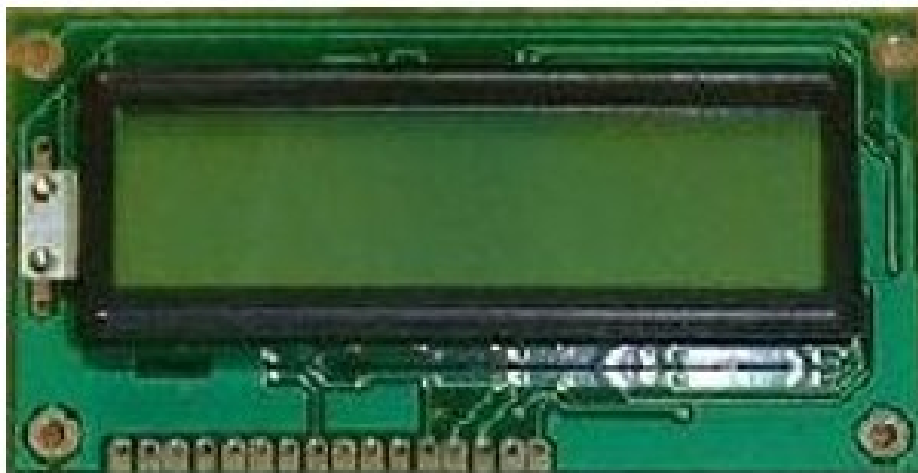
2 Možnosti zobrazení

2.1 Selsyn

Jedna z možností zobrazení byla již výše popsána v kapitole o selsynu, jeho přenosu informace o momentu a úhlu natočení pomocí vzájemného působení magnetického pole statoru a rotoru.

2.2 LCD displej

Další možností zobrazení údaje je pomocí znakového LCD displeje. Zde je nejprve nutné změřenou veličinu převést do digitální podoby. To lze pomocí AD převodníků. Změřenou veličinu je dále nutné vhodně navzorkovat. Poté je třeba jednotlivým vzorkům přiřadit binární hodnotu. Vlastní zobrazovač sbírá data z jednoho nebo ze dvou čidel a zobrazuje je na displeji. Ten může být dvouřádkový nebo jednořádkový podle počtu čidel. Data jsou posílána na displej paralelně.



Obr. 20. Displej, převzato ze [6]

Lze použít i zobrazení na sedmsegmentovém LED displeji, kde se bude hodnota natočení zobrazovat číselně jako u znakového LCD displeje. Tato varianta je levnější, má však omezené možnosti.

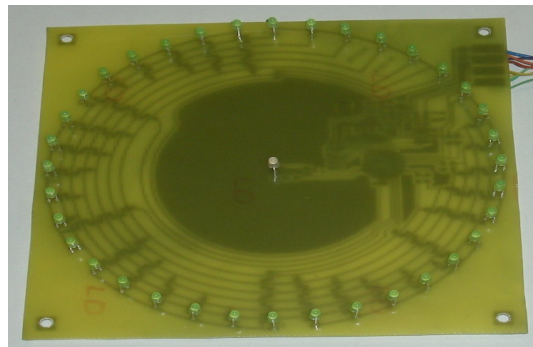
Nejnázornější přehled o natočení rotátoru lze vyčíst z grafického displeje, kde je možné číselnou hodnotu doplnit o grafické znázornění, ze kterého je hned na první pohled zřejmé,

kterým směrem je rotátor natočen. Tato varianta je z výše uvedených nejdražší, proto je třeba zvážit, která varianta je pro nás nejvhodnější.

2.3 LED zobrazovače

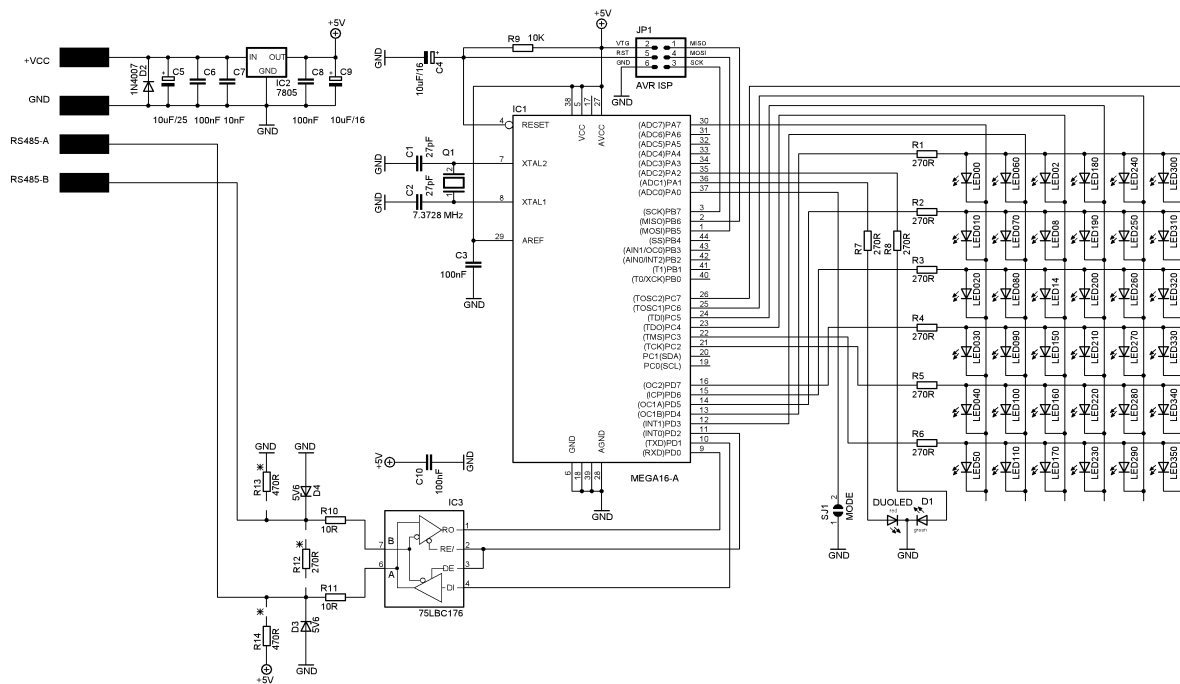
LED zobrazovač slouží k zobrazení úhlu natočení rotátoru. Zobrazovač snímá výstupní data z čidla. Zobrazovač se nechá připojit pomocí 2 napájecích vodičů a dvou vodičů RS-485. Maximální délka této sběrnice je 1200 m, což by mělo být dostačující pro většinu aplikací. Maximální počet připojitelných zařízení je 32. Do délky 10 m vedení je možné dosáhnout rychlosti až 10Mb/s.

Zobrazovaná pozice je u tohoto zobrazovače čtena z čidla s identifikací ID = 2. Toto ID je neměnné. ID zobrazovače je ID = 253. Zobrazovač je osazen 36 LED diodami uspořádanými do kruhu. Natočení rotátoru je zobrazeno na obvodových LED diodách, které jsou rozmístěny po 10°. LED dioda, která odpovídá úhlu natočení rotátoru se rozsvítí, když svítí dvě LED diody vedle sebe, tak se výsledná pozice nachází přibližně mezi nimi. Tudíž rozlišení tohoto zobrazovače je 5°. Jedna LED dioda, která je umístěna uprostřed indikuje správnost zobrazených dat, viz obr. 21.



Obr. 21. LED zobrazovač, převzato ze [7]

Napájecí napětí je třeba nejprve stabilizovat na napětí 5 V, poté je možné jej rozvést k veškeré elektronice zobrazovače. Hlavní součástí je řídicí mikrokontroler, který je třeba taktovat krystalem, pro přesný takt pro sběrnici. Data ze sběrnice je třeba před vstupem do mikrokontroleru upravit pomocí obvodu 75LBC176. Obvodové LED diody jsou zapojeny v matici, viz Obr. 22.



Obr. 22. Schéma zapojení LED zobrazovače, převzato ze [7]

Pro správné fungování tohoto zobrazovače je ještě třeba nahrát do mikroprocesoru správný program pro zpracování dat z čidla a následné svícení LED diod.

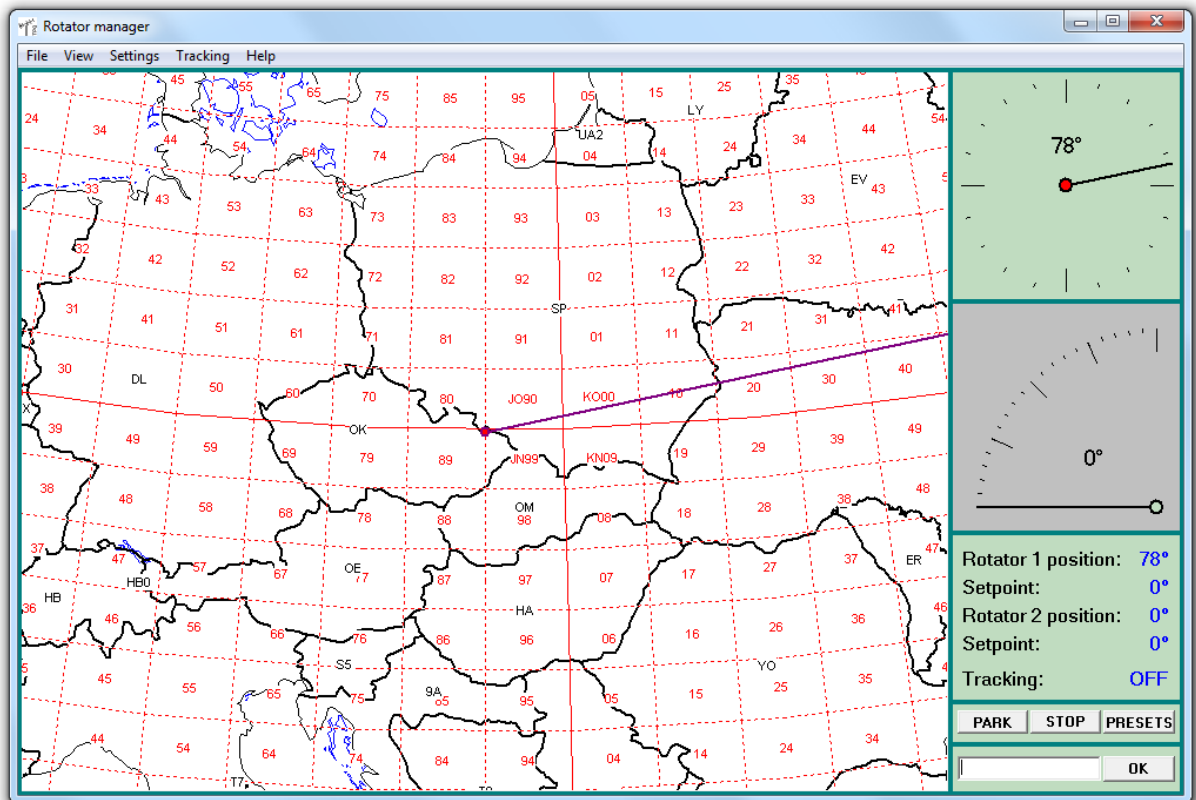
Tato konstrukce zobrazovače je velmi jednoduchá. Slouží k rychlému určení úhlu natočení. Nevýhodou této konstrukce je malé rozlišení.

2.4 PC zpracování

Pro zpracování a zobrazení dat na počítači je třeba mít k tomu vhodný program. Jednou z možností je program napsat, zakoupit jej, nebo stáhnout z internetu volně dostupnou verzi. Program volíme podle našich požadavků na ovládání, dále podle výkonu počítače a jeho použitelných portů.

Příkladem počítačového zobrazení je Rotator manger. Tento program umožňuje pomocí počítače nastavení a ovládání jednotky rotátoru. Program je určen pro radioamatérský provoz.

V základním zobrazení program ukazuje aktuální nastavení směru rotátorů pro horizontální a pro vertikální natočení na podkladu mapy Evropy, která lze přiblížit. Mapové podklady jsou jen orientační, viz obr. 23.



Obr. 23. Základní vzhled programu Rotator Manager, převzato z [8]

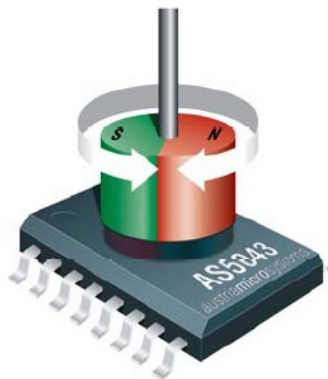
Nejprve je třeba nastavit správný komunikační port pro komunikaci s řídicí jednotkou, dále je nutné nastavit připojené čidlo. Program je schopný ovládat i dvě antény najednou.

Ovládání rotátorů je možné několika způsoby, přes ovládací prvky řídicí jednotky nebo tímto programem. Lze si zde předefinovat několik různých natočení rotátoru. Nechybí zde ani volba pro parkování rotátorů do výchozí pozice. Je zde také možnost nastavení azimutu a elevace v příkazové řádce.

3 Návrh a konstrukce snímače a zobrazovače pro rotátor

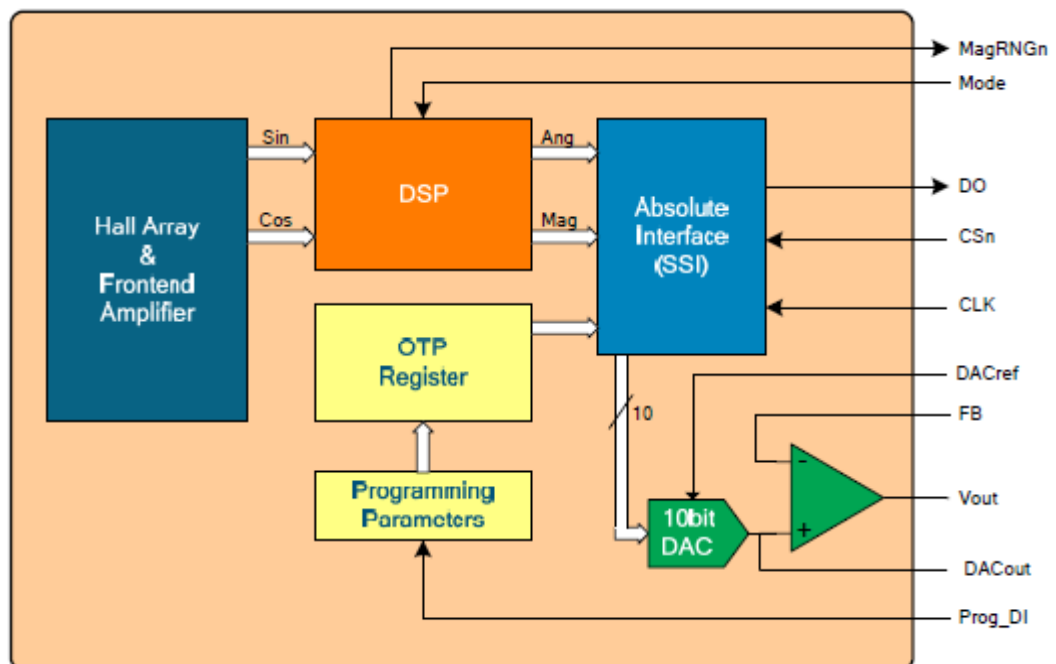
3.1 Popis čidla

Pro tuto konstrukci jsem si vybral bezkontaktní 10 bitový magnetický senzor od společnosti austriamicrosystems a to AS5043. Tento enkodér s analogovým a digitálním výstupem absolutní polohy má rozsah 0 -360°.



Obr. 24. AS5043, převzato z [9]

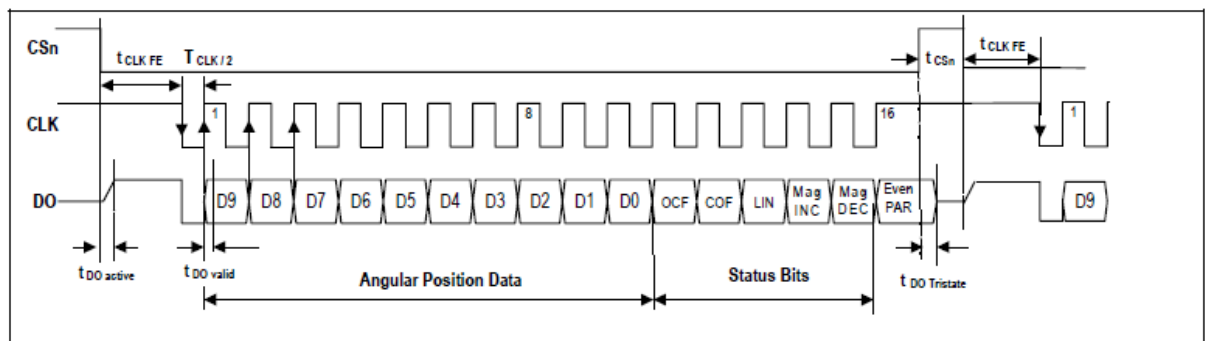
AS5043 má ve svém pouzdře integrovány Hallovy sondy uspořádané do kruhu, dále obsahuje Sigma-Delta AD převodník a signálový DSP procesor. DSP procesor dodává na výstup velice přesnou hodnotu o absolutním úhlu natočení magnetu nad pouzdem obvodu. Dále jsou k dispozici údaje o tom, jestli je magnet v rozsahu požadovaných vzdáleností včetně informací o tom, zda se magnet přibližuje nebo vzdaluje. Obvod komunikuje pomocí synchronního sériového rozhraní SSI. Lze i vyčítat hodnotu v analogovém tvaru. Na vstupu je použit magnet o průměru 6 mm a výšce 2,5 mm, který je diametrálně magnetizován. Vzdálenost magnetu od pouzdra by měla být v rozmezí od 0,5 mm do 1,8 mm.



Obr. 25. Blokové schéma obvodu AS504, převzato z [9]

Rozsah teplot, při kterých je zaručena funkčnost je od -40°C do $+125^{\circ}\text{C}$, což je pro naše podmínky dostačující. Napájet obvod lze buď 5V nebo 3,3V. Při napájení 3,3V je třeba připojit pin 15 a pin 16 na pouzdrě, protože je třeba přemostit integrovaný LDO stabilizátor, který stabilizuje 3,3V pro jádro. Zbylá logika je napájena před stabilizátorem. Odebíraný proud v běžném provozu je do 66 mA. Analogový výstup je možné zatížit maximálně $8\text{k}\Omega$. Analogový výstup má rozlišení 10 bitů.

Synchronní sériový interface SSI (Synchronous Serial Interface) umožňuje vyčíst všechny dostupné hodnoty v jediném kroku, viz obr. 26.



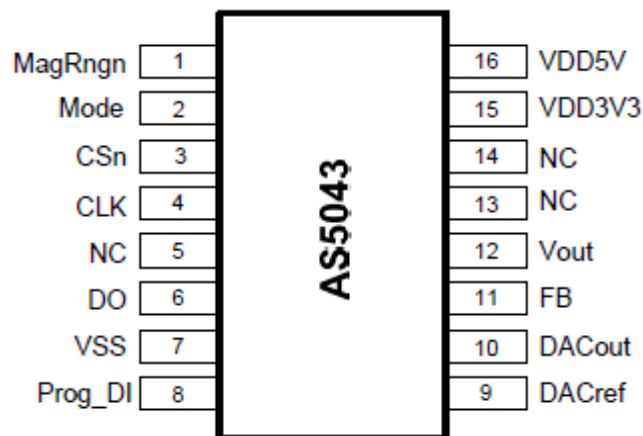
Obr. 26. Komunikace s obvodem SSI protokolem, převzato z [9]

Když je Csn neaktivní (v H), tak je datový výstup DO ve třetím stavu. Po přivedení nuly na Csn (aktivní v L) přejde datový výstup DO do logického stavu H, poté je možné na sestupnou hranu hodinového signálu postupně vyčíst všech 16 bitů. Maximální frekvence hodinového signálu je 1MHz.

Tab. 3.1.1 Význam jednotlivých bitů, převzato z [10]

Bit	Popis
D9:D0	Hodnota absolutní pozice (D9=MSB)
OCF	Indikuje úspěšné ukončení funkce "Offset Compensation Algorithm" a tedy platná na výstupu
COF	1 = magnet je mimo rozsah požadovaných vzdáleností
LIN	1 = výstupní hodnota není lineární
MagInc	1 = magnet se přibližuje k obvodu
MagDec	1 = magnet se vzdaluje od obvodu
Even Parity	Parita k předchozím bitům

AS5043 se vyrábí v pouzdře SSOP-16, viz obr. 27.



Obr. 27. Pouzdro SSOP-16, převzato z [9]

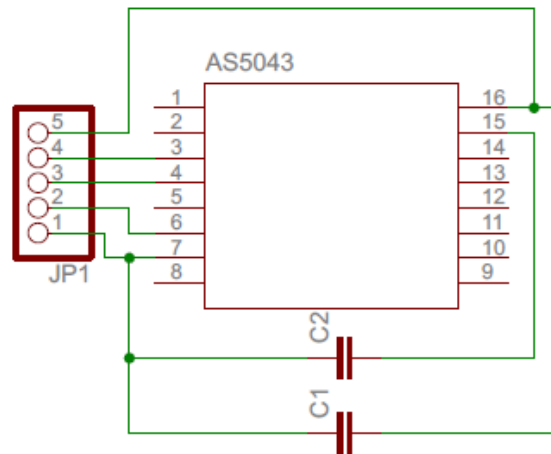
Tab. 3.1.2 Význam jednotlivých pinů, převzato z [10]

Číslo pinu	Označení	Popis
1	MagRngn	Indikuje nepovolenou vzdálenost magnetu od pouzdra. Aktivní v nule
2	Mode	Volba mezi nízkým šumem (nezapojen, L) a vysokou rychlostí (H)
3	CSn	Chip Select pro SSI
4	CLK	Clock pro SSI
5	NC	nezapojen
6	DO	Data Output pro SSI
7	VSS	Zem (GND)
8	Prog_DI	OTP Programming Input
9	DACref	Vstup externí reference pro DAC
10	DACout	Výstup reference DAC (max 8kOhm)
11	FB	Feedback, negativní vstup OZ
12	Vout	Analogový výstup
13	NC	nezapojen
14	NC	nezapojen
15	VDD3V3	Výstup 3,3V regulátoru, případně pro napájení 3,3V spojit s pinem VDD5V
16	VDD5V	Vstup napájení 3,0 - 5,5V

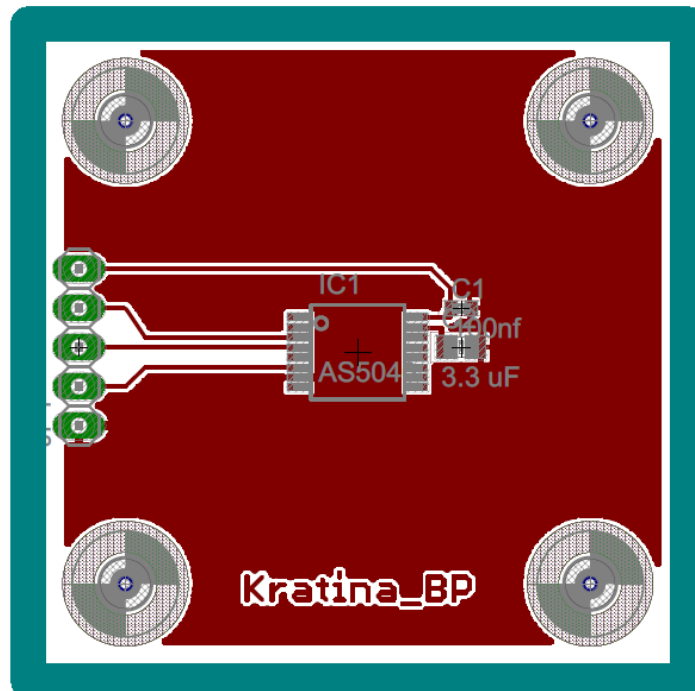
3.2 Konstrukce čidla

Ke komunikaci s čidlem používám SSI protokol. Ten používá pětivodičové vedení:

- na pinu 16 je připojeno napájecí napětí 5V
- na pinu 3 je připojen výběrový signál CSn aktivní v L
- na pinu 4 je připojen hodinový signál CLK
- z pinu 6 jsou čtena data DO

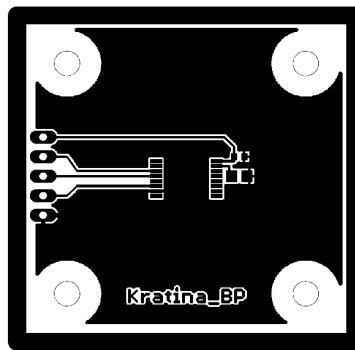


Obr. 28. Schéma zapojení čidla

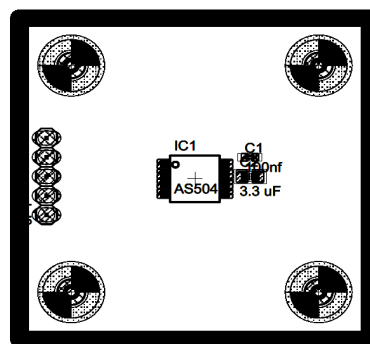


Obr. 29. Návrh desky plošných spojů v poměru 2:1

Rozměry desky jsou 40 mm x 40 mm. Čidlo je v SMD provedení.



Obr. 29. Deska plošných spojů

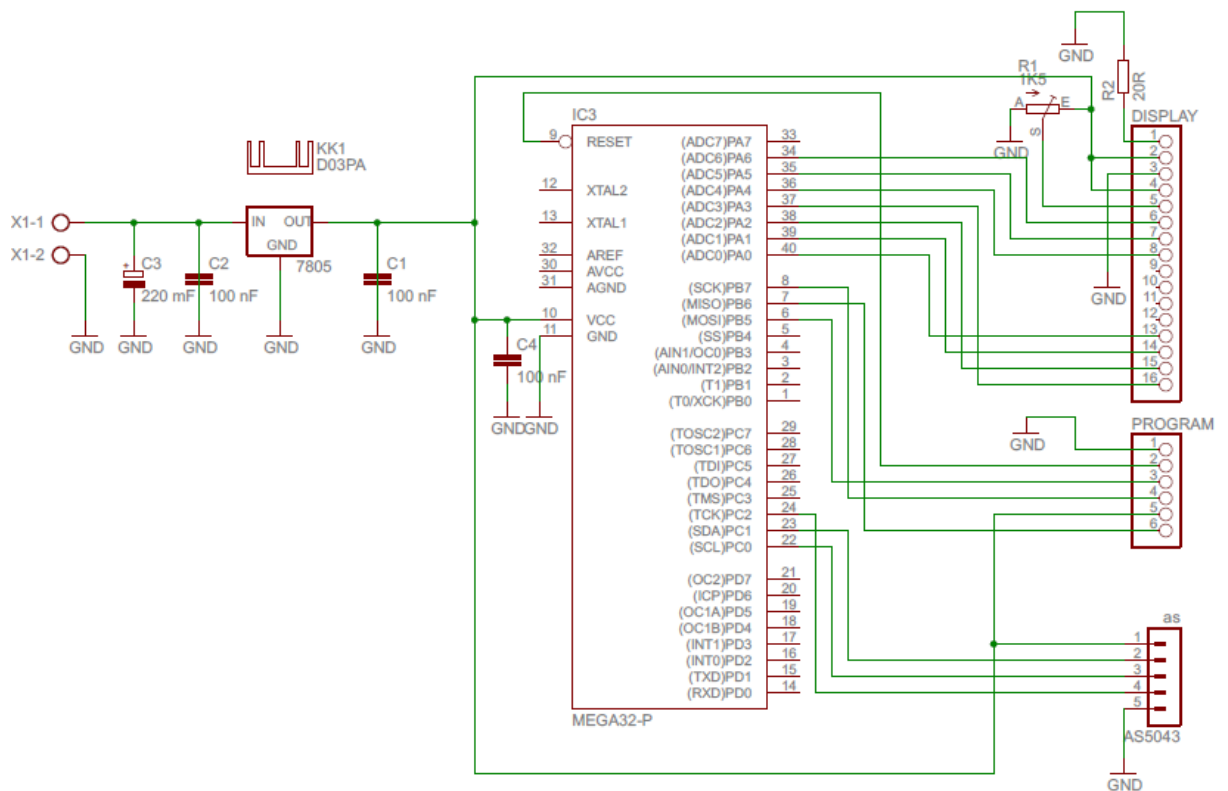


Obr. 30. Osazovací plán čidla

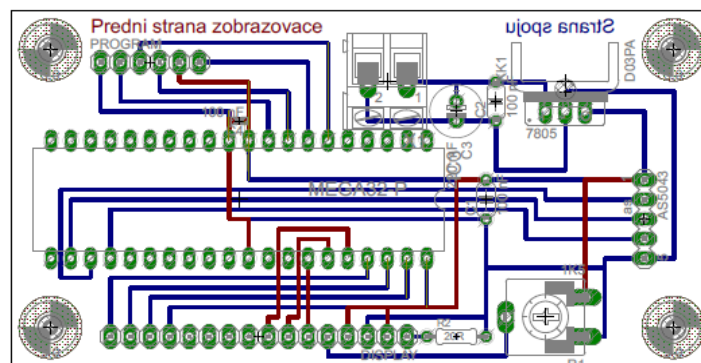
3.3 Zobrazovač

Mozkem zobrazovače je Atmega32-16PU. Pro napájení je třeba 5V, které dodává stabilizátor 7805. Zobrazovač přijímá data od čidla po sériové lince SSI. Nejprve se ověřuje, je-li magnet nad čidlem ve vhodné vzdálenosti, která je daná výrobcem čidla. Když magnetické pole odpovídá požadovanému, je možné zpracovávat vyčtená data. Binárním číslům je nutné přiřadit dekadickou hodnotu v rozsahu 0 až 360°. Pro vyšší spolehlivost je lepší vyčtená data zaokrouhlovat na celá čísla. Čidlo je sice schopné odesílat data s vyšším rozlišením, ale je třeba počítat s rušivými vlivy. Po zpracování se data odesílají paralelně na displej.

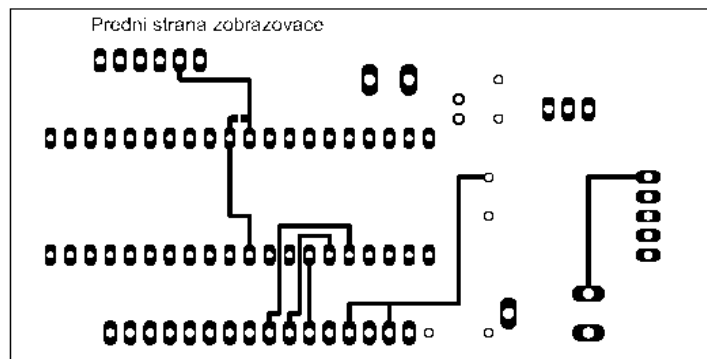
Displej je dvouřádkový a šestnáctiznakový. Napájení displeje je 5 V. U displeje je zapotřebí nastavit kontrast, aby byla vidět zobrazovaná hodnota natočení. Já jsem zvolil displej s podsvícením, pro lepší čitelnost. Toto podsvícení je připojeno přes odpor 20 Ω na pětivoltové napájení na pinech 1 a 2 portu pro displej. viz obr. 31.



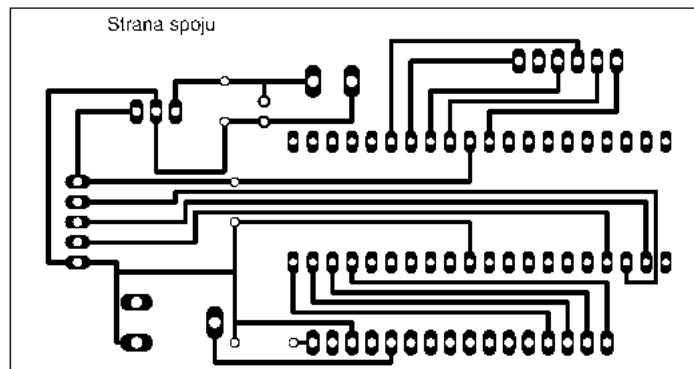
Obr. 31. Schéma řídicí jednotky zobrazovače



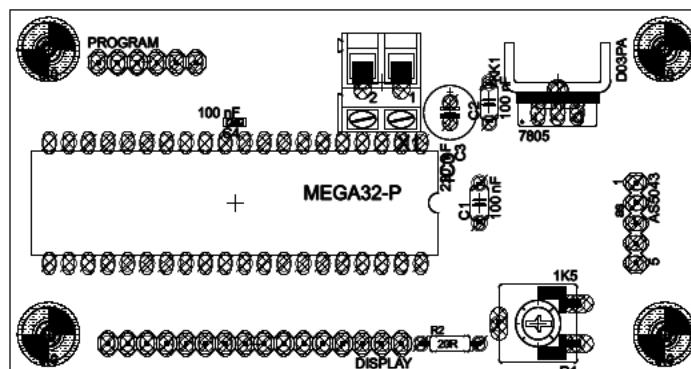
Obr. 32. Tištěný spoj



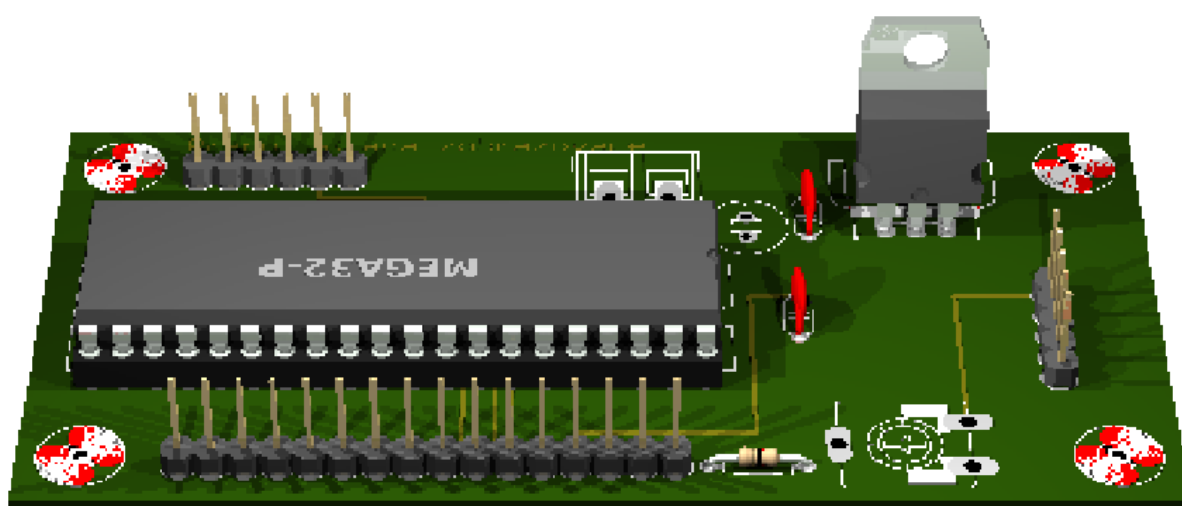
Obr. 33. Přední strana spojů



Obr. 34. Zadní strana spojů



Obr. 35. Osazovací plán



Obr. 36. Řídící jednotka pro LCD zobrazovač

ZÁVĚR

Toto čidlo jsem si vybral, protože má digitální výstup, který je vhodnější na přenos informací na větší vzdálenosti, než analogový signál. Další výhodou bylo, že je bezkontaktní, tudíž nedochází k mechanickému opotřebení samotného čipu. Jediné opotřebení může být na ložisku hřídelky, ke které je připevněn magnet. Toto opotřebení je minimální, protože nedochází k velkému zatížení ložiska. Ložisko je třeba průběžně promazávat, aby nedošlo k zadření, sníží se tím i valivý a třecí odpor ložiska. Přesnost toho čidla je $21' a 5,63''$, to je téměř třetina stupně. Já jsem použil menší přesnost, a to na celé stupně. Tato přesnost je dostatečně přesná pro zjištění úhlu natočení rotátoru antény.

Čidlo se podařilo zprovoznit bez vážnějších problémů. Ze začátku nastávaly problémy s kalibrací magnetu, který je nutno mít v požadovaných mezích. Když je mimo meze, je třeba testovat 12-tý bit, vyčtený z čidla. Je-li magnet mimo rozsah, je tento bit COF v H. Lze použít i magnet jiného tvaru a s jinými parametry, které se blíží parametrům udávaných výrobcem. Čidlo pak odpojí analogový výstup a pinu 1 MagRngn je aktivní (L) a digitální data jsou pak méně přesná.

Snímač je třeba uložit do pouzdra, které jej chrání před mechanickým poškozením, nečistotami a vlhkostí. Dalším úkolem pouzdra je elektrické stínění, aby nedošlo ke zničení čidla. Jelikož u antén převažuje elektrická složka nad magnetickou, která je téměř zanedbatelná je vhodný jako materiál na pouzdro hliník, který je snadno opracovatelný a je lehký.

Pro připojení čidla k rotátoru je potřeba zvolit přenosný poměr úhlů natočení, nejlépe 1:1, aby nedocházelo ke zkreslení. Jiné poměry by se nechaly vyřešit programem v mikrokontroleru, který zpracovává data z výstupu čidla a vypisuje je na displej ve stupních.

Pro propojení čidla a zobrazovací jednotky je zapotřebí pětivodičový stíněný kabel, aby nedocházelo k rušení přenášeného signálu. Po přidání převodníku je možné použití proudové linky, která je méně náchylná na elektromagnetické rušení.

Zobrazovací jednotka již nemusí být tak moc stíněna, protože se většinou nachází ve větší vzdálenosti od rotátoru s anténou. Je-li potřeba, jako v mém případě, zobrazování pouze azimutu postačí jednořádkový displej. Já jsem použil dvouřádkový displej pro možnost rozšíření o snímání a zobrazování elevace. Při tomto rozšíření klesne na polovinu frekvence

jednotlivých údajů z jednoho čidla. U dvou čidel je ještě rychlost 15 hodnot za vteřinu, což je rychlost dostačující pro řízení středně rychlého rotátoru.

Řídící jednotka zobrazovače je taky mírně předimenzovaná pro možnost dalšího rozšíření, jako je snímání a zobrazování elevace, zřízení rotátoru, nebo zobrazování údajů z několika antén najednou. Mozkem této řídicí jednotky je ATmega32-16PU. Je možné zvolit i jiné mikroprocesory, ale potom je potřeba pozměnit program, který se tam nahrává. Většinou je zapotřebí změnit registry a časování. U některých mikroprocesorů je zapotřebí doplnit obvod o externí krystal pro přesné časování a tím i přesné vyčítání dat z čidla.

Je také možnost vyhodnocovat i ostatní bity – linearitu výstupní hodnoty, změnu vzdálenosti magnetu od čidla, to indikuje poruchu schránky čidla a uložení magnetu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Automatizace - snímače [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Odporové snímače spojitě
Dostupné z WWW: <<http://www.snimace.xf.cz/>>.
- [2] moon.felk.cvut.cz [online]. 2000 [cit. 2012-05-23]. Selsyn
Dostupné z WWW: <http://moon.felk.cvut.cz/~pjv/Jak/_tech/t248/start.htm#Co>.
- [3] Automatizace - snímače [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Kapacitní snímače polohy
Dostupné z WWW: <<http://www.snimace.xf.cz/kapacitni-snimace-polohy.php>>.
- [4] Ústav mechatroniky a technické informatiky [online]. 2007 [cit. 2012-05-23]. Snímače
otáček a polohy
Dostupné z WWW: <http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf>.
- [5] Supermagnete [online]. 2007 [cit. 2012-05-23]. SuperMagnety: Kotouče střední
Dostupné z WWW: <<http://www.supermagnete.de/cze/S-10-05-DN>>.
- [6] GM – Electronic maloobchod [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Znakový LCD displej -
MC1602E-SYL/H
Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/mc1602e-syl-h-p513-109.html>>.
- [7] OK2TPQ - Czech radioamateur station [online]. 2010 [cit. 2012-05-23]. LED
zobrazovač
Dostupné z WWW: <<http://ok2tpq.net/node/17>>.
- [8] OK2TPQ - Czech radioamateur station [online]. 2010 [cit. 2012-05-23]. Rotator
manager
Dostupné z WWW: <<http://ok2tpq.net/node/18>>.
- [9] Austriamicrosystems [online]. 2006 [cit. 2012-05-23]. AS5043 Data Scheet
Dostupné z WWW:
<http://www.austriamicrosystems.com/content/download/1287/7220/AS5043_Datasheet_v1_08.pdf>.
- [10] Pandatron.cz – Elektrotechnický magazín [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. AS5043 -
bezkontaktní 10 bitový magnetický senzor
Dostupné z WWW: <http://pandatron.cz/?504&as5043_-_bezkontaktni_10_bitovy_magneticky_senzor>.

PŘÍLOHY**Příloha A – Zdrojový kód pro komunikaci mezi čidlem a mikroprocesorem + výpis na displej**

```
#define F_CPU 8000000UL

#include <stdlib.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include "lcd.h"
#include "lcd.c"
#include "stdio.h"

#include <avr/io.h>
#include <inttypes.h>

unsigned char USART_Receive( void )
{
    /* cekani na data */
    while ( !(UCSRA & (1<<RXC)) );
    /* ziskani a navrat prijatych dat z vyrovnavaci pameti */
    return UDR;
}

void USART_Transmit( unsigned char data )
{
    /* cekej na vyprazdneni vyrovnavaci pameti pro vysilani*/
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) );
    /* dej data do vyrovnavaci pameti, odesli data*/
    UDR = data;
}

void USART_Init( unsigned int baud )
{
    /* nastaveni prenosove rychlosti */
    UBRRH = (unsigned char)(baud>>8);
    UBRRL = (unsigned char)baud;
    /* povoleni prijmu a vysilani*/
    UCSRB = (1<<RXEN) | (1<<TXEN);
    /* nastaveni frame*/
    UCSRC = (1<<URSEL) | (1<<USBS) | (3<<UCSZ0);
}

int n_ok;

uint64_t read_data()
{
    uint16_t data = 0x0000;
    PORTC &= ~(1<<PC1);
    PORTC &= ~(1<<PC0);
    _delay_ms(2);
}
```

```
for (int i = 0; i < 16; i++)
{
    PORTC |= (1<<PC0);
    _delay_ms(2);
    PORTC &= ~(1<<PC0);           //do nuly
    if (i < 10)
    {
        data |= ( (PINC>>2) & 0x01 ) << (9-i);
    }
    if (i == 12)
    {
        n_ok = (PINC>>2) & 0x01;
    }
    _delay_ms(2);
}
PORTC |= (1<<PC0);
PORTC |= (1<<PC1);
_delay_ms(100);
return data;
}

int main()
{
    DDRC |= (1<<PC0);           //PA0 jako vystup
    DDRC |= (1<<PC1);           //PA0 jako vystup
    DDRC &= ~(1<<PC2);         //PA2 jako vstup

    unsigned char data;

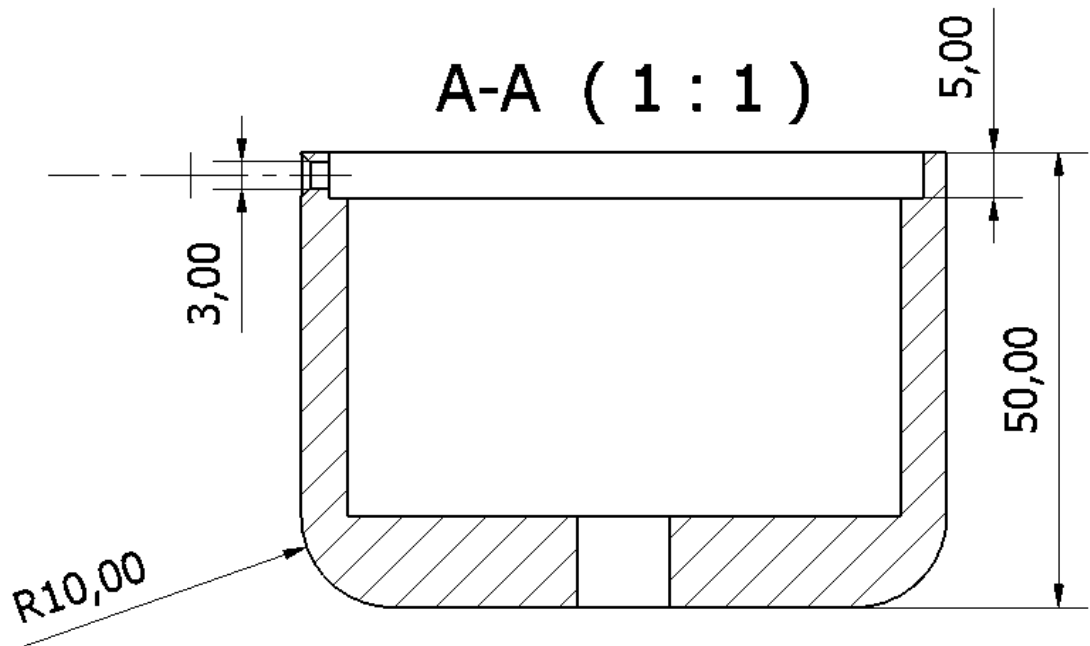
    USART_Init(25);

    lcd_init(LCD_DISP_ON);     //inicializace LCD
    lcd_clrscr();
    lcd_home();

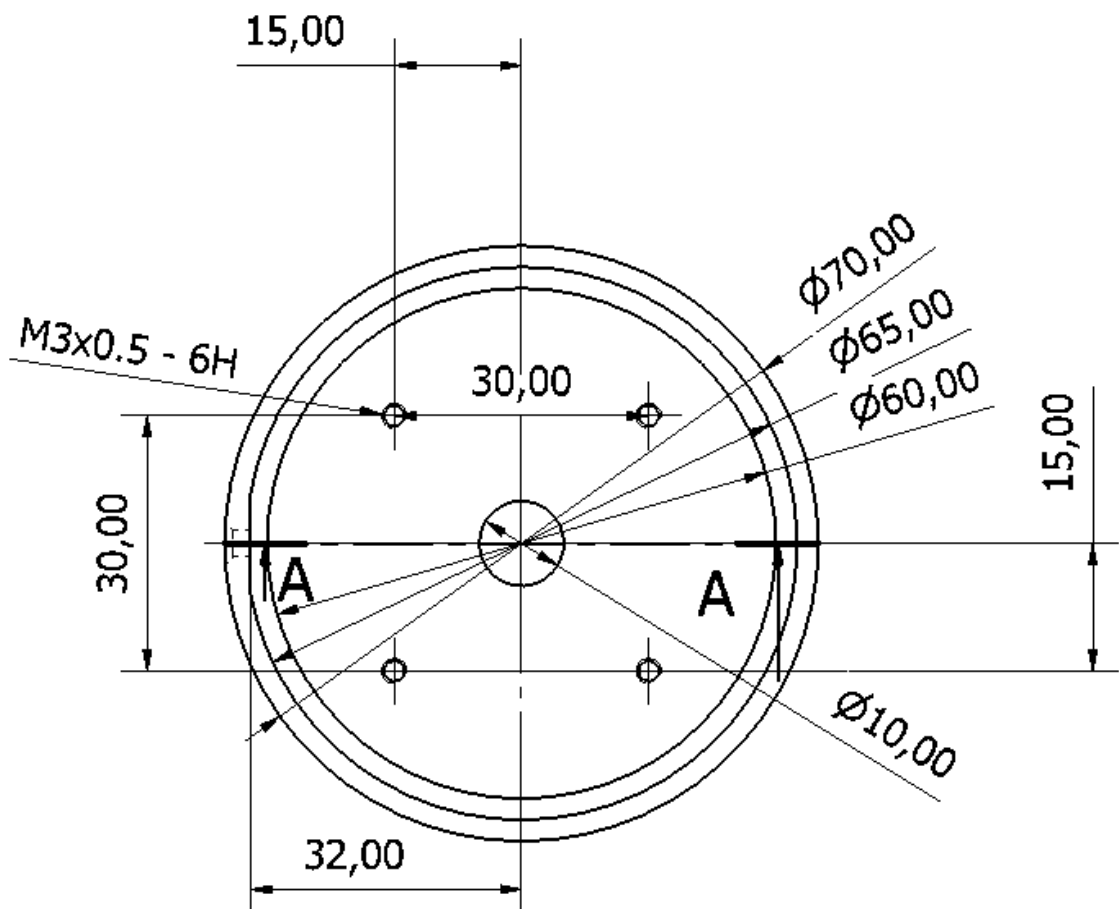
    while(1)
    {
        uint64_t ii = read_data()*360/1024;
        lcd_home();
        if (n_ok)
        {
            lcd_puts("magnet je mimo rozsah");
        }

        else
        {
            lcd_puti(ii);
            lcd_puts("          ");
        }
    }
}
```

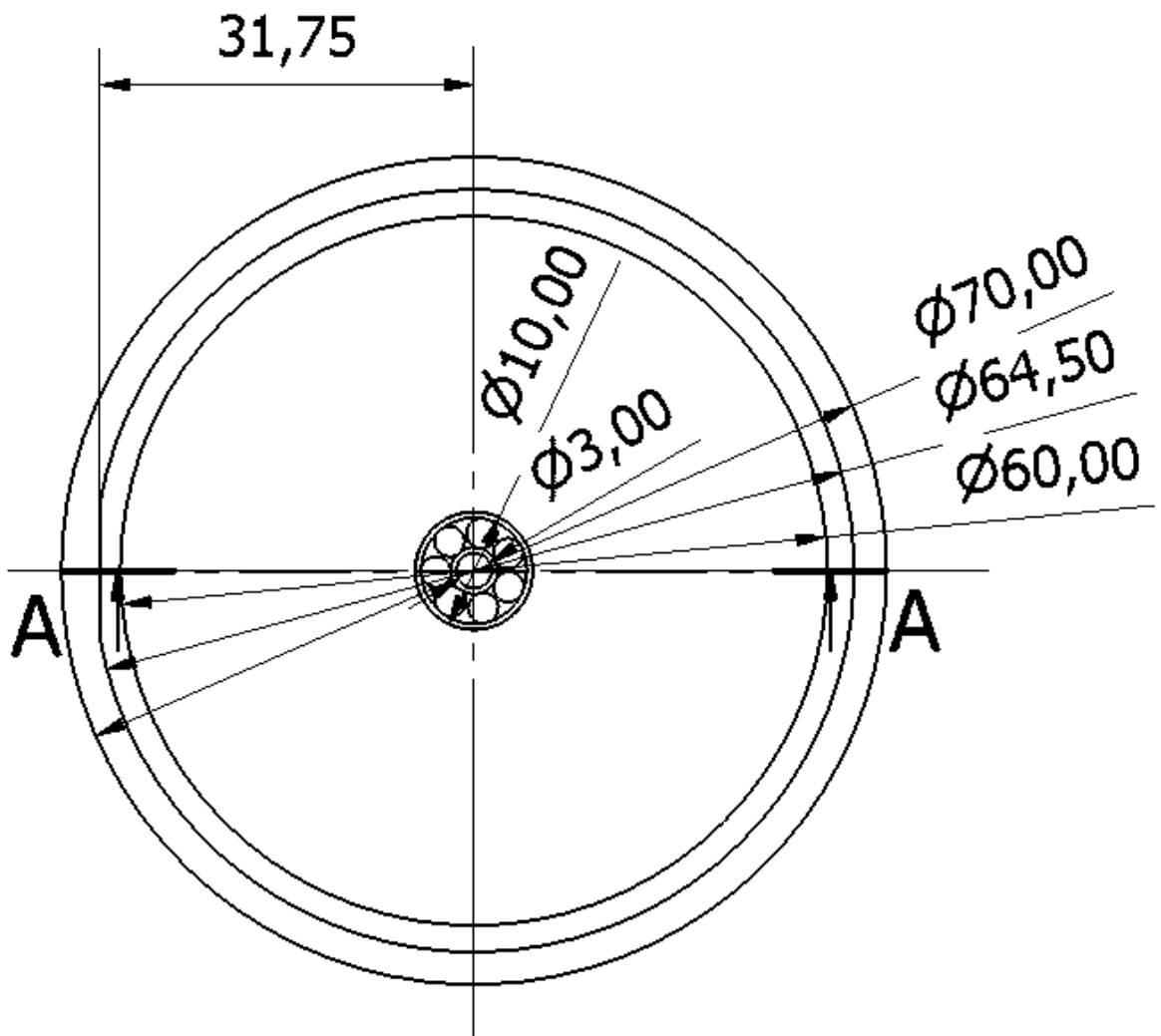

Příloha B – Objímka pro čidlo



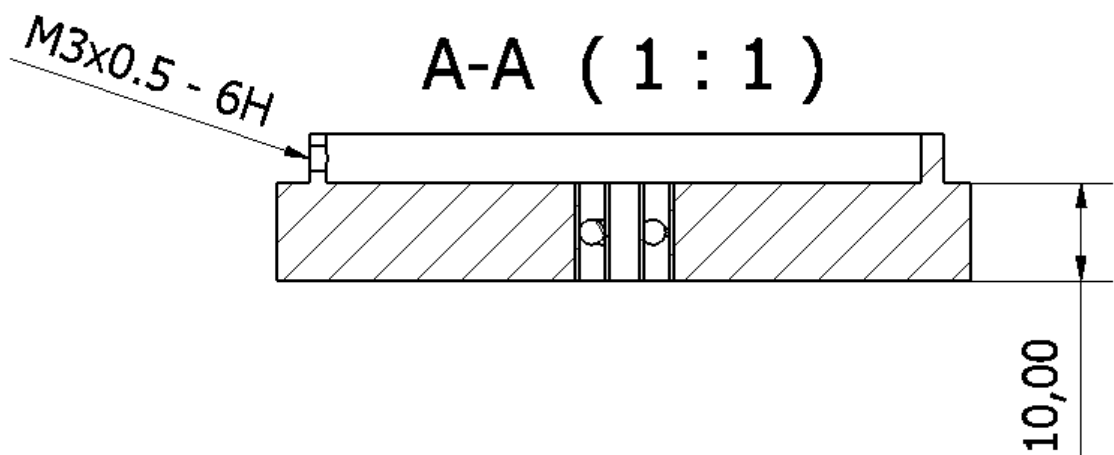
Obr. 37. Řez objímkou čidla



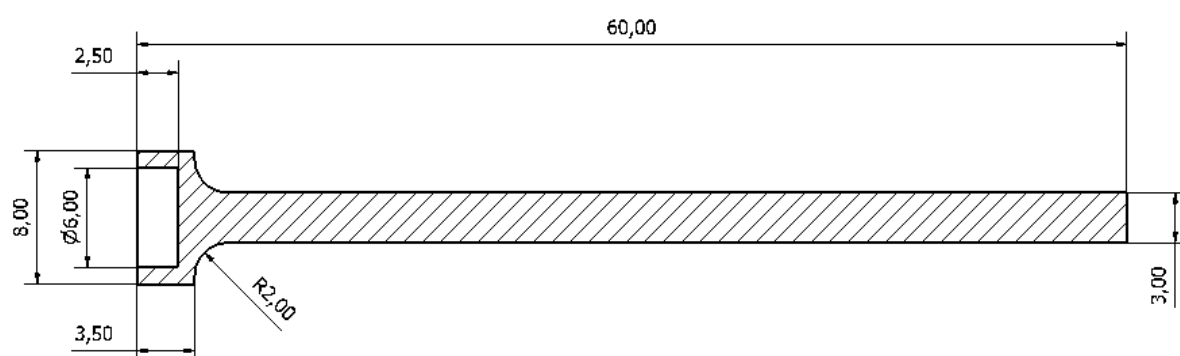
Obr. 38. Objímka čidla - půdorys



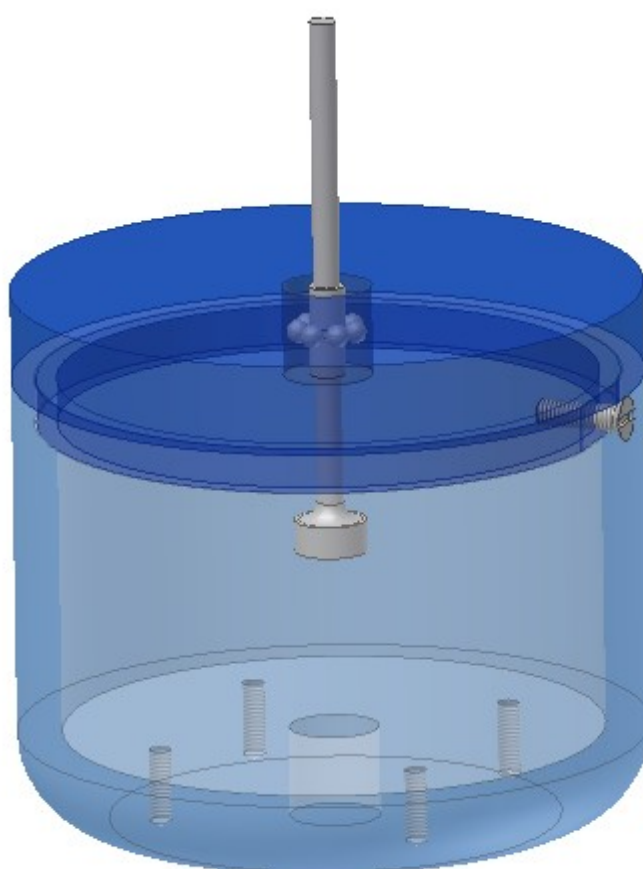
Obr. 39. Víko objímky pro čidlo – pohled zdola



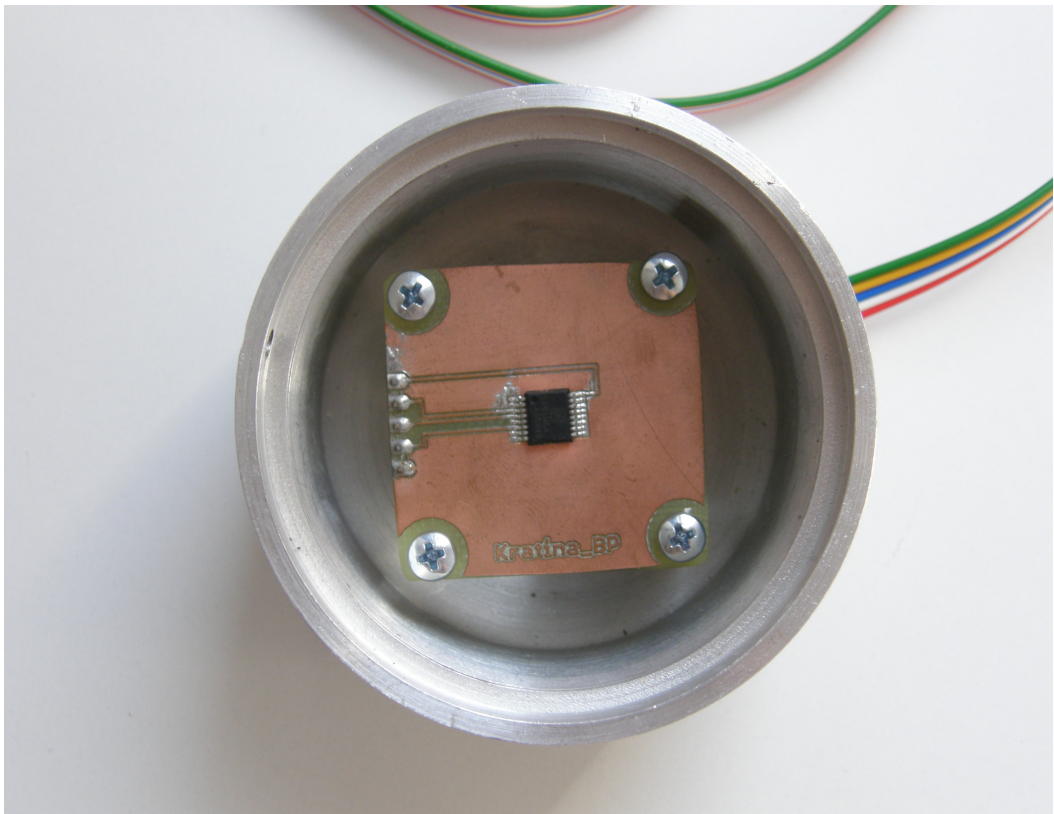
Obr. 40. Řez víkem objímky



Obr. 41. Řez hřídelkou pro držení magnetu



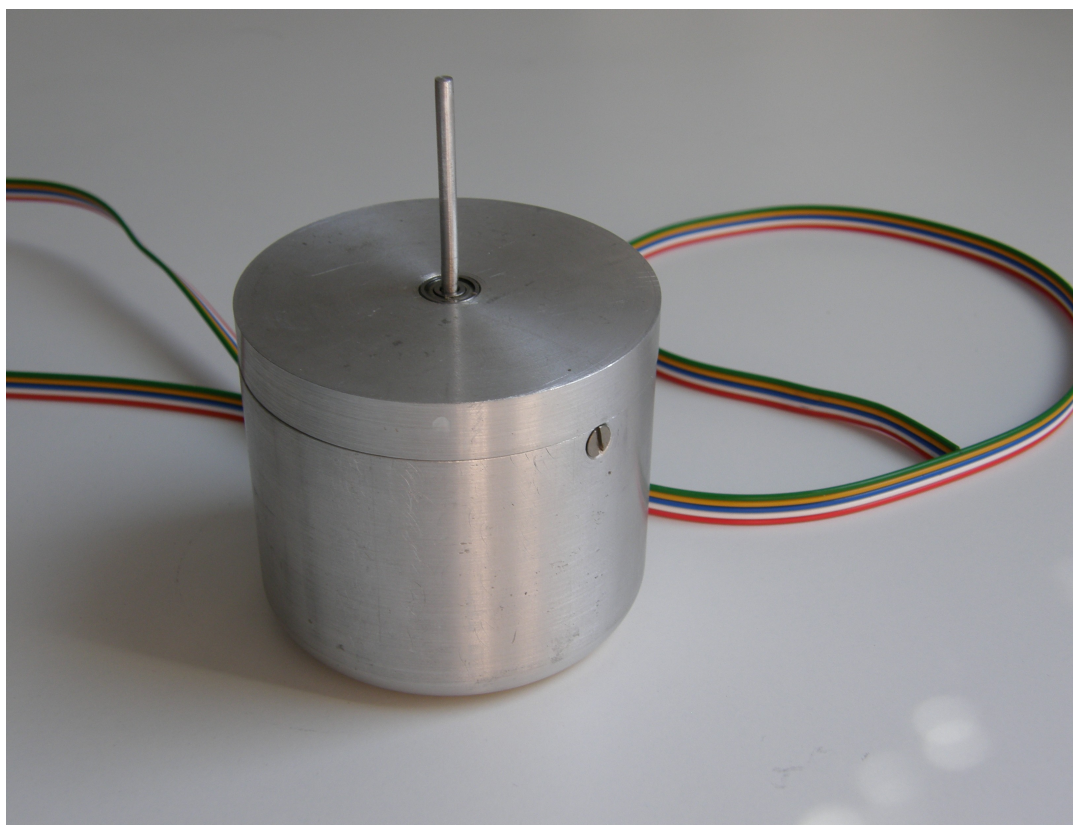
Obr. 42. Celková sestava těla čidla v průhledném provedení pro názornost



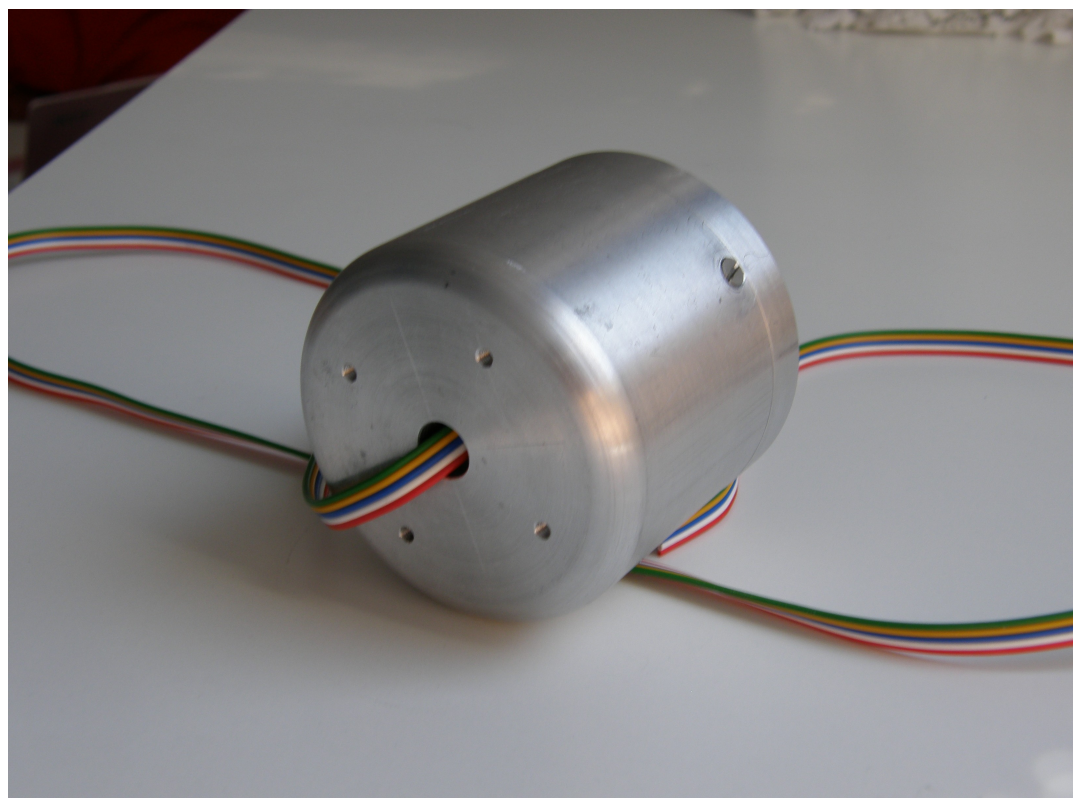
Obr. 43. Půdorys snímače v objímce



Obr. 44. Rozložené pouzdro se snímačem

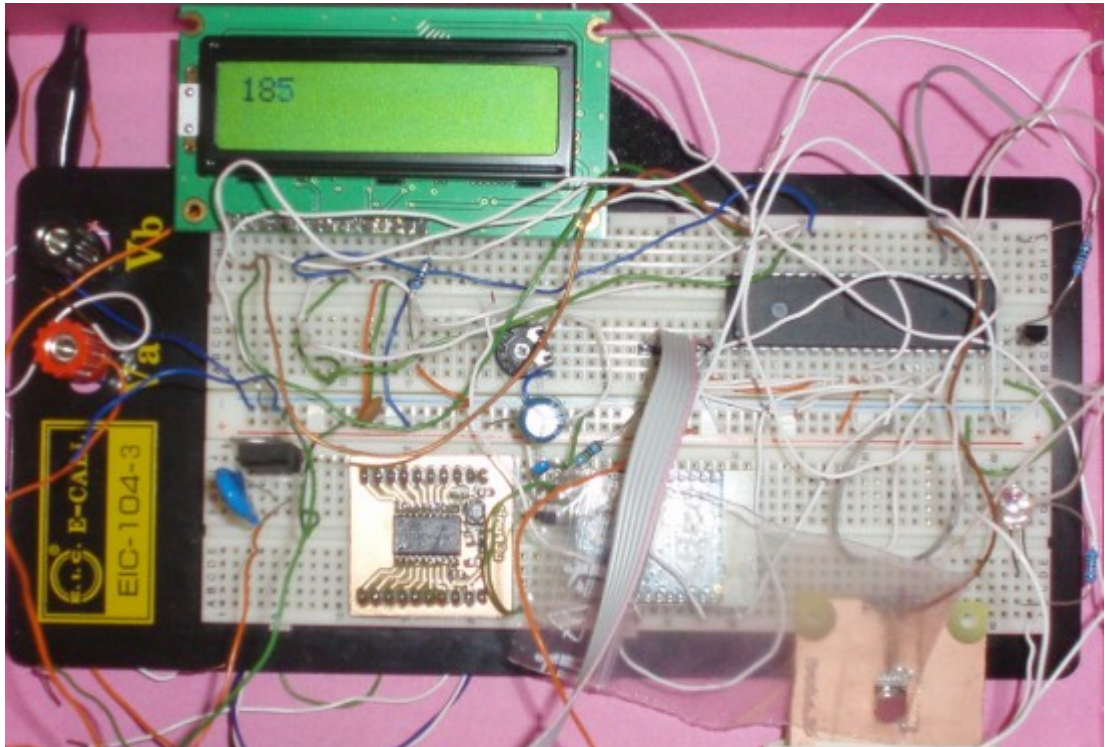


Obr. 45. Pouzdro snímače

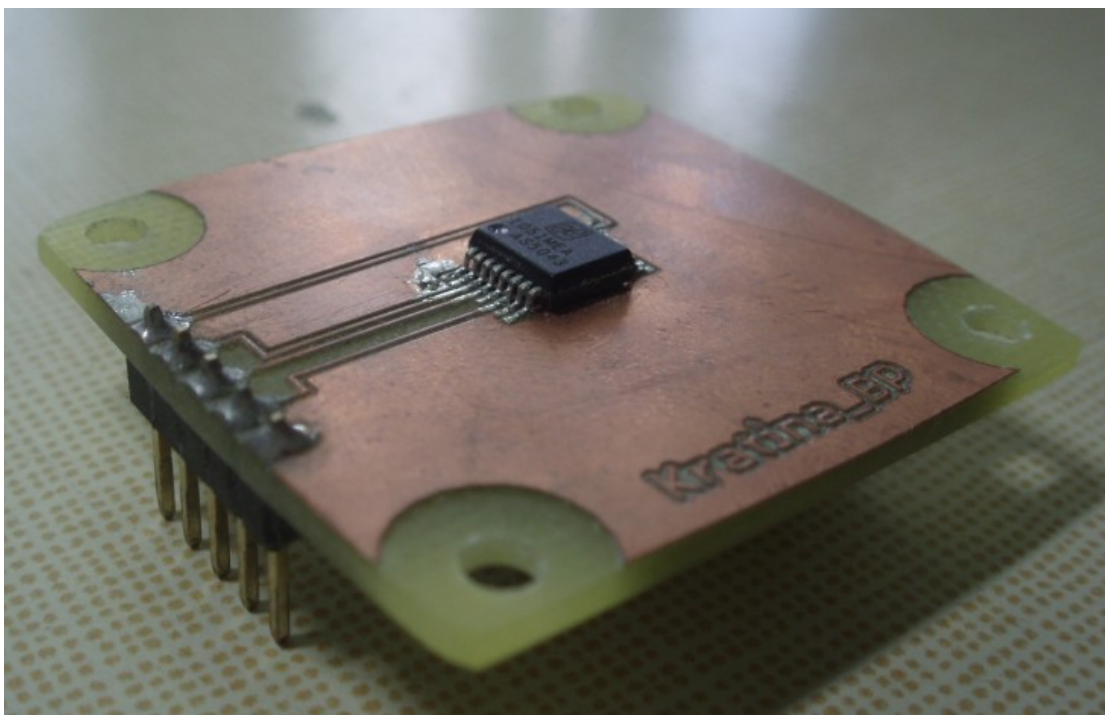


Obr. 46. Pohled na pouzdro snímače ze spodu

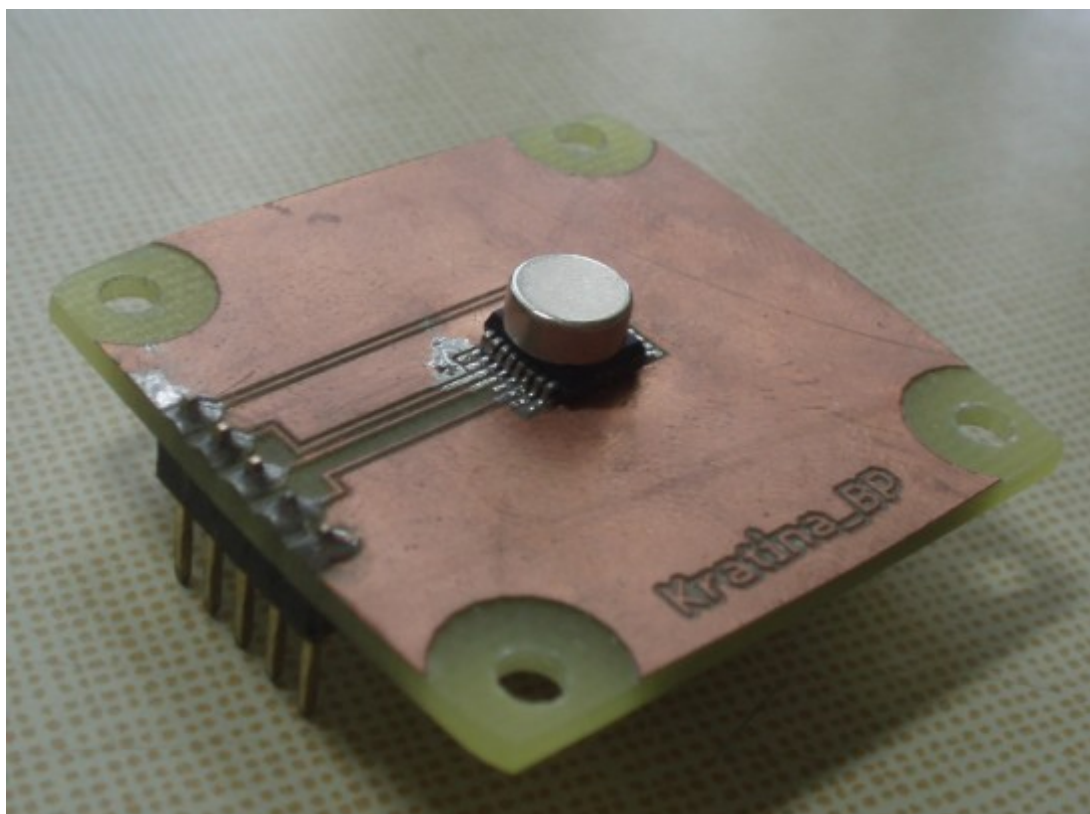
Příloha D – Snímač a zobrazovač



Obr. 43. Snímač a zobrazovací jednotka na nepájivém poli



Obr. 44. Snímač



Obr. 45. Snímač s odpovídajícím magnetem