

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Všesměrový podvozek robota se servopohony
a základní odometrií

Pavel Konfršt

Bakalářská práce
2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Konfršt**
Osobní číslo: **I08236**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Všesměrový podvozek robota se servopohony a základní odometrií**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Úkolem je vytvoření podvozku se servopohony, schopného základního odhadu polohy v závislosti na počtu otáček hnaných kol.

Teoretická část bude obsahovat přehled použitelných motorů pro podvozek malého robota, metody řízení DC motoru, měření otáček motoru. Popis jednoduchého určení polohy se znalostí průběhu otáčení kol.

Praktická část bude potom obsahovat návrh elektroniky pro řízení tří motorů podle volby realizovaném na mikroprocesoru. Řídící jednotka bude autonomní zařízení ovladatelné po vhodné sběrnici schopná řídit otáčky motorů a schopná přibližného výpočtu polohy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] ŠULC B.; VÍTEČKOVÁ M.; Teorie a praxe návrhů regulačních obvodů, ČVUT, ISBN 80-01-03007-5
- [2] Mobilní roboty Novák P.; BEN - technická literatura, 2005, ISBN: 80-7300-141-1
- [3] http://uzimex.cz/soubory/20070103_maxon_serial.pdf
- [4] <http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-1-cast-typy-motoru>
- [5] <http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-2-cast-spinaci-mustky-jejich-pripojeni-k-mcu>
- [6] <http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-3-cast-ridici-algoritmy-regulace-s-mcu>
- [7] <http://robotika.cz>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11. května 2012**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 13. srpna 2012

Pavel Konfršt

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě bakalářské práce. Především bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlovi Rozsivalovi za odbornou pomoc a cenné rady.

Dále bych rád poděkoval svým přátelům a především rodině za všestrannou podporu po celou dobu mého studia.

Anotace

Úkolem je vytvoření podvozku se servopohony, schopného základního odhadu polohy v závislosti na počtu otáček hnaných kol.

Teoretická část bude obsahovat přehled použitelných motorů pro podvozek malého robota, metody řízení DC motoru, měření otáček motoru. Popis jednoduchého určení polohy se znalostí průběhu otáčení kol.

Praktická část bude obsahovat návrh elektroniky pro řízení tří motorů podle volby realizovaném na mikroprocesoru. Řídící jednotka bude autonomní zařízení ovladatelné po vhodné sběrnici schopná řídit otáčky motorů a schopná přibližného výpočtu polohy.

Klíčová slova

DC motor, odometrie, všesměrová kola, tříkolový všesměrový podvozek, Atmel AVR, ATmega48

Title

Omnidirectional chassis robot with servo drive and basic odometry

Annotation

The aim of this bachelor thesis is a construction of servo drive chassis, which is able to do basic estimation of the position, depending on the rotation of driving wheels.

The theoretical part contains an overview of motors, available for small robot chassis, methods of managing DC motors and engine revolutions measurement. A description of basic positioning with knowledge of wheels rotation is made.

The practical part deals with a model of electronic equipments for driving of three engines according to a choice implemented on microprocessor. The control unit is autonomous device, which can be controlled by convenient bus. This bus is able to manage engines revolutions and calculate approximate position.

Keywords

DC motor, odometry, Omnidirectional Wheel, three-wheeled omnidirectional platform, Atmel AVR, ATmega48

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Základní rozdělení robotů	13
2.1 Dělení robotů dle základní koncepce.....	13
2.2 Dělení robotů dle systému řízení	14
3 Podvozky mobilních robotů	15
3.1 Diferenciální podvozek.....	15
3.2 Synchronní podvozek	16
3.3 Ackermanův podvozek	17
3.4 Všesměrový podvozek.....	18
3.5 Pásový podvozek	19
3.6 Krácející podvozek.....	19
4 Všesměrová kola	20
4.1 Stanfordské kolo	20
4.2 Mecanumské kolo.....	21
5 Použité motory pro mobilní roboty	22
5.1 Stejnoseměrné komutátorové motory.....	22
5.2 Stejnoseměrné motory bez komutátoru.....	23
5.3 Krokové motory.....	23
5.4 Střídavé motory	24
5.5 Servomotory	25
6 Metody regulace DC motorů	26
6.1 Změnou odporu	27
6.2 Změnou magnetického toku	27
6.3 Změnou napájecího napětí.....	28
7 Metody řízení stejnosměrných motorů	30
7.1 Řízení bez zpětné vazby	30
7.2 Řízení se zpětnou vazbou	31
7.2.1 Proporcionální řízení	31

7.2.2	Vylepšené proporcionální řízení.....	32
7.2.3	Pomocí integrační složky	33
8	Měření otáček motoru	35
8.1	Inkrementační optický enkodér	35
8.2	Absolutní optický enkodér	35
9	Popis polohy všesměrového podvozku.....	37
9.1	Kinematika podvozku.....	38
10	Konstrukce všesměrového podvozku.....	41
10.1	Podvozek	41
10.2	Hnací soustava.....	41
10.3	Mikroprocesor	43
10.4	H-můstek	45
10.5	Stabilizátor.....	46
10.6	Napájení.....	47
10.7	Návrh servopohonu	48
11	Závěr.....	51
	Literatura	52
	Příloha A – Schéma desky	54
	Příloha B - Obsah CD.....	55
	Příloha C – Skutečný pohled na mobilního robota	56

Seznam zkratek

AC	Alternating current
BLDC	Brushless Direct Current
CNC	Computer Numerical Control
DC	Direct current
DPS	Deska plošných spojů
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
GPS	Global Positioning System
ISP	In System Programming
LED	Light Emitting Diode
mA	Miliampér
mAh	Miliampérhodina
NC	Numerical control
PWM	Pulse Width Modulation
RC	Radio controlled
TTL	Transistor-transistor-logic
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní rozdělení robotů dle koncepce [vlastní zpracování].....	13
Obrázek 2 - Rozdělení mobilních robotů podle druhu podvozku [vlastní zpracování].....	15
Obrázek 3 - Diferenciální podvozek mobilního robota [vlastní zpracování]	16
Obrázek 4 - Synchronní podvozek [9].....	16
Obrázek 5 - Varianty Ackermanova podvozku [13]	17
Obrázek 6 - Ackermanův podvozek při zatáčení [12].....	18
Obrázek 7 - Všesměrový podvozek [25]	18
Obrázek 8 - Pásový podvozek [7].....	19
Obrázek 9 - Kráčeující podvozek [13]	19
Obrázek 10 - Patentová přihláška na všesměrové kolo [23]	20
Obrázek 11 - Stanfordské kolo [23]	21
Obrázek 12 - Mecanumské kolo [26]	21
Obrázek 13 - Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety [24]	23
Obrázek 14 - Rotor střídavého motoru kotva na krátko [29]	25
Obrázek 15 - Zjednodušený model stejnosměrného motoru [6]	26
Obrázek 16 - Mechanická charakteristika na změně odporu [27]	27
Obrázek 17 - Principiální schéma řízení motoru pomocí PWM [6].....	28
Obrázek 18 - Plný spínací můstek [1]	29
Obrázek 19 - Řízení bez zpětné vazby [vlastní zpracování]	30
Obrázek 20 - Řízení se zpětnou vazbou [vlastní zpracování]	31
Obrázek 21 - Proporcionální řízení motoru [16]	32
Obrázek 22 - Vylepšené proporcionální řízení motoru [16].....	33
Obrázek 23 - Řízení motoru přidáním integrační složky [16].....	34
Obrázek 24 - Absolutní enkodér [22].....	36
Obrázek 25 - Rozmístění všesměrových kol [23]	37
Obrázek 26 - Globalní souřadný systém [10].....	37
Obrázek 27 - Lokální souřadný systém [10]	38
Obrázek 28 - Vektorový systém rychlostí kol [10]	38
Obrázek 29 - Znázornění rychlosti prvního kola [10].....	39
Obrázek 30 - Půdorys podvozku všesměrového robota [vlastní zpracování]	41
Obrázek 31 - Stejnosměrný motor od firmy Faulhaber [19]	42
Obrázek 32 - Připojovací konektor stejnosměrného motoru [19]	43
Obrázek 33 - Blokované schéma ATmega48 [4]	44
Obrázek 34 - Pouzdro ATmega48 [4]	45
Obrázek 35 - Pouzdro L239D [5].....	46
Obrázek 36 - Zapojení stabilizátoru [3].....	47
Obrázek 37 - Li-Pol akumulátor [11]	48
Obrázek 38 - Návrh plošného spoje [vlastní zpracování].....	49
Obrázek 39 - Zjednodušený vývojový diagram pro pohyb vpřed [vlastní zpracování]	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Označení motoru 1524E006S123	42
Tabulka 2 - Označení převodovky 15/5S141: 1K832	42
Tabulka 3 - Označení enkodéru HES164A	42
Tabulka 4 - Parametry stabilizátoru	46
Tabulka 5 - Parametry akumulátoru	48

1 Úvod

Robotika je věda o robotech, která sahá do čtyřicátých let minulého století, kdy poprvé toto slovo použil Isaac Asimov autor mnoha povídek. Robotika se především zabývá lokomočním ústrojím a jeho pohybem. Právě lokomoční ústrojí je téma této bakalářské práce, kde správným uspořádáním všesměrových kol by mělo umožnit pohyb podvozku ve dvou osách. Jelikož člověk by nebyl schopen řídit všechny součásti podvozku, bylo nutné vytvořit řídicí systém, který umožní být podvozku zcela autonomní, či být z části řízen člověkem.

Cílem bakalářské práce je vytvořit reálný a funkční model robota, který se bude pohybovat pomocí všesměrových kol a bude poháněn servopohony. Podvozek by měl být schopen informovat o své poloze podle počtu otáčených kol. Model je vybaven trojicí stejnosměrných motorů a měl by sloužit k testování a ověření teoretických znalostí všesměrových kol.

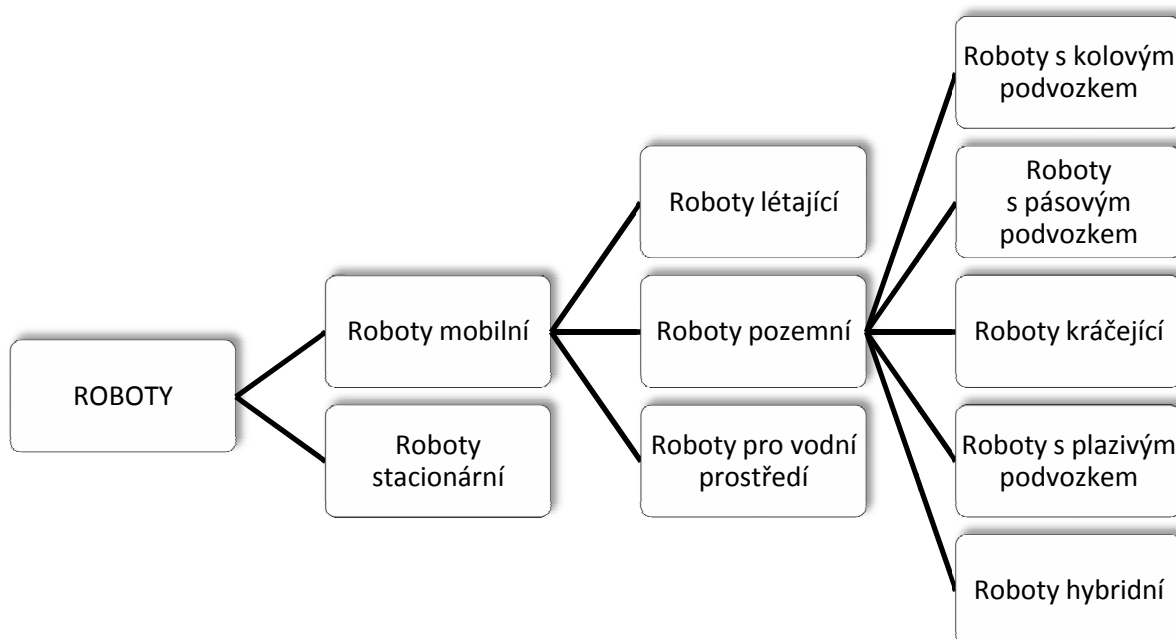
V první části je probrána obecná robotika a jsou zde vysvětleny základní rozdíly mezi mobilními a stacionárními roboty. V druhé části jsou uvedeny typy motorů používaných v robotice. Následující kapitola se zabývá různými druhy regulace stejnosměrných motorů. Předposlední dvě kapitoly jsou věnovány kinematice podvozku popisu polohy na počtu otočených kol. Závěr práce je věnován praktické části, kde jsou uvedeny všechny hardwarové komponenty, které byly ve výrobě podvozku použity.

2 Základní rozdělení robotů

V dnešní době je robotika nejvíce se rozšiřující oblastí průmyslu. Robot je využíván v různých odvětvích lidského života. Může přímo nahrazovat lidskou práci, kdy by stejnou práci nemohl člověk fyzicky vykonávat, ať už se jedná o přesnost, spolehlivost nebo vytrvalost. Ale většinou pouze ulehčují běžnou činnost člověka, například v domácnosti, zemědělství. Roboti našli využití i v oblasti vojenské, nebo kosmické, kde se většinou pohybují v nebezpečných oblastech, kde by člověk nemohl pobývat, například extrémní teploty, nebo vysoký tlak.

2.1 Dělení robotů dle základní koncepce

Roboty lze dělit do několika kategorií dle jejich základní koncepce. Podle schopnosti přemísťovat se je dělíme na dvě hlavní skupiny a to mobilní a stacionární roboty. Mobilní roboty se pak člení na několik podskupin, pro které účely jsou realizovány.



Obrázek 1 - Základní rozdělení robotů dle koncepce [vlastní zpracování]

Základní dělení robotů můžeme vidět na obrázku [Obrázek 1]:

- stacionární robot - jedná se zejména manipulátory a výrobní automaty,
- mobilní robot - veškeré robotické konstrukce schopné pohybu vlastní silou,
- létající robot - roboty schopné letu, například bezpilotní letadla,
- robot pro vodní prostředí - veškeré konstrukce schopné funkce pod, i nad vodní hladinou, zejména hlubinné ponorky,

- pozemní robot - nejrozšířenější kategorie mobilních robotů. Tyto lze nadále rozdělit podle typu pohybového subsystému.

2.2 Dělení robotů dle systému řízení

Celou skupinu mobilních robotů můžeme dále dělit na tři základní typy a to autonomní, dálkově ovládané a kombinované řízení.

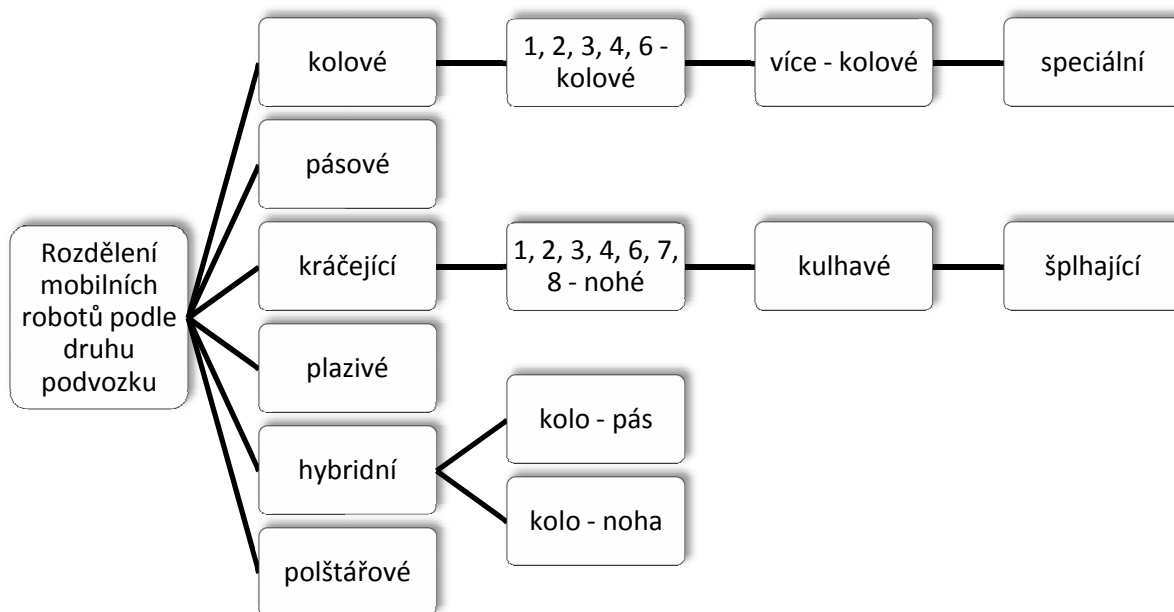
Autonomní roboti jsou schopni samostatně vykonávat předem dané činnosti a mohou dynamicky reagovat na své okolí. Může se např. jednat o sběr dat (teplota, vlhkost, osvětlení) v místnosti a po ukončení se vrátit do výchozí pozice. Pomocí inerciálních snímačů mohou zmapovat neznámé prostředí, popřípadě se vyhnout překážkám.

Dálkově ovládané roboty jsou nejběžněji používané. Jedná se o dálkově ovládané roboty, které se řídí operátorem, jež má zpravidla vizuální informaci o prostředí v okolí robota. Jde např. o hlubinné ponorky, chirurgické roboty a různé manipulátory.

Kombinované řízení robotů si lze představit jako dálkově ovládané roboty s jistým stupněm autonomního chování. Kupříkladu při ztrátě komunikace by se měl robot vrátit na výchozí bod, nebo se přemístit ke zdi, aby nemohlo dojít ke kolizi.

3 Podvozky mobilních robotů

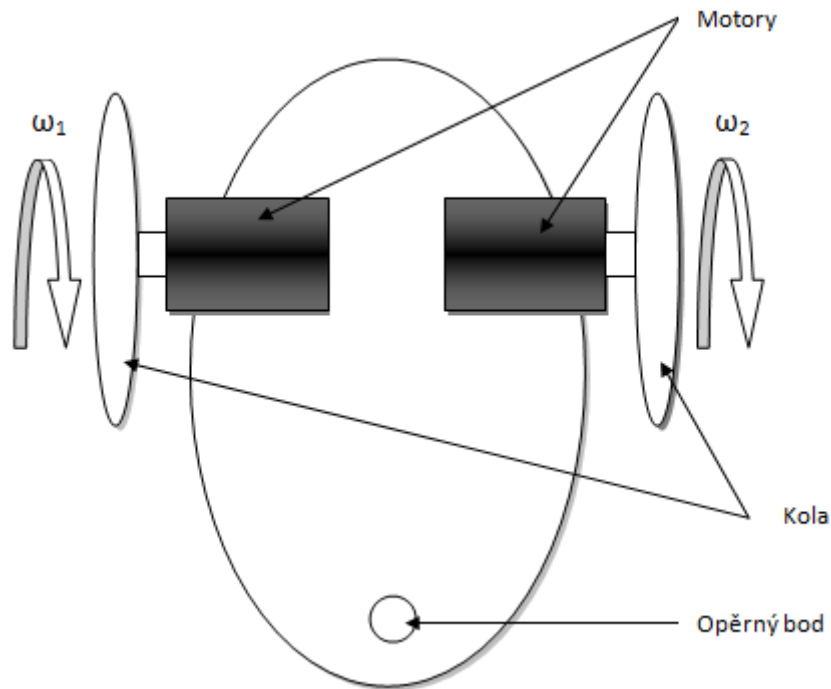
Nadále se budeme zabývat skupinou mobilních robotů. Na úvod si uvedeme jen základní typy konstrukcí podvozků, rozebrání všech typů mobilních podvozků by bylo nad rámec této bakalářské práce. Na obrázku [Obrázek 2] můžeme vidět, do jakých kategorií můžeme rozdělit mobilní roboty.



Obrázek 2 - Rozdělení mobilních robotů podle druhu podvozku [vlastní zpracování]

3.1 Diferenciální podvozek

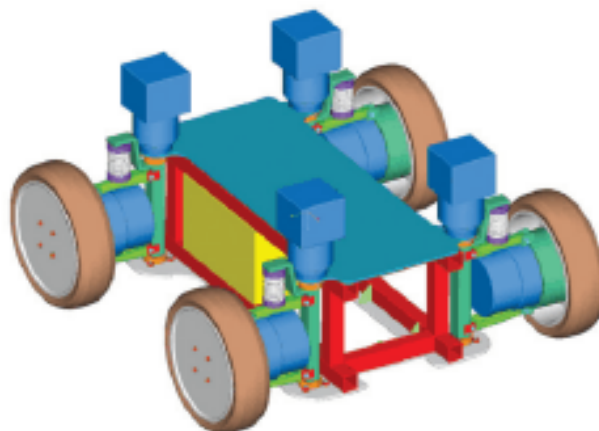
Tento jednoduchý a spolehlivý podvozek se nejčastěji používá u malých mobilních robotů pro aplikaci v budovách. Podvozek obsahuje dvě nezávisle na sobě ovládaná (hnaná) kola, která zajišťují pohyb a zároveň umožňují zatáčet. Diferenciálně podvozek nazýváme proto, že změna orientace je závislá na rozdílu rychlosti pohybu levého a pravého kola. Pro stabilizaci celého robota je použit opěrný bod, který může být tvořen jedním kolečkem s jedním nebo více stupni volnosti. Jako pohon jsou nejčastěji používány malé stejnosměrné motory, nebo krokové motory. Pokud se obě kola otáčejí stejně rychle a stejným směrem, robot jede rovně. Pokud se kola točí stejně rychle, ale opačným směrem, robot se otáčí kolem středu (osy nápravy). V případě, že se kola točí stejným směrem, ale různou rychlostí, robot se pohybuje po kružnici a zatáčí směrem ke kolu s menšími otáčkami. Výhodou diferenciálního podvozku je jednoduchá a robustná konstrukce, nízká cena a přitom relativně přesná odometrie.



Obrázek 3 - Diferenciální podvozek mobilního robota [vlastní zpracování]

3.2 Synchronní podvozek

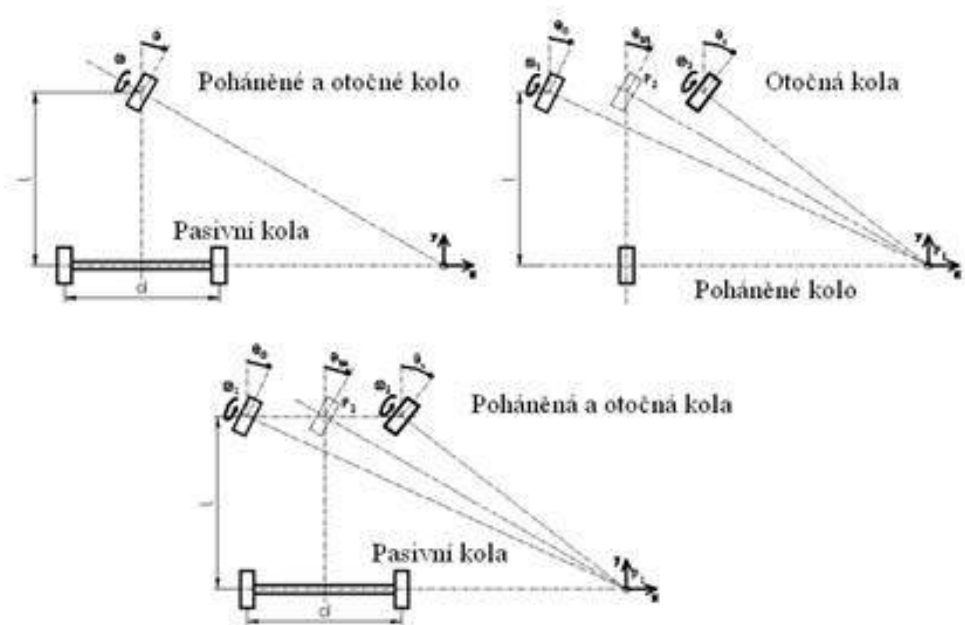
Tento typ podvozku má tři nebo čtyři kola, všechna jsou poháněná a řízená tak, že mají navzájem stále stejné natočení a stejnou rychlost. Toho lze dosáhnout vhodného navržení mechanického podvozku, kde je zapotřebí pouze dvou motorů a to na ovládání směru a rychlosti, nebo sensorického-regulačního systému, kde je zapotřebí na každé kolo samostatnou dvojici motorů. Výhodou synchronního podvozku je menší složitost konstrukce a vysoká manévrovací schopnost. Mezi nevýhody patří především nízká schopnost překonávání nerovnosti terénu.



Obrázek 4 - Synchronní podvozek [9]

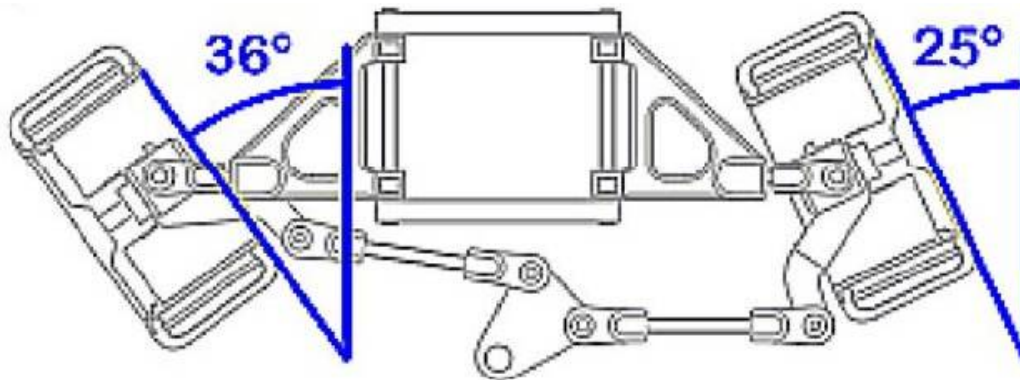
3.3 Ackermanův podvozek

Jedná se o nejznámější typ podvozku. Variantu se čtyřmi koly můžeme vidět například u automobilů, kde se používají dvě varianty, přední kola natáčecí a zároveň hnaná, nebo přední kola natáčecí a zadní hnaná. Tříkolová varianta je známá jako dětská tříkolka, kde zadní kola jsou hnaná, a přední kolo je natáčecí. Ovšem přední kolo může být natáčecí a zároveň hnaná. Obě varianty můžeme vidět na obrázku [Obrázek 5].



Obrázek 5 - Varianty Ackermanova podvozku [13]

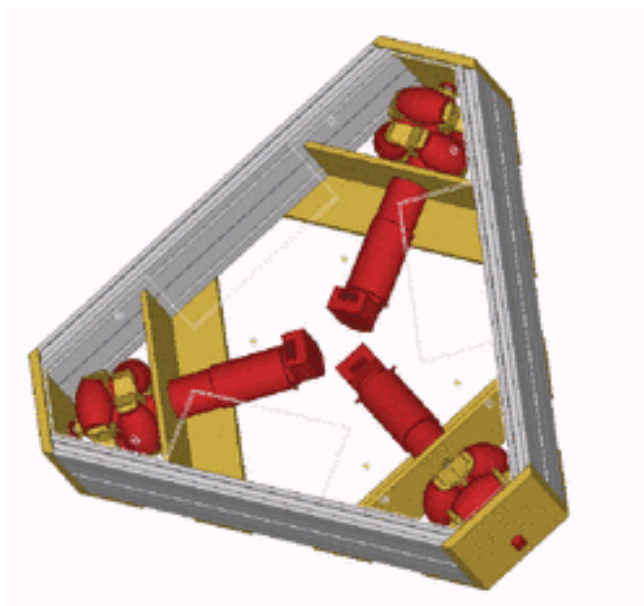
U čtyřkolové varianty Ackermanova podvozku se setkáváme s jediným problémem a to správné natočení přených kol při zatáčení, kdy každé kolo opisuje jinou dráhu. Aby nedocházelo ke smyku a především, abychom mohli uplatnit do jisté míry odometrii. Při zatáčení vnější kolo opisuje větší poloměr kružnice než kolo vnitřní. Což mělo za následek větší opotřebování pneumatik, aby k tomuto jevu nedocházelo, bylo zapotřebí natočit vnější kolo pod menším úhlem než kolo vnitřní. Výhodou Ackermanova podvozku je větší nosnost a použití v těžším terénu. Nevýhodou ovšem je že tento typ podvozku se nemůže otočit na místě.



Obrázek 6 - Ackermanův podvozek při zatáčení [12]

3.4 Všesměrový podvozek

Tento typ podvozku je založen na principu všesměrových kol, která umožňují pohyb ve dvou osách a otáčet se okolo svého těžiště pod nulovým úhlem. Více o konstrukci všesměrových kol bude probrána v kapitole [4.1]. Podvozek tvoří nejčastěji tříkolové, nebo čtyřkolové ústrojí, každé kolo by mělo být ovládáno samostatným motorem. Nevýhodou využití všesměrového podvozku je vyšší cena, dána požadavkem na precizní výrobu, dále pak horší schopnost překonávání překážek. Robot dovede překonat překážky pouze do poloviny výšky pasivního válečku, kterým je vybaveno všesměrové kolo. Tento typ podvozku najde využití pouze ve vnitřních prostorách, kde se neočekávají žádné překážky. Podvozek se vyrábí ve dvou variantách a to tříkolové, která je vidět na obrázku [Obrázek 7] a čtyřkolové.



Obrázek 7 - Všesměrový podvozek [25]

3.5 Pásový podvozek

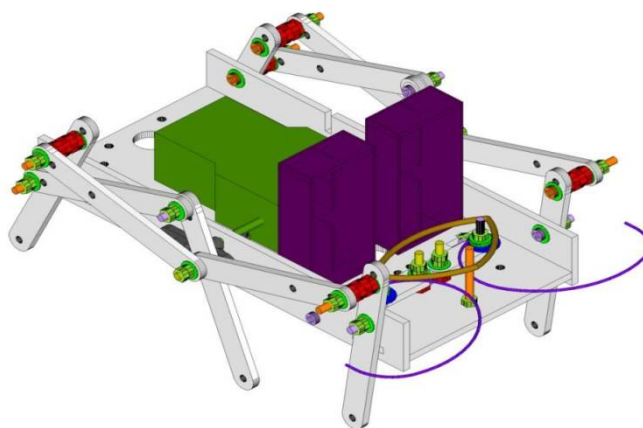
Kinematika pásových podvozků je téměř totožná s kinematikou diferenciálních podvozků a tou je, že každý pás má nezávislé pohonné ústrojí. Manévrovací schopnosti jako je otáčení, které je doprovázené smykem. Tento typ podvozku se nejčastěji řídí dálkově operátorem. Pro pásové podvozky platí, že rozvor mezi pásy a jejich délka mají přímý vliv na manévrovací schopnosti. Výhodou tohoto typu podvozku je vysoká průchodnost terénu, robustnost a spolehlivost. Nevýhodou je dražší metoda určování poloh tzv. sebelokalizace, pokud se jedná o autonomní roboty.



Obrázek 8 - Pásový podvozek [7]

3.6 Kráčející podvozek

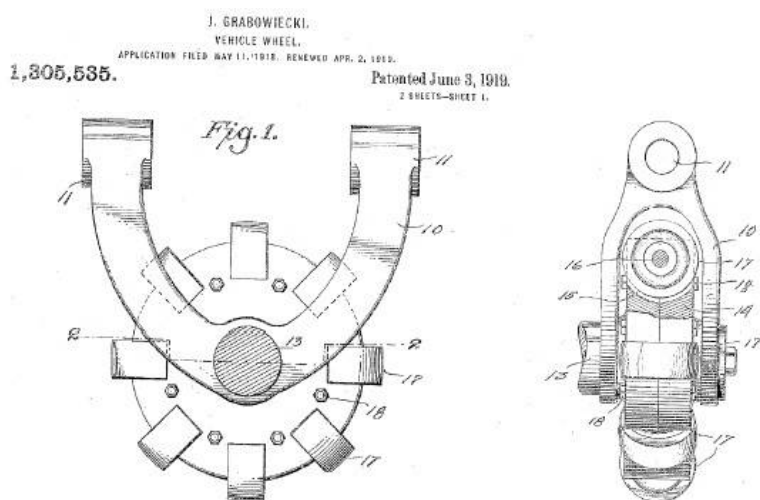
Zvláštní skupinou mobilních robotů je založena na kráčejícím podvozku. Roboti se objevují od dvounohých až po osminohé konstrukce. Svým pohybem mohou napodobovat člověka, nebo lezoucí hmyz. Nacházejí uplatnění především k průzkumu neznámého terénu, nebo provádění manipulace s předměty v nerovných podmínkách. Nevýhodou těchto robotů je vyšší cena, které je dána vysokým počet akčních členů (převodovky, motory, senzory atd.), konstrukční složitost a výrobní náročnost.



Obrázek 9 - Kráčející podvozek [13]

4 Všesměrová kola

Pod pojmem všesměrového kola si můžeme představit kolo, které má na svém obvodu řadu pasivních elementů ve tvaru válečků nebo soudečků. Kdyby byly tyto válečky zablokovány, chovalo by se jako běžné kolo s jedním stupněm volnosti. Vhodným uspořádání kol na podvozku a vzhledem k danému typu kol je možné dosáhnout libovolného směru podvozku, tj. podvozek se může pohybovat libovolným směrem a libovolně rotovat, popřípadě vykonávat oba tyto pohyby současně. První patent všesměrového kola byl udělen J. Grabowieckovi v roce 1919. Na obrázku [Obrázek 10] můžeme vidět první přihlášku na patentový úřad roku 1919. Všesměrová kola dělíme na dva základní typy Stanfordské a Mecanumské.



Obrázek 10 - Patentová přihláška na všesměrové kolo [23]

4.1 Stanfordské kolo

Jak již bylo řečeno, jedná se o kolo, které je na svém obvodu vybaveno řadou pasivních elementů ve tvaru válečků nebo soudečků. Tyto válečky mají osu otáčení kolmou k ose náboje hlavního kola a mohou se libovolně otáčet. Poháněno je pouze hlavní kolo. Jelikož prostor mezi soudečky netvoří přesný kruh, mohlo by docházet při otáčení ke chvění z důvodu nespojitosti obvodové křivky. Tento problém se řeší přidáním druhé řady soudečků, které jsou o půlku posunuty vůči soudečkům první řady, jak je patrné na obrázku [Obrázek 11].



Obrázek 11 - Stanfordské kolo [23]

4.2 Mecanumské kolo

Jedná se o kolo, které má na svém obvodu řadu pasivních elementů ve tvaru válečků. Tyto válečky svírají oproti Stanfordskému kolu úhel 45° k ose náboje hlavního kola. Na vnějším obvodu se tímto uspořádáním jeví téměř jako kruh a není nutné přidávání druhé řady válečků. Nevýhodou je vyšší rychlost otáčení při pohybu do strany.



Obrázek 12 - Mecanumské kolo [26]

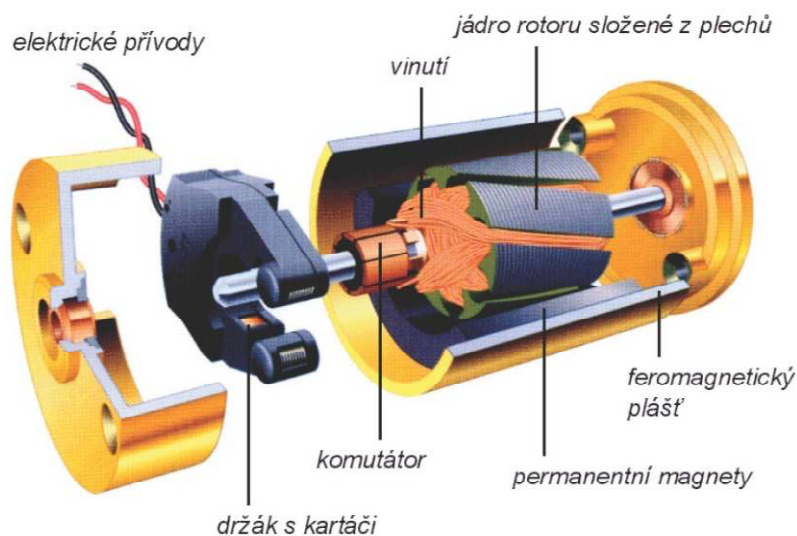
5 Použité motory pro mobilní roboty

Pro pohon mobilních robotů máme v dnešní době na trhu mnoho různých provedení elektromotorů. Výběr elektromotoru závisí na výkonové náročnosti pohybu, velikosti, hmotnosti a hlavně ceně mobilního robota. Mezi nejběžnější pohony pro mobilní roboty se používají stejnosměrné (DC) motory, bezkomutátorové motory (BLDC), krokové motory, servomotory a umělé svaly, které poslední dobou stále častěji nacházejí uplatnění u kráčejících mobilních robotů. Nadále se seznámíme s jednotlivými motory podrobněji.

5.1 Stejnosměrné komutátorové motory

Jedná se o velmi používaný typ motorů v oblasti mobilních robotů. Často je doplněn o převodovku, která zajišťuje snížení relativně vysokých otáček, které jsou pro pohon mobilních robotů nevhodné. Obě tyto věci se umísťují do společného pouzdra motoru. V tomto pouzdře se mnohdy nachází i další prvek (senzor), který měří rychlost otáčení motoru.

Stejnosměrný motor na obrázku [Obrázek 13] se skládá z rotoru a statoru. Stator je tvořen permanentním magnetem uloženým ve feromagnetickém plášti motoru. Může obsahovat i několik cívek, které jsou magneticky opačně orientovány a jsou buzeny stejnosměrným proudem. Rotor nazývaný „kotva“ je tvořen elektromagnety navinuté okolo pólových nástavců neboli rotorových plechů. Nadále ho tvoří komutátor, který obstarává změnu polaritu proudu ve vodičích rotorového vinutí. Ke komutátoru přiléhají grafické nebo elektrografické kartáče, které přivádějí na komutátor stejnosměrný proud. Umísťují se většinou do středu pólových nástavců a musí jich vždy být sudý počet, pro dodržení polaritu magnetického pole. Princip stejnosměrného komutátorového motoru spočívá na střídavém přepínání polaritu. Ke svorkám motoru je přiveden stejnosměrný proud, který prochází vinutím rotoru. Jelikož se rotor nachází v trvalém magnetickém poli, snaží se natočit do neutrální polohy. Pro trvalé otáčení kotvy rotoru je zapotřebí změna polaritu vinutí, které obstarává komutátor s kartáčovými elektrickými přívody. Pro plynulejší průběh motoru se vinutí rotoru zkonstruuje s větším počtem cívek. Výhodou je především jeho nízká cena, poměr výkonu a hmotnosti, snadná regulace otáček a široká nabídka na trhu.



Obrázek 13 - Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety [24]

5.2 Stejnosměrné motory bez komutátoru

Bezkomutátorové motory BLDC neboli bezkartáčové motory patří do skupiny stejnosměrných motorů. Ovšem svoji konstrukcí hodně připomínají střídavé trojfázové synchronní motory, o kterých bude zmínka v kapitole [5.4]. Tento typ motoru byl vynalezen už kolem roku 1929, ale praktické využití přišlo, až s nástupem polovodičových součástek (tranzistorů, tyristorů).

Motor se skládá ze dvou základních částí rotoru a statoru. Tím že se odstranil komutátor, který zajišťoval změnu polaritu rotorového vinutí, musely se do statoru přivést cívky, které jsou zapojeny do hvězdy nebo trojúhelníka. Rotor tvoří silný permanentní magnet, jehož složení ovlivňuje vlastnosti motoru. Nejúčinnějším typem magnetu je slitina NdFeB, která je v současnosti nejsilnější, a proto se může vyrábět v menším provedení, čímž se snižuje hmotnost a velikost motoru. Přepínání proudu do jednotlivých cívek statoru zajišťují spínací obvody, které získají informaci o právě natočeném rotoru. Výhodou bezkomutátorových motorů je velmi vysoké výkony při malé hmotnosti.

5.3 Krokové motory

Jedná se o speciální druh synchronního motoru napájen stejnosměrnými impulzy. Mezi jeho přednosti patří nastavení přesné polohy a tuto polohu si nadále držet. Nejčastěji se využívá v perifériích počítačů, obráběcích CNC strojů, manipulátorů a v leteckém průmyslu. U tiskáren se vyskytuje speciální typ krokového motoru, který díky své konstrukci poskytuje lineární pohyb. Výhodou je, že pokud motory nepřetěžujeme, lze se obejít bez zpětné vazby o změně natočení, stačí pouze počítat kroky.

Krokový motor obsahuje rotor a stator. Rotor je tvořen permanentními magnety uloženými na hřídeli motoru. Stator tvoří několik cívek, jimiž prochází proud a vytváří se magnetické pole, které přitahuje opačný pól rotoru. Takto rotující magnetické pole způsobí otáčení rotoru. Otáčení motoru je omezeno kvůli přechodovým jevům magnetického pole na několik stovek kroků za sekundu (dle konstrukce motoru).

Nadále můžeme krokové motory dělit dle způsobu řízení na bipolární a unipolární. Lze je snadno rozlišit podle počtu vývodů, bipolární motor má čtyři vývody a unipolární motor šest vývodů. Při unipolárním řízení prochází proud pouze jednou cívkou a tím je docíleno nižšího odběru proudu, nevýhodou je ovšem menší krouticí moment. U bipolárního řízení proud prochází vždy dvěma protilehlými cívkami, které jsou zapojené v opačné polaritě. Výhodou je vyšší krouticí moment a vyšší stabilita kroku ovšem za přítomnosti vyšší spotřeby elektrického proudu. Krokové motory se vyznačují mechanickou odolností a téměř bezúdržbovým provozem. Nevýhodou nicméně je vyšší cena oproti DC motorům, stálý odběr proudu, i když nedochází k otáčení motoru.

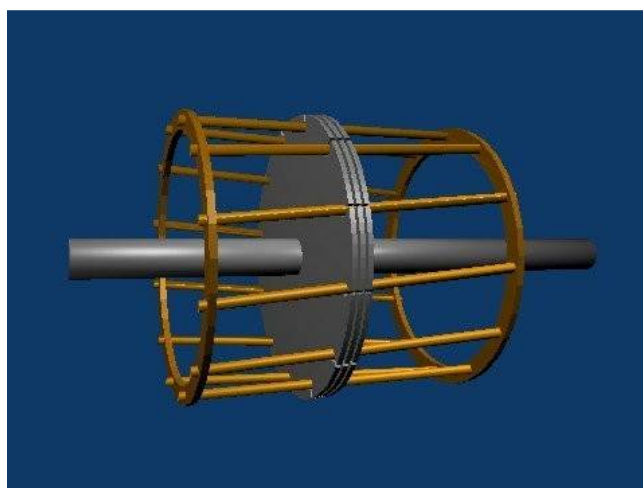
5.4 Střídavé motory

Střídavé motory můžeme rozdělit na synchronní a asynchronní. Dále se střídavé motory můžou dělit podle počtu napájecích fází a to jednofázové a třífázové, kde jsou tři fáze navzájem posunuté o 120° .

Synchronní motor se skládá ze statoru a rotoru. Rotor je tvořen magnetem nebo elektromagnet. Stator tvoří svazek statorových plechů, na které je přiveden střídavý proud, který je zapotřebí k vytvoření rotujícího magnetického pole. Magnet v rotoru se snaží udržet souhlasící polohu vůči otáčivému magnetickému poli, tedy otáčí se současně (synchronně) s rotací magnetického pole. Nevýhodou tohoto typu motoru je, že k rozeběhnutí na pracovní otáčky je zapotřebí jiného stroje nebo asynchronního vinutí, které je po rozeběhnutí odpojeno například odstředivým spínačem. Při zatížení dojde ke ztrátě synchronizace a motor ztrácí otáčky, až se úplně zastaví, proto nachází uplatnění pouze tam, kde nehrozí náhle zatížení motoru.

Asynchronní motory se velmi často objevují pod názvem indukční motory díky tomu, že tok energie mezi státorem a rotorem je tvořen pomocí elektromagnetické indukce. Stator asynchronního motoru je tvořen stejně jako u synchronního motoru svazkem statorových plechů a statorovým vinutím. Rotor můžeme vidět na obrázku [Obrázek 14], který se skládá ze sady měděných tyčí uspořádaných do válcové klece, jež jsou na koncích vodivě spojené. Tyče jsou prostrčeny skrz izolované elektroplechy, které jsou nalisované na hřídeli motoru. Takto upravený rotor se často nazývá „kotva na krátko“. Principem asynchronního motoru je vytvoření točivého magnetického pole, které se vytváří průchodem střídavého elektrického proudu statorovým vinutím. Toto vinutí indukuje v tyčích rotoru elektrické proudy, které vytvářejí své vlastní elektromagnetické pole. Obě magnetické pole navzájem reagují, a tím se vytváří v rotoru točivý moment, který otáčí

rotorem ve směru otáčení točivého pole statoru. Čím se otáčky rotoru zvyšují, tím klesají indukované proudy a tím i intenzita magnetického pole mezi rotorem a státorem. Kdyby dosáhly otáčky rotoru k otáčkám točivého pole statoru, kleslo by vzájemné magnetické pole na nulu, a tím i točivý moment by klesl k nule, proto je zapotřebí, aby otáčení rotoru bylo ve skluzu za rotací točivého pole statoru. Pokud je motor alespoň minimálně zatížen, nikdy nedosáhnou otáčky rotoru k otáčkám statorového elektrického proudu, odtud vznikl název asynchronní motor.



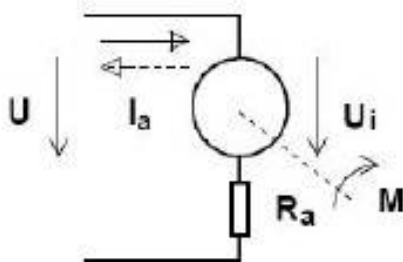
Obrázek 14 - Rotor střídavého motoru kotva na krátko [29]

5.5 Servomotory

Servomotor zkráceně Servo je motor pro přesné natočení osy. Nejběžnější provedení je elektrické, ale můžeme se setkat i s hydraulickými, pneumatickými nebo dokonce i s parními servy. Servo obsahuje převodovku s elektronikou, takže pro řízení nám postačí generovat pouze řídicí signál s různou šířkou ovládacích pulzů, které přímo odpovídají natočení osy. Pro robotiku se nejčastěji používají modelářská RC serva, která umožňují natočení osy v rozmezí 90° až 180°. Pro určení polohy a regulaci v celém rozsahu dráhy je zapotřebí k servomotoru přidat snímač polohy. Nejběžněji se používají fotoelektrické snímače (enkodéry) nebo rozkladače. Signál snímače polohy je pomocí zpětné vazby přiveden na regulátor, který porovná skutečnou polohu s požadovanou a pomocí měniče dorovná rozdíl servomotoru na požadovanou polohu.

6 Metody regulace DC motorů

Při řízení jakéhokoliv systému je nejprve nutné znát jeho matematický popis. Proto si na jednoduchém modelu obrázek [Obrázek 15] představíme princip stejnosměrného motoru a odvodíme, jakými veličinami lze řídit stejnosměrný motor.



Obrázek 15 - Zjednodušený model stejnosměrného motoru [6]

kde U – napájecí napětí motoru,
 I_a – proud motorem,
 R_a – odpor vinutí motoru,
 U_i – indukované napětí kotvy (v případě motoru s cizím buzením),
 M – moment motoru.

Motor v ustálených otáčkách lze popsat rovnicí:

$$U = U_i + U_R = k_e * \omega + R_a * I_a$$

Rovnice 1

kde k_e – elektromagnetická konstanta motoru,
 ω – otáčky rotoru.

Podobně krouticí moment M je úměrný proudu protékajícím vinutím a na magnetickém poli:

$$M = k_M * I_a$$

Rovnice 2

kde M – krouticí moment,
 k_M – momentová konstanta.

Dosazením do první rovnice kdy $k_M = k_e$ dostaneme:

$$U = k_M * \omega + \frac{M * R}{k_M}$$

Rovnice 3

Ze třetího vztahu vyjádříme úhlovou rychlost:

$$\omega = -\frac{R}{k_M^2} * M + \frac{U}{k_M}$$

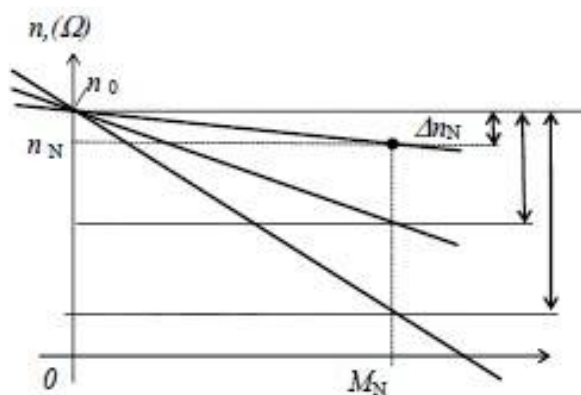
Rovnice 4

Z rovnice [Rovnice 4] vyplívá možnosti metody řízení otáček stejnosměrného motoru:

- změnou odporu v elektrickém obvodu motoru,
- změnou magnetického toku (momentové konstanty),
- změnou napájecího napětí.

6.1 Změnou odporu

Tento způsob řízení stejnosměrných motorů uplatňuje zapojení předřadného odpor nebo reostatu do série s vinutím kotvy motoru. Charakteristiku rychlosti otáček a zatěžovacího momentu na měnícím se předřadném odporu je patrné na obrázku [Obrázek 16]. Rychlost na prázdko je konstantní a sklon charakteristiky je dán odporem. Nevýhodou toho typu řízení je, že na odporu vznikají trvalé ztráty přeměnou elektrické energie na Jouleovo teplo, proto se tohoto typu řízení stejnosměrných motorů téměř nevyužívá, výjimku tvoří malé stejnosměrné motory.



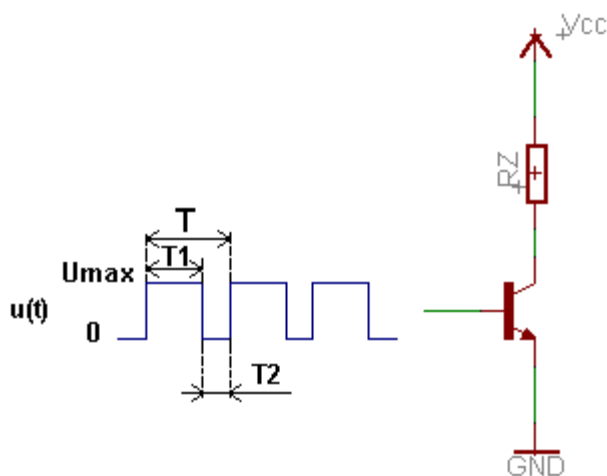
Obrázek 16 - Mechanická charakteristika na změně odporu [27]

6.2 Změnou magnetického toku

Tento způsob neleze využít u motoru s permanentními magnety, mají konstantní magnetický tok.

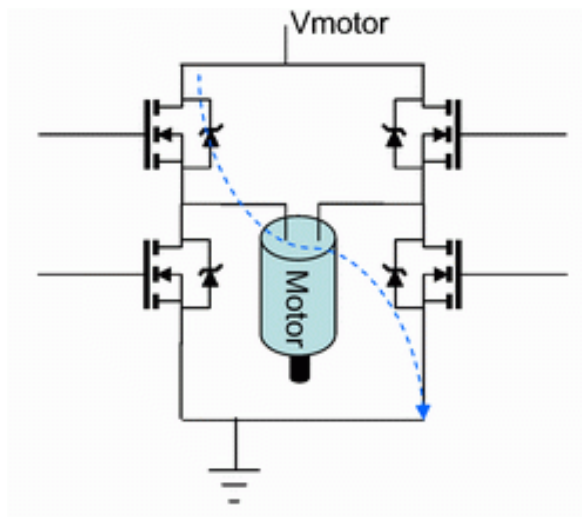
6.3 Změnou napájecího napětí

Přímá změna napětí, která působí na motor, není z energetického hlediska moc vhodná. Daleko vhodnější způsob změny otáček motoru je založena na rychlé změně vstupního napětí zapnuto/vypnuto. Pokud tato změna bude při dostatečně vysoké frekvenci, motor bude na tuto změnu reagovat střední hodnotou protékajícího proudu. Tento způsob řízení na obrázku [Obrázek 17] se nazývá PWM (Pulse Width Modulation = pulzní šířková modulace). Díky tomu, že spínací prvky (tranzistory) jsou zcela otevřeny nebo zavřeny, nevznikají zde téměř žádné ztráty. Rychlost otáčení rotoru bude úměrná napájecímu napětí V_{cc} a poměru doby T_1/T .



Obrázek 17 - Principiální schéma řízení motoru pomocí PWM [6]

Abychom mohli měnit i směr otáčení kol, je zapotřebí plný spínací můstek patrný na obrázku [Obrázek 18], nazývaný též jako H-můstek, zřejmě nazývaný podle podobnosti písmene H. Jedná se o čtyřkvadrantové řízení motoru, kde vhodnou kombinací dvou spínacích prvku lze dosáhnout kladné nebo záporné polaroty na svorkách motoru. Ovšem takhle lze regulovat pouze stejnosměrné motory s permanentním magnetem. Výhody tohoto řízení jsou nízké výkonové ztráty, vysokou účinnost a dostupnost i pro vysoké proudy, kde jednotlivé můstky se zapojují paralelně. Jako nevýhodu můžeme uvést vznik elektromagnetického rušení na rozhlasových vlnách a nadměrný odběr proudu při zastavení motoru.



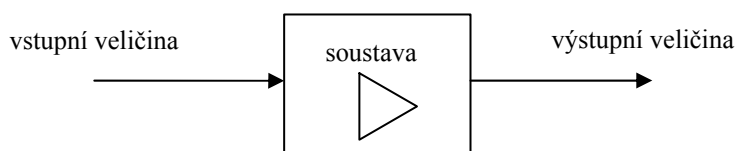
Obrázek 18 - Plný spínací můstek [1]

7 Metody řízení stejnosměrných motorů

Motory pro nenáročné aplikace a především kde, je daný robot řízen obsluhou, která má vizuální kontakt s daným robotem, postačí nám řídit motor bez zpětné vazby. Ovšem pokud se má robot chovat autonomně, musíme zavést zpětnou vazbu, která tzv. doladuje řízení motoru na požadovanou hodnotu.

7.1 Řízení bez zpětné vazby

Jak už bylo zmíněno, zpětná vazba se používá tam, kde není zapotřebí příliš velká přesnost. Jako výhodou můžeme uvést jediné to, že nepotřebujeme žádné snímače polohy a tím je celý systém levnější.



Obrázek 19 - Řízení bez zpětné vazby [vlastní zpracování]

Pohyb robota si můžeme představit podle následující rovnice:

$$\text{pulse_width} = (\text{min_width} + \text{max_width})/2 + (\text{req_speed}/\text{max_speed})$$

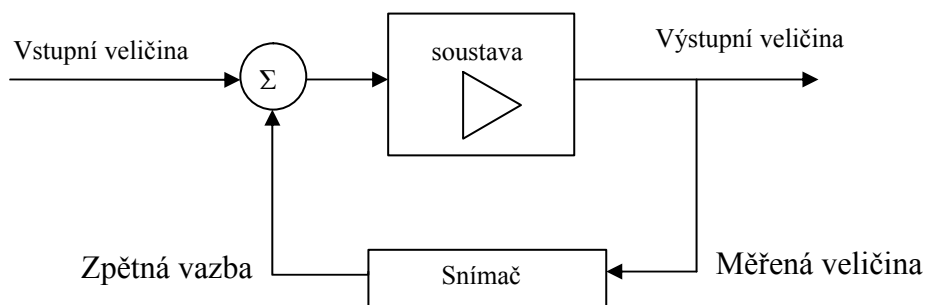
Rovnice 5

kde pulse_width – šířka pulzu,
min_width – minimální šířka pulzu,
max_width – maximální šířka pulzu,
req_speed – požadovaná rychlost,
max_speed – maximální rychlost.

Z rovnice je patrné, že postačí znát požadovanou rychlost a tím určíme šířku pulzu, avšak tu nastávají dva problémy. První, že maximální rychlost není pro dva identické motory stejná, většinou u motoru bývá, že na každou stranu se otáčí jinou rychlostí. Další příčinou nestejnomyšerného otáčení může být špatné rozložení váhy, kvalita povrchu, nebo aktuální napětí na baterkách atd. Druhý problém nastává při reakci motoru na šířku pulzu, rovnice předpokládá lineární závislost šířky pulzu a pohybu robota, ovšem ve skutečnosti šířka pulzu, kde lze lineárně řídit otáčky motoru, je velmi malá.

7.2 Řízení se zpětnou vazbou

Jedná se o monitorovaný průběh regulace a tím můžeme upravovat rychlost otáčení kol. Abychom mohli měnit PWM musíme znát informaci o rychlosti robota. K tomuto účelu nám slouží inerciální snímače. Mezi nejběžnější patří enkodéry, senzory s Hallovým jevem, otáčkoměry, akcelerometry, gyroskopy, nebo GPS moduly.



Obrázek 20 - Řízení se zpětnou vazbou [vlastní zpracování]

Nadále můžeme rozlišit několik stylů řízení se zpětnou vazbou.

7.2.1 Proporcionální řízení

Je založeno na velmi jednoduchém stylu řízení – čím je aktuální rychlost nižší než požadovaná, tím se zvýší šířka řídicího pulzu a naopak. V okamžiku, kdy je aktuální rychlost stejná, šířku pulzu neměníme.

Tento způsob řízení popíšeme podle následující rovnice:

$$e = \text{req_speed} - \text{cur_speed}$$

Rovnice 6

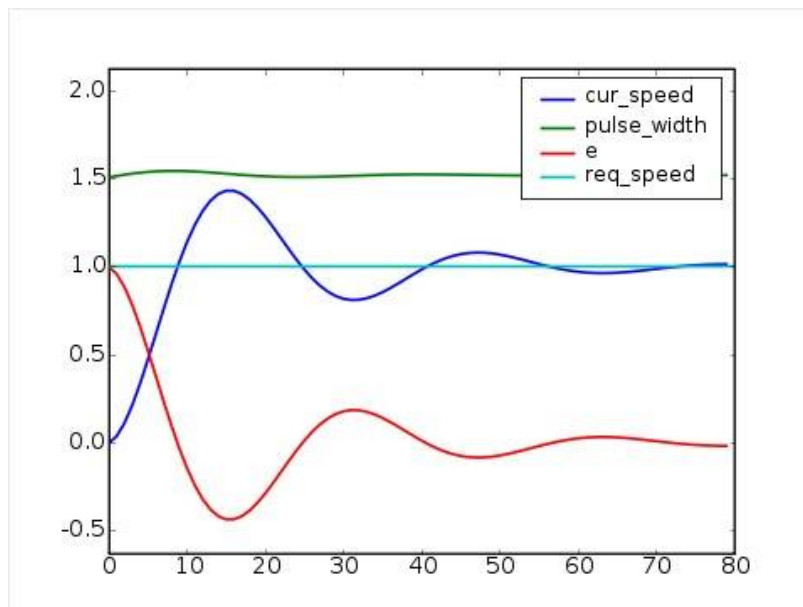
$$\text{pulse_width} += x * e$$

Rovnice 7

kde e – regulační odchylka,
 req_speed – požadovaná rychlost,
 cur_speed – aktuální rychlost,
 pulse_width – šířka pulzu,
 x – konstanta.

Na obrázku [Obrázek 21] můžeme vidět chování proporcionálního řízení v praxi. Aktuální rychlost začíná z nuly a regulační odchylka je maximální. Jakmile přesáhne aktuální rychlost požadovanou rychlost a to díky svoji setrvačnosti je regulační odchylka záporná.

Takto se děj opakuje a aktuální rychlost zakmitává kolem požadované rychlosti. Teoreticky aktuální rychlost dosáhne požadované rychlosti v limitě blížíci se nekonečnu, ovšem z empirického hlediska víme, že srovnatelný výsledek můžeme považovat daleko dříve.



Obrázek 21 - Proporcionální řízení motoru [16]

7.2.2 Vylepšené proporcionální řízení

Vylepšené proporcionální řízení přichází s novou myšlenkou, že čím se rychleji blížíme k požadované rychlosti, tím dříve budeme omezovat aplikovaný výkon a tím by nemělo docházet k překmitům. Do předcházející rovnice proto přidáme další informaci, o tom jak rychle se mění aktuální rychlost (odhad její derivace).

Rovnice vylepšeného proporcionálního řízení vypadá takto:

$$e = req_speed - cur_speed$$

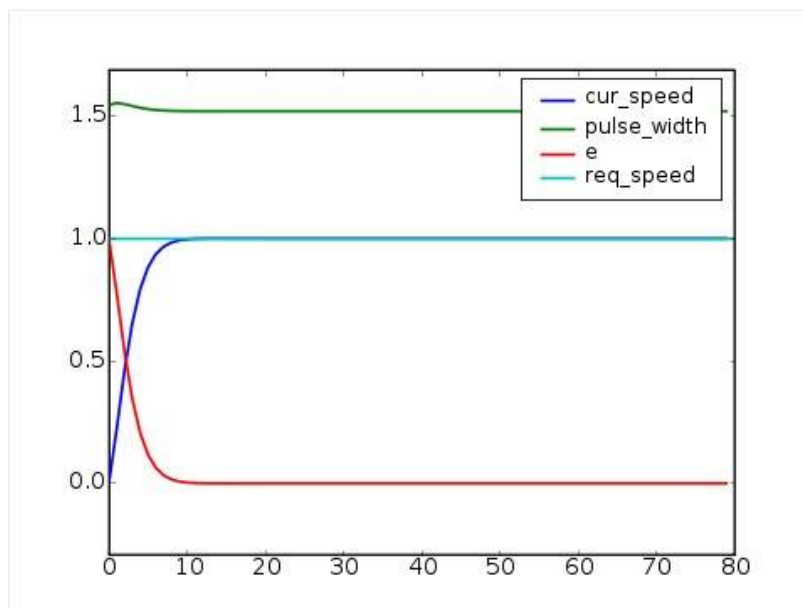
Rovnice 8

$$pulse_width += x * e - y * (cur_speed - last_speed)$$

Rovnice 9

kde e – regulační odchylka,
 req_speed – požadovaná rychlost,
 cur_speed – aktuální rychlost,
 $pulse_width$ – šířka pulzu,
 x – konstanta,
 y – konstanta,
 $last_speed$ – rychlost v minulém kroku.

Celé řízení probíhá následovně, pokud první člen rovnice ($x \cdot e$) je větší než druhý člen rovnice ($e - y \cdot (\text{cur_speed} - \text{last_speed})$) výkon motoru roste. Ale je-li tomu naopak, druhý člen rovnice je větší než první člen a zároveň odchylka aktuální rychlosti od požadované bude minimální, výkon bude klesat. Okamžik od jaké chvíle má výkon motoru klesat se nastavuje konstantami x a y . Tento děj je znázorněn na obrázku [Obrázek 22], kde si můžeme povšimnout, že nedochází k překmitům a požadovaná rychlost nastane dříve. Díky tlumícímu členu (druhý člen rovnice) je možné nastavit větší konstantu x a tím je rychlost reakce na požadovanou rychlost větší.



Obrázek 22 - Vylepšené proporcionální řízení motoru [16]

7.2.3 Pomocí integrační složky

Tento způsob řízení elektrických motorů je odlišné od dvou předcházejících v tom, že se nesnaží dopočítávat šířku pulzu v závislosti na rychlosti, ale spočítá ji rovnou. Abychom zamezili překmitům a zároveň aby systém nebyl příliš pomalý, rozdělíme výslednou rovnici na dvě části. V první části budeme počítat s minulými regulačními odchylkami a ve druhé části rovnice s aktuálními odchylkami. Výsledná šířka pulzu bude součet obou odchylek.

Výsledná rovnice vypadá následovně:

$$\text{pulse_width} = x \cdot (e_1 + e_2 + \dots + e_{(n-1)}) + z \cdot e_n$$

Rovnice 10

- kde
- pulse_width – šířka pulzu,
 - x – konstanta,
 - e – regulační odchylka,
 - n – pořadí n -tého členu,
 - z – konstanta.

Hodnotu x , díky které dochází k překmitům rychlosti, můžeme nastavit dostatečně malou. Zároveň konstantu nastavíme dostatečně velkou, aby dosažení požadované rychlosti nebylo příliš pomalé.

Výsledný systém výpočtu bude vypadat takto:

$$e = \text{req_speed} - \text{cur_speed}$$

Rovnice 11

$$\text{pulse_width} = x * \text{sum_e} + Z * e_n$$

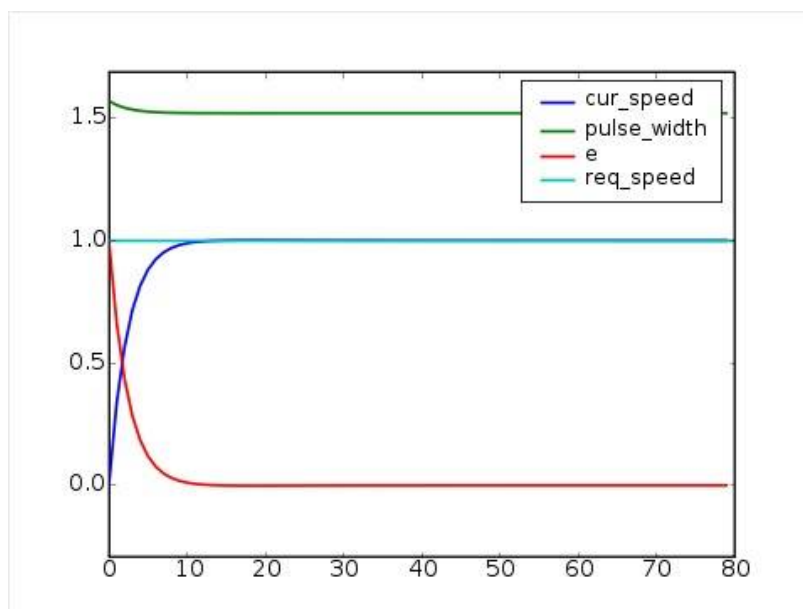
Rovnice 12

$$\text{sum_e} += e$$

Rovnice 13

kde e – regulační odchylka,
 reg_speed – požadovaná rychlost,
 cur_speed – aktuální rychlost,
 pulse_width – šířka pulzu,
 x – konstanta,
 sum_e – součet předchozích odchylek,
 z – konstanta.

Chování výsledného systému můžeme vidět na obrázku [Obrázek 23], kde si můžeme povšimnout, že nedochází k překmitům a zároveň systém reaguje velmi rychle na požadovanou veličinu.



Obrázek 23 - Řízení motoru přidáním integrační složky [16]

8 Měření otáček motoru

Měření otáček, zajištění momentální polohy atd. je dnes v robotice nesmírně důležitý úkol. Abychom mohli zavést zpětnou vazbu, musíme znát aktuální informaci o otáčení hřídele motoru. Měření otáček probíhá dvěma způsoby, kontaktní měření a bezkontaktní měření. V této bakalářské práci se budeme zabývat pouze o bezkontaktní měření, které z názvu vyplývá, nepotřebuje s rotující částí žádný kontakt. Měření se většinou provádí pomocí světelného paprsku. Nejběžněji se v robotice používají rotační optické enkodéry (optical shaft encoder), které se dělí na dva typy, podle způsobu měření inkrementační a absolutní.

Rotační elektrický enkodér (dále jen enkodér) si můžeme představit jako elektromechanický převodník, kde je otáčivý pohyb převeden na elektrický signál. Každý enkodér se skládá ze tří základních částí:

- disk s posloupností průhledných, nebo neprůhledných otvorů, popřípadě odrazných nebo neodrazných plošek,
- optickým vysílačem – nejčastěji s LED diodou,
- optickým přijímačem – fototranzistor, nebo fotodioda.

Kotouček s propustnými a nepropustnými okénky je připojen na hřídel motoru a otáčí se s ním stejně rychle. Světlo vysílané přes tento rotující kotouček dopadá na optický přijímač, který tyto přerušované světelné paprsky převádí na obdélníkový signál. Pokud se jedná o odrazové kotoučky je zdroj světla a přijímač umístěn na jedné straně.

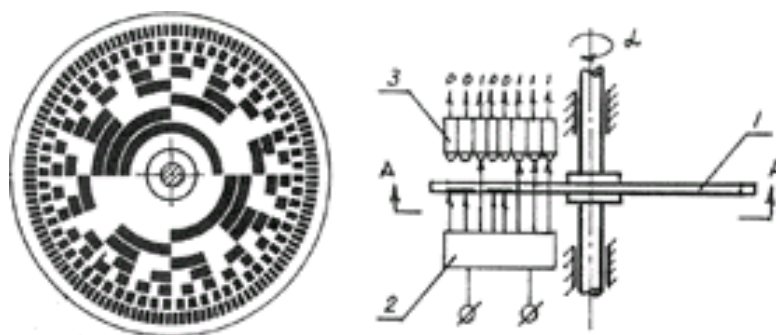
8.1 Inkrementační optický enkodér

Inkrementační, neboli přírůstkové enkodéry se vyznačují vysokou rozlišovací schopností, malými rozměry a nízkou cenou. Kotouček má rovnoměrně na svém obvodu rozmístěny odrazové a neodrazové plošky, které při otáčení generují pravidelný obdélníkový signál. Aby bylo možné detekovat krom rychlosti otáčení i směr, musí být enkodér vybaven druhým kanálem, který je fázově posunutý oproti prvnímu kanálu. Takto dva posunuté signály se v dekódovací elektronice vyhodnotí, který kanál se zpožďuje za druhým, a tím se určí směr. Tyto enkodéry mívají ještě jeden kotouček, který má pouze jeden odrazový člen, říká se mu referenční pulz. Tímto pulzem se může určit výchozí pozice motoru, využívá se především k najetí do referenční pozice. Nevýhodou je, že tato pozice je ztracena při vypnutí zařízení a při zapnutí se musí provést inicializační sekvence.

8.2 Absolutní optický enkodér

Absolutní enkodéry nacházejí uplatnění u pomalu otáčejících se motorů, kde se u inkrementační enkodérů objevují kvantizační chyby. Vyznačují se větším počtem snímacích prvků, což jim umožní určit pomocí správného kódování úhle od 0° do 360°.

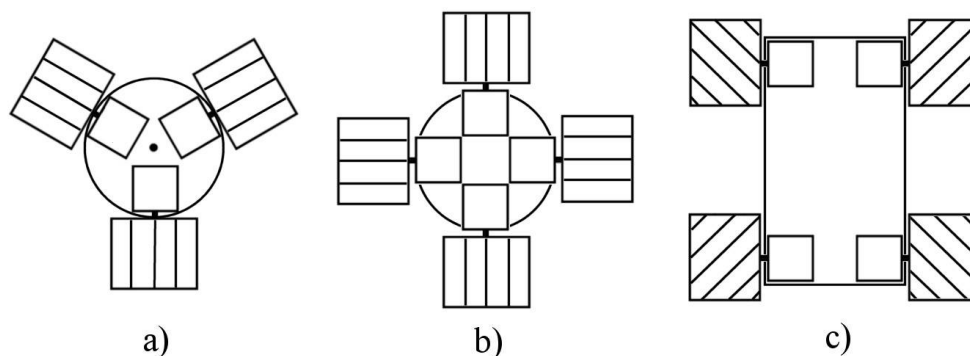
Po zapnutí nemusí provádět inicializační sekvence. Čím má enkodér více snímacích prvků, tím stoupá i jeho rozlišovací schopnost. Přidáním jednoho bitu (snímacího prvku) se zvýší rozlišovací schopnost dvojnásobně. Často používaným typem kódování je Grayův kód, kde nedochází k hazardním stavům, které byly u binárního kódování velmi časté, vlivem nedokonalého provedení kolečka. Nevýhodou absolutního enkodéru bývá vyšší cena, náchylnost na otřesy a nižší rozlišovací schopnost. Na obrázku [Obrázek 24] můžeme vidět kotouček Absolutního enkodéru (1) společně s optickým vysílačem (2) a přijímačem (3).



Obrázek 24 - Absolutní enkodér [22]

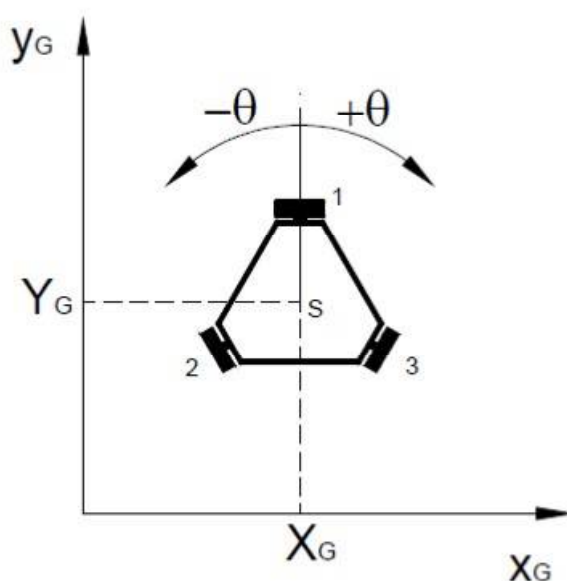
9 Popis polohy všesměrového podvozku

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4 existují dva typy všesměrových kol Stanfordské kolo a Mecanumské kolo. U Stanfordského kola se rozmístění volí do kruhu, kde lze použít 3,4 i více kol. Tříkolovou variantu jsme zvolili pro tuto bakalářskou práci. Pokud se používají Mecanumská kola, rozmísťují se klasicky do čtverce na každou stranu podvozku dvě kola. Všechny možnosti umístění všesměrových kol můžeme vidět na obrázku [Obrázek 25].



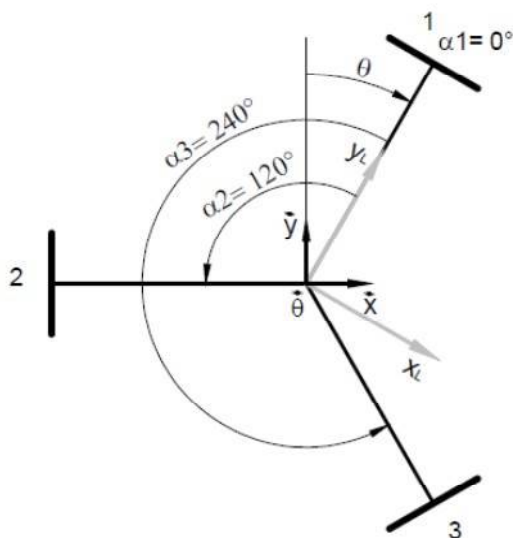
Obrázek 25 - Rozmístění všesměrových kol [23]

Abychom mohli určovat, kde se robot nachází, musíme zavést globální souřadný systém obrázek [Obrázek 26]. Tento systém se skládá ze tří globálních souřadnic x_G , y_G a úhlu natočení θ . Tento úhel se vztahuje k ose x , pokud svírá s osou x pravý úhly považujeme tento úhel za nulový. Pokud se robot otáčí po směru hodinových ručiček, je tento úhel kladný.



Obrázek 26 - Globální souřadný systém [10]

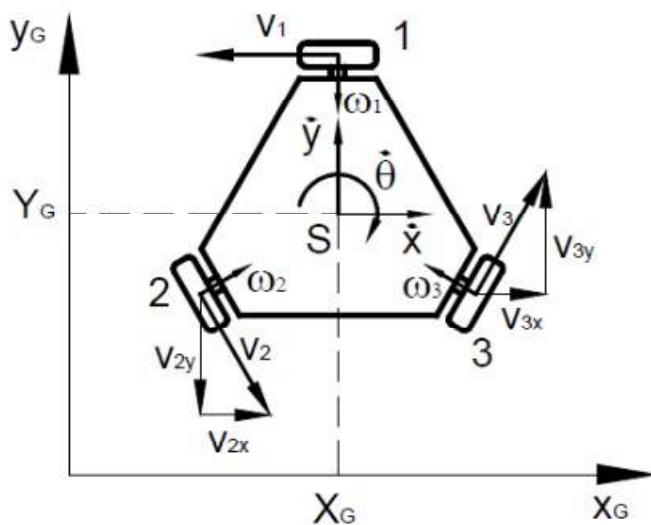
Dalším souřadným parametrem jsou lokální souřadnice x_L, y_L , které se vztahují k samotnému robotu, kde se nachází obrázek [Obrázek 27]. Pro zjednodušení osa y_L je totožná se spojnicí, která vede od těžiště robotu S ke středu prvního motoru. Jednotlivá kola jsou umístěna pod třemi úhly $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Rozdíl je oproti úhlu natočení θ ten, že se úhly jednotlivých motorů měří proti směru hodinových ručiček.



Obrázek 27 - Lokální souřadný systém [10]

9.1 Kinematika podvozku

Abychom mohli určit kinematiku podvozku, je nutné si stanovit základní veličiny. Vektory rychlostí kol budeme označovat v_1, v_2, v_3 a úhlové rychlosti označíme $\omega_1, \omega_2, \omega_3$. Každý vektor si rozložíme do souřadnicového systému jako x_v a y_v . Rychlost celého robotu značíme podle Newtonovy notace $\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta}$, které jsou staženy ke globálním souřadnicím. Takto rozložené vektory můžeme vidět na obrázku [Obrázek 28].



Obrázek 28 - Vektorový systém rychlostí kol [10]

Nyní když máme rozloženy všechny vektory rychlostí kol, můžeme rychlost všesměrového kola rozdělit na část translačního pohybu a část rotačního pohybu viz rovnice [Rovnice 14].

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{tran} + \mathbf{v}_{rot}$$

Rovnice 14

Na obrázku [Obrázek 29] můžeme vidět rozložení jednotkového vektoru prvního motoru do souřadnicového systému \dot{x}, \dot{y} . Tím postupnými úpravami dostaneme vztah rovnice [Rovnice 17].

$$\cos(\theta) = \frac{-\dot{x}}{1} \rightarrow \dot{x}_1 = -\cos(\theta)$$

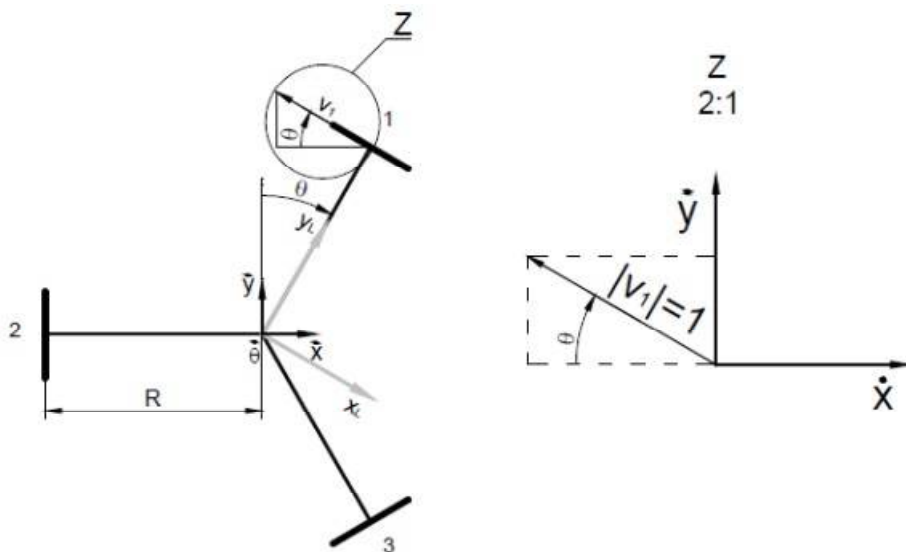
Rovnice 15

$$\sin(\theta) = \frac{-\dot{y}}{1} \rightarrow \dot{y}_1 = \sin(\theta)$$

Rovnice 16

$$\mathbf{v}_{1tran} = -\cos(\theta)\dot{x} + \sin(\theta)\dot{y}$$

Rovnice 17



Obrázek 29 - Znázornění rychlosti prvního kola [10]

Takto dopočítáme i rychlosti ostatních kol. Ovšem nesmíme zapomenout, že jsou posunuty oproti prvnímu kolu o α_2, α_3 . Tyto úhly mají opačnou orientaci oproti úhlu θ a budou se od tohoto úhlu odečítat.

$$v_{1tran} = -\cos(\theta - \alpha_1)\dot{x} + \sin(\theta - \alpha_1)\dot{y}$$

Rovnice 18

$$v_{2tran} = -\cos(\theta - \alpha_2)\dot{x} + \sin(\theta - \alpha_2)\dot{y}$$

Rovnice 19

$$v_{3tran} = -\cos(\theta - \alpha_3)\dot{x} + \sin(\theta - \alpha_3)\dot{y}$$

Rovnice 20

Nyní si vyjádříme druhou část rovnic [Rovnice 14] rotační pohyb. Rotace všesměrového podvozku se rozumí, když všechny motory mají stejně velkou velikost vektoru. Tím dochází k rotaci na poloměru R.

$$v_{rot} = R\dot{\theta}$$

Rovnice 21

Nyní dosadíme vyjádřené tvary do rovnice [Rovnice 18] tím dostaneme vztah mezi obvodovou rychlostí kol a globálním souřadnicovým systémem.

$$v_{1tran} = -\cos(\theta)\dot{x} + \sin(\theta)\dot{y} + R\dot{\theta}$$

Rovnice 22

$$v_{2tran} = -\cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right)\dot{x} + \sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right)\dot{y} + R\dot{\theta}$$

Rovnice 23

$$v_{3tran} = -\cos\left(\theta - \frac{4}{3}\pi\right)\dot{x} + \sin\left(\theta - \frac{4}{3}\pi\right)\dot{y} + R\dot{\theta}$$

Rovnice 24

Pokud bychom si chtěli vyjádřit vztah mezi obvodovou rychlostí kola a úhlovou rychlostí kola, musíme se zavést novou veličinu a tou je poloměr všesměrového kola r. Pak platí vzat pro jednotlivá kola.

$$\omega_i = \frac{-\cos(\theta - \alpha_i)\dot{x} + \sin(\theta - \alpha_i)\dot{y} + R\dot{\theta}}{r}$$

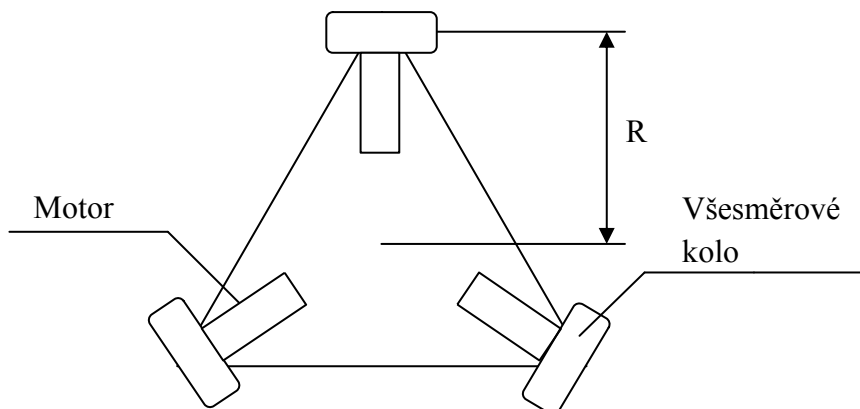
Rovnice 25

10 Konstrukce všesměrového podvozku

Cílem této praktické části je navrhnout a zprovoznit malého všesměrového robota, který bude schopen vykonávat zadaný pohyb a informovat o své poloze.

10.1 Podvozek

Všesměrový podvozek patří jistě mezi důležitou část robota. Je třeba, aby byla dodržena přesná geometrie podvozku. Podvozek je vyroben ze 4 mm plexiskla ve tvaru pravidelného trojúhelníka. Je to především z důvodů pevnosti a robustnosti podvozku. Na každém cípu je umístěn stejnosměrný motor a všechny motory svírají mezi sebou úhel 120° . Dále obsahuje distanční šroubky k upevnění hlavní desky a akumulátoru. Důležitým údajem je poloměr od těžiště robota ke středu všesměrového kola (R). Půdorys podvozku můžeme vidět na obrázku [Obrázek 30].



Obrázek 30 - Půdorys podvozku všesměrového robota [vlastní zpracování]

10.2 Hnací soustava

Jako hnací soustavu jsme zvolili stejnosměrný motor od švýcarské firmy Faulhaber s typem označení 1524E006S123 [Obrázek 31]. Jedná se o motor, který již obsahuje převodovku s označením 15/5S141: 1K832 a HES164A magnetickým, kvadrurním enkodérem. Jedná se o velmi malý motor o průměru 15 mm a celkové délky s převodovkou a enkodérem 61.65 mm. Hmotnost motoru je necelých 55 g. Vinutí má 11 Ohm, což znamená, že při zastavení motoru a napájecím napětí 6V bude proudový odběr 550 mA. Maximální účinnost motoru je 74 %. Motor dosahuje bez zatížení a při napájecím napětí 6V 13 400 otáček za minutu, po převodu cca 95 otáček za minutu. Uchycení celého motoru se provádí dvěma šrouby a výběr je mezi dvěma typy závitů (metrický a palcový). Motor má 6 pinový konektor na obrázku [Obrázek 32], kde 1 a 6 pin je pro napájení motoru, 2 a 5 pin je pro napájení enkodéru, 3 a 4 pin jsou výstupy z enkodéru. Cena motoru s pravoúhlým převodem se pohybuje kolem 12 \$.



Obrázek 31 - Stejnoseměrný motor od firmy Faulhaber [19]

15	Průměr motoru
24	Délka motoru
E	Označení krátké výstupní hřídele
006	Jmenovité napětí 6 V ± 50% (3 V – 9 V)
S	Typ komutátoru stříbrná slitina drahých kovů
123	Teplotní rozmezí ložisek a skříně motoru

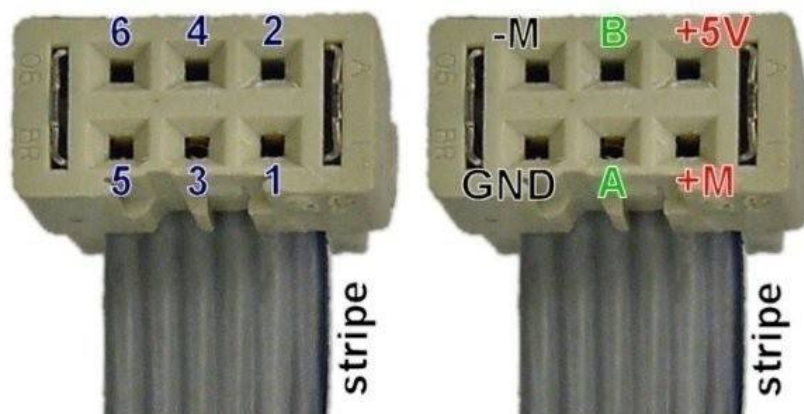
Tabulka 1 - Označení motoru 1524E006S123

15	Vnitřní průměr pouzdra
5	Pátá řada převodovky
S	Převodovku tvoří ocelová, ozubená kola a odolná kapalina
141:1	Převodový poměr
K832	Výrobní číslo

Tabulka 2 - Označení převodovky 15/5S141: 1K832

HE	Označení pro magnetický snímač
S	Série
16	Vnější průměr v milimetrech
4A	Výrobní číslo

Tabulka 3 - Označení enkodéru HES164A

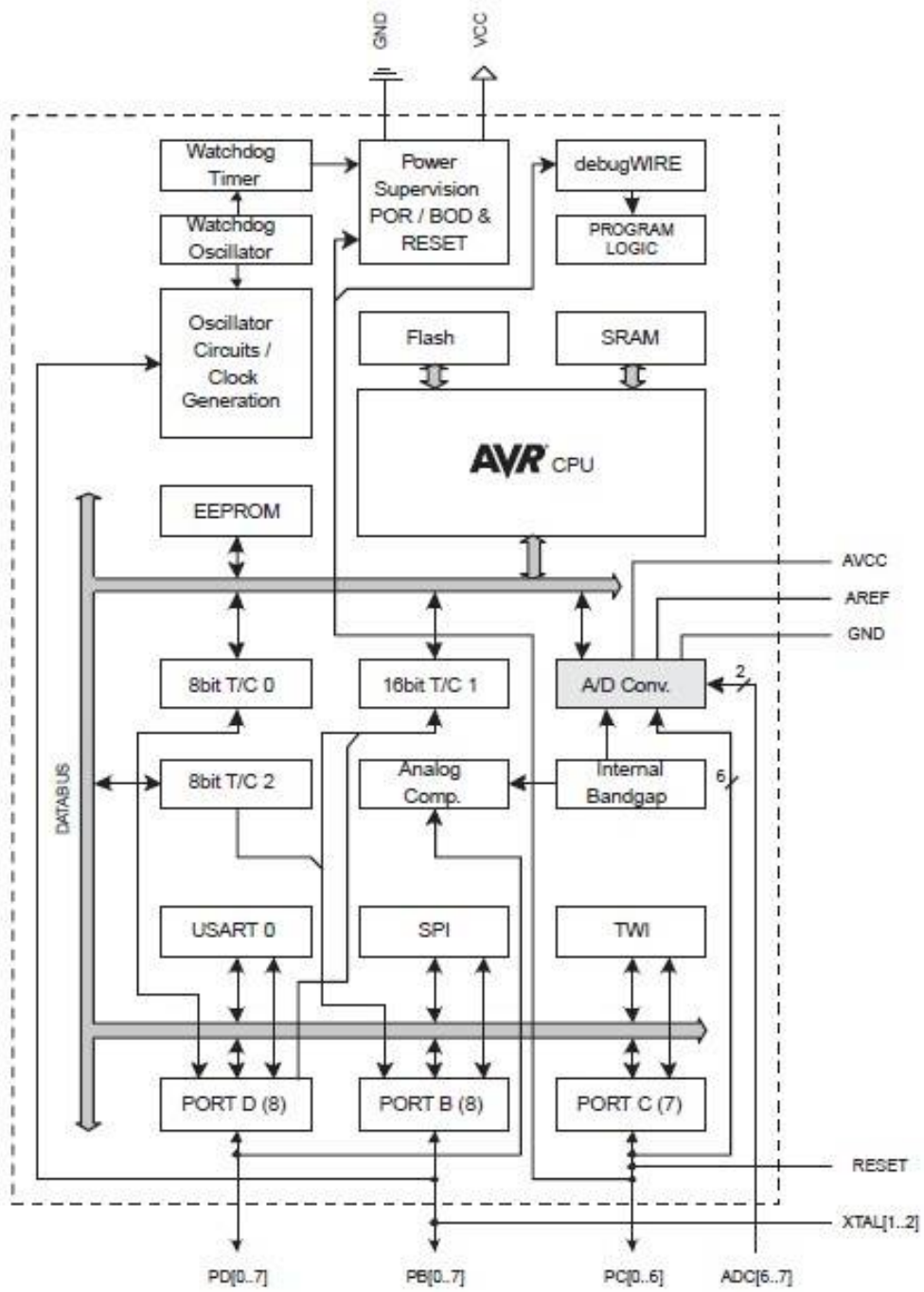


Obrázek 32 - Připojovací konektor stejnosměrného motoru [19]

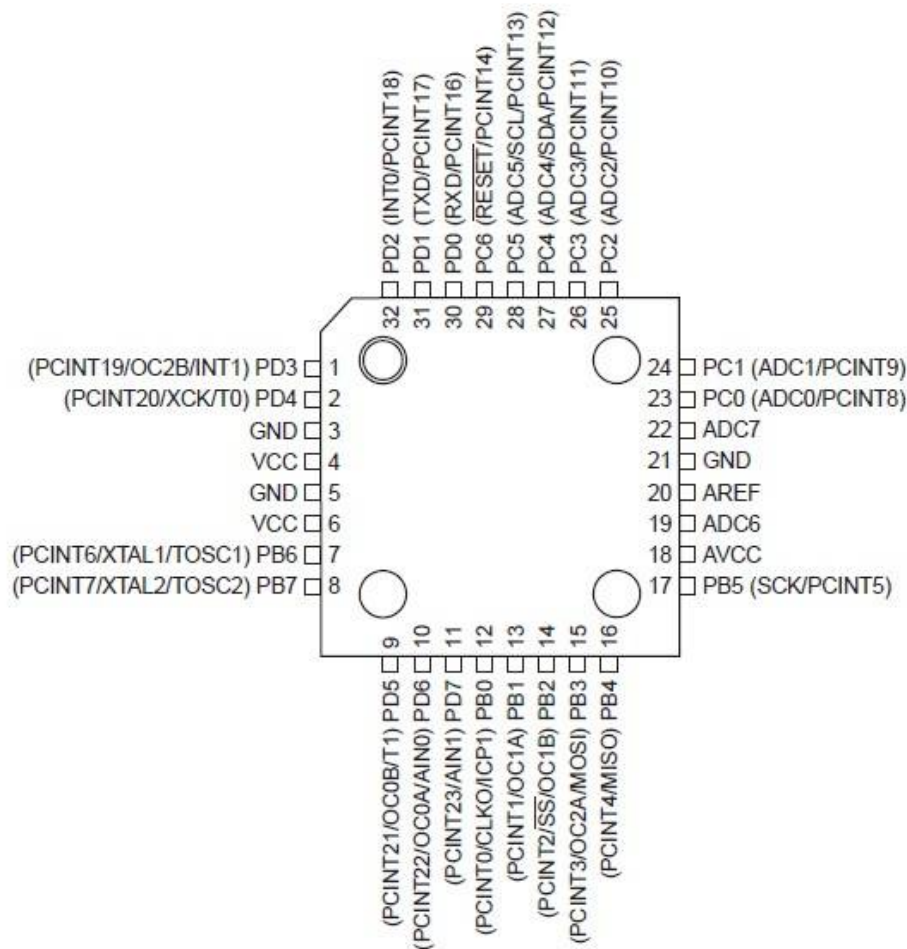
10.3 Mikroprocesor

Aby byl robot schopen vyhodnocovat přijatá data po sériové lince, musí obsahovat řídicí jednotku. Mezi nejznámější řídicí jednotky na dnešním trhu patří mikroprocesory od firmy ATMEL a PIC. Rozhodli jsme se pro firmu ATMEL, konkrétně o osmi bitový mikroprocesor Atmega48.

Jedná se o mikroprocesor Harvardské architektury s pokročilou RISC sadou instrukcí. Disponuje 4 kB programové paměti FLASH, 256 B paměti EEPROM a 512 B paměti SRAM. Nadále obsahuje 2 osmibitový a jeden šestnáctibitový čítač/časovač s děličkou, šest PWM výstupů. Mikroprocesor má svůj vlastní oscilátor, provozní napětí je 2,7– 5,5 V. Blokové schéma mikroprocesoru můžeme vidět na následujícím obrázku [Obrázek 33].



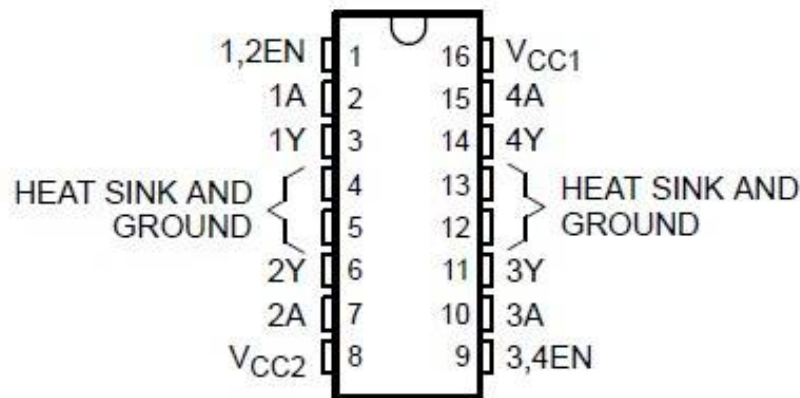
Obrázek 33 - Blokové schéma ATmega48 [4]



Obrázek 34 - Pouzdro ATmega48 [4]

10.4 H-můstek

Jelikož mikroprocesor může přímo řídit pouze do proudového odběru 20mA, potřebujeme pro řízení motorů výkonovou část tzv. H-můstek. Z obsáhlé nabídky na trhu jsme vybrali dvojitý bipolární H-můstek, uzavřený v integrovaném obvodu obrázek [Obrázek 35] s označením L293D. Modul umožňuje řídit dva stejnosměrné motory v obou směrech s maximálním odběrem 500 mA jednoho motoru. Maximální dodávané napětí pro motor je 4 V až 35 V. Rychlost motoru se řídí pomocí PWM, která se pohybuje v kmitočtu od 20 Hz až do 20 KHz. Výhodou je, že integrovaný obvod již obsahuje ochranné rekuperační diody a již je nemusíme přidávat externě.



Obrázek 35 - Pouzdro L239D [5]

10.5 Stabilizátor

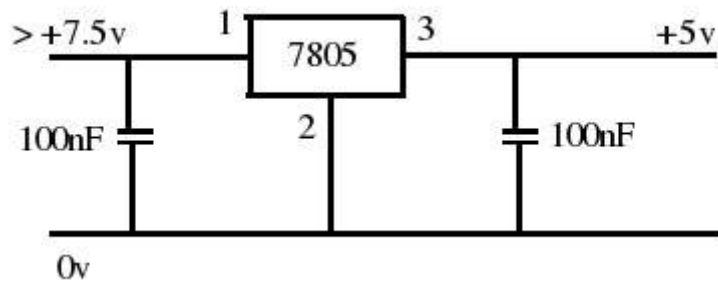
Abychom nezničili součástky typu TTL v elektrickém obvodu vysokým napětím, je nutné toto napětí snížit a co nejpřesněji ho stabilizovat. Pro tyto účely existují mnoho typů stabilizátorů od různých výrobců. Mezi nejdůležitější parametry patří vstupní napětí, maximální výstupní proud (výkon) a úbytek napětí na stabilizátoru.

Pro náš obvod jsme zvolili stabilizátor s označením L7805, kde poslední dvojčíslí označuje výstupní stabilizované napětí. Úbytek napětí není nejmenší, ovšem pro naše účely je dostačující. Pro správnou funkci postačí dva filtrační kondenzátory, jejichž hodnoty uvádí výrobce v katalogovém listu.

Výstupní napětí	5V
Maximální výstupní proud	1A
Úbytek napětí	2 - 2,5V

Tabulka 4 - Parametry stabilizátoru

Stabilizátory disponují také různými typy ochran, například tepelnou ochranou a ochranou proti zkratu. Na daném stabilizátoru vzniká úbytek cca. 2 V, je proto nutné, aby na svém vstupu měl alespoň 7 V. Prodávají se ale i tzv. nízko úbytkové stabilizátory, které mají menší úbytek napětí. Na jeho vstup dodáváme napětí v hodnotě od 9,2 V do 10,4 V, v závislosti na nabití akumulátorů, takže dané napětí je více než dostatečné. Aplikace tohoto stabilizátoru je velice jednoduchá, vše potřebné má integrováno. Na vstup a výstup se pouze připojují filtrační kondenzátory na obrázku [Obrázek 36]. Stabilizátor dodává potřebnou energii celému robotovi, až na jeho motory, které jsou napájeny přímo z baterie.



Obrázek 36 - Zapojení stabilizátoru [3]

10.6 Napájení

Aby se robot mohl libovolně pohybovat, bylo nutné koncipovat podvozek bez propojovacích kabelů a vybavit ho samostatným zdrojem elektrické energie. Nejrozšířenějším zdrojem elektrické energie u mobilních robotů jsou baterie (primární články) nebo akumulátory (sekundární články). Při výběru vhodného typu elektrické energie je nutné se zaměřit kromě ceny a rozměrů také na maximální proudovou zatížitelnost, velikost vnitřního odporu, kapacitu, rychlost samovybití, počet nabíjecích cyklů, hmotnost a existence paměťového efektu.

Primární články mají nevýhodu v tom, že po vybití se nedají opět nabít, proto u mobilních robotů nenacházejí tolik oblibu jako akumulátory. Ovšem přinášejí 3x vyšší energetickou hustotu a větší proudovou zatížitelnost. Nejčastěji se používají zinko-uhlíkové baterie, dražším typem je lithiová baterie, která má delší životnost.

Sekundární články můžeme rozdělit podle chemického složení do pěti nejčastěji používaných kategorií. Pb (olověné), NiCD (NiklKadmiové), NiMH (NiklMetalHydridové), Li-Ion (Lithium-Iontové), Li-Pol (Lithium-Polymerové). První tři typy akumulátorů patří k nejstarším, vyznačující se nízkou cenou, mají vysoký počet nabíjecích cyklů a malý vnitřní odpor. Nevýhodou je, že se zvyšující teplotou rychle klesá kapacita. Optimální teplota těchto článků je 15°. Mají i velmi velký paměťový efekt při neúplném vybití. Li-Ion akumulátory se vyznačují vysokým počtem nabíjecích cyklů, nízkým samovybíjecím efektem a velkou energetickou hustotou. Ovšem mohou dodávat jen malé proudy, a proto našli uplatnění v mobilních telefonech. Li-Pol akumulátory mohou dodávat mnohem větší proudy, mají i vyšší energetickou hustotu a nízký odpor. Hlavní důvod používání těchto akumulátorů je, že nemusí být zapouzdřeny v kovovém pouzdru a akumulátory mohou mít libovolný tvar. Nevýhodou zůstává vyšší pořizovací cena.

My jsme si zvolili akumulátor typu Li-Pol od firmy ESKY s označením (EK1-0181) obrázek [Obrázek 37]. Základní parametry můžeme vidět v tabulce [Tabulka 5]. Výhodou toho typu akumulátoru je, že netrpí paměťovým efektem, má velmi malé samovybití

(samovybíjení článku je cca 1 % za měsíc), malou hmotnost a velká hustota energie. Mezní hodnota vybití, pod kterou se nesmí z důvodu životnosti nastat, je u tohoto článku 2,5V.

Kapacita	800mAh
Napětí	7,4V
Rozměry	56x29x14mm
Konektor	Mini konektor + vybíjecí konektor

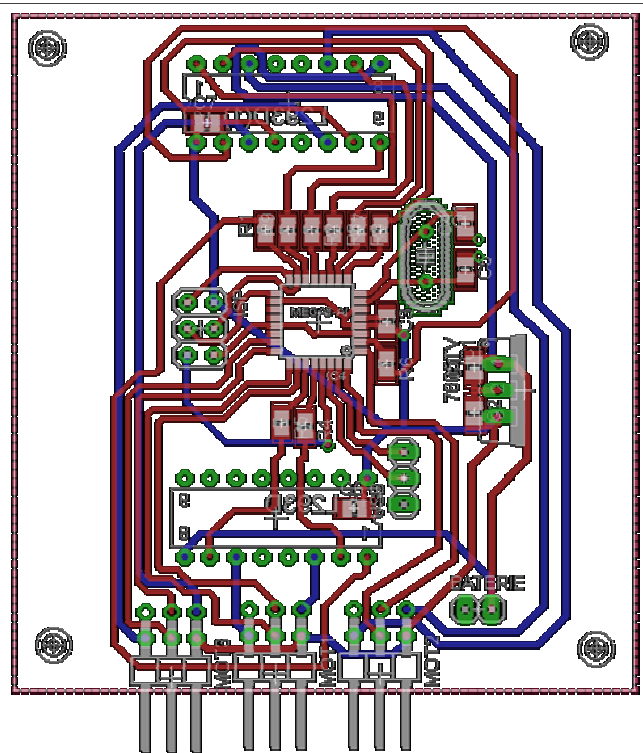
Tabulka 5 - Parametry akumulátoru



Obrázek 37 - Li-Pol akumulátor [11]

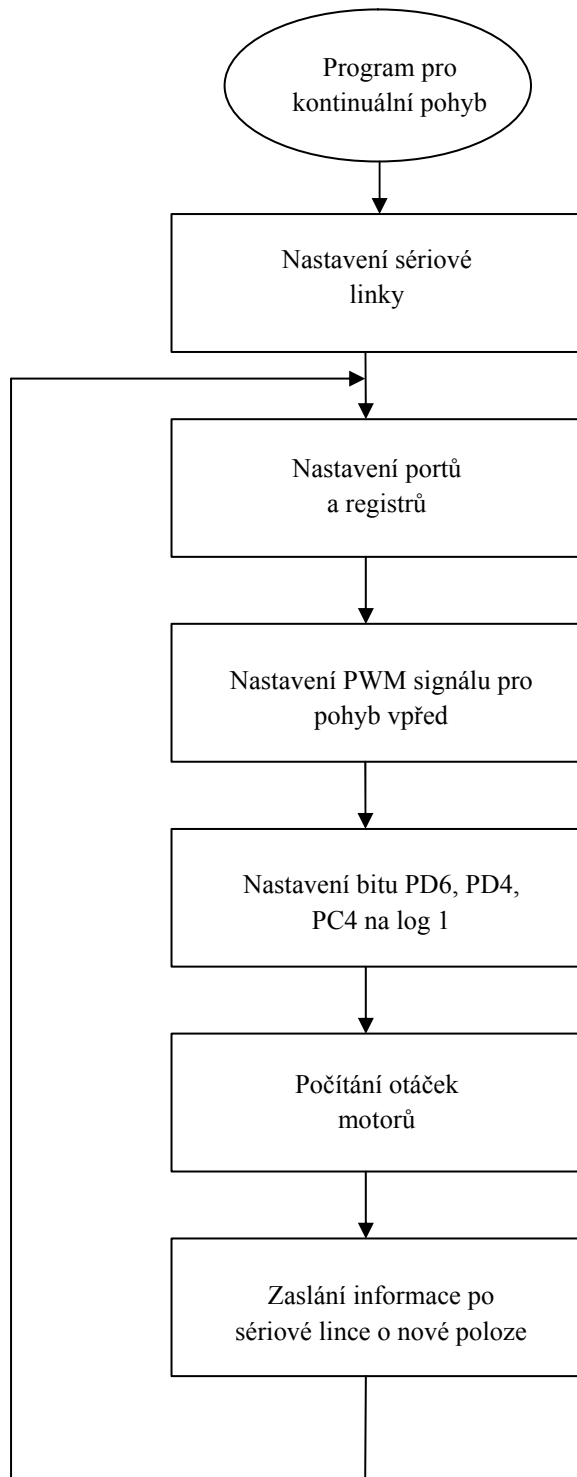
10.7 Návrh servopohonu

Z důvodu úspory místa jsme se rozhodli umístit řídicí a ovládací část na jednu desku plošných spojů (DPS). Deska je tvořena z laminátu skelné tkaniny, sycenou epoxidovou pryskyřicí, na obou stranách je nalepena tenká vrstva měděné folie. Její rozměry jsou zhruba 6 x 6,5 cm. Celá deska je řízena mikroprocesorem Atmega48, který generuje řídicí signály pro jednotlivé motory, vyhodnocuje přijatá data z enkodéru a komunikuje s počítačem přes převodník UART. Mikroprocesor se programuje pomocí programátoru od firmy Atmel přes ISP konektor. Pro návrh plošného spoje obrázek [Obrázek 38] byl použit software Eagle od firmy CadSoft, jedná se o výkonné i cenově dostupné řešení pro návrh plošných spojů. Firma nabízí na vyzkoušení i Freeware verzi, která je omezena na dvě signálové vrstvy spojů a na použitelnou plochu desky 10 x 8 cm. Schéma desky můžeme vidět v Příloze A.



Obrázek 38 - Návrh plošného spoje [vlastní zpracování]

Program byl psán v jazyce C v programovacím prostředí AVR Studio 5, které je postaveno na SW řešení Visual studio 2010. Jedná se o velmi propracované prostředí, které nabízí mnoho užitečných funkcí jako je třeba našeptávač, zvýrazňování syntaktických chyb, přístup k online databázi datasheetů atp. Program pro pohyb vpřed je zjednodušeně popsán následujícím vývojovým diagramem na obrázku [Obrázek 39]. Celý kód je přiložen na CD.



Obrázek 39 - Zjednodušený vývojový diagram pro pohyb vpřed [vlastní zpracování]

11 Závěr

V této práci se podařilo zachytit problematiku spojenou se všesměrovými podvozky. Na úvod byly rozděleny mobilní roboty do několika kategorií. Další kapitoly jsou věnovány používaným technologiím a konstrukcím mobilních robotů. Jedná se o shrnutí nejčastěji používaných konstrukcí u mobilních robotů. V posledních kapitolách bakalářské práce jsou probrány metody řízení stejnosměrných motorů a následně popis polohy na počtu otočených kol.

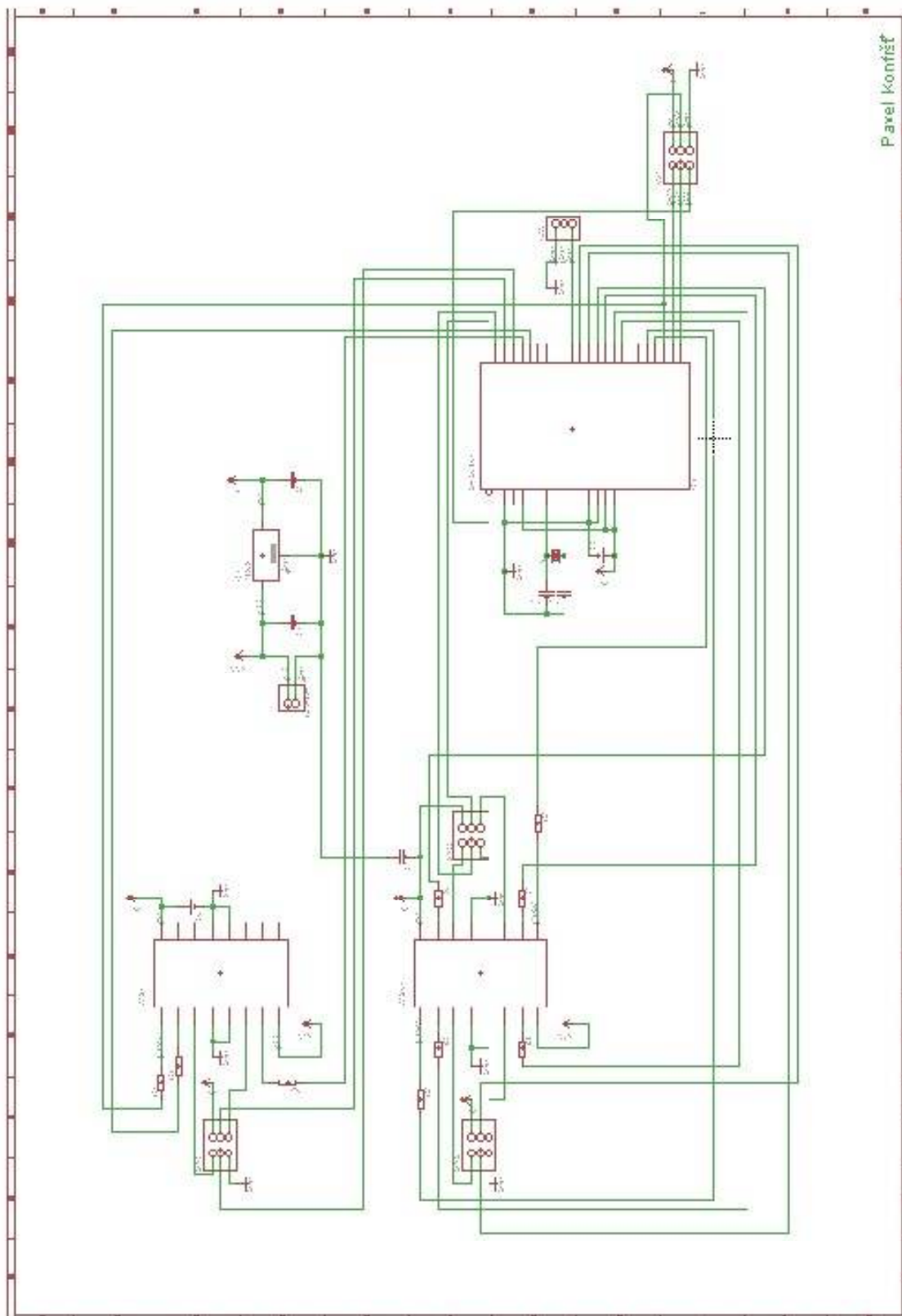
V praktické části se podařilo sestrojít funkční model všesměrového podvozku řízeného mikroprocesorem Atmega48. Podvozek je vyroben z dostatečně silného plexiskla, na který byly umístěny tři hnací stejnosměrné motory a řídicí deska s akumulátorem. Na mikroprocesor je nahrán program určující, jak se bude robot pohybovat. Informaci o své poloze je zasílána do PC přes převodník UART. Pro napájení podvozku byl použit 7,4V akumulátor Li-Pol s kapacitou 800mAh. Stejnosměrné motory mají odběr elektrického proudu řádů desítek mA. Výdrž akumulátoru na jedno nabití je tedy dostatečná. Dále bylo třeba zajistit napětí +5V, které se realizovalo stabilizátorem L7805.

Podařilo se ověřit kinematické znalosti trojkolového všesměrového podvozku. Ovšem pro přesné určení polohy byly enkodéry umístěny na hřídeli motoru nedostatečné a to vlivem prokluzu kol na klzkém povrchu. Abychom docílili přesnější polohy, musely by se na robot umístit další inerciální snímače, které by zamezily narůstající chybě vlivem prokluzu kol.

Do budoucna je pro celou řídicí jednotku společně s motory připraven mnohem větší podvozek ve formě stavebnice, na kterém se budou moci zkoušet vlastnosti inerciálních snímačů.

- [19] RROBOTROOM. Faulhaber Gear Motor and Encoder [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: <http://www.robotroom.com/FaulhaberGearmotor.html>
- [20] SOCIETY OF ROBOTS. OMNI-WHEEL ROBOT - FUZZY. [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://www.societyofrobots.com/robot_omni_wheel.shtml
- [21] SVĚT FYZIKY. Komutátorové motory [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://www.svetfyziky.souepi.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=58%3Amodel-motoru&catid=38%3Aelektrina&Itemid=11&limitstart=1
- [22] ŠOLC, František a Luděk ŽALUD. Robotika [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdfEncoder
- [23] ŠTĚRBA, Ondřej. Všesměrový mobilní robot [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54378
- [24] TOMÁŠEK, Zdeněk. Konstrukce modelářského elektromotoru [online]. 2007 [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://theses.cz/id/38nuxj/downloadPraceContent_adipIdno_6618
- [25] UNIVERSITY OF FREIBURG. Brainstormers Tribots motor control. [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: <http://ml.informatik.uni-freiburg.de/research/tribots/motorcontrol>
- [26] VEX ROBOTICS DESIGN SYSTEM. Mecanum Wheel. [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: <http://www.vexrobotics.com/276-1447.html>
- [27] VRÁNA, Václav, Stanislav KOCMAN a Václav KOLÁŘ. Stejnoseměrné stroje [online]. 2006 [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosemerne_stroje_bc.pdf
- [28] VRÁTIL, Šimon. Návrh a realizace konstrukce autonomního mobilního robotu [online]. 2010 [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=31676
- [29] WIKIPEDIA. Asynchronní motor. [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní_motor
- [30] WIKIPEDIE. Mecanum wheel [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel
- [31] WIKIPEDIE. Omni wheel [online]. [cit. 2012-07-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Omni_wheel

Příloha A – Schéma desky



Příloha B - Obsah CD

Eagle - adresář obsahující schéma desky a návrh plošného spoje

Omnidirectional - adresář se zdrojovými kódy

Foto - adresář obsahující fotky a video autonomního robota

Bakalářská práce - elektronická verze dokumentu v pdf

Příloha C – Skutečný pohled na mobilního robota

