

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

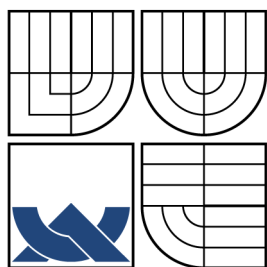
ELEKTRONIKA A ŘÍDÍCÍ SYSTÉM MOBILNÍHO ROBOTU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

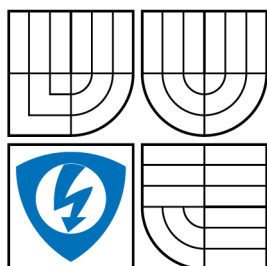
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL SITTA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ELEKTRONIKA A ŘÍDÍCÍ SYSTÉM MOBILNÍHO ROBOTU ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEM FOR MOBILE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

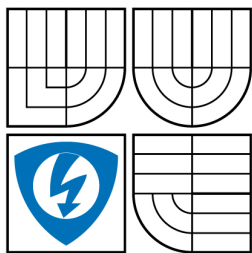
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL SITTA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová 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:

Joseph J. Jones, et. al., Mobile Robots - Inspiration to Implementation, A K Peters, 1999, ISBN 1-56881-097-0

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 24.5.2010

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

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je popsat elektroniku autonomního venkovního robota s názvem TIM2. Projekt je skupinový a zde je popsána pouze část projektu, který se týká elektronické části. První část je věnována popisu běžně používaných podvozků v robotice. Je zde uveden podrobný popis jednotlivých modulů. Dále je zde popsán komunikační protokol pro komunikaci mezi moduly a řídicím modulem a PC. Následuje podrobný popis návrhu a realizace regulátorů motorů přední a zadní nápravy. Jedna část práce je věnována měření parametrů jednotlivých modulů a měření přechodových charakteristik pro stanovení kvality regulace. Poslední část dokumentu je o komunikaci mezi moduly a o vlivu na funkčnost robota v případě poruchy modulu. Přílohy obsahují kompletní schémata zapojení, strany spojů, osazovací výkresy, seznamy součástí pro všechny realizované moduly.

KLÍČOVÁ SLOVA

návrh robota, elektronika robota, řízení robota, řízení rychlosti, komunikace po USB, SPI, I2C, elektronický diferenciál

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the electronics of autonomous outdoor robot called TIM2. TIM2 is a group project and only a part of the project is presented. First part this work is about chasses common used in robotics. Detailed description of each type of module used is described in this work. There is also described communication protocol. A controllers for front and rear axle are also described. One part of this work is measurement, it contains electronics characteristic of modules and measurement to describe quality of motor controllers. Last part of the document is about communication between modules and impact on the robot functionality in the case of failure of a module. Enclosure provides complete circuit diagrams, printed circuit boards, planting plans, lists of components for all designed modules.

KEYWORDS

design of robot, electronics for robot, control of mobile robot, speed control, communication through USB, SPI, I2C, electronic differential

SITTA, M. Řízení kolového podvozku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 102 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Elektronika a řídicí systém mobilního robota“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Luďkovi Žaludovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

1	Druhy podvozků	11
1.1	Kolové podvozky	11
1.1.1	Druhy kol	11
1.1.2	Konstrukce podvozků	13
1.1.3	Výběr nejvhodnějšího podvozku	15
1.2	Realizovaný podvozek	17
1.2.1	Model podvozku	17
1.2.2	Parametry podvozku	21
1.2.3	Fotografie podvozku	21
2	Výkonové rozvody	23
2.1	Struktura výkonové části	23
2.2	Struktura elektronické části	24
2.3	Rušení výkonové části	24
2.4	Popis zadního ovládacího panelu robotu	25
3	Komunikační protokoly	26
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
4	Realizované moduly	34
4.1	Modul řízení	34
4.1.1	Popis modulu	34
4.1.2	Popis zapojení modulů	35
4.1.3	Popis Programu	36
4.2	Modul optických snímačů otáček	40
4.2.1	Popis modulu	40
4.2.2	Popis optického enkodéru	41
4.2.3	Popis zapojení	42
4.2.4	Popis Programu	43
4.3	Modul analogově-digitálního převodníku	44
4.3.1	Popis modulu	44
4.3.2	Popis zapojení	45
4.3.3	Příklad parametrů ADC	46

4.3.4	Popis Programu	47
4.4	Modul půlmostů	48
4.4.1	Popis modulu	48
4.4.2	Popis zapojení	48
4.5	Modul ovládání motorů	49
4.5.1	Popis modulu	49
4.5.2	Popis zapojení	49
4.5.3	Popis Programu	50
4.6	Modul výkonových výstupů	50
4.6.1	Popis modulu	50
4.6.2	Popis zapojení	51
4.6.3	Popis Programu	51
4.6.4	Parametry	53
4.7	DC-DC zdroj 5 V	55
4.7.1	Popis modulu	55
4.7.2	Popis zapojení	55
4.7.3	Parametry	56
5	Propojení modulů	59
5.1	Nastavení jednotlivých modulů	60
5.1.1	Modul řízení	60
5.1.2	Moduly ovládání motorů	61
5.1.3	Modul měření otáček	61
5.1.4	Modul GPO	62
5.1.5	Moduly AD převodníků	62
5.2	Spotřeba modulů	63
6	Řízení podvozku	64
6.1	Elektronický diferenciál	64
6.1.1	Matematický model	64
6.1.2	Požadavky realizace	65
6.2	Řízení motoru přední nápravy	67
6.2.1	Parametry snímače natočení	68
6.2.2	Měření regulátoru	68
6.3	Řízení motorů zadní nápravy	70
6.3.1	Model soustavy	70
6.3.2	Návrh regulátoru	71
6.3.3	Měření regulátorů zadní nápravy	71

Seznam použité literatury	75
Seznam symbolů, veličin a zkratk	77
Seznam příloh	78

ÚVOD

Projekt autonomního venkovního robotu je realizován skupinou čtyř lidí, která se jmenuje TIM2. Jde o Bc. Iva Macečka, který je zodpovědný za GPS subsystém, zpracování dat z GPS a elektronického kompasu a o plánování trasy. 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 navrženého komunikačního protokolu. Stará se o funkčnost a kompletnost programů, knihoven a operačního systému ArchLinux. Mojí prací je návrh, realizace a programování elektronického vybavení pro snadnou možnost jeho ovládání z vestavěného PC. Jako doplňkovou činnost mám na starosti internetové stránky projektu, které postupně vznikly na adrese www.tim2.wz.cz.

Úvodní část práce se věnuje mechanické části robotu. Jejím cílem je popsat jednotlivé typy kolových podvozků a výběr nejlepšího podvozku pro účast robotu v soutěži Robotour 2009. Dále je nutné navrhnout a sestrojít vhodný podvozek. Základním požadavkem podvozku je dostatečná velikost pro implementaci stolního počítače a zároveň minimalizace pro snadnou přepravu při dodržení pohodlnosti při úpravě elektronické části a výměně akumulátorů.

V podvozku je důležité řešit silová vedení a způsob jejich zapínání. Silová vedení jsou zdrojem velkého rušení. To je generováno při velké strmosti proudu a proniká galvanickou, indukční a kapacitní vazbou do souběžných vedení. Kvůli rozlehlému silovému vedení je nutné brát i tento zdroj rušení v potaz a snažit se o jeho potlačení na straně zdroje. Přehlednost a jednoduchost ovládání robotu je dalším kritériem, které je potřebné při návrhu rozmístění jednotlivých komponent.

Zbývá část práce se zaměřit na řídicí elektroniku. V první řadě je nutné sestrojít komunikační protokol pro komunikaci mezi řídicím počítačem a elektronikou robotu. Je nutné vytvořit protokol, který bude jednoduchý na strojové zpracování a přitom srozumitelný pro člověka. Dále by neměl příliš zatěžovat komunikační linku.

Diplomová práce se bude především věnovat sestrojeným modulům. U každého modulu je nutné vytvořit schéma zapojení (pokud možno pro vícenásobné použití), vytvořit desky plošných spojů (hlavní je jednoduchá montáž v robotu), naprogramovat jednotlivé mikrokontroléry (se zaměřením na rychlost provádění úkonů a minimalizaci neošetřených chyb) a provést měření pro zjištění skutečných parametrů.

V práci bude potřeba vyhodnotit robustnost řešení pomocí testu na výpadky jednotlivých částí a také zjistit spotřebu vytvořené elektroniky pro možnost určení výkonového zatížení akumulátorů.

Závěrečná část práce se bude zabývat způsobem řízení motorů robotu. Popíše realizované regulátory, které budou naprogramovány v řídicím modulu. Půjde o regulátor

přední nápravy a regulátory zadní nápravy. K nim bude přidán návrh a realizace elektronického diferenciálu pro zvýšení ovladatelnosti robotu a snížení jeho spotřeby. Pro zhodnocení kvality regulace se využije základního měření skládajícího se z měření přechodových charakteristik pomocí vnitřních navržených snímačů.

Poslední část práce obsáhne závěrečné zhodnocení, v němž budou shrnuty stěžejní body a hlavní myšlenky diplomové práce.

1 DRUHY PODVOZKŮ

Existuje mnoho druhů podvozků, které se významně liší jejich místem určení, a proto se objevuje velké množství způsobů jejich dělení. Například podle prostředí, ve kterém se pohybují: pro souš (terrestrial) a jejich dělení pro vnitřní/venkovní (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.

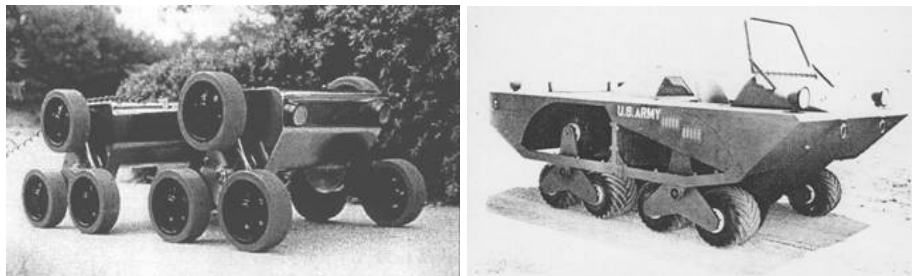
Existují i konstrukce založené na dvojici kol bez stabilizačních bodů nebo dokonce s jediným kolem. Tyto podvozky jsou používány jen velmi zřídka. Hlavním důvodem je dosti obtížné řízení, jehož cílem je udržení stability. Při udržování stability se spotřebovává energie a je nutnost implementace snímačů, které zajišťují informace o poloze podvozku v prostoru. Nejčastěji se jedná o gyroskopy a akcelerometry. Další nevýhodou těchto podvozků je malá průchodnost terénem a náročnost na konstrukci a řízení. Vyjmenované nedostatky jsou důvodem proč tyto podvozky nejsou v autonomní mobilní venkovní robotice použitelné. A proto zde nejsou blíže popsány.

1.1.1 Druhy kol

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

Pro zvýšení průchodnosti terénem bylo vyvinuto Weinsteinovo kolo. Jeho hlavní výhoda je možnost pohybu ve velmi členitém terénu, při využití klasických kol. Dokáže překonávat překážky typu schod (s výškou schodu o průměru kola). Využívá se 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 je zachycen vojenský transportér,

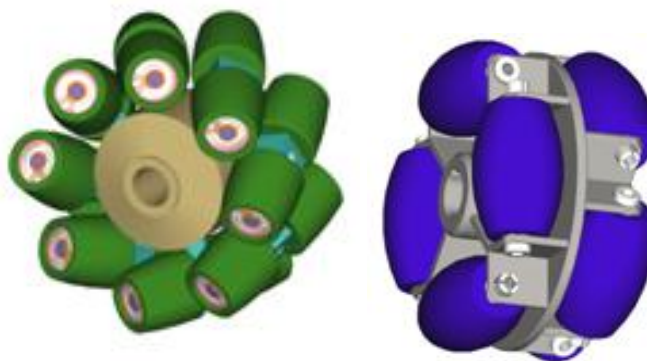
který byl určený pro překonávání překážek s průměrem větší než průměr kola (také se dobře pohyboval po písčitém povrchu).



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 opatřené valivými elementy. Ty jsou ve tvaru válečků nebo soudků. Osy elementů mohou být kolmé na osu otáčení, pak se jedná o kola Strandfotské, nebo osa elementů svírá s osou otáčení úhel 45° , pak se jedná o kola Illanator.

Nevýhodami všesměrových kol jsou velká cena (způsobená náročností výroby a precizností při sestavování), náročnost údržby (kvůli zaseknutí jednoho valivého elementu způsobí nepojízdnost celého podvozku), téměř nulová průchodnost terénem (nemožnost využití u venkovních robotů). Tento typ kol nebude dále rozváděn, protože zaměření práce je na venkovní roboty. 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 způsobem 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 nebo jako přídavné kolo pro rozložení váhy podvozku. Dalším způsobem upevnění je volné uložení, které se používá nejčastěji pro stabilizaci podvozku. Jeho hlavní výhodou je, že nesnižuje mobilitu podvozku. U volného uložení kol je možné řídit natočení kola pomocí jednoho akčního členu. Další akční člen lze využít i pro pohon, ale jeho konstrukce i ovládání jsou velice obtížné, proto se tato varianta téměř nepoužívá.

Posledním druhem je kolo řízené, které se používá pro řízení podvozku zejména u Ackermannova typu 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 povrchu. Záleží také na typu podvozku. Například u diferenčně řízeného podvozku je vhodné používat úzká kola s jemným vzorkem pro snížení tření při zatáčení smykem.

V závislosti na povrchu terénu, ve kterém se bude robot pohybovat, se volí rozdílný tlak pneumatik. Nižší tlak pneumatik je vhodný pro měkké povrchy jako jsou syrký sníh, písek a husté bláto. Vyšší tlak je vhodný pro pevné materiály jako jsou ztvrdlý sníh, šterk nebo běžná silnice. U jednodušších konstrukcí podvozku, které neobsahují odtlumení, je vhodné snížit tlak v pneumatikách a využít je jako tlumiče nerovností pro snížení otřesů podvozku.

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 zřídka používané podvozky v robotice.

Běžně používané v robotice

Podvozků běžně používaných v robotice je mnoho druhů, proto jejich popis zde nebude úplný a podrobný.

Základní podvozek se skládá z dvojice kol, která jsou diferenčně řízená. Pro stabilizaci se používají jeden nebo dva stabilizační body. Místo stabilizačních bodů, které zvyšují odpor podvozku a snižují průchodnost terénem, lze použít zavěšená kola. Obdobný podvozek (čtyřkolový diferenčně řízený) se skládá ze čtveřice pevných kol. K pohonu podvozku slouží dvojice motorů. Každý motor ovládá dvojici kol na jedné straně. Převod energie mezi koly většinou zprostředkovává řemen.

Další typem jsou podvozky, které obsahují řízené kolo. Mohou se skládat ze tří kol, kde dvě kola jsou pevná a jedno kolo je použito pro řízení. 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 odpadnutí problému s řešením diferenciálu mezi poháněnými koly. Tyto kombinace se označují jako tříkolový Ackermann. Tříkolové podvozky mají z principu nižší stabilitu a jsou více náchylné na převrácení při jízdě ve vyšších rychlostech. 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

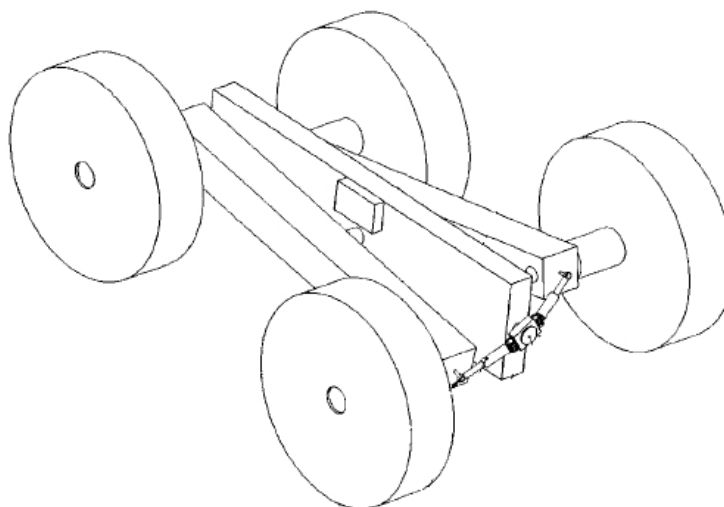
Jedná se o konstrukce, které jsou čtyřkolové, pětikolové, šestikolové nebo osmikolové. Větší počet kol se používá pro lepší rozložení váhy pokud není možné nebo vhodné použít většího průměru kol. Převážně se jedná o pouhé zdvojení kol a není nutné je zařazovat do speciálních skupin.

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

Pokud je osa kloubu otáčení rovnoběžná s terénem, tak se zvyšuje průchodnost rozmanitým terénem. Při použití kloubu se většinou používá kloub s oběma stupni volnosti, čímž 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. Uvedenou variantu je těžké si představit, proto je popis doprovázen ilustrací 1.3 z použité literatury [2].

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



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

Ackermannův vs. diferenční podvozek

Základní rozdíly mezi Ackermannovým a diferenčním podvozkem jsou v možnostech mobility robota. Mobilita podvozku se udává v počtu diferenciálních stupňů volnosti (DDOF), což je počet nezávislých rychlostí podvozku. U diferenčního podvozku je DDOF rovno 2, ale Ackermannův podvozek má DDOF rovno 1. Což znamená, že Ackermannův podvozek nemá oproti diferenčnímu podvozku možnost otáčení na místě. Proto, pokud je nutné manévrování v malém prostoru, je vhodnější použít diferenční 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 důvodem vyšší energetické náročnosti je výrazný nárůst spotřeby diferenčního podvozku při zatáčení, kdy dochází ke smyku. Rozdíl ve spotřebě může být při zatáčení oproti rovné jízdě až desetinásobný. 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 ideálního podvozku probíhal vyřazovacím způsobem, kdy byly postupně kladeny požadavky na podvozek v závislosti na jejich důležitosti. Následně byl sestaven popis podvozků, které neodpovídají požadavkům.

Základním požadavkem byla přiměřeně složitá konstrukce podvozku. Proto se ze

seznamu možných podvozků vyřadily podvozky s všesměrovými koly, podvozky s klouby nebo dalšími mechanizmy zvyšující průchodnost terénu, které by se nevyužili při standardním používání.

Dalším limitujícím parametrem byla dostatečná statická stabilita podvozku, aby plocha podvozku nemusela být přesně vyvážená a aby při osazování podvozku akumulátory a dalšími těžšími komponentami nemusel být kladen přílišný důraz na uvedení podvozku do nestabilní polohy. Tento parametr nesplňují tříkolové podvozky bez rozlišení, zda se jedná o Ackermannův podvozek nebo diferenčně řízený podvozek.

Posledním požadavkem byla nízká energetická náročnost při jízdě. Nízká spotřeba se projeví snížením hmotnosti potřebných akumulátorů nebo zvýšením dojezdovosti při zachování hmotnosti. Z tohoto hlediska lépe vychází podvozek Ackermannova typu. Diferenčně řízený podvozek by bylo nutné vybrat při požadavku otáčení se na místě nebo v případě provozu v omezeném prostoru, což není u venkovního robota potřebné.

Po výběru vhodného typu podvozku bylo nutné se zaměřit na volbu rozměrů kol, jež zajistí dostatečnou průchodnost terénem. Zde byl kladen důraz na bezproblémový průjezd parkem po zpevněném povrchu, šterku 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

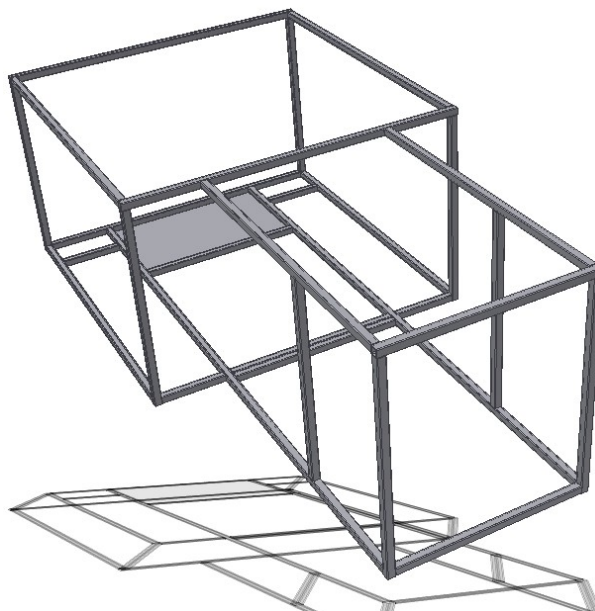
Na základě výsledků rozboru vhodnosti jednotlivých druhů podvozků byl vybrán čtyřkolový podvozek s Ackermannovým řízením.

Z požadavků na obsažené komponenty byl navržen model podvozku v modelovacím programu Inventor 10. Hlavními požadavky byli: základní deska formátu mikro-ATX s možností umístění přídatných karet do rozšiřujících slotů, wi-fi router pro vzdálené ovládání robotu, dostatečné místo pro řídicí elektroniku a dvojice akumulátorů pro velkou dojezdovost.

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



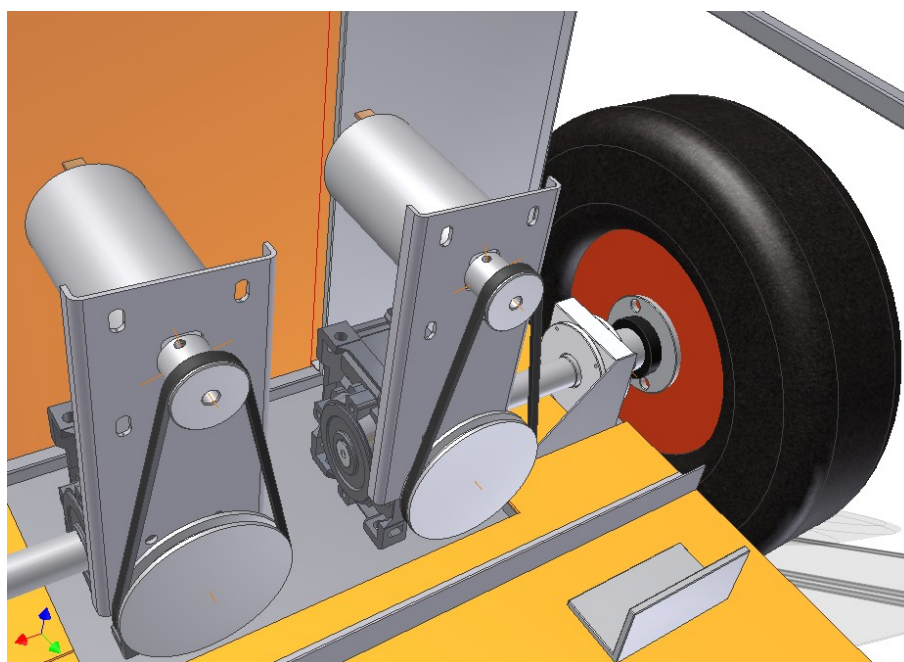
Obrázek 1.4: Pohled na model kostry z jeklu 10x10 mm

První byla vytvořena kostra ze svařovaného železného jeklu o rozměrech 10x10 mm. Holá kostra je uvedena na obrázku 1.4. 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, jež měl ve středu závit. Následně byly vysoustruženy čepy řízení. K nim byla vysoustružena hřídel k uchycení předních kol a vnitřní zarážka kola. Vše bylo 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. Nakonec byly přivařeny boční pomocné podpěry pro zabránění vyvrácení sloupků řízení. Takto vzniklá konstrukce byla natřena barvou proti korozi.

V další části konstrukce podvozku 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 přidělaný motory s řemenovými koly. Způsob přidělaní domečků, převodovek a řemenových převodů je zobrazen na obrázku 1.5.

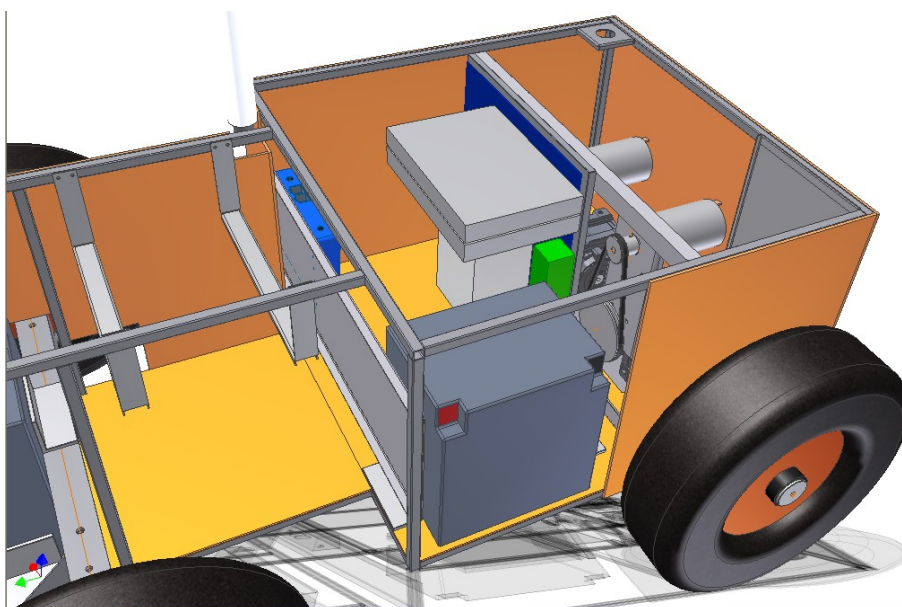


Obrázek 1.5: Detail umístění motorů s převodovkami

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

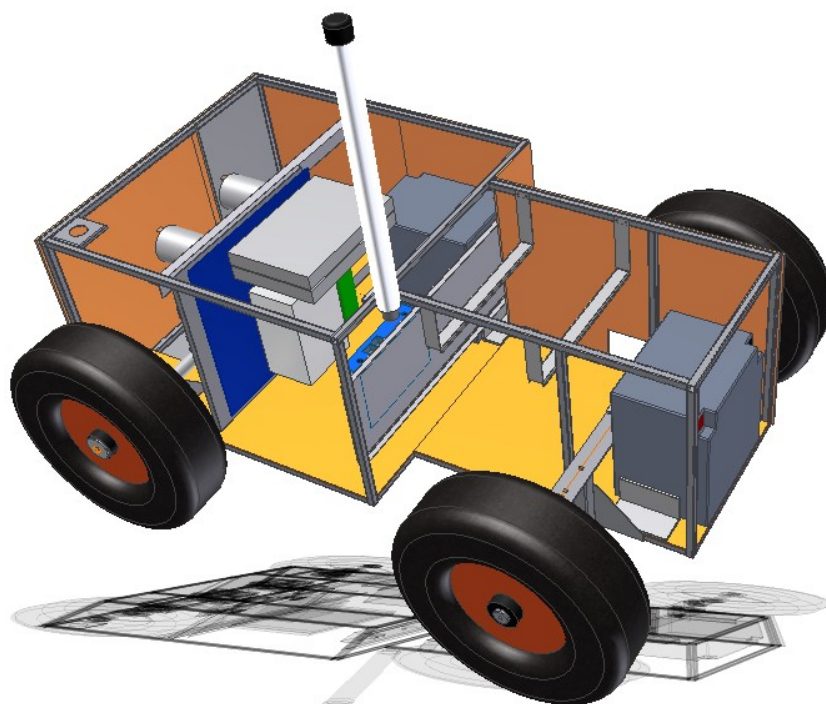
Po připevnění podlahy přišlo na řadu dodělání řízení. Byl připevněn motor řízení s ozubeným hřebenem pro ovládání táhel čepů a tím bylo zajištěno natáčení kol. V krajních polohách byly připevněny mikrosplínače pro bezpečné určení krajní polohy. Následovalo připevnění krytů na potenciometry nad čepy řízení pro určení přesného natočení kol.

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. Umístění ATX desky a způsob připevnění akumulátoru je zobrazen na obrázku 1.6.

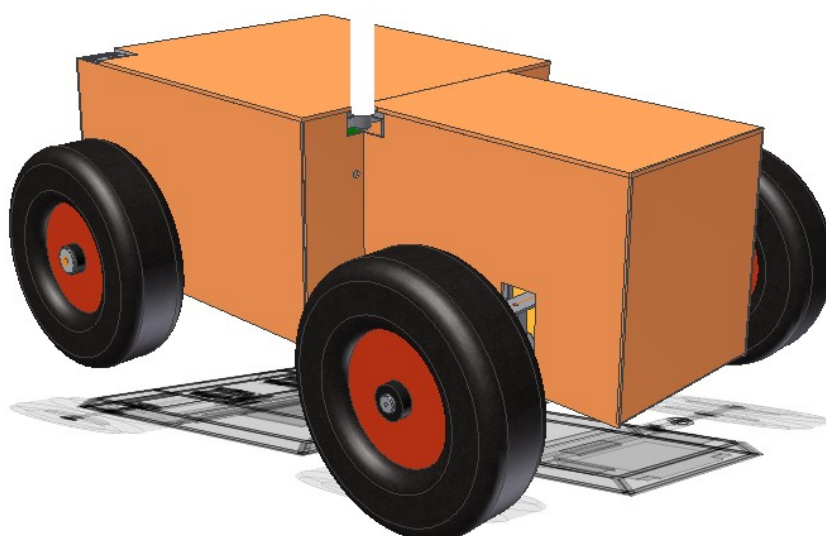


Obrázek 1.6: Umístění mikro-ATX desky a antény wi-fi

Jako poslední byl vytvořen kryt konstrukce. Je tvořený ze 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. Zakrytý robot je zobrazen na obrázku 1.8 a částečně odkrytý model je zobrazen na obrázku 1.7.



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. Parametry jsou uvedeny v tabulce 1.1.

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 a sloupku kamery)
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 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 Fotografie podvozku

V této části jsou uvedeny fotky realizovaného podvozku při testovacích jízdách a fotky ze soutěže Robotour 2009. Obrázek 1.9 zachycuje detail robotu před jízdou a obrázek 1.10 při jízdě zpět do depa.



Obrázek 1.9: Stav robotu při Robotour 2009



Obrázek 1.10: Robotour 2009 — jízda

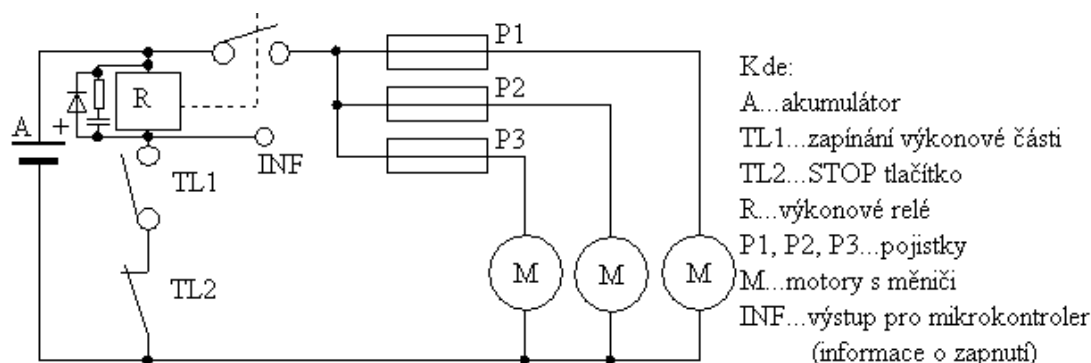
2 VÝKONOVÉ ROZVODY

Základním rysem koncepce výkonových rozvodů je přítomnost dvojice nezávislých akumulátorů. Hlavním důvodem této volby je oddělení rušení od citlivé elektroniky. V tomto případě jsou nejvýznamnějším generátorem komutátory motorů, které slouží pro pohyb robotu. Citlivá elektronika je zastoupena snímači. Nejvíce náchylným snímačem je modul s elektronickým kompasem CMPS03. Výhodou řešení je neovlivnění kolísání napětí akumulátoru elektroniky při jízdě robotu, které by mohlo zapříčinit nestabilitu některých komponent (kamera, wi-fi router).

2.1 Struktura výkonové části

Základním prvkem výkonové části 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 činí 80 A. Na spínací kontakt relé je připojena trojice pojistek motorů vyvedených na zadní panel.

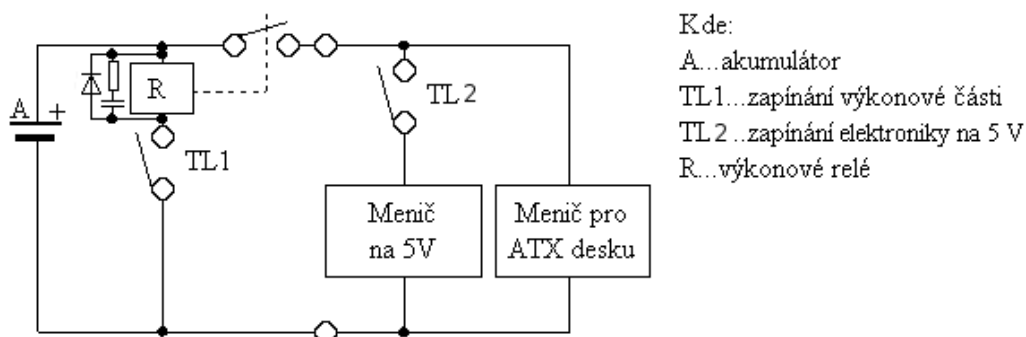
Využitím relé bylo možno použít spínací prvky pro menší výkon. Kladem zvoleného řešení je, že vodiče jdoucí k vypínači a STOP tlačítku nejsou zdrojem rušení mimo okamžiky zapínání a vypínání relé. I přesto je rušení v uvedených okamžicích minimalizováno paralelním filtrem připojeným k relé. Tato výhoda je stěžejní z důvodu rozdílného umístění spínacích prvků. Kdyby nebylo použito relé, byla by mnohem větší vzdálenost vodičů s velkou a často skokovou změnou protékaného proudu, která by rušila citlivou elektroniku. Další kladem uvedeného řešení je nízká pořizovací cena, snadná dostupnost a fakt, že je přítomný jen jeden spínač ve výkonové cestě, který způsobuje úbytek napětí. Schéma je zobrazeno na 2.1.



Obrázek 2.1: Schéma zapojení výkonového vedení

2.2 Struktura elektronické části

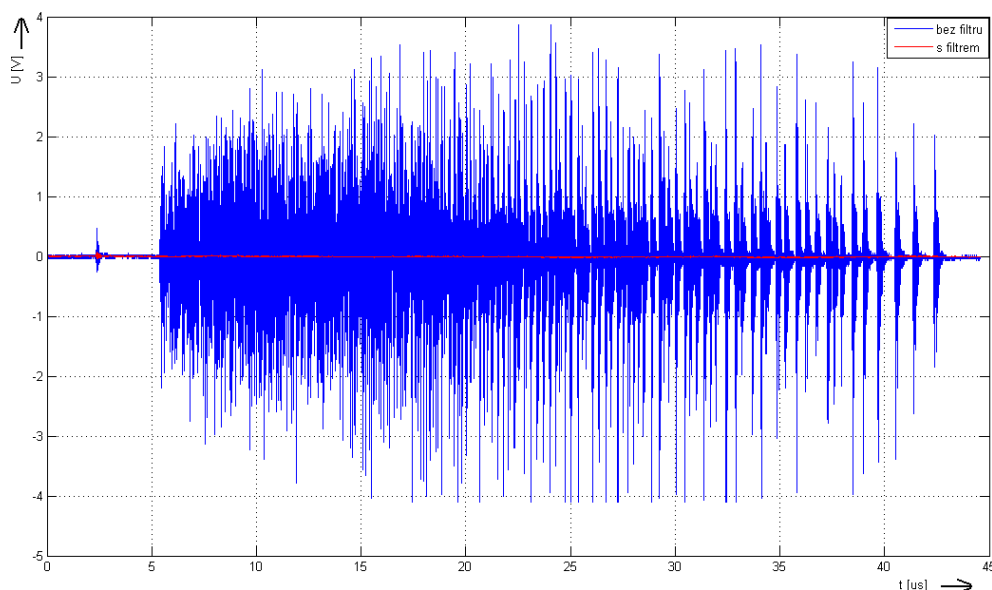
Struktura rozvodů elektronické části je jednodušší než u výkonové části. To je dáno použitím kupovaného měniče pro základní desku počítače. Pro zapínání akumulátoru k elektronice je použito výkonové relé RELAUTO12V-80A. Ovládání relé se provádí vypínačem TL1. Využití uvedeného relé vede ke snížení rušení citlivé elektroniky. Vodiče připojující cívku relé jsou poměrně dlouhé, protože akumulátor elektroniky je umístěn v přední části a vypínač v zadní části na panelu. Další spínací prvek je vypínač TL2, který odpojuje elektroniku připojenou na 5 V větev. Schéma je zobrazeno na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení vedení elektroniky

2.3 Rušení výkonové části

Na obrázku 2.3 je zobrazen vliv rušení při zapínání relé. Hodnoty šumu klesly z hodnoty 4 V na 80 mV a délka se výrazně zkrátila z 42 us na 0,6 us.



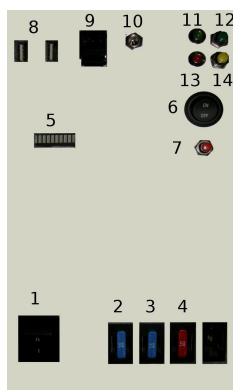
Obrázek 2.3: Porovnání vlivu rušení relé při zapnutí na rozvodu napětí elektroniky

2.4 Popis zadního ovládacího panelu robotu

Panel slouží pro ovládání robotu a jeho komunikaci s okolím. Provedení panelu je zobrazeno na obrázku 2.4 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 Power (12) a Reset (14), LED pro indikaci zapnutí (11) a práci s HDD (13). Konektory pro připojení periférií počítače jsou dvojice USB 2.0 konektorů (8) a síťový konektor RJ-45 (9). Posledním konektorem je napájení s napětím 12 V z akumulátoru elektroniky (10).

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

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



Obrázek 2.4: 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

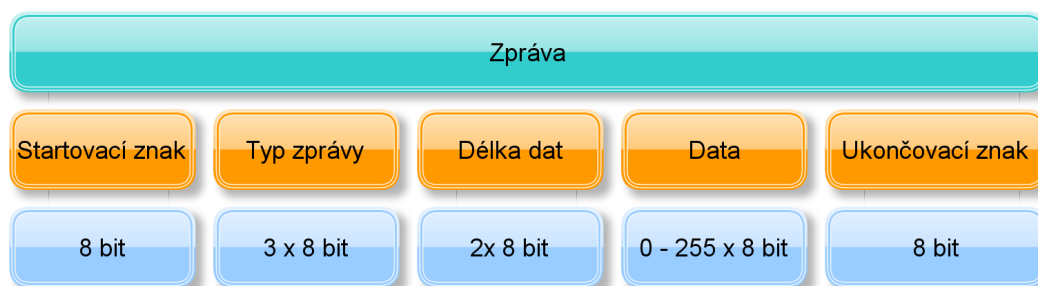
Tabulka 2.1: Popis významu LED indikačního panelu

3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

3.1 Protokol pro sériovou linku

3.1.1 Struktura protokolu

Protokol sériové linky je navržen pro obousměrnou komunikaci vestavěného PC v robotu a hlavního modulu řízení postaveného na mikrokontroléru ATmega 32. Protokol je bytově orientovaný a pro komunikaci využívá znaků ASCII tabulky, aby byla 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). Kombinací uvedených znaků vzniká obrovský počet možných zpráv s dostatečnou délkou takovou, aby vytvořená kombinace měla 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. Této možnosti je využito při posílání požadavků z řídicího počítače na hlavní desku řízení.

Ukončovací byte je netisknutelný znak s významem konce řádku. Jeho hexa kód je 0x0A (v jazyce C lze použít zkratku `\n`).

3.1.2 Realizované zprávy

Pro potřeby ovládání, řízení a posílání informací o jednotlivých modulech byly sestaveny níže uvedené zprávy. Pojmenování zpráv bylo provedeno s ohledem na jejich význam. Zprávy je možné 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.

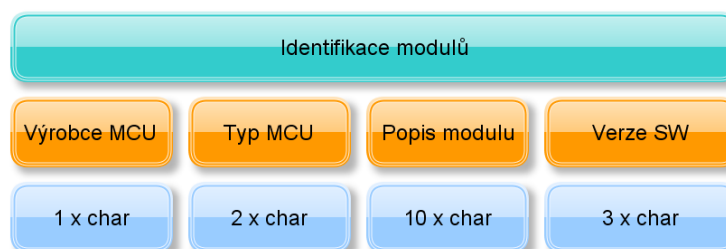
První zpráva má tvar hlavičky SPD. Délka zprávy je pevná (5 znaků). Tvar dat je $\pm x.xx$, kde $x.xx$ je požadovaná rychlost v m/s, + značí dopředný směr, – značí couvání. Příklad kompletní zprávy bez startovacího a ukončovacího znaku je SPD05+0.50. Význam uvedené zprávy je požadavek na jízdu dopředu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

Druhá zpráva má tvar hlavičky DIR. Délka zprávy je pevná (5 znaků). Tvar dat je $\pm xx.x$, 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 uvedené zprávy je požadavek na zatočení přední nápravy na pravou stranu s úhlem 10,5 °. Při poslání zprávy hlavní modul odpoví ve stejném tvaru s hodnotou aktuálního natočení přední nápravy robotu.

Poslední zprávou, která přímo spadá 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 modul odpoví zprávou se stejnou hlavičkou a v datech znaky se pošle OK.

Informace o jednotlivých modulech

Pro identifikační zprávy je definován pevný tvar datové části. Rozdělení na části je vyznačeno na obrázku 3.2 i s délkou jednotlivých sekcí.



Obrázek 3.2: Tvar identifikační zprávy

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

Dotazování na informace o jednotlivých modulech probíhá přes hlavní modul a liší se dle typu modulu. Tvar zprávy je 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 dotazu. V tabulce není popsán dotaz ADI, který se uvedenému standardu vymyká. Jedná se o zprávu z předchozí verze protokolu, která je stále podporována. Liší se tím, že obsahuje data s délkou jednoho znaku. Data mají význam adresy AD převodníku. Mohou nabývat hodnot 0 až F. Pro dotaz na informace o všech připojených převodnících 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

Informační zprávy nejsou běžně používané, ale jejich implementace zjednodušuje zjišťování aktuálně připojených modulů a jejich stavy.

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

Další zpráva má hlavičku SPI a podobně jako I2C neobsahuje datovou část při posílání z PC. Hlavní modul odpoví zprávou se stejnou hlavičkou a 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, jež při posílání z PC neobsahuje data. Hlavní modul odpovídá stejnou hlavičkou s daty, které mají pevný formát a to čtyři místa před desetinou tečkou a jedno místo za desetinou tečkou. Ujetá vzdálenost se nuluje po resetu nebo SW resetu hlavní řídicí desky.

Mezi informační zprávy 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.

O natočení přední nápravy informuje zpráva XDR, která neobsahuje při posílání z PC data. Hlavní modul vrací hodnotu natočení pření nápravy, kterou má načtenou ve své paměti, přičemž se nejedná o aktuální hodnotu. Tvar dat se shoduje s tvarem zpráv DIR.

Zprávy XLS a XRS se vztahují k udání hodnoty rychlosti levého a pravého kola. Opět neobsahují při posílání z PC žádná data. Hlavní modul vrací hodnotu rychlosti kol, kterou má načtenou ve své paměti (nejedná se o aktuální hodnotu). Tvar dat je shodný s tvarem zprávy SPD.

Softwarový reset modulů

Význam zprávy, jež má v hlavičce CLR, je softwarový (SW) reset modulů. Jedná se o navrácení modulů do stavu po resetu. V datové části zprávy je uvedena adresa zařízení, pro něž je reset požadován. Pevný tvar dat tvoří 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 lze použít v datech znaky xx.

Nastavení regulátorů

Jedná se o nastavení některých parametrů regulátoru motorů zadní nápravy. Obsažený regulátor vychází z upraveného PS (diskrétní obdoba PI regulátoru). U uvedeného regulátoru je možné nastavovat dvě konstanty.

První konstantou je proporcionální složka. Pro získání aktuálně nastavené hodnoty slouží zpráva MRK. Tato zpráva neobsahuje datovou část. Modul odpoví zprávou se stejnou hlavičkou a poslaná data obsahují aktuálně nastavenou hodnotu s přesností na čtyři desetinná místa (x.xxxx). Pro změnu nastavení konstanty slouží zpráva MSK, která v datech obsahuje požadované zesílení proporcionální složky. Délka zprávy je pevná a má tvar x.xxxx.

Druhou konstantou je sumační konstanta. Pro získání aktuálně nastavené hodnoty slouží zpráva MRT, jež neobsahuje datovou část. Modul odpovídá obdobně jako u zprávy MRK. Pro změnu nastavení konstanty slouží zpráva MST, která funguje na stejném principu jako výše uvedená zpráva MSK.

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 zpráv do hlavního modulu neobsahují zprávy datovou část. Hlavní modul odpovídá stejnou hlavičkou a datovou část odpovědi tvoří znaky x.xxxx, jedná se o rychlost v m/s.

Další podporované zprávy slouží pro nastavení parametrů kol, které je nutné pro správný odečet rychlosti. Zmíněnými parametry jsou počet impulzů na otáčku a obvod kola. Pro nastavení počtu impulzů na otáčku slouží zpráva SWP, přičemž datová část zprávy 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 (zpráva neobsahuje datovou část).

Zprávy modulů AD převodníků

S moduly AD převodníků je možné komunikovat prostřednictvím hlavního modulu. Podporují posílání aktuální měřené hodnoty (AxC), minimální změřené hodnoty (AxN), maximální změřené hodnoty (AxX) a průměrné hodnoty (AxA). Druhý znak hlavičky zprávy má význam rozlišení adres jednotlivých převodníků. Druhý znak může nabývat 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. Uvedený 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 a datovou část odpovědi tvoří znaky xx.xxxV/A (jde o hodnotu ve vypsání jednotce).

Zprávy modulu GPO

Ovládání modulu GPO probíhá pomocí dvojice zpráv. Jedná se o zprávy pro zapnutí požadovaného výstupu s nastavením jeho parametrů a zprávy 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 jejich 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 modulů je pevně daný a je nutné jej přesně dodržet pro správnou funkčnost. Struktura zpráv je uvedena v tabulce 3.5.

ID byte	Popis
0x00	16x byte s významem charů, první MSB
0x11	1x byte, význam jednotlivých bitů popsán níže.
0x31	1x byte s významem výkonu (0 až 255)
0x41	1x byte s významem výkonu (0 až 255)
0x50, 0x60, 0x70, 0x80	2x 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	1x 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 je při spínání nastavena na 50 %. Významem bitu ON/OFF je zapínání příslušného výstupu. K povolení příslušného výstupu dochází pokud je bit v log. 1. Pokud je bit v log.0 na hodnotě bitů F1, F0, T1, T0 nezáleží.

4 REALIZOVANÉ MODULY

Kapitola realizované moduly obsahuje popis zapojení všech modulů s vysvětlením jejich činnosti a popis programů obsažených v jednotlivých modulech.

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

Součástí kapitoly je i popis spínaného zdroje pro převod napětí z akumulátorů na napětí 5 V s maximálním výstupním proudem 3 A.

4.1 Modul řízení

4.1.1 Popis modulu

Modul slouží jako řídící. Stará 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 předává rovněž požadovaný směr a rychlost jízdy.

Ke komunikaci s nadřazeným počítačem slouží USB (tvořící 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 USB rozhraní jsou posílány dvě základní skupiny příkazů. První skupinou jsou řídící dotazy, které slouží pro vzájemnou komunikaci. Druhou skupinu zpráv tvoří informační (debugovací), jež 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, výpis průběhu dekodování řídících zpráv a výpis 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. Dle 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 bez znatelného zvýšení poruchovosti

přenosu je šest. Modul obsahuje ošetření chybových stavů, které mohou při komunikaci pomocí I2C nastat. Dokáže také rozpoznat snahu o dotazování na modul, jež není připojen nebo neodpovídá.

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

4.1.2 Popis zapojení modulů

Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obrázku B.1. Hlavní část modulu řízení je mikrokontrolér ATmega 32 v pouzdře DIL40. Z uvedeného 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 pro zajištění úrovně logické 1. Je zde vyvedena sběrnice SPI, která obsahuje tři datové vodiče (MISO, MOSI, SCK) a pětici adresacích vodičů (SS0, SS1, SS2, SS3, SS4). Na čtveřici konektorů je vyvedeno napájení (+5V, GND). Na desce jsou dále 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 přes sběrnici SPI. Při programování je nutné zapnuté napájení modulu.

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

Druhý integrovaný obvod je FT 232BL firmy FTDI, který se stará o převod sériové linky na USB, je z desky vyvedena pomocí USB-B. K obvodu je podle katalogového zapojení připojen krystal 6 MHz s odrušovacími kondenzátory s hodnotou 22 pF. Dále je v blízkosti obvodu osazen kondenzátor 100 nF. 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 uF a jednoho keramického kondenzátoru s kapacitou 100 nF jako jednoduchý filtr.

Deska obsahuje čtveřici 3 mm difuzních LED pro jednodušší diagnostiku. V blízkosti napájecího konektoru je umístěna zelená LED pro indikaci napájení modulu. V blízkosti USB konektoru se nachází zelená LED pro kontrolu připojení USB kabelu. Pro sledování komunikace přes USB byly 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 Popis Programu

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

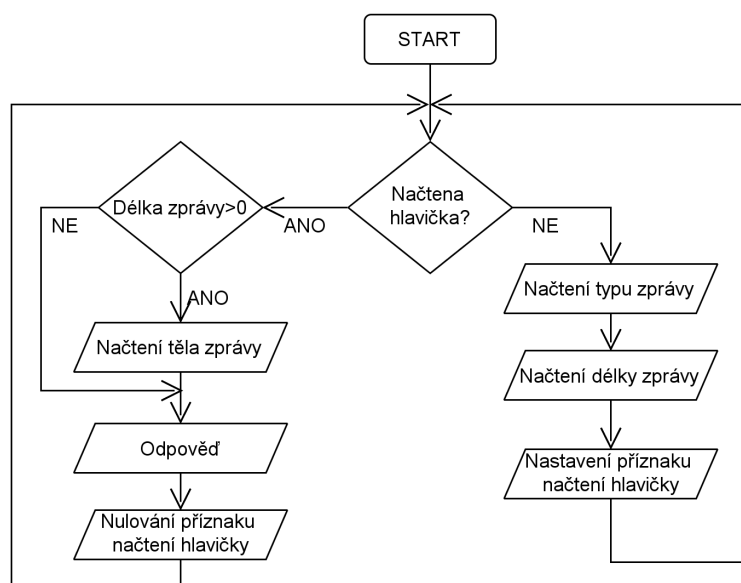
Program obsahuje i možnost posílání debugovacích zpráv. Ty je možné zapnout pomocí makra přímo v programu, ale za běžného provozu jsou potlačeny. Debug zprávy mají speciální startovací znak u typu zprávy. Přesněji se jedná o informační zprávy při dekódování zprávy pro sériovou linku, informace o ošetřených chybách při komunikaci řídicího modulu s ostatními moduly přes sběrnici I2C a informace o regulaci motorů.

Dekódování zprávy ze sériové linky

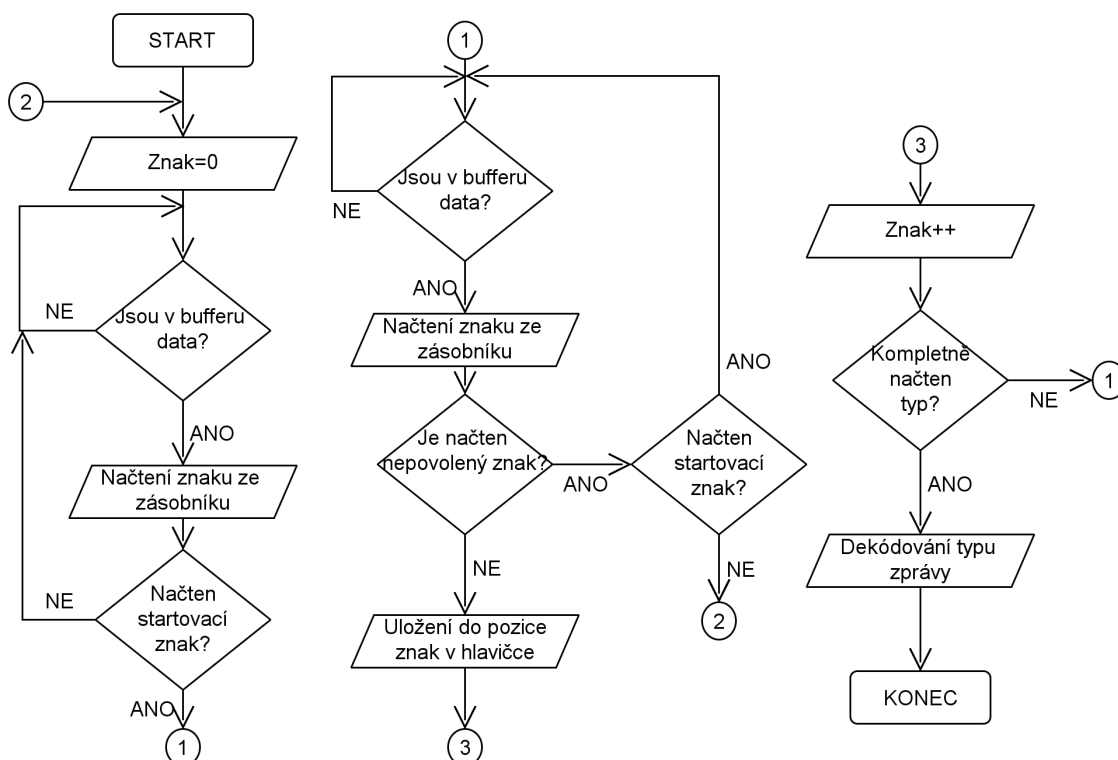
Dekódování zprávy probíhá v nekonečné smyčce, která se provádí pokud není obsluhováno přerušení. Dekódování probíhá v několika krocích. První krok obsahuje načtení typu zprávy, druhý krok spočívá načtení délky datové části, třetí krok je tvořen načtením datové části zprávy. Přesný způsob průběhu dekódování je zobrazen na obrázku 4.1. Detail způsobu dekódování typu zprávy je na obrázku 4.2. Jedná se o smyčku načítání znaků ze zásobníku dokud není detekován startovací znak zprávy. Pokud je detekován startovací znak, postupně se načtou další tři znaky tvořící hlavičku zprávy. Pokud je v průběhu načítání hlavičky detekován zakázaný znak (startovací nebo ukončovací znak), zahájí se opětovné hledání startovacího znaku. Po úspěšném načtení se pokračuje dekódováním trojmístné hlavičky na číslo. Dekódování hlavičky probíhá pomocí stromové struktury.

Odpověď na přijatou zprávu ze sériové linky

Hned po přijetí platné zprávy probíhá její zpracování a okamžitá odpověď. Odpověď na přijatou zprávu je tvořena 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)



Obrázek 4.1: Vývojový diagram průběhu načítání zprávy přes sériovou linku

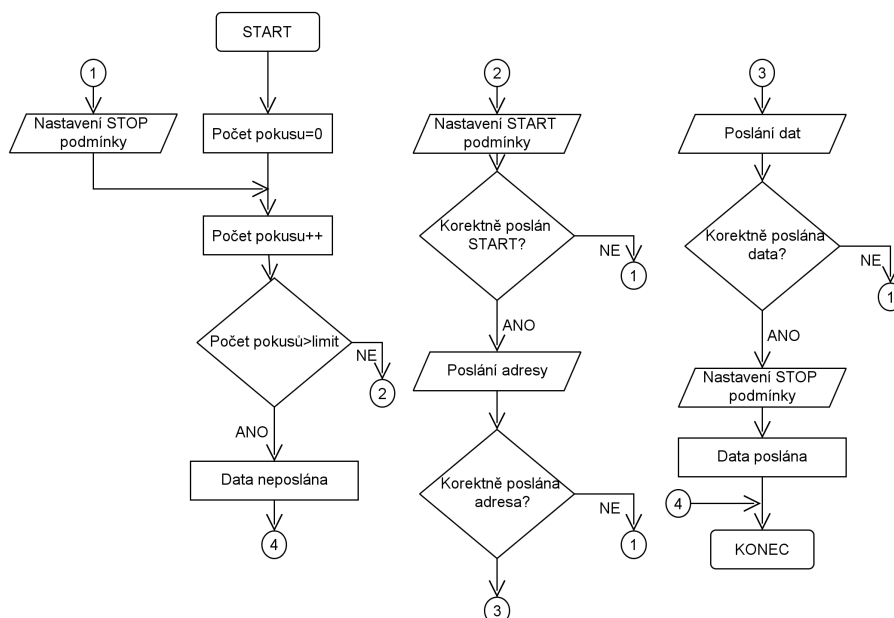


Obrázek 4.2: Detail načítání zprávy

nebo může jít o požadavek na zařízení připojené přes sběrnici I2C, která je relativně pomalá (odpověď je provedena s větším časovým zpožděním).

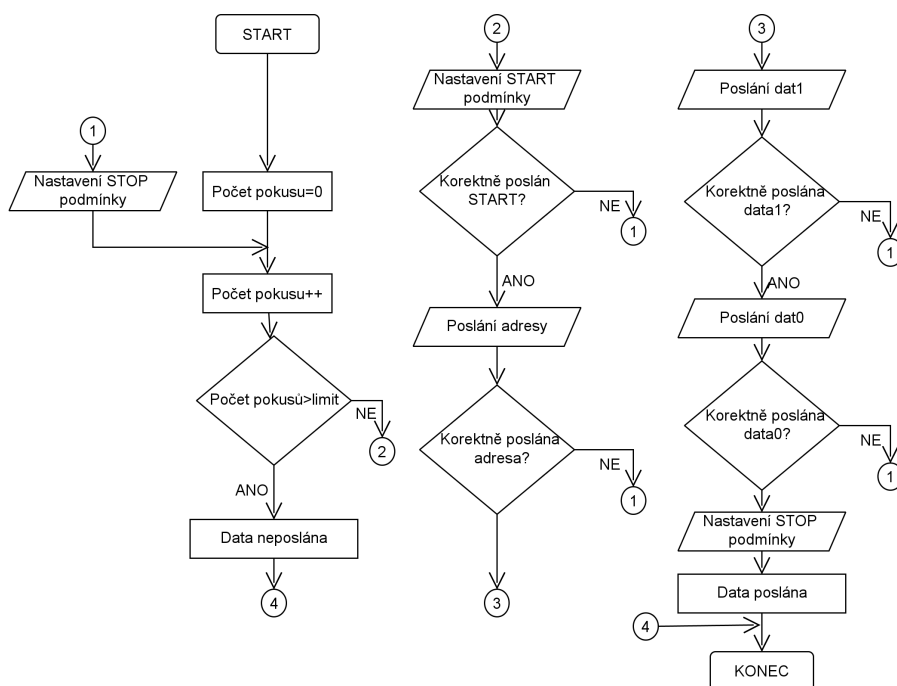
Komunikace přes sběrnici I2C

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. Vývojový diagram pro posílání jednoho bytu je uveden na obrázku 4.3, pro posílání dvou bytů je uveden na obrázku 4.4. Vývojové diagramy jsou si podobné. Začíná se nastavením čítače na nulovou hodnotu, následuje inkrementace čítače o jedničku. Poté probíhá test, zda byl překročen limit pokusů o posílání dat. Pokud je limit překročen, funkce skončí s návratovou hodnotou indikující neúspěšný pokus. Není-li limit překročen, pokračuje se v nastavení startovací podmínky, kontrole jejího poslání, poslání adresy slave zařízení a poslání vlastních dat. Jestliže některá z uvedených procedur neuspěje, je nastavena stop podmínka a funkce se vrátí na inkrementaci čítače. Pokud jsou data úspěšně poslána, funkce končí s návratovou hodnotou indikující úspěšné poslání dat.

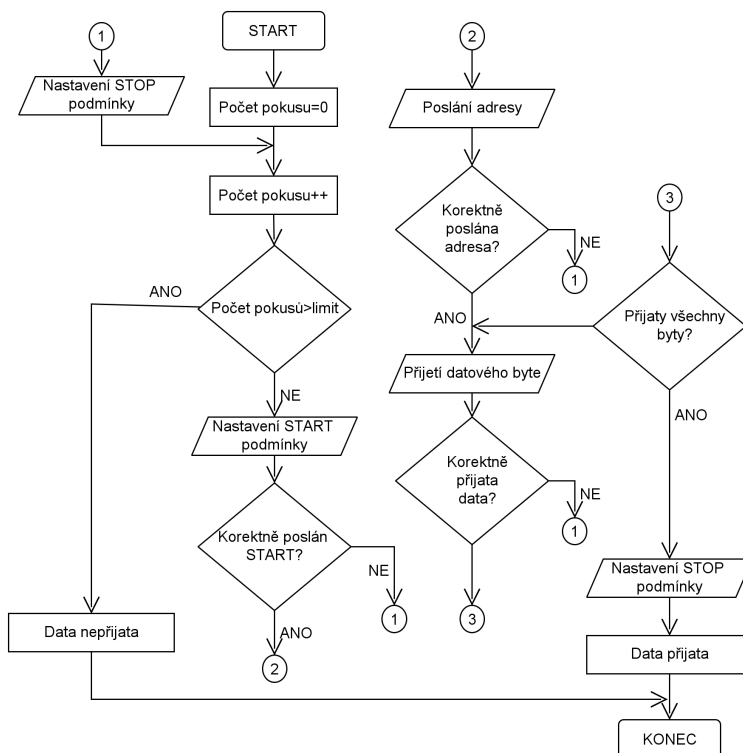


Obrázek 4.3: Vývojový diagram zápisu bytu přes sběrnici I2C

Třetí funkce starající se komunikaci má za úkol přijímání dat ze zařízení na sběrnici I2C. Jejími vstupy jsou adresa slave zařízení, požadovaný počet přijatých bytů a adresa pole, do kterého se mají přijatá data uložit. Vývojový diagram třetí funkce je uveden na obrázku 4.5. Funkce se snaží o přijetí požadovaného počtu bytu. Nastane-li chyba při přijímání, funkce začne přijímat data od začátku. Ochranou proti zacyklení je nastavený maximální limit pokusů. Při dosažení limitu pokusů funkce skončí neúspěchem.



Obrázek 4.4: Vývojový diagram zápisu dvojice bytů přes sběrnici I2C

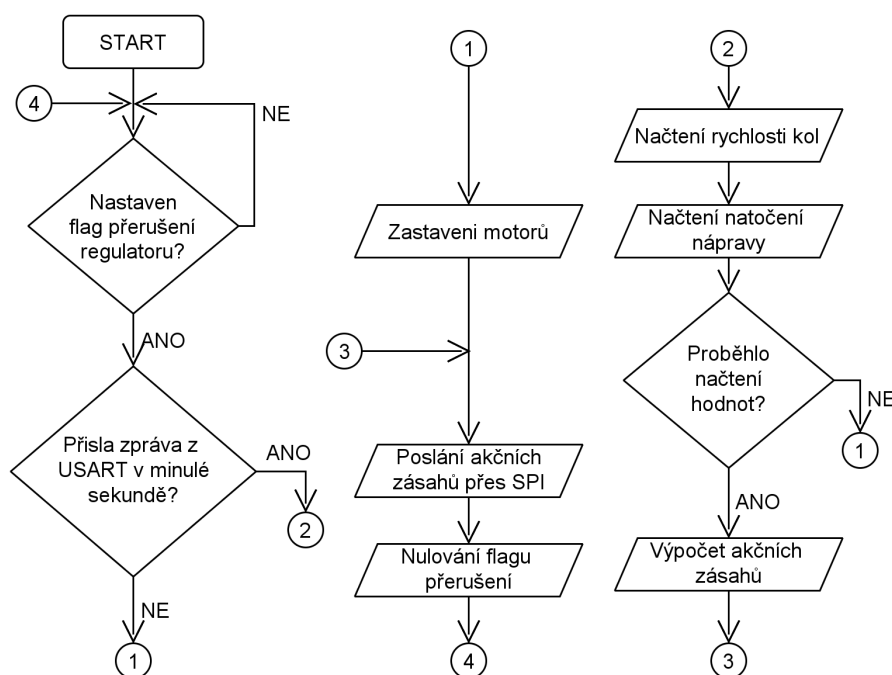


Obrázek 4.5: Vývojový diagram čtení bytů přes sběrnici I2C

Řízení robotu

Řízení robotu probíhá s pevnou periodou řízenou přerušením od časovače. Regulační smyčka obsahuje pojistku, která při ztrátě komunikace modulu řízení s nadřazeným PC zastaví motory. Prodleva je nastavena přibližně na 1 s. Další pojistka je implementována při neobdržení aktuálních dat ze snímačů, jež se přímo podílejí na regulaci. Jedná se o snímače rychlosti zadních kol a snímač úhlu natočení přední nápravy. Při ztrátě komunikace se snímači dojde k okamžitému zastavení motorů.

Pro řízení přední nápravy je použit proporcionální regulátor, který má implementovanou nelinearitu typu hystereze. Řízení motorů zadní nápravy obstarává proporcionálně sumační regulátor. Podrobnější informace o regulátorech jsou uvedeny v kapitole 6. Vývojový diagram smyčky řízení je zobrazen na 4.6.



Obrázek 4.6: Vývojový diagram regulační smyčky motorů

4.2 Modul optických snímačů otáček

4.2.1 Popis modulu

Modul optických snímačů otáček je určený pro nezávislé snímání otáčivé rychlosti dvojice kol. Na uvedený 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 vstupu s odporem proti zemi $360\ \Omega$ (vhodného pro připojení katody svítivé LED z optické závory). Parametry snímače je nutné zadat do modulu, aby ukazoval správné údaje. Jedná se o počet impulzů na otáčku a obvod kola. Z uvedených parametrů se podle doby mezi jednotlivými impulzy počítá aktuální rychlost. Modul optických snímačů otáček je navržen pouze pro zjišťování rychlosti a není schopen rozpoznat směr otáčení. Proto je nutné zjišťovat směr otáčení pomocí jiných technik.

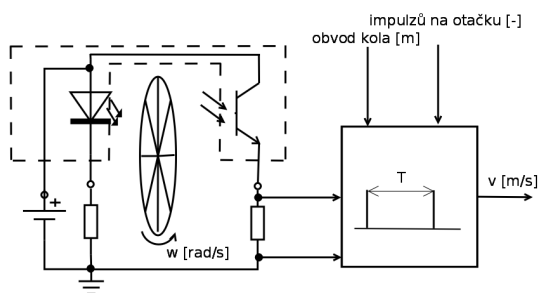
Modul ve své paměti uchovává maximální, minimální, aktuální a průměrnou zaznamenanou rychlost od vynulování pro každé kolo samostatně. Uvedené informace lze na základě požadavku poslat přes komunikační sběrnici I2C, která je určena pro komunikaci s nadřazeným modulem. Pro zjednodušení komunikace se současně posílají informace pro oba snímače ve tvaru dvou za sebou jdoucích 16-ti bitových čísel reprezentujících 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 první se posílají více významné bity.

Modul obsahuje programovací konektor pro naprogramování použitého mikrokontroléru ATmega8 přes sběrnici SPI. Dále je možné mikrokontrolér kdykoli resetovat pomocí resetovacího spínače.

Pro indikaci stavu modulu slouží LED, jež se nacházejí na samotném modulu. LED1 svítící zeleně indikuje napájení modulu. LED2 svítící zeleně indikuje aktivní adresaci přes sběrnici I2C. LED3 svítící žlutě indikuje příchod impulzu na vstup INT0. Při příchodu impulzu 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 impulzů odpovídajících jedné otáčce se na dobu mezi pulzy rozsvítí. Obdobně funguje LED6 pro vstup INT1.

4.2.2 Popis optického enkodéru

V robotu je nainstalován optický enkodér vlastní výroby. Realizovaný enkodér je uveden na obrázku 4.8. Enkodér se skládá ze stínícího kotouče realizovaného pomocí průhledné fólie, na které jsou laserovou tiskárnou vytvořeny optické značky. Pro spolehlivé rozpoznání značky byl zvolen menší počet značek (180) při průměru kotouče 5 cm. Aby se zajistila dostatečná stálost potištěné fólie, chrání ji z obou stran průhledné nepotištěné fólie, které jí mimo jiné zvyšují životnost, pevnost a odolnost proti poškození. Způsob připojení snímače k modulu otáček je zobrazen na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: Princip modulu snímání otáček



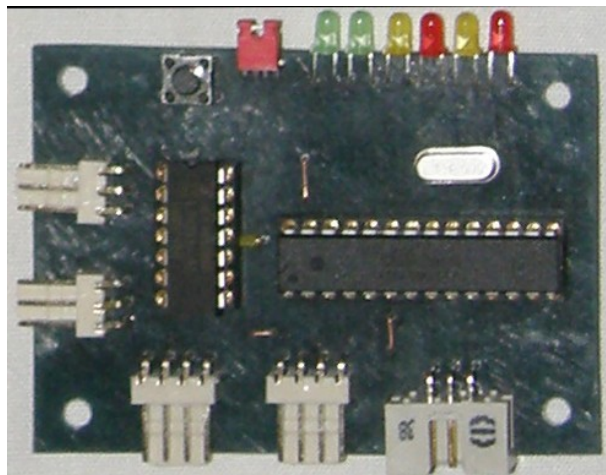
Obrázek 4.8: Enkodér připojený k převodovce zadního kola

4.2.3 Popis zapojení

Kompletní schéma zapojení 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, jež slouží jako vstupy přerušení externích událostí. Na tyto vstupy je přiveden filtrovaný signál z IO 40106 složený ze šestice invertorů s hystezí. Z obvodu jsou použity jen dva invertory. Nevyužitá čtveřice má vstup propojen na zem za účelem zajištění stability a spolehlivosti obvodu. Propojením na zem se docílí i snížení odběru 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.

Z mikrokontroléru je vyvedena sběrnice I2C, která slouží ke komunikaci s nadřazeným modulem. Sběrnice I2C je paralelně vyvedena na dvojici konektorů, přes které je modul zároveň napájen. Mikrokontrolér lze 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

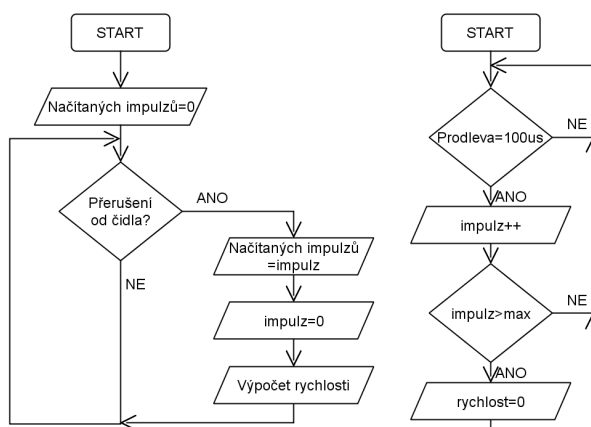
přerušení. K jeho výstupům je připojena dvojice blokovacích kondenzátorů s hodnotou 22 pF.



Obrázek 4.9: Nepřipojená deska

4.2.4 Popis Programu

Vývojový diagram hlavní smyčky modulu otáček je zobrazen na obrázku 4.10. Zobrazuje způsob určení rychlosti kola. Pro výpočet rychlosti je využitý způsob počítání doby mezi jednotlivými impulsy.



Obrázek 4.10: Vývojový diagram programu modulu otáček

Další část programu se stará o komunikaci modulu optických snímačů otáček s nadřazeným modulem přes sběrnici I2C. Jedná se 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 optických snímačů otáček a nastavovat nebo vyčítat hodnoty počtu impulzů na otáčku a obvodu kola. Tyto hodnoty jsou sdílené pro obě kola, protože se nepočítá s rozdílným nastavením.

4.3 Modul analogově-digitálního převodníku

4.3.1 Popis modulu

Hlavním prvkem modulu je AD převodník jehož označení je MC3301. Jedná se o 12-ti bitový převodník se znaménkovým bitem (celkem 13bitů), který je založený na postupné aproximaci s maximální vzorkovací frekvencí 100 kpsps 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. Modul je naprogramován pro uchovávání nejvyšší, nejnižší a průměrné naměřené hodnoty. Převodník vzorkuje nepřetržitě s frekvencí 20 kHz. Na požádání od nadřazeného systému je modul schopen poslat uchované údaje a poslední naměřenou hodnotu. Pomocí SW příkazu přes I2C lze uvedené statistiky vynulovat.

Pro zvýšení použitelnosti převodníku je pomocí zkratovacích propojek možné nastavit jedno ze tří referenčních napětí. První referenční napětí je 5 V a je dáno přesností napájecího napětí. Druhé tvoří napětí z napěťové reference s výstupem 1,235 V. Třetí je odvozeno 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 Ω s možností jeho odpojení. Z důvodu nemožnosti koupení přesných odporů v pouzdře R0805 je nutné přesné poměry určit u jednotlivých modulů.

Pro indikaci stavu modulu je použito LED, které se nacházejí přímo na modulu analogově-digitálního převodníku. LED1 indikuje napájení modulu. LED2 indikuje komunikaci přes SPI vyskytující se při měření napětí a programování. LED3 indikuje adresaci modulu přes I2C. LED4 indikuje stav, že měřené napětí je blízké nule. LED5 indikuje stav, že měřené napětí je blízké maximu.

Modul obsahuje programovací konektor pro naprogramování použitého mikrokontroléru ATmega8 přes sběrnici SPI. Modul lze kdykoli resetovat pomocí resetovacího spínače.

4.3.2 Popis zapojení

Kompletní schéma zapojení 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. K resetovacímu pinu je připojen spínač, který po stisknutí přivede na vstup mikrokontroléru log. 0 pro možnost pohodlného resetu. Pro indikaci stavu modulu je použita trojice pinů, přičemž stavy jsou indikovány pomocí LED (s významem napětí blízkého 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-ti bitový (12 bitů + znaménko).

Přes jumperové propojky SV1 lze nastavit převodníku trojici referenčních napětí (1,235 V z napěťové reference, 0,35 V odvozené z napěťové reference, 5 V odvozené z napájení). Pomocí propojek se nastavuje vstupní dělič, jež má stálý vstupní odpor 9,5 kΩ a to v poměru přibližně 1:1:5:15, které jsou vytvořeny odpory s přesností 1 %. Přesné hodnoty s tolerančním pásmem jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Parametr	Nominální	Minimální	Maximální
R_{in} [Ω] (se zapojeným děličem)	9480,0	9385,2	9574,8
Dělicí poměr pro 1:5	1:4,79	1:4,40	1:4,86
Dělicí poměr pro 1:15	1:13,94	1:13,68	1:14,20
Napěťová reference [V]	1,235	1,223	1,247
Dělená reference [V]	0,349	0,342	0,356

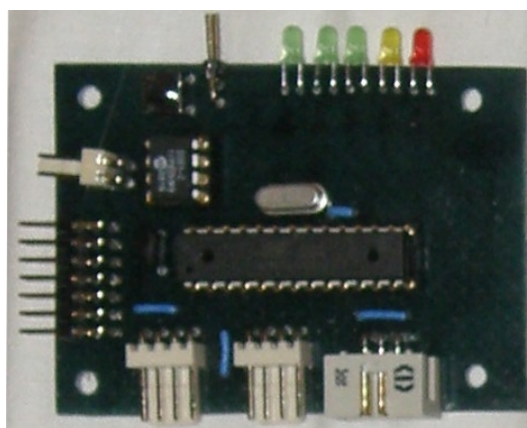
Tabulka 4.1: Přesné parametry modulu ADC

Maximální relativní odchylky nekompensovaných modulů jsou uvedeny v tabulce 4.2. Při kompenzaci modulů uložením přesného maximálního napětí do modulu lze snížit relativní chybu pod 0,1 % (kvantizační chyba není započítána). Z důvodu nemožnosti kompenzovat napájecí napětí se pro přesné měření nehodí jej využívat jako zdroj referenčního napětí.

Měřené napětí je přiváděno přes konektor UIN na diferenciální vstup převodníku přes vstupní odpojitelný dělič. Programování mikrokontroléru se provádí pomocí konektoru PROG pomocí SPI.

δU [%]		Nastavení U_{ref} [V]		
		0,349	1,235	U_{cc}
Nastavení děliče	1	2	1	δU_{cc}
	5	3	2	$\delta U_{cc} + 1$
	15	4	3	$\delta U_{cc} + 2$

Tabulka 4.2: Tabulka maximálních relativních odchylek nekompenzovaných modulů



Obrázek 4.11: Zabudovaný modul AD převodníků v robotu

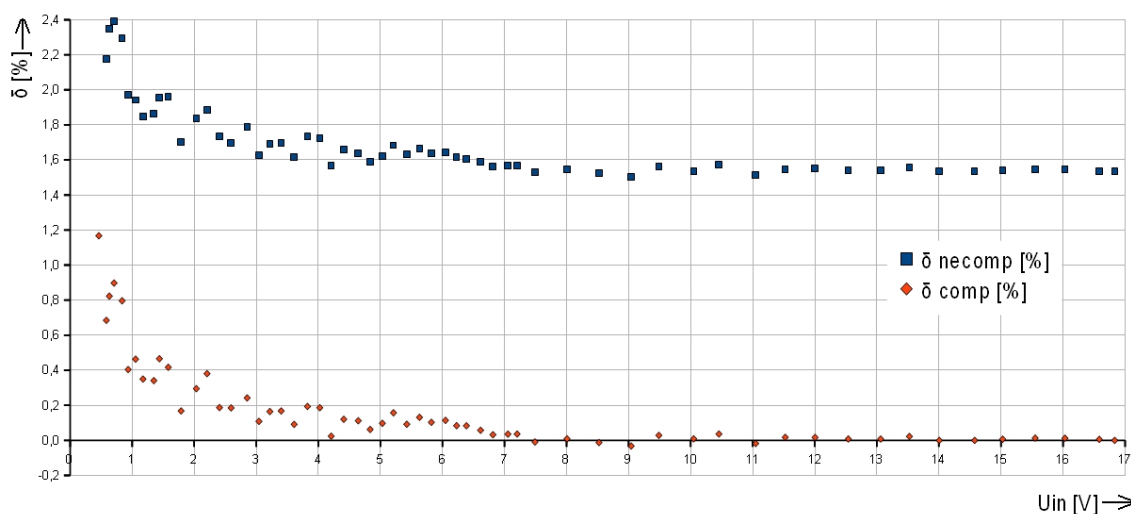
4.3.3 Příklad parametrů ADC

V robotu je provozováno větší množství modulů stejného typu s rozdílným nastavením. Uvedeno je měření modulu ADC, který měří napětí zadního akumulátoru a jeho nastavení je popsáno v tabulce 5.9.

Hlavním požadavkem na modul je minimální chyba měření. Pro uvedený modul byla změřená charakteristika vynesena do obrázku 4.12. V grafu je uvedena dvojice závislostí pro jeden modul - nekompensovaná (necomp) s nastaveným maximálním napětím z nominálních hodnot a kompenzovaná (comp) s maximálním napětím určeným měřením. Z grafu je patrné, že začátek charakteristiky je zatížen velkou chybou vzniklou zaokrouhlováním při zobrazení. Pro napětí vyšší než 6 V je relativní chyba obou závislostí téměř konstantní. Nekompensovaný modul má ustálenou hodnotu přibližně 1,5 % a kompenzovaný modul má ustálenou relativní chybu pod $\pm 0,1$ %. Obdobné průběhy lze očekávat od všech modulů.

Nominální hodnota maximálního napětí je 17,217 V a změřená hodnota je při tomto nastavení 16,953 V. Změřená hodnota zapadá do intervalu limitních hodnot daných intervalem 16,732 - 17,716 V. I když se zdá být nejistota modulů velká, je možné ji přímo v modulu kompenzovat uložením skutečné maximální hodnoty.

Při měření vnitřního odporu AD převodníku se zapojeným děličem byla zjištěna



Obrázek 4.12: Závislost relativní chyby na vstupním napětí

hodnota 9,38 kΩ. Naměřená hodnota spadá do intervalu uvedeného v tabulce 4.1.

4.3.4 Popis Programu

Modul analogově-digitálního převodníku obsahuje převodník připojený přes sběrnici SPI, který je periodicky vyčítán s frekvencí 25 kHz. Vyčítání probíhá dle požadavků převodníku a obsahuje 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 půlmostů

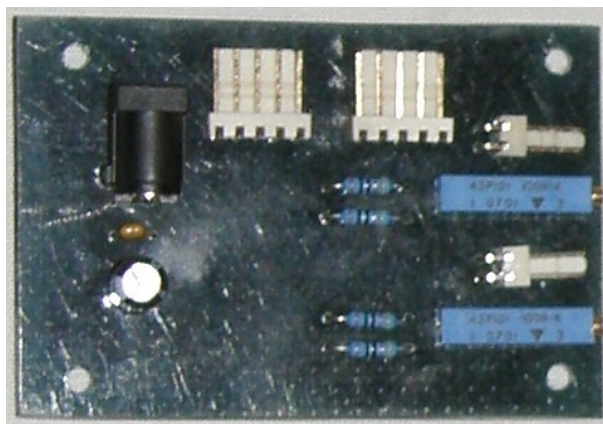
4.4.1 Popis modulu

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

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

4.4.2 Popis zapojení

Kompletní schéma zapojení 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 maximálního přípustného napětí na elektrolytickém kondenzátoru. Modul obsahuje dvojici kondenzátorů. První kondenzátor má kapacitu 220 uF a slouží pro vyrovnaní kolísání napájecího napětí. Druhý keramický kondenzátor s kapacitou 100 nF slouží pro potlačení vysokofrekvenčního rušení. Hlavní část modulu tvoří dvojice nezávislých půlmostů, které jsou sestaveny z dvojic pevných rezistorů ($470\ \Omega$) s malým teplotním koeficientem a jedním odporovým trimrem s hodnotou odporu $100\ \Omega$ a deseti otáčkami. Trimr slouží pro přesné nastavení pracovního bodu mostu.



Obrázek 4.13: Nepřipojená deska modulu půl mostů

4.5 Modul ovládání motorů

4.5.1 Popis modulu

Modul slouží pro výkonové ovládání motorů do maximálního proudu 32 A (limit použitých svorek). Uvedená hodnota závisí na použitém chladiči výkonových tranzistorů. Přes sběrnici SPI lze pomocí propojek nastavit 5 různých adres. Sběrnice SPI se používá pro posílání výkonu motorům v 256 krocích. Proti zničení motorů jsou vyvedeny dvě přerušení od mikrokontroléru pro HW pojistky. Modul obsahuje inteligentní řadič obsahující brzdu. Frekvence spínání je 25 kHz a dle potřeby je možné ji bez větších zásahů v programu měnit až do hodnoty 100 kHz.

4.5.2 Popis zapojení

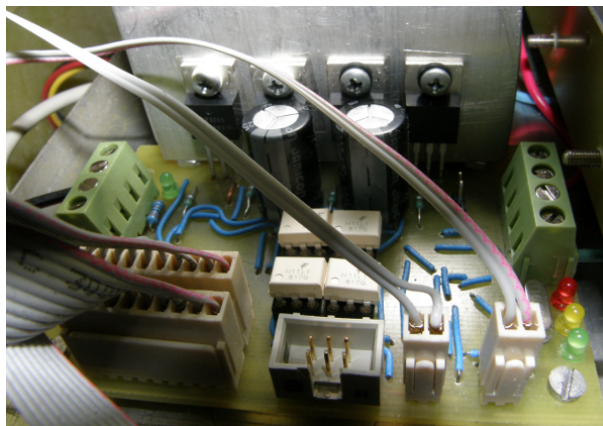
Kompletní schéma zapojení je uvedeno v příloze na obrázku B.5. Modul ovládání motoru je určen pro připojení přes sběrnici SPI, která využívá HW adresaci, proto je na modulu pětice pinových propojek (konektor SV1) pro určení adresy modulu. Na modulu se nachází konektory S0 a S1 (vstupy pro externí přerušení s pull-up rezistorem). Pro snadný reset mikrokontroléru je vyvedeno tlačítko S2. 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 driver pomocí tří pinů (I0, I1 a PWM) a pomocí hradlové logiky postavené z jednoho IO 7400 a jednoho IO 7410. Z IO vystupuje čtveřice signálů ovládající čtveřici tranzistorů plného mostu v negovaném stavu (/TA, /BA, /TB, /BB). Uvedené 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 se skládá z dvojice nezávislých půl-mostů vložených do jednoho pouzdra sloužících pro usnadnění vytvoření plného mostu. Tento integrovaný obvod pomocí vnitřní logiky zabráňuje sepnutí dvojice tranzistorů ve stejné větvi. Ochranná funkce je založena na aktivním snímání napětí mezi tranzistory ve stejné větvi, proto není možné ani při přechodném ději částečné sepnutí a tím zvýšení vyzařovaného výkonu tranzistory. Při vstupních signálech, které by znamenali sepnutí obou tranzistorů ve stejné větvi, dojde k odpojení obou tranzistorů. Uvedená 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 $V_{DS}=55$ V, $R_{S(on)}=8$ m Ω , $I_{Dmax}=110$ A. Ovládány jsou výstupy z LT1162 přes ochranný odpor s hodnotou 4 Ω . K připevnění vodičů napájení a motorů

jsou připraveny dvě svorky s maximálním proudem 16A. Z tohoto důvodu je maximální doporučený proud 32 A i když limit tranzistorů je více jak dvojnásobně vyšší.



Obrázek 4.14: Připojená deska ve funkci ovládání motoru přední nápravy

4.5.3 Popis Programu

Základní část programu řídí trojici pinů, které se starají o nastavování požadovaného módu plného mostu. Dvojice pinů připojená k portu C mikrokontrolér obstarává požadovaný režim. Podporované režimy provozu jsou brzda, volnoběh, jízda dopředu a jízda dozadu. Třetí 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 střídý je prováděno v 256 krocích. Časování se provádí 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, pomocí které se nastavuje požadovaný mód modulu. Při přijetí je zpráva dekodována a jsou 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 až 8 nezávislých výstupů s maximálním proudem 500 mA (určeno ULN2803) přes sběrnici I2C na 100 kHz.

Způsob přesného ovládání záleží pouze na programu obsaženém v mikrokontroléru ATmega8, jež slouží jako převodník sběrnice a ovládá příslušné výstupy přes posilovač.

Modul obsahuje tlačítko S1, které provede reset mikrokontroléru do počátečního stavu (odpojí všechny výstupy). Pro signalizaci stavu slouží čtveřice LED. Jedna LED signalizuje napájení modulu a další tři jsou volně programovatelné.

Modul obsahuje programovací konektor přes SPI pro mikrokontrolér. Součástí modulu je i konektor UYK sloužící 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 zapojení je uvedeno v příloze na obrázku B.20. Zapojení je založeno na mikrokontroléru ATmega8 taktovaného pomocí externího krystalu na 16 MHz. Řízen je prováděno 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.

Pro signalizaci stavu slouží čtveřice LED umístěná přímo na modulu výkonových výstupů. Z toho LED1 signalizuje napájení modulu. Ostatní tři LED jsou volně programovatelné a 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. Uvedený port vede na osminásobný posilovač, jehož každá buňka obsahuje jako poslední výkonový stupeň tranzistor zapojený se společným emitorem připojeným na zemnicí potenciál. Výstup tvoří tranzistor s otevřeným emitorem, a proto je připojení zátěže realizováno připojením jednoho pinu na napájecí napětí a druhého pinu na otevřený kolektor posilovače. Konektory výkonových výstupů mají zámek, aby se zamezilo prohození polarity a následné nefunkčnosti připojené zátěže (LED) nebo i zničení připojeného zařízení.

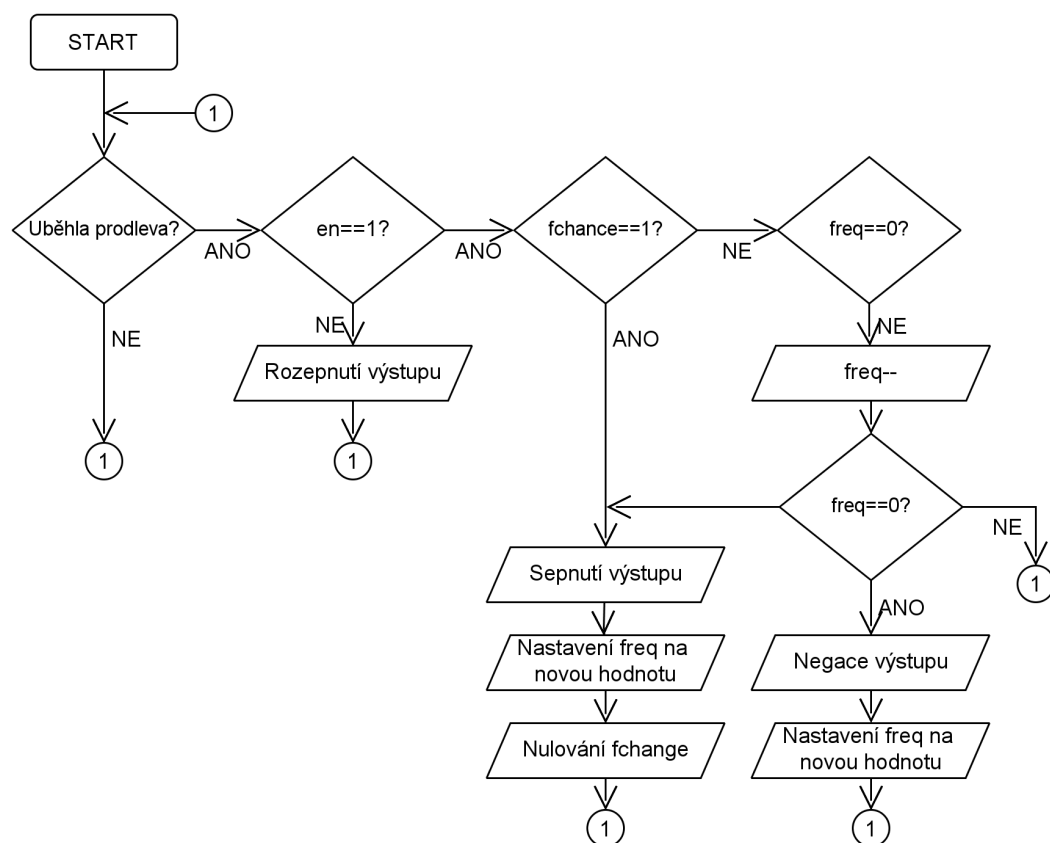
4.6.3 Popis Programu

Základním znakem programu je pole osmi struktur. Každému výstupu náleží jeden prvek struktury tvořený 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.

Druhou proměnnou je *freq* a je typu unsigned int. Hodnota proměnné značí požadovanou frekvenci přepínání výstupu. Hodnota 1 odpovídá frekvenci spínání

výstupu s frekvencí 8 kHz, hodnota 4 000 odpovídá 2 Hz, 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. Uvedeným způsobem je vytvořeno přesné generování frekvencí 4 kHz, 1 Hz a 0,1 Hz se střídou 50 %.

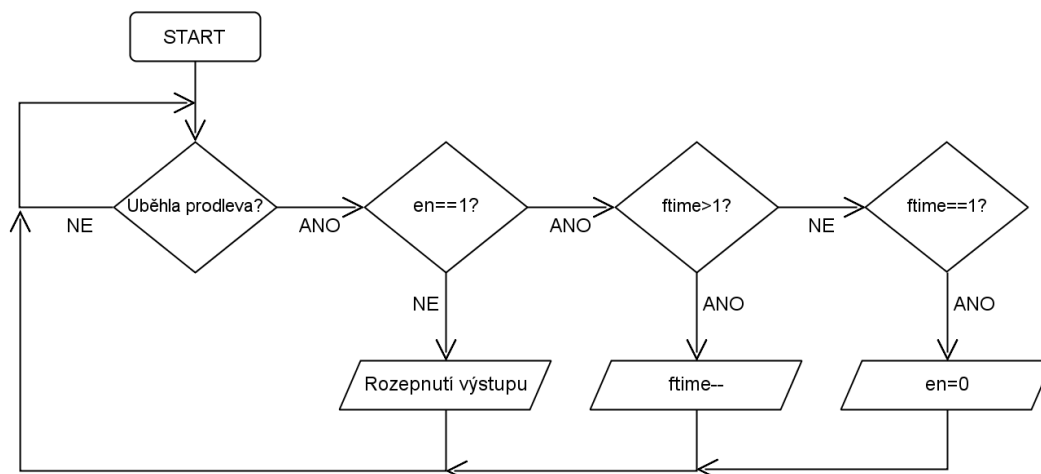
Třetí proměnná má přímou vazbu na frekvenci spínání výstupů. Jedná se o proměnnou *fchange* typu unsigned char a nastavuje se do log. 1 při změně požadavku frekvence spínání výstupů. Pokud je v log. 1, dojde okamžitě k sepnutí výstupu, nastavení nové požadované frekvence spínání, následně se tento příznak nuluje. Vývojový diagram této smyčky je uveden na obrázku 4.15 pro jeden konkrétní výstup.



Obrázek 4.15: Vývojový diagram smyčky spínání výstupů

Čtvrtá poslední proměnná *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

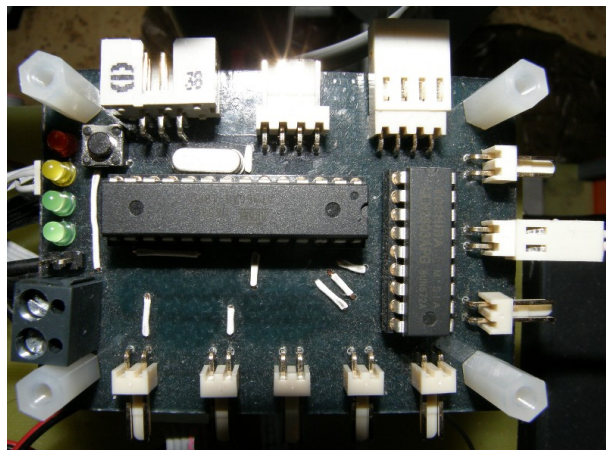
Komunikace s modulem výkonových výstupů probíhá přes sběrnici I2C, která má implementované všechny zprávy popsané v sekci protokoly (tabulky 3.6 a 3.7). Vlastní komunikace je řízena stavovým automatem, který je tvořen hodnotami příznaku stavového registru sběrnice I2C. Následně probíhá podle příchozího 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, jež 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.

4.6.4 Parametry

Základní parametry modulu výkonových výstupů jsou nastavená délka požadavku na sepnutí a frekvence spínání. Statistické údaje těchto parametrů pro všechna možná nastavení jsou uvedeny tabulce 4.3 pro frekvence a v tabulce 4.4 pro doby sepnutí. Uvedené hodnoty byly změřeny pomocí univerzálního čítače Agilent 53132A při napájení modulu 5 V a zatěžovacím odporu 50 Ω.

Posledním důležitým parametrem je hodnota výstupního napětí snížena o hodnotu přibližně 1,5 V oproti napájecímu napětí.



Obrázek 4.17: Připojená deska modulu GPO

f [Hz]	N	f_{max} [Hz]	f_{min} [Hz]	\bar{f} [Hz]	σ [mHz]
0,1	10	0,09961034612	0,09961024069	0,09961029340	0,0000745492
1,0	10	0,996103168	0,9961017677	0,99610245835	0,00078806
4000,0	10	3984,437694	3984,339115	3984,398956	24,9364

Tabulka 4.3: Změřená statistika nastavitelných frekvencí

t [s]	N	t_{max} [s]	t_{min} [s]	\bar{t} [s]	σ [ms]
2	4	2,0179383251	2,0138391346	2,0156791736	1,4680341
10	4	10,0785416410	10,0781954531	10,0784047907	0,1282276
60	4	60,4781866691	60,4729480986	60,4748262167	1,9969164

Tabulka 4.4: Změřená statistika nastavitelných časových intervalů

4.7 DC-DC zdroj 5 V

4.7.1 Popis modulu

Jedná se o zdroj, ve kterém je využito integrovaného obvodu MC33166. Výhody uvedeného obvodu jsou velká účinnost, malé tepelné ztráty, integrovaná teplotní pojistka a malý počet okolních součástek. Zdroj je navržen podle datasheetového zapojení doplněného o obvody soft-startu, možnosti stand-by režimu, vstupní pojistku, ochranu proti přepólování vstupu a druhý filtrační článek na výstupu pro snížení zvlnění výstupního napětí.

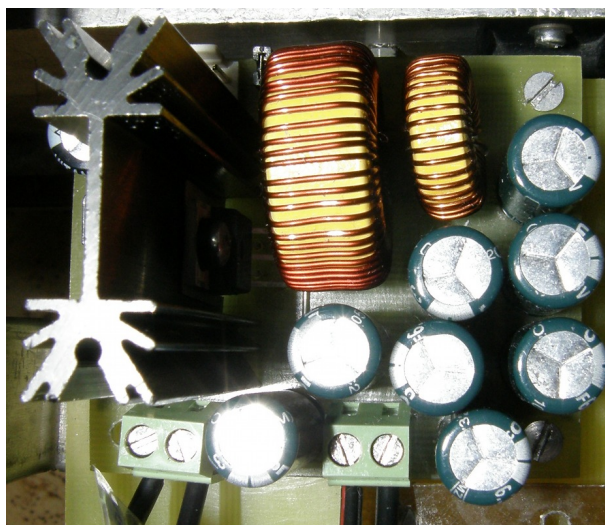
Základní parametry zdroje jsou výstupní napětí 5,05 V, maximální výstupní proud 3 A, zkratový proud 4 A.

4.7.2 Popis zapojení

Základním prvkem zapojení je integrovaný obvod firmy ON semiconductor s označením IO1. Jde o typ MC 33166, který je zapouzdřený v pouzdře TO-220 a je doplněn o chladič pro dostatečný odvod ztrátového tepla. Jeho základní vlastnosti jsou integrovaná napěťová reference s hodnotou 5,05 V s tolerancí 2 %, fixní frekvence nastavenou na 72 kHz. Na vstupu obvodu je filtrační kondenzátor C1 s hodnotou 100 nF. Vstup obsahuje kondenzátor C5 s hodnotou 1 mF a slouží pro vyrovnaní špiček ve spotřebě IO1. Vstup je chráněn proti přetížení pomocí pojistky a proti přepólování pomocí diody D5 SK24 umístěné za pojistkou.

Zpětná vazba obvodu je tvořena kondenzátorem C1 a rezistory R1 a R2. Díky integrovanému výkonovému spínacímu tranzistoru v IO1 je výstup doplněn pouze o diodu D1 SK54C sloužící pro omezení zákmitů tvořených na cívce L1. Cívka L1 společně s kondenzátory C3 a C4 slouží jako výstupní filtr, který je nutný pro správnou funkci. K tomuto filtru byl pro snížení zvlnění výstupního napětí přidán druhý stupeň tvořený cívkou L2 a kondenzátory C6, C7, C8, C10, C11, C12. Všechny elektrolytické kondenzátory jsou tvořeny speciálními kondenzátory určenými pro spínané zdroje. Rozdíl oproti klasickým kondenzátorům je malý sériový odpor a vyšší maximální povolená teplota. Výstup obsahuje filtrační kondenzátor C9 s kapacitou 100 nF.

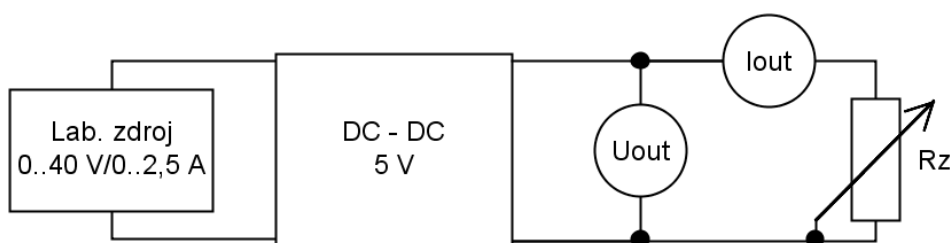
Zapojení měniče je opatřeno obvody pro soft-start. Jedná se o diody D4 a D6, rezistor R7 a kondenzátorem C13. Hodnotou kondenzátoru se mění rychlost nabíjení filtračních kondenzátorů na hodnotu výstupního napětí a společně s tím omezuje maximální hodnotu vstupního proudu. Další doplňující obvod je pro možnost uvedení zdroje do stand-by režimu a tím snížení jeho potřeby. Obvod je tvořen tranzistorem T1 rezistory R3 a R4 a konektorem pro připojení signálu pro aktivaci stand-by režimu.



Obrázek 4.18: Zapojená deska zdroje v robotu

4.7.3 Parametry

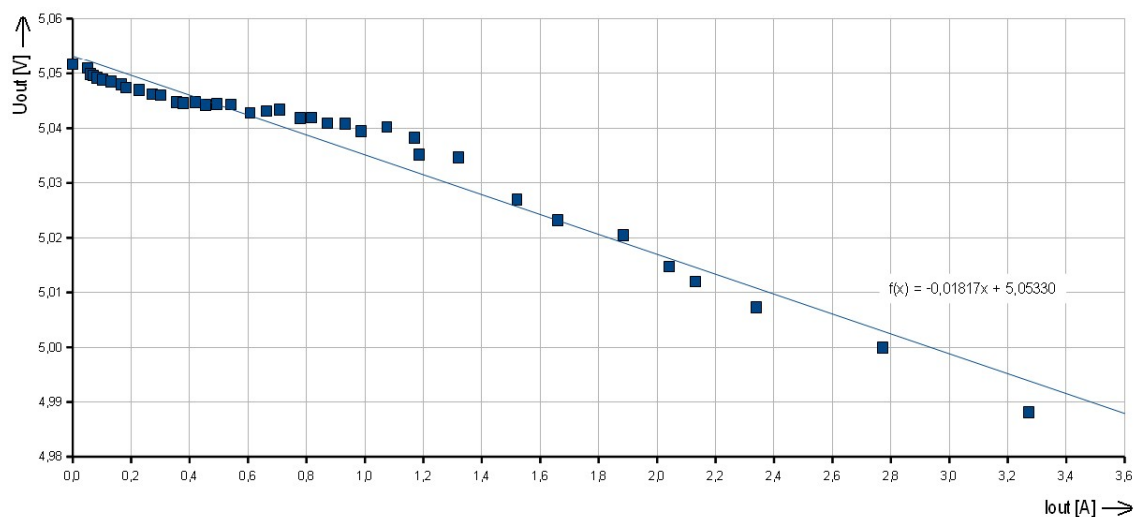
Základní vlastnosti zdroje byly proměřeny v zapojení, které je zobrazeno na obrázku 4.19. Měření vstupního proudu a napětí bylo zjištěno z údajů na zdroji.



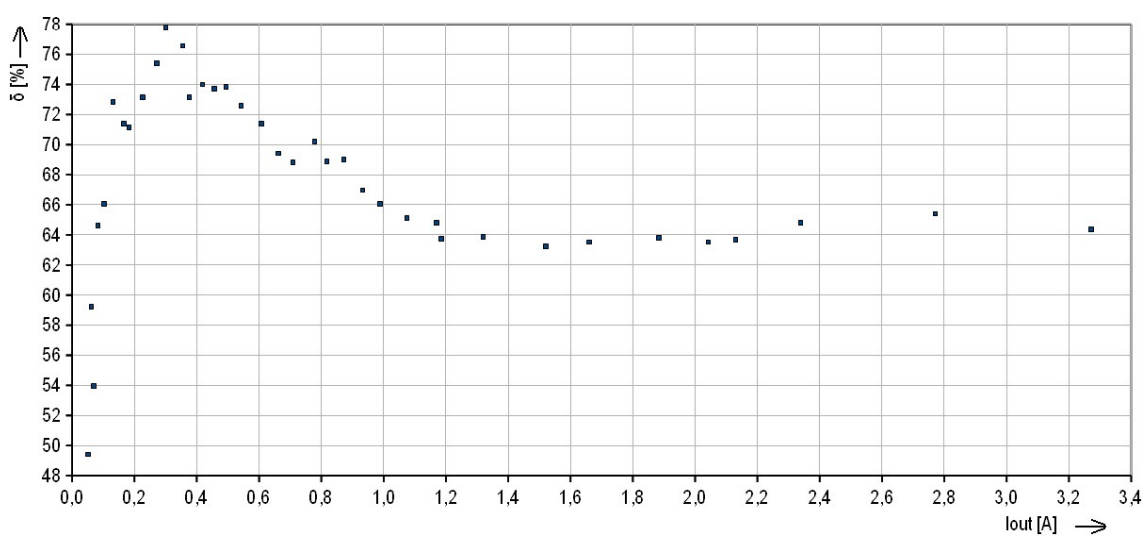
Obrázek 4.19: Zapojení přístrojů při měření zdroje

Nejdůležitější charakteristikou zdroje je závislost výstupního napětí na výstupním proudu. Závislost je vynesena na obrázku 4.20. Pomocí lineární regrese je vynesena přímka společně s parametry. Uvedenými parametry jsou napětí naprázdno 5,05 V a vnitřní odpor zdroje 18 mΩ.

Charakteristika uvedená na obrázku 4.21 zobrazuje účinnost zdroje v celém průběhu dovoleného zatížení. Předpokládá se použití v rozmezí proudů 0,2 - 0,8 A. Na tomto rozsahu má zdroj účinnost přes 70 %. Pro menší proudy se účinnost zmenšuje vlastní spotřebou zdroje (převážně IO a svodovým odporem kondenzátorů). Pro větší proudy se uplatňují ztráty na použitých cívkách, které kvůli zmenšení rozměrů zdroje byly zvoleny s větším odporem vinutí při větší indukčnosti, jež snižují zvlnění zdroje. Účinnost zdroje při zátěži přesahující 1 A se pohybuje kolem 64 %.



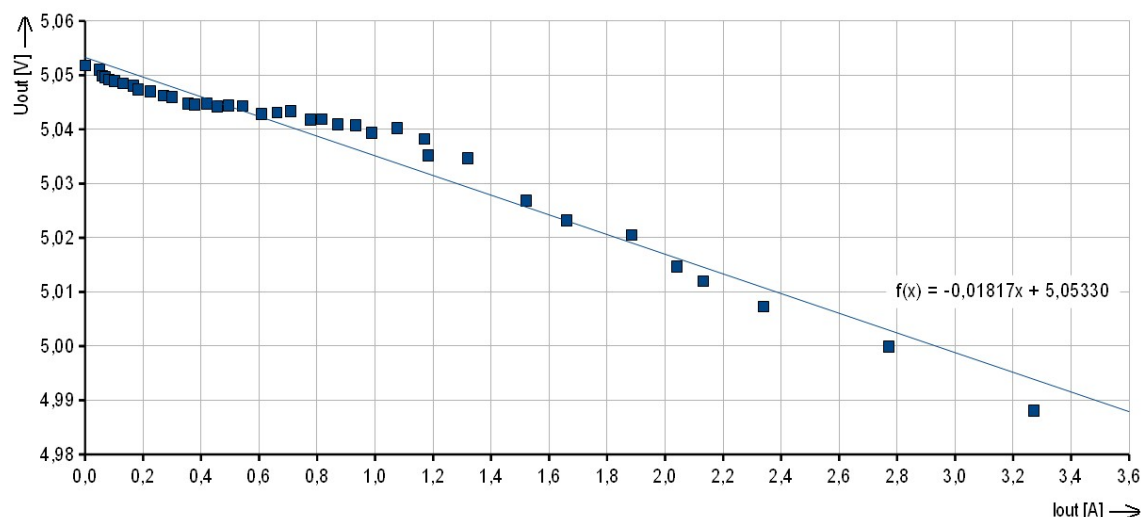
Obrázek 4.20: Závislost výstupního napětí při změně výstupního proudu ($U_{in} = 13$ V)



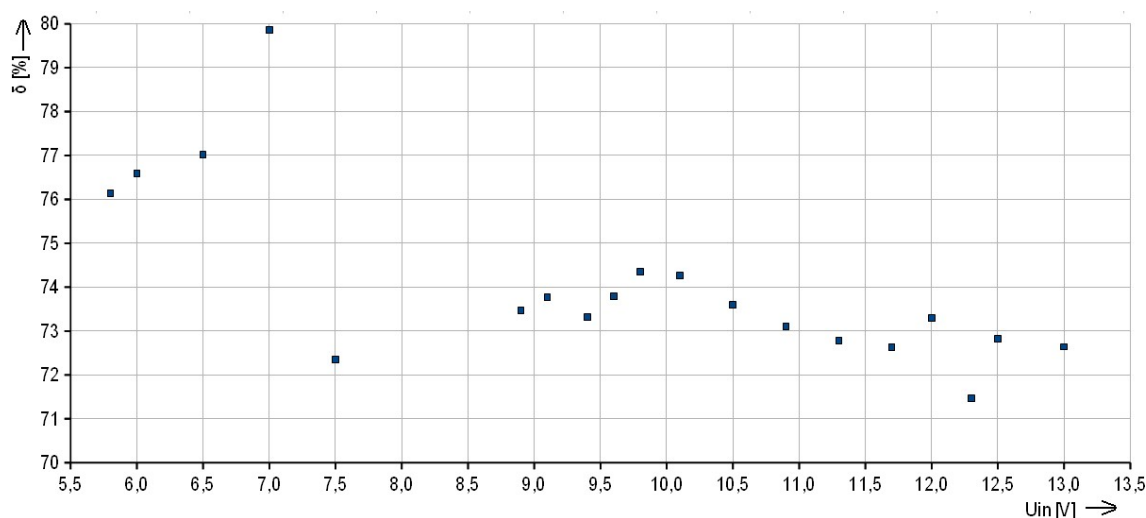
Obrázek 4.21: Závislost účinnosti při změně výstupního proudu ($U_{in} = 13$ V)

Pro akumulátorové aplikace je důležitým parametrem změna výstupního napětí při změně vstupního napětí. Změřená závislost je uvedena na obrázku 4.22. Z grafu je patrné, že výstupní napětí je konstantní až do limitní hodnoty 7 V. Pro správnou funkci zdroje musí být splněna rovnice $U_{in_{min}} = U_{out} + 2$. Tato podmínka bude vždy splněna při napájení z 12 V akumulátoru, protože už při hodnotě 10 V se jedná velice vybitý akumulátor, kterému hrozí poškození. Jako doplňkový graf je na obrázku 4.23 uvedena závislost účinnosti při změně vstupního napětí při konstantním zatěžování rezistorem. Závislost účinnosti je téměř konstantní a pro zvolený výstupní odpor se pohybuje kolem 73 %. Vyjimku tvoří hodnota vstupního napětí 7 V, kde účinnost vzrostla na hodnotu 80 %.

Pro výstupní proudy do 2 A je zahřívání chladiče minimální, pro vyšší proudy se teplota ustálí na hodnotě nepřesahující 50 °C, která je v mezích dovolených provozních teplot.



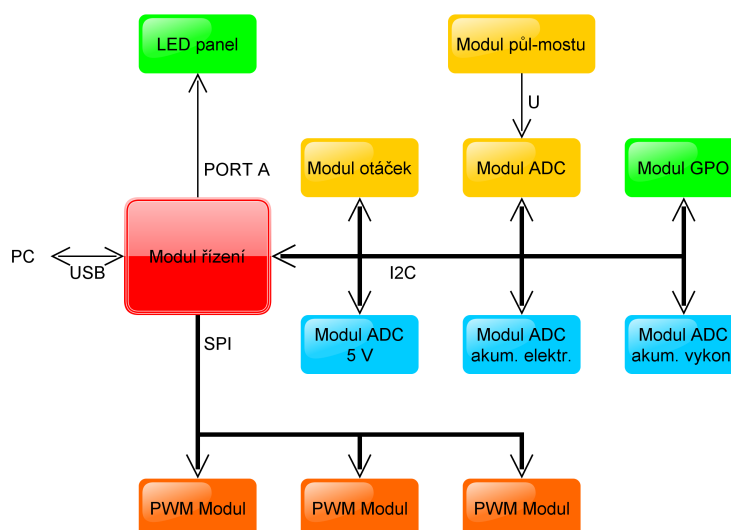
Obrázek 4.22: Závislost výstupního napětí při změně vstupního napětí ($R_z \approx 10 \Omega$)



Obrázek 4.23: Závislost účinnosti při změně vstupního napětí ($R_z \approx 10 \Omega$)

5 PROPOJENÍ MODULŮ

Celkové propojení jednotlivých modulů je zobrazeno na obrázku 5.1. Šipky zobrazují směr přenosu dat. U šipek je popsán druh informačního kanálu. Barevně je rozlišena důležitost jednotlivých modulů pro správný chod robotu.



Obrázek 5.1: Signálové propojení všech modulů

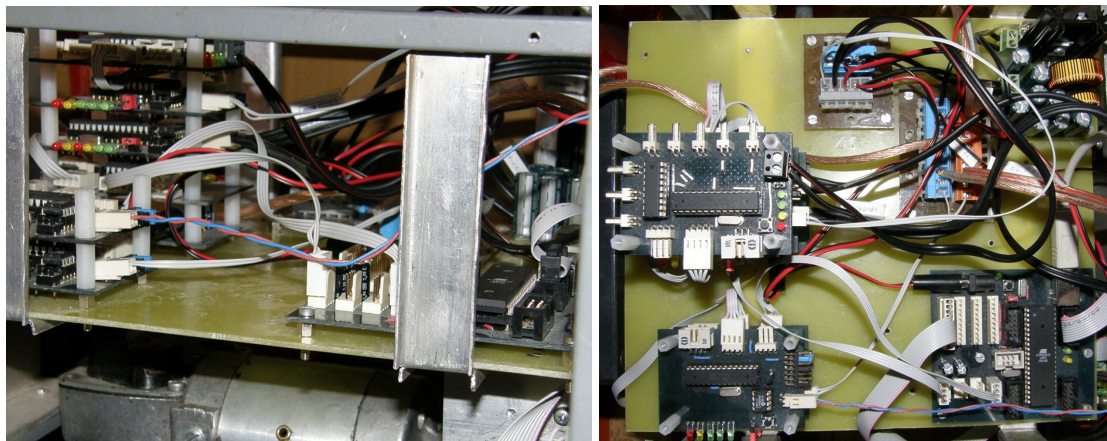
Červená barva je použita pro hlavní modul, který obstarává pomocí USB komunikaci s nadřazeným PC a pomocí sběrnic I2C a SPI s podřízenými moduly. Pokud je modul funkční, je zaručena komunikace s nadřazeným PC a zprostředkovává informace o funkčnosti ostatních modulů.

Oranžová je barva modulů sloužících pro ovládání robotu. Přesněji ovládání levého a pravého zadního kola a ovládání motoru přední nápravy. Při jejich poruše je robot neschopný pohybu.

Žlutá barva znázorňuje moduly určené pro snímání rychlosti zadních kol a natočení přední nápravy. Bez funkčnosti všech těchto modulů není robot schopný pohybu.

Modře podbarvené moduly se starají o sběr vnitřních stavových veličin, jež nemají přímý vliv na funkčnost robotu. Jedná se o snímání napětí na důležitých větvích v robotu, které tvoří napětí na akumulátoru elektroniky, výkonovém akumulátoru a napětí v pěti voltové větvi napájení elektroniky.

Zelenou barvou jsou označeny moduly, které zajišťují přenos informací o robotu jinou cestou než je 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.



Obrázek 5.2: Boční a horní pohled na moduly

5.1 Nastavení jednotlivých modulů

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

5.1.1 Modul řízení

Modul řízení 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 a generuje Acknowledge puls. 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 jeho ovládání 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. Přenastavení je možné provést pomocí příkazů z nadřazeného počítače, podobně lze takto vyčíst aktuální nastavení.

Adresa	0x21
Počet pulzů na otáčku	180
Obvod kola	0,9425 m

Tabulka 5.4: Nastavení modulu měření otáček

5.1.4 Modul GPO

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

Adresa	0x31
--------	------

Tabulka 5.5: Nastavení parametrů sběrnice I2C

5.1.5 Moduly AD převodníků

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

Modul ADC přední nápravy

Adresa	0x22
Vstupní dělič	odpojen
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.6: Nastavení parametrů ADC pro snímání natočení

Modul ADC pro měření napětí ve větvi 5 V

Adresa	0x01
Vstupní dělič	1:5
Referenční napětí	1,235 V

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

Modul ADC pro akumulátor elektroniky

Adresa	0x02
Vstupní dělič	1:15
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.8: Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na akumul. el.

Modul ADC pro výkonový akumulátor

Adresa	0x03
Vstupní dělič	1:15
Referenční napětí	1,235 V

Tabulka 5.9: Nastavení parametrů ADC pro snímání napětí na výk. akum.

5.2 Spotřeba modulů

Spotřeba modulů je u mobilního robota důležitým parametrem. Proto bylo provedeno přibližné měření spotřeby jednotlivých modulů. Spotřeba modulů není stálá. Liší se v závislosti na počtu svítících/blikajících LED a také na vytíženosti mikrokontroléru v každém modulu. Proto jsou naměřené hodnoty zaokrouhleny na vyšší hodnotu, aby se získaly hodnoty maximální spotřeby. Získané odhadnuté maximální hodnoty spotřeby jsou uvedeny v tabulce 5.10.

Modul	Spotřeba [mA]	Počet kusů
Modul řízení	50	1
Modul PWM	80	3
Modul ADC	40	4
LED půl-mostů	10	1
Modul GPO	30	1
LED panel	70	1
Celkem	560	12

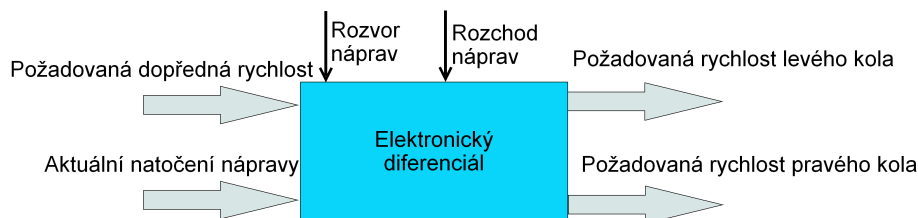
Tabulka 5.10: Maximální spotřeba modulů z napájení 5 V

Přibližná hodnota účinnosti zdroje je 72 % při uvažovaném výstupním proudu. Tedy spotřeba řídicí elektroniky z akumulátoru elektroniky činí 330 mA. Uvedenou hodnotu lze výrazně snížit při odpojení LED panelu, při odpojení modulů AD převodníku pro snímání vnitřních napětí a při zakázání indikace stavů jednotlivých modulů pomocí indikačních led na zbylých modulech. Při provedení uvedených opatření se teoreticky sníží odběr z akumulátoru na hodnotu 170 mA.

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 obrázku 6.1. Potřebnými vstupy jsou požadovaná dopředná rychlost podvozku a aktuální natočení přední nápravy. Nezbytnými konstantami pro správnou funkci elektronického diferenciálu jsou parametry podvozku - rozvor náprav (vzdálenost os přední a zadní nápravy) a rozchod náprav (vzdálenost středů otisků pneumatik jedné nápravy). Výstupy tvoří vypočítané požadované rychlosti jednotlivých zadních kol, které jsou následně přiváděny do jednotlivých regulátorů motorů.



Obrázek 6.1: Blokové schéma elektronického diferenciálu

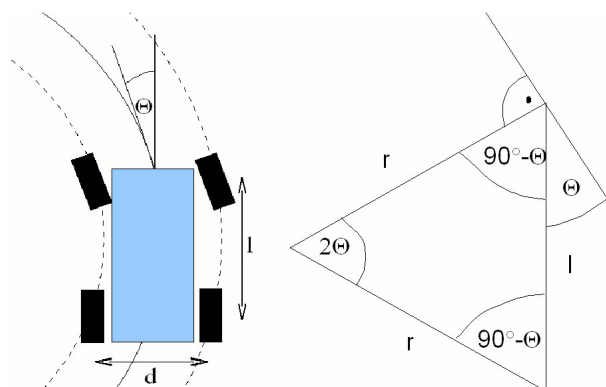
6.1.1 Matematický model

Pro vytvoření elektronického diferenciálu je nutné 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 (úhel natočení přední nápravy a aktuální rychlosti zadních hnáných kol) byl vytvořen pouze jednoduchý kinematický model Ackermannova podvozku se čtyřmi koly, řiditelnou přední nápravou a dvěma nezávisle hnánými zadními koly. Základní předpoklady pro vytvoření kinematického modelu tvoří nemožnost smyku a prokluzu kol.

Pomocí nákresu na obrázku 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. Výsledný vztah je uveden:

$$v_{1,2} = v \cdot \left(1 \pm \frac{d \cdot \sin(2 \cdot \phi)}{2 \cdot l \cdot \cos \phi} \right) \quad (6.1)$$



Obrázek 6.2: Matematický model podvozku pro výpočet el. diferenciálu

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

6.1.2 Požadavky realizace

Elektronický diferenciál je nutné realizovat v mikrokontroléru. Pro možnost implementování funkce elektronického diferenciálu je nutné snížit jeho výpočetní náročnost. Zásadní problém se nachází ve výpočetní náročnosti goniometrických funkcí sinu a cosinu a jejich následném podílu. Z tohoto důvodu je nutné provést zjednodušení.

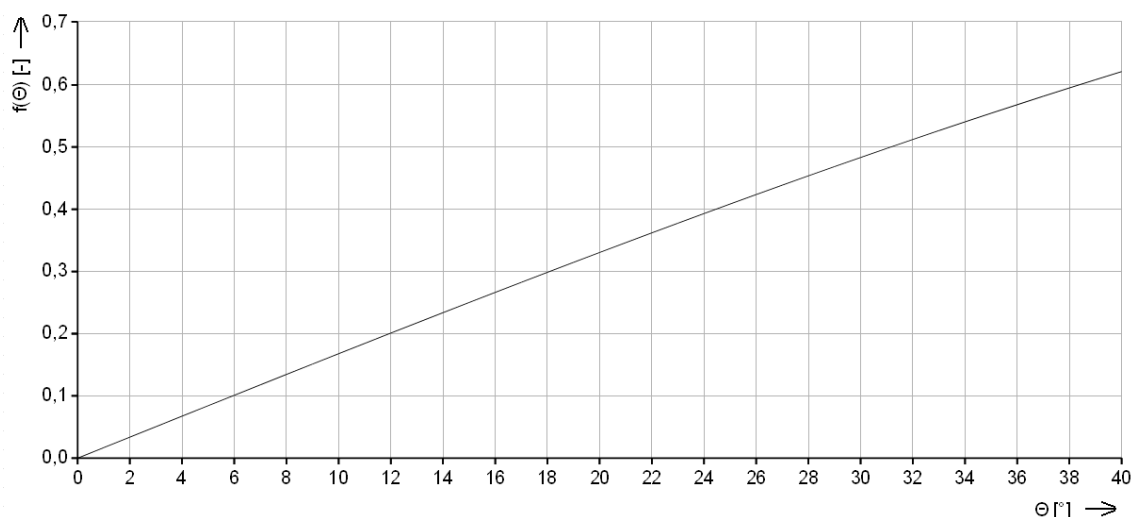
Existují dvě základní varianty řešení uvedeného problému. První variantou je vytvoření předem vypočítané tabulky s určitým krokem. Tento způsob je náročný na kapacitu paměti mikrokontroléru v závislosti na zvoleném kroku, ale klade minimální požadavky na výpočetní výkon. Druhou možností řešení lze provést pomocí vhodné aproximace. Výhodou je minimální potřeba paměti. Nevýhodou je náročnější 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 nápravy a vzdálenosti náprav dosazeno ($d = 0,58 \text{ m}$, $l = 0,6 \text{ m}$). Obrázek 6.3 graficky znázorňuje průběh funkce, kterou je třeba aproximovat. Z jejího průběhu lze nejlépe určit vhodnou aproximační funkci. Jako nejvhodnější se jeví aproximace pomocí polynomu prvního nebo druhého stupně.

$$f(x) = \frac{0,58 \cdot \sin(2 \cdot \phi)}{2 \cdot 0,6 \cdot \cos \phi} \quad (6.2)$$



Obrázek 6.3: Průběh funkce $f(x)$

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

$$f(x) = 0,010419 + 0,015643 \cdot x \quad (6.3)$$

a pro polynom druhého řádu:

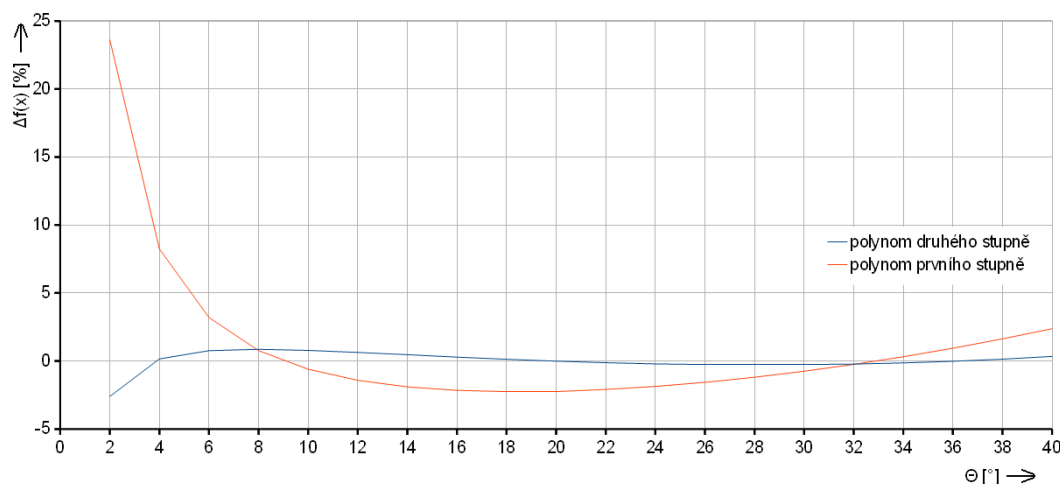
$$f(x) = -0,00221985 + 0,017638684 \cdot x - 0,0000499 \cdot x^2 \quad (6.4)$$

Pro porovnání kvality aproximace existuje více parametrů. Nejpoužívanější 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 obrázku 6.4. Z grafu je patrné, že při aproximaci polynomem prvního stupně jsou odchylky příliš velké. Polynom druhého stupně má odchylky dostatečně malé, proto je vhodné jej použít.

Jako další hodnotící parametr kvality aproximace lze použít sumu kvadrátů absolutních odchylek nebo maximální relativní chybu ve sledovaném rozsahu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 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 využitím náhrady části funkce pomocí polynomu druhého stupně. Výsledný vzorec má tvar:

$$v_{outside}(\Theta) = v \cdot (1 - 0,00221985 + 0,017638684 \cdot \Theta - 0,0000499 \cdot \Theta^2) \quad (6.5)$$

$$v_{inside}(\Theta) = v \cdot (1 + 0,00221985 - 0,017638684 \cdot \Theta + 0,0000499 \cdot \Theta^2) \quad (6.6)$$

Výsledný vzorec obsahuje pouze sčítání, násobení a umocnění, které nejsou příliš výpočetně náročné při dodržení malé odchylky náhrady od původní funkce. Celý algoritmus je implementován pomocí jedné podmínky pro rozlišení směru zatáčení. Pro omezení chyby vzniklé při malých hodnotách úhlu natočení je zakázáno využívání elektronického diferenciálu pro hodnoty natočení menší než 1° . Následně jdou tyto přepočítané rychlosti poslány 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 půlmostu a modul AD převodníku.

Jako regulátor byl vybrán proporcionální regulátor s hysterezí. Hystereze byla využita pro snížení namáhání motoru přední nápravy a následných převodů. Sumační složka v regulátoru není potřeba z důvodu integrace na akčním členu, kterým je motor se šnekovým a hřebenovým převodem.

Vlastní regulátor má nastavené zesílení na 20. Minimální hodnotu akčního zásahu na 160 mimo meze hystereze a hysterezi na hodnotu $\pm 0,8^\circ$. Vstup regulátoru je rozdíl požadovaného úhel natočení přední nápravy a skutečného. Výstupem regulátoru je výkon v rozsahu 0 až 255.

6.2.1 Parametry snímače natočení

Ze známé hodnoty odporu snímacího potenciometru ($1\text{ k}\Omega$) a rozsahu natočení potenciometru (360°) lze vypočítat změnu odporu na úhel natočení. Při pevném napájecím napětí (5 V) a tedy je možné určit změnu napětí na stupeň ($0,0138888\text{ V}/^\circ$). Dále z parametrů převodníku, které jsou referenční napětí $1,235\text{ V}$ a rozlišitelnost 12 bitů je možné zjistit rozlišitelnost převodníku ($0,00030514\text{ V/digit}$). Z rozlišitelnosti převodníku a citlivosti potenciometru jde získat výsledný vztah rozlišitelnosti snímače. Ta byla stanovena na $0,02197^\circ/\text{digit}$.

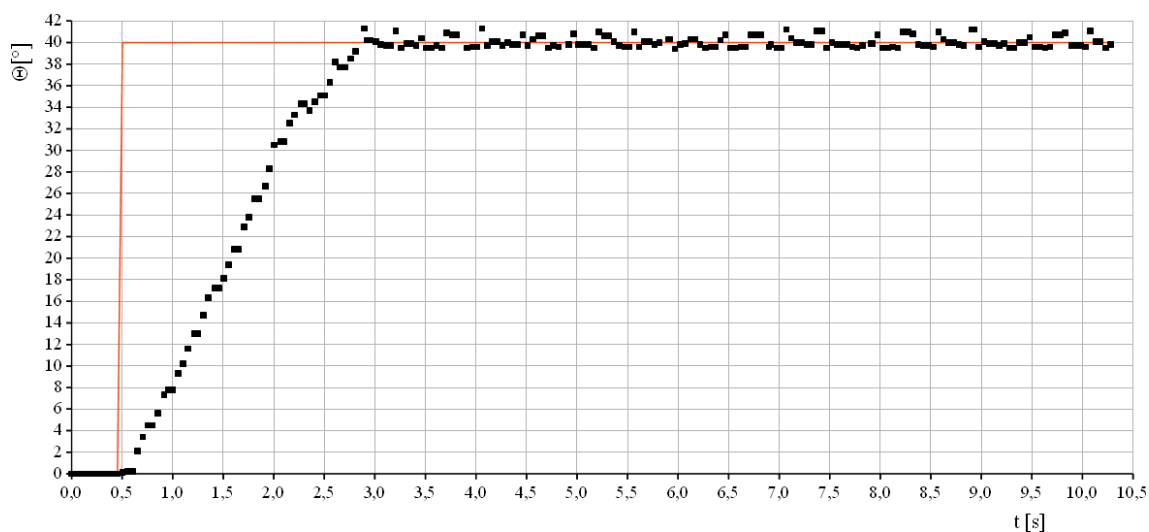
Celková chyba linearit y snímače je dána jako součet chyby linearit y převodníku a snímacího potenciometru. Maximální nelinearita převodníku při daném referenčním napětí nepřesahuje dva digity ($0,05\%$). Po přepočtu na nelinearitu ve stupních je chyba maximálně $0,04394^\circ$. Maximální nelinearita potenciometru je $\pm 0,3\%$. Po přepočtu přes určení chyby nelinearity byla získána hodnota $3\text{ }\Omega$. Po přepočtu na napětí jde o hodnotu $0,015\text{ V}$. Výsledná nelinearita potenciometru je $1,08^\circ$. Po sečtení hodnot dostáváme celkovou maximální nelinearitu snímače $1,15^\circ$.

6.2.2 Měření regulátoru

Základním parametrem pro posuzování kvality regulátoru je přechodová charakteristika, která byla změřena skokovou změnou z nulového natočení na maximální natočení 40° (při měření nebyl robot v pohybu). Proto se jedná o nejhorší variantu, která může nastat. Změřená charakteristika je uvedena na obrázku 6.5, kde červená barva značí průběh žádané hodnoty a černé body znázorňují změřené natočení.

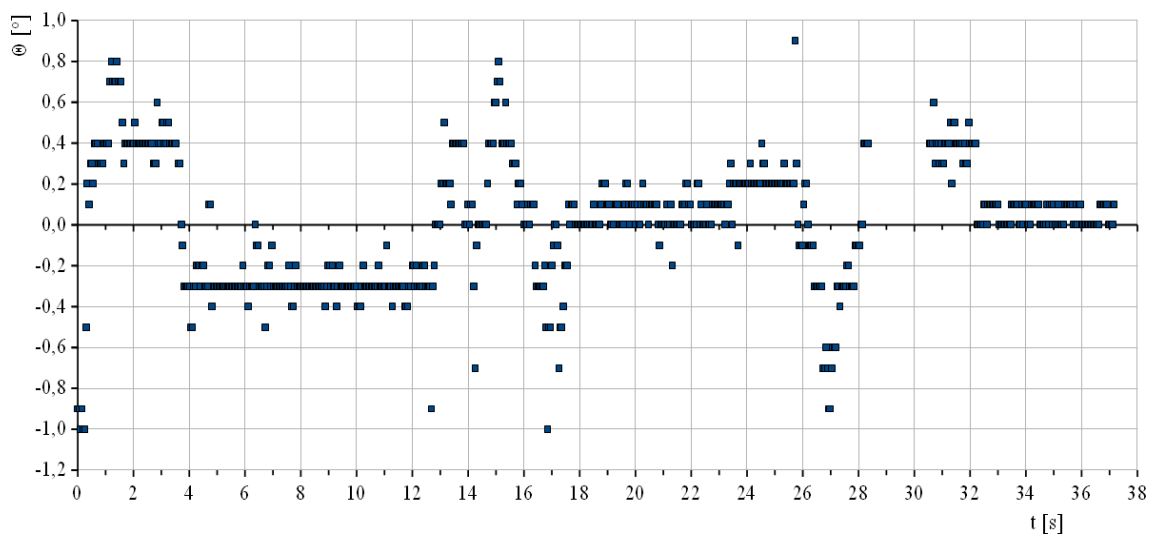
Z této charakteristiky je možné vyčíst, že se jedná o téměř lineární průběh. Doba dosažení požadované hodnoty se tedy liší v závislosti na velikosti skoku. To je způsobeno konečnou velikostí akčního zásahu. Strmost charakteristiky je $18,2^\circ/\text{s}$. Přechod z 0 do 40° trval $2,4\text{ s}$.

Jako další hodnotící charakteristika byla zvolena schopnost udržet požadované natočení 0° při jízdě rychlostí jednoho metru za sekundu po nerovném chodníku



Obrázek 6.5: Přechodová charakteristika přední nápravy

z kachliček. Změřená závislost je uvedena na obrázku 6.6.



Obrázek 6.6: Vliv působení poruchy při jízdě

Z charakteristiky je patrná kvantizace informace o úhlu natočení přední nápravy. Kvantizace je způsobena stylem posílání informací nadřazenému počítači. Vnitřní informace o natočení používané pro regulaci mají rozlišitelnost vyšší a to $0,02197^\circ$. Z provedeného měření je patrné, že zvolená hystereze regulátoru způsobuje minimalizaci akčního zásahu a tím i spotřeby. To vyplývá z dostatečné tuhosti převodu přední nápravy a zároveň velké vůle v převodech.

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, které jsou výstupem elektronického diferenciálu.

6.3.1 Model soustavy

Pro přibližné nastavení regulátorů motorů zadní nápravy je výhodné znát alespoň přibližný model regulovaných motorů společně spojených s převodovkou a koly. Pro simulování chování soustavy byl zvolen za simulační prostředek program Matlab ve verzi 2009.

Druh modelu byl zvolen vstupně výstupní. Jde o jednoduchý model, ale pro následný návrh regulátoru dostačující. Cílem modelu je postihnout základní vlastnosti soustavy.

Nejprve je nutné zjistit rozsah vstupních a výstupních hodnot soustavy. Vstupní hodnoty jsou omezeny na rozsah -255 až 255 pro výkon. Výstupní hodnoty soustavy jsou zprostředkovány snímači otáček. Ty nejsou schopny rozpoznat směr otáčení ale pouze jejich absolutní velikost. Informace o rychlosti jsou zaokrouhleny na celá čísla s převodem, kde hodnota 10 000 odpovídá rychlosti 1 m/s.

Pro získání potřebných dat byla vytvořena sada testovacích postupů, které mají za úkol zjistit základní závislost vstupu a výstupu. První pokus byl zaměřen na maximální hodnotu výstupu ze soustavy. Proto byl do motorů posílán maximální výkon. Po ustálení byla hodnota přibližně 16 000 (1,6 m/s). Hodnota se liší v závislosti na směru otáčení a maximální otáčky nejsou stálé, ale mírně se mění v závislosti na napětí akumulátorů.

Dalším důležitým parametrem je hodnota výkonu, od které se začnou točit kola. Tato hodnota byla testována pomocí několikanásobného opakování postupného narůstání výkonu oddělených nulovým výkonem po delší dobu. Byla zaznamenána hodnota, při které se kola začaly otáčet. Zjištěná hodnota byla zaokrouhlena na 160 pro získání jistoty rozjezdu motorů i při změně podmínek rozjezdu.

Dalším zajímavým parametrem je hodnota, při níž se roztočená kola zastaví. Postup experimentu byl jednoduchý. Roztočeným kolům se postupně pomalu ubíral výkon a zaznamenaly se hodnoty výkonu, při kterých se kolo zastaví. Tímto způsobem byl zjištěná hodnota zaokrouhlena na výkon 80.

Po zjištění základních parametrů soustavy byl sestaven model obsahující nelinearity typu pásmo necitlivosti s hodnotou necitlivosti 80. V pásmu je zahrnuta nutnost překonání statického tření hodnotou výkonu 160. Další část je nahrazena lineární závislostí se zesílením vypočteným pomocí rovnice. Jeho hodnota je přibližně 91,4.

$$K_s = \frac{V_{max}}{U_{max} - U_0} \quad (6.7)$$

$$K_s = \frac{16000}{255 - 80} \quad (6.8)$$

$$K_s = \underline{\underline{91,4}} \quad (6.9)$$

6.3.2 Návrh regulátoru

Návrh regulátoru probíhal v simulačním prostředí Matlab, ve kterém byl navržen model soustavy. Nejprve bylo nutné namodelovat nasycení výstupu regulátoru s konstantní hodnotou 255. Do regulátoru byla zahrnuta nepřesnost měření výstupu ze soustavy, jež spočívá v zaokrouhlování soustavy na celá čísla při převodu (hodnota 10 000 odpovídá rychlosti 1 m/s), a nemožnost rozpoznání směru otáčení.

Navržený regulátor je v základu tvořen SP (sumačně-proporcionálním) regulátorem, který je doplněn o několik prvků, které zajišťují kvalitnější regulaci. Prvním vylepšením je omezení přeintegrování (anti-wind up) výstupu zakázáním integrování při maximálním výstupu regulátoru. Dané vylepšení se projeví v rychlé reakci regulátoru při změně žádané hodnoty z hodnoty, která je soustavou nedosažitelná.

Druhé vylepšení spočívá v posílání hodnoty 170 při požadavku na nenulovou rychlost a zároveň při výstupu ze soustavy, která je téměř nulová (menší než 10). Díky tomuto vylepšení dojde k rychlému rozjezdu bez výrazného překmitu, jež by nastal při překonání statického tření.

Třetí vylepšení spočívá v omezení pásma necitlivosti soustavy. To je omezeno přídatnou podmínkou zajišťující nastavení minimální výstupní hodnoty regulátoru na 75.

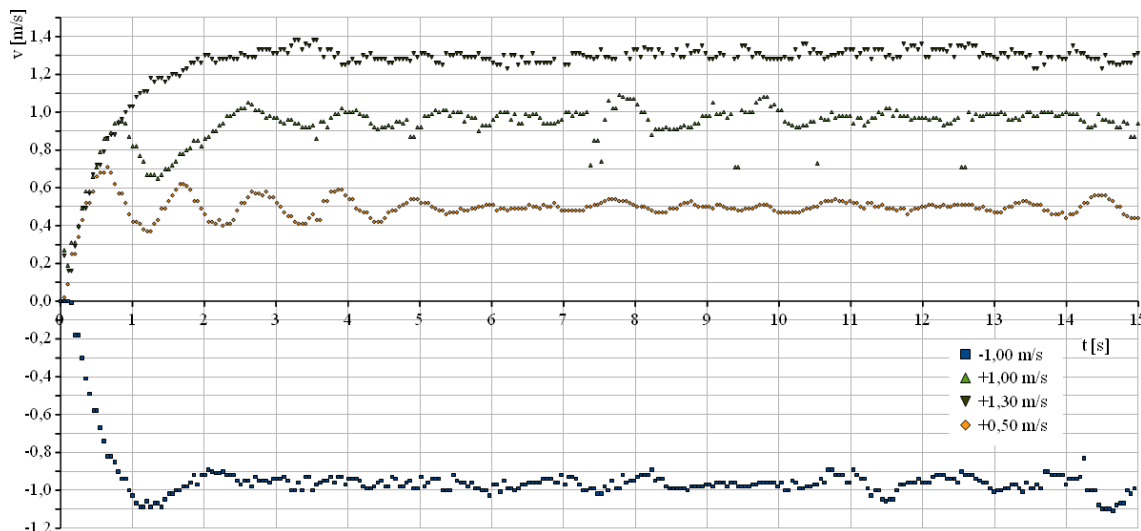
Poslední odlišnost oproti klasickému SP regulátoru spočívá v tom, že při změně požadované rychlosti procházející nulou nejprve dojde k zastavení při posílání nulového výkonu a po zastavení dojde k následnému rozjezdu do druhého směru. Tato úprava je udělána z důvodu šetření převodovek a motorů a pro správnou regulaci, kterou není snadné udělat při znalosti pouze absolutní velikosti otáčení.

Jako poslední bylo provedeno nastavení konstant SP regulátoru. Jako optimální hodnoty pro model soustavy se jeví sumační konstanta 0,0045 a proporcionální konstanta 0,009 (vzhledem k minimálnímu překmitu a malé změně akční veličiny při skokové změně žádané rychlosti).

6.3.3 Měření regulátorů zadní nápravy

Měření regulátorů zadní nápravy probíhalo na nerovném dlážděném chodníku, který způsoboval velké poruchy v zatížení motorů. Z důvodu nelineárního systému byly změřeny odezvy na skokové řízení pro více rychlostí. V grafu není zakreslen skok

požadované hodnoty. Skok proběhl v čase 0 s na hodnotu uvedenou v legendě grafu. Změřené charakteristiky jsou uvedeny na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7: Přechodové charakteristiky motorů zadní nápravy

Z charakteristik je patrné, že pro malé rychlosti je uzavřená smyčka poměrně kmitavá. Pro rychlosti kolem 1 m/s je překmit minimální a pro vyšší rychlosti překmit úplně mizí. Charakteristika byla změřena pomocí vestavěného snímače rychlosti, který má pro rychlosti kolem 1,5 m/s nejistotu měření 0,1 m/s. To je další důvod možného zvlnění charakteristik. Z průběhů měření přechodových charakteristik lze vidět, že regulátor má nulovou ustálenou odchylku a doba ustálení je pro vyšší rychlosti přibližně 2 s.

ZÁVĚR

Úvodní část práce byla věnována používaným kolovým podvozkům. Následnou selekcí vzhledem ke složitosti konstrukce jsou vybrány dva čtyřkolové podvozky s rozdílným řízením. Jde 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. Optimalizace rozměrů je provedena využitím návrhového programu Inventor, ve kterém byl podvozek navrhnut, a ve kterém byly obsaženy všechny hlavní komponenty.

Začátek elektronické části se zabýval uspořádáním výkonového vedení a výhodami použití dvojice nezávislých akumulátorů pro oddělené napájení motorů a elektroniky. Hlavní výhodou navrhovaného řešení je minimalizace průniku rušení motorů do řídicí elektroniky. Následoval popis zadního panelu robotu, který byl realizován pro dodržení požadavku na jednoduché ovládání a přehlednost.

Dále byl uveden popis komunikačních protokolů. Jednalo se o protokol použitý při komunikaci s PC realizovaný přes sériovou linku. Ten je koncipován jako znakový. Druhý použitý protokol obsahuje zprávy používané při komunikaci mezi modulem řízení a ostatními moduly. Tato komunikace využívá dvojici sběrnic. Pro ovládání motorů byla využita sběrnice SPI a pro ostatní moduly byla využita sběrnice I2C. Stručné vyjmenování všech zpráv pro sériovou linku je uvedeno v příloze C.

Následná část se věnovala realizovaným druhům modulů. Byly sestrojeny tři standardy pro rozměry desek plošných spojů. Nejdůležitější je standard pro zařízení komunikující na sběrnici I2C jako slave zařízení. Tyto moduly mají v robotu majoritní zastoupení. Při stejných rozměrech, shodném umístění montážních otvorů a základních portů je jejich upevnění jednoduché. V robotu byly využity moduly - řízení, ovládání motorů, optických snímačů rychlosti, analogově-digitálních převodníků, půl-mostů a modul výkonových výstupů.

Pro každý modul byl uveden popis zapojení, popis funkce, popis programu a naměřené hodnoty. Modul řízení obstarává komunikaci s nadřazeným PC, vypočítává elektronický diferenciál, obsahuje regulátory motorů, ovládá podřízené moduly a stará se o indikaci stavů na zadním panelu. Modul optických snímačů rychlosti nezávisle snímá rychlosti zadních hnaných kol. Při výpočtu rychlosti využívá měření doby mezi jednotlivými impulzy. Modul ovládání motorů je složen z mikrokontroléru, který se stará o přijímání zpráv a následně posílá příslušné signály přes optočleny do dvojice driverů polovičního mostu. Výkonová část je tvořena čtveřicí unipolárních tranzistorů s N-kanálem. Modul analogově-digitálního převodníku s rozlišením třinácti bitů má nastavitelné rozsahy prostřednictvím před děliče a změny referenčního napětí. Modul

půl-mostů slouží pro snadné nastavení středové polohy přední nápravy pomocí dvaceti otáčkového trimru. Modul výkonových výstupů je použit pro spínání akustického případně optického výstražného znamení, které bylo požadováno na soutěži.

Posledním realizovaným zapojením byl DC-DC měnič pro převod napětí akumulátoru na 5 V s maximálním výstupním proudem 3 A. Z měření vyplývá, že při odběru v okolí pracovního bodu 0,2 - 0,8 A má účinnost přes 70 %. Do odběru 2 A je použitý chladič dostatečný.

V práci byl uveden způsob propojení jednotlivých modulů v robotu a závislost funkčnosti modulů na provozuschopnost robotu. Robot sám je schopen detekovat nepřítomnost nezbytných modulů a samostatně přejít do režimu Total stop, který zahrnuje zastavení motorů pro minimalizaci škod. Dále je implementována kontrola posílání zpráv přes sběrnici z nadřazeného počítače. Při zastavení komunikace se za dobu 1 s robot automaticky zastaví a čeká na příchod další zprávy. Tímto způsobem je kontrolována správná funkce nadřazeného algoritmu.

Z měření byla určena spotřeba jednotlivých modulů a také celková spotřeba. Odebíraný proud elektroniky činí přibližně 560 mA, to při napájecím napětí 5 V dává výkon 2,6 W. Příkon odebíraný z akumulátorů je přibližně 3,9 W. Tato hodnota je přiměřená pro moduly, které obsahují indikační LED pro rozpoznání chybových stavů.

Jedna z posledních kapitol byla zaměřena na popis způsobu realizace elektronického diferenciálu a implementace v mikrokontroléru, kdy se goniometrické funkce nahradily polynomem druhého řádu pro snížení výpočetní náročnosti. Tímto řešením nevznikla chyba větší než 2,6 %.

Následoval popis regulátoru motoru přední nápravy a regulátoru motorů zadní nápravy pro řízení podvozku robotu. Ty byly realizovány jako diskrétní s konstantní dobou vzorkování 58 ms. Regulátor motoru přední nápravy byl realizován jako proporcionální s hysterezí pro omezení opotřebení mechanických částí a šetření energie akumulátorů. Dále obsahoval nenulový minimální zásah mimo pásmo hystereze pro překonání tření.

Poslední realizovaný regulátor se týkal motorů zadní nápravy. Regulátor byl navržen jako proporcionálně sumační. Regulátor obsahuje omezení integrační složky pro omezení wind-up jevu. Pro rychlý rozjezd nenulový minimální akční zásah.

Pro představení kvalit regulace jsou zobrazeny grafy přechodových charakteristik. Jedná se o uložené hodnoty z logovacího souboru nadřazeného počítače. V měření je přítomna poruchová veličina vlivu okolí i nejistota sestavených snímačů. Z naměřených hodnot lze ohodnotit regulátory. Regulátor přední nápravy má rychlost posunu přibližně 18 °/s s téměř lineární přechodovou charakteristikou. Doba ustálení motorů zadní nápravy je přibližně 2 s. Tyto hodnoty jsou dostatečné pro požadované použití.

Zátěžový test byl proveden na soutěži Robotour 2009, kde robot získal 7 místo. Při soutěži nedošlo k poškození žádného modulu ani zatuhnutí programů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [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] KÁRNÍK L. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ*. [online]. [cit. 2009-10-15].
Dostupný z: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm>
- [4] VRBA K. *Konstrukce elektronických zařízení*. [online]. Elektronická skripta
- [5] PIVOŇKA, P. *Číslicová řídicí technika*. VUT Brno, 2003, 151s. Elektronická skripta
- [6] BLAHA P. Přednášky předmětu: Modelování a identifikace [online]. c2009 [cit.2010-01-25]. Dostupný z: <<http://sites.google.com/site/modelovaniidentifikasi/prednasky>>
- [7] ŠOLC, F.; ŽALUD, L. *Robotika*. VUT Brno, 2006, 144s. Elektronická skripta
- [8] VAVŘÍN, P. *Teorie dynamických systémů*. VUT Brno, 1989, 177s. Skripta
- [9] BEJČEK, L. *Snímače neelektrických veličin*. VUT Brno, 2009, 212 s.
- [10] RF Design Guidelines : PCB Layout and Circuit Optimization [online]. c2006 [cit.2009-08-05]. Dostupný z: <http://www.semtech.com/images/datasheet/rf_design_guidelines_semtech.pdf>
- [11] Atmel, ATmega32 datasheet [online]. c2008, poslední revize 2503N-AVR-06/08 [cit.2008-05-20].
Dostupný z: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8155.pdf>
- [12] Atmel, ATmega8 datasheet [online]. c2006, poslední revize 2486Q-AVR-10/06 [cit.2009-02-05].
Dostupný z: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8159.pdf>
- [13] I2C-bus specification and user manual [online]. c2007, poslední revize Rev. 03-19 June 2007 [cit.2009-01-25].
Dostupný z: <http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf>

- [14] ON semiconductor, MC33166 datasheet [online]. c2005, poslední revize October, 2005-Rev. 7 [cit.2009-02-05].
Dostupný z: <<http://www.onsemi.com/pub.link/Collateral/MC34166-D.PDF>>
- [15] Fairchild Semiconductor, H11L datasheet [online]. c2006, poslední revize 1.0.3 [cit.2008-11-15].
Dostupný z: <<http://www.fairchildsemi.com/ds/H1/H11L2-M.pdf>>
- [16] Linear Technology, LT1162 datasheet [online]. c1995, poslední revize B [cit.2008-10-15].
Dostupný z: <<http://cds.linear.com/docs/Datasheet/11602fb.pdf>>
- [17] IRF, IRF3205 datasheet [online]. c2001, poslední revize PD-91279E [cit.2008-10-05].
Dostupný z: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irf3205.pdf>>
- [18] Nuvotem Talema, Tlumivky DP datasheet [online]. c2007, poslední revize DP Feb-07 [cit.2009-05-05]. Dostupný z:
<<http://www.talema-nuvotem.com/en/products/pdf/DP%20Feb-07.pdf>>
- [19] TSC, SK54C datasheet [online]. c2007, poslední revize E08 [cit.2009-05-05].
Dostupný z:
<http://www.ts.com.tw/db/pictures/modules/PDT/PDT060207001/SK52C_E08.pdf>
- [20] Microchip, MCP3301 datasheet [online]. c2007, poslední revize DS21700C [cit.2008-10-15].
Dostupný z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21700C.pdf>>
- [21] National Semiconductor, LM385D-1,2 datasheet [online]. c2000, poslední revize DS005518 [cit.2008-10-15].
Dostupný z: <<http://www.national.com/ds/LM/LM185-ADJ.pdf#page=1>>
- [22] Texas Instruments, ULN2803 datasheet [online]. c2009, poslední revize SLRS049E [cit.2008-10-15].
Dostupný z: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AD analogově číslicový (Analog Digital)

ADC analogově digitální převodník (Analog Digital Convertor)

ATX formát základních desek (Advanced Technology Extended)

DDOF diferenční stupně volnosti (Differential Degrees Of Freedom)

DPS deska plošných spojů

GPS družicový lokalizační systém (Global Positioning System)

HW fyzické vybavení (Hardware)

I²C sériová sběrnice (Inter-Integrated Circuit)

LED svítivá dioda (Light Emitting Diode)

PC osobní počítač (Personal Computer)

PWM pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)

SP sumačně proporcionální (např. SP regulátor)

SPI sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)

SW programové vybavení (Software)

USB univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)

v_{inside} rychlost kola blíže středu otáčení

v_{outside} rychlost kola dále od středu otáčení

SEZNAM PŘÍLOH

A	Definice standardů DPS	79
A.1	Standard 0	79
A.1.1	Rozměry desky	79
A.1.2	Pozice montážních děr M3	79
A.2	Standard 1	79
A.2.1	Rozměry desky	79
A.2.2	Pozice montážních děr M3	79
A.3	Standard 2	80
A.3.1	Rozměry desky	80
A.3.2	Pozice montážních děr M3	80
B	Realizované DPS	81
B.1	Modul řízení	81
B.1.1	Rozměry desky	81
B.1.2	Seznam součástek	83
B.2	Modul řízení motorů	84
B.2.1	Rozměry desky	84
B.2.2	Seznam součástek	86
B.3	Modul AD převodníků	87
B.3.1	Rozměry desky	87
B.3.2	Seznam součástek	89
B.4	Modul optických snímačů otáček	90
B.4.1	Rozměry desky	90
B.4.2	Seznam součástek	92
B.5	Modul půl mostů	93
B.5.1	Rozměry desky	93
B.5.2	Seznam součástek	94
B.6	Modul GPO	95
B.6.1	Rozměry desky	95
B.6.2	Seznam součástek	97
B.7	DC-DC zdroj 5 V	98
B.7.1	Rozměry desky	98
B.7.2	Seznam součástek	100
C	Realizované zprávy na RS–232	101
D	Přiložené CD	102

A DEFINICE STANDARDŮ DPS

A.1 Standard 0

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

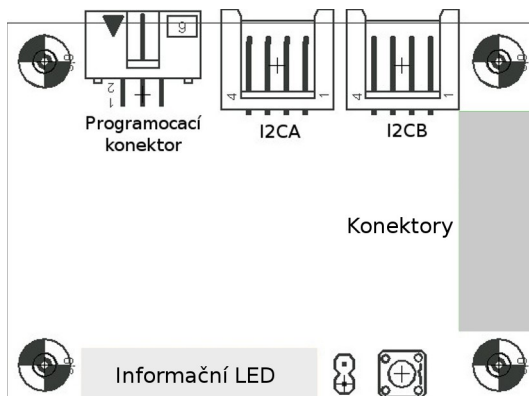
A.2.1 Rozměry desky

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.1: Vzhled standardu 2 v měřítku 1:1

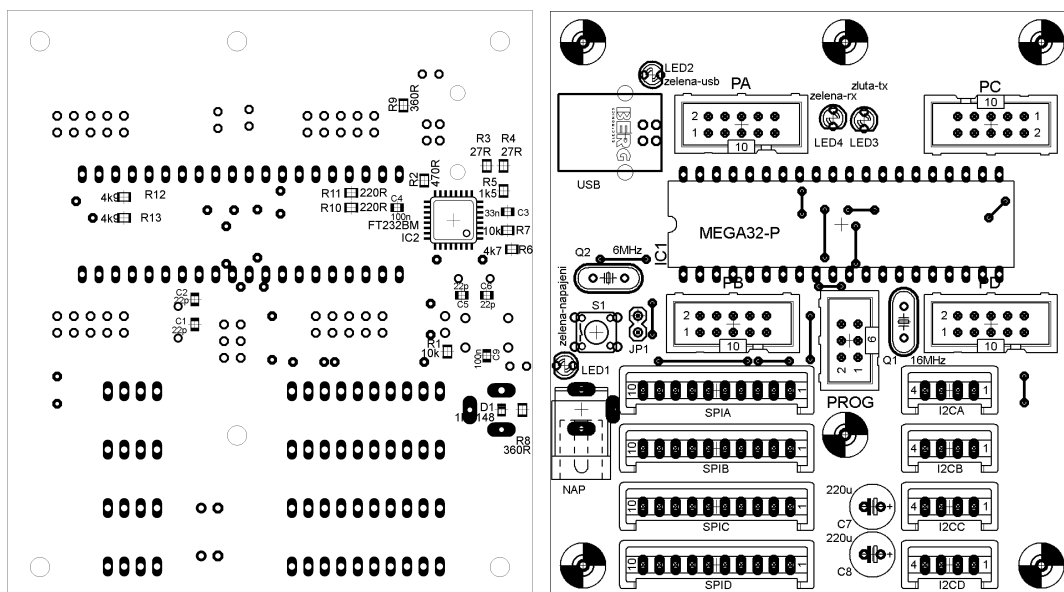
A.3.1 Rozměry desky

70 x 50 mm

A.3.2 Pozice montážních děr M3

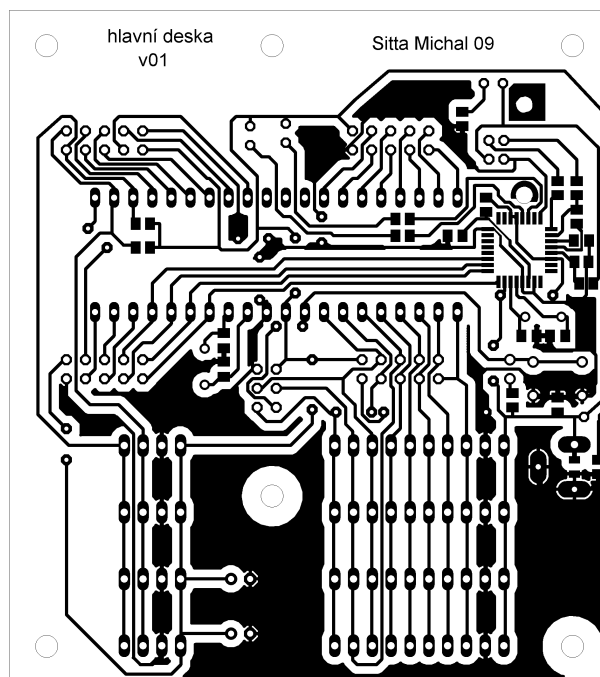
1. x: 5 mm, y: 5 mm
2. x: 65 mm, y: 5 mm
3. x: 5 mm, y: 45 mm
4. x: 65 mm, y: 45 mm

80 x 90 mm



Obrázek B.2: Osazovací výkres spodní strana modulu řízení

Obrázek B.3: Osazovací výkres horní strana modulu řízení



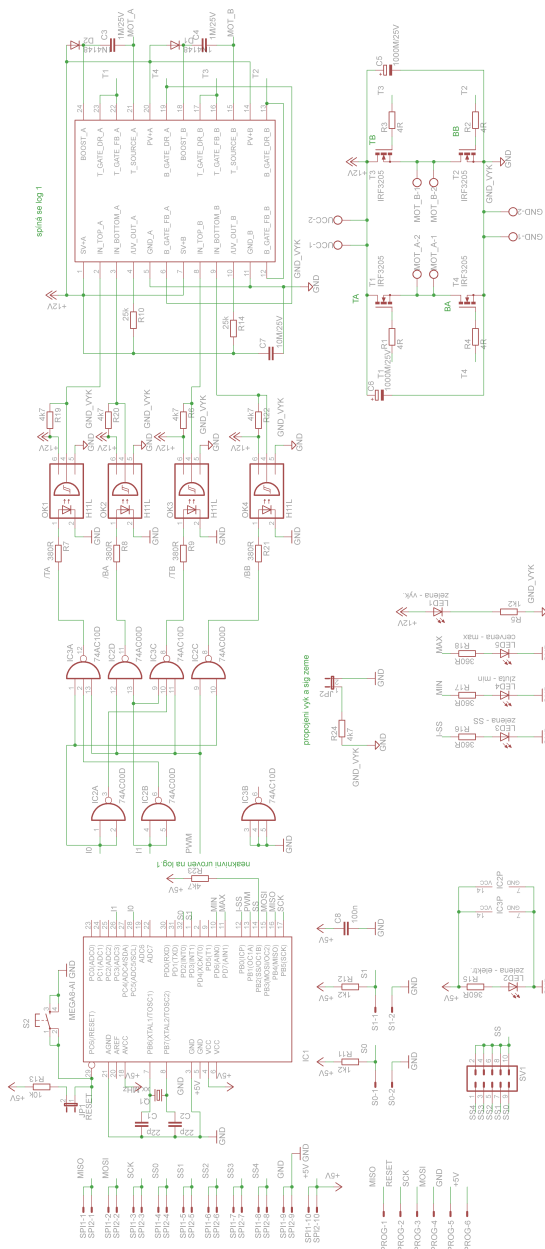
Obrázek B.4: Strana spojů modulu řízení

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

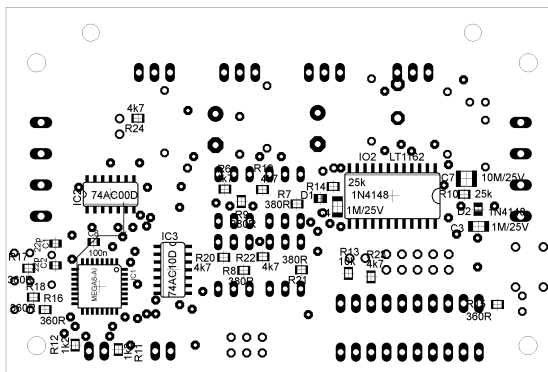
B.2 Modul řízení motorů



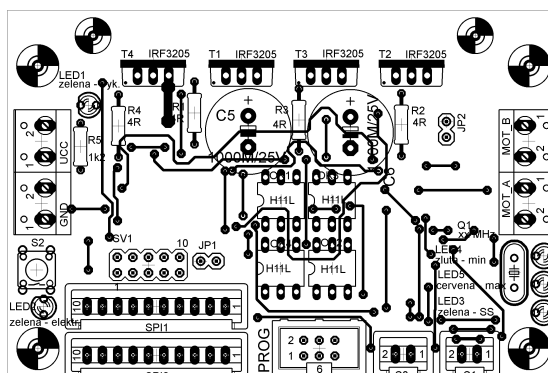
Obrázek B.5: Schéma modulu řízení motorů

B.2.1 Rozměry desky

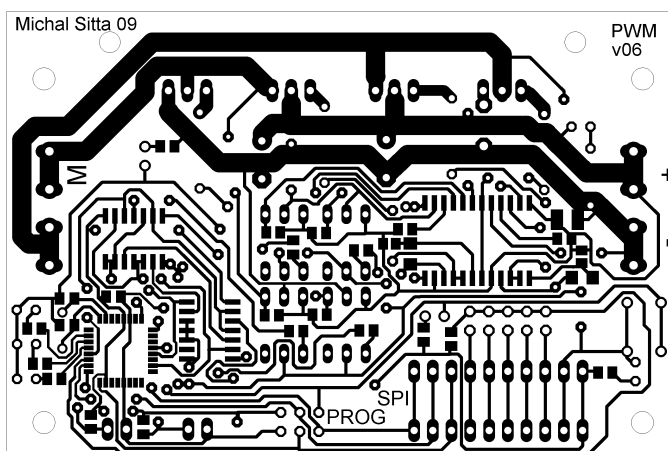
90 x 60 mm



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



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



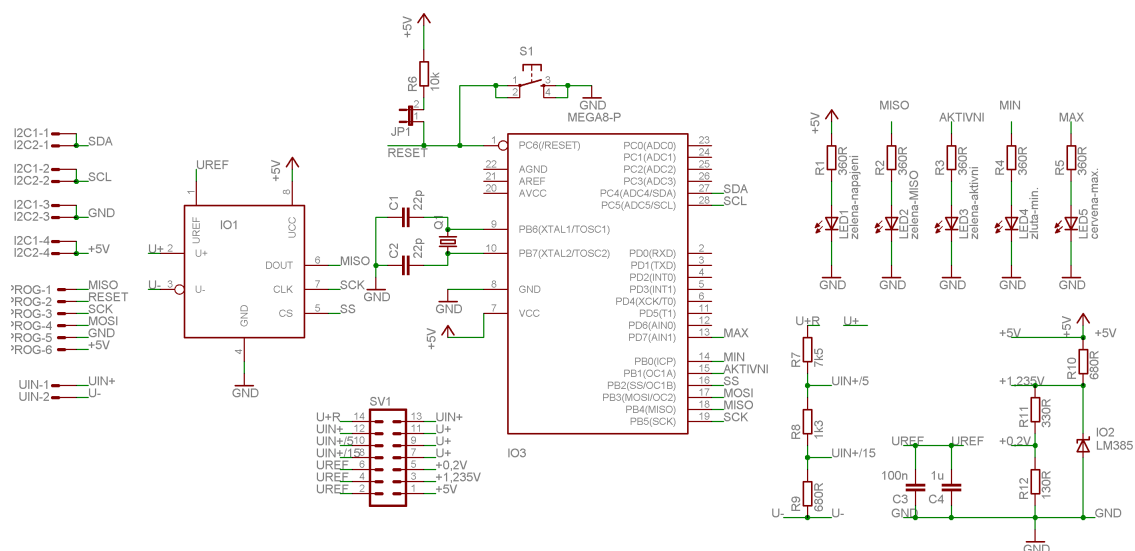
Obrázek B.8: Strana spojů modulu řízení

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

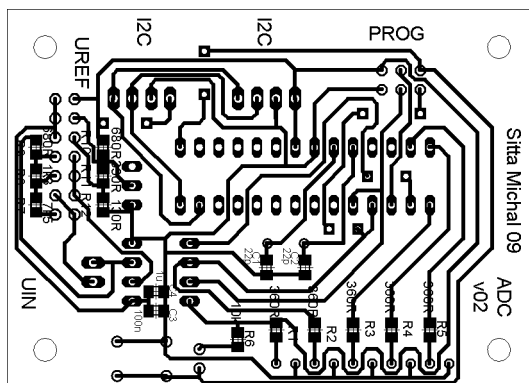
B.3 Modul AD převodníků



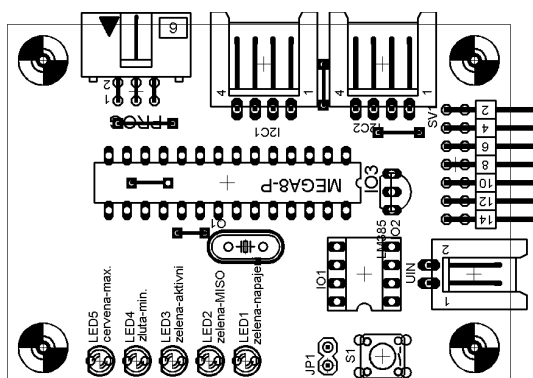
Obrázek B.9: Schéma modulu AD převodníků

B.3.1 Rozměry desky

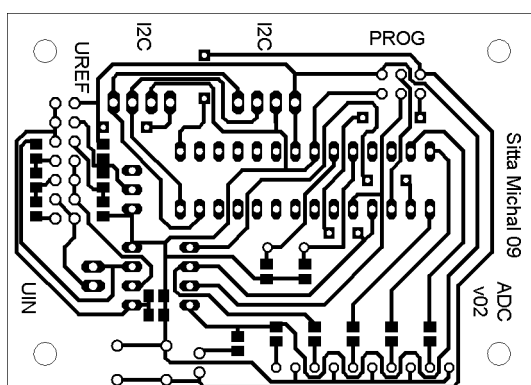
70 x 50 mm



Obrázek B.10: Osazovací výkres spodní strana modulu ADC



Obrázek B.11: Osazovací výkres horní strana modulu ADC



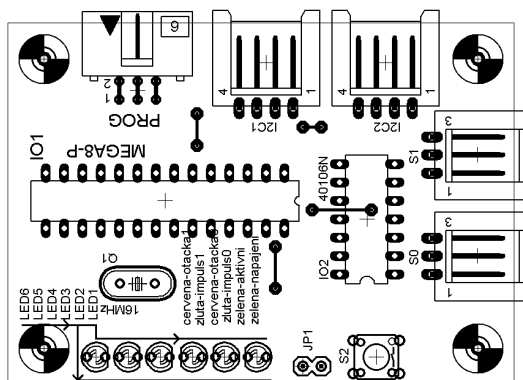
Obrázek B.12: Strana spojů modulu ADC

B.3.2 Seznam součástek

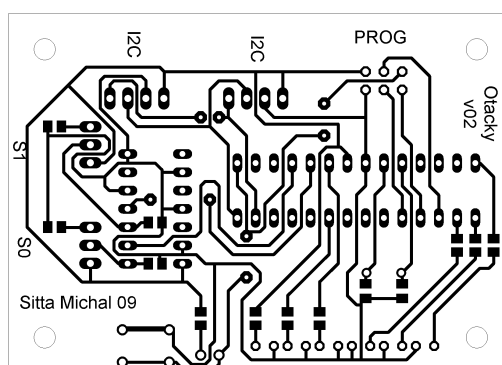
Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
C3	100 nF	C0805K
C4	1 uF/15 V	C0805K
R1 až R5	360 R	R0805
R6	10 kR	R0805
R7	7,5 kR	R0805
R8	1,3 kR	R0805
R9	680 R	R0805
R10	680 R	R0805
R11	330 R	R0805
R12	130 R	R0805
IO1	MCP3301+precizní patice	DIL8
IO2	LM385	TO92 – LINE
IO3	MEGA8 – P+precizní patice	DIL28 – 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



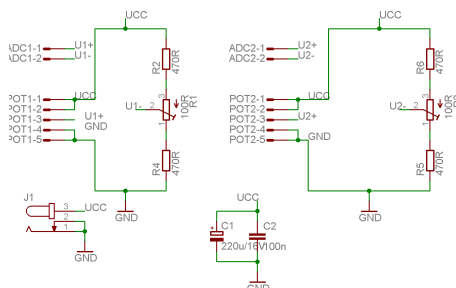
Obrázek B.16: Strana spojů modulu otáček

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

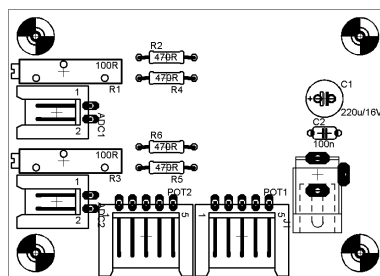
B.5 Modul půl mostů



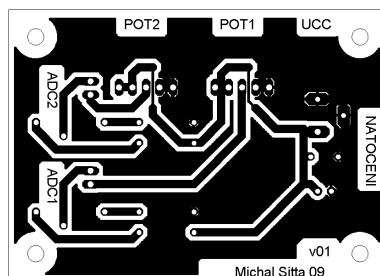
Obrázek B.17: Schéma modulu půl mostů

B.5.1 Rozměry desky

70 x 50 mm



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



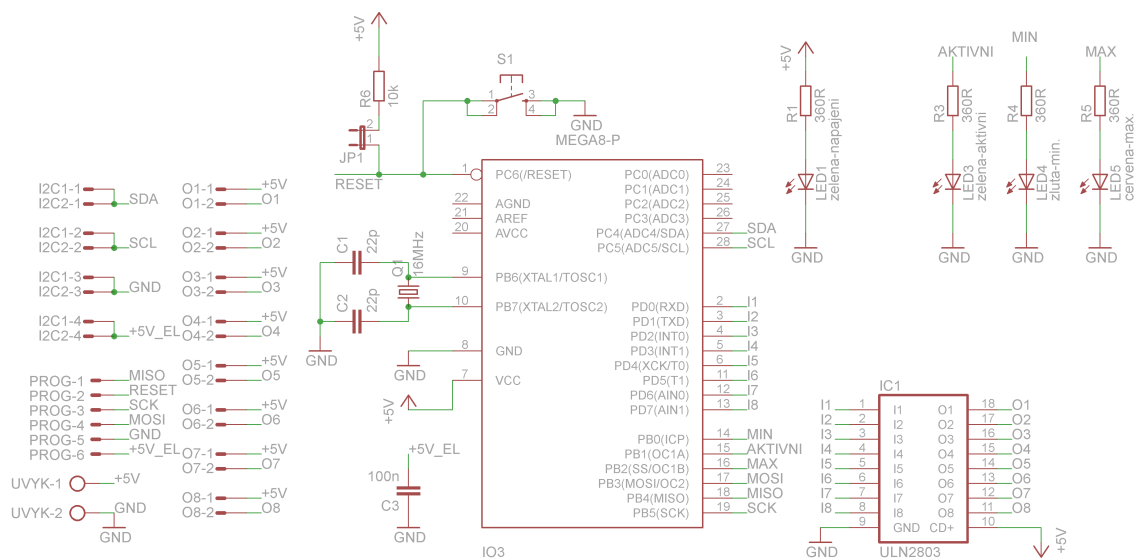
Obrázek B.19: Strana spojů modulu půl mostů

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

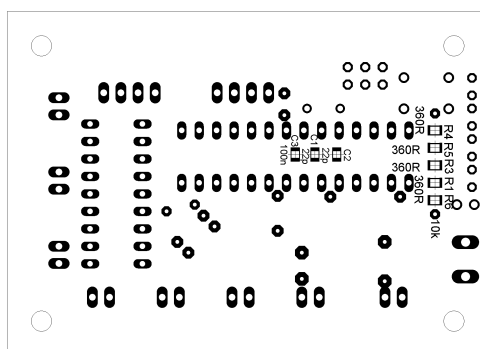
B.6 Modul GPO



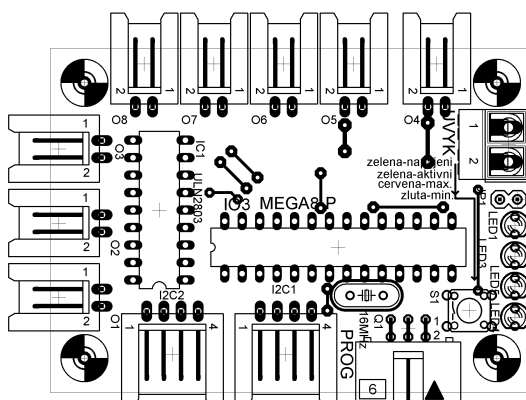
Obrázek B.20: Schéma modulu GPO

B.6.1 Rozměry desky

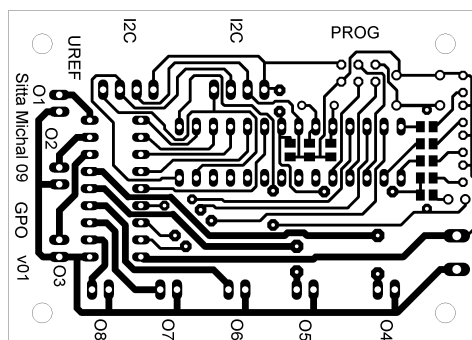
70 x 50 mm



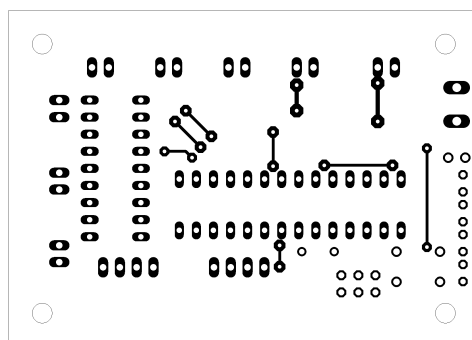
Obrázek B.21: Osazovací výkres spodní strana modulu GPO



Obrázek B.22: Osazovací výkres horní strana modulu GPO



Obrázek B.23: Spodní strana spojů modulu GPO



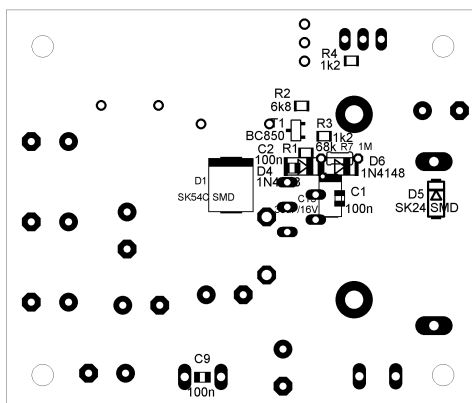
Obrázek B.24: Horní strana spojů modulu GPO

B.6.2 Seznam součástek

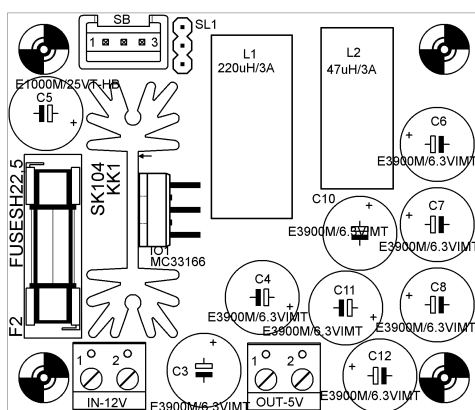
Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	C0805K
C3	100 nF	C0805K
R1 až R5	360 R	R0805
R6	10 kR	R0805
IC1	ULN2803+precizní patice	DIL16
IO3	MEGA8–P+precizní patice	DIL28–3
UVYK	ARK210/2EX	RM=5 mm
O1..O8	PSH02–02WG	PSH02–02WG
I2C1, I2C2	PSH02–04WG	PSH02–04WG
JP1	2 piny z lámací lišty	S1G20
PROG	MLW06A	MLW06A
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

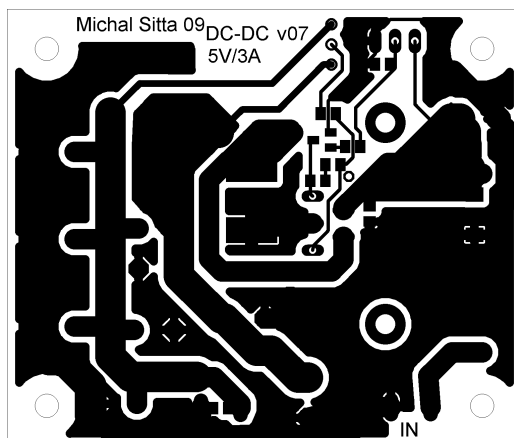
65 x 55 mm



Obrázek B.26: Osazovací výkres spodní strana zdroje



Obrázek B.27: Osazovací výkres horní strana zdroje



Obrázek B.28: Spodní strana spojů zdroje

B.7.2 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
R1	68 kR	R0805
R2	6,8 kR	R0805
R3, R4	1,2 kR	R0805
R7	1M	R0207
C1, C2, C9	100 nF	C0805K
C5	1000 uF/25VT–HB	RM=5 mm, d=10,5 mm
C3, C4, C6-C8, C10-C12	3900 uF/6.3VIMT	RM=5 mm, d=10,5 mm
C13	33 uF/16V	SMC C
D1	SK54C SMD	DO–214AB
D4, D6	1N4148	MELF–MLL41
D5	SK24 SMD	DO–214AA
L1	220 uH/3 A	DPU220A3
L2	47 uH/3 A	DPU047A3
IO1	MC33166	TO–220
T1	BC850	SOT–23
IN-12V, OUT-5V	ARK210/2EX	RM=5 mm
SL1	3 piny z lámací lišty	S1G20
SB	PSH02–03WG	PSH02–03WG
F2	FUSESH22,5	RM=22,5 mm
KK1	V7143	chladič na TO–220, 50x35x12 mm

Tabulka B.7: 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 (z hlavní desky)
30	X L S	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti levého kola (+/-x.xxx) v m/s (z paměti hlavní desky)
31	X R S	0	Požadavek na odeslání aktuální rychlosti pravého kola (+/-x.xxx) v m/s (z paměti hlavní desky)
32	G P E	5	Požadavek na zapnutí bytu (xFyTz) x..adresa(0 až 8), y,z..čísla (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
35	D S T	0	Požadavek na odeslání informací o ujeté vzdálenosti od resetu v m (xxxx.x)
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
118	M S K	6	Nastavení zesílení regulátoru motorů (x.xxxx)
119	M S T	6	Nastavení integrační složky regulátoru motorů (x.xxxx)
120	M R K	0	Přečtení zesílení regulátoru motorů (x.xxxx)
121	M R T	0	Přečtení integrační složky regulátoru motorů (x.xxxx)

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

D PŘILOŽENÉ CD

Obsah CD:

- Programy jednotlivých mikrokontrolérů v C (v programu CodeAVR).
- Dokumentace podvozku v programu Inventor s výkresovou dokumentací v pdf.
- Použité datasheety součástek.
- Návrhy DPS v programu Eagle 4.16.
- Naměřené hodnoty, logovací soubory z měření.
- Navržený regulátor a identifikovaná soustava v m-file.
- Jednoduchý program pro komunikaci pod Win (SerialReader).
- Elektronická verze diplomové práce v pdf a projekt v LATEXu.