

**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Semestrální práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Michal Sitta

**ID:** 78369

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

**NÁZEV TÉMATU:**

**Řízení kolového podvozku**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s běžně používanými typy kolových podvozků robotů pro vnější použití. Vyberte vhodný typ podvozku, navrhnete a realizujete jeho řízení včetně realizace řídicí elektroniky. Vytvořený podvozek otestujte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

**Termín zadání:** 21.9.2009

**Termín odevzdání:** 18.12.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>Druhy podvozků</b>	<b>10</b>
1.1	Kolové podvozky . . . . .	10
1.1.1	Druhy kol . . . . .	10
1.1.2	Konstrukce podvozků . . . . .	12
1.1.3	Výběr nejvhodnějšího podvozku . . . . .	14
1.2	Realizovaný podvozek . . . . .	16
1.2.1	Model podvozku . . . . .	16
1.2.2	Parametry podvozku . . . . .	20
1.2.3	Fotky podvozku . . . . .	20
<b>2</b>	<b>Napěťové rozvody</b>	<b>23</b>
2.1	Struktura výkonové části . . . . .	23
2.2	Struktura elektronické části . . . . .	23
2.3	Popis zadního ovládacího panelu robotu . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Komunikační protokoly</b>	<b>26</b>
3.1	Protokol pro sériovou linku . . . . .	26
3.1.1	Struktura protokolu . . . . .	26
3.1.2	Realizované zprávy . . . . .	27
3.2	Protokol pro sběrnici I2C/SPI . . . . .	32
3.2.1	Popis tvaru odpovědí jednotlivých modulů . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Realizované druhy modulů</b>	<b>34</b>
4.1	Modul řízení . . . . .	34
4.1.1	Popis modulu . . . . .	34
4.1.2	Popis zapojení . . . . .	35
4.1.3	Postup osazení desky . . . . .	36
4.1.4	Popis Programu . . . . .	36
4.2	Modul optických snímačů otáček . . . . .	41
4.2.1	Popis modulu . . . . .	41
4.2.2	Popis zapojení . . . . .	42
4.2.3	Postup osazení desky . . . . .	43
4.2.4	Popis Programu . . . . .	44
4.3	Modul Analog–Digital převodníků . . . . .	45
4.3.1	Popis modulu . . . . .	45
4.3.2	Popis zapojení . . . . .	45
4.3.3	Postup osazení desky . . . . .	46

4.3.4	Popis Programu . . . . .	46
4.4	Modul půlmostů . . . . .	47
4.4.1	Popis modulu . . . . .	47
4.4.2	Popis zapojení . . . . .	48
4.4.3	Postup osazení desky . . . . .	48
4.5	Modul ovládání motorů . . . . .	48
4.5.1	Popis modulu . . . . .	48
4.5.2	Popis zapojení . . . . .	50
4.5.3	Postup osazení desky . . . . .	50
4.5.4	Popis Programu . . . . .	51
4.6	Modul výkonových výstupů . . . . .	52
4.6.1	Popis modulu . . . . .	52
4.6.2	Popis zapojení . . . . .	52
4.6.3	Postup osazení desky . . . . .	53
4.6.4	Popis Programu . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Propojení modulů</b>	<b>56</b>
5.1	Nastavení jednotlivých modulů . . . . .	57
5.1.1	Modul řízení . . . . .	57
5.1.2	Moduly ovládání motorů . . . . .	57
5.1.3	Modul měření otáček . . . . .	58
5.1.4	Modul GPO . . . . .	58
5.1.5	Modul ADC pro měření natočení . . . . .	59
5.1.6	Modul ADC pro měření napětí ve větvi 5 V . . . . .	59
5.1.7	Modul ADC pro akumulátor elektroniky . . . . .	60
5.1.8	Modul ADC pro výkonový akumulátor . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Řízení podvozku</b>	<b>61</b>
6.1	Elektronický diferenciál . . . . .	61
6.1.1	Matematický model . . . . .	61
6.1.2	Požadavky realizace . . . . .	62
6.2	Řízení motoru přední nápravy . . . . .	64
6.3	Řízení motorů zadní nápravy . . . . .	65
	<b>Reference</b>	<b>67</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>68</b>

<b>A</b>	<b>Definice standardů DPS</b>	<b>69</b>
A.1	Standard 0 . . . . .	69
A.1.1	Rozměry desky . . . . .	69
A.1.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	69
A.2	Standard 1 . . . . .	70
A.2.1	Rozměry desky . . . . .	70
A.2.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	70
A.3	Standard 2 . . . . .	71
A.3.1	Rozměry desky . . . . .	71
A.3.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	71
<b>B</b>	<b>Realizované DPS</b>	<b>72</b>
B.1	Modul řízení . . . . .	72
B.1.1	Rozměry desky . . . . .	72
B.1.2	Seznam součástek . . . . .	74
B.2	Modul řízení motorů . . . . .	75
B.2.1	Rozměry desky . . . . .	75
B.2.2	Seznam součástek . . . . .	77
B.3	Modul AD převodníků . . . . .	78
B.3.1	Rozměry desky . . . . .	78
B.3.2	Seznam součástek . . . . .	80
B.4	Modul optických snímačů otáček . . . . .	81
B.4.1	Rozměry desky . . . . .	81
B.4.2	Seznam součástek . . . . .	83
B.5	Modul půl mostů . . . . .	84
B.5.1	Rozměry desky . . . . .	84
B.5.2	Seznam součástek . . . . .	85
B.6	Modul GPO . . . . .	86
B.6.1	Rozměry desky . . . . .	86
B.6.2	Seznam součástek . . . . .	88
<b>C</b>	<b>Realizované zprávy na RS–232</b>	<b>89</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Podvozky s Weinsteinovy koly . . . . .	11
1.2	Všesměrová kola (vlevo—Stanford, vpravo—Illanator) . . . . .	11
1.3	Podvozek s možností změny úhlu mezi koly (převzato z [2]) . . . . .	14
1.4	Pohled na model kostry z jeklu 10x10 mm . . . . .	16
1.5	Detail umístění motorů s převodovkami . . . . .	17
1.6	Umístění mikro—ATX desky a antény wi—fi . . . . .	18
1.7	Celkový pohled na vnitřní uspořádání . . . . .	19
1.8	Celkový pohled na zakrytovaný robot . . . . .	19
1.9	Pohled do vnitřní části podvozku . . . . .	21
1.10	Jízda v parku . . . . .	21
1.11	Stav robotu při Robotour 2009 . . . . .	22
1.12	Robotour 2009 — jízda . . . . .	22
2.1	Schéma zapojení výkonového vedení . . . . .	23
2.2	Schéma zapojení vedení elektroniky . . . . .	24
2.3	Ovládací panel robotu . . . . .	25
3.1	Signálové propojení všech modulů . . . . .	26
3.2	Tvar identifikační zprávy . . . . .	27
4.1	Vývojový diagram průběhu načítání zprávy přes sériovou linku . . . . .	37
4.2	Detail načítání typu zprávy . . . . .	38
4.3	Část stromu pro dekodování typu zprávy . . . . .	38
4.4	Vývojový diagram zápisu bytu přes sběrnici I2C . . . . .	39
4.5	Vývojový diagram zápisu dvojice bytů přes sběrnici I2C . . . . .	40
4.6	Vývojový diagram čtení bytů přes sběrnici I2C . . . . .	40
4.7	Vývojový diagram regulační smyčky motorů . . . . .	41
4.8	Princip modulu snímání otáček . . . . .	42
4.9	Nepřipojená deska . . . . .	44
4.10	Vývojový diagram programu modulu otáček . . . . .	44
4.11	Zabudovaný modul AD převodníků v robotu . . . . .	47
4.12	Neosazený plošný spoj modulu půl mostů . . . . .	49
4.13	Nepřipojená deska modulu půl mostů . . . . .	49
4.14	Připojená deska ve funkci ovládání motoru přední nápravy . . . . .	51
4.15	Vývojový diagram smyčky spínání výstupů . . . . .	54
4.16	Vývojový diagram smyčky časové prodlevy . . . . .	55
4.17	Připojená deska modulu GPO . . . . .	55
5.1	Signálové propojení všech modulů . . . . .	56
6.1	Blokové schéma elektronického diferenciálu . . . . .	61
6.2	Matematický model podvozku pro výpočet el. diferenciálu . . . . .	62

6.3	Průběh funkce $f(x)$ . . . . .	63
6.4	Průběh odchylek aproximovaných funkcí od $f(x)$ . . . . .	64
A.1	Vzhled standardu 0 v měřídku 1:1 . . . . .	69
A.2	Vzhled standardu 1 v měřídku 1:1 . . . . .	70
A.3	Vzhled standardu 2 v měřídku 1:1 . . . . .	71
B.1	Schéma modulu řízení . . . . .	72
B.2	Osazovací výkres spodní strana modulu řízení . . . . .	73
B.3	Osazovací výkres horní strana modulu řízení . . . . .	73
B.4	Strana spojů modulu řízení . . . . .	73
B.5	Schéma modulu řízení motorů . . . . .	75
B.6	Osazovací výkres spodní strana modulu řízení motorů . . . . .	76
B.7	Osazovací výkres horní strana modulu řízení motorů . . . . .	76
B.8	Strana spojů modulu řízení . . . . .	76
B.9	Schéma modulu AD převodníků . . . . .	78
B.10	Osazovací výkres spodní strana modulu ADC . . . . .	78
B.11	Osazovací výkres horní strana modulu ADC . . . . .	79
B.12	Strana spojů modulu ADC . . . . .	79
B.13	Schéma modulu otáček . . . . .	81
B.14	Osazovací výkres spodní strana modulu otáček . . . . .	81
B.15	Osazovací výkres horní strana modulu otáček . . . . .	82
B.16	Strana spojů modulu otáček . . . . .	82
B.17	Schéma modulu půl mostů . . . . .	84
B.18	Osazovací výkres horní strana modulu půl mostů . . . . .	84
B.19	Strana spojů modulu půl mostů . . . . .	84
B.20	Schéma modulu GPO . . . . .	86
B.21	Osazovací výkres spodní strana modulu GPO . . . . .	86
B.22	Osazovací výkres horní strana modulu GPO . . . . .	87
B.23	Spodní strana spojů modulu GPO . . . . .	87
B.24	Horní strana spojů modulu GPO . . . . .	87

## SEZNAM TABULEK

1.1	Parametry podvozku . . . . .	20
2.1	Popis významu LED indikačního panelu . . . . .	25
3.1	Jednotlivé informační zprávy . . . . .	28
3.2	Nastavení doby sepnutí . . . . .	31
3.3	Nastavení frekvence spínání . . . . .	31
3.4	Implementované identifikační byty . . . . .	32
3.5	Definice posílaných dat pro jednotlivé zprávy . . . . .	33
3.6	Definice jmen bytu modulu GPO . . . . .	33
3.7	Definice posílaných dat pro jednotlivé zprávy . . . . .	33
5.1	Nastavení parametrů sériové linky . . . . .	57
5.2	Nastavení parametrů sběrnice SPI . . . . .	57
5.3	Nastavení parametrů modulů motorů . . . . .	58
5.4	Nastavení modulu měření otáček . . . . .	58
5.5	Nastavení parametrů sběrnice I2C . . . . .	58
5.6	Nastavení parametrů ADC pro snímání natočení . . . . .	59
5.7	Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí ve větvi 5 V . . . . .	59
5.8	Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na akumul. el. . . . .	60
5.9	Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na výk. akumul. . . . .	60
6.1	Srovnání aproximačních polynomů . . . . .	64
B.1	Seznam součástek hlavního modulu . . . . .	74
B.2	Seznam součástek modulu řízení motorů . . . . .	77
B.3	Seznam součástek modulu AD převodníků . . . . .	80
B.4	Seznam součástek modulu snímačů otáček . . . . .	83
B.5	Seznam součástek modulu půl mostů . . . . .	85
B.6	Seznam součástek modulu GPO . . . . .	88
C.1	Definované typy řídicích zpráv s jejich významem při posílání z PC . . . .	89

## ÚVOD

Projekt autonomního venkovního robotu je realizován skupinou čtyř lidí, která se jmenuje TIM2. Jde o Bc. Iva Mačečka, který je zodpovědný za GPS subsystém a zpracování dat z GPS a elektronického kompasu a v neposlední řadě o plánování trasy. Také se jedná o vedoucího našeho týmu, který se stará o rozdělování úkolů, kontroly jejich provedení a stará se o rozhodování při konfliktu názorů mezi členy. Dalším členem je Bc. Martin Skácel, který se stará o snímání sebe lokalizačních veličin robotu. Má zodpovědnost za funkčnost ultrazvukových snímačů a elektronického kompasu. Posledním členem týmu je Tomáš Skočdopole, který je zodpovědný za SW vybavení robotu ve vestavěném PC a komunikaci podle mnou navrženého protokolu. Stará se o funkčnost a kompletnost programů, knihoven a operačního systému ArchLinux. Mojí prací je návrh podvozku robotu společně s jeho realizací, elektronické vybavení pro snadnou možnost jeho ovládání z vestavěného PC a také vlastní programování sestavených modulů. Jako doplňkovou činnost mám na starosti internetové stránky projektu, které postupně vznikly na adrese [www.tim2.wz.cz](http://www.tim2.wz.cz)

Tato práce obsahuje základní rozdělení kolových podvozků, které se používají v mobilní robotice. Okrajově popisuje podvozky, které se v robotice nepoužívají nebo se používají výjimečně. Dále obsahuje výběr vhodného podvozku pro venkovní použití přednostně uzpůsobené pro soutěž Robotour.

Je uveden popis konstrukce podvozku, bez způsobu umístění jednotlivých desek plošných spojů. V sekci věnované konstrukci jsou uvedeny obrázky z programu Inventor, ve kterém byla kostra podvozku navrhována pro dosažení optimální velikosti. Z tohoto programu byla také převzata vypočítaná hmotnost podvozku. Proto jde o velice přibližné číslo. Následuje popis a technické parametry vybraného podvozku s popisem jeho částí.

Další kapitola se věnuje elektronické části. Způsobem propojení výkonových vedení, jejich jištění a způsobu zapínání. Následuje způsob snímání vnitřních stavových veličin robotu, které jsou tvořeny napětím na akumulátorech a napětí v pěti voltové větvi, která slouží pro napájení veškeré elektroniky.

Práce pokračuje popisem protokolu pro komunikaci přes sběrnici USART s popisem všech implementovaných zpráv. Dále je uveden protokol pro komunikaci přes sběrnici SPI s popisem jednotlivých zpráv.

Následuje popis jednotlivých modulů s krátkým popisem jejich hlavní funkce, popisem zapojení, postupem osazování desky a také krátkým popisem vytvořeného programu.

Předposlední část práce se věnuje Způsobu propojení jednotlivých modulů. Je uvedena závislost funkčnosti jednotlivých modulů na funkčnost robotu jako celku. Dále je uvedeno aktuálnímu nastavení jednotlivých modulů, především jejich adres.

Poslední část se věnuje způsobu řízení jednotlivých motorů robotu. Je zde popsán



elektronický diferenciál, tvorba jeho modelu, aproximace pro použití v řídicím jednočipu a způsob jeho implementace. Dále obsahuje způsob realizace regulátoru motoru přední nápravy a regulátoru motorů zadní nápravy.

V příloze jsou uvedeny standardy velikostí jednotlivých desek s definováním umístění montážních otvorů, dále jsou uvedeny kompletní schémata a výkresy nutné k sestrojení jednotlivých desek s tabulkami se seznamem součástek, jejím označením ve schématu, jmenovitou hodnotou a typem pouzdra.

# 1 DRUHY PODVOZKŮ

Existuje mnoho druhů podvozků, které se významně liší jejich místem určení a proto se objevuje velké množství způsobů dělení. Například, podle prostření, ve kterém se pohybují: pro souš (terrestrial) a jejich dělení pro vnitřní/ventovnní (indoor/outdoor) použití, ve vodě (aquatic), ve vesmírném prostoru (space) a případně jejich kombinace.

Podvozky používané pro pozemní účely jsou nejrozmanitější. Jejich pohybová část může být složena z kol, z pásů nebo z chodidel. Podle toho se podvozky dělí na kolové, pásové a kráčející, popřípadě speciální, které využívají více než jeden druh aktuátorů.

## 1.1 Kolové podvozky

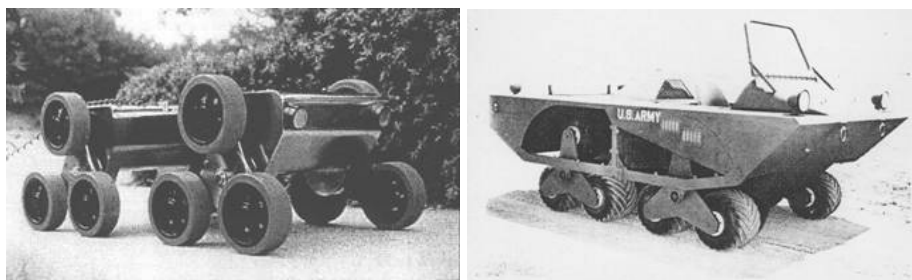
Jedná se o nejčastěji používaný podvozek v mobilní robotice. Hlavní důvody majoritního zastoupení jsou nízké náklady na konstrukci a následně rychlá konstrukce základních kolových podvozků. Nejčastěji se jedná o čtyřkolové podvozky méně často o tříkolové nebo vícekolové. Tříkolové podvozky jsou nutné pro dodržení statické stability podvozku, vícekolové roboty jsou používány pro zvýšení průchodnosti podvozku nebo pro rovnoměrné rozložení zátěže.

Existují i konstrukce založené na dvojici kol nebo dokonce s jediným kolem. Tyto podvozky jsou používány jen velice zřídka. Hlavním důvodem je velice obtížné řízení, při kterém je hlavním cílem udržení stability. Pro dodržení stability se spotřebovává energie a je nutnost implementace snímačů, které zajišťují informaci o poloze podvozku. Nejčastěji se jedná o gyroskopy a akcelerometry. Dalším problémem těchto podvozků je malá průchodnost terénem. Tyto konstrukce nejsou v autonomní mobilní venkovní robotice použitelné, jsou náročné na konstrukci i řízení proto zde nejsou blíže popsány.

### 1.1.1 Druhy kol

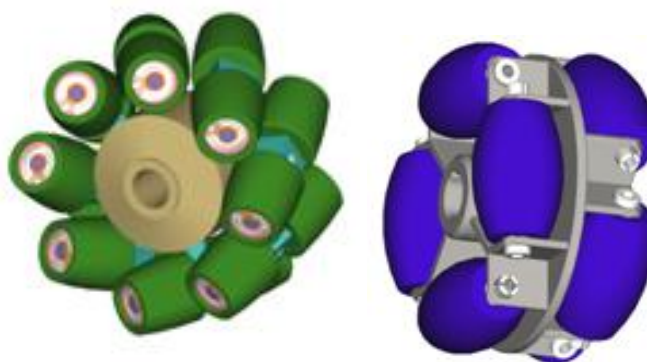
Základním a nejrozšířenějším kolem je klasické kolo. Jeho majoritní použití spočívá v jeho jednoduché konstrukci, nízkých nákladech na výrobu, velké robustnosti a průměrné schopnosti překonávání běžných překážek ve venkovních podmínkách.

Pro zvýšení průchodnosti bylo vyvinuto Weinsteinovo kolo. Jeho hlavní výhoda je možnost pohybu ve velmi členitém terénu. Dokáže překonávat překážky typu schod s výškou schodu o průměru kola. Hlavním využitím tohoto typu kol je u vozíků pro tělesně postižené, které dokáží překonat schody. Příklady konstrukce jsou uvedeny na obrázku 1.1. V levé části obrázku je vyfocen podvozek robotu s rozměry: výška 330 mm, délka 915 mm, šířka 480 mm. V pravé části vojenský transportér, který byl určený pro překonávání překážek s průměrem větší než průměr kola, také se dobře pohyboval po písčitém povrchu.



Obrázek 1.1: Podvozky s Weinsteinovy koly

Další velice specializovanou skupinou jsou všesměrová kola. Umožňují jízdu v přímém směru i zatáčení s nulovým poloměrem otáčení. Skládají se z jednoho náboje kola, které je poháněné a na obvodu valivými elementy. Ty jsou ve tvaru válečků nebo soudků. Osa elementů mohou být kolmé na osu otáčení, pak se jedná o kola Strandfötské nebo osa elementů svírá s osou otáčení úhel  $45^\circ$ , pak se jedná o kola Illanator. Nevýhodami všesměrových kol jsou: velká cena způsobená náročností výroby a nutné preciznosti při sestavování. Náročnost údržby, kdy zaseknutí jednoho valivého elementu způsobí nepojízdnost celého podvozku. Téměř nulová průchodnost terénem, proto není možné využití u venkovních robotů. Z tohoto důvodu nebudou popsány konstrukce podvozků s všesměrovými koly. Pro lepší představu je uveden obrázek 1.2. Na obrázku jsou vidět příklady konstrukce obou typů všesměrových kol. Jednotlivé konstrukce se mohou lišit počtem valivých elementů a jejich upevněním.



Obrázek 1.2: Všeměrová kola (vlevo—Stanford, vpravo—Illanator)

### Způsoby upevnění klasických kol

Při konstrukci podvozku se využívá různých upevnění kol. Nejjednodušší je pevné kolo, které se převážně používá k přenášení výkonu motoru na kola.

Dalším způsobem upevnění je volné uložení, které se používá nejčastěji pro stabilizaci podvozku. Jeho hlavní výhodou je, že nesnižuje mobilitu podvozku. Je možné řídit natočení kola pomocí jednoho akčního členu a pomocí dalšího je možné ho používat i pro pohon, ale jeho konstrukce i ovládání je velice obtížné proto se tato varianta téměř nepoužívá.

Posledním je kolo řízené, které se používá pro řízení podvozku zejména u Ackermannova podvozku. Má jednu osu otáčení s omezeným rozsahem úhlů. Většinou se maximální úhel natočení pohybuje do  $\pm 40^\circ$ .

### **Parametry klasických kol**

Při výběru kol je zásadním parametrem jeho průměr. Ten se volí v závislosti na požadavku průchodnosti terénu. Zjednodušeně by se dalo říct, čím větší poloměr tím větší průchodnost terénu. Samotné kolo je schopné překonat překážku o velikosti jedné třetiny průměru kola.

Dalším parametrem je tloušťka kola a jeho vzorek. Ten se volí v závislosti na stabilitě a možnostech odvodu vody z mokrého povrchu. Při větší tloušťce kola se zvyšuje stabilita, ale snižuje možnost odvodu vody při jízdě na mokřem povdchu.

V závislosti na předpokládaném povrchu používání se volí rozdílný tlak pneumatik. Nižší tlak pneumatik je vhodný pro měkkčí povrchy jako jsou sypký sníh, písek a husté bláto. Vyšší tlak je vhodný pro pevné materiály jako jsou ztvrdlý sníh, štěrk nebo běžná silnice.

## **1.1.2 Konstrukce podvozků**

Konstrukce podvozků jsou velice rozmanité a často jsou jednotlivé varianty uzpůsobené pro speciální účel se specifickými požadavky. Proto je provedeno rozdělení na běžně používané podvozky v robotice a výjimečně používané v robotice.

### **Běžně používané v robotice**

Konstrukce podvozků jsou velice rozmanité. Proto jejich popis zde není úplný a podrobný.

Základní podvozek se skládá z dvojice kol, která jsou diferenčně řízená. Pro stabilizaci se používá jeden nebo dva stabilizační body nebo místo stabilizačních bodů, které zvyšují odpor podvozku, se používají zavěšená kola. Obdobný podvozek se skládá ze čtveřice pevných kol, které jsou diferenčně řízená. A k pohonu podvozku slouží dvojice motorů. Každý motor ovládá dvojici kol na jedné straně. Převod energie mezi koly většinou zprostředkovává řemen.

Další konstrukce podvozku se skládá ze tří kol, kde dvě kola jsou pevná a jedno kolo je použito pro řízení. Při tom řízené kolo může být umístěno v přední nebo v zadní části

podvozku. Další možnost je jedno kolo hnané a dvojice řízených kol. Výhodou tohoto podvozku je problém s řešením diferenciálu mezi poháněnými koly. Tyto kombinace se označují jako tříkolový Ackermann. Obdobný podvozek se skládá z dvojice řízených kol a dvojice pevných kol. Tato kombinace je označována jako čtyřkolový Ackermann. U variant se dvěma hnanými koly je potřeba řešit diferenciál pro zvýšení efektivity pohonu a zajištění pohybu v zatáčkách bez smyku kol.

### **Zřídka používané v robotice**

Jedná se o konstrukce, které jsou čtyřkolové, pětikolové, šestikolové nebo osmikolové. Větší počet kol se používá pro lepší rozložení váhy pokud není možné nebo vhodné použít většího průměru kol, ale převážně se jedná o pouhé zdvojení kol a není je nutné zařazovat do speciálních skupin.

Hlavním prvkem málo používaných konstrukcí jsou klouby mezi jednotlivými nápravami. Mohou mít osu otáčení kolmou k terénu. Při diferenčním řízení jsou použity pro snížení energetické náročnosti při zatáčení při jízdě a zároveň neztrácí schopnost otáčení na místě. Při Ackermannově řízení tyto klouby jsou použity pro zvýšení manévrovatelnosti při jízdě.

Pokud je osa kloubu otáčení rovnoběžná s podložkou, tak se zvyšuje průchodnost rozmanitým terénem. Při použití kloubu se většinou používá kloub s oběma stupni volnosti, tím se snižuje jeho namáhání.

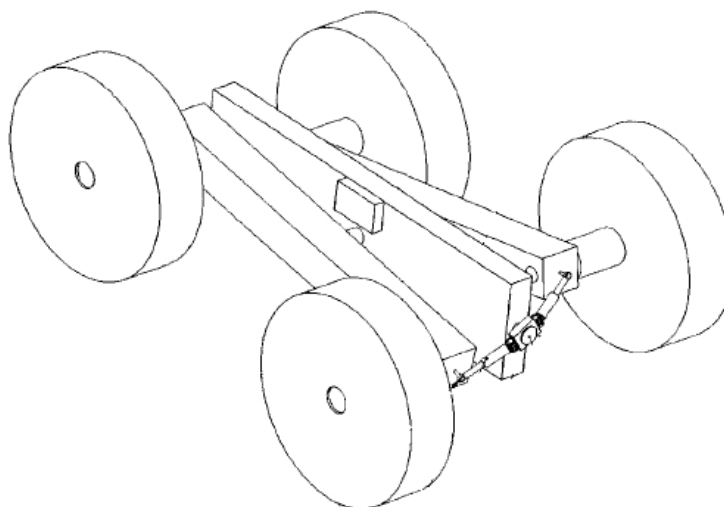
Dalším způsobem jak zvýšit průchodnost terénem je možnost změny úhlu svírajícího mezi koly na levé a pravé straně podvozku. Tato změna je většinou zprostředkována jedním elementem. Tuto variantu je těžké si představit proto je popis doprovázen ilustrací 1.3 z použité literatury [2]. Jde o knihu SANDIN, Paul E. Robot mechanisms and mechanical devices.

Při větším počtu kol než jsou čtyři je možná téměř libovolná kombinace různých popsanych variant.

### **Ackermannův vs. diferenční podvozek**

Základní rozdíly jsou v možnostech mobility robota. Přesněji v počtu diferenciálních stupňů volnosti (DDOF), což je počet nezávislých rychlostí podvozku. Kde diferenciální podvozek má DDOF rovnu 2, ale Ackermannův podvozek pouze 1. Což znamená, že Ackermannův podvozek nemá oproti diferenciálnímu podvozku možnost otáčení na místě. Proto pokud je nutné manévrování v malém prostoru je vhodnější použít diferenciální podvozek.

Dalším rozdílem je energetická náročnost při jízdě. Tento parametr může být zásadní pro malé mobilní roboty, které jako zdroj energie používají akumulátory. Z tohoto hlediska je méně energeticky náročný podvozek s Ackermannovým řízením. Hlavním



Obrázek 1.3: Podvozek s možností změny úhlu mezi koly (převzato z [2])

důvodem je výrazný nárůst spotřeby diferenciálního podvozku při zatáčení, kdy dochází ke smyku. Rozdíl ve spotřebě může být až desetinásobný při zatáčení oproti rovné jízdě. Proto při konstrukci musí být dimenzován výkon motorů a převodovek na jízdu při zatáčení což dále zvedá cenu celého podvozku a zvyšuje jeho hmotnost.

### 1.1.3 Výběr nejvhodnějšího podvozku

Výběr probíhá vyřazovacím způsobem, kde postupně budou kladeny požadavky na podvozek v závislosti na jejich důležitosti, následně bude napsán popis podvozků, které neodpovídají požadavkům.

Základní požadavek na konstrukci je přiměřeně složitá konstrukce podvozku. Proto jsou ze seznamu možných podvozků vyřazeny podvozky s všesměrovými koly, podvozky s klouby nebo dalšími mechanizmy zvyšující průchodnost terénu, které by se nevyužili při standardním používání.

Dalším limitujícím parametrem je dostatečná statická stabilita podvozku, aby plocha podvozku nemusela být přesně vyvážená a při osazování podvozku akumulátory a dalšími těžšími komponentami brána přílišná zřetel na uvedení podvozku do nestabilní polohy, protože se počítá s následnými úpravami, které bude dělat osoba bez znalostí problematiky. Tento parametr nesplňují tříkolové podvozky bez rozlišení zda se jedná o Ackermannův podvozek nebo diferenčně řízený podvozek.

Jako poslední požadavek je pokud možno nejnižší energetická náročnost při jízdě, aby se snížila hmotnost potřebných akumulátorů nebo zvýšila dojezdovost při stejné hmotnosti. Z tohoto hlediska vychází lépe podvozek Ackermannova typu. Diferenčně

řízený podvozek by bylo nutné vybrat při požadavku otáčení se na místě nebo kdyby se předpokládal provoz v omezeném prostoru, který ale není u venkovního robota potřebný.

Dalším problémem je vhodná volba rozměrů kol, aby byla zajištěna dostatečná průchodnost terénem. Zde je kladen požadavek na bezproblémový průjezd parkem po zpevněném povrchu, štěrků i prašné cestě s možnými vyčnívajícími větvemi. Při předpokladu, že se budou vyskytovat překážky s výškou nepřekračující 5 cm, je vhodné použít kola o průměru minimálně 15 cm, ale se světlou výškou robotu minimálně 6 cm.

## 1.2 Realizovaný podvozek

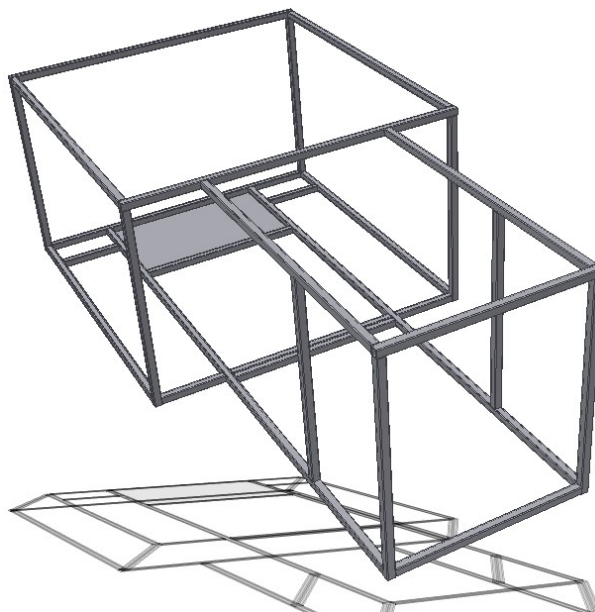
Na základě výsledků rozboru vhodnosti jednotlivých druhů podvozků byl vybrán čtyřkolový podvozek s ackermannovým řízením.

Z požadavků na obsažené komponenty, které jsou hlavně základní deska formátu mikro–ATX s možností umístění přídatných karet do rozšiřujících slotů, wi–fi routeru pro vzdálené ovládání robotu, dostatečného místa pro řídicí elektroniku, a pro velkou dojezdovost dvojice velkých akumulátorů byl navržen model podvozku v modelovacím programu Inventor 10, který obsahuje všechny vyjmenované komponenty spolu s částmi obstarávající pohon robotu.

### 1.2.1 Model podvozku

Model robotu je navržen s ohledem na minimalizaci velikosti při nutnosti obsáhnout všechny potřebné komponenty. Proto byly vytvořeny dostatečně přesné modely nejrozměrnějších částí jako jsou: základní deska formátu mikro–ATX s rozšiřujícími kartami s maximální velikostí podle specifikace, dvojice akumulátorů, wi–fi routeru a převodovek s motory.

#### Základní postup konstrukce podvozku



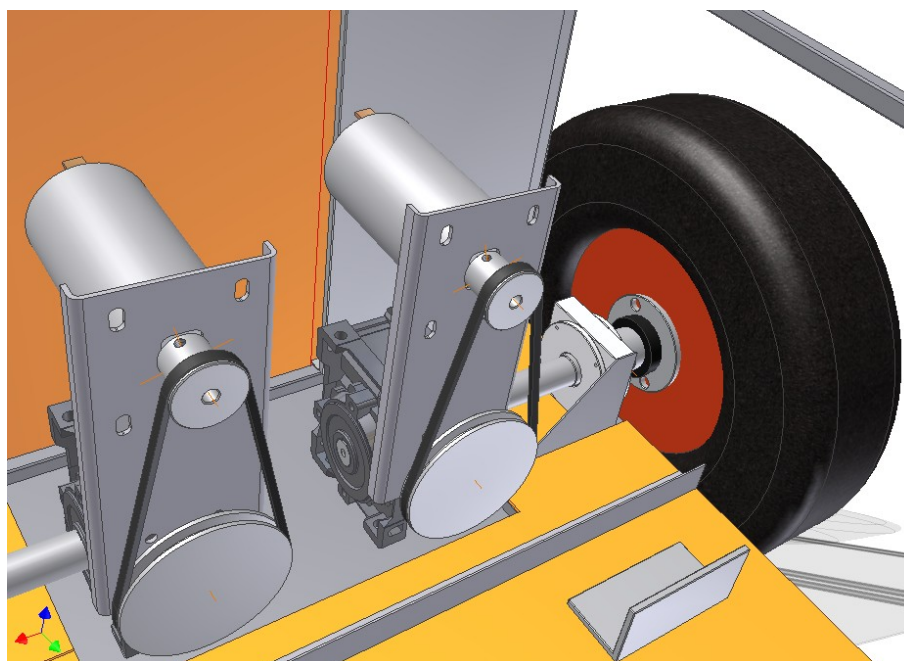
Obrázek 1.4: Pohled na model kostry z jeklu 10x10 mm

První byla vytvořena kostra ze svařovaného železného jeklu o rozměrech 10x10 mm. Následně na ni byl v zadní části přistehován podkladový železný plech s tloušťkou 2 mm,



na kterém jsou přichyceny převodovky. Dále byla sestrojena část konstrukce pro přední nápravu.

Ta byla vytvořena tak, že byly vytvořeny sloupky z jeklu 20x20 mm do kterých na koncích byl zavařen železný váleček s průměrem 18 mm, který ve středu měl závit. Následně byly vysoustženy čepy řízení. K nim byla vysoustružena hřídel k uchycení předních kol a vnitřní zarážka kola, vše vyrobeno z oceli. Tyto části byly podle plánu spolu svařeny a vytvořili nerozebíratelný spoj. Dále byly sestrojeny mosazné kluzné ložiska pro čepy řízení. Poté byla vytvořena horní a spodní část řízení. Následně bylo celé řízení smontováno a vloženo na požadované místo. Následovalo svaření sloupků řízení s jeklovou kostrou. Následně byly přivařeny boční pomocné podpěry pro zabránění vyvrácení sloupků řízení. Takto vzniklá konstrukce byla natřena barvou pro zabránění koroze.



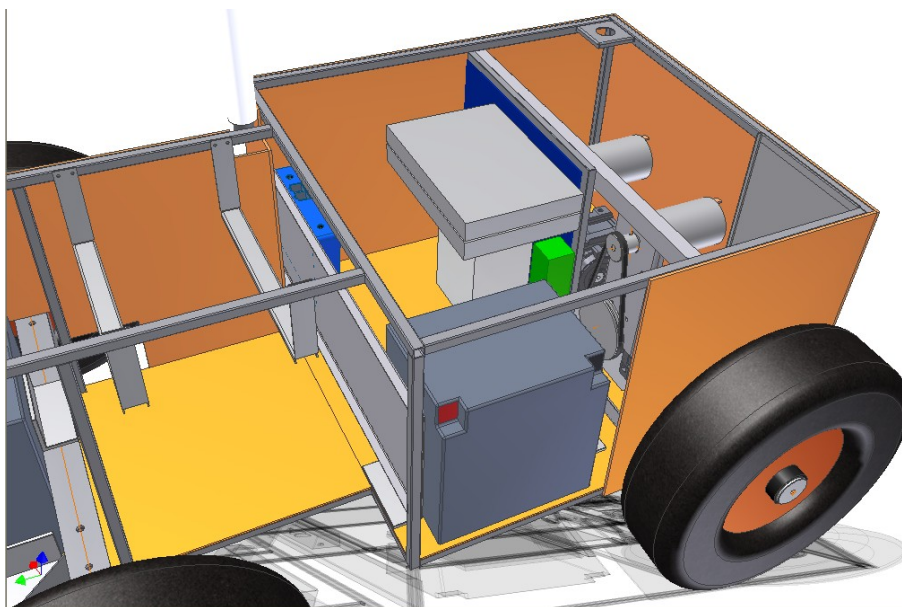
Obrázek 1.5: Detail umístění motorů s převodovkami

V další části byly ke kostře pomocí dvojice šroubů připevněny domečky s vestavěnými kuličkovými ložisky spolu s převodovkami. Pod převodovky byla umístěna gumová podložka s tloušťkou 2 mm pro snížení hluku při provozu. Následně byly přidělané motory s řemenovými koly.

Po té následovalo přišroubování podlahy, která je tvořena ze sklolaminátu s tloušťkou 2 mm. Tento materiál je dostatečně lehký a pevný. Jde do něj vyřezat závit M3, což umožňuje dodatečné připevnění všech pomocných prvků.

Po připevnění podlahy přišlo na řadu dodělaní řízení. Byl připevněn motor řízení

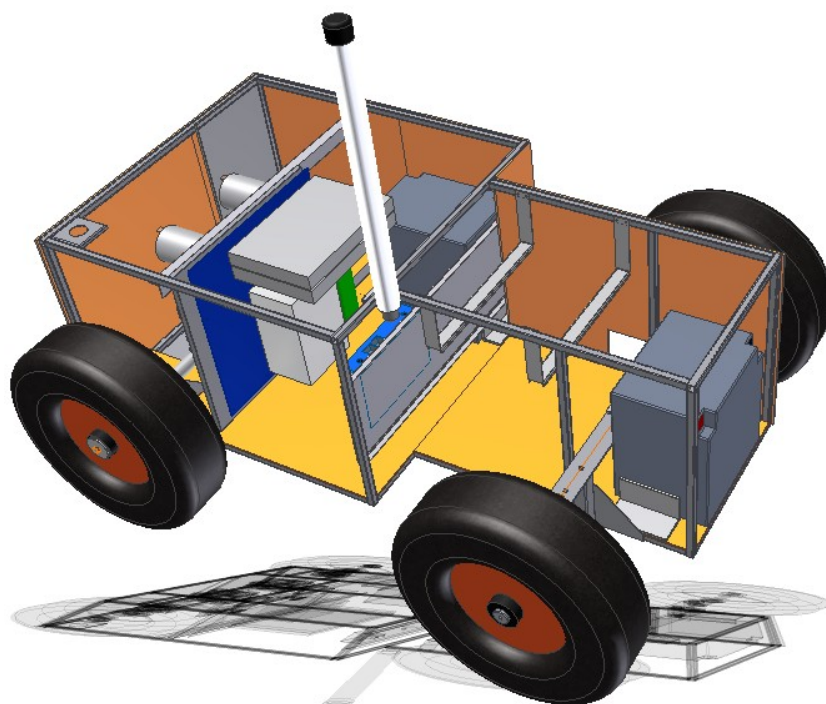
s ozubeným hřebenem pro ovládání táhel čepů a tím natáčení kol. V krajních polohách byly připevněny mikrospínače pro bezpečné určení krajní polohy. Následovalo připevnění krytů na potenciometry nad čepy řízení pro určení přesného natočení kol.



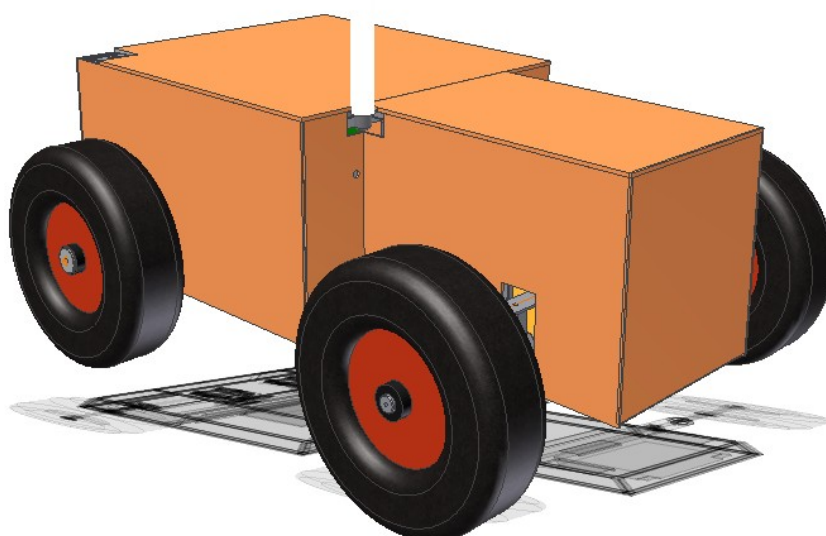
Obrázek 1.6: Umístění mikro–ATX desky a antény wi–fi

Pokračovalo se připevněním akumulátorů, které je vytvořeno z hliníkových L profilů s tloušťkou 2 mm a výškou 40 mm. Tyto profily jsou připevněny k podlaze. Na nich jsou přidělány suché zipy pro pevné uchycení akumulátorů. Následovalo vytvoření prostoru pro elektroniku nad motorem řízení. Dále byl vytvořen a přichycen hliníkový plech s tloušťkou 1 mm pro uchycení wi–fi routeru a PWM modulu pro ovládání motoru řízení. Poté byla na řadě ATX deska a její připevnění. Další na řadě bylo připevnění konektoru pro wi–fi anténu na kostru.

Jako poslední byl vytvořen kryt konstrukce. Je tvořený z 4 a 6 mm bílého plastu pokrytého oranžovou venkovní fólií, která má vydržet venkovní povětrnostní podmínky 3 roky. Takto potažené kryty byly přišroubovány ke kostře pomocí šroubů M3.



Obrázek 1.7: Celkový pohled na vnitřní uspořádání



Obrázek 1.8: Celkový pohled na zakrytovaný robot

## 1.2.2 Parametry podvozku

V této části jsou uvedeny základní parametry podvozku, které byly zjištěny měřením. Jedině hmotnost podvozku se musela odhadnout pomocí modelovacího programu Inventor a přibližné hmotnosti částí, které v modelu nebyly vytvořeny. Důvod je, že nebyla nalezena váha, která by mohla být použita pro měření.

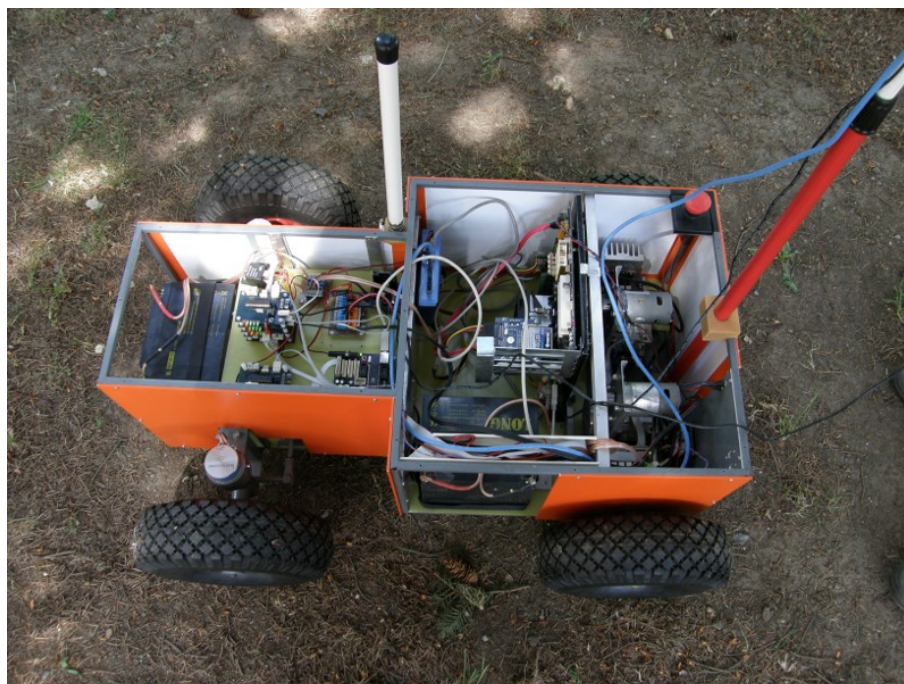
Hmotnost	do 45 kg
Délka	900 mm
Celková šířka s koly	650 mm
Vnitřní největší šířka	450 mm
Výška s koly	400 mm (bez antény)
Výška vnitřního prostoru	280 mm
Rozvor náprav	600 mm
Rozchod náprav	580 mm
Průměr kol	300 mm
Maximální rychlost po rovině	1,5 m/s (5,4 km/h)
Poloměr otáčení	přibližně 1,5 m
Maximální stoupavost	< 20 stupňů
Pohon	2x Graupner SPEED 900BB (2x 80 W) na zadních kolech, 1x motor ze stěračů od škodovky pro řízení nápravy
Zdroj energie	2x WP26–12 od KUNG LONG – 12 V, 26 Ah
Průměrná doba provozu na akumulátory	1,5 h (záleží na terénu)

Tabulka 1.1: Parametry podvozku

## 1.2.3 Fotky podvozku

V této části jsou uvedeny fotky realizovaného podvozku při testovacích jízdách a fotky ze soutěže Robotour 2009.





Obrázek 1.9: Pohled do vnitřní části podvozku



Obrázek 1.10: Jízda v parku





Obrázek 1.11: Stav robotu při Robotour 2009



Obrázek 1.12: Robotour 2009 – jízda

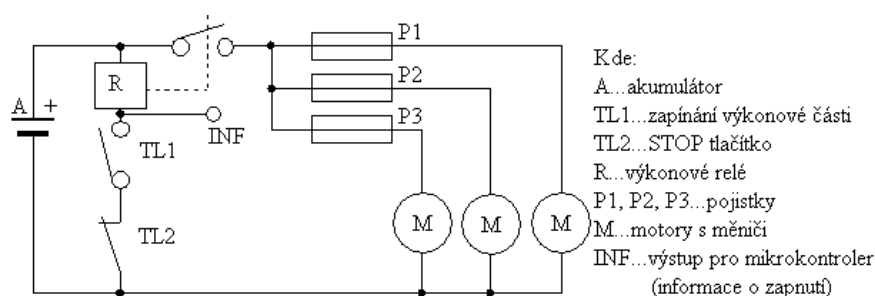
## 2 NAPĚŤOVÉ ROZVODY

Základním rysem koncepce je přítomnost dvojice nezávislých akumulátorů. Hlavním důvodem je oddělení rušení, vznikajícího na výkonových prvcích, přesněji na komutátorech motorů, od citlivé elektronické části tvořené převážně snímači. Tímto způsobem byla získána možnost zapnutí pouze elektroniky bez nutnosti přítomnosti akumulátoru pro pohon motorů.

### 2.1 Struktura výkonové části

Základním prvkem je zdroj energie, akumulátor. K akumulátoru je přes hlavní vypínač TL1 a STOP tlačítko TL2 připojeno vynutí výkonového relé R. Typ relé je RELAUTO12V–80A a jeho maximální spínací proud je 80 A. Na spínací kontakt relé je připojena trojice pojistek motorů, které zajišťují pohyb robotu.

Tímto způsobem bylo možno použít spínací prvky pro menší spínací výkon. Hlavní výhodou tohoto řešení je, že vodiče jdoucí k vypínači a STOP tlačítku nejsou zdrojem rušení mimo okamžiky zapínání a vypínání relé. Tato výhoda je stěžejní z důvodu rozdílného umístění spínacích prvku. Kdyby nebylo použito relé byla by mnohem větší vzdálenost vodičů s velkou a často skokovou změnou protékajícího proudu, které by rušily citlivou elektroniku. Další výhodou tohoto řešení je, že spínací prvky je mnohem jednodušší koupit a jejich pořizovací cena je nižší. Schéma je zobrazeno na 2.1.

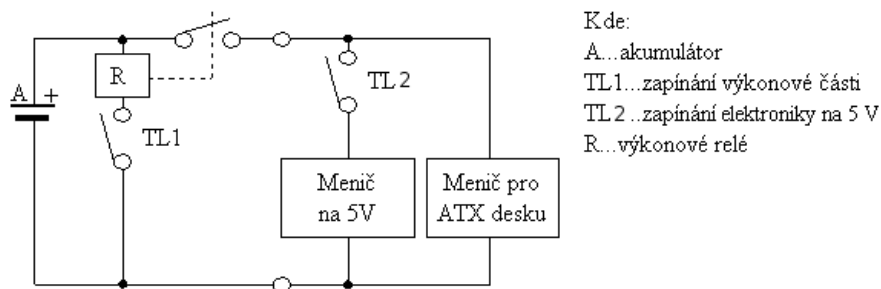


Obrázek 2.1: Schéma zapojení výkonového vedení

### 2.2 Struktura elektronické části

Struktura rozvodů elektronické části je jednodušší než výkonové. To je dáno použitím kupovaného měniče pro základní desku počítače. Pro zapínání akumulátoru k elektronice je také použito výkonové relé RELAUTO12V–80A. To se provádí vypínačem TL1. Zde je také hlavním důvodem snížení rušení citlivé elektroniky. Vodiče připojující cívku relé

jsou zde velice dlouhé, protože akumulátor elektroniky je umístěn v přední části a vypínač je umístěn v zadní části na panelu. Délka vodiče je tedy přes jeden metr. Další spínací prvek je vypínač TL2, který odpojuje elektroniku připojenou na 5 V větvi. Schéma je zobrazeno na 2.2.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení vedení elektroniky

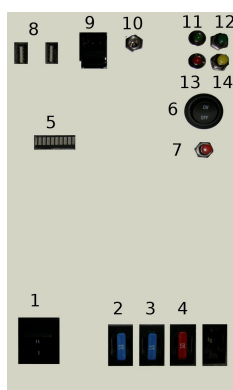


## 2.3 Popis zadního ovládacího panelu robotu

Panel slouží pro ovládání robotu a komunikace robotu s okolím. Jeho obrázek je uveden 2.3 s číselným označením jednotlivých ovládacích prvků. Panel obsahuje vypínač akumulátorů (1), vypínač k měniči napětí pro napájení elektroniky (6) a tlačítko pro zapnutí Stand-by režimu měniče (7). Dále obsahuje ovládací a indikační prvky pro ovládání zabudovaného počítače. Jde o tlačítka sloužící k zapnutí (12) a resetu (14) počítače, diody pro indikaci zapnutí (11) a práce s HDD (13). Další část obsahuje konektory pro připojení periférií počítače, jde o dvojici USB 2.0 konektorů (8) a síťový konektor RJ-45 (9). Následuje konektor s napětím 12V jdoucí z akumulátoru elektroniky (10).

V dolní části panelu je umístěna trojice auto pojistek. Slouží pro ochranu levého zadního motoru (2), pravého zadního motoru (3) a motoru přední nápravy (4).

Poslední prvek na zadním panelu je LED indikační panel složený z desíti LED. Význam jednotlivých svítivých diod je uveden v tabulce 2.1 s číslováním jdoucím zleva.



Obrázek 2.3: Ovládací panel robotu

Číslo	Popis
1, 2, 3, 4	Definuje nadřazený PC
5	Svítí při odpovídání na zprávu z PC
6	Rozsvítí se pokud po dobu 1 s nepřišla zpráva z PC
7	Svítí při dostatečném napětí na akumulátoru elektroniky
8	Svítí při dostatečném napětí na akumulátoru motorů
9	Nezapojená
10	Indikace zapojení 5 V větve

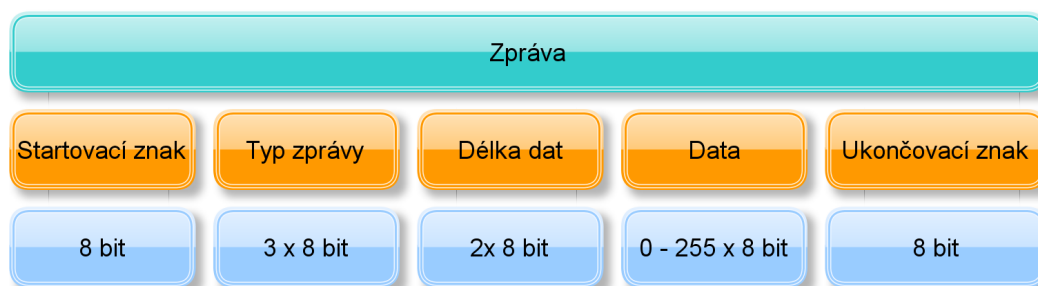
Tabulka 2.1: Popis významu LED indikačního panelu

## 3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

### 3.1 Protokol pro sériovou linku

#### 3.1.1 Struktura protokolu

Protokol je navržen pro obousměrnou komunikaci vestavěného PC v robotu a hlavního modulu řízení postaveného na mikrokontroléru ATmega 32. Protokol je bytově orientovaný pro komunikaci se používá znaků ASCII tabulky, aby bylo možná komunikace i přes terminál a aby přímo posílané zprávy měly vypovídací hodnotu. Základní struktura protokolu je uvedena na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Signálové propojení všech modulů

Startovací znak je netisknutelný znak s významem BELL jeho hexa kódem je 0x07, v jazyce C jde použít zkratku `\a`.

Typ zprávy se může skládat z libovolné kombinace trojice bytů. Pro dodržení čitelnosti by se mělo jednat o tisknutelné znaky, nejlépe malá písmena, velká písmena a číslice. Touto kombinací vzniká obrovský počet možných zpráv s dostatečnou délkou, aby měla kombinace přímé spojení s požadovaným významem zprávy.

Délka datové části je tvořena dvojicí charů. Jedná se o znaky šestnáctkové soustavy tvořených velkými písmeny a číslicemi. Z tohoto důvodu je délka datové části omezena na maximální počet 255 poslaných bytů. Pro požadovaný účel je toto množství více než dostatečné.

Vlastní data nemusí být přenášena. Zdělení je možné přenést typem poslané zprávy. Této možnosti je využito při posílání požadavků z řídicího počítače na hlavní desku řízení.

Ukončovací znak je netisknutelný znak s významem koncem řádku jeho hexa kód je 0x0A, v jazyce C jde použít zkratku `\n`.

### 3.1.2 Realizované zprávy

Pro potřeby ovládání, řízení a informací o jednotlivých modulech byly sestaveny následující zprávy. Pokud možno kombinace znaků hlavičky naznačuje její význam. Zprávy je možno rozdělit do několika kategorií podle jejich významu.

#### Ovládání podvozku

Pro ovládání podvozku jsou použity dvě základní zprávy. Jedna nastavuje požadovaný úhel přední nápravy a druhá dopřednou rychlost.

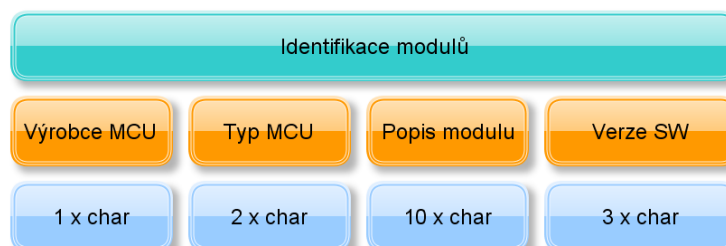
První zpráva má tvar hlavičky SPD, délka zprávy je pevná a je 5. Tvar dat je  $+/-x.xx$ , kde  $x.xx$  je požadovaná rychlost v m/s, + značí dopředný směr, – značí couvání. Příklad kompletní zprávy bez startovacího a ukončovacího znaku je SPD05+0.50. Význam této zprávy je požadavek na jízdu dopředu rychlostí 0,5 m/s. Při poslání zprávy hlavní modul odpoví ve stejném tvaru zprávy s hodnotou aktuální rychlosti robotu.

Druhá zpráva má tvar hlavičky DIR, délka zprávy je pevná a je 5. Tvar dat je  $+/-xx.x$ , kde  $xx.x$  je požadované zatočení přední nápravy ve stupních, + značí zatočení doprava, – značí zatočení doleva. Příklad kompletní zprávy bez startovacího a ukončovacího znaku je DIR05+10.5. Význam této zprávy je požadavek na zatočení přední nápravy na pravou stranu s úhlem 10,5 °. Při poslání zprávy hlavní modul odpoví ve stejném tvaru zprávy s hodnotou aktuálního natočení přední nápravy robotu.

Poslední zprávou, která spadá přímo do ovládání podvozků je zpráva pro okamžité zastavení motorů zadní nápravy a motoru přední nápravy. V podstatě jde o SW stop tlačítko s typem hlavičky STP. Zpráva neobsahuje žádné data. Po zastavení motorů odpoví zprávou se stejnou hlavičkou a v datech znaky OK.

#### Informace o jednotlivých modulech

Je definován pevný tvar datové části zprávy odpovědí na všechny dotazy o informace všech modulů a význam jednotlivých částí. Rozdělení na části je vyznačeno na obrázku 3.2 i s délnou jednotlivých sekcí. Význam znaků výrobce použitého MCU je A pro firmu



Obrázek 3.2: Tvar identifikační zprávy

Atmel. Označení typu MCU je 08 pro ATmega8 a 32 pro ATmega32. Přesný tvar popisů modulů není definován z důvodu velké variability modulů. Například pro hlavní modul je použito CONTROL, pro modul GPO je použito GPO08C0.5A s významem 8 výstupů s maximálním výstupním proudem 0,5 A, pro modul ADC je použito například ADC06.004V s významem maximálního napětí 6,004 V, pro modul snímání otáček je použito MOT. SPEED. Poslední část se skládá z trojice znaků označující verzi nahráného SW.

Dotazování na informace o jednotlivých modulech probíhá přes hlavní modul a liší se podle typů modulů. Tvar zprávy je, ale pro všechny moduly podobný. Zpráva se posílá bez datové části a liší se jen znaky v hlavičce zprávy. Všechny informační zprávy jsou uvedeny v tabulce 3.1 i s popisem dorazu. V tabulce není popsán dotaz ADI, který se tomuto standardu vymiká. Jedná se o starší zprávu, která je stále podporována. Její odlišnost je v tom, že obsahuje data s délkou jednoho znaku. Data mají význam adresy AD převodníku. Mohou nabývat hodnot 0 až F. Pro dotaz o informace o všech připojených převodnicích musí data obsahovat znak x.

Tvar hlavičky	Význam
INF	Informace o hlavním modulu
AxI	Informace o modulech AD převodníků, kde x je číslo převodníku (0..f)
GPI	Informace o modulu výstupů pro všeobecné použití
SRI,SLI	Informace o modulu snímačů otáček levého a pravého kola (jeden modul pro obě kola)

Tabulka 3.1: Jednotlivé informační zprávy

### Zprávy informační

Tyto zprávy nejsou běžně používané, ale jejich implementace zjednodušuje zjišťování aktuálně připojených modulů a stavů jednotlivých modulů.

První zpráva má hlavičku I2C. Neobsahuje datovou část při posílání z PC. Hlavní modul odpoví zprávou se stejnou hlavičkou, data budou obsahovat adresu připojeného I2C zařízení v šestnáctkovém kódu. Odpoví počtem zpráv, který odpovídá počtu připojených zařízení na I2C, které potvrdí svoji adresu.

Další zpráva má hlavičku SPI. Neobsahuje datovou část při posílání z PC. Hlavní modul odpoví zprávou se stejnou hlavičkou, data budou obsahovat adresu připojeného SPI zařízení ve tvaru SSx, kde x je číslo aktivního slave select. Odpoví počtem zpráv, který odpovídá počtu připojených zařízení na SPI.

Pro zjištění ujeté vzdálenosti robotu je implementována zpráva s hlavičkou DST, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul odpovídá stejnou hlavičkou s datovou částí xxxx.x, jde o ujetou vzdálenost v metrech od resetu nebo SW resetu.

Do této kategorie spadá i zpráva TIM, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul vrací hodnotu ve tvaru xxxxx.x. Odpovídá době v sekundách od posledního resetu nebo SW resetu modulu.

Další zpráva v této kategorii je XDR, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul vrací hodnotu natočení pření nápravy, kterou má načtenou ve své paměti, nejde o aktuální hodnotu. Tvar dat je stejný jako u zprávy DIR.

Předposlední zpráva v této kategorii je XLS, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul vrací hodnotu rychlosti levého kola, kterou má načtenou ve své paměti, nejde o aktuální hodnotu. Tvar dat je stejný jako u zprávy SPD.

Poslední zpráva v této kategorii je XRS, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul vrací hodnotu rychlosti pravého kola, kterou má načtenou ve své paměti, nejde o aktuální hodnotu. Tvar dat je stejný jako u zprávy SPD.

### **Ovládání modulů**

V této kategorii je jediná zpráva. Tvar hlavičky je CLR. Její význam je SW reset modulů. Jde o navrácení modulů do stavu po resetu. V datové části zprávy je uvedena adresa zařízení, pro který je reset požadován. Tvar dat je pevný a to dva znaky, které mají význam adresy zařízení na I2C v šestnáctkovém kódu. Například pro adresu 0x06 data obsahují znaky 06. Pro SW reset hlavního modulu je rezervována adresa 0x00. Pro reset všech připojených zařízení i hlavního modulu zároveň jde použít v datech znaky xx.

### **Specifické zprávy modulu otáček**

S modulem otáček je možné komunikovat prostřednictvím hlavního modulu. Podporuje posílání aktuální rychlosti kol (SLC, SRC), maximální rychlosti kol (SLM, SRM) a průměrné rychlosti kol (SLA, SRA). Druhý znak hlavičky zprávy má význam rozlišení levého kola (L) a pravého kola (R). Při posílání zprávy do hlavního modulu nemají zprávy datovou část. Hlavní modul odpovídá stejnou hlavičkou. Datová část obsahuje znaky x.xxxx, jedná se o rychlost v m/s.

Další zprávy, které jsou podporovány slouží pro nastavení parametrů kol, které jsou nutné pro zprávný odečet rychlosti. Těmito parametry jsou počet impulzů na otáčku a obvod kola. Pro nastavení počtu impulzů na otáčku slouží zpráva SWP, datový část obsahuje tři znaky s počtem pulzů. Podporovaný rozsah je 0 až 255. Zprávou SRP je možné zjistit nastavený počet pulzů na otáčku, zpráva neobsahuje datovou část. Zpráva SWO s datovou částí tvořenou x.xxxx udávající obvod kola v metrech slouží pro

nastavení požadovaného obvodu kola. Podporované rozmezí je 0 až 6.5535. Pro informaci o nastaveném obvodu kola slouží zpráva SRO bez datové části.

### **Specifické zprávy modulů AD převodníků**

S moduly AD převodníků je možné komunikovat prostřednictvím hlavního modulu. Podporují posílání aktuální měřené hodnoty ( $A_xC$ ), minimální změřené hodnoty ( $A_xN$ ), maximální změřené hodnoty ( $A_xX$ ) a průměrné hodnoty ( $A_xA$ ). Druhý znak hlavičky zprávy má význam rozlišení adres jednotlivých převodníků. Může nabívat hodnot 0 až f. Tato varianta neobsahuje datovou část zprávy. Druhá varianta má místo znaku x znak D. Při této modifikaci zpráva obsahuje datovou část o délce jednoho znaku. Tento znak má význam adresy požadovaného převodníku. Pokud je v datech znak x jedná se o požadavek zaslání hodnot od všech připojených převodníků. Hlavní modul odpovídá hlavičkou obsahující adresu převodníku. Datová část obsahuje znaky xx.xxxV/A, jde o hodnotu ve vypsané jednotce.

### Specifické zprávy modulu GPO

Ovládání modulu probíhá pomocí dvojice zpráv. Jedná se o zprávy pro zapnutí požadovaného výstupu s nastavením jeho parametrů a druhá zpráva je pro vypnutí požadovaného výstupu.

Aktivace požadovaného modulu probíhá zprávou s hlavičkou GPE. Posílaná data mají pevnou stavbu a to xTyFz, kde x je číslo 1 až 8 (adresa výstupu O1 až O8), y je číslo 0 až 3 (doba sepnutí viz. tabulka 3.2), z je číslo 0 až 3 (frekvence spínání viz. tabulka 3.3).

y	Doba sepnutí
0	Nepřetržité sepnutí (do příchodu zprávy pro vypnutí).
1	Sepnutí na dobu 2 s.
2	Sepnutí na dobu 10 s.
3	Sepnutí na dobu 1 minuty.

Tabulka 3.2: Nastavení doby sepnutí

z	Frekvence spínání
0	Nepřetržité sepnutí (frekvence 0 Hz).
1	0,1 Hz.
2	1 Hz.
3	4 kHz.

Tabulka 3.3: Nastavení frekvence spínání

Pro vypnutí požadovaného výstupu je tvar hlavičky GPD. Data obsahují jeden znak s významem adresy výstupu.

## 3.2 Protokol pro sběrnici I2C/SPI

Protokol je bitově orientovaný z důvodu nízké propustnosti obou sběrnic. Komunikaci zahajuje hlavní modul zápisem jednoho bytu do zařízení. Tento byte slouží jako identifikátor požadavku. Následně hlavní modul požaduje čtení nebo zápis v závislosti na dotazu a dotazovaný modul odpoví v předepsaném pevném formátu.

Výčet implementovaných identifikačních bytů je uveden v tabulce 3.4 společně s významem.

ID byte	Popis	Směr následujících dat	Podporované moduly
0x00	Identifikace modulu	Do mastera	Všechny I2C
0x10	Softwarový reset	—	Všechny I2C
0x11	Nastavení výstupů	Z mastera	GPO
0x20	Zastavení	—	PWM
0x21	Max. výkon dopředu	—	PWM
0x22	Max. výkon dozadu	—	PWM
0x31	Dopředu	Z mastera	PWM
0x41	Dozadu	Z mastera	PWM
0x50	Napětí – aktuální	Do mastera	ADC
0x60	Napětí – průměrné	Do mastera	ADC
0x70	Napětí – minimální	Do mastera	ADC
0x80	Napětí – maximální	Do mastera	ADC
0xA0	Otáčky pro obě kola zároveň – aktuální	Do mastera	Otáčky
0xB0	Otáčky pro obě kola zároveň – průměrné	Do mastera	Otáčky
0xC0	Otáčky pro obě kola zároveň – maximální	Do mastera	Otáčky
0xD0	Obvod kola čtení hodnoty	Do mastera	Otáčky
0xD1	Obvod kola zápis hodnoty	Z mastera	Otáčky
0xE0	Počet pulzu na otáčku čtení hodnoty	Do mastera	Otáčky
0xE1	Počet pulzu na otáčku zápis hodnoty	Z mastera	Otáčky

Tabulka 3.4: Implementované identifikační byty

### 3.2.1 Popis tvaru odpovědí jednotlivých modulů

Tvar jednotlivých odpovědí je pevně daný a je nutné ho přesně dodržet pro zprávnou funkčnost. Struktura zpráv je uvedena v tabulce 3.5.



ID byte	Popis
0x00	16 x byte s významem charů, první MSB
0x11	1x byte, význam jednotlivých bitů popsán níže.
0x31	1 x byte s významem výkonu (0 až 255)
0x41	1 x byte s významem výkonu (0 až 255)
0x50, 0x60, 0x70, 0x80	2 x byte s významem dvojkového doplňku 12 bit čísla s max hodnotou uvedenou v informacích, první MSB
0xA0, 0xB0, 0xC0	2x 16 bitový unsigned int (první levé kolo, druhý pravé kolo), první MSB
0xD0, 0xD1	2x byte, s významem 16 bit unsigned int, MSB první, obvod v desetinách milimetru
0xE0, 0xE1	1 x byte s významem počtu otáček (0 až 255)

Tabulka 3.5: Definice posílaných dat pro jednotlivé zprávy

Podrobnější rozpis významu bytu s označením jednotlivých bitů uvedených v tabulce 3.6 s ID zprávy 0x11 je popsán v tabulce 3.7.

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
A2	A1	A0	ON/OFF	T1	T0	F1	F0

Tabulka 3.6: Definice jmen bytu modulu GPO

T1	T0	Význam	F1	F0	Význam
0	0	Nepřetržité sepnutí	0	0	Frekvence spínání 0 Hz
0	1	Sepnutí na dobu 2 s	0	1	Frekvence spínání 0,1 Hz
1	0	Sepnutí na dobu 10 s	1	0	Frekvence spínání 1 Hz
1	1	Sepnutí na dobu 1 min	1	1	Frekvence spínání 4 kHz

Tabulka 3.7: Definice posílaných dat pro jednotlivé zprávy

Střída při spínání je nastavena na 50 %. Význam bitu ON/OFF je zapínání příslušného výstupu. K povolení dochází pokud je bit v log. 1. Pokud je bit v log.0 na hodnotě bitů F1, F0, T1, T0 nezáleží.

## 4 REALIZOVANÉ DRUHY MODULŮ

Tato kapitola obsahuje popis zapojení všech modulů s vysvětlením jejich činnosti. Dále obsahuje popis programů uložených v jednotlivých mikrokontrolérech, které jsou obsaženy v modulech.

Jsou vytvořeny standarty tří velikostí desek plošných spojů, které mají definované umístění upevňovacích otvorů a základních konektorů, které obsahuje každý modul. Přesněji se jedná o Standart 0, který je vytvořen pro modul řízení, Standart 1, který je vytvořen pro moduly ovládání motorů připojené přes sběrnici SPI, Standart 2, který je pro ostatní moduly připojené přes sběrnici I2C.

Obsahuje modul řízení, který se stará o komunikaci s nadřazeným PC, modul snímání otáček, modul měření napětí, modul půl–mostů, modul ovládání motorů, modul osmi výkonových výstupů pro libovolné použití.

Dále je zde popsán spínaný zdroj pro převod napětí z akumulátorů na napětí 5 V s maximálním výstupním proudem 3 A.

### 4.1 Modul řízení

#### 4.1.1 Popis modulu

Tato deska slouží jako řídicí modul starající se o identifikaci ostatních modulů, komunikaci mezi nimi a vzájemnou synchronizaci, obstarává výpočet elektronického diferenciálu, regulátorů pro jednotlivé moduly a v neposlední řadě zajišťuje obousměrnou komunikaci s nadřazeným počítačem, který na dotaz může obdržet libovolné informace z připojených modulů a také předává požadovaný směr a rychlost jízdy.

Ke komunikaci s nadřazeným počítačem slouží USB, který vytvoří v počítači virtuální sériový port. Nastavení sériového portu je 8 datových bitů, jeden stop bit, bez parity, přenosová rychlost činí 38 400 baudů v asynchronním režimu bez řízení toku. Po tomto rozhraní jsou posílány dvě základní skupiny příkazů. První skupinou jsou řídicí dotazy, které slouží pro vzájemnou komunikaci. Druhý druh zpráv je takzvaný informační (debugovací), který slouží pro posílání zpráv o právě probíhajících operacích. Není možné, aby byly všechny kontrolní zprávy posílány nepřetržitě, protože neúměrně zatěžují komunikační kanál a způsobují nestabilitu modulu. Proto jsou tyto zprávy v programu pomocí maker zakázány. Je možné zapnout výpis ošetřených chybových stavů na sběrnici I2C, průběhu dekodování řídicích zpráv, správného chodu funkce řízení motorů.

Komunikace s podřízenými moduly probíhá přes sběrnici I2C (TWI podle značení firmy Atmel), která využívá SW adresaci. Maximální počet připojených modulů záleží

pouze na kapacitě mezi vodiči, která se s rostoucím počtem zařízení zvyšuje hlavně z důvodu rostoucí délky sběrnice. Podle normy nesmí překročit 400 pF. Modul komunikuje s kmitočtem hodin (CLK) 100 kHz. S touto rychlostí je sběrnice vhodná pro komunikaci s moduly jež mají malý datový tok, aby nedošlo k přílišnému zpomalení sběrnice. Maximální počet doposud připojených modulů je pět bez znatelného zvýšení poruchovosti přenosu. Modul obsahuje ošetření chybových stavů, které mohou při komunikaci pomocí I2C nastat. Dokáže také rozpoznat snahu o dotazování na modul, který není připojen nebo neodpovídá.

Poslední komunikační sběrnice je sběrnice SPI, na které se zařízení adresují HW pomocí pinů SS. Je vyvedeno pět těchto pinů, takže je jednoduché připojení pětice rychle adresovatelných zařízení. Tato sběrnice primárně slouží pro ovládání modulů motorů. Používaná rychlost hodinových impulsů je 125 kHz (minimální možná), aby byla omezena chybovost přenosu dat. Hodinová parita nastavena na nízkou a způsob přenosu dat MSB první.

#### 4.1.2 Popis zapojení

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.1. Srdcem tohoto modulu je mikrokontrolér ATmega 32 v pouzdře DIL40. Z tohoto mikrokontroléru je vyvedena sériová sběrnice I2C a rozvedena do čtveřice konektorů, které obsahují napájení (+5 V, GND) a dvojici datových pinů (SCL, SDA). Deska obsahuje i dvojici pull–up rezistorů s hodnotou 4k9 pro zajištění úrovně logické 1. Dále je vyvedena sběrnice SPI, která obsahuje tři datové vodiče (MISO, MOSI, SCK), pětici adresacích vodičů (SS0, SS1, SS2, SS3, SS4). Dále na čtveřici konektorů vyvedeno napájení (+5V, GND). Dále jsou na desce vyvedeny všechny porty pomocí čtveřice konektorů s 10 piny. Každý konektor obsahuje kompletní port a napájení (+5 V, GND). Posledním a zároveň velice důležitým konektorem je programovací konektor, který slouží pro naprogramování mikrokontroléru. Při programování je nutné zapnuté napájení modulu.

K mikrokontroléru je připojen krystal 16 MHz s odrušovacími kondenzátory 22 pF. Na desce je také vyvedeno resetovací tlačítko, které způsobí reset mikrokontroléru. Resetovací obvod je tvořen tlačítkem připojícím resetovací vstup na GND. Jediné nezapojené piny mikrokontroléru je trojice pinů sloužící pro práci s ADC (AVCC, AREF, GND). Proto je možné využití převodníků jen s vnitřní referencí 2,56 V.

Druhý IO je FT 232BL firmy FTDI, který se stará o převod sériové linky na USB, které je z desky vyvedeno pomocí USB–B. K obvodu je podle katalogového zapojení připojen krystal 6 MHz s odrušovacími kondenzátory s hodnotou 22 pF. Dále v blízkosti obvodu osazen kondenzátor 100 nF. Použitý USB konektor neslouží jako napájení modulu.

Pro napájení modulu je použit konektor pro napájení malých napětí. Jako jednoduchá ochrana proti přepólování je paralelně osazena záporně polarizovaná dioda. Pro snížení

kolísání napájecího napětí je deska osazena dvojicí elektrolytických kondenzátorů s kapacitou 220  $\mu\text{F}$  a jednoho keramického s kapacitou 100 nF jako jednoduchý filtr.

Deska obsahuje čtveřici 3 mm difuzních LED pro jednodušší diagnostiku. V blízkosti napájecího konektoru je zelená LED pro indikaci napájení modulu, v blízkosti USB konektoru je zelená LED pro kontrolu připojení USB kabelu. Pro sledování komunikace přes USB jsou z IO FT 232BL vyvedeny dvě LED pro kontrolu RxD (zelená – přijímání do PC z ATmega 32) a TxD (žlutá – posílání z PC do ATmega 32).

### **4.1.3 Postup osazení desky**

Ještě před vlastním začátkem osazování je velice užitečné vizuálně zkontrolovat kvalitu vytvořeného DPS. Při pochybnostech o zkratu mezi spoji nebo přerušení spojů je vhodné použít multi-metr s nastavením jako pípák nebo měření odporu. Tímto způsobem se ušetří spousta času při ožiování modulu. Jako vždy je postupováno od osazení součástek pro povrchovou montáž po nejvyšší součástky.

Jako první je vhodné osadit SMD integrovaný obvod FT 232BL, který je na pájení nejobtížnější. Je největší pravděpodobnost neúspěšného napájení. Po jeho napájení je vhodné pokračovat ostatními SMD součástkami, které jsou rezistory a kondenzátory v pouzdře o velikosti 0805. Také je zde jedna SMD dioda v témže pouzdře. Následně by měli být zhotoveny a zapájeny drátové propojky, pokud možno i s izolací (vhodné jsou i dráty pro cívky, transformátory, které jsou dostatečně izolované). Dále by měli být napájeny krystaly; svítivé diody; resetovací tlačítko; konektor JP1; precizní patice DIL40; napájecí konektor; univerzální konektory PA, PB, PC, PD; programovací konektor PROG; konektory sběrnic I2C a SPI a jako poslední elektrolytické kondenzátory C7 a C8.

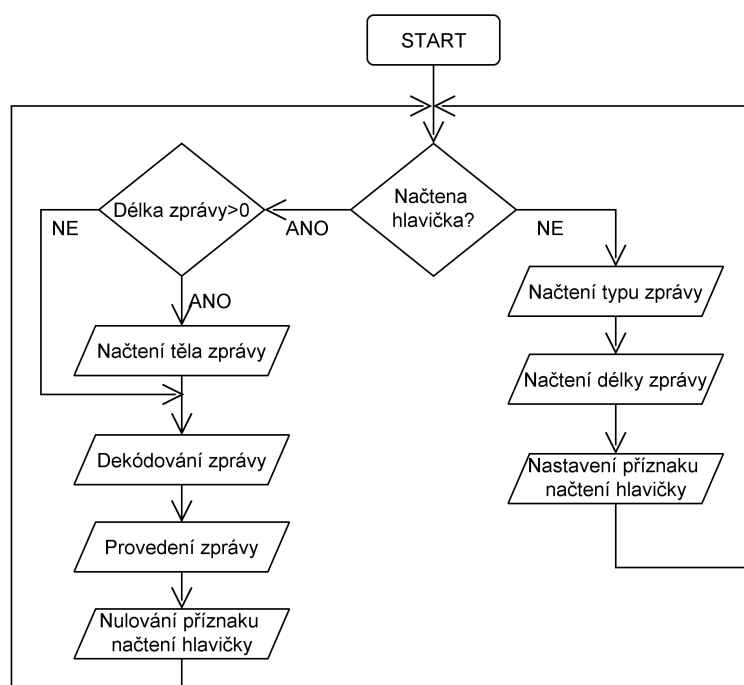
### **4.1.4 Popis Programu**

Program hlavního modulu je velice rozsáhlý složitý, proto je jeho kód psán v jazyce C s použitím členění do funkčních bloků tvořených samostatnými funkcemi pro zpřehlednění kódu a jeho jednodušším úpravám při aktualizaci nebo opravách chyb, kdy je možné upravit jen některé funkce se specifickým zaměřením. V této kapitole budou popsány jednotlivé části samostatně s uvedením vývojových diagramů funkce.

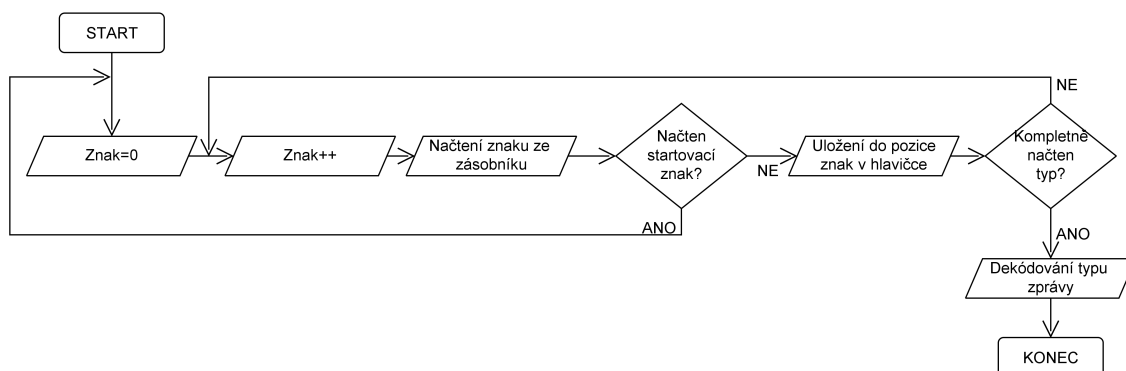
Dále program obsahuje možnost posílání debugovacích zpráv. Ty je možné zapnout pomocí makra přímo v programu. Za běžného provozu jsou potlačeny. Mají speciální startovací znak u typu zprávy. přesněji se jedná o informační zprávy při dekodování zprávy pře sériovou linku a informace o ošetřených chybách při komunikaci hlavního modulu s ostatními moduly přes sběrnici I2C.

### Dekódování zprávy ze sériové linky

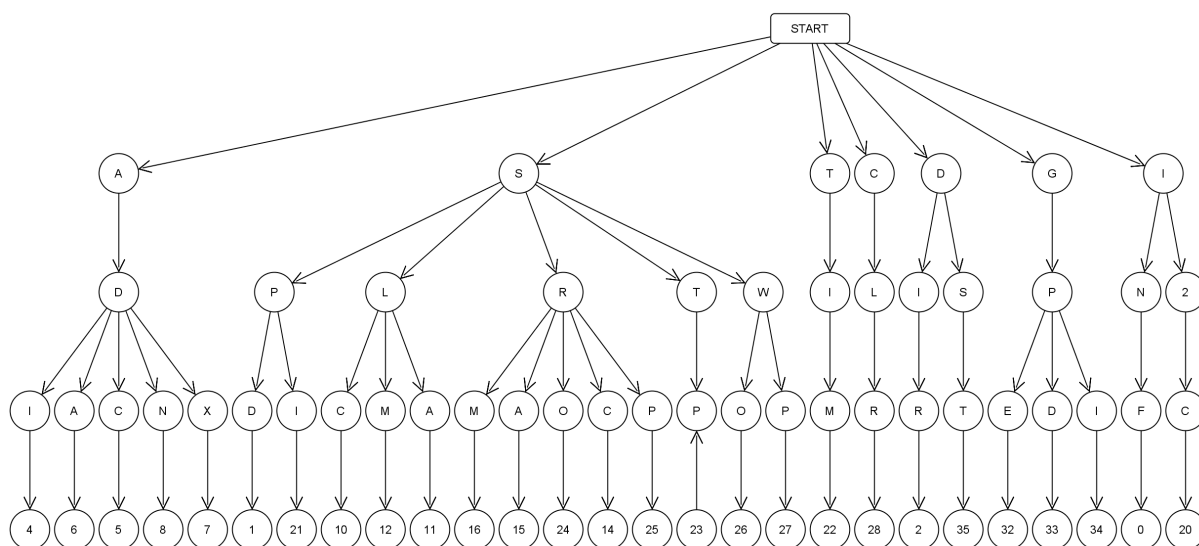
Dekódování zprávy probíhá v nekonečné smyčce, která se provádí pokud není obsluhováno přerušení. Dekódování probíhá v několika krocích. První krok obsahuje načtení typu zprávy, druhý krok načtení délky datové části, třetí krok je tvořen načtením datové části zprávy. Přesný způsob průběhu dekodování je zobrazen na obrázku 4.1. Detail způsobu dekodování typu zprávy je na obrázku 4.2. Ve vývojovém diagramu načtení typu zprávy je dále dělitelný blok dekodování typu zprávy. Tento blok by byl příliš obsáhlý pro úplný výčet. Je tvořen stromem. Výstupem je identifikační číslo zprávy. Část stromu je zobrazena na 4.3.



Obrázek 4.1: Vývojový diagram průběhu načítání zprávy přes sériovou linku



Obrázek 4.2: Detail načítání typu zprávy



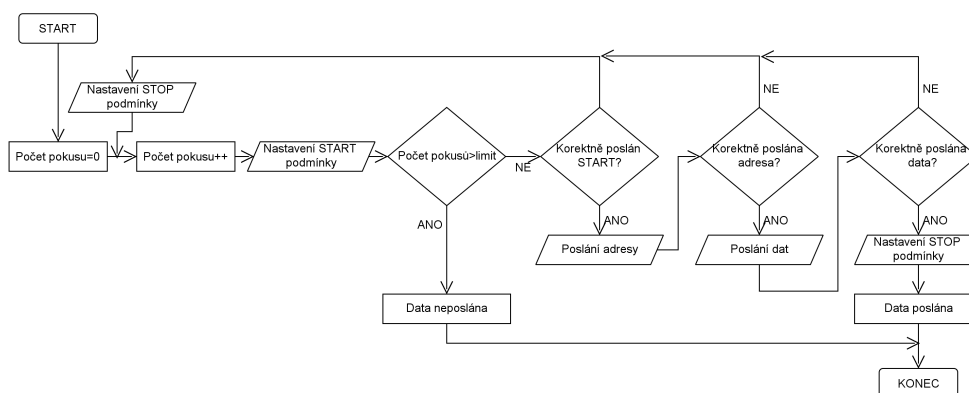
Obrázek 4.3: Část stromu pro dekódování typu zprávy

## Odpověď na přijatou zprávu ze sériové linky

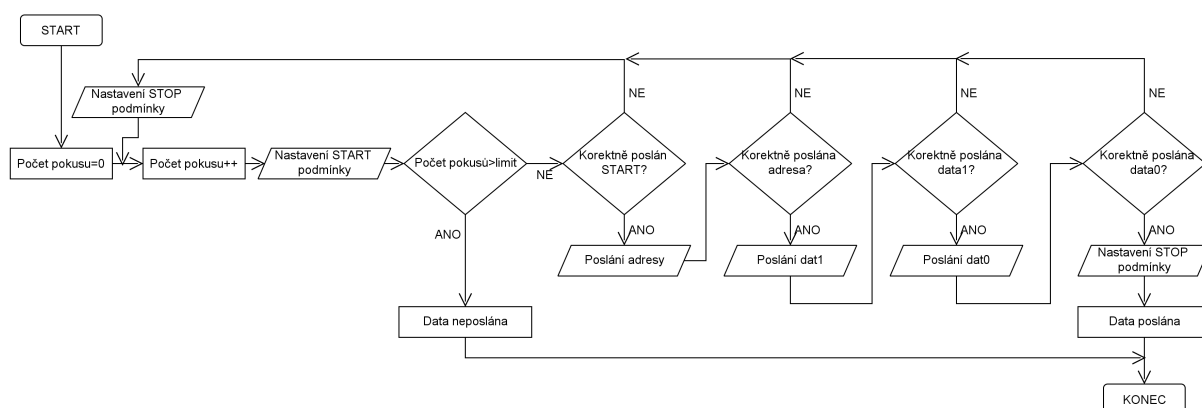
Hned po přijetí platné zprávy probíhá její zpracování a okamžitá odpověď. Odpověď na přijatou zprávu je tvořeno oddělenou funkcí. Ta obsahuje přepínač, který podle vstupní hodnoty identifikačního čísla zprávy provede požadovanou sekvenci příkazů. Ty mohou být tvořeny pouhým načtením hodnot z paměti mikrokontroléru, pak je odpověď rychlá, nebo může jít o požadavek na zařízení připojené přes sběrnici I2C, která je relativně pomalá a proto je odpověď provedena s větším časovým zpožděním.

## Komunikace přes sběrnici I2C

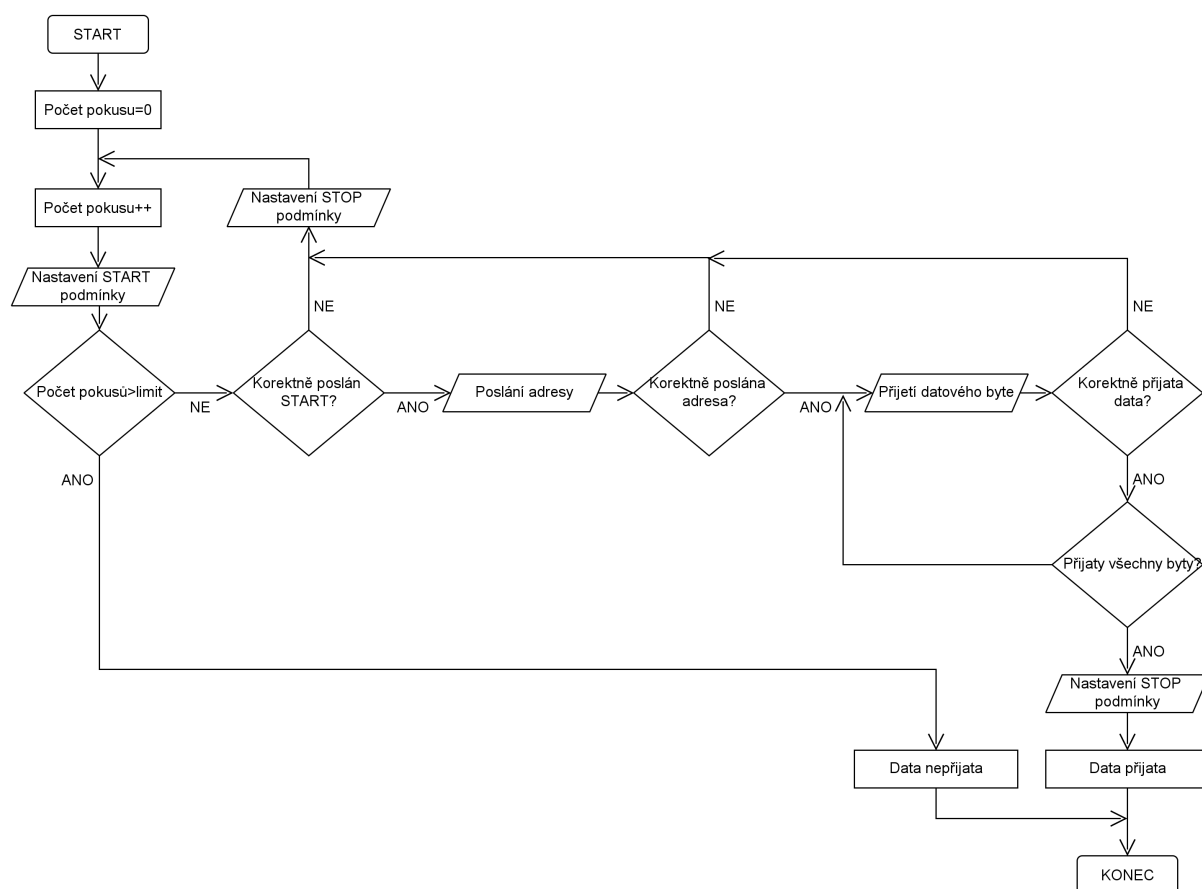
Komunikace přes sběrnici I2C probíhá v obou směrech. Pro jednoduché používání byly vytvořeny tři funkce, které se starají o komunikaci. Dvě obstarávají posílání dat z hlavního modulu do ostatních modulů. Jedna funkce posílá na zadanou adresu jeden byte, druhá posílá na zadanou adresu dva byty. Jedna zpráva se stará o přijímání dat ze zařízení na sběrnici I2C. Její vstupy jsou adresa slave zařízení, požadovaný počet přijatých bytů a adresa pole, do kterého se mají přijatá data uložit. Vývojové diagramy jednotlivých funkcí jsou uvedeny na obrázcích 4.4, 4.5 a 4.6.



Obrázek 4.4: Vývojový diagram zápisu bytu přes sběrnici I2C



Obrázek 4.5: Vývojový diagram zápisu dvojice bytů přes sběrnici I2C



Obrázek 4.6: Vývojový diagram čtení bytů přes sběrnici I2C

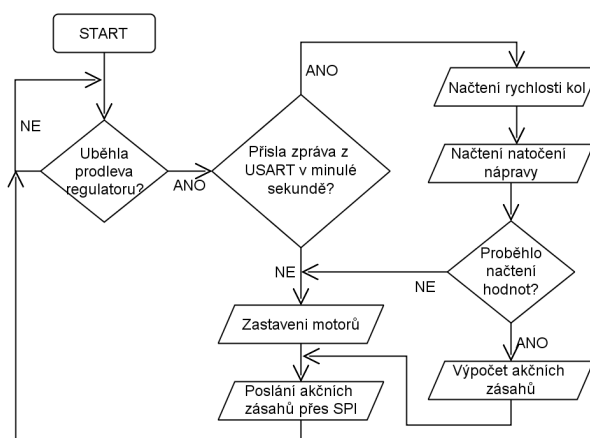


## Řízení robotu

Řízení robotu probíhá se stálou periodou. Regulační smyčka obsahuje pojistku, která při ztrátě komunikace modulu řízení s nadřazeným PC zastaví motory. Prodlěva je nastavena na 1 s. Další pojistka je implementována při ztrátě snímačů, které se přímo podílejí na regulaci. Jde o snímače rychlosti zadních kol a snímač úhlu natočení přední nápravy. Při ztrátě komunikace se snímači se okamžitě motory zastaví.

Pro řízení přední nápravy je použit P regulátor, který má implementovanou nelinearitu typu hystereze, aby neměl motor neustále snahu zasahovat do řízení při zanedbatelném vychýlení kol. Řízení motorů zadní nápravy obstarává PI regulátor. Oba regulátory mají nastavené minimální a maximální akční zásahy. Minimální akční zásah je dán konstantou, pro kterou se motor začne točit. Maximální akční zásah je 255, je dán použitým osmibitovým přenosem dat.

Vývojový diagram smyčky řízení je zobrazen na 4.7.



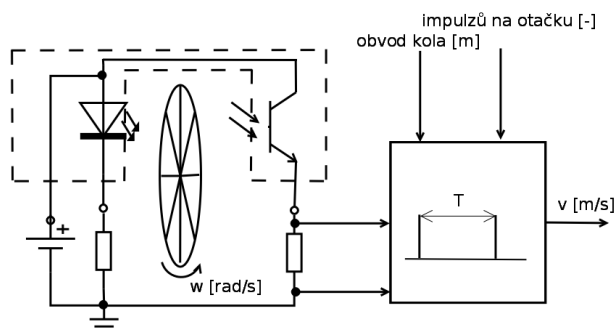
Obrázek 4.7: Vývojový diagram regulační smyčky motorů

## 4.2 Modul optických snímačů otáček

### 4.2.1 Popis modulu

Tento modul je určený pro nezávislé snímání otáčivé rychlosti dvojice kol. Na tento modul je nutné připojit snímač otáček, který má jako výstup obdélníkový signál. Nejvhodnější je optický inkrementální snímač. Tomuto je přizpůsobený i způsob zapojení konektoru, který se skládá z napájení pomocí 5 V, výstupu snímače a vstupem s odporem proti zemi 360 R, který je vhodný pro připojení katody svítivé LED z optické závory. Parametry snímače je nutné zadat do modulu, aby ukazoval správné údaje. Jde o počet impulzů

na otáčku a obvod kola. Z těchto parametrů je podle doby mezi jednotlivými impulzy počítána aktuální rychlost. Tento modul je navržen pouze pro zjišťování rychlosti a není schopen rozpoznat směr otáčení. Proto je nutné zjišťovat směr otáčení pomocí jiných technik.



Obrázek 4.8: Princip modulu snímání otáček

Modul ve své paměti uchovává maximální, minimální, aktuální a průměrnou zaznamenanou rychlost od vynulování pro každé kolo samostatně. Tyto informace je možné na požadavek poslat přes komunikační sběrnici I2C, která je určena pro komunikaci s nadřazeným modulem. Pro zjednodušení komunikace je současně posílána informace pro oba snímače ve tvaru dvou za sebou jdoucích 16–ti bitových čísel reprezentující unsigned integer kde hodnota 10 000 odpovídá hodnotě 1 m/s. Formát posílání dat přes I2C je osmibitový, proto je každé číslo rozděleno na dvě osmibitová a posílají se jako první více významné bity.

Modul obsahuje programovací konektor pro naprogramování použitého mikrokontroléru ATmega8 přes sběrnici SPI. Dále je možné přes tlačítko mikrokontrolér kdykoli vyresetovat.

Pro indikaci stavu modulu slouží LED. LED1 svítící zeleně indikuje napájení modulu. LED2 svítící zeleně indikuje aktivní adresaci přes sběrnici I2C. LED3 svítící žlutě indikuje příchod impulsu na vstup INT0, při příchodu impulsu se změní stav výstupu na opačný (svítí/nesvítí). Obdobně funguje LED5 pro vstup externího přerušení INT1. LED4 svítící červeně indikuje jednu otáčku kola ze vstupu INT0. Při napočítání impulsů odpovídajících jedné otáčce se na dobu mezi pulzy rozsvítí. Obdobně funguje LED6 pro vstup INT1.

#### 4.2.2 Popis zapojení

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.13. Zapojení je založeno na mikrokontroléru ATmega 8. U tohoto obvodu se využívají vstupy pro programování pomocí SPI, které jsou vyvedeny na programovací konektor PROG. Dále se využívá

specializovaných vstupů INT0 a INT1, které slouží jako vstupy přerušení externích událostí. Na tyto vstupy je přiveden vyfiltrovaný signál z IO 40106, který je složen ze šestice invertorů s hysterezí. Z obvodu jsou použity jen dva inventory. Nevyužitá čtveřice má vstup přivedena na zem, aby byla zajištěna stabilita a spolehlivost obvodu. Také se tím sníží odběr obvodu. Vstup použitých hradel je přiveden na konektory optických závor tvořených foto-tranzistorem. Na vstupu je připojen emitor foto-tranzistoru a odpor připojený na zem, který při vysoké impedanci tranzistoru zajišťuje nízkou logickou úroveň. Při osvětlení tranzistoru se jeho vodivost zvýší a na vstupu hradla je vysoká logická úroveň.

Dále je z mikrokontroléru vyvedena sběrnice I2C, která slouží ke komunikaci s nadřazeným modulem. Tato sběrnice je paralelně vyvedena na dvojici konektorů, přes které je modul zároveň napájen. Dále je možné mikrokontrolér resetovat pomocí tlačítka S2, které spojí resetovací vstup se zemí. Takt mikrokontroléru je určován pomocí krystalu Q1, který má takt 16 MHz, aby bylo možné přesně vyhodnocovat dobu mezi pulzy při přerušení. K jeho výstupům je připojena dvojice blokovacích kondenzátorů s hodnotou 22 pF.

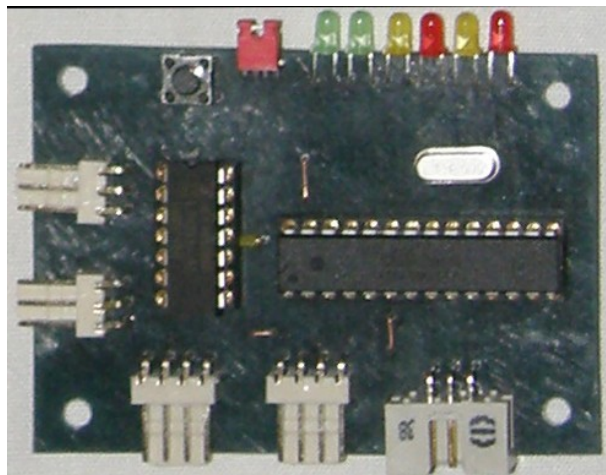
Pro indikaci stavu modulu slouží LED. LED1 svítící zeleně indikuje napájení modulu. LED2 svítící zeleně indikuje aktivní adresaci přes sběrnici I2C. LED3 svítící žlutě indikuje příchod impulsu na vstup INT0, při příchodu impulsu se změní stav výstupu na opačný (svítí/nesvítí). Obdobně funguje LED5 pro vstup externího přerušení INT1. LED4 svítící červeně indikuje jednu otáčku kola ze vstupu INT0. Při napočítání impulsů odpovídajících jedné otáčce se na dobu mezi pulzy rozsvítí. Obdobně funguje LED6 pro vstup INT1.

### **4.2.3 Postup osazení desky**

Ještě před vlastním začátkem osazování je velice užitečné vizuálně zkontrolovat kvalitu vytvořeného DPS. Při pochybnostech o zkratu mezi spoji nebo přerušení spojů je vhodné použít multi-metr s nastavením jako pípáků nebo měření odporu. Tímto způsobem se ušetří spousta času při ožívování modulu. Jako vždy je postupováno od osazení součástek pro povrchovou montáž po nejvyšší součástky.

Jako první se začne SMD součástkami v pouzdře 0805, které tvoří dvojice kondenzátorů C1, C2 pále jedenáct rezistorů. V dalším kroku je vhodné vytvořit a zapájet drátové propojky, pokud možno i s izolací (vhodné jsou i dráty pro cívky, transformátory, které jsou dostatečně izolované). Další na řadě jsou LED diody, které jsou z důvodu lepší viditelnosti ohnuté přes okraj DPS (viz. fotka realizované desky). Následuje konektor S2. Poté se napájí krystal Q1 následován tlačítkem S2. Dále je vhodné napájet konektory S0, S1, I2C1, I2C2. Následovat by měly precizní patice

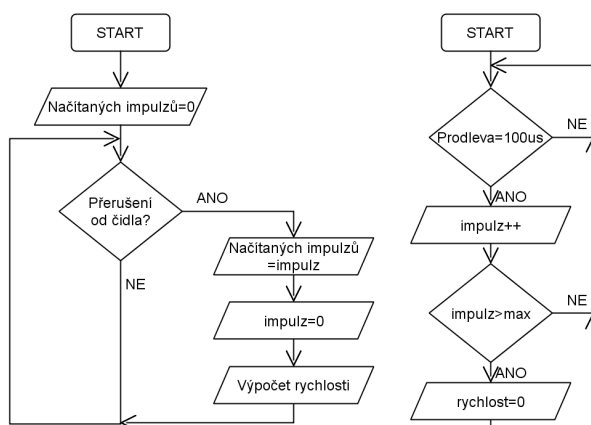
DIL14 a DIL28–3 (úzká patice). Jako poslední přijde na řadu konektor PROG, který je nejvyšší.



Obrázek 4.9: Nepřipojená deska

#### 4.2.4 Popis Programu

Vývojový diagram hlavní smyčky modulu otáček je zobrazen na 4.10. Zobrazuje způsob určení rychlosti kola. Je využitý způsob počítání doby mezi jednotlivými impulzy.



Obrázek 4.10: Vývojový diagram programu modulu otáček

Další část programu se stará o komunikaci modulu s nadřazeným modulem přes sběrnici I2C. Jde o posílání naměřených dat na dotaz od řídicího modulu. Posílání informací o levém a pravém kole probíhá zároveň z důvodu ušetření času na sběrnici. Vychází se z předpokladu, že pokud je požadována informace z jednoho kola je velice

pravděpodobné, že je zároveň požadována informace o kole druhém. Jedná se o informace maximální naměřené rychlosti, průměrné rychlosti a aktuální poslední změřené rychlosti. Dále je možné získat informace o modulu a nastavovat nebo vyčítat hodnoty počtu impulsů na otáčku a obvodu kola. Tyto hodnoty jsou sdílené pro obě kola, protože se nepočítá s rozdílným nastavením.

## **4.3 Modul Analog–Digital převodníků**

### **4.3.1 Popis modulu**

Hlavním prvkem je AD převodník jehož označení je MC3301. Jedná se o 12–bitový převodník se znaménkovým bitem (celkem 13bitů) je založený na postupné aproximaci s maximální vzorkovací frekvencí 100 ksps při napájení 5 V. Komunikuje po sběrnici SPI. Z důvodu potřeby komunikace modulu převodníku po I2C sběrnici je použit mikrokontrolér ATmega 8, který potřebný převod zajišťuje. Dále je naprogramován pro uchovávání nejvyšší, nejnižší a průměrné naměřené hodnoty. Převodník vzorkuje nepřetržitě s frekvencí 20 kHz. Na požádání od nadřazeného systému je schopen poslat uchované údaje a také poslední naměřenou hodnotu. Pomocí SW příkazu přes I2C je možné tyto statistiky vynulovat.

Pro zvýšení použitelnosti převodníku je pomocí zkratovacích propojek možno nastavit jedno ze tří referenčních napětí, které jsou 5 V, které je dáno přesností napájecího napětí, dále je možné použít jako referenční napětí napětí z napěťové reference s výstupem 1,235 V. Jako poslední možnost je použít část tohoto napětí z napěťového děliče s přibližnou hodnotou 0,35 V. Aby bylo možné měřit i napětí 15 V je před převodníkem pomocí odporové sítě vytvořen dělič s přibližnými poměry 1:1:5:15 se stálým odporem 10 k s možností jeho odpojení. Z důvodu nemožnosti koupení přesných odporů v pouzdře R0805 je přesné poměry určit u jednotlivých modulů.

Pro indikaci stavu modulu je použito LED. LED1 indikuje napájení modulu, LED2 indikuje komunikaci přes SPI, která je při měření napětí a programování. LED3 indikuje adresaci modulu přes I2C, LED4 indikuje, že měřené napětí je blízké nule. LED5 indikuje, že měřené napětí je blízké maximu.

Modul obsahuje programovací konektor pro naprogramování použitého mikrokontroléru ATmega8 přes sběrnici SPI. Dále je možné přes tlačítko mikrokontrolér kdykoli vyresetovat.

### **4.3.2 Popis zapojení**

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.9. Základ modulu tvoří mikrokontroler ATmega 8 v pouzdře DIL. Taktovací kmitočet je určen připojením

externího krystalu 10 MHz s dvojicí kondenzátorů 22 pF. Dále je k resetovacímu pinu připojeno tlačítko, které po stisknutí přivede na vstup mikrokontroléru log. 0 pro možnost pohodlného resetu. Pro indikaci stavu modulu je použito trojice pinů pro připojení indikačních LED s významem napětí blížícího se nule, maximu a aktivity modulu. Další indikační LED jsou využity pro indikaci napájení modulu a komunikaci přes MISO. Z mikrokontroléru je pro komunikaci s nadřazeným modulem vyvedena sběrnice I2C do dvojice konektorů, které slouží zároveň jako zdroj napájecího napětí. Dále je vyvedena sběrnice SPI pro komunikaci s použitým AD převodníkem MCP 3301, který je založený na postupné aproximaci. Obsahuje plně diferenciální vstup a je 13-bitový (12-bitů + znaménko).

Přes jumperové propojky SV1 je možné nastavit převodníku referenční napětí na 1,235 V z napěťové reference, z ní odvozené napětí pomocí odporového děliče, které je přibližně 0,35 V a jako poslední je jako referenční napětí použít napájecí napětí, které je přibližně 5 V. Dále se pomocí těchto propojek nastavuje vstupní dělič, který má stálý vstupní odpor 10 k a to v poměru přibližně 1:1:5:15, které jsou vytvořeny odpory s přesností 1 %.

Měřené napětí je přiváděno přes konektor UIN na diferenciální vstup převodníku přes vstupní dělič, který je odpojitelný.

Programování mikrokontroléru se provádí pomocí konektoru PROG pomocí SPI.

### **4.3.3 Postup osazení desky**

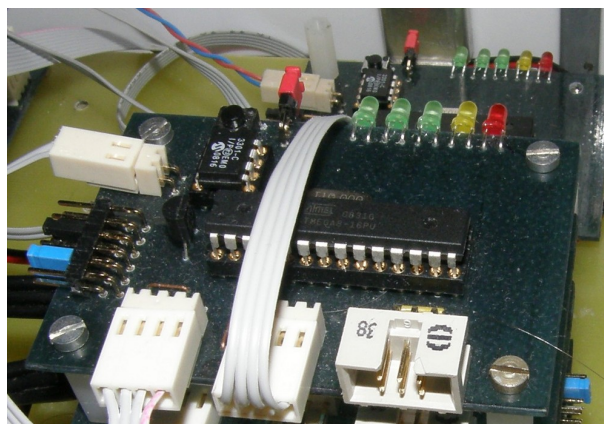
Ještě před vlastním začátkem osazování je velice užitečné vizuálně zkontrolovat kvalitu vytvořeného DPS. Při pochybnostech o zkratu mezi spoji nebo přerušení spojů je vhodné použít multi-metr s nastavením jako pípáků nebo měření odporu. Tímto způsobem se ušetří spousta času při ožiování modulu. Jako vždy je postupováno od osazení součástek pro povrchovou montáž po nejvyšší součástky.

Jako první na řadu přichází připájení SMD součástek tvořených rezistory a kondenzátory. Následuje napájení drátových propojek, které by měly být izolované. Následovat by mělo napájení krystalu Q1 a led diod LED1 až LED5. Dále je vhodné napájet precizní patice pro mikrokontrolér a AD převodník. Poté přichází na řadu konektor SV1. Po jeho napájení se pokračuje konektory UIN, I2C1 a I2C2. Pokračuje se tlačítkem S1 a napěťovou referencí IO3. Dále následuje napájení konektoru PROG, propojky JP1.

### **4.3.4 Popis Programu**

Modul obsahuje převodník připojený přes sběrnici SPI, který je v periodicky vyčítán s frekvencí 25 kHz. Vyčítání probíhá podle požadavků převodníku a obsahuje





Obrázek 4.11: Zabudovaný modul AD převodníků v robotu

podporovanou kontrolu správnosti přijetí dat a to tím způsobem, že jsou naměřená data přečtena dvakrát za sebou a porovnána jestli jsou shodná. Pokud nejsou shodná nepočítají se do měření. Jiný způsob kontroly dat není možný z důvodu použitého převodníku. Při každé validované změřené hodnotě se přepočítává průměrná měřená hodnota a také dochází ke kontrole proměnných pro uchovávání maximální a minimální naměřené hodnoty. Pro správné uchovávání limitních hodnot se prvních deset naměření po resetu jedno čipu nezapočítává.

Další část programu se zabývá indikačními LED. Kontroluje se dosažení maxima. Při jeho dosažení se rozsvítí červená LED, aby se indikovalo přesažení rozsahu převodníku. Další žlutá LED indikuje hodnotu velmi blízkou nulovému napětí. Zelená LED je rozsvěcována po dobu komunikace přes sběrnici I2C.

Poslední část programu se zabývá komunikací modulu s nadřazeným systémem přes sběrnici I2C. Komunikace je vytvořena pomocí přepínače v závislosti na hodnotách stavového registru sběrnice I2C. Při větším množství posílaných nebo přijímaných bytů je použito počítadlo, které rozhoduje která část dat se bude posílat.

## 4.4 Modul pŕlmostí

### 4.4.1 Popis modulu

Tento modul slouží jako prostředník mezi odporovými drátovými potenciometry, které jsou použity na snímání natočení přední nápravy a vyhodnocovací elektronikou tvořenou modulem ADC převodníku. Tento modul vytváří unifikaci signálu, který je získán z potenciometru tak, že trimrem na modulu se nastaví nulový výstup při nulovém natočení. Dále se získá informace o směru natočení pomocí znaménka napětí při převodu napětí. Strmost výstupní charakteristiky je určena velikostí napájecího napětí modulu.

Modul obsahuje dvě nezávislé půl mosty pro možnost vyhodnocování dvojice signálů z potenciometru pomocí dvou modulu AD převodníků.

#### **4.4.2 Popis zapojení**

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.17. Napájení modulu je připojeno na konektor J1. Velikost napájecího napětí je omezena na maximální hodnotu 16 V z důvodu výkonových ztrát na rezistorech a maximálnímu přípustnému napětí na elektrolitickém kondenzátoru. Modul dále obsahuje dvojici kondenzátorů, jeden má kapacitu 220 uF pro vyrovnaní kolísání napájecího napětí a druhý keramický s kapacitou 100 nF pro potlačení vysokofrekvenčního rušení. Hlavní část je tvořena dvojicí nezávislých půl mostů, které jsou tvořeny dvojicí pevných rezistorů 470 R s malým teplotním koeficientem a jedním odporovým trimrem s hodnotou odporu 100 R a deseti otáčkami. Slouží pro přesné nastavení pracovního bodu mostu.

#### **4.4.3 Postup osazení desky**

Ještě před vlastním začátkem osazování je velice užitečné vizuálně zkontrolovat kvalitu vytvořeného DPS. Při pochybnostech o zkratu mezi spoji nebo přerušení spojů je vhodné použít multi-metr s nastavením jako pípáků nebo měření odporu. Tímto způsobem se ušetří spousta času při oživování modulu. Jako vždy je postupováno od osazení součástek pro povrchovou montáž po nejvyšší součástky.

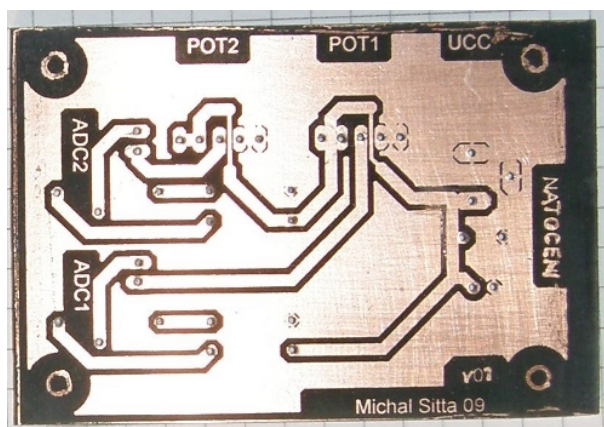
U této jednoduché desky, která neobsahuje žádné součástky povrchové montáže ani drátové propojky je nevhodnější začít čtveřicí odporů R2, R4 až R6. Po nich následuje keramický kondenzátor C2. Následovat by mělo osazení konektorů POT1, POT2, ADC1, ADC2. Dále je vhodné napájet trimry R1 a R3. Jako poslední přicházejí na řadu nejvyšší součástky a to elektrolitický kondenzátor C1 a napájecí konektor J1.

### **4.5 Modul ovládání motorů**

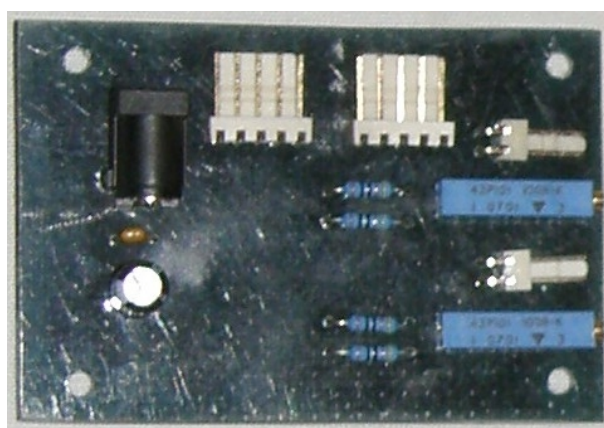
#### **4.5.1 Popis modulu**

Tento modul slouží pro výkonové ovládání motorů do maximálního proudu 32 A (limit použitých svorek). Tato hodnota závisí na použitém chladiči výkonových tranzistorů. Přes sběrnici SPI je pomocí propojek možno nastavit 5 různých adres. Sběrnice SPI slouží pro posílání výkonu motorům v 255 krocích. Dále jsou vyvedeny dvě přerušení od mikrokontroléru pro HW pojistky proti zničení motorů. Modul obsahuje inteligentní řadič, který obsahuje brzdu. Frekvence spínání je 25 kHz a podle potřeby je možno ji bez větších zásahů v programu měnit až do hodnoty 100 kHz.





Obrázek 4.12: Neosazený plošný spoj modulu půl mostů



Obrázek 4.13: Nepřipojená deska modulu půl mostů

## 4.5.2 Popis zapojení

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.5. Modul je určen pro připojení přes sběrnici SPI, která využívá HW adresaci, proto je na modulu pětice pinových propojek (konektor SV1) pro určení adresy modulu. Dále jsou zde na konektory S0 a S1 vyvedeny vstupy pro externí přerušení s pull-up rezistorem, které mohou sloužit například pro poruchové nebo limitní stavy. Pro snadný reset mikrokontroléru je vyvedeno tlačítko S2. Dále propojka JP2 umožňuje propojení výkonové a elektronické země přes ochranný odpor, aby se nenamáhaly izolační meze použitých optočlenů.

Jako hlavní ovládací prvek slouží mikrokontrolér ATmega 8, který na výstupu ovládá pomocí tří pinů ve významech IO, I1 a PWM pomocí hradlové logiky postavené z jednoho IO 7400 a jednoho IO 7410. Z této logiky vystupuje čtveřice signálů s významem ovládání čtveřice tranzistorů plného mostu v negovaném stavu (/TA, /BA, /TB, /BB). Tyto signály vedou na digitální optočleny H11L, které signál znegují a přivedou k driveru LT1162. Optočleny zároveň slouží jako oddělovače výkonové části robota a jeho elektronické části.

Driver LT1162 je složen z dvojice nezávislých půl-mostů vložených do jednoho pouzdra pro usnadnění vytvoření plného driveru. Tento integrovaný obvod pomocí vnitřní logiky zabraňuje sepnutí dvojice tranzistorů ve stejné větvi. Tuto funkci plní aktivním snímáním napětí mezi tranzistory ve stejné větvi, proto není možné ani při přechodném ději částečné sepnutí a tím zvýšení vyzařovaného výkonu tranzistoru. Dále při vstupních signálech, které by znamenali sepnutí obou tranzistorů ve stejné větvi dojde k odpojení obou tranzistorů. Tato ochrana má význam při chybě předcházející části před driverem i při přechodových stavech řízení.

O vlastní spínání se stará čtveřice unipolárních tranzistorů IRF3205 s N-kanálem a základními parametry  $VDSS=55\text{ V}$ ,  $RS(on)=8\text{ m}\Omega$ ,  $IDmax=110\text{ A}$ . Ovládány jsou výstupy z LT1162 přes ochranný odpor s hodnotou  $4\text{ }\Omega$ . K připevnění vodičů napájení a motorů jsou připraveny dvě svorky s maximálním proudem  $16\text{ A}$ . Z tohoto důvodu je maximální doporučený proud  $32\text{ A}$  i když tranzistory by zvládly více jako dvojnásobnou hodnotu!

## 4.5.3 Postup osazení desky

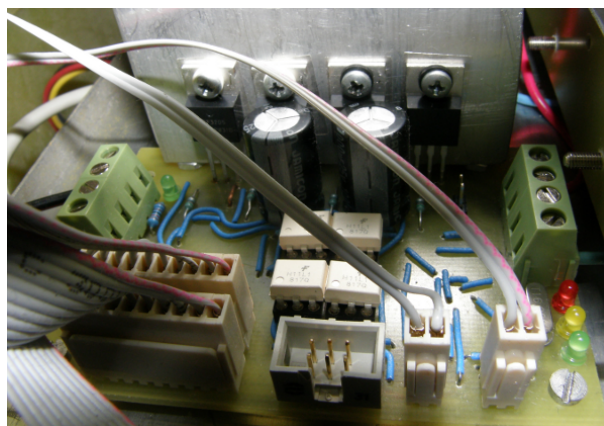
První je vhodné zkontrolovat kvalitu vyleptané desky. Pokud možno proměřit multimetrem kritická místa. Následovat by měl mikrokontrolér ATmega 8, který má nejmenší vzdálenost mezi vývody. Dále je vhodné připájet SMD rezistory a kondenzátory s malou výškou až následně pájet vyšší a větší SMD kondenzátory. Další na řadu přijdou IO 7410 a IO 7400 následované driverem LT1162. Dím je dokončeno osazování všech povrchových součástí.

Další na řadu musí přijít osazení všech drátových propojek (nebo použít dvouvrstvý

DPS s prokovy). Pokračovat by se mělo rezistory v pouzdře R0207, krystalem Q1, precizními paticemi DIL6, LED a konektory v pořadí PROG, SV1, JP1, JP2, S0, S1, SPI1, SPI2, GND spolu s UCC a MOT\_A spolu s MOT\_B. Další na řadu přichází tlačítko S2. Dále se připájejí kondenzátory C5 a C6. Jako poslední na řadu přicházejí tranzistory, které je vhodné nejprve připájet jedním vývodem a následně připevnit k chladiči a napájet zbývající vývody.

Poznámka: Z bezpečnostních důvodů je lepší kondenzátory C5 a C6 použít do vyšších teplot, aby se případným zahříváním tranzistorům nedegradovali. Toto platí jen pro vyšší zatěžování proudy nebo pro nedostatečně dimenzovaný chladič. Dále z prostorových důvodů upozorňuji na špatný přístup k upevnění tranzistorů T1 a T3.

Poděkování patří firmě Linear Technology za posláním testovacích vzorků driverů LT1162 použitých v modulech.



Obrázek 4.14: Připojená deska ve funkci ovládání motoru přední nápravy

#### 4.5.4 Popis Programu

Základní část programu je řídí trojici pinů, které se starají o nastavování pořadovaného módu plného mostu. Dvojice pinů připojená k portu C jednočipu obstarává požadovaný režim. Podporované režimy jsou brzda, volnoběh, jízda dopředu a jízda dozadu. Poslední ovládaný pin se stará o povolování nebo zakazování použitého mostu. Přesněji se jedná o pin číslo 1 portu B. Pokud je v log. 1 tak je driver mostu aktivní. Změna hodnot pinů nastává s frekvencí 25 kHz. Nastavování požadované střídy je prováděno v 255 krocích. Časování je prováděno pomocí časovače číslo 2, který je nastavený do režimu PWM a podle stavového automatu při přetečení nastaví požadované hodnoty pinů na portu C. Při dosažení komparační úrovně nastaví výstupní piny do režimu brzdy.

Další část programu se stará o komunikaci modulu přes sběrnici SPI, přes kterou se nastavuje požadovaný mód modulu. Při přijetí zprávy je zpráva dekodována a provedeny

požadované změny. Stavové proměnné se aktualizují bezprostředně po přijetí dat ze sběrnice SPI.

## 4.6 Modul výkonových výstupů

### 4.6.1 Popis modulu

Jedná se o rozšiřující modul pro výkonové ovládání maximálně 8 výstupů s maximálním proudem 500 mA (určeno ULN2803) přes sběrnici I2C na 100 kHz, do modulu main, který přijímá zprávy z PC. Způsob přesného ovládání záleží pouze na programu obsaženém v mikrokontroléru ATmega8, který slouží jako převodník sběrnice a ovládá příslušné výstupy přes posilovač.

Dále modul obsahuje tlačítko S1, které provede reset mikrokontroléru do počátečního stavu, který spočívá v odpojení všech výstupů. Pro signalizaci stavu slouží čtveřice LED. Z toho jedna signalizuje napájení modulu a tři jsou volně programovatelné.

Modul dále obsahuje programovací konektor přes SPI pro mikrokontrolér. Poslední nepopsaný konektor UYK slouží pro napájení výstupů. Napěťové úrovně napájení výkonové části a napájení ostatních částí modulu zprostředkované přes I2C konektor musí mít společný zemnicí potenciál! Jeho maximální hodnota je 30 V a je dána posilovačem.

### 4.6.2 Popis zapojení

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.20. Zapojení je založeno na mikrokontroléru ATmega8, který je taktován pomocí externího krystalu na 16 MHz. Řízení je přes sběrnici I2C s pracovní frekvencí 100 kHz. Přes konektory sběrnice I2C je připojeno i napájecí napětí s hodnotou +5 V. Pro snadné resetování mikrokontroléru je vyvedeno tlačítko S1, které přivede reset mikrokontroléru na zemnicí potenciál.

Modul dále obsahuje programovací konektor přes sběrnici SPI pro mikrokontrolér. Poslední nepopsaný konektor UYK slouží pro napájení výstupů. Napěťové úrovně napájení výkonové části a napájení ostatních částí modulu zprostředkované přes I2C konektor musí mít společný zemnicí potenciál! Jeho maximální hodnota je 30 V a je dána posilovačem.

Pro signalizaci stavu slouží čtveřice LED. Z toho LED1 signalizuje napájení modulu a tři jsou volně programovatelné připojené na piny PB0, PB1, PB2. Stav připojení napájení výkonové části není indikován, protože je zde velký rozsah povoleného napájecího napětí a bylo by nutné použít složitějšího zapojení pro získání pouhé signalizace.

Výstupy jsou vyvedeny jako celý port D mikrokontroléru. Tento port vede na osminásobný posilovač, jehož každá buňka obsahuje jako poslední výkonový stupeň tranzistor zapojený se společným emitorem připojeným na zemnicí potenciál. Výstup je tvořen tranzistorem s otevřeným emitorem, proto je připojení zátěže realizováno připojením jednoho pinu na napájecí napětí a druhého na otevřený kolektor posilovače. Konektory výkonových výstupů mají zámek aby se zamezilo prohození polarity a tím následné nefunkčnosti připojené zátěže (LED) nebo i zničení připojeného zařízení.

### 4.6.3 Postup osazení desky

Ještě před vlastním začátkem osazování je velice užitečné vizuálně zkontrolovat kvalitu vytvořené DPS. Při pochybnostech o zkratu mezi spoji nebo přerušení spojů je vhodné použít multi-metr s nastavením jako pípáků nebo měření odporu. Tímto způsobem se ušetří spousta času při ožiování modulu. Jako vždy je postupováno od osazení součástek pro povrchovou montáž po nejvyšší součástky.

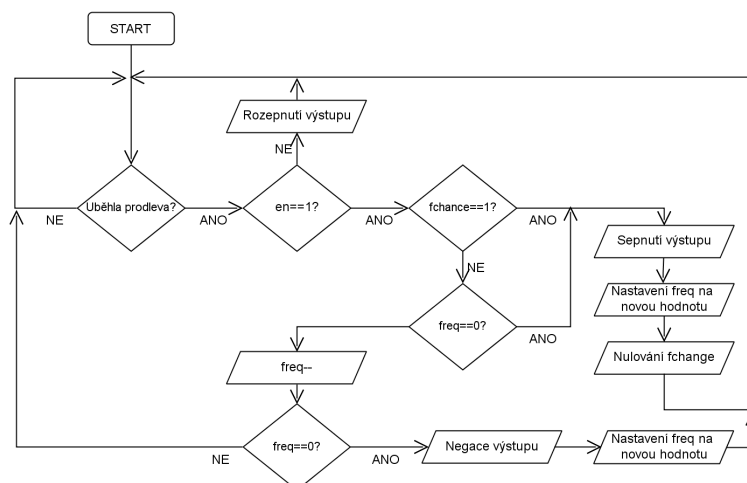
Nejprve se osazují součástky pro povrchovou montáž, což jsou v tomto případě všechny rezistory a kondenzátory. Následovat by mělo vytvoření všech drátových propojek a až následně začít pájet zbývající součástky. Jako první by se měl napájet krystal Q1 následovaný ostatními součástkami v pořadí I2C1, I2C2, O1..O8, tlačítko S1, konektor PROG, precizní patice pro IC1 a IO3, JP1, LED1, LED3..LED5, a jako poslední konektor UYK.

### 4.6.4 Popis Programu

Základním znakem programu je pole osmi struktur. Každému výstupu náleží jeden prvek struktury. Ta je tvořena čtyřmi proměnnými. První proměnná má název *en* a je typu unsigned char, pokud má hodnotu log. 1 je požadovaný výstup aktivní a kontrolují se ostatní proměnné pro provádění odpovídající funkce.

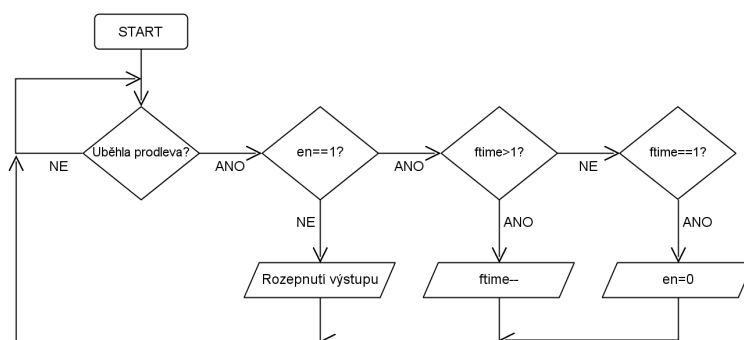
Další proměnnou je *freq* je typu unsigned int a hodnota značí požadovanou frekvenci přepínání výstupu. hodnota 1 odpovídá frekvenci spínání výstupu s frekvencí 8 kHz, hodnota 4 000 odpovídá 2 Hz a hodnota 40 000 odpovídá 0,2 Hz a jako poslední hodnota je použito číslo 0 při požadavku na nepřetržité sepnutí výstupu. Princip je v odčítání jedničky s frekvencí 8 kHz. Pro přesné časování je použito časovače 2. Při dosažení nuly dojde k nastavení proměnné na původní hodnotu a negaci výstupu. Tímto způsobem je vytvořeno přesné generování frekvencí 4 kHz, 1 Hz a 0,1 Hz se střídou 50 %. Následující proměnná má přímou vazbu na frekvenci spínání výstupů jde o proměnnou *fchange*. Je typu unsigned char a nastavuje se do log. 1 při změně požadavku frekvence spínání výstupů. Pokud je v log. 1 dojde okamžitě k sepnutí výstupu, nastavení nové požadované frekvence spínání, následně se tento příznak nuluje. Je pro snížení doby

odezvy modulu na příchozí signál od řídicího modulu. Vývojový diagram této smyčky je uveden na obrázku 4.15 pro jeden konkrétní výstup.



Obrázek 4.15: Vývojový diagram smyčky spínání výstupů

Následuje poslední proměnná. Jde o proměnou *time*. Je typu unsigned int a hodnota v ní uložená odpovídá požadované době sepnutí nebo periodického spínání výstupu. Při požadavku na nepřetržité sepnutí je nastavena na hodnotu 0. Při požadavku na sepnutí 2 s je nastavena na hodnotu 1000, při požadavku na 10 s je nastavena na 10 000, při požadavku na 1 minutu je nastavena na hodnotu 30 000. Hlídní uběhnutého času probíhá ve smyčce s periodou 2 ms. Ta je tvořena časovačem 1. Při každém spuštění smyčky se kontroluje zda je proměnná větší než 1. Pokud je odečte se 1. Při hodnotě proměnné 1 dojde k zakázání výstupu pomocí vynulování proměnné *en*. Tímto je dosaženo, že hodnota 0 značí nepřetržité sepnutí výstupu. Vývojový diagram smyčky pro jeden výstup je uvedeno na obrázku 4.16

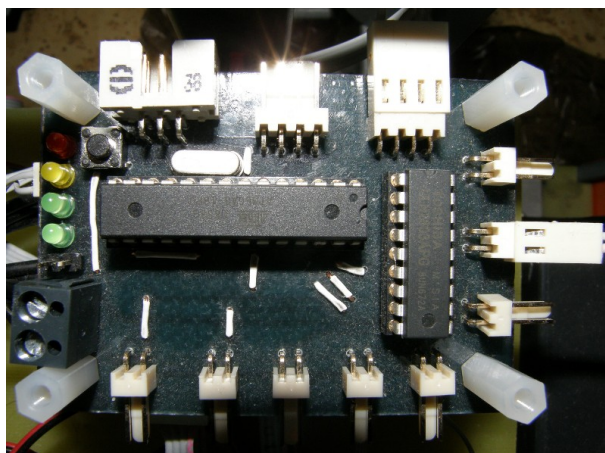


Obrázek 4.16: Vývojový diagram smyčky časové prodlevy



Komunikace s modulem probíhá přes sběrnici I2C, která má implementované všechny zprávy, které byly popsány v sekci protokoly. Vlastní komunikace je řízena stavovým automatem, který je tvořen hodnotami příznaku stavového registru sběrnice I2C. Následně probíhá podle příchozího bytu a čísla přijatého bytu od přijetí start podmínky k dekódování požadavku a dochází k požadované reakci modulu.

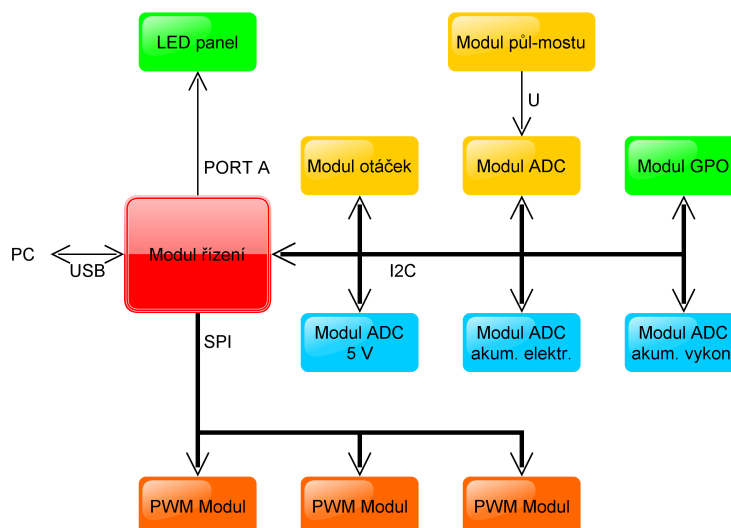
Modul má implementované makro s názvem TEST, který při nastavení do hodnoty různé od 0 inicializuje strukturu, aby mohl být proveden test všech výstupů i s dobami a frekvencemi spínání, které jsou implementovány.



Obrázek 4.17: Připojená deska modulu GPO

## 5 PROPOJENÍ MODULŮ

Celkové propojení jednotlivých modulů je ukázáno na 5.1. Šipky zobrazují směr přenosu dat. U šipek je napsáno pomocí čeho se informace přenáší. Barevně je rozlišena důležitost jednotlivých modulů pro správný chod robotu.



Obrázek 5.1: Signálové propojení všech modulů

Červená barva je použita pro hlavní modul, který obstarává pomocí USB komunikaci s nadřazeným PC a pomocí sběrnic I2C a SPI s podřízenými moduly. Při jeho poruše je robot neschopný ničeho. Když je funkční je zaručena komunikace s nadřazeným PC a zprostředkovává informace o funkčnosti ostatních modulů.

Oranžová je barva modulů sloužících pro ovládání robotu. Přesněji ovládání levého a pravého zadního kola a ovládání motoru přední nápravy. Při jejich poruše se robot není schopen pohybovat.

Další barva je žlutá. Tato barva je použita pro snímání činnosti motorů. Bez funkčnosti těchto modulů není robot se schopný pohybovat.

Další barvou je modrá. Touto barvou jsou označeny moduly, které se starají o sběr vnitřních stavových veličin, které nemají přímo vliv na funkčnost robotu. Přesněji se jedná o snímání napětí na důležitých větvích v robotu, které jsou napětí na akumulátoru elektroniky, výkonovém akumulátoru a napětí v pěti voltové větvi napájení elektroniky.

Poslední barvou je barva zelená. Touto barvou jsou označeny moduly, které zajišťují přenos informací o robotu jinou cestou než je sběrnice USB. Přesněji se jedná o modul LED indikátorů, které obsahují informace o aktuálním stavu a o modul GPO, která dává informace ve tvaru připojených zařízení. Může se například jednat o výkonovou LED nebo sirénku.



## 5.1 Nastavení jednotlivých modulů

V této sekci je popsáno nastavení jednotlivých modulů převážně nastavení jejich adres a dalších parametrů nutných pro správný chod modulů.

### 5.1.1 Modul řízení

Tento modul komunikuje s okolím pomocí trojice sběrnic proto je důležité vědět, jak jsou nastaveny.

Modul používá ke komunikaci s nadřazeným PC USB sběrnici, ale detekuje se jako sériový port. Správné nastavení pro komunikaci je uvedeno v tabulce 5.1.

Rychlost	38 400 baud
Mód	asynchronní
Počet stop bitů	1
Počet datových bitů	8
Parita	žádná

Tabulka 5.1: Nastavení parametrů sériové linky

Další sběrnici je I2C, která má jen málo nastavení. Hlavní modul je jediný Master na sběrnici, generuje Acknowledge puls a frekvence sběrnice je 100 kHz.

Poslední sběrnici je SPI. Nastavení je uvedeno v tabulce 5.2.

Typ zařízení	master
Frekvence	125 kHz
Clock phase	Cycle Half
Parita hodin	Low
Pořadí dat	MSB první

Tabulka 5.2: Nastavení parametrů sběrnice SPI

### 5.1.2 Moduly ovládání motorů

V robotu jsou pro ovládání robotu použity tři motory, ke kterým je připojena trojice modulů přes sběrnici SPI s rozdílnou adresou vybranou pomocí propojek SS. Jejich nastavení je uvedeno v tabulce 5.3.

Typ zařízení	slave
Frekvence	125 kHz
Clock phase	Cycle Half
Parita hodin	Low
Pořadí dat	MSB první
Adresa modulu levého kola	SS0
Adresa modulu pravého kola	SS1
Adresa modulu nápravy	SS2
Propojení dorazů u nápravy	S0..levý doraz, S1..pravý doraz

Tabulka 5.3: Nastavení parametrů modulů motorů

### 5.1.3 Modul měření otáček

Modul měření otáček je připojen přes sběrnici I2C. Výstup modulu je přímo v m/s proto je nutné definovat další dva parametry, aby byl výstup přesný. Kompletní nastavení je uvedeno v tabulce 5.4.

Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x04
Počet pulzů na otáčku	90
Obvod kola	0,92 m

Tabulka 5.4: Nastavení modulu měření otáček

### 5.1.4 Modul GPO

Modul výkonových je připojen přes sběrnici I2C. Nastavení modulu probíhá pouze nastavením sběrnice I2C. To je uvedeno v 5.5.

Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x31

Tabulka 5.5: Nastavení parametrů sběrnice I2C

### 5.1.5 Modul ADC pro měření natočení

Modul ADC obsahuje větší počet nastavení než jen nastavené sběrnice. Obsahuje nastavitelný před dělič a volbu referenčního napětí veškeré nastavení je uvedeno v tab. 5.6.

Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x22
Vstupní dělič	odpojen
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.6: Nastavení parametrů ADC pro snímání natočení

### 5.1.6 Modul ADC pro měření napětí ve větvi 5 V

Modul ADC obsahuje větší počet nastavení než jen nastavené sběrnice. Obsahuje nastavitelný před dělič a volbu referenčního napětí veškeré nastavení je uvedeno v tab. 5.7.

Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x01
Vstupní dělič	1:5
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.7: Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí ve větvi 5 V

### 5.1.7 Modul ADC pro akumulátor elektroniky

Modul ADC obsahuje větší počet nastavení než jen nastavené sběrnice. Obsahuje nastavitelný před dělič a volbu referenčního napětí veškeré nastavení je uvedeno v tab. 5.8.

Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x02
Vstupní dělič	1:15
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.8: Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na akumulátoru elektroniky.

### 5.1.8 Modul ADC pro výkonový akumulátor

Modul ADC obsahuje větší počet nastavení než jen nastavené sběrnice. Obsahuje nastavitelný před dělič a volbu referenčního napětí veškeré nastavení je uvedeno v tabulce 5.9.

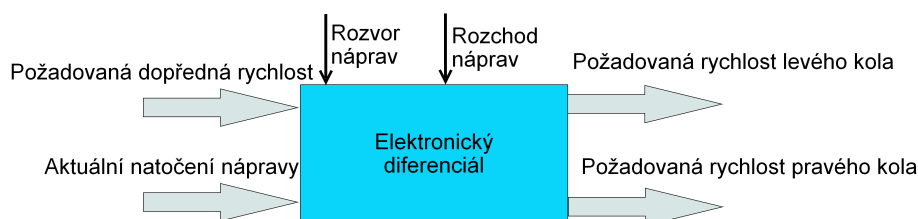
Frekvence	100 kHz
Generuje Ack	ano
Adresa	0x22
Vstupní dělič	1:15
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.9: Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na výkonovém akumulátoru.

## 6 ŘÍZENÍ PODVOZKU

### 6.1 Elektronický diferenciál

Elektronický diferenciál realizuje řízení samostatně poháněných kol zadní nápravy v závislosti na úhlu natočení přední nápravy. Schématické znázornění je uvedeno na 6.1. Potřebné vstupy jsou požadovaná dopředná rychlost podvozku a aktuální natočení přední nápravy, další nezbytné konstanty pro správnou funkci elektronického diferenciálu jsou parametry podvozku a to rozvor náprav (vzdálenost os přední a zadní nápravy) a rozchod náprav (vzdálenost středů otisků pneumatik jedné nápravy). Výstupy jsou vypočítané požadované rychlosti jednotlivých zadních kol, které následně jsou přiváděny do jednotlivých regulátorů motorů.



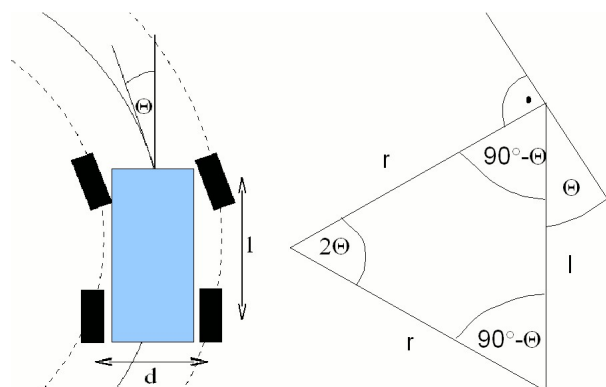
Obrázek 6.1: Blokové schéma elektronického diferenciálu

#### 6.1.1 Matematický model

Pro vytvoření elektronického diferenciálu je nutné si sestavit odpovídající matematický model podvozku. Do modelu je nutné zahrnout všechny měřitelné veličiny, které se mohou při návrhu uplatnit. Z důvodu možnosti měření jen základních parametrů, které jsou úhel natočení přední nápravy a aktuální rychlosti zadních hnaných kol byl vytvořen pouze jednoduchý kinematický model Ackermannova podvozku se čtyřmi koly, říditelnou přední nápravou a dvěma nezávisle hnanými zadními koly. Základní předpoklady pro vytvoření kinematického modelu jsou nemožnost smyku a prokluzu kol.

Pomocí nákresu na 6.2 byly odvozeny základní závislosti mezi zkoumanými veličinami.

Z okamžitého úhlu natočení byl vypočítán poloměr otáčení. Z rozvoru kol byly vypočteny poloměry otáčení pro jednotlivé kola. Následně ze znalosti podmínky rovnosti času při nutnosti projetí různých délek byla vypočtena rychlost jednotlivých kol.



Obrázek 6.2: Matematický model podvozku pro výpočet el. diferenciálu

Výsledný vztah je uveden:

$$v_{1,2} = v \cdot \left( 1 \pm \frac{d \cdot \sin(2 \cdot \phi)}{2 \cdot l \cdot \cos \phi} \right)$$

kde  $d$  je rozchod náprav a  $l$  je vzdálenost přední a zadní nápravy.

### 6.1.2 Požadavky realizace

Elektronický diferenciál je nutné realizovat na mikrokontroléru ATmega 32 firmy Atmel, který je osazen v modulu řízení. Pro možnost implementování funkce elektronického diferenciálu je nutné snížit jeho výpočetní náročnost. Zásadním problémem je výpočetní náročnost goniometrických funkcí sinu a cosinu a jejich následný podíl. Z tohoto důvodu je nutné provést zjednodušení.

Existují dvě základní varianty řešení tohoto problému. První variantou je vytvoření předem vypočítané tabulky s určitým krokem. Tento způsob je náročný na kapacitu paměti mikrokontroléru v závislosti na zvoleném kroku, ale klade minimální požadavky na výpočetní výkon. Druhým způsobem je provést vhodnou aproximaci. Výhodou je minimální potřeba paměti, ale je náročnější na výpočetní výkon v závislosti na složitosti aproximace.

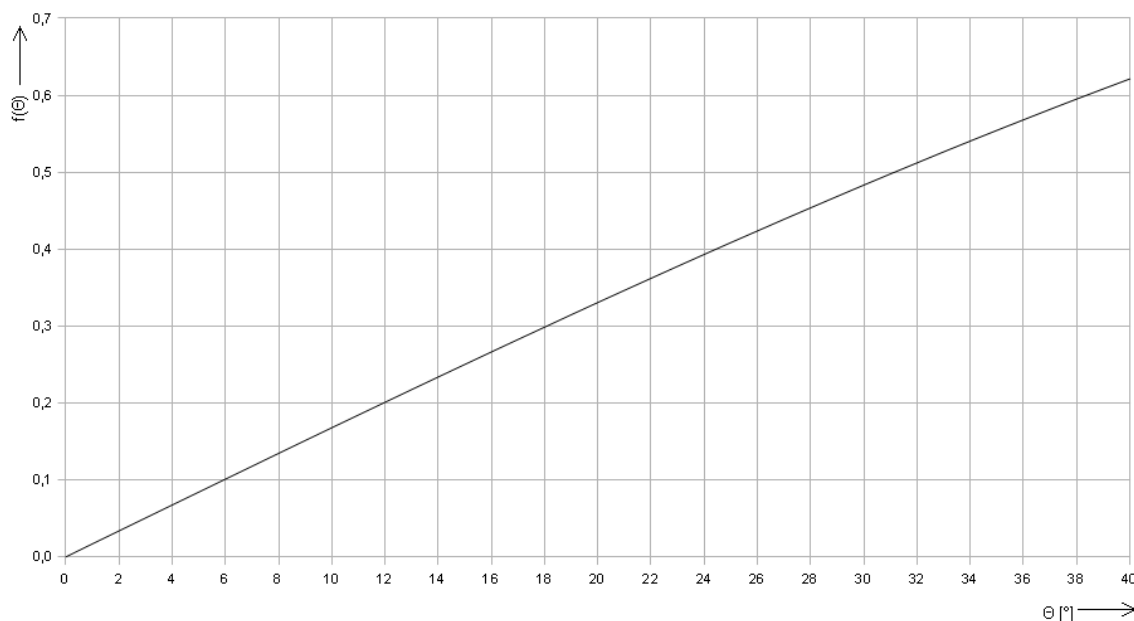
Pro realizaci elektronického diferenciálu na mikrokontroléru v modulu řízení je vhodnější nalezení aproximační funkce z důvodu malé kapacity paměti a poměrně velkého výpočetního výkonu mikrokontroléru.

#### Postup při vytváření aproximačního modelu

Z určeného vzorce je nutná aproximace pouze jeho části, která obsahuje podíl goniometrických funkcí. Proto je výhodné aproximovat pouze tuto část. Ve vzorci je za konstanty rozvoru náprav a vzdálenosti náprav dosazeno ( $d = 0,58$  m,  $l = 0,6$  m). 6.3

graficky znázorňuje průběh funkce, kterou je potřeba aproximovat. Z jejího průběhu lze nejlépe určit vhodnou aproximační funkci. Jako nejvhodnější se jeví aproximace pomocí polynomu prvního nebo druhého stupně.

$$f(x) = \frac{0,58 \cdot \sin(2 \cdot \phi)}{2 \cdot 0,6 \cdot \cos \phi}$$



Obrázek 6.3: Průběh funkce  $f(x)$

Metodou nejmenších čtverců byly vypočteny konstanty pro jednotlivé aproximace. Výsledné závislosti jsou pro polynom prvního řádu:

$$f(x) = 0,010419 + 0,015643 \cdot x$$

a pro polynom druhého řádu:

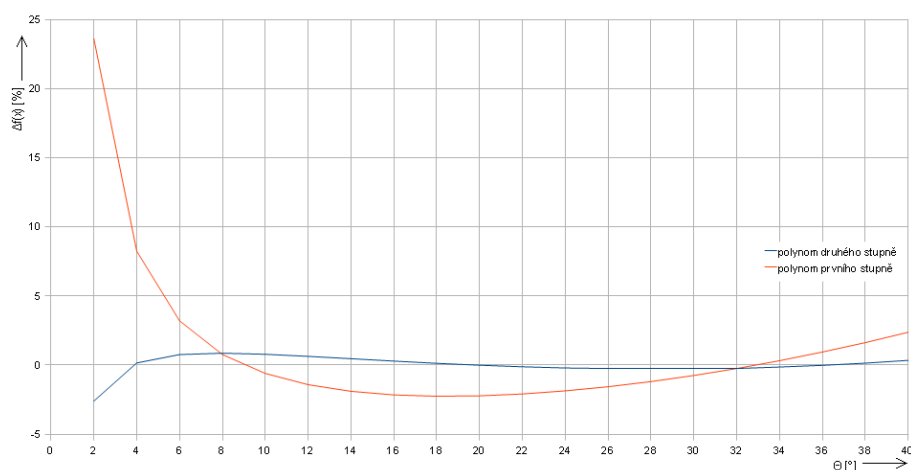
$$f(x) = -0,00221985 + 0,017638684 \cdot x - 0,0000499 \cdot x^2$$

Pro porovnání kvality aproximace existuje více parametrů. Jedním je průběh odchylek od aproximované funkce. Tato závislost má vysokou vypovídací hodnotu a je z ní možné určit místa nejlepší shody. Tato závislost je uvedena na 6.4. Z grafu je patrné, že při aproximaci polynomem prvního stupně jsou odchylky příliš velké. Polynom druhého stupně má odchylky dostatečně malé a je vhodné ho použít. Jako další hodnotící parametr kvality aproximace je možné použít sumu kvadrátu absolutních odchylek nebo maximální relativní chybu ve sledovaném rozsahu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v 6.1. U obou parametrů vychází o řád lépe aproximace kvadratickým polynomem.



Hodnotící parametr	$a + b \cdot x$	$a + b \cdot x + c \cdot x^2$
Maximální relativní chyba	23,6 %	2,6 %
$\sum (\Delta_x)^2$	0,000918	0,000025

Tabulka 6.1: Srovnání aproximačních polynomů



Obrázek 6.4: Průběh odchylek aproximovaných funkcí od  $f(x)$

### Implementace diferenciálu

Elektronický diferenciál byl implementován pomocí náhrady části funkce pomocí polynomu druhého stupně. Výsledný vzorec má tvar:

$$v_{outside}(\Theta) = v \cdot (1 - 0,00221985 + 0,017638684 \cdot \Theta - 0,0000499 \cdot \Theta^2)$$

$$v_{inside}(\Theta) = v \cdot (1 + 0,00221985 - 0,017638684 \cdot \Theta + 0,0000499 \cdot \Theta^2)$$

Výsledný vzorec obsahuje pouze sečítání násobení a umocnění, které nejsou příliš výpočetně náročné při dodržení malé odchylky náhrady od původní funkce. Celý algoritmus je implementován pomocí podmínky *if* pro rozlišení směru zatáčení a pro omezení chyby vzniklé při malých hodnotách úhlu natočení je zakázáno využívání elektronického diferenciálu pro hodnoty natočení menší než  $1^\circ$ . Následně jdou tyto přepočítané rychlosti do regulátorů zadních kol.

## 6.2 Řízení motoru přední nápravy

Řízení motoru přední nápravy využívá pro zjištění aktuálního natočení odporový potenciometr umístěný na čepu přední nápravy. Vyhodnocení probíhá přes modul půl mostu a modul AD převodníku.

Jako regulátor byl vybrán P regulátor s hysterezí, pro snížení namáhání motoru přední nápravy a následných převodů, a nenulovou minimální hodnotou akčního zásahu mimo hysterezi. Sumační složka v regulátoru není potřeba z důvodu integrace na akčním členu, kterým je motor se šnekovým převodem a pro převod na posunutí se využívá hřebenu.

Vlastní regulátor má nastavené zesílení na 20. Minimální hodnotu akčního zásahu na 160 mimo meze hystereze a hysterezi na hodnotu  $\pm 0,8 \%$ . Kde jako vstup je přiveden úhel natočení přední nápravy ve vstupních a výstupem regulátoru je výkon v rozsahu 0 až 255.

### **6.3 Řízení motorů zadní nápravy**

Řízení motorů zadní nápravy pro získání hodnoty aktuální rychlosti kol používá modul snímače otáček zadní nápravy. Pro žádanou hodnotu jsou použity proměnné po přepočtu žádané rychlosti z nadřazeného PC přes elektronický diferenciál.

Regulátor použitý pro tento účel byl zvolen jako sumačně proporcionální. Výstupem regulátoru je hodnota 0 až 255. Regulátor má zabudovanou minimální hodnotu akčního zásahu, která je nutná pro roztočení motorů.

## ZÁVĚR

V úvodní části práce byly vyjmenovány jednotlivé použitelné kolové podvozky, následnou selekcí vzhledem ke složitosti konstrukce byly vybrány dva čtyřkolové podvozky s rozdílným řízením. Šlo o diferenciálně řízený podvozek a Ackermannův podvozek. Oba podvozky jsou vhodné a často používané. Nakonec byl vybrán Ackermannův podvozek z důvodu nižší energetické náročnosti při zatáčení a tím nižší ceny použitých elektromotorů s vědomím, že podvozek nemá oproti diferenčně řízenému podvozku možnost otáčení na místě, která nebyla požadována.

Další část práce se zabývala popisem uspořádáním výkonového vedení a výhodami použití dvojice nezávislých akumulátorů pro napájení motorů a elektroniky. Následoval popis zadního panelu robotu pro zjednodušení orientace nezasvěceného člověka.

Další kapitola obsahuje popis vytvořených komunikačních protokolů. Jde o protokol použitý při komunikaci s nadřazeným PC realizovanou přes sériovou linku a o protokol používaný při komunikaci mezi hlavním modulem s ostatními realizovanými moduly. Tato komunikace využívá dvojici sběrnic. Pro řízení modulů pro ovládání motorů je využita sběrnice SPI a pro ostatní moduly je využita sběrnice I2C. Následně jsou vyjmenovány všechny implementované zprávy pro oba protokoly s popisem jejich použití. Stručné vyjmenování všech zpráv pro sériovou linku je uvedeno v příloze C.

Následovala kapitola realizované druhy modulů, která obsahovala podrobný popis ke každému realizovanému druhu modulu. Šlo o hlavní modul, který obstarává komunikaci s nadřazeným PC. Modul optických snímačů rychlosti, který snímá rychlosti zadních hnaných kol. Modul analog–digital převodníku s rozlišením třinácti bitů, který má nastavitelné rozsahy prostřednictvím před děliče a možnosti změny referenčního napětí. Modul půl–mostů, který slouží pro snadné nastavení středové polohy přední nápravy pomocí dvaceti otáčkového trimru a zvyšuje rozlišitelnost správným převodem napětí pro převodník a tím zvýšení využití dynamického rozsahu. Posledním je modul výkonových výstupů pro libovolné použití s možností využití několika přednastavených dob sepnutí a frekvencí spínání.

Předposlední kapitola je věnována způsobu propojení jednotlivých modulů v robotu a závislost jejich funkčnosti na celkovou provozuschopnost robota jako celku. Robot sám je schopen detekovat nepřítomnost nezbytných modulů a samostatně přejít do režimu Total stop, který zahrnuje zastavení motorů pro minimalizaci škod.

Poslední kapitola se věnuje způsobu realizace elektronického diferenciálu a jeho implementace v jednočipu. Následuje popis regulátoru motoru přední nápravy a regulátoru motorů zadní nápravy pro řízení podvozku robotu. K řízení je použito jednoduchých diskrétních regulátorů, které obsahují rozšíření v podobě saturace a hystereze.

## REFERENCE

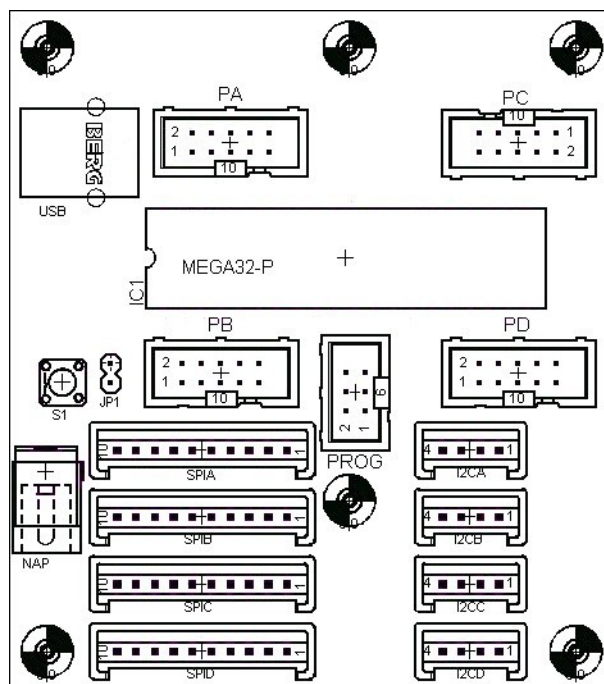
- [1] Novák, Petr.: *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. 1.vydání. Praha: BEN, 2005. 248s. ISBN 80–7300–141–1.
- [2] CHARLES M. BERGREN.: *ANATOMY OF A ROBOT*. United States of America: The McGraw–Hill Companies, 2003. 321s. ISBN 0–07–141657–9.
- [3] Ing. Ladislav Kárník, Csc.: *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ*. [online]. [cit. 2009–10–15].  
URL: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/index.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm) >

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Definice standardů DPS</b>	<b>69</b>
A.1	Standard 0 . . . . .	69
A.1.1	Rozměry desky . . . . .	69
A.1.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	69
A.2	Standard 1 . . . . .	70
A.2.1	Rozměry desky . . . . .	70
A.2.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	70
A.3	Standard 2 . . . . .	71
A.3.1	Rozměry desky . . . . .	71
A.3.2	Pozice montážních děr M3 . . . . .	71
<b>B</b>	<b>Realizované DPS</b>	<b>72</b>
B.1	Modul řízení . . . . .	72
B.1.1	Rozměry desky . . . . .	72
B.1.2	Seznam součástek . . . . .	74
B.2	Modul řízení motorů . . . . .	75
B.2.1	Rozměry desky . . . . .	75
B.2.2	Seznam součástek . . . . .	77
B.3	Modul AD převodníků . . . . .	78
B.3.1	Rozměry desky . . . . .	78
B.3.2	Seznam součástek . . . . .	80
B.4	Modul optických snímačů otáček . . . . .	81
B.4.1	Rozměry desky . . . . .	81
B.4.2	Seznam součástek . . . . .	83
B.5	Modul půl mostů . . . . .	84
B.5.1	Rozměry desky . . . . .	84
B.5.2	Seznam součástek . . . . .	85
B.6	Modul GPO . . . . .	86
B.6.1	Rozměry desky . . . . .	86
B.6.2	Seznam součástek . . . . .	88
<b>C</b>	<b>Realizované zprávy na RS–232</b>	<b>89</b>

## A DEFINICE STANDARDŮ DPS

### A.1 Standard 0



Obrázek A.1: Vzhled standardu 0 v měřítku 1:1

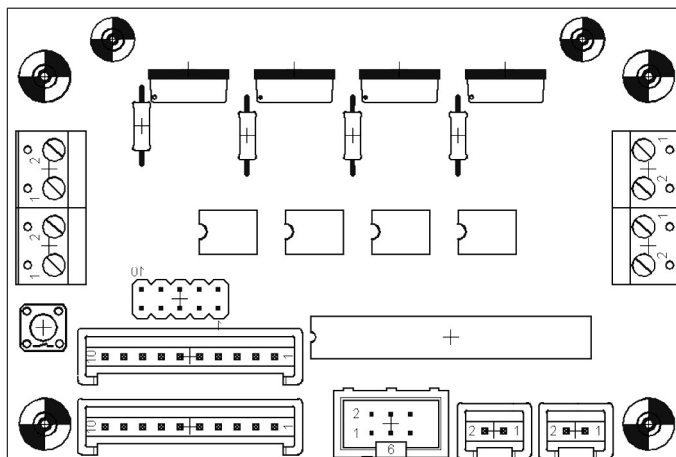
#### A.1.1 Rozměry desky

80 x 90 mm

#### A.1.2 Pozice montážních děr M3

1. x: 5 mm, y: 5 mm
2. x: 75 mm, y: 5 mm
3. x: 55 mm, y: 25 mm
4. x: 5 mm, y: 85 mm
5. x: 55 mm, y: 85 mm
6. x: 75 mm, y: 85 mm

## A.2 Standard 1



Obrázek A.2: Vzhled standardu 1 v měřítku 1:1

### A.2.1 Rozměry desky

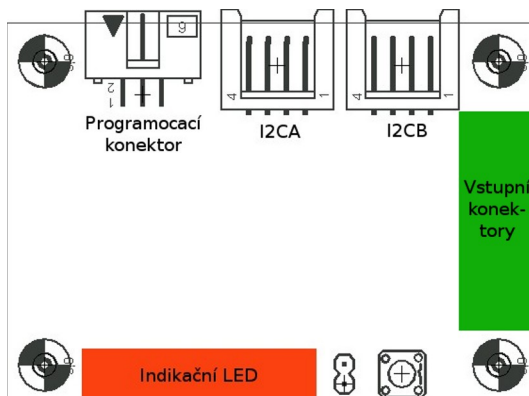
90 x 60 mm

### A.2.2 Pozice montážních děr M3

1. x: 5 mm, y: 5 mm
2. x: 85 mm, y: 5 mm
3. x: 5 mm, y: 51 mm
4. x: 85 mm, y: 51 mm



## A.3 Standard 2



Obrázek A.3: Vzhled standardu 2 v měřítku 1:1

### A.3.1 Rozměry desky

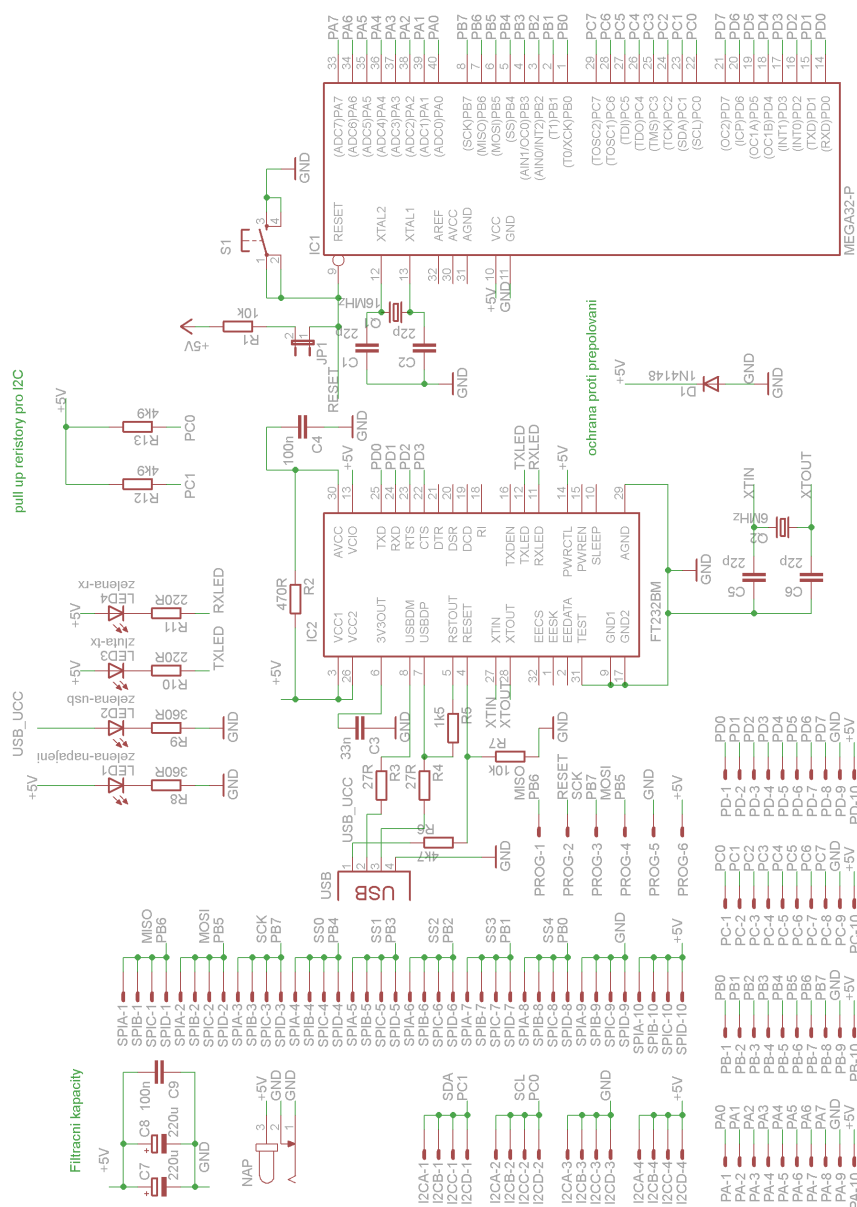
70 x 50 mm

### A.3.2 Pozice montážních děr M3

1. x: 5 mm, y: 5 mm
2. x: 65 mm, y: 5 mm
3. x: 5 mm, y: 45 mm
4. x: 65 mm, y: 45 mm

## B REALIZOVANÉ DPS

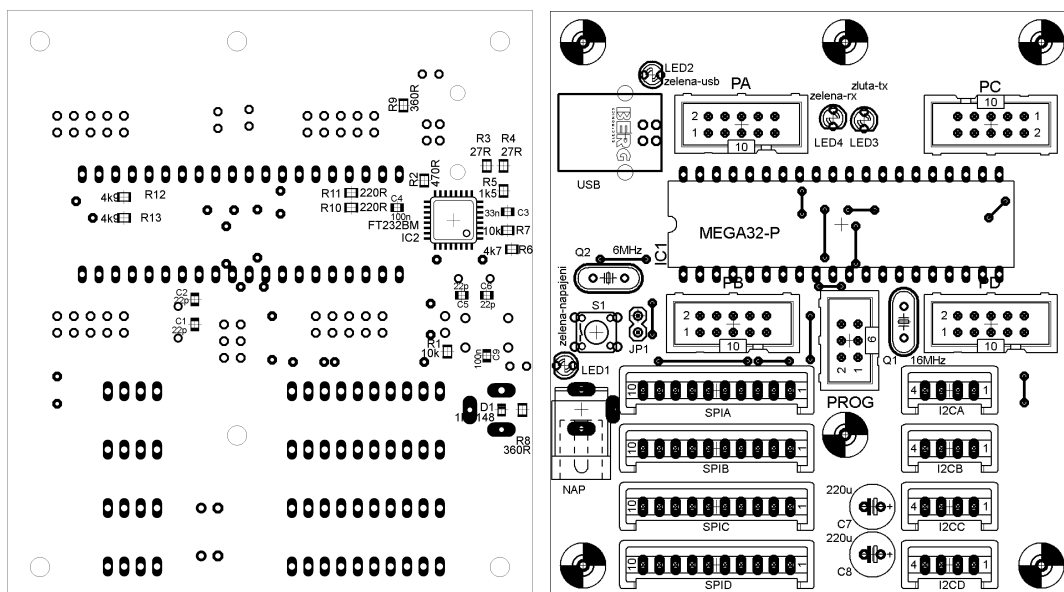
### B.1 Modul řízení



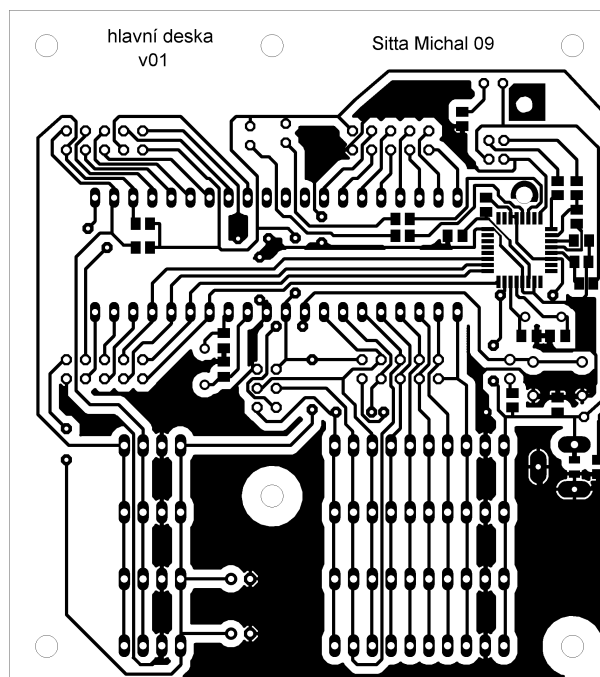
Obrázek B.1: Schéma modulu řízení

#### B.1.1 Rozměry desky

80 x 90 mm



Obrázek B.2: Osazovací výkres spodní strana modulu řízení  
Obrázek B.3: Osazovací výkres horní strana modulu řízení



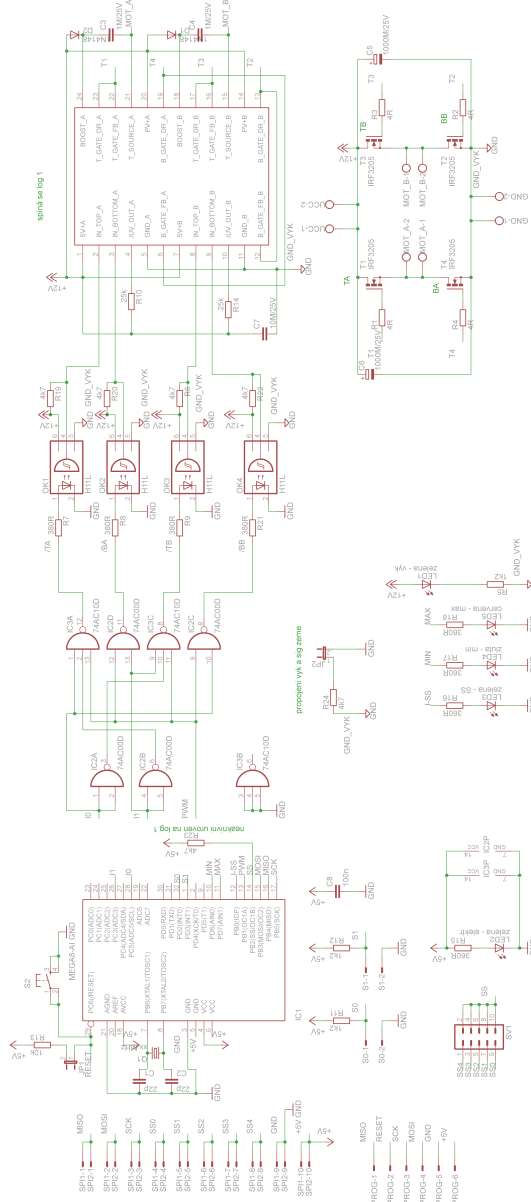
Obrázek B.4: Strana spojů modulu řízení

## B.1.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2, C5, C6	22 pF	C0805K
C3	33 nF	C0805K
C4, C9	100 nF	C0805K
C7, C8	220 uF/10 V	rozměry 6.3x11mm, RM=2.5mm
R1, R7	10 kR	R0805
R2	470 R	R0805
R3, R4	27 R	R0805
R5	1,5 kR	R0805
R6	4,7 kR	R0805
R8, R9	360 R	R0805
R10, R11	220 R	R0805
R12, R13	4,9 kR	R0805
D1	1N4148	805
IC1	MEGA32 – P+precizní patice	DIL40
IC2	FT232BM	QFP-32
I2CA až I2CD	PSH02 – 04PG	PSH02 – 04PG
SPIA až SPID	PSH02 – 10PG	PSH02 – 10PG
PA až PD	MLW10G	MLW10G
PROG	MLW06G	MLW06G
USB	USB1X90B PCB	USB1X90B PCB
NAP	K375A	K375A
JP1	2 piny z lámací lišty	S1G20
S1	P – B1720A	P – B1720A
Q1	16 MHz	HC49/S
Q2	6 MHz	HC49/S
LED1, LED2, LED4	zelená	3 mm, dif
LED3	žlutá	3 mm, dif

Tabulka B.1: Seznam součástek hlavního modulu

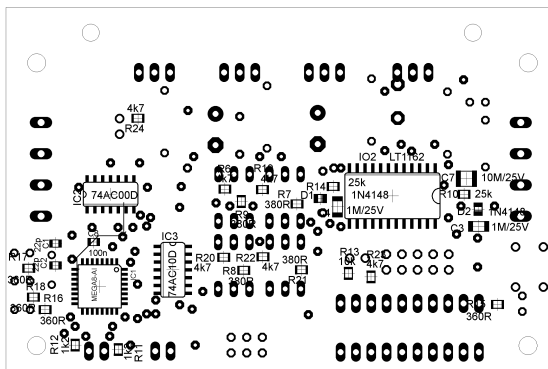
## B.2 Modul řízení motorů



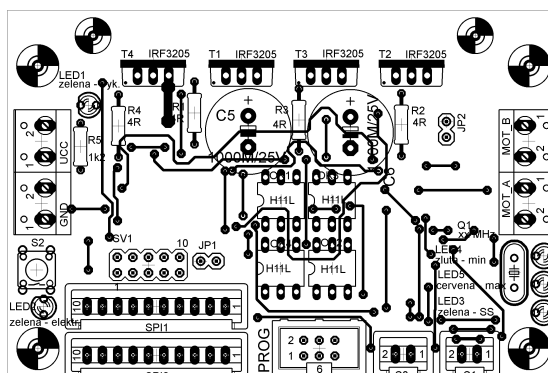
Obrázek B.5: Schéma modulu řízení motorů

### B.2.1 Rozměry desky

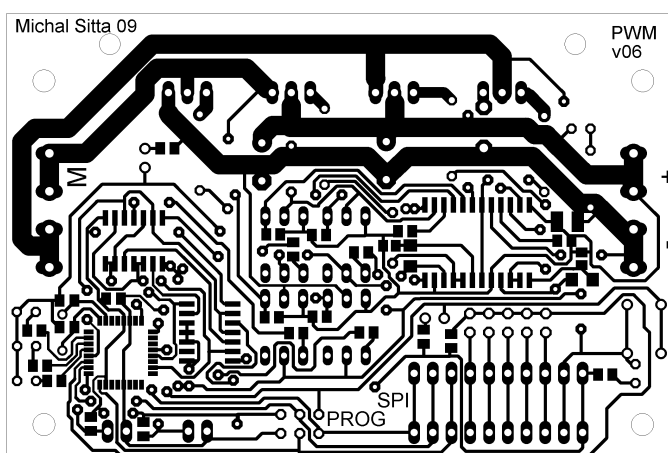
90 x 60 mm



Obrázek B.6: Osazovací výkres spodní strana modulu řízení motorů



Obrázek B.7: Osazovací výkres horní strana modulu řízení motorů



Obrázek B.8: Strana spojů modulu řízení

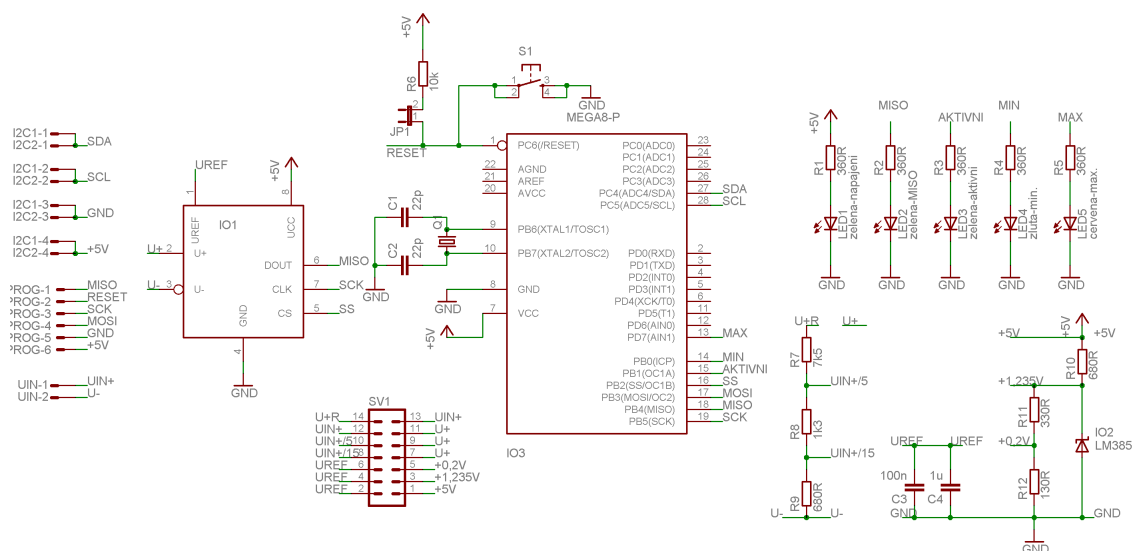
## B.2.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
C3, C4	1 uF/25 V	C1206
C5, C6	1000 uF/25 V	Rozměry: 13x21mm, RM=5mm
C7	10 uF/25 V	C1210
C8	100 nF	C0805K
R1..R4	4 R	R0207
R5, R11, R12	1,2 kR	R0207
R6, R19, R20, R22..R24	4,7 kR	R0805
R7..R9, R15..R18, R21	360 R	R0805
R10, R14	25 kR	R0805
R13	10 kR	R0805
Q1	16 MHz	HC49/S
D1, D2	1N4148	0805
T1..T4	IRF3205	T0-220
IC1	MEGA8–AI	TQFP32-08
IC2	74AC00D	SO14
IC3	74AC10D	SO14
IO2	LT1162	SO24W
OK1..OK4	H11L	DIL06
LED1, LED2, LED3	zelená	3 mm, dif.
LED4	žlutá	3 mm, dif.
LED5	červená	3 mm, dif.
UCC, GND, MOT_A, MOT_B	ARK128V–A–2P	RM=5 mm, 16 A
S0, S1	PSH02–02PG	PSH02–02PG
SPI1, SPI2	PSH02–10PG	PSH02–10PG
PROG	MLW06G	MLW06G
JP1, JP2	2x 2 piny z lámací lišty	S1G20, RM=2,54 mm
SV1	5x2(10) pinů z dvouřadé lámací lišty	S2G20, RM=2,54 mm
S2	P–B1720A	Tlačítko

Tabulka B.2: Seznam součástek modulu řízení motorů



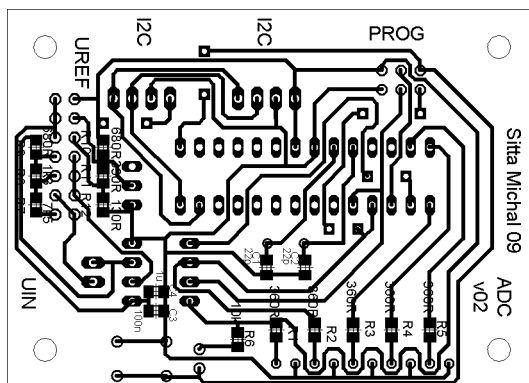
### B.3 Modul AD převodníků



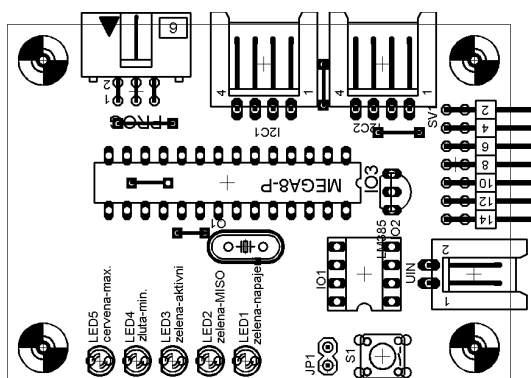
Obrázek B.9: Schéma modulu AD převodníků

### B.3.1 Rozměry desky

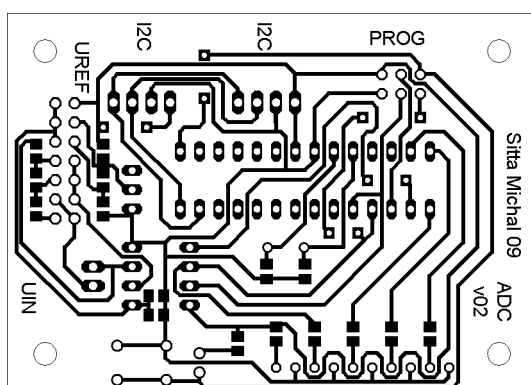
70 x 50 mm



Obrázek B.10: Osazovací výkres spodní strana modulu ADC



Obrázek B.11: Osazovací výkres horní strana modulu ADC



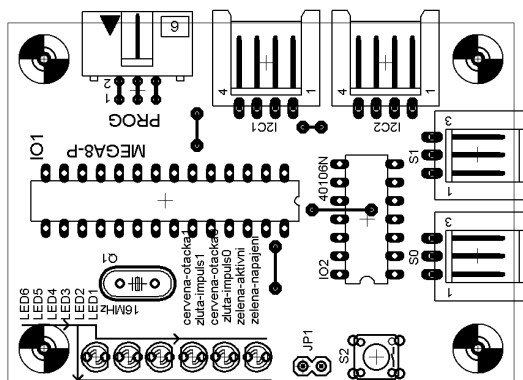
Obrázek B.12: Strana spojů modulu ADC

### B.3.2 Seznam součástek

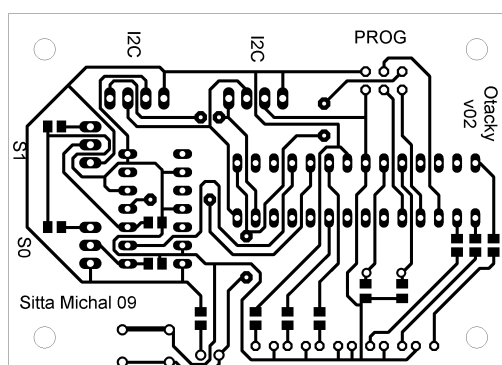
Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
C3	100 nF	C0805K
C4	1 uF/15 V	C0805K
R1 až R5	360 R	R0805
R6	10 kR	R0805
R7	7,5 kR	R0805
R8	1,3 kR	R0805
R9	680 R	R0805
R10	680 R	R0805
R11	330 R	R0805
R12	130 R	R0805
IO1	MCP3301+precizní patice	DIL8
IO2	LM385	TO92 – LINE
IO3	MEGA8 – P+precizní patice	DIL28 – 3
S1	P – B1720A	P – B1720A
SV1	7 x 2 piny z lámací lišty	S2G20W
UIN	PSH02 – 02WG	PSH02 – 02WG
I2C1, I2C2	PSH02 – 04WG	PSH02 – 04WG
JP1	2 piny z lámací lišty	S1G20
PROG	MLW06A	MLW06A
Q1	10 MHz	HC49/S
LED1, LED2, LED3	zelená	3 mm, dif.
LED4	žlutá	3 mm, dif.
LED5	červená	3 mm, dif.

Tabulka B.3: Seznam součástek modulu AD převodníků

Obrázek B.14: Osazovací výkres spodní strana modulu otáček



Obrázek B.15: Osazovací výkres horní strana modulu otáček



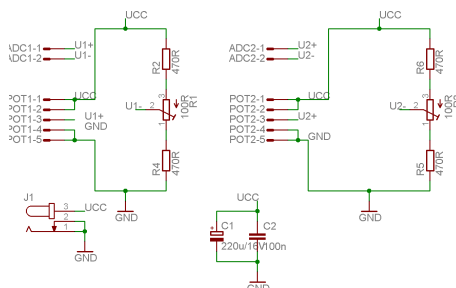
Obrázek B.16: Strana spojů modulu otáček

## B.4.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
R1	10 kR	R0805
R2, R3	1,2 kR	R0805
R6 až R11	360 R	R0805
IO1	MEGA8-P+precizní patice	DIL28–3
IO2	40106N+precizní patice	DIL14
PROG	MLW06A	MLW06A
I2C1, I2C2	PSH02–04WG	PSH02–04WG
S0, S1	PSH02–03WG	PSH02–03WG
S2	P–B1720A	P–B1720A
JP1	2 piny z lámací lišty	S2G20W
Q1	16MHz	HC49/S
LED1, LED2	zelená	3 mm, dif.
LED3, LED5	žlutá	3 mm, dif.
LED4, LED6	červená	3 mm, dif.

Tabulka B.4: Seznam součástek modulu snímačů otáček

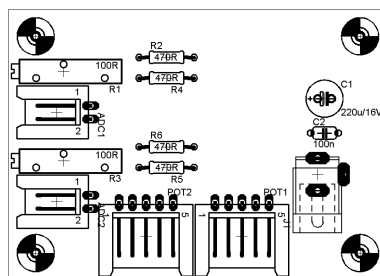
## B.5 Modul pŭl mostŭ



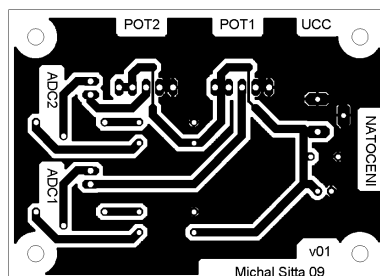
Obrázek B.17: Schéma modulu pŕl mostŕ

### B.5.1 Rozměry desky

70 x 50 mm



Obrázek B.18: Osazovací výkres horní strana modulu půl mostů



Obrázek B.19: Strana spojů modulu půl mostů

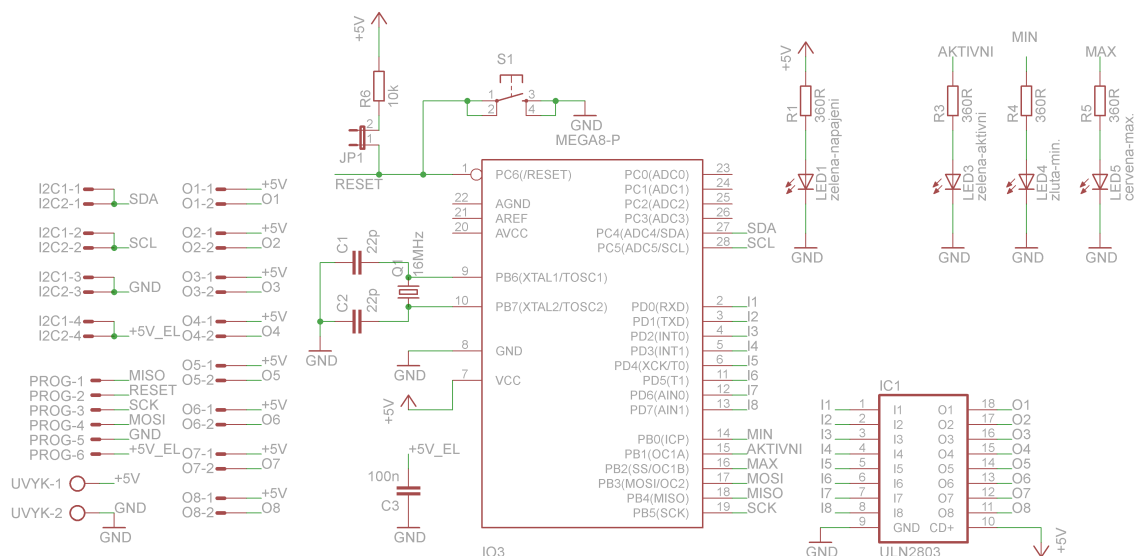


## B.5.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	220 uF/16 V	E2,5-7
C2	100 nF	C050-024X044
R1, R3	100 R	PM19E100 (20 otáček)
R2, R4 až R6	470 R	R0207
J1	K375A	K375A
POT1, POT2	PSH02–05WG	PSH02–05WG
ADC1, ADC2	PSH02–02WG	PSH02–02WG

Tabulka B.5: Seznam součástek modulu půl mostů

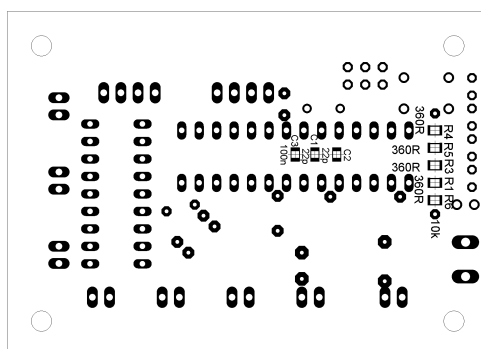
## B.6 Modul GPO



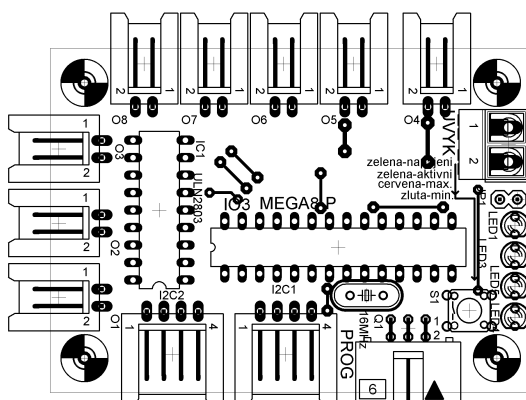
Obrázek B.20: Schéma modulu GPO

### B.6.1 Rozměry desky

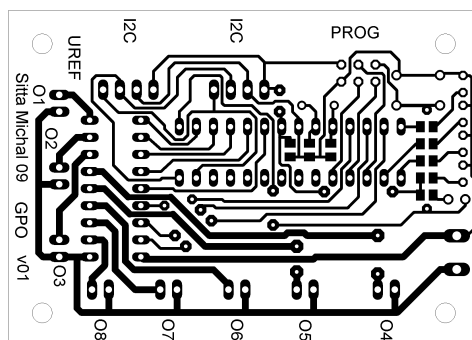
70 x 50 mm



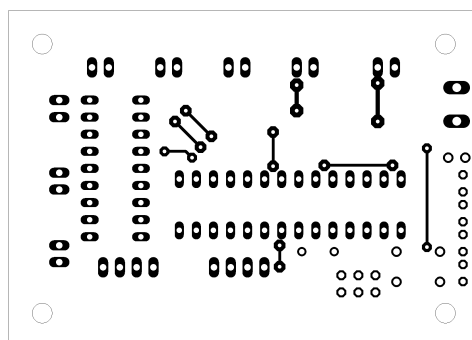
Obrázek B.21: Osazovací výkres spodní strana modulu GPO



Obrázek B.22: Osazovací výkres horní strana modulu GPO



Obrázek B.23: Spodní strana spojů modulu GPO



Obrázek B.24: Horní strana spojů modulu GPO

## B.6.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
C3	100 nF	C0805K
R1 až R5	360 R	R0805
R6	10 kR	R0805
IC1	ULN2803+precizní patice	DIL16
IO3	MEGA8–P+precizní patice	DIL28–3
UVYK	ARK210/2EX	RM=5 mm
O1..O8	PSH02–02WG	PSH02–02WG
I2C1, I2C2	PSH02–04WG	PSH02–04WG
JP1	2 piny z lámací lišty	S1G20
PROG	MLW06A	MLW06A
Q1	16 MHz	HC49/S
LED1, LED3	zelená	3 mm, dif
LED4	žlutá	3 mm, dif
LED5	červená	3 mm, dif
S1	P–B1720A	Tlačítko

Tabulka B.6: Seznam součástek modulu GPO

## C REALIZOVANÉ ZPRÁVY NA RS–232

ID	IC	x[bytu]	Význam
0	I N F	0	Požadavek na zaslání informace o verzi desky řízení a sw
1	S P D	5	Zadání rychlosti autíčka ve formátu (+/-x.xx), +...dopředu
2	D I R	5	Zadání natočení nápravy autíčka ve stupních (+/-xx.x), +...vpravo
3	A D Q	0	Požadavek na odeslání počtu připojených ADC převodníků
4	A D I	1	Požadavek na zaslání informací o ADC s číslem v datech (hexa)*
5	A D C	1	Požadavek na zaslání aktuálních dat z ADC s číslem uvedeným v datech (hexa)*
6	A D A	1	Požadavek na zaslání průměrných dat z ADC s číslem uvedeným v datech (hexa)*
7	A D X	1	Požadavek na zaslání maximálních dat z ADC s číslem uvedeným v datech (hexa)*
8	A D N	1	Požadavek na zaslání minimálních dat z ADC s číslem uvedeným v datech (hexa)*
9	S L I	0	Požadavek na informace o desce snímačů otáček levého kola
10	S L C	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti levého kola (x.xxxx) v m/s
11	S L A	0	Požadavek na odeslání průměrné rychlosti levého kola (x.xxxx) v m/s
12	S L M	0	Požadavek na odeslání maximální rychlosti levého kola (x.xxxx) v m/s
13	S R I	0	Požadavek na informace o desce snímačů otáček pravého kola
14	S R C	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti pravého kola (x.xxxx) v m/s
15	S R A	0	Požadavek na odeslání průměrné rychlosti pravého kola (x.xxxx) v m/s
16	S R M	0	Požadavek na odeslání maximální rychlosti pravého kola
24	S R O	0	Požadavek na odeslání obvodu kola (x.xxxx) v m
25	S R P	0	Požadavek na odeslání počtu pulzů na otáčku (xxx)
26	S W O	6	Nastavení obvodu kola ve tvaru x.xxxx v m
27	S W P	3	Nastavení počtu impulzů na otáčku
28	C L R	2	SW reset (nastavení max,min, avg na nulu) 2 znaky hexa adresa (xx vymazání všech modulu)
17	D I I	0	Požadavek na informace o verzi desky pohonu přední nápravy
18	R L M	0	Požadavek na informace o verzi desky pohonu levého kola
19	R R M	0	Požadavek na informace o verzi desky pohonu pravého kola
20	I 2 C	0	Požadavek na poslání adres připojených zařízení
21	S P I	0	Požadavek na poslání adres připojených zařízení
22	T I M	0	Požadavek na poslání času po restartu
23	S T P	0	SW STOP tlačítko, okamžité zastavení motorů
29	X D R	0	Požadavek na odeslání aktuálního natočení přední nápravy (+/-xx.xx) ve stupních
30	X L S	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti levého kola (+/-x.xxx) v m/s
31	X R S	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti pravého kola (+/-x.xxx) v m/s
32	G P E	5	Požadavek na zapnutí bytu (xFyTz) x..adresa(0 až 8), y,z..číslo (0 až 3)
33	G P D	1	Vypnutí příslušného výstupu modulu GPO (znak je 1..8 adresa výstupu)
34	G P I	0	Požadavek na odeslání informací o verzi modulu GPO
116	C P E	1	Požadavek na rozsvícení led v datech číslo 0 až 3
117	C P D	1	Požadavek na zhasnutí led v datech číslo 0 až 3

Tabulka C.1: Definované typy řídicích zpráv s jejich významem při posílání z PC