

Západočeská univerzita v Plzni

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA APLIKOVANÉ
ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

Diplomová práce

Precizní snímač polohy anténního systému

Autor práce: Bc. Martin Podr

Vedoucí práce: Ing. Richard Linhart, Ph.D.

Plzeň 2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin PODR**
Osobní číslo: **E12N0079P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**
Název tématu: **Precizní snímač polohy anténního systému**
Zadávací 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 :

Obsahem práce je návrh, konstrukce a ověření vlastností precizního snímače polohy anténního směrového systému.

1. Seznamte se s principem a vlastnostmi anténního systému, mechanické konstrukce a pohonů.
2. Sestavte soubor metod umožňujících konstrukci přesného čidla pro snímání úhlů elevace a azimutu. Vyberte vhodné řešení na základě kombinace dostupných senzorů (akcelerometry, inklinoměry, magnetické snímače, rotační enkodéry, ...).
3. Navrhněte a realizujte vybranou metodu snímání polohy. Doplněte funkce pro kontrolu integrity zařízení na základě měření teploty, vlhkosti, amplitudy vibrací, ...
4. Ověřte vlastnosti nového snímače v praktickém provozu anténního systému.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Richard Linhart, Ph.D.**

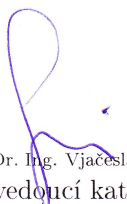
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgijevič
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace diplomové práce

V první části se práce zabývá popisem různých metod řešení snímání velikosti elevace a azimutu anténního systému. Dále se pak diagnostikou předchozího systému, který se v předchozích letech příliš neosvědčil kvůli vzniku chyb nastavovaných úhlů.

Ve druhé části se práce zabývá návrhem a konstrukcí snímacího systému, který je založen na absolutním snímání úhlů natočení, s integrovanou ochranou proti přetočení i nulovací funkcí pro uvedení systému do výchozího stavu.

V závěru je pak shrnutí dosažených výsledků praktické realizace.

Klíčová slova:

snímač azimutu a elevace, Hallův senzor, diametrálně polarizovaný magnet, pozemní stanice, metody snímání polohy

Abstract

The thesis in the first part description the different methods of scan size elevation and azimuth antenna system. Next the thesis deals with the diagnosis of the previous system, which in previous years it work with errors of set angles.

In the second part of the thesis deals with the design of a new sensor system, which is based on absolute sensing rotation angles, with integrated angle limit protection and reset functions for the system default state.

At the end is a summary of the results of practical implementation.

Key words:

Sensor of azimuth and elevation, Hall sensor, magnet with diametral polarization, ground station, methods of position sensing

Prohlášení

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

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

V Plzni dne

.....

Poděkování

Poděkování patří Ing. Richardu Linhartovi, Ph.D. za hodnotné rady a odbornou pomoc během realizace diplomové práce.

Obsah

Obsah	5
Úvod.....	7
1. Metody snímání polohy	8
1.1 Absolutní metody snímání polohy	8
1.1.1 Odporové senzory polohy	8
1.1.2 Absolutní optoelektronické senzory polohy	9
1.1.3 Kapacitní senzory polohy	10
1.1.4 Hallovy senzory polohy	11
1.2 Relativní metody snímání polohy	13
1.2.1 Inkrementační optoelektronické senzory polohy	13
1.2.2 Mechanické inkrementační senzory polohy	15
1.3 Metody snímání polohy – vyhodnocení.....	15
2. Metody ochrany překročení mezí	16
2.1 Mechanické elektrokontaktní senzory polohy	16
2.2 Indukční senzory polohy.....	18
2.3 Magnetické elektrokontaktní senzory polohy.....	17
3. Popis systému	20
3.1 Původní konfigurace	20
3.1.1 Antény.....	20
3.1.2 Rotátor	22
3.1.3 Ovládací software	23
3.1.4 Originální řídicí jednotka.....	24
4. Úpravy systému	26
4.1 Nová jednotka Alfaspid	26
4.2 Instalace nové jednotky	28
4.3 Aktualizace programového vybavení	29
4.4 Návrh snímače polohy	30
4.4.1 Volba metody snímání	30
4.4.2 Volba senzoru	31
4.4.3 Návrh plošného spoje sensorového bloku	33
4.4.4 Testování sensorového bloku	33
4.5 Návrh vyhodnocovací jednotky	34

4.5.1 Popis funkce vyhodnocovací jednotky	34
4.5.2 Návrh plošného spoje vyhodnocovací jednotky	36
4.5.3 Testování vyhodnocovací jednotky	37
4.6 Návrh ochrany překročení mezí.....	37
4.6.1 Popis funkce.....	38
4.6 Mechanická konstrukce snímacích bloků	40
4.6.1 Mechanika snímače azimutu.....	41
4.6.2 Mechanika snímače elevace.....	43
5. Závěr	44
Použitá literatura	45
Seznam obrázků.....	47
Seznam tabulek	48
Seznam příloh	49

Úvod

Místní anténní systém vznikl v roce 2010 jako pozemní stanice pro podporu projektu PilsenCube. Slouží pro komunikaci s amatérskými družicemi i pro vysílání a příjem na amatérských pásmech. Cílený požadavek na vysokou přesnost vyplývá z použití parabolické antény pro pásmo 2,4 GHz s velice úzkou vyzařovací charakteristikou. Během několika let se nedosáhlo požadovaných parametrů a stanice nemůže plnohodnotně provádět svou činnost kvůli vzniku nezanedbatelných chyb. Tuto skutečnost doplňuje ztížená dostupnost nainstalovaného venkovního systému antén a rotátoru. Jakékoliv mechanické úpravy jsou značně omezeny polohou vnějšího zařízení.

Náplní této práce je tedy analýza aktuálního stavu anténního systému se zaměřením na snímací systém a řídicí jednotku, jeho stávající chyby a jejich možné eliminace, zdokonalení a zvýšení přesnosti v rámci možností.

Dle analýzy původního systému pak následuje výběr některé vhodné metody z vypracovaného metodického souboru snímání polohy anténního systému, její realizace a pokus aplikace na současný systém. Dále pak návrh ochrany proti přetočení, ke kterému v častých případech docházelo.

Závěr se pak zabývá vyhodnocením dosažených výsledků z úprav systému.

1. Metody snímání polohy

1.1 Absolutní metody snímání polohy

Absolutní metody snímání polohy jsou založeny na přímém poskytování informace o poloze pomocí vhodného senzoru (snímače polohy). Tato informace o poloze není závislá na předchozím stavu (stavech) systému a je k dispozici v každé poloze sledovaného zařízení.

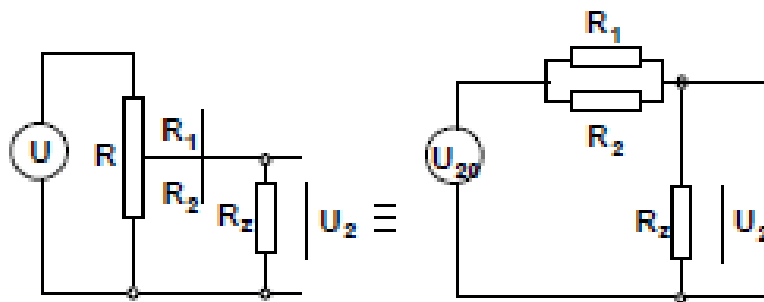
1.1.1 Odporové senzory polohy

Odporové senzory polohy patří mezi hlavní zatím nejčastěji používané zastupitele v absolutních metodách měření polohy. Jsou založeny na jednoduchém principu potenciometrů s pohyblivým kontaktem (jezdcem), který je přímo, nebo pomocí vhodných převodů ovládán měřenou veličinou. Nejpoužívanější variantou jsou potenciometry s otočnou hřídelí a lineární dráhou. Pro zvýšení rozlišovací schopnosti se používá víceotáčkových potenciometrů. [1]

Odporový senzor polohy je založen na principu odporového děliče s dělicím poměrem, který určuje měřená poloha. Nejčastěji se používají nejmodernější cermetové potenciometry, které vynikají vysokou odolností a rezistivní stálostí odporových vrstev.

Využívaná potenciometrová konfigurace (viz Obr. 1.1) na rozdíl od reostatové minimalizuje chyby měření vzniklé časovými a teplotními změnami rezistivit odporových drah použitých senzorů tím způsobem, že snímaná hodnota napětí U_2 je vztažena k napětí U přivedeném na odporovou dráhu potenciometru. Dělicí poměr napětí pro konkrétní polohu zůstane zachován stejný před i po změně rezistivity odporové dráhy. [1] [2]

Další chyby měření polohy pomocí této metody jsou pak nejčastěji způsobeny mechanickým opotřebením uložení jezdce, opotřebením a stárnutím odporové dráhy a jejím tepelným šumem.



Obr. 1.1: Potenciometrická konfigurace odporového senzoru polohy [2]

Druhy odporových senzorů:

Kovové:

- drátové (dráha je vinuta odporovým kovovým drátem)
- vrstvé (tenké nebo tlusté, napařené či naprášené vrstvy)

Nekovové:

- uhlíkové (grafitové)
- cermetové (keramika a kov)
- vodivé plastové
- elektrolytické

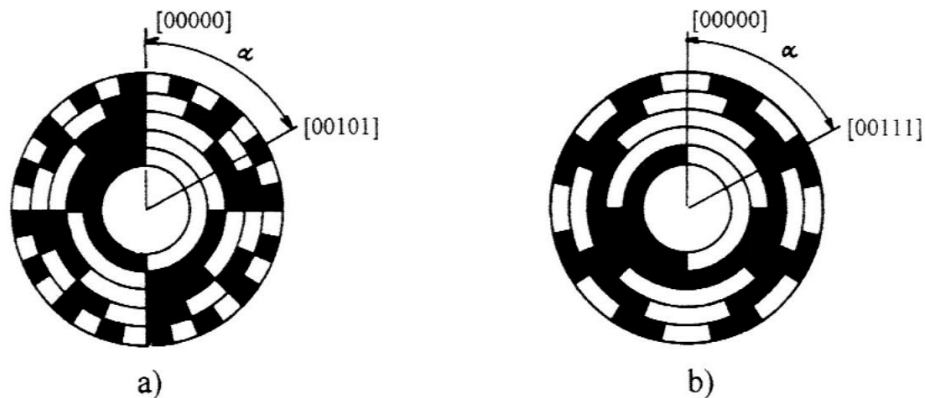
1.1.2 Absolutní optoelektronické senzory polohy

Princip těchto senzorů je založen na modifikaci světelného toku pomocí kotoučku se soustřednými stopami průhledných a neprůhledných ploch kódovaných binárním nebo Grayovým kódem (rozdíl mezi a) binárním a b) Grayovým kódem na kotoučku viz Obr. 1.2). Jako světelné zdroje se nejčastěji používají LED diody, jako detektory pak fotodiody nebo fototranzistory.

Výstupní signál udává hodnotu, která odpovídá úhlovému natočení pohyblivé části systému vztahenému k referenční hodnotě. [2]

Absolutní optoelektronické senzory se dobře implementují na snímaná zařízení, kde je vyžadována hodnota aktuální polohy v jakémkoliv okamžiku. Nevýhodou jsou pak vysoké požadavky na kvalitní mechanickou konstrukci a ochrana před

atmosférickými vlivy. Zneprůhlednění prosvicovaného kotoučku např. deštěm znamená vyřazení senzoru z provozu.



Obr. 1.2: Používané kotoučky a) s binárním kódem, b) s Grayovým kódem

1.1.3 Kapacitní senzory polohy

Princip kapacitních senzorů polohy spočívá ve změně geometrie elektrod, jejich vzdálenosti, plochy nebo permitivity dielektrika. Těmito způsoby dochází ke změnám kapacity a po převodu na vhodnější formu informace (napětí, proud) k určení polohy sledovaného systému. Vyhodnocení kapacity se děje pomocí můstkových metod, zpětnovazebními obvody nebo rezonančními metodami. Pro snímání polohy otočných zařízení se využívá obdoba laditelného kondenzátoru s vhodným převodem. Základním principiálním vztahem je zde vztah pro výpočet rovinného deskového kondenzátoru v homogenním poli:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (1.1)$$

, kde C je kapacita, ε_0 je permitivita vakua, ε_r je relativní permitivita, S je plocha elektrod a d je vzdálenost mezi elektrodami. [2]

Nevýhodou jsou odchylky měření vzniklé parazitními kapacitami přívodních kabelů a konektorů a změny permitivity dielektrika vlivem vlhkosti okolního prostředí.

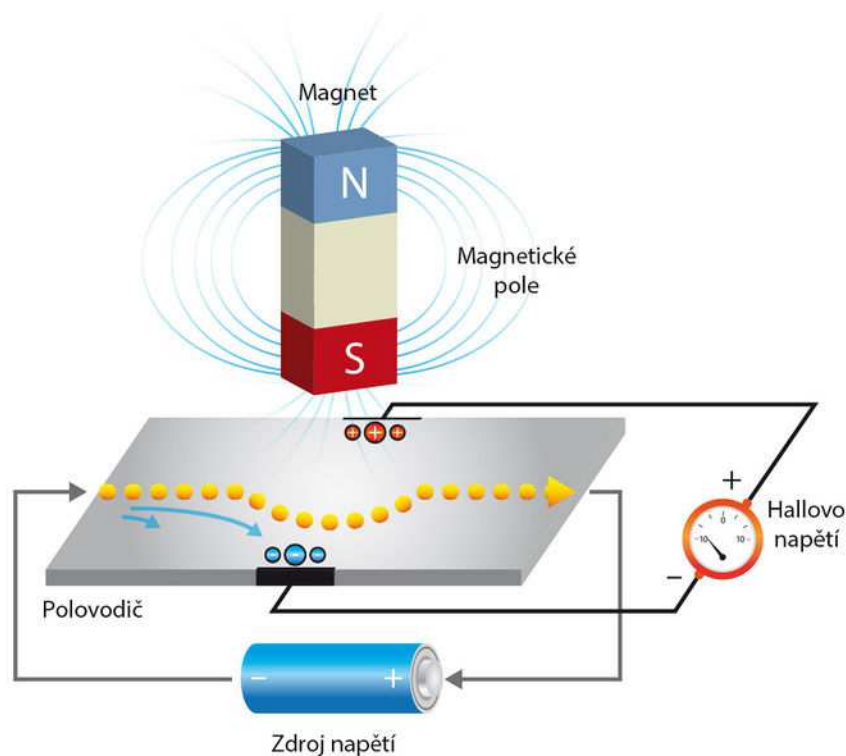
1.1.4 Hallové senzory polohy

Hallové senzory polohy využívají jednu nebo více Hallových sond pro snímání posuvného či rotujícího magnetického pole. Vhodnou vyhodnocovací elektronikou zpracovává přímo napěťovou informaci o poloze.

Princip Hallové sondy spočívá ve vychylování směru toku elektrického proudu protékajícího tenkou polovodičovou destičkou. To je způsobeno působením Lorentzovy síly (viz vztah 1.2) v závislosti na velikosti indukce magnetického pole B , kterému je destička vystavena. Výsledkem je změna proudové hustoty a generování rozdílového Hallova napětí na bočních stranách elementu, které je úměrné velikosti působícího magnetického pole a rozměrech destičky. (Princip Hallové sondy je naznačen na Obr. 1.3).

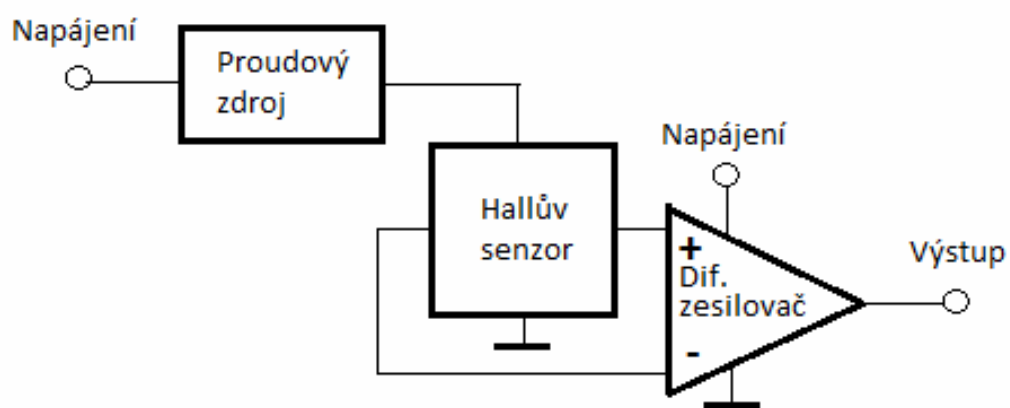
$$F_L = \int J \times B \cdot dV \quad (1.2)$$

, kde F je Lorentzova síla, J je proudová hustota a B je magnetická indukce



Obr. 1.3: Princip Hallové sondy [14]

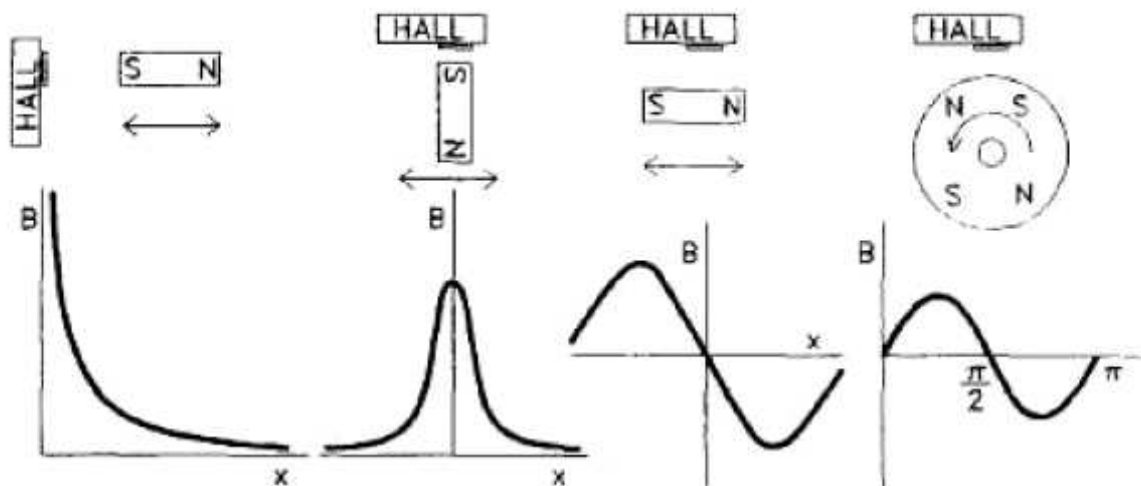
Hallovo vygenerované napětí je pak zesíleno diferenčním zesilovačem a dále zpracováno vyhodnocovacími obvody. Při správném zpracování a vyhodnocení snímaného napětí lze získat velice přesné absolutní senzory polohy s vysokou rozlišovací schopností. V dnešní době existuje mnoho druhů a modifikací těchto senzorů polohy, od základního (princieliálního zapojení viz Obr. 1.4) po integrované verze s analogovým nebo digitálním výstupem v kombinaci s SPI rozhraním.



Obr. 1.4: Principiální zapojení Hallova senzoru polohy

U integrovaných verzí těchto senzorů jsou pak samozřejmostí výstupy pro nastavení citlivosti, řízení zisku a teplotní kompenzace. Pro správnou činnost daného typu senzoru musíme klást důraz na kritické faktory, jako je např. spínací vzdálenost, druh snímaného materiálu i v neposlední řadě způsob kabeláže a elektrického připojení a jejich mechanická odolnost.

Oblast, ve které leze jednotlivé druhy Hallovyh senzorů použít je určena povahou snímaného magnetického pole a jeho polaritou. Integrované typy senzorů jsou unipolární (reagují pouze na jeden pól magnetického pole), (oba póly) nebo kombinované (úprava změnou zapojení). Různé druhy pohybu magnetického pole jsou znázorněny na Obr. 1.5.



Obr. 1.5: Závislost magnetické indukce na způsobu pohybu magnetického pole [6]

1.2 Relativní metody snímání polohy

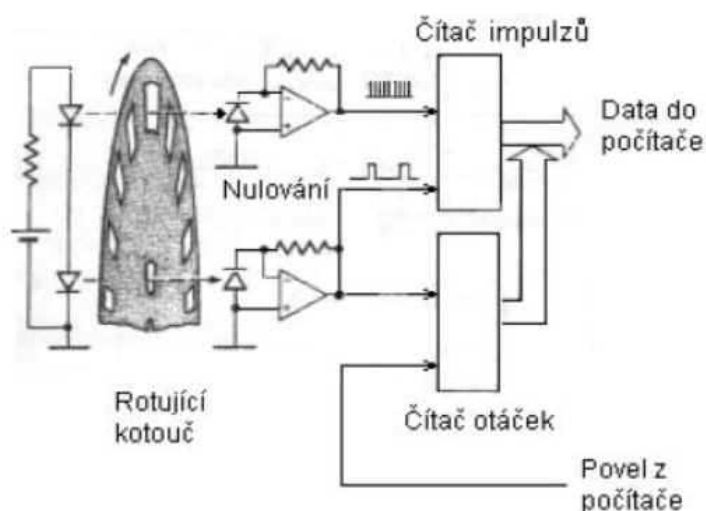
Relativní metody snímání polohy jsou založeny na principu, kdy předchozí poloha systému byla řádně uložena (zapamatována) a s její pomocí je určena další (aktuální) poloha.

1.2.1 Inkrementační optoelektronické senzory polohy

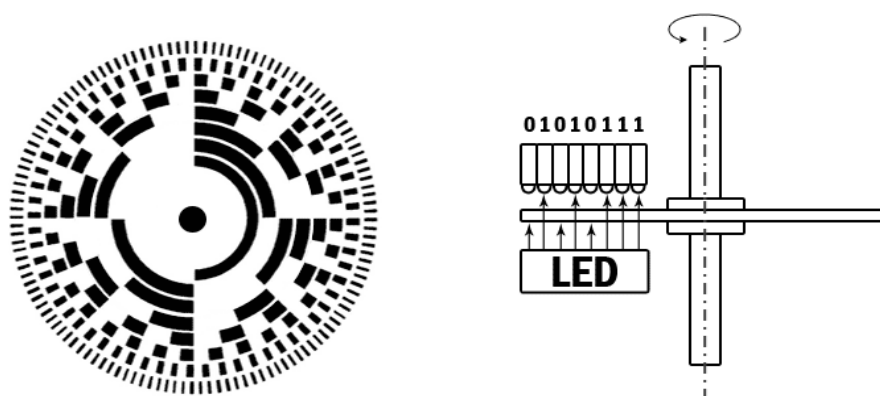
Inkrementační optoelektronické senzory jsou založeny na principu modifikace světelného toku mezi přijímačem a vysílačem vlivem změny polohy a následné modifikace na vyhodnocovatelný elektrický signál. Příklad optoelektronického senzoru je na Obr. 1.6.

System používající tuto metodu snímání je založen na soustavě světelného zdroje, rotačního disku s neprůhlednými a průhlednými oblastmi, světelnými detektory (viz Obr. 1.7), které jsou umístěny vůči sobě (určení směru pohybu) a vyhodnocovacími obvody.

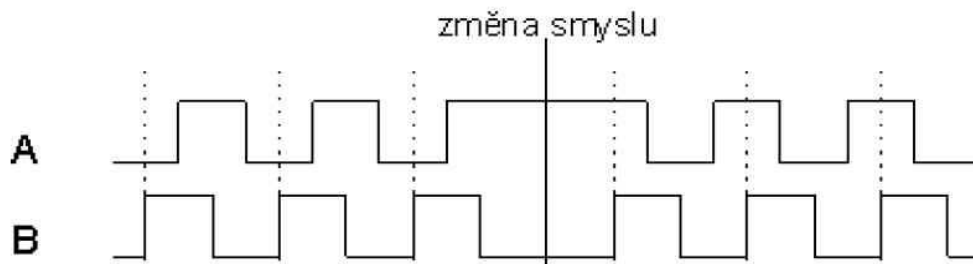
Vytvořený rastr je prosvěcován zdrojem světla (LED diody apod.), které je detekováno na příslušných detektorech, detekovaný signál je zpracován interními tvarovacími obvody a vyhodnocen. Počet impulsů nese informaci o poloze a sekvence impulsů (viz Obr. 1.8) na jednotlivých detektorech informaci o směru otáčení (nutnost pevný clon). Rozlišovací schopnost je závislá na velikosti vytvořených průhledných a neprůhledných proužků. V praxi se používají dva inverzní kanály, které zvyšují spolehlivost těchto typů senzorů. [2]



Obr. 1.6: Příklad optoelektronického senzoru [3]



Obr. 1.7: Inkrementační senzor polohy [5]



Obr. 1.7: Příklad sekvence signálů od jednotlivých senzorů [4]

1.2.2 Mechanické inkrementační senzory polohy

Mechanické inkrementační (dekrementační) senzory polohy pracují na podobném principu jako výše uvedené inkrementační optoelektronické senzory. Jen využívají místo světelného zdroje a detektoru mechanické spínače. Pulzy vzniklé spínáním se přičítají (odečítají) k poslední zaznamenané hodnotě polohy. Vyhodnocení aktuální polohy je realizováno vztahením koncové hodnoty vůči referenci. [2]

Tento druh senzoru je vhodný pro méně přesné aplikace z důvodu náchylnosti pro vznik odchylek při náhlém výpadku napájení (poslední uložená pozice je chybná). Další nevýhodou je nízká životnost omezená počtem sepnutí a mechanickou stavbou použitých spínačů.

1.3 Metody snímání polohy – vyhodnocení

Srovnáním všech výše uvedených metod (a typů senzorů) používaných pro měření polohy různých předmětů je patrné, že nejvíce výhod lze najít u senzorů, které jsou ze skupiny absolutních metod. Výhodou těchto metod je velké množství senzorů

(obzvláště ze skupiny Hallových senzorů), které mají dlouhou životnost, mnoho modifikací pro konkrétní oblasti použití a snadná implementace. Nedochozí k žádnému mechanickému opotřebení senzoru během provozu jako je tomu např. u elektrokontaktních senzorů. Trpí zde mechanicky nejenom vlastní spínače, ale i uložení mechanických styčných částí. Navíc vznik oxidů na kontaktech hlavně při venkovním použití zhoršuje elektrické vlastnosti a tím i přesnost měření (čítání impulsů).

Uvážením všech výhod a nevýhod bylo dospěno k volbě absolutní metody snímání polohy pomocí snímače na bázi Hallova senzoru (výstup bude poskytovat absolutní signál informace o poloze), vhodného zdroje permanentního magnetického pole a soustavy indukčních čidel ve funkci koncových spínačů (ochrana proti přetočení mimo stanovené meze).

2. Metody ochrany překročení mezí

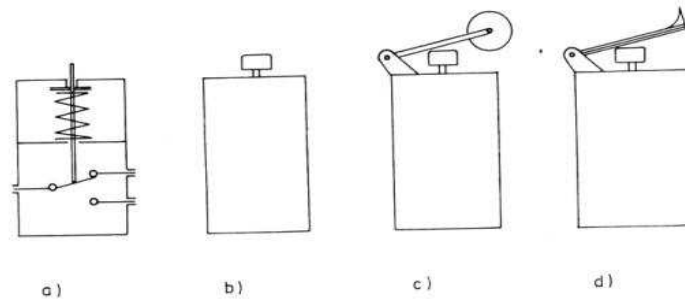
Tyto metody využívají skupinu senzorů pro detekci předmětu ve své detekční zóně. Liší se způsobem detekce a detekčními vzdálenostmi. Patří sem mechanické senzory, které reagují na přímý kontakt s detekovaným předmětem a magnetické, které reagují na kovové předměty nebo magnetické pole.

2.1 Mechanické elektrokontaktní senzory polohy

Princip těchto senzorů spočívá ve skokové změně odporu (nejjednodušší případem je nulový a nekonečný odpor) jednoho nebo více kontaktů vhodně umístěných v blízkosti dráhy pohybu snímané části systému. Ovládání spínání je zajištěno pomocí přímého mechanického kontaktu. [1]

Tento druh senzorů se využívá nejčastěji jako součást tzv. koncových spínačů (hojně zastoupení ve výtahové a automatizační technice). Různé druhy mechanických elektrokontaktních senzorů jsou uvedeny na Obr. 2.1. [2]

Mezi nevýhody patří mechanické opotřebení styčných částí a vnitřních kontaktů. Ve venkovních podmínkách potom nadměrná oxidace kontaktů a s tím i možnost vzniku oblouku při velkých spínaných proudech.



Obr. 2.1: Elektrokontaktní senzory: a) vnitřní uspořádání, b) přímý, c) kladkový, d) západkový [2]

2.3 Magnetické elektrokontaktní senzory polohy

Princip magnetických elektrokontaktních senzorů je totožný jako u mechanických, které byly uvedeny výše. Hlavní rozdíl je, že nejsou spínány kontaktně pomocí mechanických prvků, nýbrž bezkontaktně pomocí magnetického pole. Hlavními zástupci této skupiny senzorů jsou bezesporu jazýčková relé, používaná dříve masivně v telekomunikační technice díky rychlým odezvám na změny magnetického pole.

Princip těchto senzorů spočívá ve využití silových účinků magnetického pole permanentního magnetu na jazýčky z magneticky měkkého materiálu zatavené do skleněné trubičky v níž je napuštěn inertní plyn.

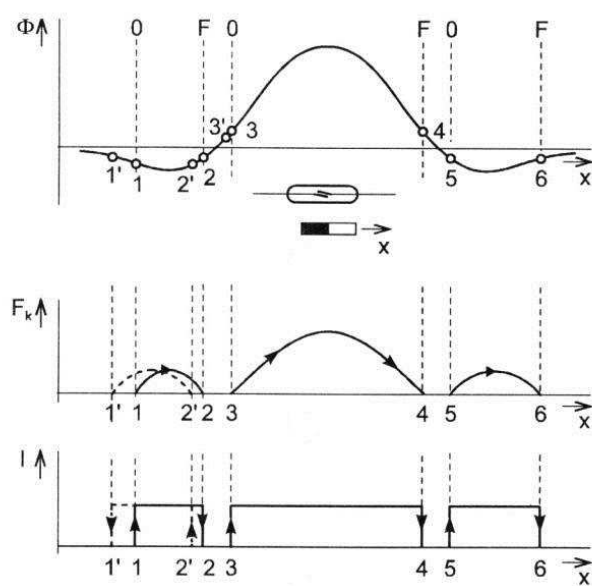
Na kontakty působí síla: $F = F_M - F_D$ (viz vztahy níže)

$$F_M = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S} \quad (2.1)$$

$$F_D = k \frac{\delta_0 - \delta}{2} \quad (2.2)$$

, kde F_M je síla vyvolaná permanentním magnetem, Φ je magnetický tok, μ_0 je permeabilita vakua, S je plocha překrytí kontaktů, F_D je direktivní síla kontaktů, k je tuhost jazýčků, δ_0 je počáteční poloha a δ je koncová poloha. [1] [2]

Využití jazýčkových relé jako magnetických elektrokontaktních senzorů polohy je analogické jako u mechanických, tzn. koncové spínače nebo v soustavách pro snímání polohy s hrubým rozlišením (automatizace). Spínací diagram jazýčkových relé je na Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Spínací diagram jazýčkového relé [2]

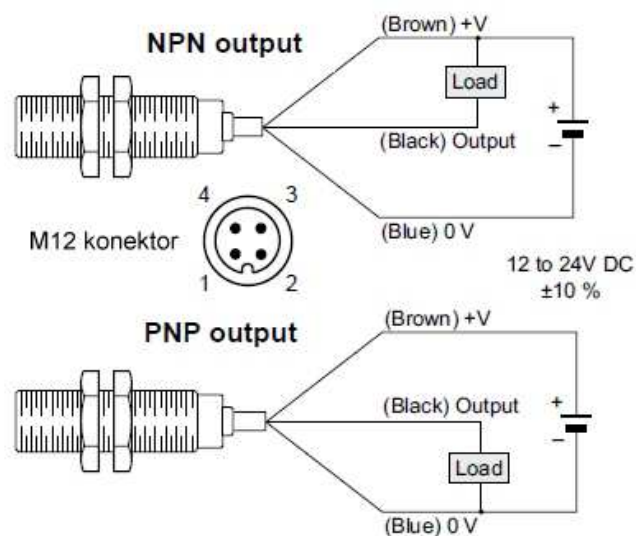
2.2 Indukční senzory polohy

Indukční senzory polohy jsou založeny na principu rozladování interního oscilátoru vlivem vířivých proudů, které vznikají přiblížením kovového předmětu ke snímací straně (cívce) senzoru.

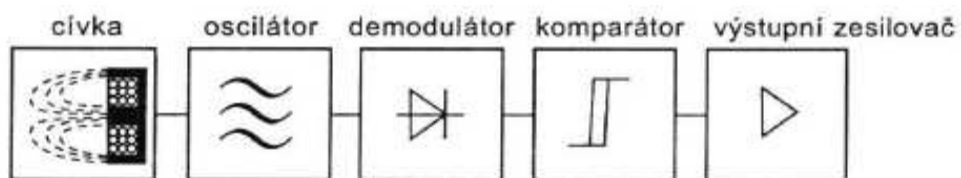
Oscilátor vyzařuje ve snímací ose vysokofrekvenční elektromagnetické pole, jehož velikost se liší dle použitého typu senzoru (rozdíl v mezní detekovatelné vzdálenosti). Pokud dojde k přiblížení kovového předmětu k čelu snímací cívky pod

mezní vzdálenost nutnou pro detekci, vzniknou v něm vířivé proudy, které začnou tlumit kmitání LC rezonančního obvodu. Tím dojde k rozladění oscilátoru, jeho signál je demodulován, porovnán s referenční prahovou hodnotou a v případě přítomnosti kovového předmětu je překlopen komparátor. [2]

Rozlišujeme dva základní druhy indukčních snímačů, a to typu NPN nebo PNP dle způsobu připojení zátěže (viz Obr. 2.3). Principiální blokové schéma indukčního senzoru polohy je na Obr. 2.4. Nejčastější uplatnění těchto senzorů je ve funkci bezkontaktních koncových spínačů v automatizaci či výtahové technice.



Obr. 2.3: Druhy indukčních snímačů [8]



Obr. 2.4: Blokové schéma indukčního senzoru polohy [2]

3. Popis systému

3.1 Původní konfigurace

Systém pozemní stanice projektu „PilsenCube“ byl založen na soustavě antén, natáčecím rotátoru (elevace a azimut), řídicí jednotce Alfaspid a ovládacím softwaru „HAM radio deluxe“.

Polohování anténního systému bylo možno nastavovat manuálně dle požadavků uživatele, nebo automaticky pomocí softwaru „HAM radio deluxe“, který umožňoval automaticky nastavovat úhly potřebné k zaměření a sledování požadovaných družic. Při tomto provozu však docházelo ke značným odchylkám co do velikosti nastavovaných úhlů elevace a azimutu polohovaných antén až do té míry, že nebylo možno nejen požadovanou družici zaměřit, ale i k velmi častému přetočení antén mimo povolený rozsah a s tím i vzniku rizika poškození kabeláže hlavně v rovině azimutu. Anténní systém se pak musel složitě uvádět do výchozí polohy za pomoci manuálního ovládání. Níže následuje popis těch částí systému, na které se bylo nutno se z hlediska řešeného problému zaměřit, nebo na ně brát při návrhu zřetel.

3.1.1 Antény

Systém antén je sestaven ze tří typů dle kmitočtového rozdělení oblasti použití. První anténa je 14-prvková „Cross yagi 2MCP14“ (viz Obr. 3.1), která je určena pro amatérské pásmo 144 – 145 MHz. Její zisk je 10,2 dB. Má kruhový vyzařovací diagram se šířkou svazku 52° a napájecí impedanci 50 Ω. Pro napájení je zde použit nízkoutlumový koaxiální kabel typu Ekoflex.

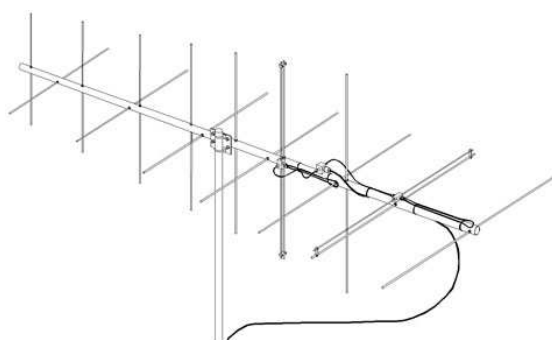
Druhá anténa je typu „Cross yagi 436CP30“ (viz Obr. 3.2), která je určena pro amatérské pásmo 432 – 436 MHz. Její zisk je 14,5 dB. Má kruhový vyzařovací diagram se šířkou svazku 30° a napájecí impedanci 50 Ω.

Třetí anténa je parabolická „RFHAMDESIGN mesh dish“ (viz Obr. 3.3) o průměru 1,9 metru. Využívá speciální technologii HELIX LHCP pro komunikaci na kmitočtu 2,4 GHz. Její zisk je 29,2 dB. Šířka svazku je 5,1°. V systému je využívána převážně pro komunikaci systému pikosatelitů „PilsenCube“.

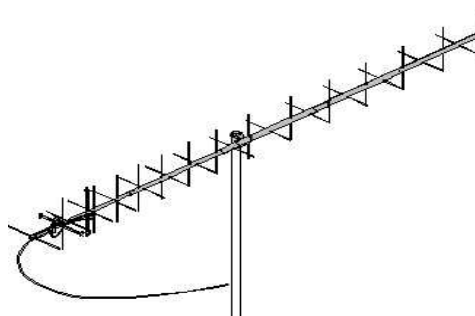
Srovnáním parametrů antén a obzvláště jejich šířky svazků je zřejmé, že maximální možná odchylka systému se vypočítá (rovnice 3.1) dle nejmenší hodnoty šířky svazku tj. 5,1° u parabolické antény. Odchylka systému tedy nesmí při provozu v pásmu 2,4 GHz přesáhnout 2,55°.

$$\Delta\varphi = \frac{BW}{2} \quad (3.1)$$

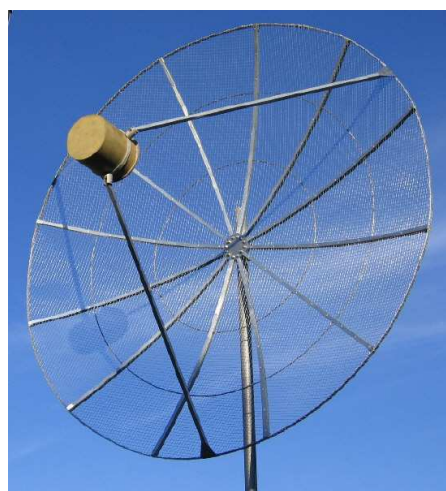
, kde $\Delta\varphi$ je úhlová odchylka a BW je šířka svazku antény



Obr. 3.1: Cross yagi 2MCP14 [9]



Obr. 3.2: Cross yagi 436CP30 [10]



Obr. 3.3: Parabolická anténa „RFHAMDESIGN mesh dish 1,9 m“ [11]

3.1.2 Rotátor

Rotátor, který je zde použit je typu „BIGRAS Alfaspid“ (viz Obr. 3.4), umožňující plynulou změnu azimutu a elevace nainstalovaných antén. Tvoří ho dva nezávislé motory o napájecím napětí 12 V, soustava převodů a impulsní výstupy tvořené mechanickými spínači pro relativní inkrementační snímání polohy.

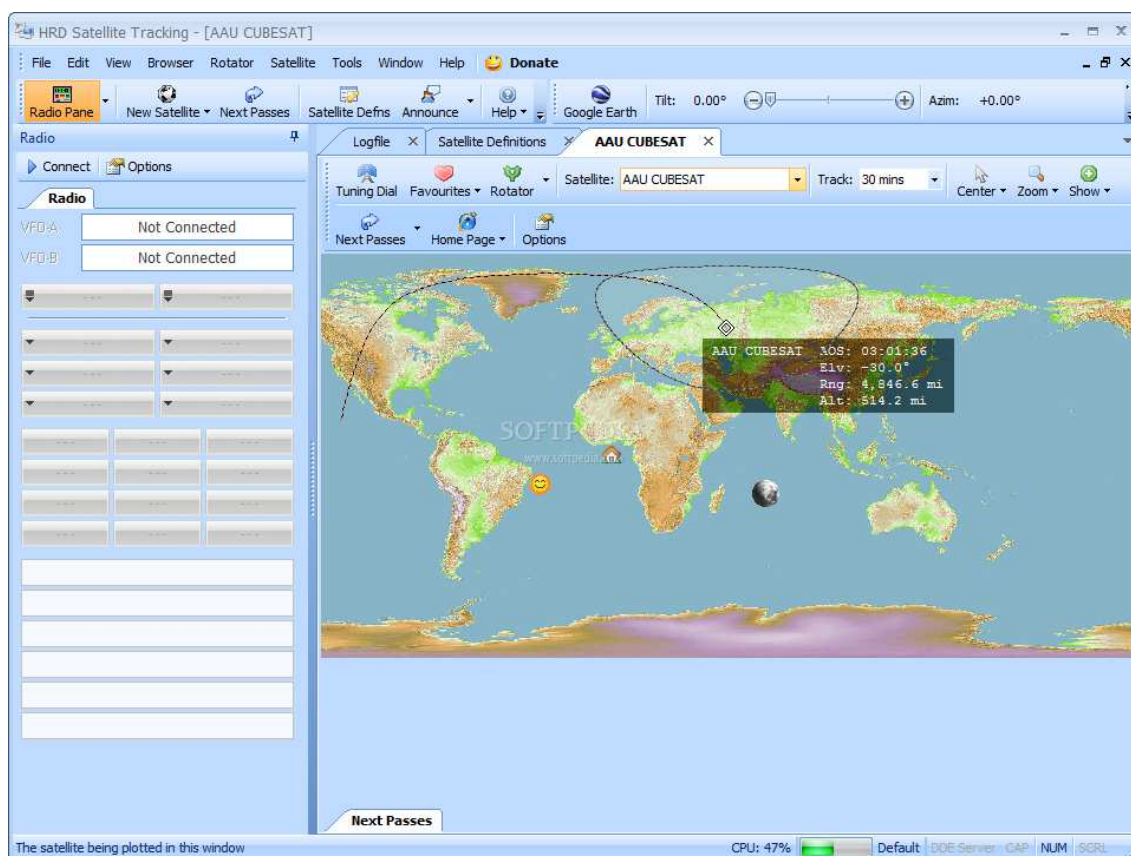
Tento typ snímání úhlu v kombinaci s originální řídicí jednotkou způsoboval vznik náhodných chyb. Již po druhém sledování přeletu družice nebylo možno se systémem dále pracovat. Odchyly od skutečné polohy dosahovaly desítky stupňů a další pokusy o sledování družice končily i extrémní situací, kdy se anténní systém přetočil i o více než 360°. Chyby nedosahovali stejných velikostí, ale vyskytovaly se po každém použití automatického režimu. Ke kritickým chybám docházelo i z důvodu absence ochrany proti přetočení mimo povolené meze.



Obr. 3.4: Rotátor „BIGRAS Alfaspid“ [11]

3.1.3 Ovládací software

Jako původní ovládací software byly používány různé verze „HAM radio deluxe,, (viz ilustrativní Obr. 3.5), jehož hlavním úkolem bylo řídit natáčení rotátoru v obou rovinách, řídit trasreceiver a jeho funkce (korekce Dopplerovského posunu apod.) a provádět kalkulace orbitálních drah předvolených satelitů (automatické řízení pozice antén). Jednalo se o freeware (byly i placené verze), který měl jednoduché ovládání a pro projekt „PilsenCube“ i ostatní amatérské aplikace by byl dostačující. S řídicí jednotkou komunikoval pomocí převodníku USB - RS232. Hlavním problémem byla velmi pomalá komunikace 600 Bd s řídicí jednotkou.



Obr. 3.5: Program „HAM radio deluxe“ [16]

3.1.4 Originální řídicí jednotka

Řídicí jednotka pro ovládání anténního natáčecího systému byla typu „AlfaSpid Rotator RAS Controller“. Umožňovala manuální natáčení anténního systému pomocí ovládacích prvků na čelním panelu (viz Obr. 3.6), pomocí speciálního dálkového ovladače připojeného pomocí kabelu i plně automatický provoz, řízený po sériové lince RS232 vhodným softwarem. V zadní části jednotky (viz Obr. 3.7) byly umístěny dva konektory pro napájení motorů rotátoru (azimut a elevace), konektor RS232 pro připojení k PC a konektor dálkového ovládání. Popis jednotlivých ovládacích prvků je uveden v tabulce Tab. 1 a popis prvků na zadním panelu v tabulce Tab. 2.

Použitá jednotka měla nízkou komunikační rychlost 600 Bd což byl dosti závažný technický nedostatek této série řídicích jednotek z hlediska chyb v řízení. Při rychlém vysílání příkazových paketů nestačila jednotka některé z nich správně přijmout a zpracovat. Nízký kmitočet řídicího procesoru (viditelné problikávání displeje) mohl zapříčinit nesprávné čítání pulsů rotátoru a tím vznik různých odchylek natočení.

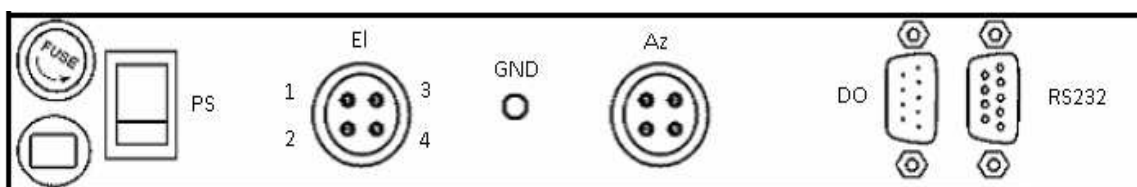
Další technickým problémem byl poddimenzovaný, napájecí zdroj společný pro rotátor i řídicí obvody, který byl integrován v jednotce. Krátce po instalaci musel být pro napájení motorů vytvořen externí zdroj kvůli častým výpadkům celé jednotky při proudových nárazech rozebíhajících se motorů rotátoru.



Obr. 3.6: Čelní panel [11]

Tab. 1: Funkce ovládacích prvků na předním panelu

Symbol	Funkce
←	Natočení antény vlevo (zmenšení úhlu azimutu)
→	Natočení antény vpravo (zvětšení úhlu azimutu)
↑	Natočení antény nahoru (zvětšení úhlu elevace)
↓	Natočení antény dolů (zmenšení úhlu elevace)
S	Nastavení jednotky
F	Funkce jednotky



Obr. 3.7: Zadní panel

Tab. 2: Funkce prvků na zadním panelu

Symbol	Funkce
PS	Síťový vypínač
GND	Uzemění
DO	Konektor dálkového ovládání
RS232	Konektor sériové linky
EI	Konektor pro připojení rotátoru elevace Piny 1, 2 napájení 12V, piny 3, 4 impulzní vstup
Az	Konektor pro připojení rotátoru azimutu Zapojení pinů stejné jako u elevace

4. Úpravy systému

4.1 Nová jednotka Alfaspid

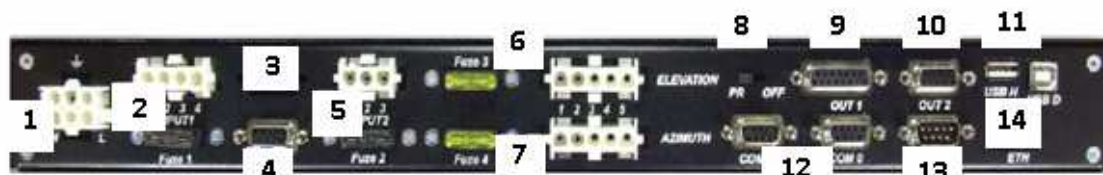
Řídící jednotka „Alfaspid MD-01“ s napájecím zdrojem PS-01 (viz Obr. 4.1) je modernizací použité řídicí jednotky „Alfaspid“ a byla vhodná pro výměnu za původní jednotku.

Byly zde vyřešeny tři základní nedostatky předchozího typu jednotky, které významně ovlivňovaly provozuschopnost a spolehlivost celého anténního a natáčecího systému. Vylepšení možností nastavení (lze nastavit pomalý rozběh a doběh motorů = zmenšení proudových nárazů), možnost využití rychlejší komunikace po sériové lince až do 115,2 kBd (nová jednotka disponuje již i připojením pomocí USB a tím odpadá nutnost použití převodníku USB – RS232) a vylepšením dimenzování samostatného napájecího zdroje až na proud $I_{MAX} = 40 \text{ A}$ pro oba natáčecí motory.



Obr. 4.1: Řídící jednotka Alfa spid MD-01 s napájecím zdrojem PS-01 [11]

Ovládání jednotky je možno manuálně přímo pomocí ovládacích prvků na přístroji nebo pomocí vhodného softwaru, který zajišťuje i automatické nastavování úhlů azimutu a elevace dle nastavené sledované družice dle parametrů jejího výskytu (přeletu). Komunikace mezi jednotkou a PC, je buď pomocí sériové linky RS232 nebo pomocí sběrnice USB. Všechny vstupy a výstupy na zadní straně této jednotky je možno vidět na Obr. 4.2. Popis jednotlivých vstupů a výstupů je obsažen v tabulce Tab. 3.



Obr. 4.2: Zadní strana řídicí jednotky MD-01 [11]

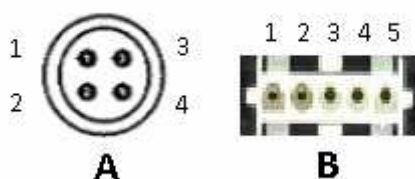
Tab. 3: Vstupy a výstupy řídicí jednotky

In / Out	Funkce
1	Vstup napájení 230V/50Hz
2	Vstup napájení +/-12V pro motory rotátoru
3	N.C.
4	Impulsní vstup pro Hallovy senzory
5	Vstup pro napájení ovládací elektroniky
6	Výstup napájení pro motor elevace a vstup jeho mechanického senzoru
7	Výstup napájení pro motor azimutu a vstup jeho mechanického senzoru
8	Přepínač pro normální chod (PR) a update firmwaru (OFF)
9	Univerzální výstup (budoucí využití)
10	I2C výstup pro řízení přepínače SW-01 (není součástí)
11	USB porty
12	RS 232 porty (COM 0 je pouze pro update firmwaru)
13	Vstup pro dálkové ovládání natočení rotátoru
14	RJ45 ethernet konektor (karta není součástí)

4.2 Instalace nové jednotky

Nová řídicí jednotka, jak bylo popsáno v předchozí kapitole, je ve svojí podstatě zdokonalený typ původní jednotky a tak její aplikace zaručuje plnou kompatibilitu s anténním rotátorem. Výstupní napájecí napětí pro rotátor bylo zachováno 12 V a vstupy pro impulsní výstupy také. Konektory pro připojení napájení rotátorů a jejich impulsní výstupy však byly vyměněny za jiný typ. Bylo tedy nutno učinit rozhodnutí zda stávající konektory vyměnit za nové (byly přiloženy jako příslušenství nové jednotky), nebo zachovat původní a vytvořit vhodné redukce.

Výhodnější volbou bylo zachování původních čtyř – pinových konektorů a zhotovení dvou redukcí (viz Obr. 4.3). Původní jednotku lze jednoduše navrátit zpět bez jakýchkoliv úprav konektorů. Zapojení pinů obou konektorů je uvedeno v tabulce Tab. 4.



Obr. 4.3: Konektory redukcí, a) původní jednotka, b) nová jednotka

Tab. 4: Zapojení pinů redukce

Původní jednotka		Nová jednotka	
Číslo pinu	Funkce	Číslo pinu	Funkce
1	+ pól motoru	1	+ pól motoru
2	- pól motoru	2	- pól motoru
3	Imp. vstup	3	Imp. vstup
4	Imp. vstup	4	Imp. vstup

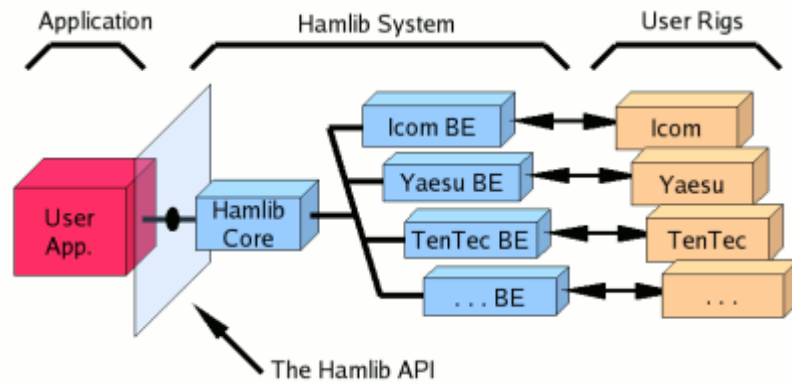
Po zhotovení obou redukcí byla jednotka připojena k rotátoru, sériové lince RS232 a pomocí USB k PC. Po zapnutí jednotky bylo nutno nastavit v integrovaném menu podle manuálu některá základní nastavení jako je aktivace komunikačních portů RS232 a USB a jejich komunikačních rychlostí, rozsahy nastavitelných úhlů rotátoru apod.. Komunikační rychlost pomocí USB byla nastavena na nejvyšší, a to na 115,2 kBd. Test manuálního i automatického provozu byl bezchybný a aktualizovaný software (viz dále) s jednotkou komunikoval správně.

4.3 Aktualizace programového vybavení

Použití jiného softwaru byla pro eliminaci chybovosti systému nutnost, protože původní nedokázal komunikovat s řídicí jednotkou vyšší rychlostí než 600 Bd. Jako vhodný software byla zvolena kombinace Predict, GPredict a HamLib běžících na platformě Linux.

Predict je konzolová aplikace pro predikci satelitních přeletů a využívá se jako řídicí aplikace. Gpredict je grafické rozhraní, které usnadňuje práci se systémem mimo konzoli. HamLib je systémem pro místní i dálkové ovládání rádií a rotátorů, který podporuje různé komunikační rychlosti a různé řídicí protokoly s plnou podporou mnoha typů rotátorů. HamLib s novou jednotkou komunikuje pomocí protokolu SPID rychlostí 115,2 kBd.

Tato kombinace použitého softwaru byla vhodným řešením aplikačního problému nové jednotky.



Obr. 4.4: Struktura systému Ham Lib [12]

4.4 Návrh snímače polohy

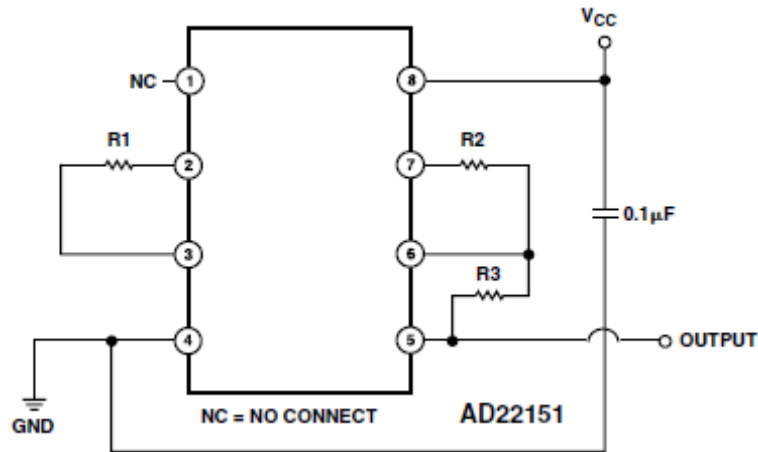
Nový snímač byl navržen jako doplňující součást systému pro paralelní chod s původním relativním snímačem polohy systému, kdy pro ovládací software na PC bude představovat další „virtuální“ rotátor bez možnosti jeho řízení.

Skládá se z části dvou sensorových bloků, které snímají polohu otočných částí systému a vyhodnocovací jednotky řízené mikropočítačem, která zpracovává vstupní informace a komunikuje s PC v řídicí místnosti. Tato koncepce byla navržena z důvodu zvýšení spolehlivosti, eliminace chyb a možnosti nastavení definované polohy při detekci odchylky mimo povolenou toleranci. V předchozí konfiguraci systému tato možnost nemohla být z principu realizována.

4.4.1 Volba metody snímání

Srovnáním výhod a nevýhod různých metod snímání polohy (viz kapitola 1) a jejich možností pro konstrukci přesného snímače polohy byla zvolena volba absolutní metody snímání pomocí vhodně vybraného senzoru na bázi Hallova jevu, kdy jeho výstup poskytuje absolutní signál informace o poloze. Cílem je eliminace situací, kdy se systém bude nacházet v nedefinované poloze.

V našem případě je senzor zapojen jako bipolární, protože je potřeba snímat oba póly diametrálně polarizovaného magnetického pole. Základní zapojení bipolárního snímače dle výrobce je na Obr. 4.6.



Obr. 4.6: Základní zapojení obvodu AD22151 jako bipolárního snímače [13]

Jednotlivé součástky byly zvoleny dle doporučení výrobce v katalogovém listu. Rezistor R1 slouží pro teplotní kompenzaci a výrobce doporučuje jeho hodnotu 18 k Ω pro kompenzaci teplotního driftu 200 ppm. Rezistory R2 a R3 slouží pro nastavení zisku výstupního zesilovače dle vztahu 4.1. Z tohoto vztahu je patrné, že nejmenší citlivost senzoru je 0,004 mV/ μ T. Rezistor R2 byl zvolen 1 k Ω a rezistor R3 byl nahrazen víceotáčkovým trimrem o velikosti 10 k Ω z důvodu přesného nastavení potřebného zisku po mechanické konstrukci. Poslední použitou součástí je blokovácí kondenzátor o standardní velikosti 100 nF.

$$Gain = 1 + \frac{R3}{R2} \cdot 0,004 \text{ mV} / \mu T \quad (4.1)$$

4.4.3 Návrh plošného spoje sensorového bloku

Plošný spoj pro sensorový blok byl navržen v programu Eagle. Schéma zapojení (viz příloha 1) bylo vytvořeno dle doporučeného schématu výrobce integrovaného obvodu a doplněno o signalizační LED diodu jako indikátoru přítomnosti napájecího napětí pro případ poruchy. Spoj byl pak navržen bez montážních otvorů z důvodu mechanického uložení poblíž otočné části s permanentním magnetem, kde není možné využít šroubů

Navržený plošný spoj včetně osazovacího schématu je v příloze 2 a 3.

4.4.4 Testování sensorového bloku

Osazený sensorový blok (viz Příloha 7) byl vizuálně zkontrolován, aby bylo zaručeno správné umístění vývodů integrovaného snímače, správné hodnoty součástek, žádné zkratky apod.. Poté byl umístěn na své místo ve vyrobené mechanické konstrukci (viz kapitola 4.7) a připojen na napájecí napětí 5 V. Voltmetrem bylo měřeno výstupní napětí.

Dále musel být ještě správně nastaven zisk výstupního zesilovače, protože po připojení napájení bylo výstupní napětí téměř v celém rozsahu úhlů v saturaci. To se provedlo pomocí víceotáčkového trimru pro řízení zisku výstupního zesilovače.

V této konfiguraci byla sledována závislost výstupního napětí sensorového bloku na úhlu natočení snímaného magnetického pole. Výstupní napětí se s polohou magnetického pole měnilo dle funkce sinus s offsetem 2,5 V. Tato skutečnost znamená, že sensorový blok lze využít pro absolutní snímání polohy jen v rozsahu 0-180° (možnost řešení tohoto problému je popsáno v závěru).

4.5 Návrh vyhodnocovací jednotky

Vyhodnocovací jednotka byla navržena tak, aby zajišťovala čtyři základní funkce: Poskytovala stabilizované napájecí napětí 5 V jak pro interní mikropočítač, tak i pro sensorové bloky, zpracovávala vstupní informace o poloze od sensorových bloků a indukčních čidel jako ochrany překročení mezí, poskytovala na výstupu informaci o poloze systému a komunikovala s ovládacím softwarem na PC.

Jednotka má dva analogové vstupy pro připojení sensorových bloků, dva digitální vstupy pro vstup informací o sepnutí/rozepnutí od indukčních čidel, dva výstupy pro externí řízení nové řídicí jednotky rotátoru a sériovou linku RS485 pro komunikaci s ovládacím softwarem na PC. Všechny vstupy jednotky jsou chráněny proti přepětí pomocí zenerových diod. Nebylo však provedeno žádné galvanické oddělení komunikační sběrnice a řídicích výstupů, protože všechny ostatní stávající prvky a jejich vedení, spojující ovládací místnost s venkovním systémem, tuto metodu zabezpečení postrádají a ztratilo by tedy svůj smysl.

Řídicí operace vykonává mikropočítač ATmega8 na 16 MHz a komunikaci po sběrnici RS485 zajišťuje diferenciální sběrnice vysílač/přijímač SN75176B.

4.5.1 Popis funkce vyhodnocovací jednotky

Základ jednotky tvoří mikropočítač ATmega8 v pouzdře TQFP32, který běží na kmitočtu 16 MHz. Je vybaven softwarově nevypnutelným diagnostickým časovačem nastaveným na 2 sekundy.

Program se skládá ze tří vrstev:

- HAL (Hardware Abstraction Layer) - základní obsluha HW
- UART - komunikace
- MAIN - aplikační vrstva

Program využívá hardwarového přerušení od UART sériové linky, od časovače TIMER1 a od AD převodníku při dokončení převodu. Jeden časový krok mikroprocesoru je 20 ms, časovač TIMER1 je nastaven na hodnotu 1ms se softwarovou děličkou 20. Je zde implementována diagnostika systému pomocí záznamu počtu a druhu chyb v EEPROM, a po vypnutí napájení se neztrácí. Tyto uchovaná data se používají jak pro prevenci vzniku chyb, tak pro informaci.

Program rozlišuje:

- chyby kritické

Po těchto chybách následuje hardwarový reset celého systému do výchozí polohy.

- chyby nekritické

Tento druh chyb se eviduje a následně se program vrátí do posledního bezpečného bodu.

Jednotka komunikuje prostřednictvím protokolu SPID (viz Obr. 4.7), který je v programu nasazen z důvodu kompatibility. SPID protokol používá pro komunikaci nová i originální řídicí jednotka. Jsou zde implementovány příkazy STOP, SET a STATUS, které vždy vrací jen informaci, která odpovídá aktuální poloze systému. Další příkaz s kódem 0x3F patří mezi tzv. vyšší kód, který není u řídicích jednotek využíván. Poskytuje ve znacích H* informaci o teplotě a ve znacích V* stavy digitálních vstupů ve formátu:

0x 0y 00 00

kde x a y jsou stavy digitálních vstupů IN1 a IN2, 0 znamená vstup neaktivní, F znamená vstup aktivní.

Příkazy STOP a SET zde byly implementovány proto (vyhodnocovací jednotka neumožňuje funkce plnohodnotné řídicí jednotky), aby při vyslání příkazu ovládacím

softwarem k vyhodnocovací jednotce nebyl navrácen chybový paket. Režim přesnosti je v protokolu nastaven na 0.25 stupně, tzn. byty PH a PV mají hodnotu 0x04.

S	H1	H2	H3	H4	PH	V1	V2	V3	V4	PV	END
0x57	0x03	0x07	0x02	0x05	0x02	0x03	0x09	0x04	0x00	0x02	0x20

azimut (H1 – H4) = $372.5^\circ - 360^\circ = 12.5^\circ$, elevace (V1 – V4) = $394.0^\circ - 360^\circ = 34.0^\circ$

PH = PV = 0x02 (přesnost 0.5 stupně), S = start byte, END = stop byte

Obr. 4.7: Formát jednoho rámce protokolu SPID (ilustrativní příklad)

Komunikace mezi vyhodnocovací jednotkou a řídicím softwarem na PC je nastavena na rychlost 115200 Bd v 8 bitovém režimu a bez parity dle výše uvedeného protokolu. Vrstva UART je realizována dvěma kruhovými buffery pro vysílání a příjem o velikosti 16 bytů. Přepínání směru komunikace je řízeno automaticky. Po odeslání paketu s příslušným příkazem přechází opět PC na příjem. Ke kolizi nemůže dojít, protože každá strana čeká na dokončení přenosu a zpracování požadavku ze strany druhé. Existuje zde možnost připojení i dalších jednotek, které komunikují stejným způsobem.

Program je dokumentován pomocí automatického dokumentačního systému DOXYGEN.

4.5.2 Návrh plošného spoje vyhodnocovací jednotky

Plošný spoj byl vytvořen dle schématu, jehož základem bylo typické zapojení mikropočítače ATmega8 uváděné jeho výrobcem. Dále následovaly jeho úpravy vzhledem k typu a použití jednotlivých požadovaných vstupů a výstupů. Nakonec byly do schématu účelně umístěny ochranné zenerovy diody, diferenciální sběrníkový vysílač/přijímač SN75176B a mechanicky odolné konektory WAGO500.

Kompletní schéma zapojení vyhodnocovací jednotky je v příloze 3, navržený plošný spoj a osazovací schéma je v příloze 4 a 5.

4.5.3 Testování vyhodnocovací jednotky

Po osazení a vizuální kontrole jednotlivých součástí a jejich správného umístění byla jednotka (osazená jednotka viz Příloha 8 a 9) připojena na napájecí napětí 12 V a naprogramována. Funkčnost všech součástí byla bezchybná a mohlo se přejít k testování.

Na příslušné analogové vstupy (vstupy pro sensorové bloky) byly připojeny dva precizní víceotáčkové potenciometry jako odporové děliče pro simulaci sensorových bloků. Jejich odporová dráha byla připojena na napájecí napětí 5 V. Sériový vstup/výstup jednotky byl propojen s příslušným vstupem/výstupem převodníku RS485-USB na PC.

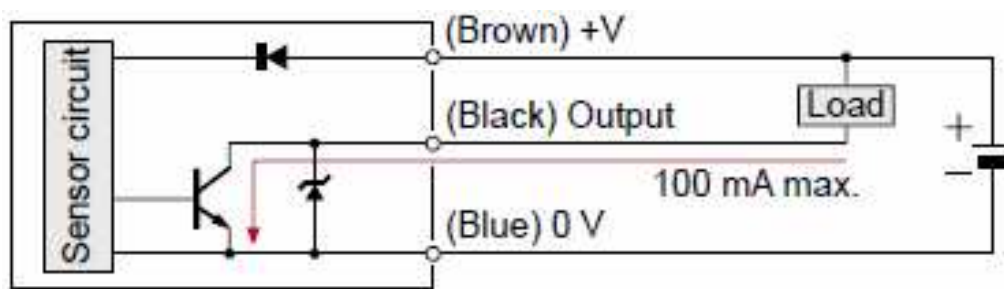
Polohy jezdců znamenaly určitá vstupní napětí, která byla jednotkou zpracována. Výsledky (hodnoty úhlů) byly pomocí použitého protokolu SPID přeneseny sériovou linkou a vyhodnoceny řídicím softwarem na PC kdykoliv, kdy byl odeslán jakýkoliv z příkazů. K žádným chybám nedošlo ani při příkazech SET a STOP, které má jednotka implementované a na které by jinak principiálně reagovala odesláním chybového paketu.

4.6 Návrh ochrany překročení mezí

Ochrana překročení mezí byla navržena tak, aby bylo zabráněno natočení systému mimo pracovní rozsah a tím byl eliminován vznik kritických chyb a poškození kabeláže v rovině azimutu. Skládá se z dvou senzorů a odpojovacích relé. Snímací prvky byly zvoleny ze skupiny indukčních snímačů. Důvodem volby byla vyšší životnost a odolnost ve venkovních podmínkách.

Pro náš účel byly vybrány senzory TS12-02N-2 od Highly electric, které mají napájecí napětí 10-24 V, snímací vzdálenost 2 mm a jsou typu NPN (viz Obr. 4.8). V klidovém stavu jsou výstupy otevřených kolektorů připojeny na zem. To znamená, že zátěží (cívka relé), která se připojuje mezi kladný pól napájecího napětí a výstup otevřeného kolektoru, protéká proud, dokud není senzorem detekován kovový předmět. Tento typ indukčních senzorů byl zvolen proto, aby při výpadku napájení této ochrany nebylo možno provozovat dále rotátor, který by byl v této situaci nechráněn z hlediska možnosti přetočení mimo meze.

Jako odpojovací relé byly zvoleny RP 1P/16 A, 12 VDC od firmy Schrack. Maximální spínaný proud 16 A je pro naši aplikaci dostatečný.



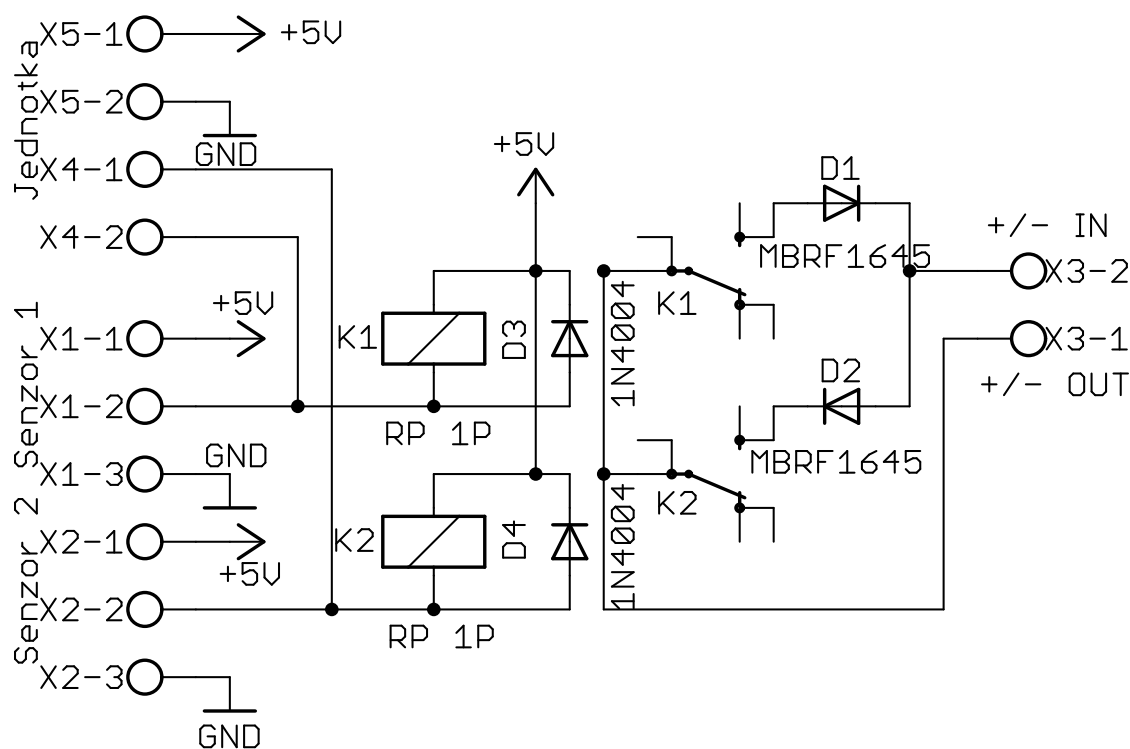
Obr. 4.8: Indukční senzor typu NPN

4.6.1 Popis funkce

Po připojení napájecího napětí 12 V a absenci kovového tělesa ve snímací zóně dojde k sepnutí obou snímačů a tím i k sepnutí obou relé, které přes diody umožňují napájení motorů rotátoru (viz schéma na Obr. 4.9). Napětí, která jsou mezi vývodem otevřeného kolektoru a zemí jsou připojena na digitální vstupy vyhodnocovací jednotky kvůli důležité informaci dosažení jedné z krajních mezí. Vstupní napětí je parametrickým stabilizátorem se zenerovou diodou upraveno na úroveň 5 V v aktivním stavu (detekován kovový předmět).

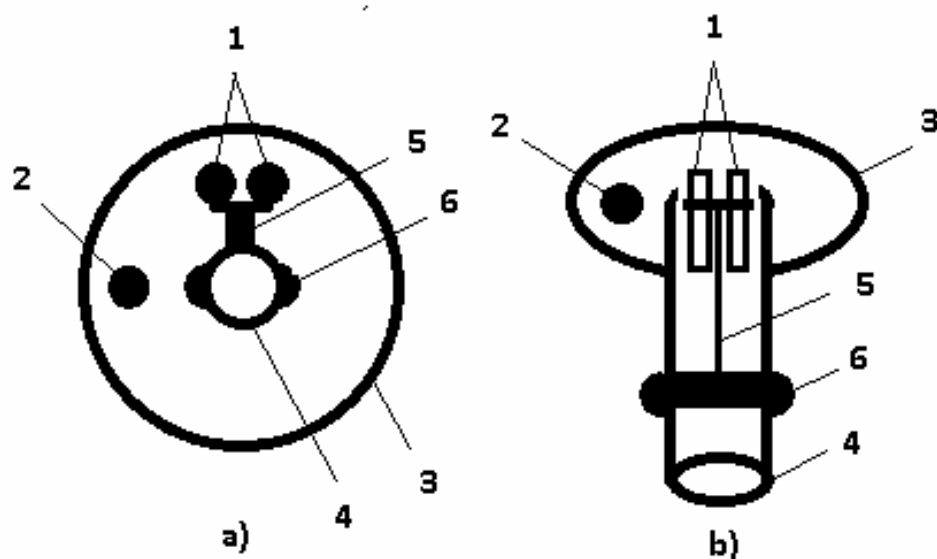
Detekce kovového předmětu ve snímací zóně senzoru má za následek rozepnutí příslušného indukčního snímače a relé. To způsobí změnu logické úrovně na jednom ze

vstupů vyhodnocovací jednotky a situaci, kdy řídicí jednotka může přivádět na motor azimutu pouze jednu polaritu napětí díky použitým diodám a rotovat anténním systémem jen jedním směrem. Rotace druhým směrem, díky možnosti přivádět obě polaritu napětí na motor azimutu, je obnovena ihned po vzdálení detekovaného předmětu.



Obr. 4.9: Schéma ochrany proti překročení mezí

Mechanická konstrukce byla navržena velmi jednoduchým a účelným způsobem. Orientační schéma mechanické konstrukce je na Obr.4.10. Skládá se z nosné konstrukce kovového ramena (5) s upevňovací objímkou (6) na nosný stožár venkovního systému (4), obdélníkového můstku se dvěma otvory o průměru 12mm pro upevnění vlastních indukčních senzorů (1) a šroubu (2) jako snímaného kovového objektu připevněného na otočné části rotátoru (3).



Obr. 4.10: Schéma mechanické konstrukce. Pohled: a) zespoda, b) z boku

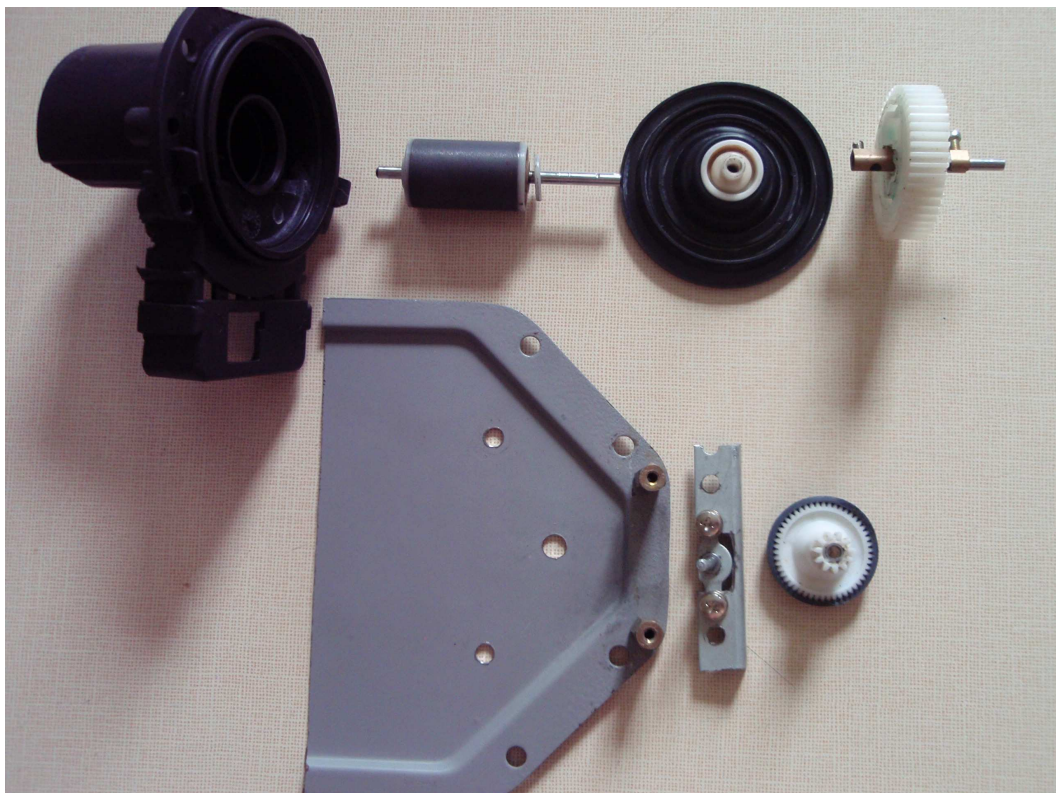
4.6 Mechanická konstrukce snímacích bloků

Dále byla řešena mechanická konstrukce snímačů polohy. Bylo nutno řešit převod pohybu otočných částí rotátoru na kruhový pohyb permanentního diametrálně polarizovaného magnetu. Následně pak způsob upevnění navržených bloků snímačů do blízkosti magnetického pole a konstrukce prvků pro montáž celého zařízení na stožár anténního systému.

Původní myšlenka eliminace mechanických převodů přímým, bezkontaktním snímáním magnetického pole magnetu, musela být u snímání azimutu zavržena kvůli zásadním technickým překážkám. Celý systém rotátoru a antén by musel být kompletně demontován ze stožáru, aby prstencový magnet mohl být nasazen na otočnou část rotátoru. Tohoto lze díky velké váze a umístění dosáhnout jen pomocí zvedací techniky. Možnost rozříznutí tohoto magnetu by byla záležitost jak technicky náročná, tak by mohla při nedokonalém chlazení způsobit demagnetizaci materiálu kvůli překročení Currieovy teploty.

4.6.1 Mechanika snímače azimutu

Jako základní prvek mechaniky snímače azimutu byla použita část čerpadla s magnetickou kotvou. Použitý magnet byl diametrálně polarizován a představoval vhodný zdroj permanentního magnetického pole, které bude sensorovým blokem snímáno. Tělo čerpadla bylo pomocí čtyř šroubů připevněno k nosnému plechu o tloušťce 1mm (vinutí a magnetický obvod bylo nutno odstranit). Ve střední části tohoto plechu byl vyvrtán otvor pro hřídel kotvy na kterou bylo upevněno ozubené kolo o styčném průměru 4 cm. Ve vzdálenosti 2,3 cm od středu osy kotvy byla umístěna hřídel snímacího kola. Tato hřídel byla dvojicí šroubů připevněna na 1,5 cm vyvýšený můstek, připevněný dvojicí distančních sloupků. Na hřídel bylo nasazeno snímací kolo o spodním styčném průměru 1 cm (styk se středovým kolem) a horním styčným průměru 2,9 cm (styk s otočnou částí rotátoru v rovině azimutu). Jednotlivé části mechanického zařízení pro snímání velikosti azimutu je na Obr. 4.11.

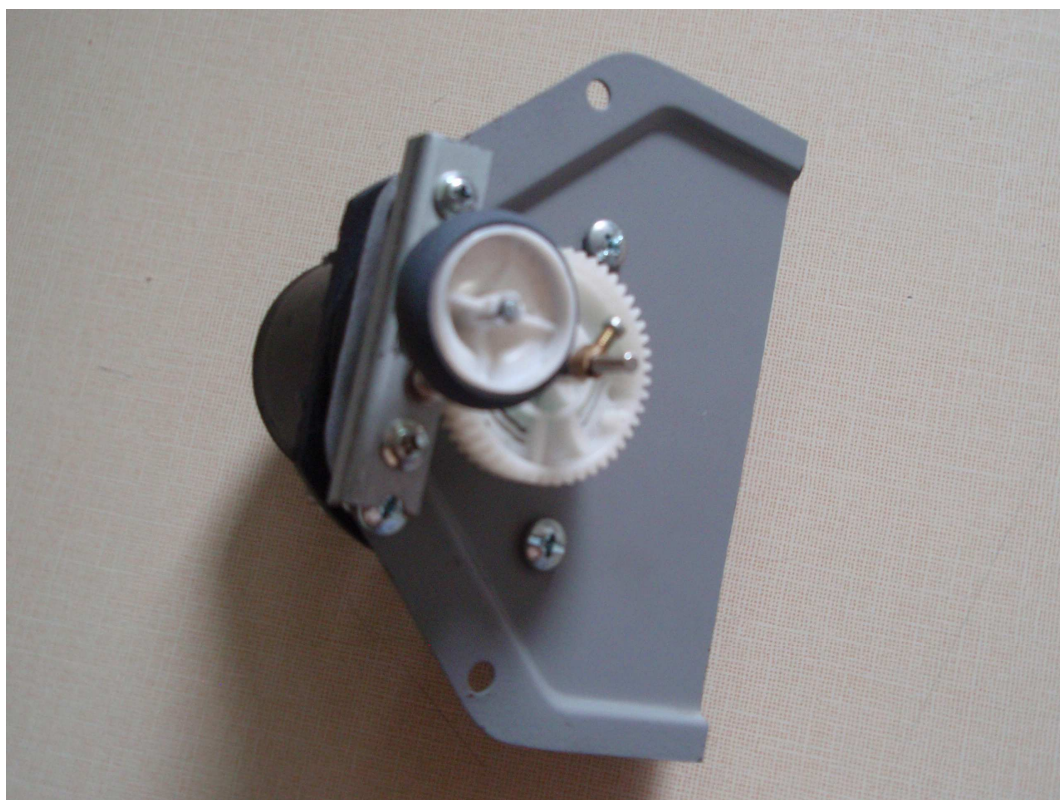


Obr. 4.11: Jednotlivé části mechaniky azimutu

Z průměru styčných ploch ozubených kol vyplývá, že jejich převod je 1:4, tzn. čtyři otáčky snímacího kola vytvoří jednu otáčku kola středového a tím i magnetické kotvy. Vhodnou volbou (výpočtem) poloměru otočné části rotátoru, kde se bude pohybovat snímací kolo, bude dosaženo celkového převodu systému 1:1.

Toto řešení samozřejmě zanáší do snímacího řetězce chybu vzniklou tolerancí styčných ploch mechanických převodů. Bylo nutné snímací kolo a otočnou plochu rotátoru vhodně vybavit odolným gumovým povrchem a obě převodová kola umístit co nejtěsněji k sobě.

Sestavená mechanika je na Obr. 4.12.



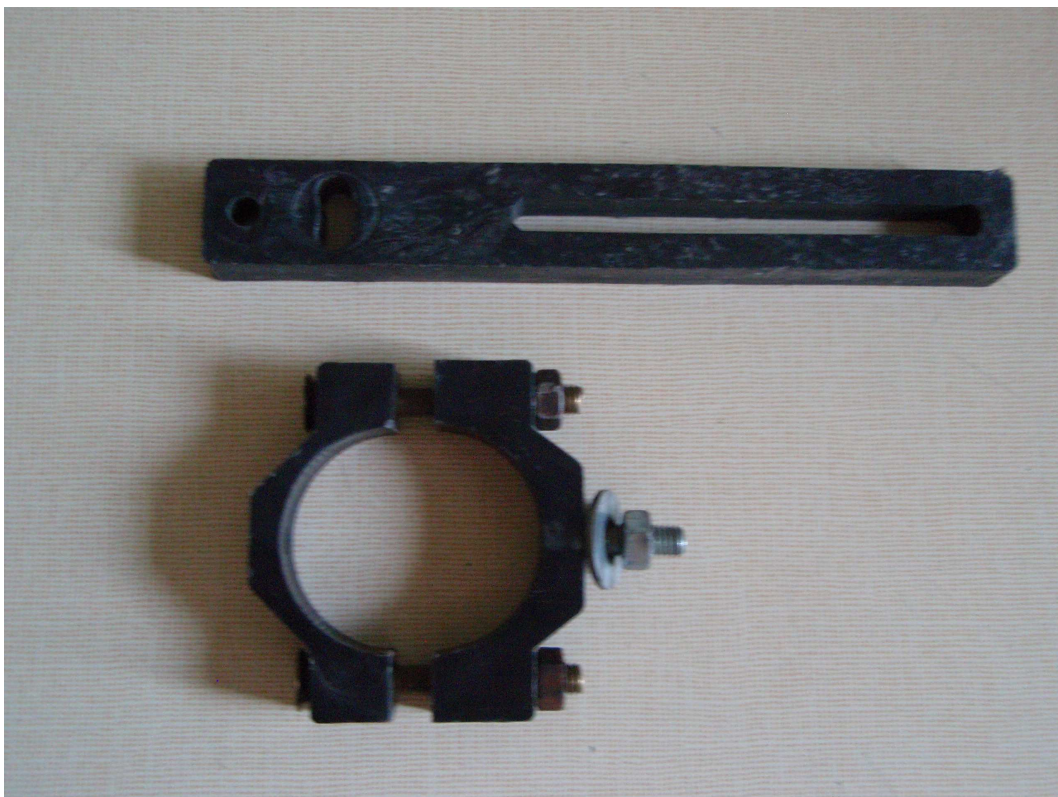
Obr. 4.12: Sestavená mechanika azimutu

4.6.2 Mechanika snímače elevace

Pro snímání elevace nebylo potřeba použití celého kruhového magnetu, protože se v této rovině pohybujeme pouze do maximálně 90°. Nebylo tedy potřeba komplikovat snímání této roviny mechanickými převody a vnášet do snímacího řetězce další chyby. Snímač přímo snímá magnetické pole permanentního magnetu.

Oproti předchozí situaci, kdy byl snímač stacionární a pohybovalo se magnetické pole, zde je tomu naopak. Snímač je pomocí svorek, které se používají v satelitní technice pro připevnění konvertoru, upevněn k otočné části rotátoru v rovině elevace. Permanentní plochý magnet z pevného disku je přilepen k nepohyblivé části.

Jednotlivé mechanické části jsou na Obr. 4.13.



Obr. 4.13: Části mechaniky elevace

5. Závěr

Práce se zabývá úpravou pozemní stanice pro podporu projektu PilsenCube a návrhem, konstrukcí a testováním nového přesného snímače polohy. Řešení je popsáno ve čtvrté kapitole.

Instalací nové řídicí jednotky jsou vyřešeny tři zásadní nedostatky. Stabilita systému je zajištěna vhodně dimenzovaným zdrojem s odděleným výstupem napájení pro řízení a pohony. Proudové nárazy jsou minimalizovány integrovanou funkcí nastavení rychlosti rozběhu rotátoru. Pro spolehlivost komunikace mezi řídicím PC a jednotkou rotátoru je nově nastavena komunikační rychlost 115,2 kBd.

Aktualizací řídicího softwaru je dosaženo zvýšení komunikační rychlosti, rozšíření řady řídicích protokolů a podpora dalších typů rotátorů pro budoucí aplikace.

Nevhodně zvoleným typem senzoru je navrženým snímačem v rovině azimutu možno absolutně snímat pouze úhel 0-180°. Pro rozšíření absolutní snímací schopnosti na celý rozsah je nutno doplnit navržený snímač o další senzor stejného typu, ale posunutý ve snímací rovině o 90°. Přibude tím další vstupní napětí, které v kombinaci s původním vytvoří skupinu souřadnic, které pro každou hodnotu úhlu mají svou unikátní hodnotu. Tyto souřadnice se uloží do vyhledávací tabulky společně s odpovídajícími úhly. Dle dotazu řídicího PC, vyhodnocovací jednotka zpracuje vstupní hodnoty obou napětí a vyhledá v tabulce příslušný úhel, který pomocí protokolu SPID odešle jako odpověď. Druhý snímač pro absolutní snímání v rovině elevace je připraven k použití.

Ochrana proti překročení mezí se aktuálně nachází pouze ve stádiu návrhu z důvodu pozdního dodání potřebných senzorů. Její aplikace na anténní systém je pro budoucí užívání pozemní stanice nezbytná a měla by být realizována.

Navržená vyhodnocovací jednotka je po provedeném naprogramování a testování připravená k použití. Jakékoliv další úpravy vstupních senzorů a použitého komunikačního protokolu se dají jednoduše realizovat změnou programu. Do budoucna se např. počítá se zavedením sofistikovanějšího komunikačního protokolu než je SPID.

Celková mechanická konstrukce nabyla prozatím provedena, protože nově vzniklý systém snímače není kompletní. Je žádoucí do budoucna provést na upraveném senzorovém bloku ještě měření jeho linearity, hystereze a na základě získaných dat stanovit korekční funkce, které budou aplikovány do vyhodnocovací jednotky.

Použitá literatura

[1] ĎAĎO, S. – KREIDL, M. 1996. Senzory a měřicí obvody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 315 s. ISBN 80-01-02057-6

[2] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: [http:// www.student-spst.kvalitne.cz/eza/poloha.pdf](http://www.student-spst.kvalitne.cz/eza/poloha.pdf)

[3] [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf

[4] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: http://go2fel.cz/publikace/index.php/Ridici_jednotka_k_antenimu_rotatoru

[5] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/ois.htm>

[6] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/05.Hall.pdf>

[7] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: http://booksite.elsevier.com/9781856175302/errata/002~Hall-Effect_Sensors.pdf

[8] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/nove-indukcni-snimace-gx-m-s-vysokym-krytim>

[9] [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.aesham.com/2m-144-mhz/m2-antennas-2m-cp14/>

[10] [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: http://radiopics.com/Antennas/m2_436cp30.htm

[11] [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://rfhamdesign.com/>

[12] [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://sourceforge.net/apps/mediawiki/hamlib/index.php?title=Main_Page

[13] [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/D/2/2/AD22151.shtml

[14] [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Hall%C5%AFv_jev

[15] [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [http://www.phoenixamerica.com/Images/Proximity-Sensor-Inductive-Schematic\(x07693\).jpg](http://www.phoenixamerica.com/Images/Proximity-Sensor-Inductive-Schematic(x07693).jpg)

[16] [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.aricosenza.it/wp-content/uploads/2012/12/ham-radio-deluxe-10220-4.jpg>

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Potenciometrická konfigurace odporového senzoru polohy [2].....	9
Obr. 1.2: Používané kotoučky a) s binárním kódem, b) s Grayovým kódem.....	10
Obr. 1.4: Principiální zapojení Hallova senzoru polohy.....	12
Obr. 1.5: Závislost magnetické indukce na způsobu pohybu magnetického pole [6]	13
Obr. 1.6: Příklad optoelektronického senzoru [3].....	14
Obr. 1.7: Příklad sekvence signálů od jednotlivých senzorů [4]	15
Obr. 2.1: Elektrokontaktní senzory: a) vnitřní uspořádání, b) přímý, c) kladkový, d) západkový [2]	17
Obr. 2.2: Spínací diagram jazýčkového relé [2]	18
Obr. 2.3: Druhy indukčních snímačů [8]	19
Obr. 2.4: Blokové schéma indukčního senzoru polohy [2]	19
Obr. 3.1: Cross yagi 2MCP14 [9].....	21
Obr. 3.3: Parabolická anténa „RFHAMDESIGN mesh dish 1,9 m“ [11]	21
Obr. 3.4: Rotátor „BIGRAS Alfaspid“ [11]	22
Obr. 3.5: Program „HAM radio deluxe“ [16].....	23
Obr. 3.6: Čelní panel [11]	24
Obr. 3.7: Zadní panel	25
Obr. 4.1: Řídící jednotka Alfa spid MD-01 s napájecím zdrojem PS-01 [11]	26
Obr. 4.2: Zadní strana řídicí jednotky MD-01 [11]	27
Obr. 4.3: Konektory redukce, a) původní jednotka, b) nová jednotka	28
Obr. 4.4: Struktura systému Ham Lib [12]	30
Obr. 4.5: Blokové schéma senzoru AD22151 [13].....	31
Obr. 4.6: Základní zapojení obvodu AD22151 jako bipolárního snímače [13]	32
Obr. 4.7: Formát jednoho rámce protokolu SPID (ilustrativní příklad)	36
Obr. 4.8: Indukční senzor typu NPN	38
Obr. 4.9: Schéma ochrany proti překročení mezí	39
Obr. 4.10: Schéma mechanické konstrukce. Pohled: a) zespoda, b) z boku	40
Obr. 4.11: Jednotlivé části mechaniky azimutu	41
Obr. 4.12: Sestavená mechanika azimutu	42
Obr. 4.13: Části mechaniky elevace	43

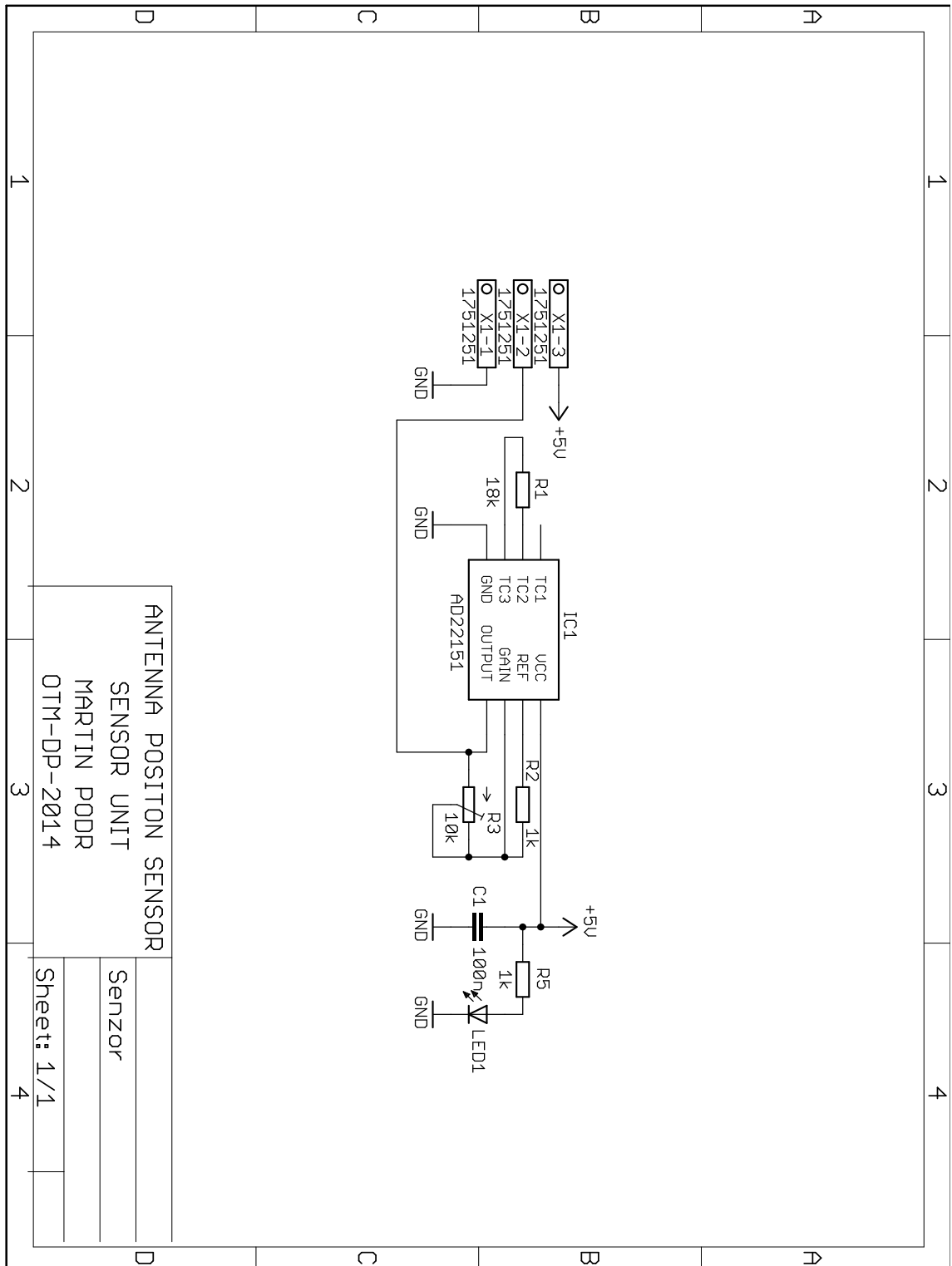
Seznam tabulek

Tab. 1: Funkce ovládacích prvků na předním panelu	25
Tab. 2: Funkce prvků na zadním panelu	25
Tab. 3: Vstupy a výstupy řídicí jednotky	27
Tab. 4: Zapojení pinů redukce	28

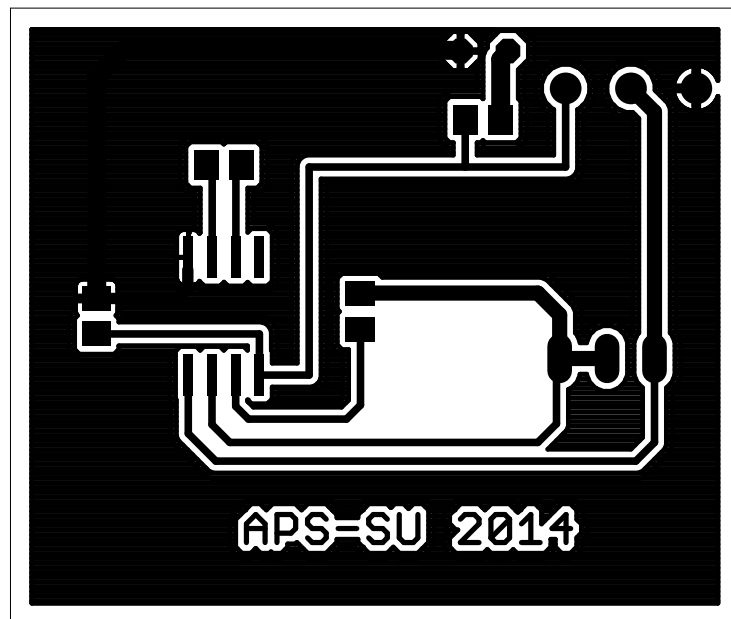
Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení sensorových bloků	50
Příloha 2: Plošný spoj sensorových bloků	51
Příloha 3: Osazovací schéma sensorových bloků	51
Příloha 4: Schéma zapojení vyhodnocovací jednotky	52
Příloha 5: Plošný spoj vyhodnocovací jednotky	53
Příloha 6: Osazovací schéma vyhodnocovací jednotky	53
Příloha 7: Osazený sensorový blok	54
Příloha 8: Osazená vyhodnocovací jednotka (strana plošného spoje)	54
Příloha 9: Osazená vyhodnocovací jednotka	55

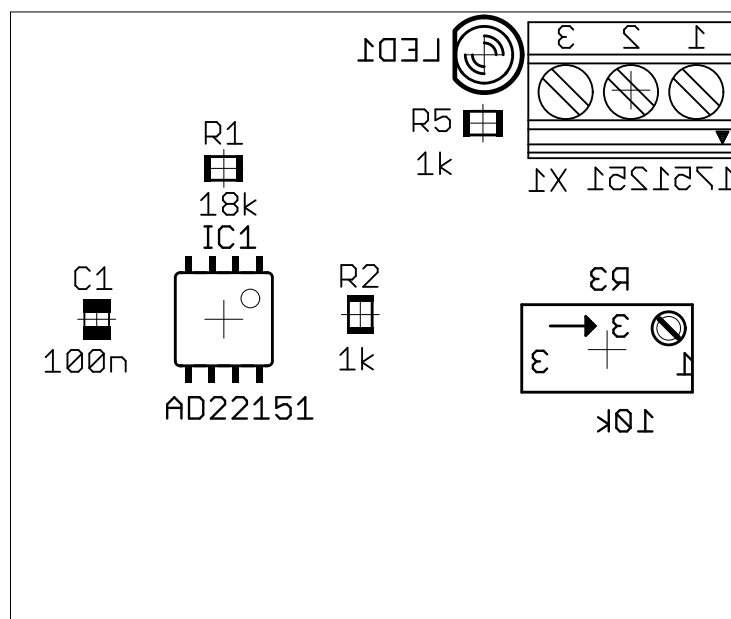
Příloha 1: Schéma zapojení senzorových bloků



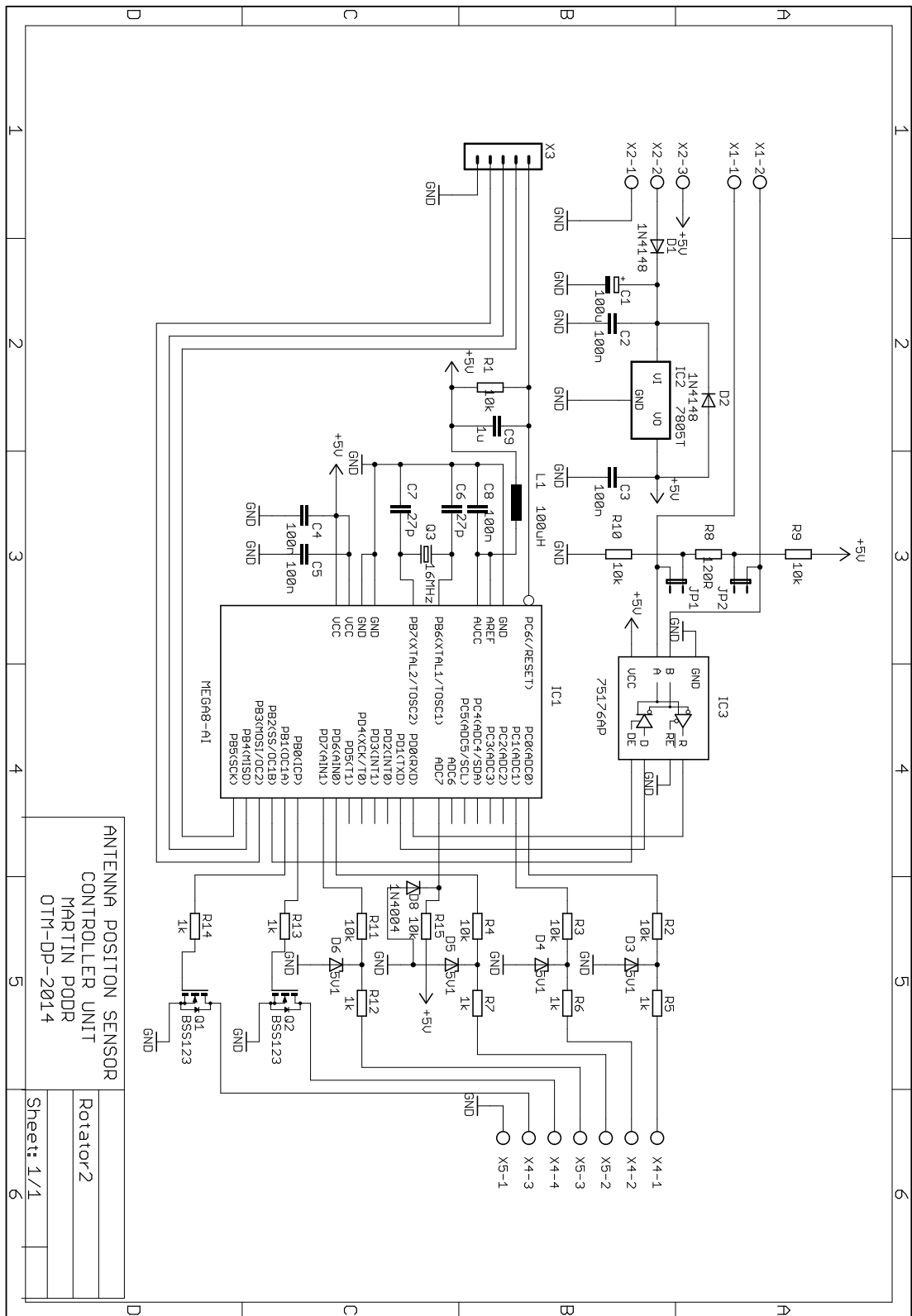
Příloha 2: Plošný spoj sensorových bloků



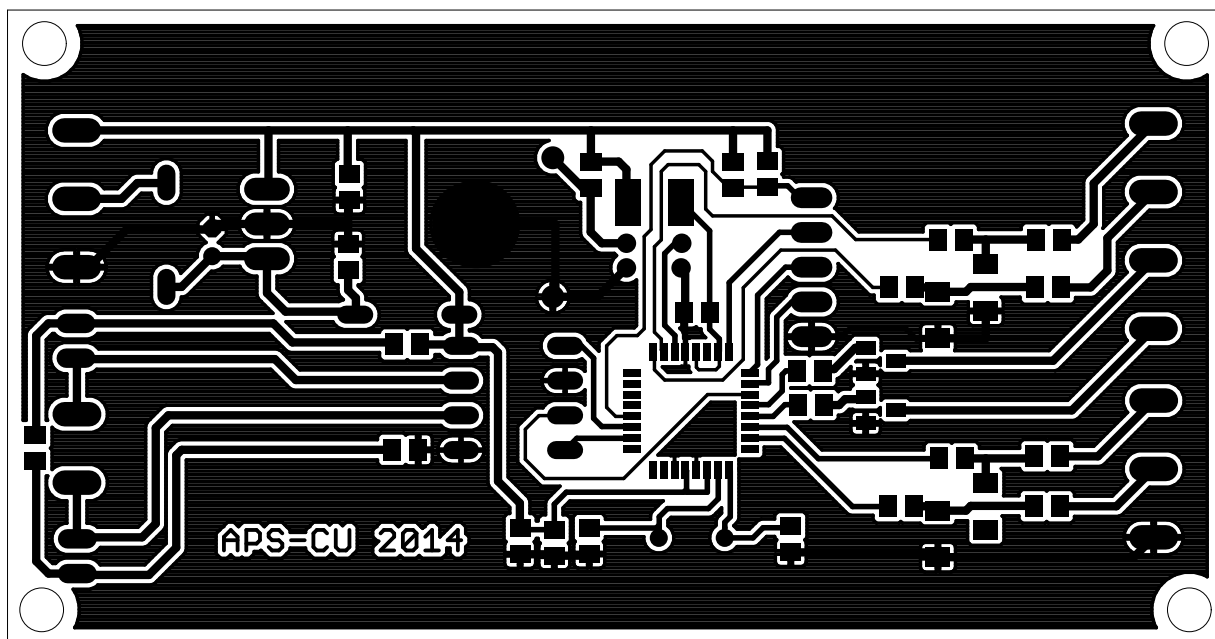
Příloha 3: Osazovací schéma sensorových bloků



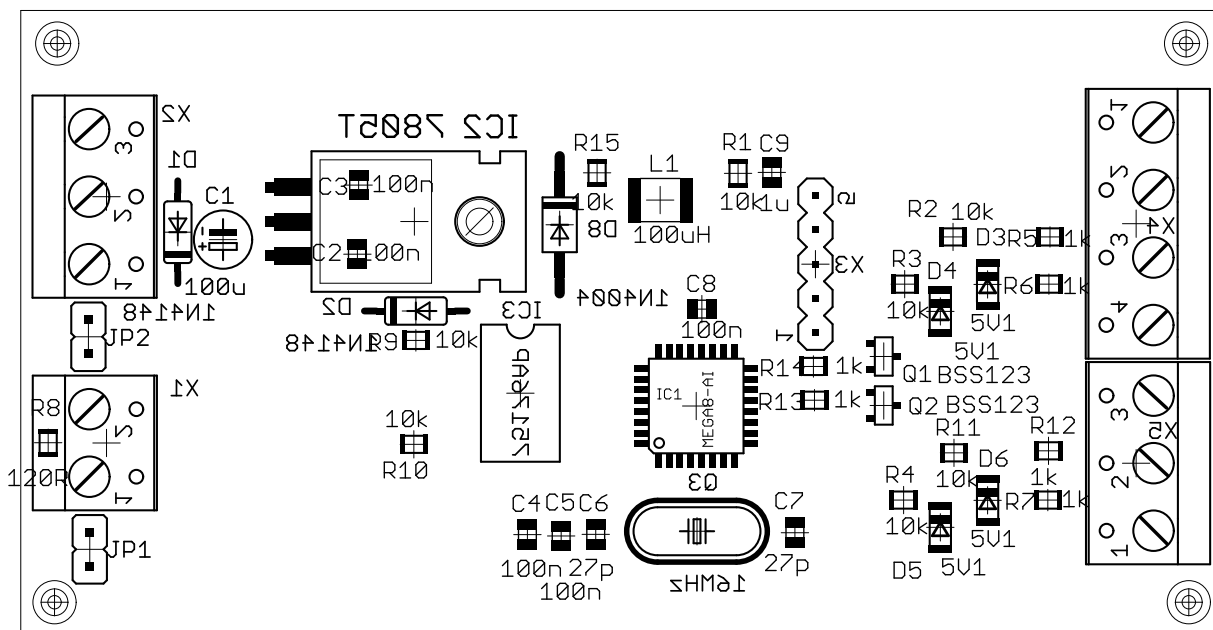
Příloha 4: Schéma zapojení vyhodnocovací jednotky



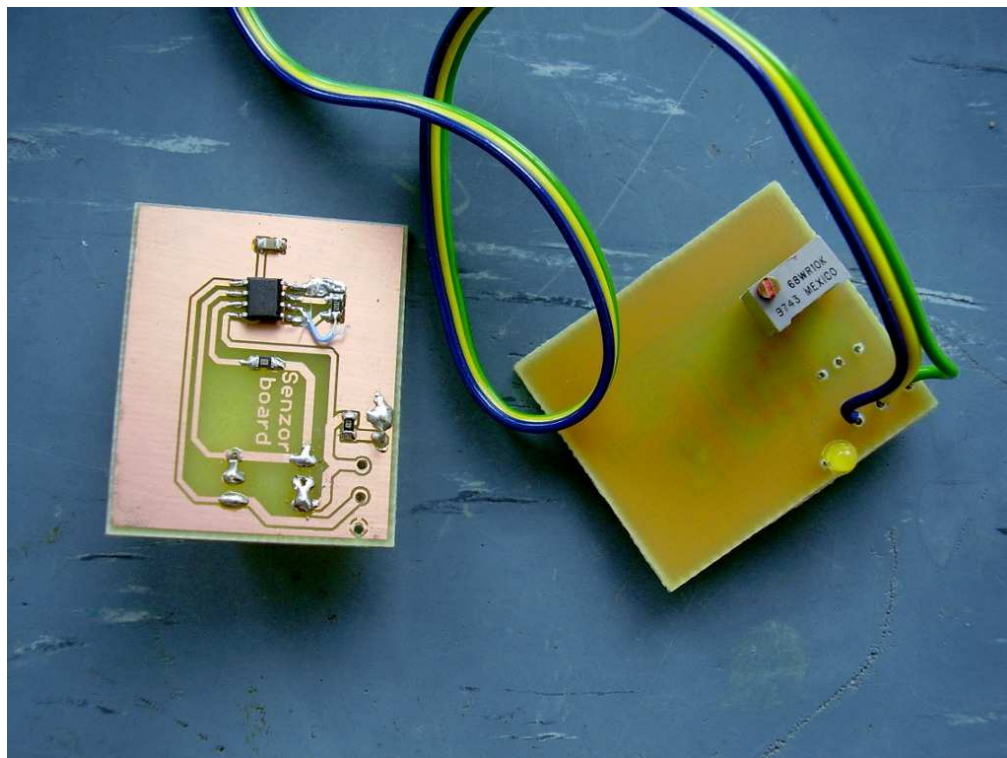
Příloha 5: Plošný spoj vyhodnocovací jednotky



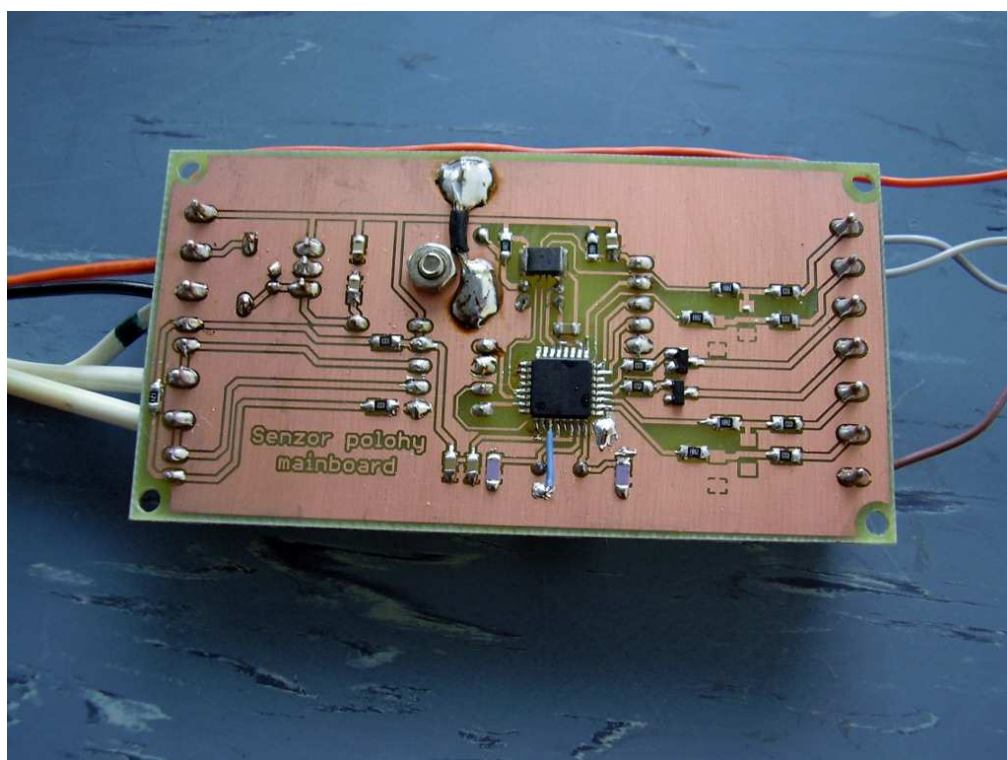
Příloha 6: Osazovací schéma vyhodnocovací jednotky



Příloha 7: Osazený sensorový blok



Příloha 8: Osazená vyhodnocovací jednotka (strana plošného spoje)



Příloha 9: Osazená vyhodnocovací jednotka

