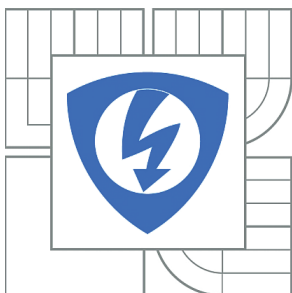


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## JÍZDA PO ČÁŘE PRO REKLAMNÍ ROBOT FEKT VUT V BRNĚ

PATH FOLLOWING FOR FEEC BUT ADVERTISING ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

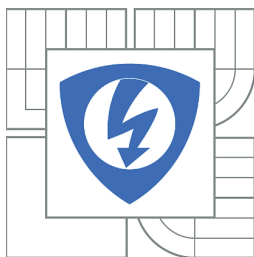
TOMÁŠ FEIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VLASTIMIL KŘÍŽ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Tomáš Feik

**ID:** 134026

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Implementujte modul do podvozku reklamního robotu FEKT VUT v Brně (FEKTBOT), který umožní jízdu po předem definované trase. Robot přitom musí dbát na bezpečnost osob v okolí. Zvažte přednostně použití magnetické pásky přilepené k podlaze pod kobercem.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Bayer, R.: Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně - semestrální práce, VUT v Brně, 2011

Cerný, O., Marek, P., Herman, T.: Jízda po čáře pro reklamní robot - projekt předmětu MRBT, VUT v Brně, 2012

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 27.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Vlastimil Kříž

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Úkol této práce je implementovat do podvozku reklamního robotu FEKT v Brně (FEKTBOT) modul, umožňující pohyb po předem definované trase. Je potřeba kvalitně snímat intenzitu magnetického pole z magnetické pásky, kterou je realizována trasa robota. Dále je potřeba zajistit bezpečnost osob pohybujících se v okolí robota.

## **Klíčová slova**

Magnetický snímač KMZ51, ultrazvukový snímač SRF 08, mikroprocesor ATmega16, sériová sběrnice I2C, RS 485, L293D

## **Abstract**

The goal of this work is to implement modul into chassis of advertising robot FEKT in Brno (FEKTBOT), which allows moving along predefined route. It requires precisely scanning intensity of magnetic field from magnetic tape, from which is realized robot route. Additionally it is necessary to secure safety of people around robot.

## **Keywords**

Magnetic sensor KMZ51, ultrasonic sensor SRF 08, microcontroller ATmega16, serial bus I2C, RS 485, L293D

### **Bibliografická citace:**

FEIK, T. *Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 40s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Vlastimil Kříž.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **27. května 2013**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vlastimilu Křížovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **27. května 2013**

.....

podpis autora

# Obsah

1	Úvod .....	10
2	Teorie .....	11
2.1	Magnetická páska.....	11
2.2	Ultrazvukový sonar SRF 08 .....	12
2.2.1	Mód měření vzdálenosti .....	14
2.2.2	Mód ANN .....	14
2.2.3	Ověření konce měření .....	14
2.3	Senzor magnetického pole KMZ 51.....	15
2.4	Předzesilovač .....	18
2.5	Mikroprocesor ATmega16.....	19
2.5.1	A/D převodník.....	20
2.6	Můstkový budič L293D .....	23
2.7	Sériová sběrnice I <sup>2</sup> C .....	24
2.7.1	Komunikace .....	24
2.7.2	Standardní přenosové rychlosti .....	25
2.8	Synchronní/asynchronní sériové rozhraní USART .....	25
2.8.1	Asynchronní režim .....	26
2.8.2	Synchronní režim .....	26
2.9	RS 485.....	26
2.10	Pohyb robota .....	28
3	Realizace .....	29
3.1	Měření magnetickým snímačem KMZ 51 .....	30
3.1.1	Blok 1 - přepínání orientace snímače .....	31
3.1.2	Blok 2 - předzesilovač.....	32
3.2	Programu mikroprocesoru ATmega16 pro řízení modulu .....	33
3.3	Schéma zapojení .....	35
3.4	Požadavky na návrh desky plošného spoje .....	36
3.5	Ovládání motorů kol robota .....	36
4	Závěr.....	37

# Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Ultrazvukový sonar SRF08 .....	12
Obrázek 2.2: Rozměry sonaru SRF08.....	12
Obrázek 2.3: Vyzařovací diagram sonaru SRF 08 (vzdálenost je ve stopách) .....	13
Obrázek 2.4: Připojení sonaru SRF08.....	14
Obrázek 2.5: Senzor magnetického pole KMZ 51 .....	15
Obrázek 2.6: Zjednodušený nárys pouzdra snímače KMZ 51 .....	15
Obrázek 2.7: Zjednodušené schéma snímače KMZ 51.....	16
Obrázek 2.8: RH charakteristika snímače KMZ51 .....	17
Obrázek 2.9: Vnitřní blokové schéma IO NE5532N .....	18
Obrázek 2.10: Mikroprocesor ATmega16 .....	19
Obrázek 2.11: Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega16 v PDIP pouzdru .....	19
Obrázek 2.12: Můstkový budič L293D.....	23
Obrázek 2.13: Popis pinů integrovaného obvodu L293D .....	23
Obrázek 2.14: Start bit sběrnice I <sup>2</sup> C.....	24
Obrázek 2.15: Ukázka komunikace pomocí sběrnice I2C .....	25
Obrázek 2.16: Odeslání hodnoty 55 pomocí USART.....	26
Obrázek 2.17: Přenos znaku 211 pomocí 8 bitů bez parit.....	27
Obrázek 3.1: Blokové schéma modulu .....	29
Obrázek 3.2: Výstupní napětí magnetického snímače KMZ 51 a jeho reakce na přiblížení magnetické pásky .....	30
Obrázek 3.3: Schéma zapojení magnetického snímače KMZ51.....	31
Obrázek 3.4: Průběh proudu procházející cívkou přepínání orientace. ....	31
Obrázek 3.5: Průběh zesílené napětí snímače KMZ 51 vzhledem k poloze magnetické pásky (páska se pohybovala směrem od pinů 4 a 5 k pinům 1 a 8).....	32
Obrázek 3.6: Algoritmus programu pro ovládání modulu .....	33
Obrázek 3.7: Schéma zapojení modulu.....	35



## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Parametry ultrazvukového sonaru SRF 08.....	13
Tabulka 2.2: Rozložení vývodů snímače KMZ 51 .....	16
Tabulka 2.3: Referenční údaje snímače KMZ 51 .....	17
Tabulka 2.4: Nastavení napěťové reference pro A/D převodník mikroprocesoru ATmega16 ...	21
Tabulka 2.5: Nastavení zdroje spouštění A/D převodníku mikroprocesoru ATmega16 .....	22
Tabulka 2.6: Funkce řízení obvodu L293D v použitém zapojení pomocí bitů EN, 1A a 2A .....	23

# 1 ÚVOD

Takto bakalářská práce má za úkol implementovat modul do podvozku reklamního robota FEKT VUT v Brně nazývaného FEKTBOT, který umožní jízdu po předem definované trase. Robot také musí dbát na bezpečnost osob v okolí. Tímto úkolem se již zabývalo více projektů, které zatím nebyly nikdy plně úspěšné. Rozhodl jsem se pokračovat v předchozích pracích.

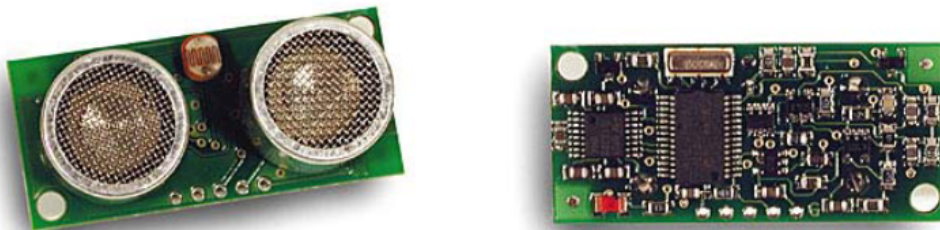
Definování trasy bude realizováno samolepící magnetickou páskou přilepenou k podlaze pod kobercem. Přítomnost magnetické pásky bude určována pomocí dvou magnetických snímačů KMZ 51. Bezpečnost osob v okolí zajišťuje několik ultrazvukových sonarů SFR 08. Řídící jednotkou tohoto modulu bude jednočipový procesor ATmega16.

## 2 TEORIE

### 2.1 Magnetická páska

Realizace trasy robota byla již dříve zvolena pomocí magnetické pásky ukryté pod kobercem. V projektu nepředpokládáme úmyslné umístování magnetů k podvozku robota. Použitá magnetická páska je axiálně magnetizovaná. Má remanenci 230 mT, koercitivní sílu 167 kA/m, maximální energetický součin  $10,8 - 12 \text{ kJ/m}^3$ . Magnetická páska je určena pro pracovní teploty od  $-26$  do  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

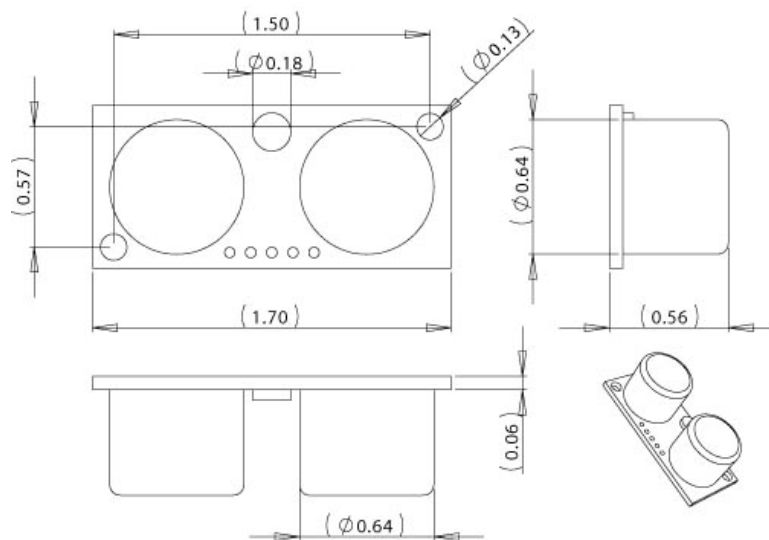
## 2.2 Ultrazvukový sonar SRF 08



**Obrázek 2.1: Ultrazvukový sonar SRF08**

(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

Sonary jsou senzory určené k měření vzdálenosti od překážky, popř. pro detekci překážky. Ultrazvukové sonary (dále jen sonary) jsou založeny na měření doby mezi vysláním akustického impulsu a okamžikem přijetí odraženého signálu od překážky – echa. Je-li vyhodnocena pouze přítomnost překážky a uživatelé nezajímá vzdálenost k ní, je vyhodnocováno pouze přijetí a nepřijetí echa. [3]



**Obrázek 2.2: Rozměry sonaru SRF08**

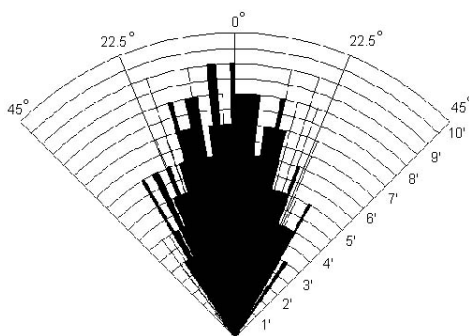
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

Sonar SRF 08 je nástupce sonaru SRF 04. Byl představen v roce 2002. Oproti svému předchůdci má především menší spotřebu (15 mA/5 V), schopnost vyhodnotit vícenásobné odrazy a komunikaci prostřednictvím sběrnice I<sup>2</sup>C. Sonar měří v rozsahu od 3 cm do 6 m s vyzařovacím úhlem 55°. Modul uchovává až šestnáct prvních ech.

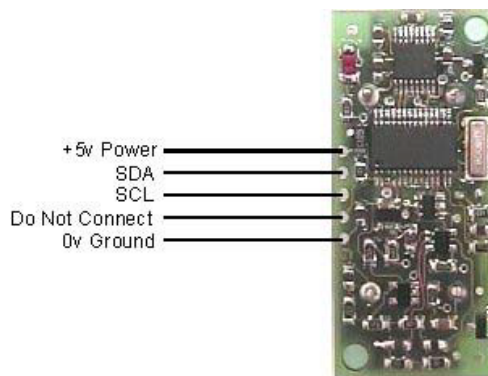
**Tabulka 2.1: Parametry ultrazvukového sonaru SRF 08**

Napájení	5 V
Proud	15 mA, 3 mA v pohotovostním režimu
Frekvence	40 kHz
Maximální rozsah	6 m
Minimální rozsah	3 cm
Maximální analogové zesílení	94 – 1025 v 32 krocích
Připojení	I <sup>2</sup> C sběrnice
Světelný senzor	Světelný senzor na přední straně
Časování	Plně časované echo
Echo	Několikanásobné echo, udržuje hledání po prvním echu
Jednotky	Nastavitelné na $\mu$ s, mm nebo palce
Váha	11 g
Velikost	43 * 20 * 17 mm

V sonaru je zabudován senzor osvětlení. Jeho analogový výstup je zpracováván A/D převodníkem použitého mikroprocesoru. Intenzita osvětlení je vyhodnocována při každém měření vzdálenosti. Sonar SRF 08 obsahuje 36 registrů. Registr 0 je příkazový, registr 1 je vyhrazen pro zesílení senzoru osvětlení. Další registry obsahují údaje jednotlivých ech – pro každé echo jsou přiřazeny 2 registry. Sonar může pracovat v módu měření vzdálenosti nebo v módu ANN dle zapsaného kódu v příkazovém registru. Adresa modulu je standardně nastavena na E0h, je ji možno nastavit na adresy E0h, E2h, E4h, E6h, E8h, EAh, EFh, EEh, F0h, F2h, F4h, F6h, F8h, FAh, FCh nebo FEh.



**Obrázek 2.3: Vyzařovací diagram sonaru SRF 08 (vzdálenost je ve stopách)**  
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])



**Obrázek 2.4: Připojení sonaru SRF08**  
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

### 2.2.1 Mód měření vzdálenosti

Mód měření vzdálenosti zahájíme zápisem jednoho ze tří příkazových bajtů 50h, 51h nebo 52h do příkazového registru. Vyrovnávací paměť je vynulována a do příslušných registrů se uloží hodnoty jednotlivých ech. Je-li obsah registrů pro echa po skončení měření nulový, pak žádná echa neobsahují. Doporučená doba měření je 65 ms, tato lhůta lze změnit zápisem do příslušného registru. Během měření se také aktualizuje hodnota senzoru osvětlení v registru 1.

### 2.2.2 Mód ANN

Tento mód je určen k lehčímu zpracování dat vícenásobného echa neuronovou sítí. Naměřená data jsou uložena ve vyrovnávací paměti na adresách 4 až 35, kde každý bajt odpovídá maximální době měření 65 536  $\mu$ s rozdělenou do 32 intervalů. Každý interval zastupuje dobu 2 048  $\mu$ s. Při přijetí echa se nastaví příslušný registr na nenulovou hodnotu. Nenulové hodnoty tak reprezentují čas, ve kterém bylo echo přijato.

### 2.2.3 Ověření konce měření

Konec měření je možno testovat dvěma způsoby. Od začátku měření lze počkat maximální možnou dobu (65 ms) a následně vyčíst výsledek. Nebo využít toho, že modul je během měření z pohledu sběrnice I<sup>2</sup>C neaktivní a při jeho oslovení vrátí hodnotu FFh. Pokud je hodnota jiná tak je měření dokončeno a můžeme zpracovat naměřené hodnoty.

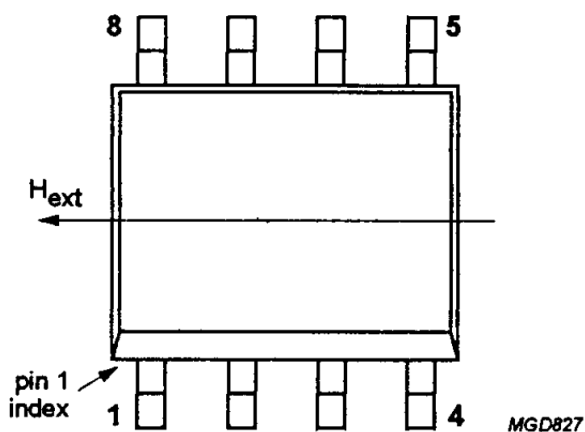
## 2.3 Senzor magnetického pole KMZ 51



**Obrázek 2.5: Senzor magnetického pole KMZ 51**

**(Zdroj: Pandatron.cz)**

KMZ 51 je extrémně citlivý senzor magnetického pole, využívající magnetorezistivní účinky tenké vrstvy permalloye. Senzor obsahuje magnetorezistivní Wheastonův můstek, vestavěnou kompenzaci a vodič *set/reset*. Vestavěný kompenzační vodič umožňuje při měření magnetického pole s proudovou zpětnovazební smyčkou generovat výstup nezávislý na driftu citlivosti. Pomocí vestavěného vodiče *set/reset* můžeme nastavit nebo měnit orientaci citlivosti (měnit orientaci spinu). Jestliže byl senzor vystaven vlivu silného magnetického pole, je k jeho zotavení (*set*) potřeba na tento vodič přivést krátký impuls. Záporný proudový impuls senzor resetuje s opačnou orientací citlivosti. Použijeme-li periodicky se měnící pulsy a synchronizační zesilovač, bude výstup nezávislý na offsetu senzoru a zesilovače. [5]

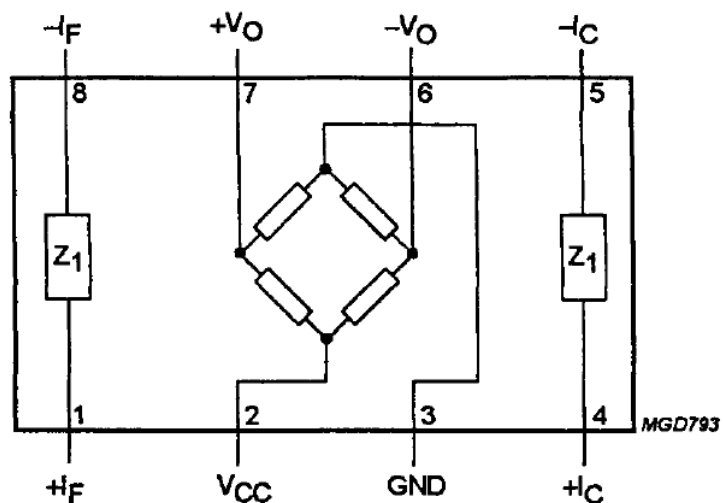


**Obrázek 2.6: Zjednodušený nárys pouzdra snímače KMZ 51**

**(Zdroj: Senzor magnetického pole KMZ51 [5])**

**Tabulka 2.2: Rozložení vývodů snímače KMZ 51**

Pin	Symbol	Popis
1	$+I_F$	Cívka přepínání orientace
2	$V_{CC}$	Napájecí napětí můstku
3	GND	Země
4	$+I_C$	Kompenzační cívka
5	$-I_C$	Kompenzační cívka
6	$-V_O$	Výstupní napětí můstku
7	$+V_O$	Výstupní napětí můstku
8	$-I_F$	Cívka přepínání orientace



**Obrázek 2.7: Zjednodušené schéma snímače KMZ 51**

(Zdroj: Senzor magnetického pole KMZ51 [5])

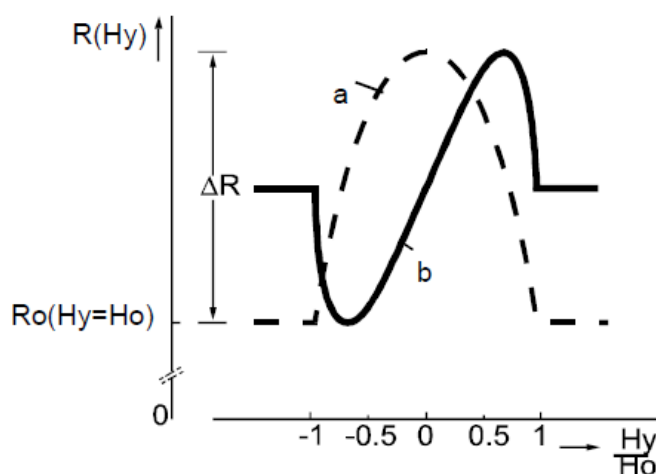
Piny výstupního napětí budou zesíleny zesilovačem a připojeny na mikroprocesor. Do mikroprocesoru budou také připojeny piny pro připojení cívky přepínání orientace a přes tranzistorový H-můstek piny kompenzační cívky.



**Tabulka 2.3: Referenční údaje snímače KMZ 51**

Symbol	Parametr	Min.	Typ.	Max.	Jednotky
$V_{CC}$	Napájecí napětí můstku	-	5	8	V
S	Citlivost (nekompenzovaná)	12	16	-	$\frac{mV/V}{kA/m}$
$V_{offset}$	Napětový offset	-1,5	-	+1,5	mV/V
$R_{bridge}$	Odpor můstku	1	-	3	k $\Omega$
$R_{comp}$	Odpor kompenzační cívky	100	170	300	$\Omega$
$A_{comp}$	Koeficient pole kompenzační cívky	19	22	25	A/m/mA
$R_{flip}$	Odpor cívky přepínání orientace citlivosti	1	3	5	$\Omega$
$I_{flip} (min)$	Minimální doporučený proud přepínání	800	1000	1200	mA
$t_{flip} (min)$	Minimální délka pulsu přepínání	1	3	100	$\mu s$

Snímač KMZ 51 snímá vzdálenost a směr zdroje magnetického pole vzhledem ke snímači. Aby jsme zabránili nasycení snímače tak budeme přepínat orientaci snímače.



**Obrázek 2.8: RH charakteristika snímače KMZ51**

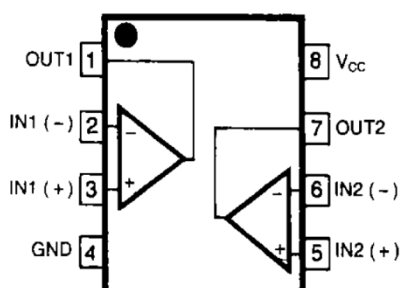
a) RH charakteristika obyčejného snímače

b) RH charakteristika snímače KMZ 51

(Zdroj: Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52 [17])

## 2.4 Předzesilovač

Velikost výstupního napětí magnetického snímače řádově v milivoltech a velice by ho ovlivňoval šum, proto je zapotřebí signál zesílit před přivedením do A/D převodníku mikroprocesoru **ATmega16**. K tomuto účelu byl vybrán integrovaný obvod **NE5532N** s dvojicí vysoce výkonných nízko šumových operačních zesilovačů v diferenčním zapojení, který signál zesílí na jednotky voltů.



**Obrázek 2.9: Vnitřní blokové schéma IO NE5532N**

(Zdroj: Dz863.Com)

Napájecí napětí tohoto integrovaného obvodu je 15V, teplotní rozsah 0 až 70 °C

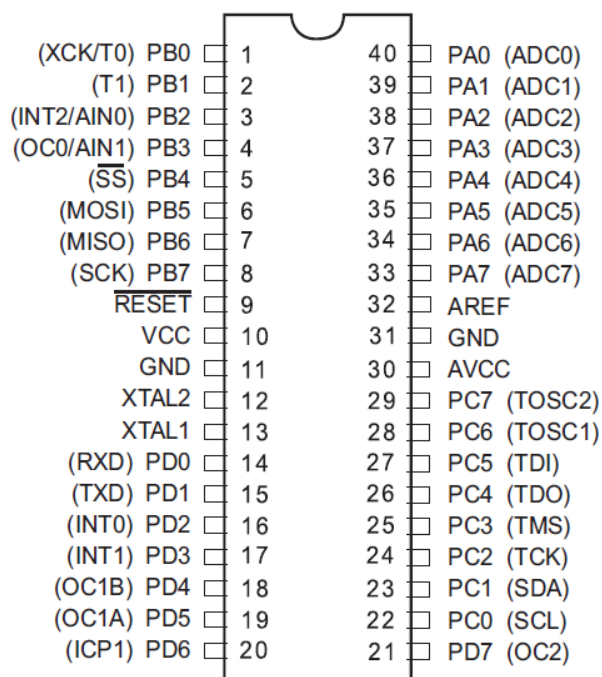
## 2.5 Mikroprocesor ATmega16



**Obrázek 2.10: Mikroprocesor ATmega16**

(Zdroj: GM electronic – gme.cz)

ATmega16 je nízkopříkonový osmibitový mikroprocesor řady ATmega vyráběný firmou Atmel. ATmega16 používá rozšířenou RISC architekturu. Pracuje se 131 instrukcemi, obsahuje 32 osmibitových registrů. Dosahuje výkonu až 16 MIPS při maximální hodinové frekvenci 16MHz. Disponuje vnitřní programovatelnou Flash pamětí o kapacitě 16kB, 512B datové paměti EEPROM, 1kB vnitřní datové paměti SRAM. V pouzdru má 40 pinů se čtyřmi osmibitovými vstupně/výstupními porty.



**Obrázek 2.11: Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega16 v PDIP pouzdru**

(Zdroj: ATmega16(L) Complete [8])

Porty mohou být řízeny programově pomocí zápisu do patřičného registru, nebo mohou za pomoci vnitřního desetibitového A/D převodníku sloužit pro měření vstupního signálu. Údaje uchovají po dobu 20 let 85°C a 100 let při 25°C. Je určen pro provozní napětí 4,5 až 5,5V. Komunikuje pomocí USART, SPI a TWI (I<sup>2</sup>C). Má zabudovaný RC oscilátor.

## 2.5.1 A/D převodník

Mikroprocesor **ATmega16** obsahuje A/D převodník, který lze využít pro měření napětí i dalších neelektrických veličin, které se na něj můžeme převést. A/D převodník využívá postupnou aproximaci i rozlišení do 10 bitů. Můžeme využívat i menší rozlišení, čímž zvětšíme rychlost převodu.

Základní vlastnosti A/D převodníku jsou:

- Nastavitelné rozlišení až 10 bitů
- Nelinearita maximálně 0,5 **LSB**
- Přesnost  $\pm 2$  **LSB**
- Průměrný čas převodu 65 – 260  $\mu$ s
- 8 vstupů
- Vstupní napětí je v celém rozsahu napájecího napětí

Ke komunikaci s A/D převodníkem používáme speciální registry jako je **AMUX**. Tento registr obsahuje řídící bity **REFS1** (nejvýznamnější bit), **REFS0**, **ADLAR**, **MUX4**, **MUX3**, **MUX2**, **MUX1** a **MUX0** (nejméně významný bit). Bity **REFS1** a **REFS0** nastavují analogovou referenci. Bit **ADLAR** slouží k zarovnání výsledku, ve stavu logické 0 je výsledek zarovnán doprava, ve stavu logické 1 je zarovnán doleva. Bity **MUX0** až **MUX4** jsou určeny pro nastavení kanálů.

**Tabulka 2.4: Nastavení napěťové reference pro A/D převodník mikroprocesoru ATmega16**

REFS1	REFS2	Vybraná napěťová reference
0	0	AERF, vnitřní referenční napětí Vref je vypnuto
0	1	AVCC s externím kondenzátorem na pinu AREF
1	0	Rezervováno pro budoucí použití
1	1	Vnitřních 2,56V s externím kondenzátorem na pinu AREF

Další potřebný registr se nazývá **ADCSRA**, který převod řídí a informuje o jeho stavu. Obsahuje bity **ADEN**, **ADSC**, **ADATE**, **ADIF**, **ADIE**, **ADPS2**, **ADPS1** a **ADPS0** (vypsané od nejvýznamnějšího bitu po nejméně významný). Nastavením bitu **ADEN** na hodnotu logické 1 zahájíme převod. Jestliže během převodu tento bit vynulujeme, pak převod okamžitě skončí. Bit **ADSC** signalizuje, zda je daný převod stále probíhá. Pokud ano pak má hodnotu logické 1, v opačném je jeho hodnota na úrovni logické 1. Povolení spuštění převodu externím zdrojem signálu (čítačem, časovačem, vnějším přerušením) určuje bit **ADATE**. Tento bit má hodnotu logické 1, jestliže je externí spuštění převodu povoleno. Pro indikaci a povolení přerušení po dokončení přenosu slouží bity **ADIF** (indikace) a **ADIE** (povolení přerušení). Bity **ADPS** nastavují rychlost převodu. Dělicí poměr je stavitelný na hodnoty 2, 4, 8, 16, 32, 64 a 128.

Třetí registr určený pro práci s A/D převodníkem je **SFIOR**. Pro A/D převodník jsou určeny pouze 4 nejvýznamnější bity a to **ADTS2**, **ADTS1** a **ADTS0**. Tyto bity určují zdroj spouštění převodů. Čtvrtý bit je připraven pro použití v budoucích zařízeních. Kvůli kompatibilitě s těmito zařízeními musí být tento bit nulován.

**Tabulka 2.5: Nastavení zdroje spouštění A/D převodníku mikroprocesoru  
ATmega16**

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Zdroj spuštění
0	0	0	Volnoběžný mód
0	0	1	Analogový komparátor
0	1	0	Externí přerušení vyžadující 0
0	1	1	Čítač/časovač 0 - porovnávající hodnotu
1	0	0	Čítač/časovač 0 - přetečení
1	0	1	Čítač/časovač 1 - porovnávající hodnotu B
1	1	0	Čítač/časovač 1 - přetečení
1	1	1	Čítač/časovač 1 - zachycení události

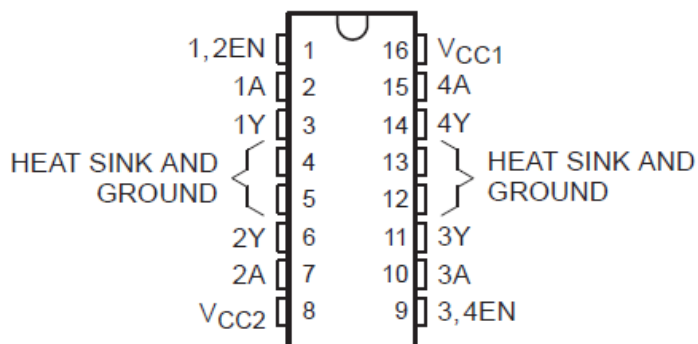
## 2.6 Můstkový budič L293D



Obrázek 2.12: Můstkový budič L293D

(Zdroj: GM electronic – gme.cz)

Pomocí tohoto integrovaného obvodu realizujeme přepínání orientace magnetického snímače **KMZ 51**. Ovládat jej budeme pomocí 3 pinů mikroprocesoru **ATmega16**. Napájen bude 5V (Vcc1) a 9V (Vcc2).



Obrázek 2.13: Popis pinů integrovaného obvodu L293D

(Zdroj: L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS [16])

Tabulka 2.6: Funkce řízení obvodu L293D v použitém zapojení pomocí bitů EN, 1A a 2A

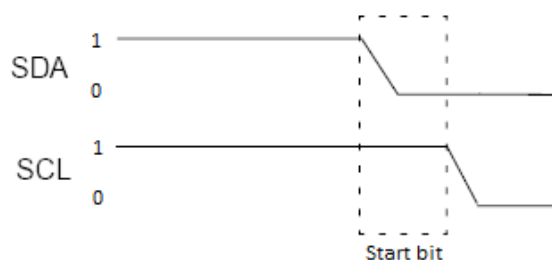
EN	1A	2A	Funkce
1	0	1	Řízení vlevo
1	1	0	Řízení vpravo
1	0	0	Stop
1	1	1	Stop
0	X	X	Stop

## 2.7 Sériová sběrnice I<sup>2</sup>C

Sériová sběrnice I<sup>2</sup>C je dvou vodičové propojení mezi zařízeními typu *master* a *slave*. Jedná se o poloduplexní spojení – obě strany mohou vysílat i přijímat, ovšem ne současně. První vodič **SCK** je hodinový a druhý **SDA** přenáší data. Oba vodiče musí být připojeny na společnou zem (**GND**) a přes pull-up rezistory o hodnotě asi 1,5kΩ na napájecí napětí. Toto připojení zaručuje na vodičích hodnotu logické jedničky ve všech uzlech při jejich neaktivitě, což je normou stanovený klidový stav. Každé zařízení musí být připojeno na oba vodiče. Ke sběrnici může být připojeno pouze jedno zařízení typu *master*, které řídí hodinový vodič. Takovýmto zařízením nejčastěji bývá mikroprocesor.

### 2.7.1 Komunikace

V klidovém stavu je na vodičích **SCK** i **SDA** hodnota logické jedničky. Komunikace začne *Start bitem* – zařízení typu *master* změní hodnotu vodiče **SDA** na logickou nulu, vodič **SCK** je stále v úrovni logické jedničky.



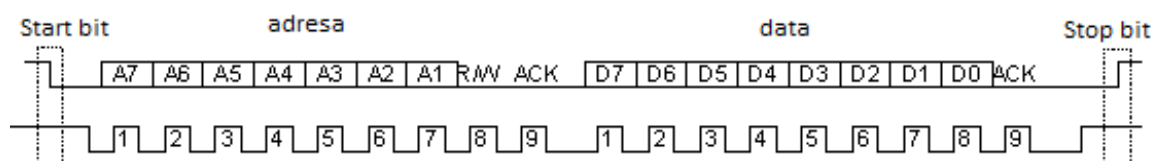
**Obrázek 2.14: Start bit sběrnice I<sup>2</sup>C**

(Zdroj: Komunikace po sériové sběrnici I<sup>2</sup>C [10])

Po zahájení komunikace je vyslána adresa zařízení, se kterým bude zařízení typu *master* komunikovat. Adresa může být buď sedmi, nebo deseti bitová. Pro náš případ použijeme sedmibitové adresování. Při využívání sedmibitové adresace je možné používat až 128 zařízení, skutečný počet možných zařízení je ovšem snížen o několik rezervovaných adres. První přenesený bit je ten s největší váhou. Hodnota vodiče **SDA** se určuje v okamžiku, kdy je **SCK** v hodnotě logické jedničky (hodnota **SDA** se mění v okamžiku, kdy je **SCK** roven logické nule). Jakmile je odeslána adresa zařízení, pak se odešle osmý bit, který určí, zda budeme ze zařízení číst (logická 0), nebo do něj zapisovat (logická 1).



Po odeslání všech osmi bitů provede každý uzel typu *slave* porovnání vlastní adresy s přijatou. Dotazovaný uzel musí během devátého cyklu hodin potvrdit, že se v zapojení nachází a je s ním možné komunikovat. Potvrzení vybrané *slave* zařízení provede nastavením potvrzovacího bitu **ACK** (v devátém cyklu hodin) na úroveň logické nuly, pokud je tento bit roven logické jedničky, pak požadované zařízení není připojeno, nebo s ním z nějakého důvodu nelze komunikovat. V další části se odešle požadovaná hodnota, první přijatý bit je opět bit s největší vahou.



**Obrázek 2.15: Ukázka komunikace pomocí sběrnice I2C**

(Zdroj: Robot-electronics.co.uk)

Komunikaci ukončuje *Stop bit*. Hodnota vodiče **SDA** je nastavena na hodnotu logické jedničky po odeslání všech předchozích bitů a v okamžiku, kdy je vodič **SCK** na hodnotě logické jedničky. Tímto se oba dva vodiče vrátí do klidového stavu a komunikace je ukončena.

## 2.7.2 Standardní přenosové rychlosti

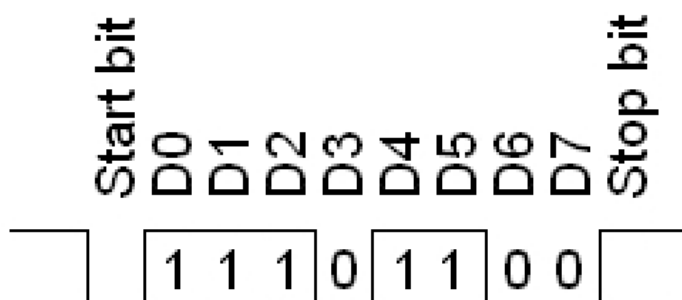
Sběrnice I<sup>2</sup>C stanovuje několik standardních rychlostí, které vyhovují většině praktických aplikací. Nejčastěji využívané přenosové rychlosti jsou 10, 100 a 400 kbps. Větší přenosové rychlosti (1 Mbps a 3,4 Mbps) zatím nejsou plně podporovány. Tabulkové přenosové rychlosti jsou odvozeny od frekvence hodinového signálu včetně potvrzovacích bitů. Díky potvrzovacímu signálu **ACK**, který je odeslán po každých smi bitech, je skutečná přenosová rychlost nižší.

## 2.8 Synchronní/asynchronní sériové rozhraní USART

USART je zařízení sloužící pro sériovou komunikaci v asynchronním (SCI – linky RS485) nebo synchronním (SPI) režimu. Vstupy a výstupy USART obvodů používají běžné logické úrovně, pro přizpůsobení pro linku RS485 se používají specializované obvody.

### 2.8.1 Asynchronní režim

Pro asynchronní přenos jsou použity 2 piny: **Rx** jako vstup a **Tx** jako výstup. Tento režim je plně duplexní. Klidová úroveň signálu má hodnotu logické 1. Komunikace je zahájena změnou signálu na logickou 0 (*Start bit*). Následně jsou odeslána data tak, že první odeslaný bit je nejméně významný. Po odeslání nejvýznamnějšího bitu následuje *Stop bit* (návrat signálu do hodnoty logické 1).



**Obrázek 2.16: Odeslání hodnoty 55 pomocí USART**  
(Zdroj: USART. In: Wikipedia: the free encyclopedia [13])

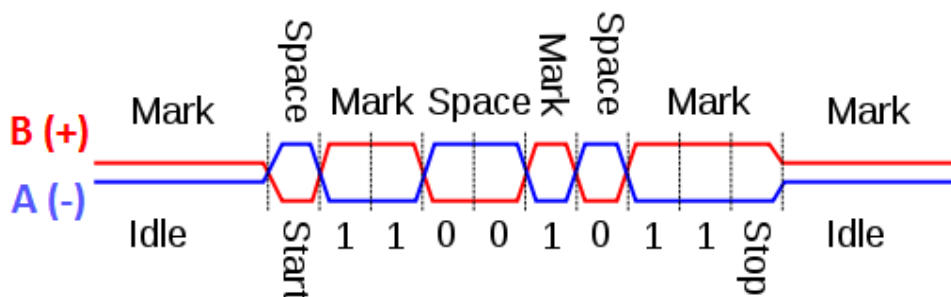
### 2.8.2 Synchronní režim

Synchronní režim je polo duplexní, to znamená, že nemůže vysílat a zároveň přijímat data. Jeden pin je datový a druhý hodinový.

## 2.9 RS 485

RS 485 je standart sériové komunikace používaný především v průmyslu. Používá se ve dvou vodičové (polo duplexní) i čtyřvodičové (plně duplexní) verzi. Bez opakovací umožňuje připojit 32 zařízení na vzdálenost až 1 200m. Přenosová rychlost dosahuje na krátkou vzdálenost (do 10m) hodnoty 10Mbps. Na delší vzdálenost je nutné připojit na konce vedení rezistory (terminátory) s odporem odpovídajícím odporu vedení (u kroucené dvojlinky 100 až 120  $\Omega$ ). Terminátory zabraňují signálovým odrazům na konci vedení a také zvyšují odolnost linky proti rušivým signálům. Vhodné je připojit společnou zem (**GND**) aby nevznikaly chyby spojené s možným velkým rozdílem potenciálu země.

V RS 485 jsou používány 2 datové vodiče A a B, někdy označované jako - a +. Hodnota logické úrovně je dána rozdílem napětí mezi oběma vodiči, tento rozdíl musí být větší než 0,2V. Logický stav 0 (označovaný jako *Space*) nastane při rozdílu napětí  $A-B > 0,2V$  a logický stav 1 (označovaný jako *Mark*) při rozdílu  $A-B < -0,2V$ . V klidovém stavu je stav logické 1, vodič A má hodnotu -2V a vodič B +2V, při logické nule je na vodiči A hodnota +2V a na vodiči B -2V.



**Obrázek 2.17: Přenos znaku 211 pomocí 8 bitů bez parit.**

(Zdroj: I<sup>2</sup>C. In: Wikipedia: the free encyclopedia [11])

Komunikaci zahajuje *Start bit* o hodnotě logické 0. Poté následují data tak, že bit s nejnižší prioritou je odeslán jako první. Data mohou mít velikost 8 nebo 9 bitů. Dále mohou následovat parity. Komunikaci ukončuje *Stop bit*, který má hodnotu logické 1.

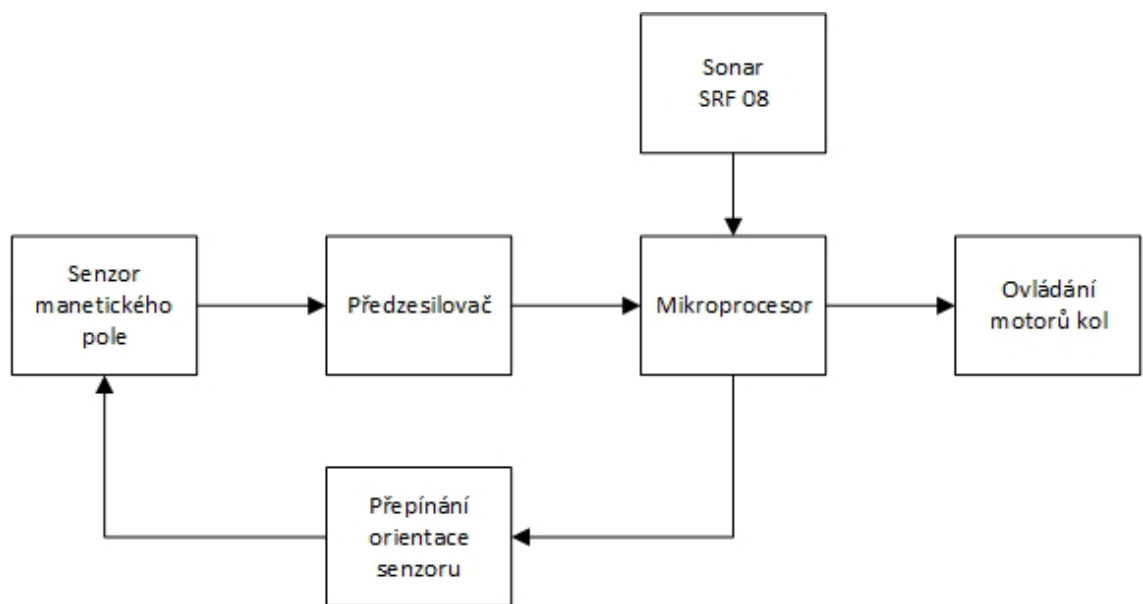
## 2.10 Pohyb robota

Mikroprocesor ATmega16 bude odesílat údaje o rychlosti otáčení kol robota na příslušné adresy motorů kol. Komunikace bude probíhat skrze sběrnici **RS-485**. Kvůli velkému množství zařízení komunikujících s motory kol robota budou informace o rychlosti kol odesílány s periodou minimálně 100 ms. Odesílána bude informace o velikosti jednoho bajtu s hodnotou od -127 do 127, která určí rychlost pohybu vybraného kola. Aktuální podoba komunikace s motory kol má být změněna.

### 3 REALIZACE

Tento modul bude řídit mikroprocesor **ATmega16**. Ultrazvukové sonary **SFR 08** budou zajišťovat bezpečnost osob v okolí. Jejich hodnoty bude přijímat mikroprocesor **ATmega16** pomocí směrnice **I<sup>2</sup>C**. Pokud procesor skrze sonary vyhodnotí překážku tak zastaví pohyb robota.

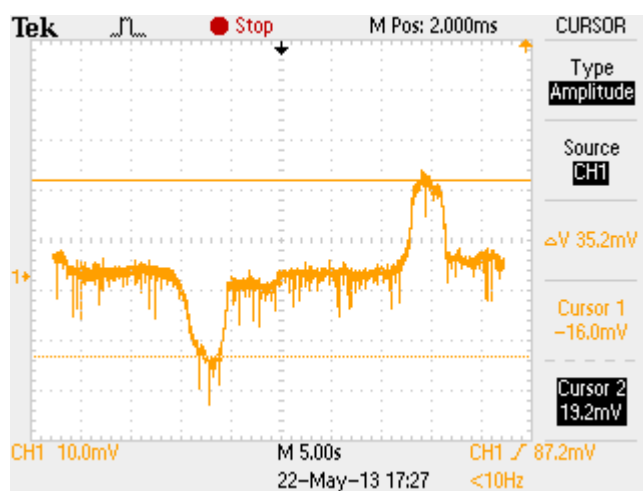
Přítomnost magnetické pásky bude vyhodnocovat dvojice senzorů magnetického pole **KMZ 51**. Výstupní napětí senzoru je zesíleno předzesilovačem realizovaného pomocí operačního zesilovače integrovaného obvodu **NE5532N** v diferenčním zapojení. Tento signál je zpracován pomocí A/D převodníku mikroprocesoru **ATmega16**, který vyhodnotí údaje z magnetických snímačů a pošle informace o rychlosti otáčení jednotlivým motorům kol robota skrze sběrnici **RS 485**. Pomocí integrovaného **L293D** obvodu přepínáme orientaci cívky, díky které pravidelným střídáním signálu zabráníme přesycení magnetického snímače.



Obrázek 3.1: Blokové schéma modulu

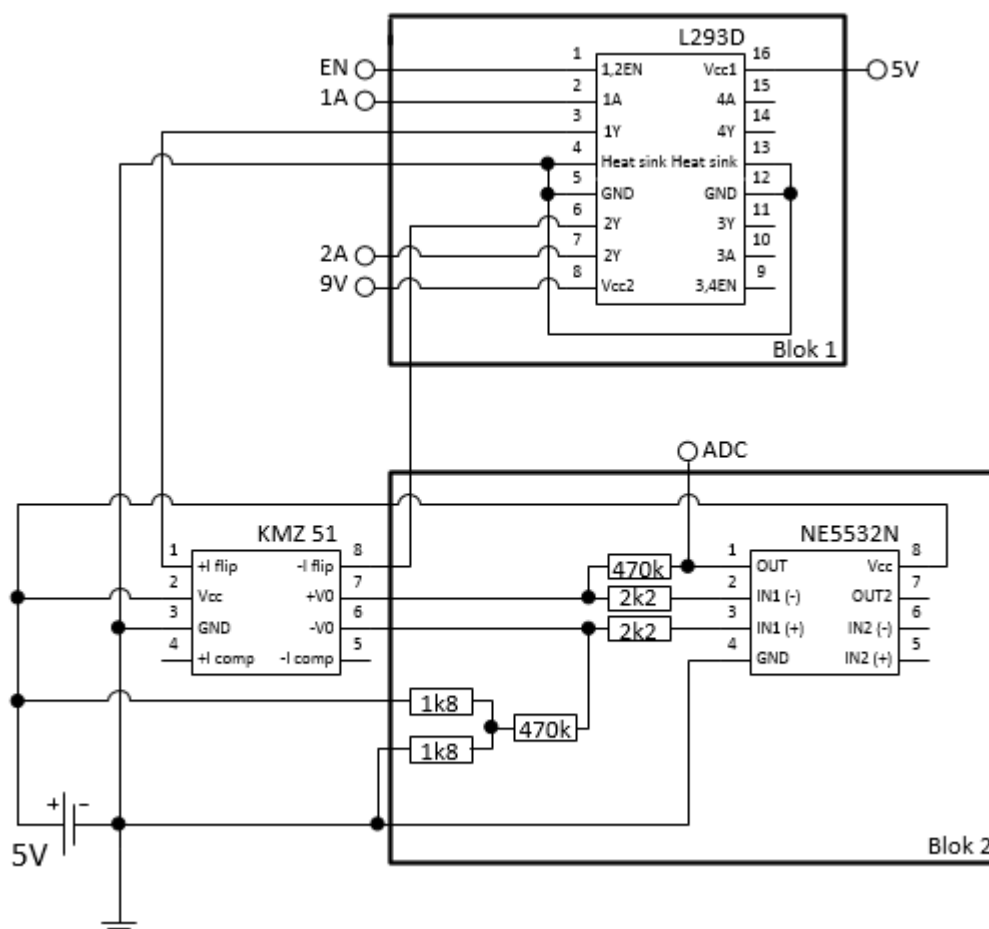
### 3.1 Měření magnetickým snímačem KMZ 51

Magnetický snímač je připojen na napájení z baterie, kvůli minimalizování zkreslení výstupního signálu. Následující obrázek (obrázek 3.2) znázorňuje reakci výstupního napětí na přiblížení magnetické pásky s snímači. Z tohoto průběhu vyplývá, že snímač vyhodnocuje pozici magnetické pásky kladným nebo záporným napětím dle pozice magnetické pásky. V okamžiku, kdy se magnetická páska nachází přímo nad snímačem, je výstupní napětí nulové. Při měření je důležité umístění snímače vůči magnetické pásce. Páska musí být přilepena k podlaze. Pokud bude přilepena ke koberci pak se změní polarita a snímač bude měřit opačně než je předpokládáno.



Obrázek 3.2: Výstupní napětí magnetického snímače KMZ 51 a jeho reakce na přiblížení magnetické pásky

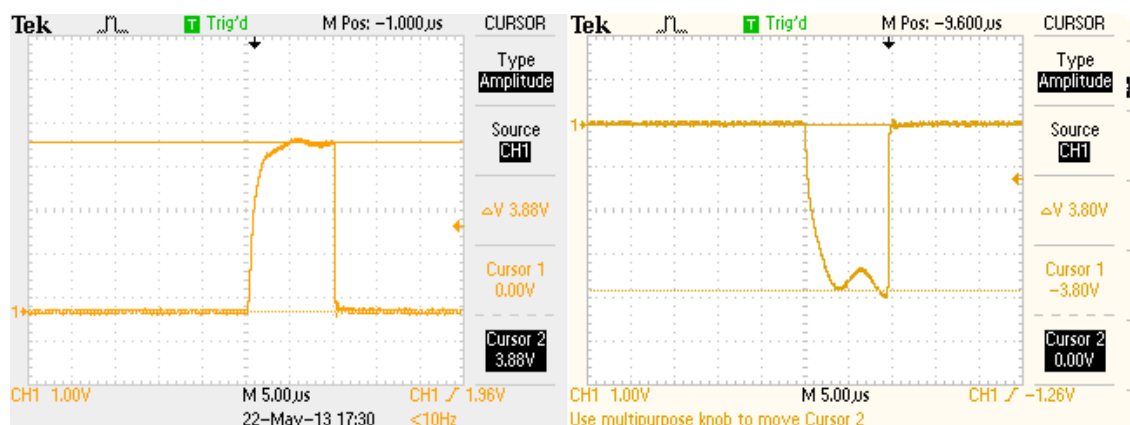
Na obrázku 3.3. je znázorněno použité zapojení jednoho snímače magnetického pole **KMZ 51**. Ke snímači je napojen blok pro zesílení výstupního napětí snímače (blok 1) a blok pro přepínání orientace magnetického snímače (blok 2). Kompenzační cívku magnetického snímače není nutné použít.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení magnetického snímače KMZ51

### 3.1.1 Blok 1 - přepínání orientace snímače

Přepínání orientace snímače zabráňuje jeho nasycení a zajišťuje tak jeho správnou funkci. Cívkou pro přepnutí orientace snímače protéká proud o velikosti 1A po dobu  $10\mu\text{s}$ . Směr protékání proudu cívkou určuje, jakým směrem se cívka přepóluje.

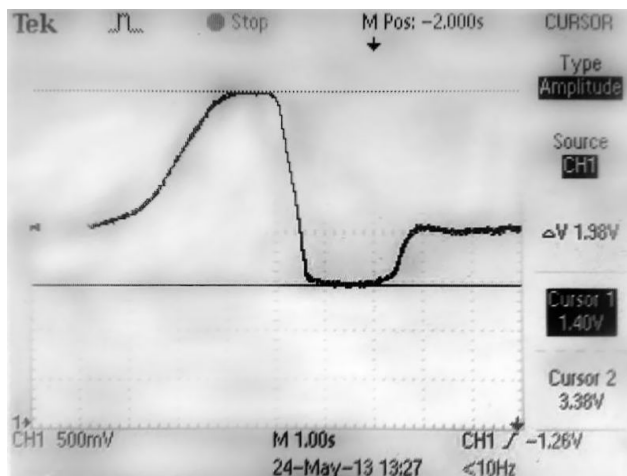


Obrázek 3.4: Průběh proudu procházející cívkou přepínání orientace.

Správnou funkci přepínání zajišťuje čtyřkanálový můstkový budič **L293D** napájený zdrojem 9V (Vcc2) a 5V (Vcc1). Jeho funkci řídí mikroprocesor **ATmega16** piny 5 (EN), 6 (1A) a 7 (2A) portu A.

### 3.1.2 Blok 2 - předzesilovač

Výstupní napětí z magnetického senzoru má velikost pouze v řádech milivoltů a proto je třeba jej před zpracováním A/D převodníkem zesílit. Na zesílení je použit operační zesilovač integrovaného obvodu **NE5532N** zapojený jako diferenční zesilovač. Vzhledem k omezení a chybě tohoto zapojení operačního zesilovače není možné využít plně výstupní signál po zesílení. Díky tomu je použito řešení pomocí 2 magnetických snímačů umístěných proti sobě se stejnou orientací cívky.



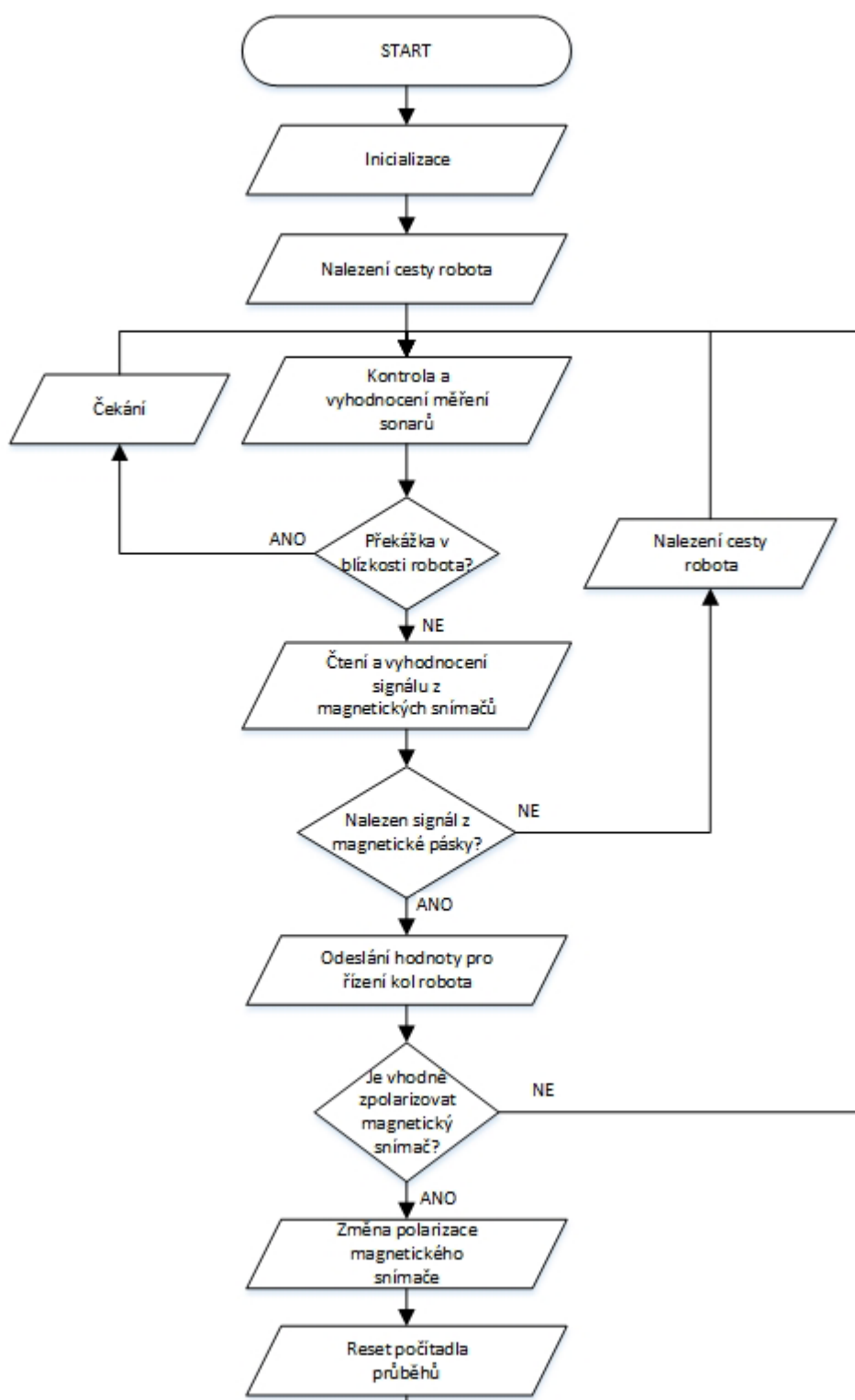
**Obrázek 3.5: Průběh zesílené napětí snímače KMZ 51 vzhledem k poloze magnetické pásky (páska se pohybovala směrem od pinů 4 a 5 k pinům 1 a 8)**

Pokud není magnetická páska v dosahu magnetického snímače, nebo je přímo nad ním pak má napětí na výstupu zesilovače velikost 2V. Při vodorovné vzdálenosti přibližně 5 cm a horizontálně 6 cm páska od snímače je napětí na maximální hodnotě 3,38V. Pokud se páska nachází ve stejné pozici na druhé straně snímače pak hodnota je hodnota napětí 1,4V.

Při opačné orientaci snímače **KMZ 51** odpovídá klidová hodnota výstupního napětí 1,5V. Při maximální hodnotě dosahuje napětí 3,38V a při minimální hodnotě 1,4V. Vzhledem k tomu, že je jedna hodnota velice blízká hodnotě klidové, pak tuto orientaci snímače nebudeme používat k měření.



### 3.2 Programu mikroprocesoru ATmega16 pro řízení modulu



Obrázek 3.6: Algoritmus programu pro ovládání modulu

Program se skládá ze souborů `main.c` (hlavní program), `function.c` a `function.h` (knihovna funkcí, které obsluhují modul), `twi_lib.c` a `twi_lib.h` (knihovna pro komunikaci se sběrnici **I<sup>2</sup>C**, jejíž autor je Peter Fluery).

Čtení hodnoty z ultrazvukových sonarů zajišťuje funkce `int Read_SFR(char channel)`. Vstupní parametr `char channel` určuje jednopísmenným označením, ze kterého sonaru bude číst. Funkce je připravena na čtení ze dvou sonarů nastavených na adresy 0xE0 a 0xE2. Tato funkce využívá ke komunikaci po sběrnici **I<sup>2</sup>C** knihovnu I2C master library using hardware TWI interface, kterou vytvořil Peter Fluery. Vzdálenost překážky, po jejíž přiblížení dojde k zastavení pohybu robota je v souboru `main.c` nastavena na 150cm.

Zesílený výstupní signál ze snímačů **KMZ 51** je přiváděn na A/D převodník mikroprocesoru **ATmega16** na piny 0 a 2 portu A. Pin 1 portu A je rezervován pro možný třetí magnetický snímač. Hodnotu z A/D převodníku získáme pomocí funkce `float Read_ADc(char channel)`. Pomocí vstupního parametru vybereme, ze kterého převodníku chceme číst.

Funkce `void Switch_Orientation()` řídí obvody **L293D** a tím zajišťuje změnu polarity snímače **KMZ 51**. Snímač se na okamžik přepne na zápornou polarizace a poté je vrácen na polaritu kladnou.

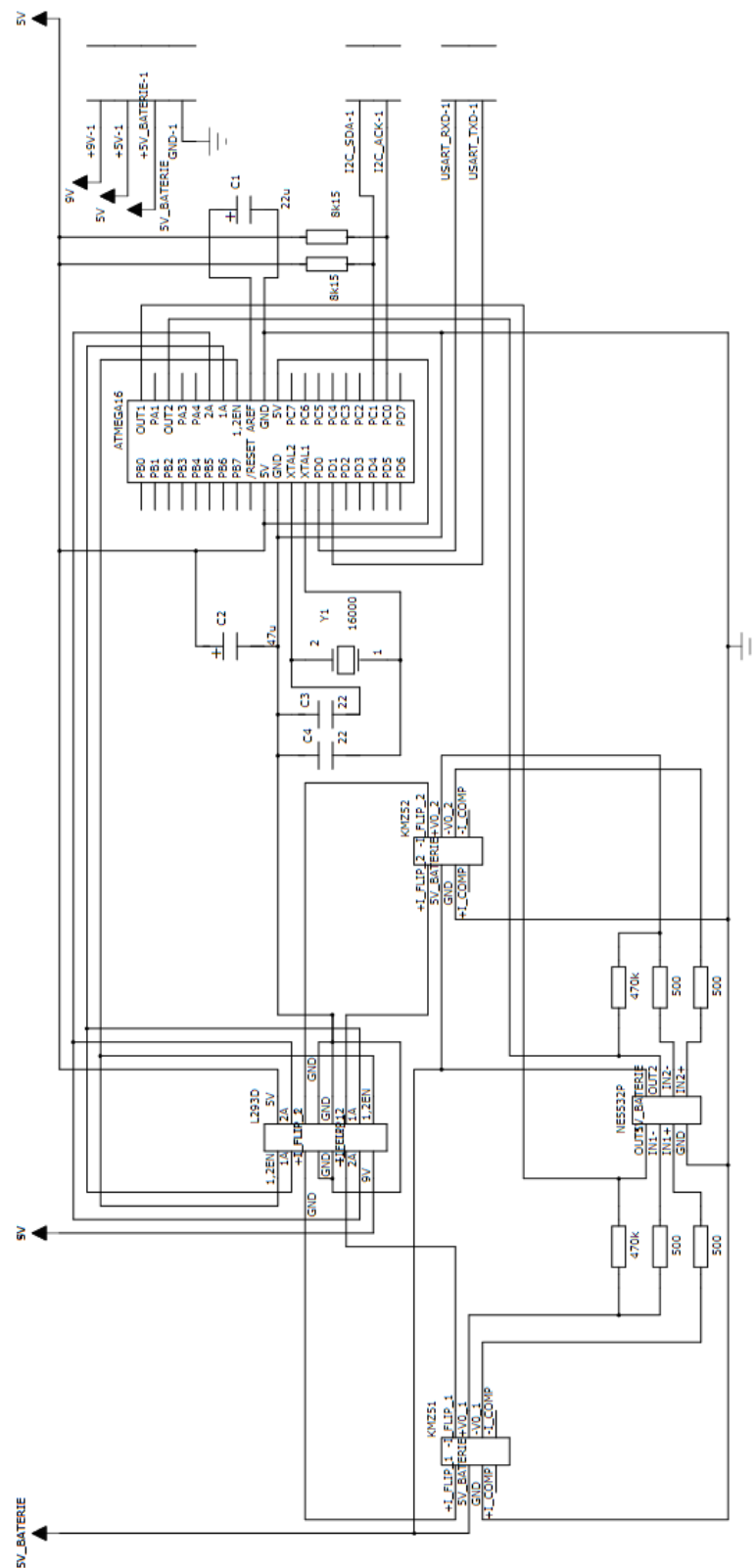
O nalezení magnetické pásky na začátku programu a při ztrátě signálu z pásky se stará funkce `void Find_Path()`. Při jejím probíhání se robot na místě otáčí, dokud není magnetická páska mezi oběma snímači.

K regulaci rychlosti jízdy robota je použita funkce `void Move_Acceleration(int Left_Acc, int Right_Acc)`, která mění rychlost motorů kol robota o hodnoty vstupních parametrů.

Komunikaci mezi motory kol a mikroprocesorem zajišťuje funkce `void Set_Move_Speed(int Left_Speed, int Right_Speed)`, která pomocí sběrnice **RS-485** odešle požadovanou hodnotu rychlosti motoru kol. Tato funkce bohužel není realizována.

Robota zastavíme pomocí funkce `void Move_Stop()`. Další popis použitých funkcí je v hlavičkovém souboru `function.h` na přiloženém CD.

### 3.3 Schéma zapojení



### Obrázek 3.7: Schéma zapojení modulu

### 3.4 Požadavky na návrh desky plošného spoje

Je velice důležité, aby od sebe byly středy magnetických snímačů **KMZ 51** vzdáleny 10cm. Snímače musí být umístěny nápisem THAILAND k sobě. Vzdálenost snímače k zemi (magnetické pásce přilepené na podlahu) musí být 6cm. Pro jiné rozměry je nutné změnit zesilovací činitel na zesilovači výstupního napětí ze snímače **KMZ 51**.

### 3.5 Ovládání motorů kol robota

Program pracuje s nově navrženou strukturou ovládání kol. Ovládá se hodnotou v rozmezí -127 až 127, kde hodnota  $\pm 127$  odpovídá maximální rychlosti pohybu robota. Robot stojí, pokud je odeslána hodnota  $\pm 0$ . Kladné hodnoty odpovídají dopřednému chodu a záporné zpětnému. Každé kolo je ovládáno zvlášť. Při návrhu programu se počítá, že se robot bude pohybovat 1/3 maximální rychlosti. Tuto rychlost je možno upravit ve zdrojovém souboru `function.c` funkce `void Move_Acceleration(int Left_Acc, int Right_Acc)`.

## 4 ZÁVĚR

Při původním návrhu se pracuje s měřením polohy magnetické pásky pomocí 3 stejně orientovaných magnetických snímačů **KMZ 51**. Vzhledem k omezení, které vzniklo použitím zesilovače operačních zesilovačů integrovaného obvodu **NE5532N** v diferenčním zapojení není takovéto použití možné a proto byl návrh změněn na měření pomocí dvou proti sobě orientovaných magnetických snímačů a využívání pouze jedné polarizace snímače. Druhá polarita je použita pouze k zabránění přesycení snímače. Pro použití původního návrhu se třemi snímači umístěné se stejnou orientací vedle sebe je nutné vybrat vhodnější zesilovač. Způsob měření pomocí 3 snímačů magnetického pole by mohl zajistit lepší funkci modulu. Vyžaduje ovšem také přidání dalšího integrovaného obvodu **L293D** a **NE5532P**.

V modulu bylo plně navrženo měření a obsluha magnetického snímače **KMZ51**. Dále bylo také vytvořeno zapojení pro měření pomocí ultrazvukových sonarů **SRF 08**. Ovládání a měření pomocí snímačů **KMZ 51** a sonarů **SRF 08** bylo ověřeno a je zajištěna jejich správná činnost. Ovládání motorů kol doposud není realizováno. Je pouze předpřipravena funkce, která bude sloužit ke komunikaci.

# Literatura

- [1] Bayer, R.: Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně – semestrální práce, VUT v Brně, 2011
- [2] Cerný, O., Marek, P., Herman, T.: *Jízda po čáře pro reklamní robot – projekt předmětu MRBT*, VUT v Brně, 2012
- [3] Ultrazvukové sonary. [online] [cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32330](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32330)
- [4] Devantech SRF08 UltraSonic Ranger. [online] [cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
<http://coecsl.ece.illinois.edu/ge423/DevantechSRF08UltraSonicRanger.pdf>
- [5] CONRAD ELECTRONIC. *Senzor magnetického pole KMZ51* [online].  
[cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
[http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/182826-da-01-cs-KMZ51\\_Magnetfeldsensor.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/182826-da-01-cs-KMZ51_Magnetfeldsensor.pdf)
- [6] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52* [online]. [cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
<http://ve6sbs.sbszoo.com/projects/compass/kmz52an00022.pdf>
- [7] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. *NE5532 Dual Operational Amplifier* [online]. 2002 [cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
<http://www.fairchildsemi.com/ds/NE/NE5532.pdf>
- [8] ATMEL. *ATmega16(L) Complete* [online]. [cit. 2012-12-26]. Dostupné z:  
<http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

- [9] KARAS, O. AVR a AD převodník. *Programujte.com* [online]. 2007 [cit. 2012-12-26]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2007041902-avr-a-ad-prevodnik/>
- [10] TIŠNOVSKÝ, P. Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-12-26]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [11] I<sup>2</sup>C. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [12] KARAS, O. AVR – USART. *Programujte.com* [online]. 2006 [cit. 2012-12-26]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006111611-avr-usart/>
- [13] USART. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/USART>
- [14] TIŠNOVSKÝ, P. Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485. *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-01-2]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/sbornice-rs-422-rs-423-a-rs-485/>
- [15] RS-485. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. *L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS* [online]. 2002 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/l293d.pdf>
- [17] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52* [online]. 2000 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.sbszoo.com/ve6sbs/projects/compass/kmz52an00022.pdf>
- [18] FLEURY, Peter. *I2C master library using hardware TWI interface*. 2005. Dostupné z: <http://www.kvetakov.net/clanky/avr/79-sbornice-i2c.html>

# Seznam příloh

## Příloha 1. Přiložené CD

- a) Elektronická verze bakalářské práce
- b) Překompilovaný soubor pro mikroprocesor ATmega16 .hex
- c) Zdrojové kódy a celý projekt pro Atmel Studio
- d) Soubory schéma modulu pro PADS Logic