

Návrh elektromechanických částí autonomního robotického systému

Design of electromechanical parts of autonomous robotic system

Milan Opluštil

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan OPLUŠTIL**
Osobní číslo: **A09252**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Návrh elektromechanických částí pohonu
bezpečnostního robota**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši zaměřenou na možné způsoby pohonu bezpečnostního robota. Uvedte možná mechanická uspořádání. Dále uveďte možnosti elektronického řízení.
2. Na základě vypracované literární rešerše navrhnete konkrétní řešení pohonu robota.
3. Vypracujte výrobní výkresovou dokumentaci a dokumentaci systému pohybového řízení robota.
4. Zhodnoťte navržené řešení s ohledem na manévrovatelnost robota a užité vlastnosti robota.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vydání. BEN – technická literatura, 2004, 160 s. ISBN 80-7300-110-1; 9788073001100.
2. VÁŇA, Vladimír. Atmel AVR programování v jazyce C. 1. vydání. BEN – technická literatura, 2003, 216 s. ISBN 80-7300-102-0; 9788073001025.
3. BALÁTĚ, Jaroslav. Automatické řízení. 2. aktualizované. BEN – technická literatura, 2004, 664 s. ISBN 978-80-7300-148-3; 9788073001483.
4. LAUCKÝ, Vladimír. Technologie komerční bezpečnosti II. první. 2004, 122 s. ISBN 80-7318-231-9.
5. NOVÁK, Petr. Mobilní roboty. 1. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 256 s. Robotika. ISBN 80-7300-141-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Maloch, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh pohonu a mechanických částí podvozku autonomního robotického systému. Součástí návrhu je výběr motorů, jejich možný způsob řízení a návrh přenosové soustavy točivého momentu na samotný podvozek. Při tomto návrhu je kladen důraz převážně na obratnost podvozku, jednoduchost a nízkou spotřebu.

Klíčová slova: podvozek, autonomní robot, motory, regulátory

ABSTRACT

Objective of this bachelor labor is proposal of propulsion and mechanical parts of autonomous robotic system. Component of this proposal is to choose engines, possibilities of their control forms and proposal of transmission system of rotary moment to chassis itself. This proposal is focused mainly on agility of chassis, simplicity and low consumption.

Keywords: chassis, autonomous robot, engines, regulators

Poděkování

Mé díky patří vedoucímu bakalářské práce ing. Jaroslavu Malochovi, CSc. Za odborné vedení a konzultace. Dále bych také chtěl poděkovat panu ing. Michalu Brázdovi za věcné připomínky k bakalářské práci.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ROBOT A ROBOTIKA	11
1.1 ROZDĚLENÍ.....	11
1.1.1 Průmyslová robotika	11
1.1.2 Experimentální robotika.....	11
1.2 HISTORIE.....	12
2 ELEKTROMOTOR	14
2.1 PRINCIP	14
2.2 KOMUTÁTOROVÉ MOTORY	15
2.2.1 Komutátorový motor s permanentními magnety s dvoupólovou kotvou.....	15
2.2.2 Komutátorový stroj cize buzený	16
2.2.3 Sériový	16
2.2.4 Derivační	16
2.2.5 Kompaudní a protikompaudní.....	17
2.3 BEZKOMUTÁTOROVÉ MOTORY	17
2.3.1 Asynchronní	17
2.3.2 Krokový.....	19
2.3.3 Lineární elektromotor.....	20
2.3.4 Střídavý servomotor	21
2.3.5 Motor EC.....	21
2.3.6 Motor BLDC	21
3 ŘÍZENÍ MOTORŮ	23
3.1 ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ	23
3.1.1 Snížení napětí transformátoru	23
3.1.2 Předřadná impedance statoru	23
3.1.3 Snížené napětí - polovodičový měnič	23
3.1.4 Přepínání zapojení statoru hvězda - trojúhelník.....	24
3.1.5 Přídavný odpor v rotoru	24
3.1.6 Přídavná indukčnost rotoru	24
3.1.7 Proměnná frekvence napájecího napětí.....	24
3.2 ŘÍZENÍ SYNCHRONNÍCH MOTORŮ	24
3.2.1 Změna frekvence napájecího napětí	25
3.2.2 Změna napětí	25
3.2.3 Změna rotorového odporu.....	25
4 MECHANICKÉ USPOŘÁDÁNÍ POHONU A KOL	27
4.1 ČTYŘI PEVNÁ KOLA	27
4.2 HNANÁ PEVNÁ ZADNÍ NÁPRAVA - ŘÍZENÁ PŘEDNÍ NÁPRAVA.....	28
4.3 HNANÁ ZADNÍ NÁPRAVA - ŘÍZENÁ PŘEDNÍ NÁPRAVA	28
4.4 HNANÁ ZADNÍ NÁPRAVA - VOLNÉ PŘEDNÍ KOLA.....	29
4.5 HNANÁ PŘEDNÍ NÁPRAVA - VOLNÉ ZADNÍ KOLA.....	30
4.6 PŘEVOD SÍLY NA KOLA	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	32

5	KONSTRUKCE ROBOTA	33
5.1	PODVOZEK	33
5.1.1	Podvozek se 3 koly.....	34
5.1.2	Podvozek se 4 koly.....	36
5.2	KOLA	38
5.2.1	Kola s pláštěm o vnějším průměru 8“	38
5.2.2	Kola s pláštěm o vnějším průměru 10“	40
5.3	PŘEVODY	41
5.3.1	Rozmístění součástí pohonu.....	41
5.4	MOTORY A REGULÁTORY	46
5.4.1	Elektromotory TGN – 0054	47
5.4.2	Servozesilovač TGA – 24	48
5.4.3	Generátor rychlostního profilu (PG)	48
5.4.4	Souvislé řízení po sběrnici CAN.....	49
5.4.5	Řízení pomocí „kroku“ a „směru“	49
5.4.5.1	Unipolární, bipolární řízení.....	50
5.4.5.2	Jednofázové, dvoufázové řízení.....	51
5.4.5.3	Plný, poloviční krok.....	51
6	DALŠÍ TECHNOLOGIE V PODVOZKU	53
6.1	SICK.....	53
6.2	ULTRAZVUKOVÉ A INFRAČERVENÉ SENZORY	53
6.3	ČTEČKA MAGNETICKÝCH PÁSKŮ	54
6.4	DOKOVACÍ STANICE	54
6.5	BATERIE	55
6.6	ŘÍDÍCÍ POČÍTAČ	55
6.7	PANEL PC.....	55
7	NÁVRHY JEDNOTLIVÝCH USPOŘÁDÁNÍ KOMPONENT V PODVOZKU	56
7.1	VARIANTA A	56
7.2	VARIANTA B	57
7.3	VARIANTA C	57
7.4	VARIANTA D	59
	ZÁVĚR	60
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM ROVNIC	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ÚVOD

Bakalářská práce má za cíl vytvořit podvozek pro mobilní autonomní robotický systém, který by mohl v budoucnosti nahradit pracovníky v průmyslu komerční bezpečnosti. Autonomní robot má sloužit k zastřežení velkých členitých prostor jako jsou například sklady nebo nákupní centra. V teoretické části byl proveden průzkum možných řešení pohonů robotické platformy. Na základě této rešerše byl vybrán vhodný druh elektrického motoru, který by nejlépe vyhovoval požadavkům kladeným na pohonný systém.

Prvním bodem práce v teoretické části je literární rešerše většiny druhů elektrických motorů. Je zde kladen důraz na využití motorů v aplikaci, kdy není zajištěn stálý přívod elektrické energie ze sítě, ale pouze z baterií. Druhým bodem bylo provést průzkum možných způsobů řízení elektrického motoru pro využití v dané aplikaci. Poslední bodem teoretické části je provést studii možných uspořádání kol na podvozku. Cílem teoretické části je výběr konkrétního motoru, řídicí jednotky a celkový návrh na pohonné soustavy.

Praktická část je rozdělena do několika celků. V prvním je řešena konstrukce podvozku. V rámci podvozku bylo porovnáno chování vybraného podvozku s ohledem na použití tříkolové a čtyřkolové verze, jejich výhody a nevýhody. Další část nabízí několik variant rozměrů pneumatik pro hnaná kola. V práci je provedeno porovnání 8“ a 10“ pláštů, je hodnocen jejich vliv na převodovku a světlou výšku celého robota. Následně je řešen přenos mechanické energie z motorů na hnaná kola. Jsou zde porovnávány jednotlivé možnosti uložení hřídele a jejich vliv na celkové vlastnosti pohonného systému. V posledním bodu praktické části jsou řešeny požadavky na rozmístění všech známých technických zařízení umístěných v robotické platformě. Je zde nabídnuto několik variant rozmístění známých prvků robotického systému.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROBOT A ROBOTIKA

Robotika je vědní obor, který vznikl ve 20. století. Zabývá se roboty a robotickými systémy, jejich designem, výrobou a aplikací. Robotiku rozdělujeme na základě mnoha kritérií.

1.1 Rozdělení

1.1.1 Průmyslová robotika

Průmyslová robotika se zabývá roboty, které jsou využívány zejména v průmyslových aplikacích. Roboti se vyznačují těmito vlastnostmi:

Manipulační schopnost: Roboti jsou schopní na základě využití jedné nebo několika paží provádět přenosy a úpravy předmětů a další montážní úkony.

Automatická činnost: Robot činnost, kterou vykonává na základě programu, vykonává opakovaně a to bez dalšího zásahu člověka.

Snadná změna programu: Program, na jehož základě robot provádí, je zadáván člověkem a jeho změna je kdykoli možná

Univerzálnost: Robot na základě změny programu, popřípadě malé úpravy robota, může vykonávat rozmanité úkoly

Zpětná vazba: Robot využívá systém mechanických, elektromechanických, tlakových a elektromagnetických detektorů pro zpětnou vazbu. U složitějšího systému je takový systém doplněn i o vizuální zpětnou vazbu.

Prostorová soustředěnost: Funkčně nedůležitá vlastnost, ale některé aplikace mohou vyžadovat určitou mobilitu robotického systému.^[1]

1.1.2 Experimentální robotika

Za první experiment lze považovat připojení ručně ovládaného manipulátoru k počítači. Manipulátor byl v dlani vybaven dotykovými a fotooptickými detektory. Robot byl schopen uchopit, zvednout a následně zase položit předmět, který byl položen na stole. Jednalo se o doktorskou práci H. A. Ernesta na MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Systém ruka - oko

Jedná se o robota sestaveného z jedné nebo více pohyblivých manipulačních rukou, kamery, stolu a počítače. První takové systémy byly sestrojeny na MIT a Stanfordově univerzitě.

Mobilní robot

Mezi nejznámější mobilní roboty patří robot "Shakey". Byl vytvořen ve výzkumném ústavu SRI v roce 1969. Jednalo se o pohyblivou část, která byla bezdrátově připojena k počítači. Komunikace probíhala v jednoduché angličtině. Shakey byl schopen se pohybovat v prostředí, které sestávalo z několika dveřmi propojených místností, které obsahovali krabice různých tvarů a rozměrů. Shakey byl schopen vyhýbat se překážkám a na základě požadavků pohybovat jednotlivými krabicemi.^[4]

1.2 Historie

Historie robotů má své kořeny v mýtech a legendách starověku. Moderní pojetí se začínalo vyvíjet během průmyslové revoluce, která povolila využití složitých mechanik. Díky následnému zavedení elektřiny bylo možno použít energetické přístroje s malými kompaktními motory. Po roce 1920 vznikla formulace humanoidního stroje, u kterého bylo možno předpokládat roboty lidské velikosti a blízké myšlením člověka. První použití moderních robotů bylo v továrnách jako průmyslový roboti - jednoduché pevné stroje schopné lidské práce. První digitálně řízení roboti byly do průmyslu zařazeny v roce 1960 a již začali využívat umělou inteligenci.

Přesto, že lidé snili o umělých společnících a pomocnících, první plně automatický stroj vznikl až v 19. století.

Samotné slovo robot bylo poprvé použito ve vědeckofantastickém dramatu R. U. R. (Rossum's Universals Robot) českého spisovatele Karla Čapka. Slovo robot ale vymyslel jeho bratr, malíř Josef Čapek.^[2]

První patent, který se týkal robotiky, byl podán roku 1954 panem Georgem Devolem^[3]. Jeho společnost Unimation byla první, která vyrobila průmyslového robota. Robot byl do průmyslu nasazen v roce 1961 a jeho hlavní účel byl pro přenášení jednotlivých objektů

z jednoho místa na druhý. Navíc tento robot měl do humanoidního tvaru velmi daleko. V dnešní době vede v průmyslové robotice i jejím vývoji hlavní roli Japonsko. V dnešní době existuje již několik robotů, kteří jsou vzhledem k téměř nerozeznání od člověka.

2 ELEKTROMOTOR

Elektromotor je elektromechanický stroj, jehož hlavním a potažmo jediným úkolem je převádět energii elektrickou na mechanickou práci. Za poslední století elektromotor doznal řadu změn a v dnešní době jej najdeme všude tam, kde člověk potřebuje pohyb. V dnešní době se vyrábí elektromotory ve velmi široké škále velikostí, výkonů a konstrukcí.

2.1 Princip

Elektromotor slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. V dnešní době je princip většiny elektromotorů založen na účincích magnetické síly. Ve většině případů se využívá působení Lorentzova zákona síly: Magnetické pole působí na vodič v něm umístěný a vytváří sílu, která je přímo úměrná kolmé složce magnetické indukce a velikosti elektrického proudu tekoucího vodičem:

$$F = B * I * l \quad (1)$$

F - síla [N - newton]

B - indukce elektromagnetického pole [T - tesla]

I - elektrický proud [A - ampér]

l - délka [m - metr]

Kromě využití Lorentzovy síly jde při konstrukci motorů využít i princip přitahování elektromagnetů nebo ferromagnetických materiálů (krokové nebo reluktanční elektromotory). Lze si tedy zjednodušeně představit, že elektromotory využívají elektromagnetické pole a vzájemně se tedy přitahují elektromagnety, elektromagnet a permanentní magnet, nebo železo a elektromagnet. Při používání elektromagnetů lze jejich sílu a polaritu měnit velikostí elektrického proudu, který do elektromagnetu pustíme. V dnešní době elektromotory rozdělujeme na několik druhů. Hlavní dělení je podle způsobu dodávání elektrické energie a jedná se o elektromotory stejnosměrné a střídavé, komutátorové a bezkomutátorové.

Elektromotor má celkem tři režimy provozu:

Motorický režim - motor odebírá elektrickou energii ze svého zdroje a přeměňuje ji na mechanickou práci

Generátorický režim - Motor odebírá mechanickou energii (polohovou nebo kinetickou) přes hřídel a přeměňuje ji na elektrickou energii, kterou dodává do elektrické sítě, baterie nebo do jiného elektrického přístroje

Brzdný režim - motor odebírá mechanickou energii a přeměňuje ji v energii tepelnou

Další, v dnešní době téměř nevyužívané principy pro elektromotory je dále využívání piezoelektrického jevu, elektrostatické síly nebo stroje typu Schrage, Winter - Eichberg, rotační zesilovače, Leonardova skupina apod. ^{[5][6][7]}

2.2 Komutátorové motory

2.2.1 Komutátorový motor s permanentními magnety s dvoupólovou kotvou

Jedná se o nejjednodušší motor na stejnosměrný proud. Stator je tvořen dvěma permanentními magnety. Rotující kotva, zvaná také jako rotor, je tvořena jedním elektromagnetem s dvěma póly. Dále se v motoru nachází komutátor. Komutátor zajišťuje, že se na elektromagnetu kotvy každou půlotáčku (180°) mění polarita z kladného na záporný a záporný na kladný. Dochází tak ke změně indukčních čar a tím se zaručuje, že síly působící na oba póly statoru jsou stále stejné a dochází k rotačnímu pohybu. V okamžicích, kdy dochází k přepólování elektromagnetu na cívce, se motor dostává do tzv. mrtvého úhlu, kdy uvnitř na sebe nepůsobí žádné síly. V tomto okamžiku se motor udržuje v chodu díky setrvačné síle. Zjednodušeně by se dalo říct, že stejnosměrný komutátorový motor funguje podobně jako střídavý synchronní motor s tím rozdílem, že u komutátorového motoru dochází ke změně polarity díky komutátoru. U motoru synchronního dochází ke změně polarity na vinutí díky změně polarity v síti.

V dnešní době se komutátorové motory s permanentními magnety využívají hlavně v modelářství nebo popřípadě v hračkách. Kotva ale nebývá dvoupólová, ale vícepólová, obvykle třípólová. Dochází tak k odstranění mrtvého úhlu při změně polarity. Jejich hlavní výhodou je v tom, že jejich reverzace probíhá jen prostou záměnou polarity na vstupu. Jejich cena a výroba je dražší než u motorů střídavých. A to z důvodu komutátoru. Zde dochází ke kluznému spoji. Pokud se rotor s komutátorem roztočí, na komutátor působí odstředivá síla, a dochází zde ke zvětšení průměru komutátoru. Navíc díky přechodu se komutátor zahřívá a dochází zde i k teplotní roztažnosti materiálu. Tyto vlastnosti přispívají k vyšším pořizovacím a provozním nákladům. ^{[5][6][7]}

2.2.2 Komutátorový stroj cize buzený

Komutátorový motor cize buzený má téměř totožnou konstrukci jako komutátorový motor s permanentními magnety. Rozdíl mezi nimi je v konstrukci statoru. Komutátorový motor cize buzený má permanentní magnety nahrazeny dvěma elektromagnety. Tyto elektromagnety jsou buzeny z jiného elektrického zdroje jako kotva. Podmínkou pro správný chod motoru je nutnost plynulého řízení napětí na rotoru i statoru. Navíc je i nutno dávat bedlivý pozor na řízení pomocí napětí na statoru. Může docházet k přerušení buzení a tím k přerušení chodu motoru. Výhodou tohoto motoru je plynulejší a přesnější řízení otáček. Navíc je zde absence šuntování (zeslabování pole mezi hlavními póly statoru stejnosměrného elektromotoru) budícího napětí díky buzení, které má vlastní regulaci

Jedná se o velmi zřídka používané motory. U nás se ve větším měřítku využívali v drážní dopravě. Zejména elektrické lokomotivy řady 163, 263, 363. ^{[5][6][7]}

2.2.3 Sériový

Zapojení vinutí statoru (budiče) a rotoru (kotvy) je paralelní. Často jsou označovány jako univerzální komutátorové motory a to proto, že mohou být napájeny jak střídavým tak stejnosměrným proudem, ale lepších vlastností dosahují při zapojení střídavého napětí. U větších sériových motorů (nad 200W) je nepřipustné, aby se zatížení blížilo k nule. Dochází tak k nadměrnému vzrůstu otáček natolik, že je zde možnost poškození motoru vlivem velké odstředivé síly. Z tohoto důvodu je tento motor využíván v aplikacích, kde nemůže dojít k běhu na prázdno (například ventilátory). Největší využití mají v elektrických domácích, dílenských a kuchyňských spotřebičích. ^{[5][6][7]}

2.2.4 Derivační

Vinutí budiče a kotvy (statoru a rotoru) jsou zapojeny paralelně. Tento motor může fungovat pouze při napájení stejnosměrným proudem. Při napojení na střídavý proud by došlo k fázovým posuvům mezi magnetickými poli budiče a kotvy s negativním následkem na chod motoru. Otáčky motoru jsou u derivačního motoru dány budícím magnetickým tokem, díky tomuto jevu není problém motor provozovat i bez zátěže. Navíc změna momentu má jen nepatrný vliv na otáčky motoru. Nevýhodou je, že při nadměrné zátěži

dochází vlivem kotvy k demagnetizování budiče a prudkému poklesu charakteristiky. Dochází k reakci kotvy na účinek magnetického toku vytvořeného proudem rotoru na magnetický tok statoru vytvořeného budícím proudem. Elektromagnetické pole statoru i rotoru se skládají a vlivem reakce kotvy dochází k posunu magnetické neutrály oproti geometrické. Magnetický tok reakce kotvy však může vznikat jen pod pólovými nastavci. Proto se do drážek pólových nadstavců umísťuje tzv. kompenzační vinutí, které snižuje magnetický odpor mezi póly. Navíc i řízení otáček derivačního motoru je značně problematické. Změny napětí na kotvě i budiči působí proti sobě a proto při nevhodném zacházení může docházet i k odbuzení motoru. To má za následek nepravidelný chod motoru. ^{[5][6][7]}

2.2.5 Kompaundní a protikompaundní

Neboli kompaundní nebo také kompoudní motory jsou motory se smíšeným buzením. Tento elektromotor má paralelní i sériové zapojení rotoru a statoru. Nastává tak jev, kdy magnetické póly kotvy a budiče mohou být buď souhlasné, nebo působit proti sobě. Dochází-li k působení obou magnetických pólů souhlasně, má motor větší záběrnou sílu než motor s paralelním buzením a otáčky motoru mají stálější charakter. Dochází-li k jevu, kdy magnetické póly působí proti sobě, motor udržuje otáčky při rovnoměrném zatížení. Dojde-li k většímu zatížení motoru, otáčky motoru poklesnou a elektrický proud procházející motorem se zvýší. Zesílením proudu se zvýší buzení a otáčky motoru rostou.

Tyto motory jsou využívány hlavně v aplikacích, kde je potřeba silný počáteční moment. Využívají se tedy hlavně v automobilové nebo hromadné dopravě a u trakčních vozidel (stavební a těžká technika, trolejbusy, tramvaje, metra a elektrické lokomotivy). ^{[5][6][7]}

2.3 Bezkomutátorové motory

2.3.1 Asynchronní

Jedná se o nejrozšířenější elektrické motory vůbec. Vyrábějí se po celém světě ve velkých sériích a jejich velikost je od několika gramů po desítky kilogramů a výkon těchto motorů se pohybuje od několika málo wattů až po několik desítek kilowattů. Z principu jejich

činnosti se využívají všude tam, kde je bez problému k dispozici střídavé napětí. Asynchronní motor je napájen jednofázovým nebo třífázovým střídavým elektrickým proudem. Asynchronní motor pro využití na jednofázový proud je vybaven buď stíněným pólem, nebo rozběhovým a běhovým kondenzátorem. U motoru se stíněným pólem je výhoda nízká výrobní cena ale za cenu nízké účinnosti, která se pohybuje od 15% do 20%. U motoru, který využívá rozběhový a běhový kondenzátor takto nevýhoda odpadá, nevýhodou je ale komplikace s dvěma kondenzátory. Tato konstrukce bývá hojně využívaná u motorů o výkonu do 1 kilowattu. Největší výhodou asynchronního elektrického motoru je jeho životnost. Jediné omezení je v životnosti ložisek.

Otáčky motoru jsou určovány synchronní otáčivou rychlostí magnetického pole statoru. Tento údaj bývá nadále snižován o tzv. skluz. Skluz je udáván v procentech a jedná se o snižování počtu otáček, které klesají v závislosti na zvyšování momentového zatížení motoru. Otáčky motoru jsou závislé na frekvenci elektrického proudu a na počtu pólů na statoru.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{2 \cdot p} \quad (2)$$

n_s = počet otáček za minutu [t*min⁻¹]

f = frekvence sítě [Hz - hertz]

p = počet pólů na statoru (--)

Tedy pro frekvenci 50Hz, která je obvyklá v Evropě má motor s 4 póly na statoru 375 ot*min⁻¹. Tento údaj bývá ještě upravován o 5% skluz. Otáčky motoru se 4 póly a s 5% je 356 ot*min⁻¹. Problémem tohoto motoru je, že když neúměrně vzroste momentové zatížení a otáčky klesnou pod určitou mez, motor se zastaví a rozběhne se teprve tehdy, když je momentové zatížení minimální. Navíc pokud motor běží stále ve větším zatížení, může dojít k tepelnému poškození motoru. Kvůli tomuto se využívá tzv. odporových klecí. Jedná se o kotvu na krátko, která je vyrobena z materiálů s poměrně vysokou rezistivitou. To má za účinek zlepšení vlastností při vysokém zatížení, ale na úkor zhoršení vlastností při zatížení nízkém. V minulosti se asynchronních motorů využívalo v aplikacích, kde nebylo vyžadováno velké regulování otáček, protože regulování pomocí změny proudu bylo značně problematické. V dnešní době, kdy dochází ke snižování cen elektroniky a s postupujícím rozvojem technologie měničů frekvence lze tyto motory použít i v jiných

aplikacích kde je potřeba plynule měnit frekvenci. Měníč frekvence je pohodlný a energetický způsob úsporného řízení otáček motoru od nulového počtu otáček. Měníče frekvence mají tu výhodu, že jsou uživatelsky dostupné a navíc mohou být integrovány přímo do motorů. Další výhodou měničů je i to, že nejen řeší plynulost ovládání otáček motorů, ale i jejich rozběhy. Vzhledem k faktu, že otáčky rotoru jsou přímo úměrné frekvenci lze tak měničem měnit frekvenci od nuly do 400Hz a u čtyřpólového motoru tak měnit otáčky od 0 do $3000 \text{ ot} \cdot \text{m}^{-1}$. V dnešní době, kdy cena energie prudce roste, zasahuje tento růst i vývoj asynchronních motorů. ^{[5][6][7]}

2.3.2 Krokový

Jedná se o synchronní elektromotor, který je pulzně napájen stejnosměrným elektrickým proudem. Elektromagnetické pole je generováno jednotlivým napájením magnetických dvojic. Pohyb krokového motoru je při nízkých otáčkách nespojitý, trhavý, a motor se pohybuje mezi jednotlivými stabilními polohami po tzv. krocích. Počet jednotlivých stabilních dvojic (kroků) je dán buď počtem jednotlivých pólových dvojic, nebo způsobem ovládání motoru. Výhodou motoru je jeho mechanická odolnost a délka provozu při minimálních nákladech na provoz. V motoru nedochází, kromě v ložiscích, k žádnému mechanickému oděru. Nevýhodou těchto motorů je při vysoké zátěži ztráta kroku. Jedná se o zakmitávání a vynechávání jednotlivých kroků a neplynulost pohybu motoru. Těmto negativním vlastnostem se můžeme vyhnout vhodnou volbou motoru a jeho ovládaním.

Krokový motor se řídí speciálním elektronickým obvodem, který generuje elektrické pulzy v dané frekvenci a délce. Tyto pulzy pak na motoru vytváří jednotlivé pólové dvojice, které způsobují pohyb motoru. Frekvencí, délkou a pořadím pulzů jde řídit rychlost a směr otáčení a momentovou charakteristiku.

Podle konstrukcí krokových motorů je dělíme na skupiny:

Aktivní krokové motory - neboli VRM, jedná se o motory s proměnnou reluktancí. Rotor tohoto typu motoru je tvořen vyniklými póly z magneticky měkkého materiálu.

Pasivní krokové motory - neboli PM, jedná se o motory s aktivním rotorem. Rotor je složen ze střídajících se magnetů, kdy se střídá kladný a záporný pól. Mají radiálně polarizované permanentní magnety.

Hybridní krokové motory - neboli HB. Rotor tohoto speciálního motoru je tvořen axiálně uloženými permanentními magnety. Na každém konci tohoto pólu jsou umístěny feromagnetické pólové nástavce. Jedná se o kombinaci obou předchozích typů krokových motorů

Lineární krokové motory - Jedná se o motory, které nevykonávají pohyb kruhový, ale rotor je rozvinut do přímky a rotor se pohybuje podél statoru.

Krok je reakce na impulz z řídicího systému. Jedná se o pohyb z jedné klidové polohy do další, nejbližší magneticky klidové polohy. Na velikost úhlu jednoho kroku má zásadní vliv konstrukce motoru, počet pólu na statoru, počet zubů na rotoru a způsob řízení motoru. Velikost jednoho kroku je dána vztahem:

$$\Phi = \frac{360^\circ \times N}{m} \quad (3)$$

Φ - velikost jednoho kroku ($^\circ$ - velikost úhlu)

m - počet fází statoru (--)

N - počet zubů rotoru (--)

2.3.3 Lineární elektromotor

Jedná se o speciální druh motoru, který nevykonává pohyb kruhový, ale pohyb posuvný. Jedná se o neotáčivý motor, ve kterém žádná z jeho částí nevykonává otáčivý pohyb. Svoji konstrukcí a povahou mají si blíže ke klasickým transformátorům zapojených nakrátko. Magnetické pole zde odděluje části pohyblivé a nepohyblivé.

Tyto druhy motorů mají velice úzké a specifické využití. Nejvíce se využívá v trakční dopravě, jako jsou například metra nebo vlaky na magnetickém polštáři (maglev). Další jeho využití je ve speciálních CNC strojích (například brusy), kde je jemný magnetický pohyb žádanější než pohyb pomocí převodů, které mají vůle. Svým způsobem je i reproduktor lineární elektromotor, kde elektromagnetické pole kolem permanentního magnetu, který je připojen k membráně. Elektromagnetické pole určuje přesnou pozici, ve které se má magnet uprostřed nacházet. Největší nevýhodou těchto motorů je, že se stator musí nacházet po celé délce trasy, tudíž je zde velmi náročná údržba a oprava. Navíc pořizovací náklady jsou také velmi vysoké. ^{[5][6][7]}

2.3.4 Střídavý servomotor

Jedná se o bezkartáčové (brushless) synchronní motory s rotorem z permanentních magnetů a státorem tvořeným třífázovým vinutím. Jedná se o motory, které mají optimalizovanou konstrukci, a to dovoluje využití v dynamicky náročných úlohách s nízkou spotřebou. Při doplnění vhodné planetové převodovky získáme energeticky nenáročný motor pro využití v různých náročných aplikacích. ^{[5][6][7]}

2.3.5 Motor EC

Jedná se o motory, které mají na rotoru permanentní magnety s velkou měrnou energií a poloha rotoru je navíc přesně indikována čidlem. Jednotlivé fáze statoru jsou napájeny a ovládány z výkonového elektronického obvodu. Tento elektronický modul je ovládán nadřazeným řídicím modulem s mikroprocesorem nebo přímo počítačem. Ze začátku se tyto moduly nacházely mimo motor, v dnešní době už bývají integrované přímo v motoru. Tím jsou sníženy náklady na instalaci, provoz a dopad z pohledu elektromagnetické kompatibility. Motory EC mají schopnost pracovat buď zcela autonomně, nebo ve spolupráci s programovatelným automatem, popřípadě přímo s počítačem. Základní charakteristika motoru je lineární kvůli možnosti řízení a zpětné vazby. Díky těmto vlastnostem lze těmito motory řešit značnou část pohonných aplikací. Pomocí motorů EC lze řešit v autonomních provozech cokoli od prostého řízení otáček, přes rozběhové a brzděné režimy po přesné polohování hřídele, řízení krouťového momentu apod. Navíc díky možnosti softwarového řízení lze zajistit několikanásobnou ochranu proti případným chybám nebo proti poškození motoru nebo přístroje. Motory typu EC jsou díky své konstrukci a možnostem využívány ve špičkových mechanických zařízeních, automatizaci a robotizaci, které mají vysoké nároky na výkon a řízení. ^{[5][6][7]}

2.3.6 Motor BLDC

Po mechanické stránce jsou téměř totožné s motory EC. Mají vinutý stator, rotor z permanentních magnetů a s čidlem polohy rotoru. Jako čidlo polohy může sloužit i volná fáze statoru. Jednotlivé fáze statoru jsou napájeny z výkonového elektronického modulu. Cílem celé konstrukce motoru je zachovat výhody komutátorových motorů. Nevýhoda komutátorových motorů, mechanický komutátor, je zde nahrazen komutátorem

elektronickým, který nepodléhá mechanickému opotřebení. Životnost motoru závisí pouze na životnosti ložisek. Nevýhoda oproti EC motorům je v tom, že nejsou plně říditelné. Výhodu mají v nižších požadavcích na řízení a motor se pro uživatele chová jako komutátorový stejnosměrný motor. Pokud se motor BLDC napájí střídavým proudem, je jeho životnost srovnatelná s obyčejnými asynchronními motory avšak s větší účinností. V dnešní době jsou sice motory EC a BLDC stále vývojově, cenově i materiálově drahé, ale svými kvalitními parametry, vysokou účinností a nízkou spotřebou získávají lepší postavení pro uplatnění v budoucnosti. ^{[5][6][7]}

3 ŘÍZENÍ MOTORŮ

Nedílnou součástí problematiky elektrických motorů je i možnost řídit nebo regulovat jejich otáčky. Ve většině případů se jedná o jednoduché řízení, tedy jednosměrné určování dané veličiny bez možnosti zjištění jejího vlivu na motor. Regulace se provádí u složitějších aplikací a jedná se o zpětnovazební řízení, tedy nedefinujeme daný proud, ale ten je regulován na základně zatížení na hřídeli a udržuje konstantní otáčky.

3.1 Řízení asynchronních motorů

Po připojení asynchronního motoru na napájecí síť, začne motorem protékat proud nakrátko, který je u normálních motorů pěti- až desetinásobkem proudu jmenovitého a to v závislosti na výkonu určeného motoru. Takto prudký nárůst elektrického proudu má za následek pokles napětí na síti. Rozběh elektrického motoru pomocí přímého zapojení se tak může používat jen u motorů do výkonu 5kW. U výkonnějších motorů je využíváno několika metod při rozběhu a regulování výkonu motoru.

3.1.1 Snížení napětí transformátoru

Obvykle se používá jako několikastupňová regulace výkonu. Dochází zde k postupnému zvyšování záběrného proudu. Nevýhodou je snižování záběrného momentu o mocninu napětí.

3.1.2 Předřadná impedance statoru

Snížení záběrného proudu pomocí zvýšeného odporu na statoru. Nevýhodou je i snížení svorkového napětí na statoru a snižuje se moment. Dochází zde i ke ztrátám v předřadných odporech.

3.1.3 Snížené napětí - polovodičový měnič

Dochází k plynulé změně napětí a snížení proudu na statoru. Jdou plynule měnit a definovat podmínky pro rozběh motoru. Nevýhodou je snížení momentu vlivem

regulovaného napětí a vyšších harmonických napětí a proudu. Může docházet i k rušení polovodičového měniče.

3.1.4 Přepínání zapojení statoru hvězda - trojúhelník

Velmi jednoduché a používané řízení rozběhu motoru. Při zapojení motoru do hvězdy dojde k snížení záběrného proudu o třetinu a po rozběhu elektromotoru se přepne zapojení na trojúhelník, kdy je plný záběrný proud. Výhodou je jeho velmi jednoduché zapojení, nevýhodou je dvoutřetinový úbytek momentu při zapojení do hvězdy.

3.1.5 Přídavný odpor v rotoru

Připojením odporu na rotor dojde ke změkčení mechanické charakteristiky ale za cenu zvýšení ztrát na odporech. Dochází k snížení záběrného proudu, ale zvýšení momentové charakteristiky. Lze využít jen u motorů s vinutou kotvou.

3.1.6 Přídavná indukčnost rotoru

Využití snížení záběrného proudu za cenu snížení momentu. Výhodou je samočinná regulace během rozběhu. Lze využít jen u motorů s vinutou kotvou

.

3.1.7 Proměnná frekvence napájecího napětí

Změnou frekvence elektrického proudu lze definovat podmínky během rozběhu. Dochází k plynulému rozběhu motoru a dochází k snížení záběrného proudu a zvýšení záběrného momentu. Nevýhodou je relativní mechanická a finanční náročnost a dochází tu k vyšším harmonickým napětím a proudům a k elektromagnetickému rušení.

3.2 Řízení synchronních motorů

Vzhledem k vztahu, který platí pro úhlovou rychlost synchronního motoru:

$$\omega = \frac{2 * \pi * f_1}{P_p} * (1 - s) \quad (4)$$

ω – úhlová rychlost ($\text{rad} * \text{s}^{-1}$ – radián za sekundu)

f_1 – frekvence elektrického proudu (Hz – Hertz)

p_p – počet pólů (--)

s – skluz (% - procenta)

vyplývá, že regulace rychlosti otáčení asynchronních motorů lze změnou frekvence napájecího napětí, změny počtu pólů nebo změnou ve skluzu motoru.

3.2.1 Změna frekvence napájecího napětí

Nejčastěji používané ovládání motorů. Zdrojem proměnné frekvence napájecího napětí je polovodičový měnič. Ten je konstrukčně navržen jako nepřímý, tzn. vstupní napětí do měniče je usměrňováno a vyhlazováno kondenzátory. Výstupní napětí na měniči je formováno v tranzistorovém střídači. Ten je napájen stejnosměrným napětím a pomocí pulzně šířkové modulace. Tranzistory pouští stejnosměrné napětí na zátěž spínavě a s proměnnou délkou jednotlivých pulzů. Algoritmus generování jednotlivých pulzů je takový, aby hodnota ve střední hodnotě dosahovala sinusového průběhu. Tím se docílí efektivního průběhu a frekvence. Změnou frekvence se téměř lineárně mění napájecí napětí což má za následek plynulý nárůst magnetického toku. Je i tak zachován i maximální točivý moment a další charakteristiky motoru.

3.2.2 Změna napětí

Relativně jednoduché řízení. Dochází k postupnému zvyšování napětí až do jmenovité hodnoty. Nevýhoda je v zhoršení charakteristiky motoru během spouštění. Dochází ke snižování točivého momentu. Otáčky motoru také závisí na charakteristice zapojené zátěže. V dnešní době se využívá u motorů, kde je točivý moment kvadraticky nebo kubicky závislý na otáčkách motoru.

3.2.3 Změna rotorového odporu

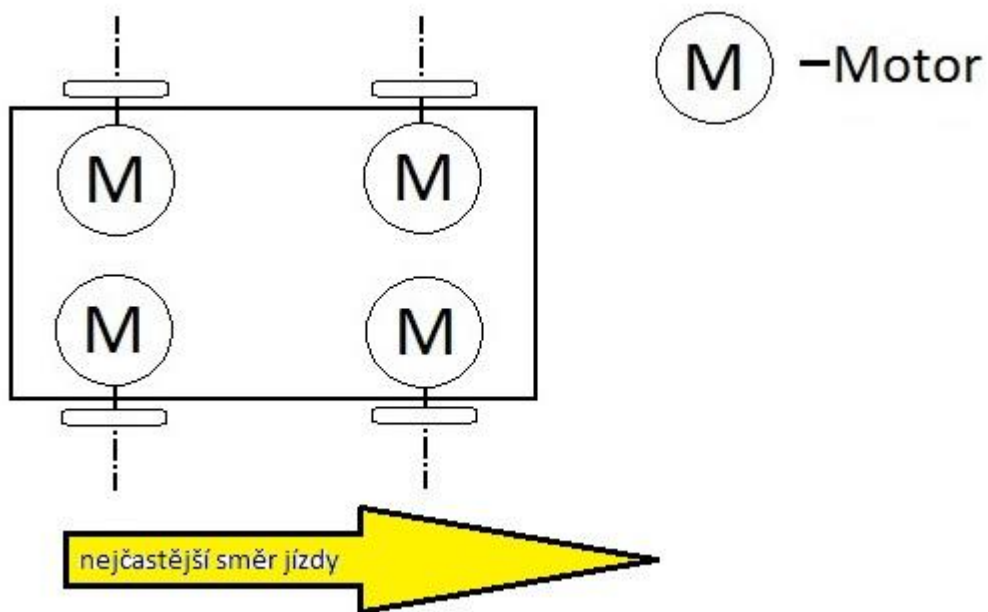
Řízení pomocí změkčení mechanické charakteristiky motoru. Využíváno jen u motorů s vinutou kotvou. Někdy se používá s kombinací se změnou statorového napětí.

Nevýhodou jsou vysoké ztráty na předřadných odporech, které jsou vřazeny do obvodu statoru.

4 MECHANICKÉ USPOŘÁDÁNÍ POHONU A KOL

4.1 Čtyři pevná kola

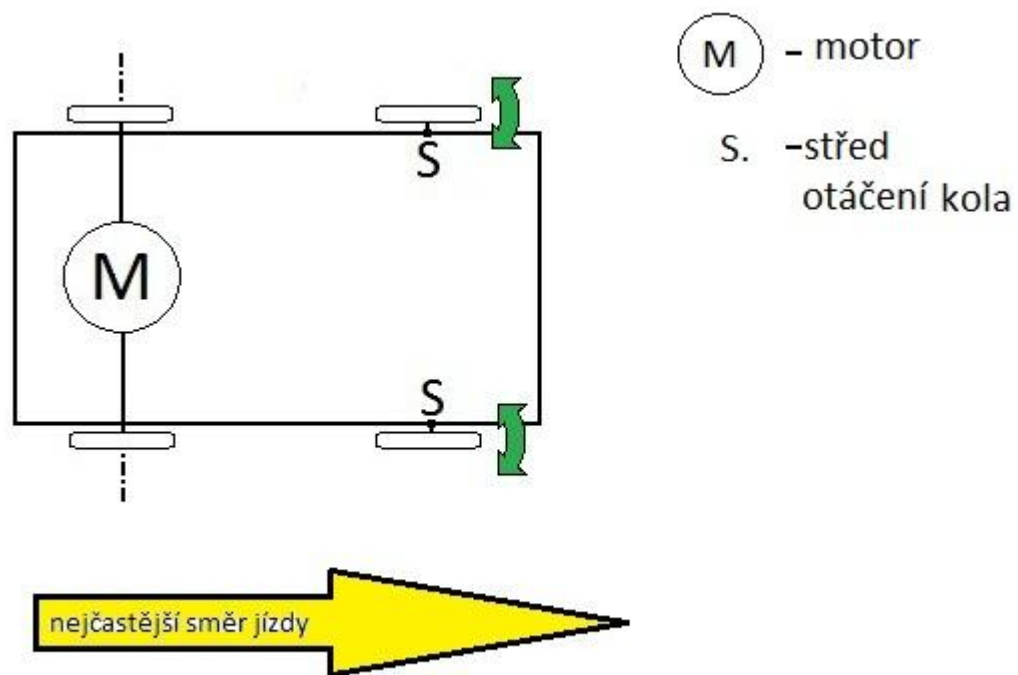
Uspořádání, které se v praxi užívá jen minimálně a to jen u některých druhů robotických podvozků nebo u smykem řízených nakladačů. Výhodou tohoto uspořádání je možnost řízení všech čtyř kol samostatně. Pro jízdu vpřed nebo vzad pracují všechny současně a stejným směrem. Pokud chceme s podvozkem zatáčet, kola, která budou na vnitřní straně zatáčky, musí mít nižší počet otáček než kola, která budou na vnější straně zatáčky. Pokud chceme, aby podvozek zatočil na místě jedním nebo druhým směrem, můžeme využít dvou způsobů. Kola na vnější straně se budou otáčet směrem vpřed a vnitřní kola se nebudou otáčet nebo se budou otáčet směrem vzad. Tím dojde k rotačnímu pohybu kolem svislé osy a otočení podvozku. Nevýhodou je vysoká energetická náročnost všech čtyř motorů, které navíc část energie spotřebují na překonání odporu pneumatiky ve smyku. Navíc tento stroj neprojde dvě zatáčky stejným způsobem. Během smykového řízení dochází k bočním posunům pneumatiky po podložce. Výhodou je, že pokud dojde k zablokování jednoho motoru, zablokováním motoru na opačné straně dojde k opětovnému vyvážení a podvozek se může dál plně pohybovat.



Obrázek 1: Podvozek s čtyřmi pevnými koly

4.2 Hnaná pevná zadní náprava - řízená přední náprava

V praxi se využívá u čtyřkolek. Je zde motorem hnaná pevná zadní náprava a řízená přední náprava. Nevýhodou tohoto uspořádání je oddělení pohonu a zatáčení podvozku. To znamená, že pokud dojde k zablokování řízení, stroj má stále schopnost se pohybovat vpřed a vzad. Pokud dojde k zablokování jediného motoru, podvozek se stane neprovozným. Další z nevýhod je omezení obratnosti na základě maximálního vytočení kol, to znamená, že čím menší mají přední kola maximální natočení, tím větší je poloměr otočení podvozku. Na zadní nápravě také dochází ke smykovému tření jedné z pneumatik, protože obě dvě musí vykonat stejný počet otáček, přitom vnitřní kolo při zatáčení vykoná pohyb kratší, než kolo vnější. Při průjezdu zatáčkami je hřídel zadní nápravy ve zvýšené míře namáhána na krut. Pokud by se měl tento podvozek pohybovat ve stísněném prostředí, může dojít k tomu, že jednu zatáčku bude muset projíždět na několikrát.

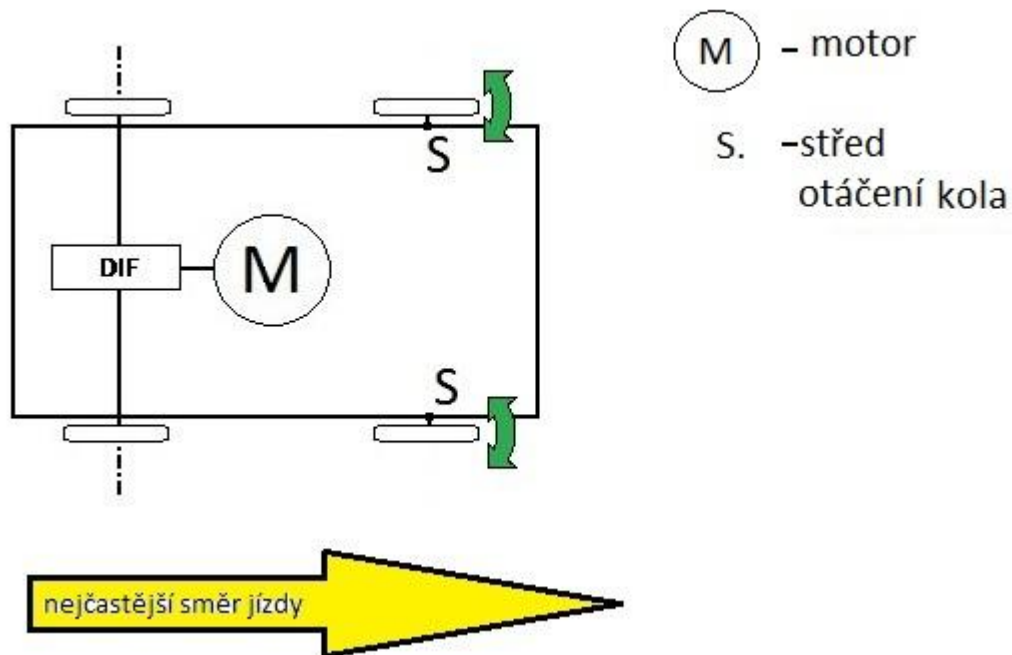


Obrázek 2: Klasický pohon čtyřkolek

4.3 Hnaná zadní náprava - řízená přední náprava

V praxi nejvíce využívané uspořádání podvozku. Využívá se u téměř všech silničních motorových vozidel. Motor je k předním nebo zadním, popřípadě ke všem čtyřem kolům

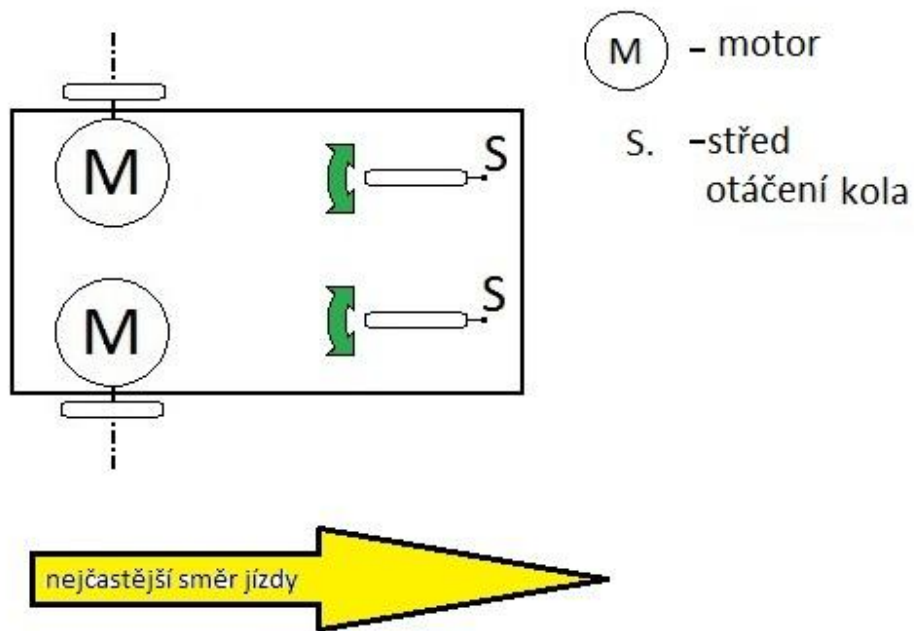
propojen přes převodovku ke kardanu a přes elektronický nebo mechanický diferenciál ke kolům. Jedná se o téměř totožné uspořádání jako v předchozím případě, s tou výhodou, že zde nedochází ke zvýšenému opotřebení pneumatik a zvýšenému torznímu namáhání hřídele hnané nápravy. A stejně jako v předchozím případě pokud dojde k poškození řízení, podvozek se může pohybovat pouze směrem vpřed nebo vzad, popřípadě v kruhu. Pokud dojde k poškození motoru, podvozek se stane nepohyblivým.



Obrázek 3: Podvozek s diferenciálem

4.4 Hnaná zadní náprava - volné přední kola

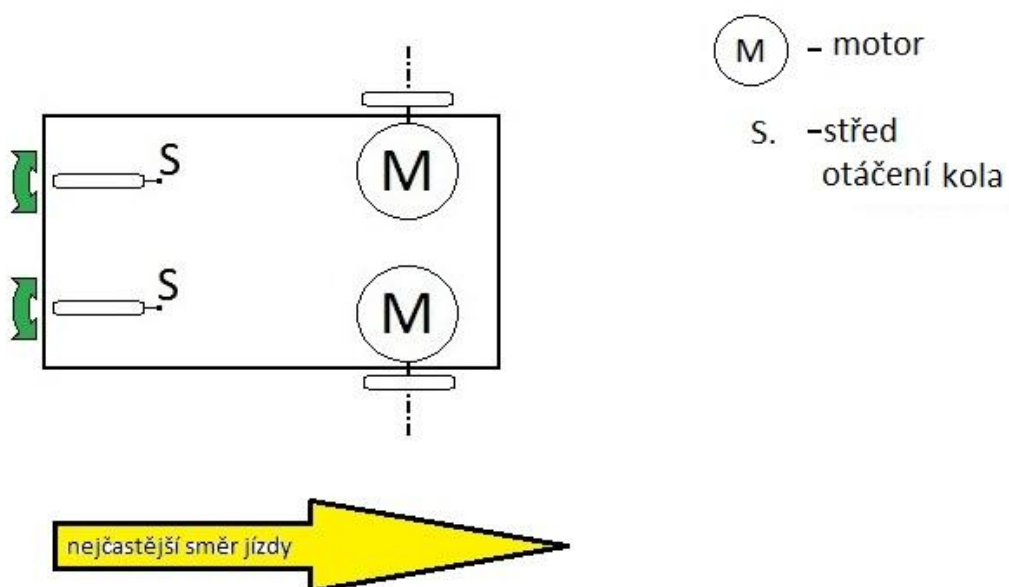
Směrově nestabilní druh podvozku. Přední kola mohou být dvě nebo jedno. V praxi se s tímto podvozkem můžeme setkat u některých manipulačních vozíků. Výhodou toho podvozku je ovládání směru jízdy rozdílnou rychlostí motorizovaných kol. Pokud dojde k tomu, že jeden motor se točí vpřed a druhý vzad osa otočení se nachází ve středu mezi oběma koly. Nevýhodou je horší stabilita, zvláště když dojde ke změně jízdy vpřed nebo vzad nebo pokud se podvozek dostane na nerovnou podložku, kdy se jedno kolo může dostat volně do vzduchu. Navíc je zde potřeba velmi kvalitního povrchu a využívání nízkých rychlostí pohybu.



Obrázek 4: Odděleně hnaná zadní kola

4.5 Hnaná přední náprava - volné zadní kola

Totožné uspořádání kol jako v předchozím případě. Otočením podvozku o 180° kolem svislé osy došlo k vylepšení stability při pojezdu směrem dopředu. Pokud by došlo ke vjezdu na nerovnou podložku zadní, volná kola nevytvoří takové síly, které by značným způsobem ovlivnily směr jízdy.



Obrázek 5: Odděleně hnaná přední kola

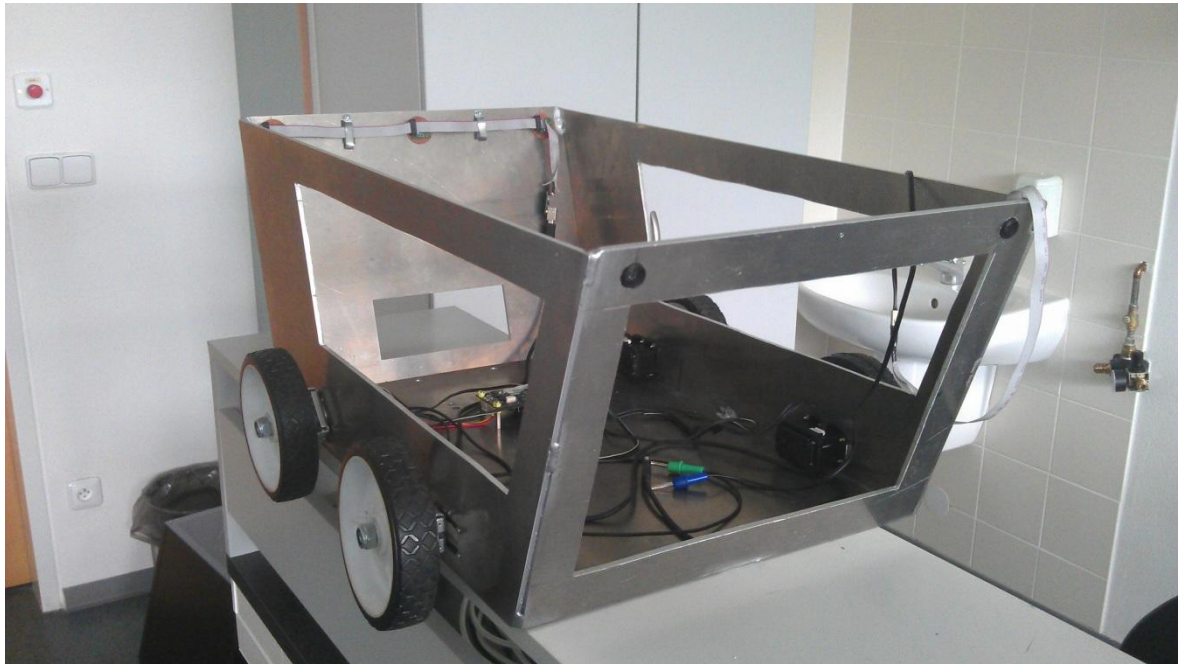
4.6 Převod síly na kola

V dnešní době se využívá několika způsobů převodu hnací síly z motoru na kola. Jako nejjednodušší způsob jsou napevno spojená hnaná kola s motorem. Výhodou je nízká konstrukční náročnost tohoto uspořádání. Nevýhodou je ale několik. Řízení motoru musí být velmi přesné a rozsah otáček je minimální. Pokud chceme, aby se podvozek pohyboval rychlostí $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a obvod kola byl 1m, motor musí být ovládán v rozsahu otáček 0 - 60 $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ a proto je zde většina motorů nevyužitelných z důvodu vyšších pracovních otáček. Navíc pokud dojde k neočekávanému zablokování kola, může dojít k poškození motoru. Jako druhý způsob můžeme využít převodovky nebo jiných spojení několika ozubených kol. Dojde k vyvážení a upravení otáček motoru k potřebným otáčkám kol. Řízení nemusí mít takovou přesnost a u motoru můžeme využívat plného rozsahu otáček. Pokud však dojde k zablokování kola, může se poškodit nejen motor, ale může dojít i k poškození převodovky. Třetím způsobem je využití klínového nebo jiného řemene. Výhodou tohoto uspořádání je oddělení motoru od otáčení kol. Pokud dojde k zablokování kol, dojde buď k roztržení, nebo prokluzování klínového řemene na kladce a značně se snižuje šance na poškození motoru. Nevýhodou je potřeba plynulé regulace otáček motoru. Pokud dojde k okamžitému zapnutí maximálních otáček motoru, dojde buď k poškození nebo zničení klínového nebo ozubeného řemene nebo k jeho prokluzování. Navíc pokud dojde k upravování převodového poměru na klínovém převodu, u menšího kola dojde ke snižování délky styku kladky a klínového řemene. Jako nejlepší řešení je využití převodovky a klínového nebo ozubeného řemene, kdy se vyváží záporné vlastnosti a vlastnosti kladné nejsou utlumeny

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KONSTRUKCE ROBOTA

Hlavní požadavky na konstrukci podvozku, použití motorů a způsob řízení byly vysoká stabilita, agilita a nízká energetická náročnost pohybu a vysoká přesnost pohybu. Navíc zde byl požadavek o co nejlepší umístění všech dalších požadovaných komponent jako laserový scanner SICK, ultrazvukové a infračervené senzory, čtečka magnetických pásků, řídicí PC a kontaktů pro dokovací stanici.

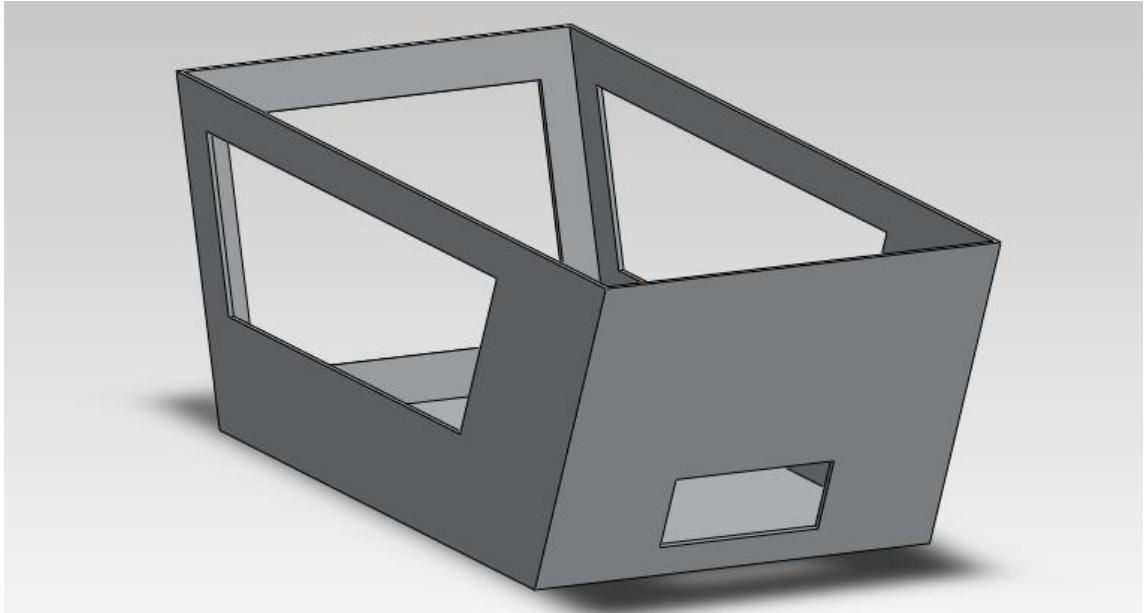


Obrázek 6: Původní koncepce robota

5.1 Podvozek

Jedná se o podvozek, který byl použit u předchozí verze robota. Předchozí koncepce byla označena za problematickou z důvodu vysoké energetické náročnosti pohybu a nedostatečnému výkonu servomotorů. Podvozek je vyroben svařením 5 částí. Tyto části jsou vyřezány z 5mm hliníkového plátu. Původní koncepce uvažovala 4 napevno umístěná a servomotory hnaná kola. Od tohoto konceptu muselo být následně upuštěno z důvodu vysoké energetické náročnosti při zatačení, pohybu, kdy značná část energie je použita pro překonání bočního odporu kola. Z těchto důvodů byl vybrán podvozek, kde budou dvě kola hnaná, každé samostatně a jedno nebo dvě kola volně otočná. Z důvodu požadavku na stabilitu robotického podvozku bylo rozhodnuto pro čtyřkolový podvozek. Díky tomuto se dodrží požadavek na maximální agilitu podvozku a možnosti jeho otočení se v relativně malém prostoru. Dalším požadavkem byla i maximální přesnost, ta je dodržena použitím

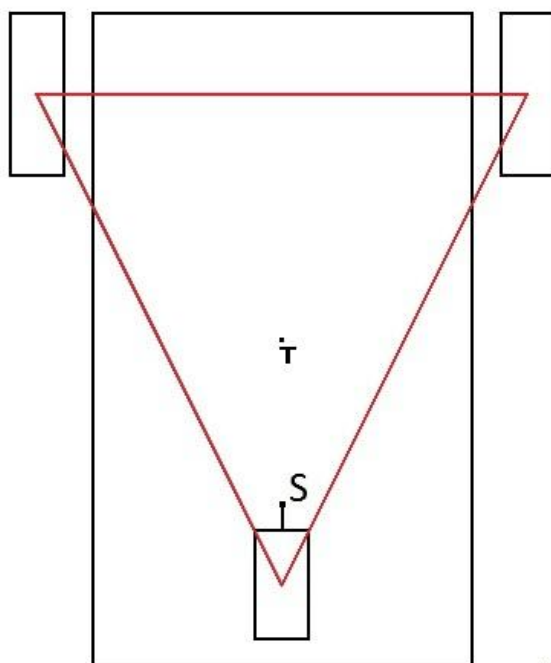
hnaných kol v přední části podvozku a volných kol v zadní části podvozku. Dochází tak k menšímu přenášení zámků podvozku, které jsou způsobovány volným umístěním zadních kol a jejich tažení po nerovné ploše.



Obrázek 7: 3D nákres kostry

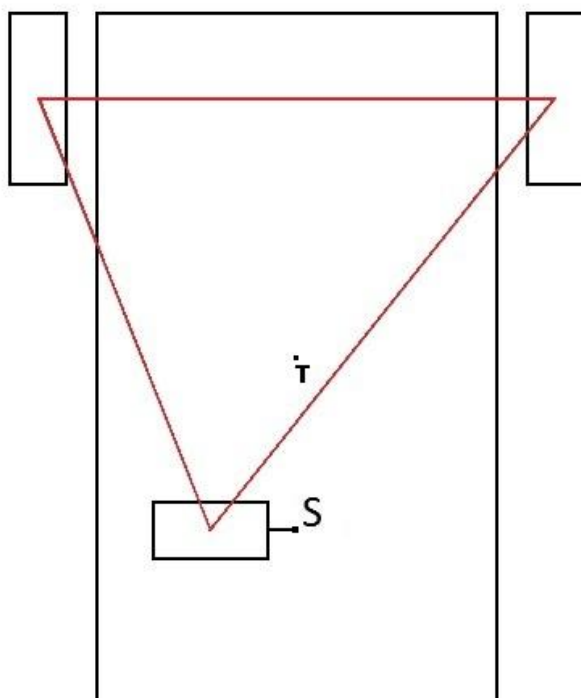
5.1.1 Podvozek se 3 koly

Vzhledem k požadavkům, aby řízení podvozku bylo co nejjednodušší, bylo rozhodnuto o podvozku s dvěma předními, nezávisle hnanými koly a zadním volným kolečkem nebo 2 kolečky. Hlavní výhodou 3 kolového podvozku je jeho jednodušší konstrukce. Při minimální rychlosti nemůže nastat stav, kdy by byl podvozek stabilní a současně se jedno nebo více kol nedotýkalo podložky. Nevýhodou je jeho nižší stabilita proti převrácení. A to z důvodu, že těžiště nemusí překonat takovou vzdálenost oproti podvozku 4 kolovému. Z níže uvedených obrázků lze vidět, že se prostor pro těžiště značně mění a může docházet k extrémním stavům, kdy se těžiště dostává na hranici stability.



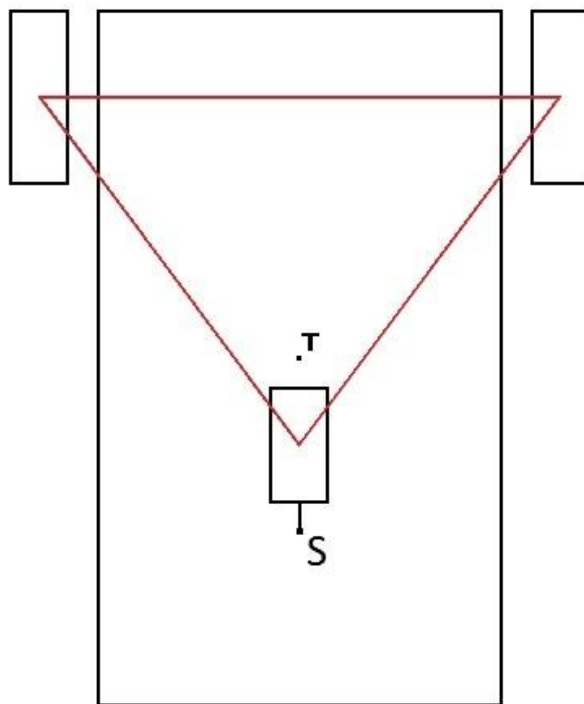
T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 8: Umístění teoretických hran překlopění tříkolového podvozku - pohyb vpřed



T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 9: Umístění teoretických hran překlopění tříkolového podvozku - otočení kolem
levého kola

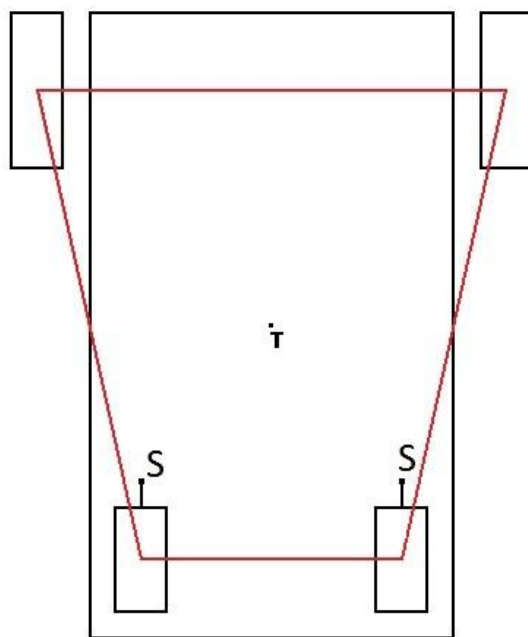


T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 10: Umístění teoretických hran překlopení tříkolového podvozku - pohyb vzad

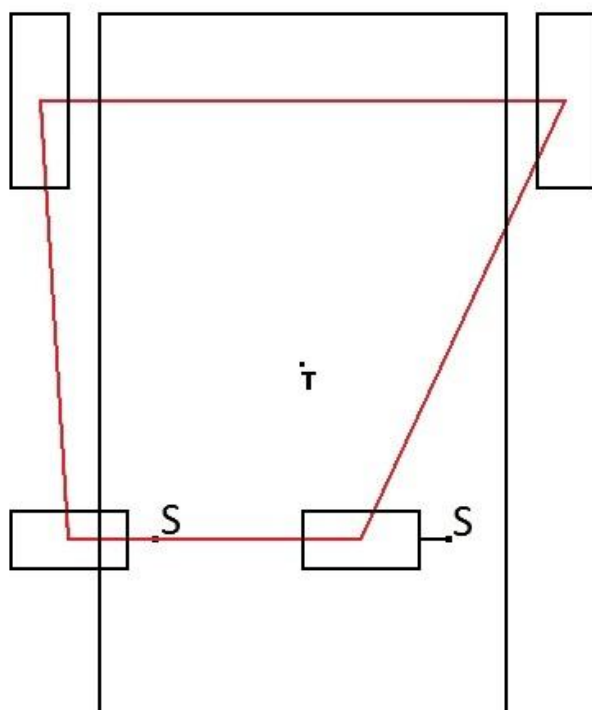
5.1.2 Podvozek se 4 koly

Čtyřkolový podvozek je v dnešní době nejpoužívanější podvozek pro většinu aplikací. Výhoda tohoto podvozku je ve vyšší stabilitě proti převrácení, kdy těžiště musí překonat větší vzdálenost a výškový rozdíl oproti podvozku 3 kolovému. Nevýhodou tohoto podvozku v nerovném terénu je možnost ztráty kontaktu jednoho kola s podložkou. Z tohoto důvodu se při náročnějších aplikacích musí řešit způsob, jak tomuto jevu zabránit. Ve většině případů se využívá možnosti odpružení podvozku, které zabrání nadzvednutí kol v nerovném terénu.



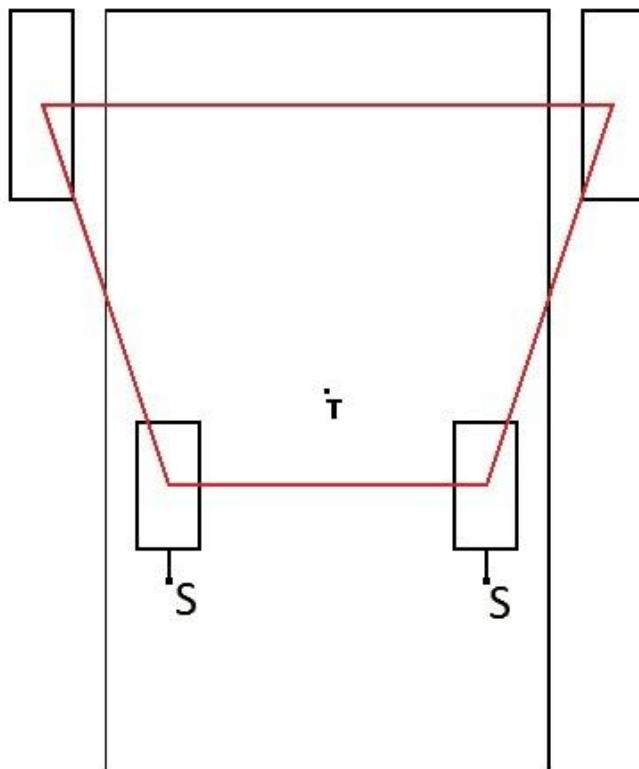
T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 11: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku - pohyb vpřed



T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 12: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku – otočení kolem levého kola



T - teoretické těžiště robota
S - střed otáčení kola

Obrázek 13: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku – pohyb vzad

5.2 Kola

Kola byla vybrána na základě hlavních požadavků, pro přední, hnané, kola jsou použity 8“ pláště s duší: ty jsou umístěny na upraveném ráfku s diskem. Samotná kola budou upevněna pomocí náboje k rámu. Zadní kola jsou k rámu připevněna přes otočný spoj na spodní straně kostry, který dává kolům volnost v otočném pohybu kolem svislé osy. Navíc z důvodu maximálního spojení s podložkou a absorpce nerovností podložky budou vybaveny tlumičem.

5.2.1 Kola s pláštěm o vnějším průměru 8“

Při využití pneumatik o vnějším průměru 8“ (222mm). Použitím vzorce pro výpočet obvodu kruhu:

$$o = \pi * d \quad (5)$$

o – obvod kruhu (mm – milimetr)

π – Ludolfovo číslo (konstanta)

d – průměr kruhu (mm – milimetr)

Dostaneme, že teoretický vnější obvod 8“ pláště je 697mm.

$$\omega = \frac{o}{v} \quad (6)$$

ω – rychlost otáčení (ot*min⁻¹ – otáček za minutu)

o – obvod pláště (m – metr)

v – rychlost podvozku (m*s⁻¹ – metr za sekundu)

To znamená, že počet otáček, pokud chceme dosáhnout maximální rychlosti 1 m*s⁻¹, musí být přibližně 86 ot*min⁻¹. Při použití pouze planetové převodovky dojdeme k tomu, že rozsah otáček motoru bude pouze v rozsahu 0 – 860 ot*min⁻¹. Z tohoto důvodu by řemenový převod s použitím vzorce:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (7)$$

i – převodový poměr (--)

f_1 – frekvence otáčení hnacího kola (otáček za minutu - ot * min⁻¹)

f_2 – frekvence otáčení hnaného kola (otáček za minutu - ot * min⁻¹)

musel mít převodový poměr 1:3,48, aby se docílilo využití plného rozsahu otáček motoru.

Díky známým veličinám lze tak vypočítat i teoretickou maximální světlu výšku podvozku s koly o průměru 8“ a za podmínky, že se náboj bude dotýkat podlahy podvozku.

$$v_s = r_k - r_n - a_p \quad (8)$$

v_s = světla výška podvozku (mm – milimetr)

r_k – průměr kola s pláštěm (mm – milimetr)

r_n – průměr náboje (mm – milimetr)

a_p – tloušťka podvozku (mm – milimetr)

Podle výše uvedeného vzorce a dosazení hodnot ($r_k = 111\text{mm}$, $r_n = 32\text{mm}$, $a_p = 5\text{mm}$) je teoretická maximální světla výška $v_s = 74\text{mm}$.

5.2.2 Kola s pláštěm o vnějším průměru 10“

Při využití pneumatik o vnitřním průměru 10“ (248mm). Použitím vzorce pro výpočet obvodu kruhu:

$$o = \pi * d \quad (9)$$

o – obvod kruhu (mm – milimetr)

π – Ludolfovo číslo (konstanta)

d – průměr kruhu (mm – milimetr)

Dostaneme, že teoretický vnější obvod 10“ pláště je 778mm.

$$\omega = \frac{o}{v} \quad (10)$$

ω – rychlost otáčení ($\text{ot} * \text{min}^{-1}$ – otáček za minutu)

o – obvod pláště (m – metr)

v – rychlost podvozku ($\text{m} * \text{s}^{-1}$ – metr za sekundu)

To znamená, že počet otáček, pokud chceme dosáhnout maximální rychlosti $1 \text{ m} * \text{s}^{-1}$, musí být přibližně $77,1 \text{ ot} * \text{min}^{-1}$. Při použití pouze planetové převodovky dojdeme k tomu, že rozsah otáček motoru bude pouze v rozsahu $0 - 771 \text{ ot} * \text{min}^{-1}$. Z tohoto důvodu by řemenový převod s použitím vzorce:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (11)$$

i – převodový poměr (--)

f_1 – frekvence otáčení hnacího kola (otáček za minutu - $\text{ot} * \text{min}^{-1}$)

f_2 – frekvence otáčení hnaného kola (otáček za minutu - $\text{ot} * \text{min}^{-1}$)

musel mít převodový poměr 1:3,9, aby se docílilo využití plného rozsahu otáček motoru.

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že použití 10“ pláště je lepší. Pro dosažení plného využití otáček motoru lze použít větší převodový poměr než u pláště s větším průměrem.

Díky známým veličinám lze tak vypočítat i teoretickou maximální světlou výšku podvozku s koly o průměru 8“ a za podmínky, že se náboj bude dotýkat podlahy podvozku.

$$v_s = r_k - r_n - a_p \quad (12)$$

v_s = světlá výška podvozku (mm – milimetr)

r_k – průměr kola s pláštěm (mm – milimetr)

r_n – průměr náboje (mm – milimetr)

a_p – tloušťka podvozku (mm – milimetr)

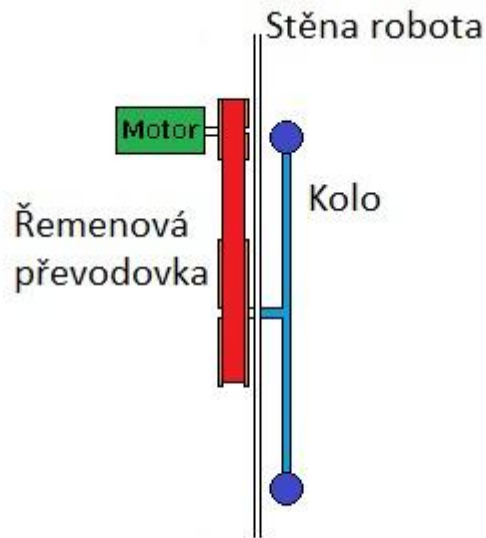
Podle výše uvedeného vzorce a dosazení hodnot ($r_k = 124\text{mm}$, $r_n = 32\text{mm}$, $a_p = 5\text{mm}$) je teoretická maximální světlá výška $v_s = 87\text{mm}$.

5.3 Převody

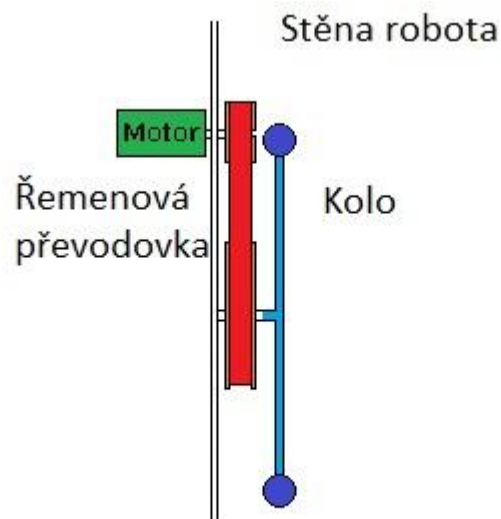
Samotné převedení točivého momentu z motoru na kola je přes dvě převodovky. První převodovka je jednostupňová planetová převodovka od firmy TG Drives. Ta je zvolena z důvodu redukce otáček v poměru 1:10. Přesto, že motor má plný točivý moment v jakýchkoli otáčkách, použitím dané převodovky dojde k využití plného rozsahu otáček a následnému zpřesnění pohybu podvozku v prostoru. Pro druhou převodovku lze v dnešní době využít několika způsobů přenosu síly. Jedná se např. o převodovky třecí, klínové, ozubené, řetězové a další. Každá z výše uvedených převodovek skýtá výhody a nevýhody. Jako druhá převodovka byl zvolen ozubený řemen, vzhledem k velikosti převodové síly, která bude přenášena a k množství prostoru, který daná převodovka potřebuje. Hlavní výhodou této převodovky je velká variabilita vzdálenosti mezi osou motoru a osou poháněného kola. Dalšími přednostmi je snazší údržba a oprava řemenové převodovky než u ostatních druhů převodů. Nevýhodou řemenové převodovky je vyšší opotřebování řemenu během dlouhého provozu. Toto opotřebování bude z části eliminováno napínacím mechanismem, který kompenzuje možnost protažení řemene s postupem času. Třecí a ozubené převodovky byly zavrženy z důvodu vysoké prostorové náročnosti a nižší variability při umístění motorů. Řetězová převodovka byla zavrhnuta z důvodu vyšších nákladů a nároků na údržbu.

5.3.1 Rozmístění součástí pohonu

Použití řemenového převodu dává prostor pro několik možných způsobů umístění motorů a kol. První možností je umístění klínového řemene uvnitř nebo vně kostry robota.



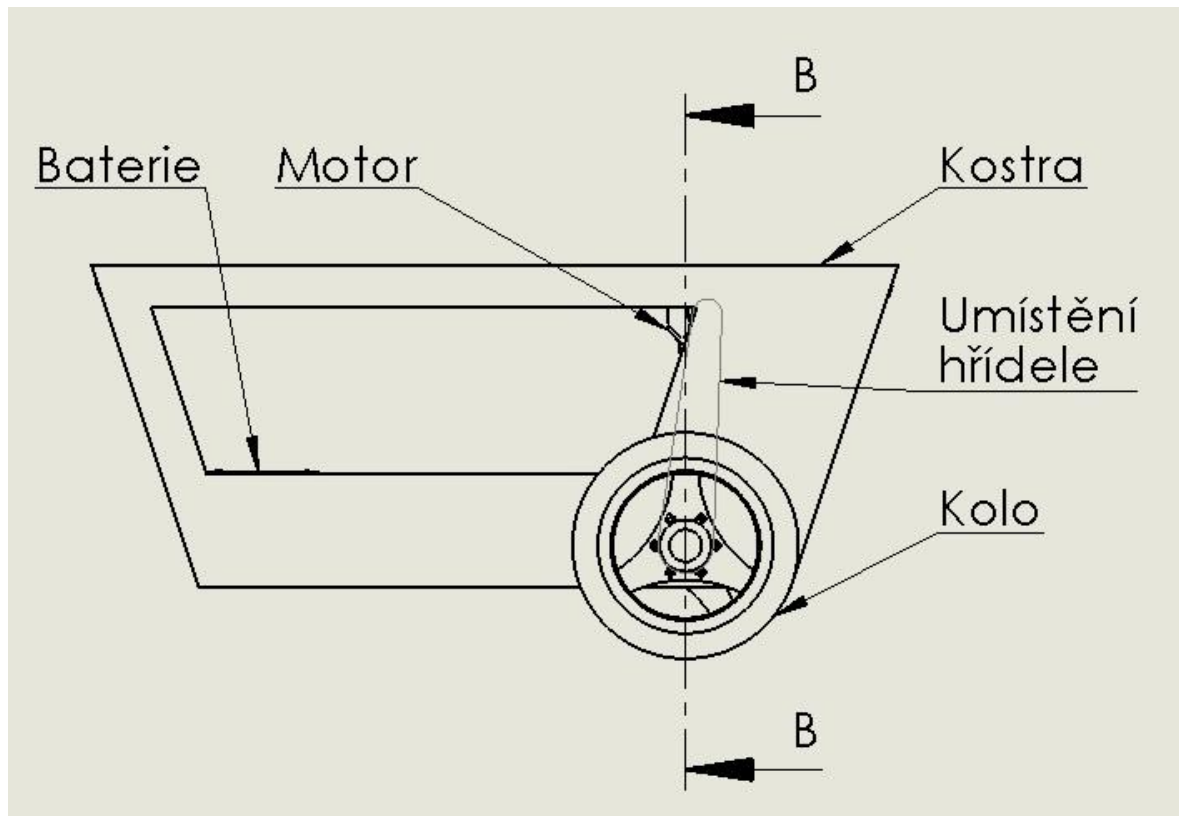
Obrázek 14: Schématické znázornění - Řemen uvnitř kostry



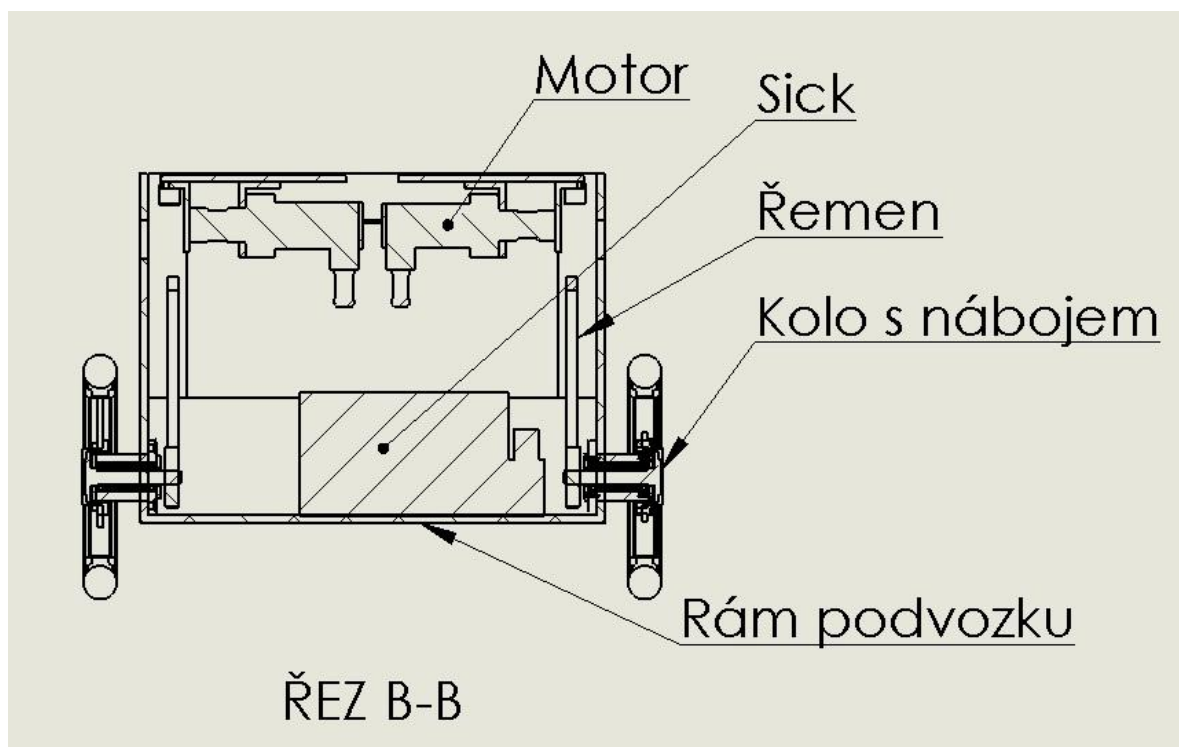
Obrázek 15: Schématické znázornění - Řemen vně kostry

Z výše uvedených obrázků vyplývá, že řemen, který je skryt uvnitř kostry lze využít v aplikacích, kde je uvnitř více volného místa a je potřeba řemen krýt. Řemen vně kostry je lepší využít v aplikacích, kde uvnitř zbývá jen velmi málo místa nebo jej není potřeba krýt.

Pro daného robota byl navrhnout řemenový převod umístěn uvnitř kostry.



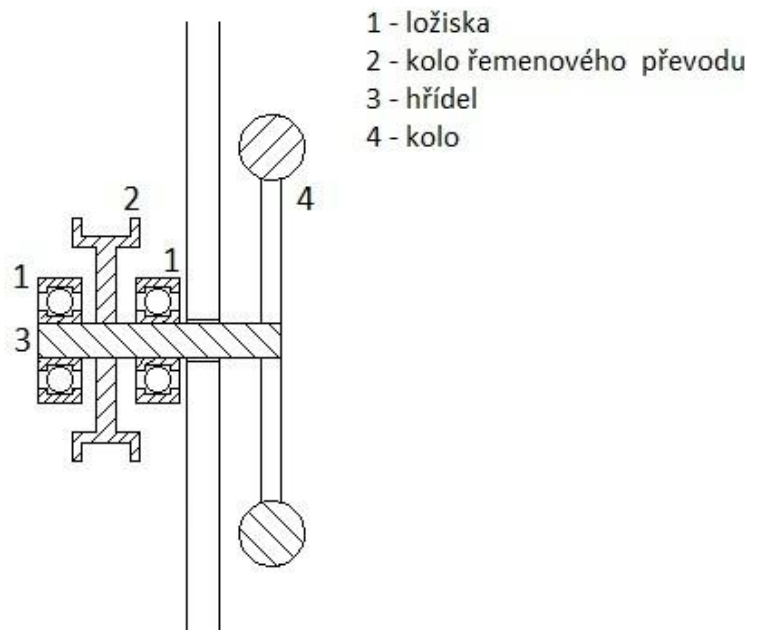
Obrázek 16: Umístění řemenů bokorys



Obrázek 17: Umístění řemenů – řez

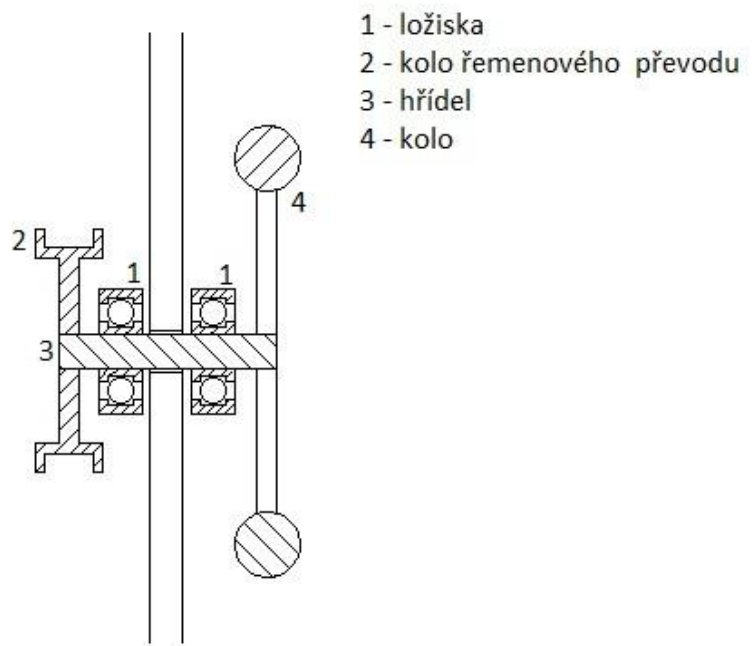
Výhodou tohoto umístění je také ukrytí řemene proti případnému úmyslnému nebo náhodnému poškození.

Dalším prostorem pro manipulaci s řemeny a koly je umístění ložisek v hřídeli ke kolům.



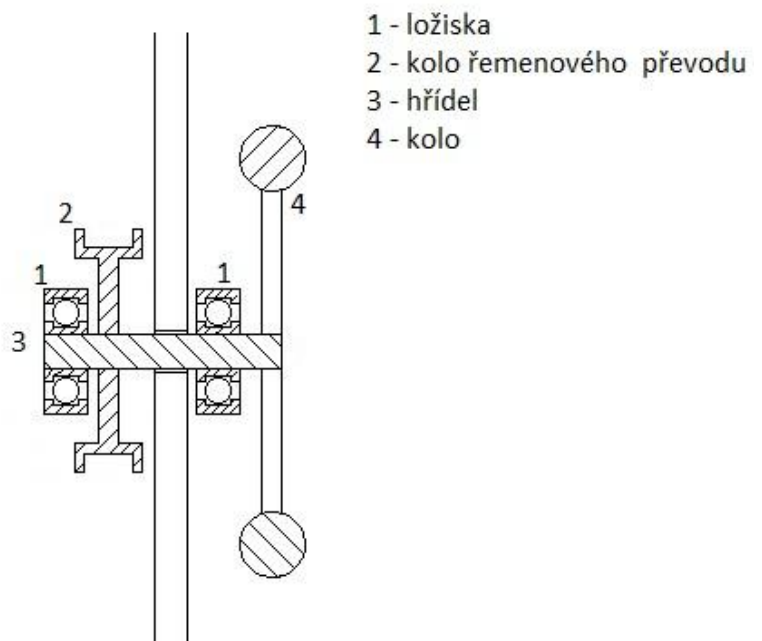
Obrázek 18: Hřídel 1 – schématický řez

Umístění ložisek zvyšuje pevnost hřídele. Jsou méně mechanicky namáhána ložiska a menší namáhání hřídele v ohybu. Nevýhodou je větší zásah do vnitřního prostředí robota.



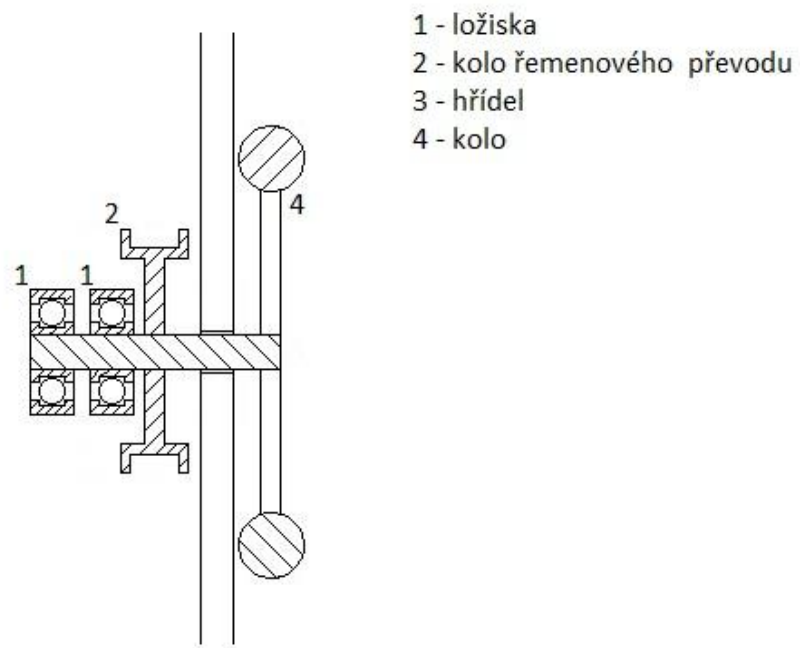
Obrázek 19: Hřídel 2 – schématický řez

Rozložení ložisek rovnoměrně rozděljuje namáhání hřídele v ohybu a je zde menší namáhání ložisek. Prostorové rozdělení je rovnoměrné mezi vnitřní a vnější část. To může být zároveň i nevýhoda, pokud je potřeba šetřit vnějším nebo vnitřním místem.



Obrázek 20: Hřídel 3 – schématický řez

Jedná se o téměř totožné rozmístění. Je zde však horší přístup ke kolu převodu a může zde docházet k vyššímu namáhání hřídele v ohybu.



Obrázek 21: Hřídel 3 – schématický řez

Rozmístění ložisek v případě, pokud chceme maximálně šetřit vnějším místem a je dostatek místa vnitřního. Nevýhodou je silné mechanické namáhání ložisek a velmi silné namáhání hřídele v ohybu.

Z výše uvedených nákresů lze vidět, že pro daného autonomního robota je zřejmě nejvýhodnější varianta třetí hřídele, která zabírá nejméně místa. Jedno ložisko je umístěno na vnitřní straně kostry mezi kostrou a kladkou na klínový řemen ve vniklém prostoru na vnitřní straně kostry mezi kostrou a kladkou na klínový řemen. Druhé ložisko je umístěno ve vniklém prostoru mezi kolem, jehož odsazení je dáno šířkou pláště a vnější stranou kostry.

5.4 Motory a regulátory

Motory s přírubovými planetovými převodovkami byly vybrány jako výsledek literární rešerše elektrických motorů a jejich možností je řídit.

5.4.1 Elektromotory TGN – 0054

Jedná se o 6ti pólové motory s trojfázovým vinutím na statoru a permanentními magnety na statoru. Motory jsou přímo z výroby připraveny pro osazení elektromagnetickou bezpečnostní brzdou. Ta je určena pro mechanické zajištění motoru v klidovém stavu. Motor je napájen napětím o jmenovité hodnotě 24V. Maximální proud I_{\max} je 33A. V klidovém stavu je odběr I_0 7,6A.

Motory jsou také připraveny pro montáž snímačů. Mezi nejpoužívanější snímače jsou uvedeny Resolver, EnDat 2.1, EnDat 2.2, Hiperface, Comcoder.

Resolver je elektrický bezkartáčový stroj, který má za úkol odměřování přesné polohy rotoru a komutačních úhlů. Nejčastěji se využívá pro přesné určování polohy a úhlové rychlosti v regulačních obvodech servozesilovačů.

EnDat 2.1 je snímač, který absolutně a inkrementálně snímá polohu rotoru vůči statoru. Tyto data jsou sériovou linkou přenášeny do servozesilovače. Přesnost tohoto snímače je 100 000kroků na jednu otáčku. Součástí snímače je i paměť pro uživatelské parametry a pro záznam dat.

EnDat 2.2 je nástupce snímače EnDat 2.1. EnDat 2.2 snímá polohu rotoru pouze absolutně. Tyto data jsou pak posílána přes rychlou sériovou linku do servozesilovače. Ostatní parametry jsou pro oba dva snímače shodné.

Hiperface je obdobný snímač jako EnDat 2.2. Jedná se o kombinovaný – absolutní a inkrementální – snímač polohy. Data přenáší přes sériovou linku.

Comcoder je také kombinovaný snímač polohy. Absolutní polohu rotoru snímá pomocí tří Hallových sond. Poloha je dána komutací všech tří signálu z jednotlivých sond.

Tepelná ochrana motoru je zajištěna buď jednoduchým termokontaktem, kdy se při zvýšení teploty nad únosnou mez kontakt sepne nebo rozepne a tím je indikována vysoká teplota. Druhý způsob snímání tepla je pomocí termistoru. Termistor je elektrická součástka, jejíž elektrický odpor je závislý na teplotě. Rozdíl odporů, které jsou naměřeny u velmi podobných teplot musí být snadno změřitelný.

Komunikace motoru a servozesilovače je prováděno několika zapojeními, motorovým, Resolverovým, EnDat a Hiperface anebo ytec. ^[8]

5.4.2 Servozesilovač TGA – 24

Jedná se o elektrický měnič, který slouží pro řízení malých a kompaktních střídavých synchronních elektromotorů do výkonu 150W. Stejnousměrné napájení pomocí 24V tak umožňuje aplikovat střídavé synchronní motory do aplikací, kde je obtížné nebo nemožné dodávat síťové střídavé napětí 240V nebo 400V. Je tak vhodný pro použití pro různé mobilní aplikace nebo v místech, kde je potřeba vyžít nízké, bezpečné napětí.

Servozesilovač může pracovat v několika operačních režimech: Momentové řízení, rychlostní řízení, absolutní řízení, relativní polohování, řízení pomocí „kroku“ a „směru“ (emulace řízení krokového motoru), elektronická převodovka, souvislé řízení po sběrnici CAN – BUS.

Komunikace servozesilovače a nadřazeného řídicího systému je řešeno sériovou linkou RS 232, RS 422/485 nebo po sběrnici CAN – BUS.

Řízení servozesilovače a nadřazeného řídicího systému je řešeno:

Analogovým napětím – řízení otáček nebo momentu. Řízení je prováděno změnou vstupního řídicího napětí v rozsahu 0V-5V (lze změnit na rozsah 0V – 10V). Hodnotě 5V, respektive 10V, odpovídá maximální počet otáček nebo maximální moment. Hodnotě 0V odpovídá maximální počet otáček v opačném směru nebo maximální moment v opačném směru. Hodnotě 2,5V, respektive 5V, odpovídá nulový počet otáček nebo nulový moment.

Digitální vstupy – jedná se o řízení spouštěním jednotlivých, předem naprogramovaných úkolů a polohových nebo rychlostních momentů, které má daný motor vykonávat.

Digitální řízení – jedná se o přímé a kontinuální řízení nadřazeným systémem pomocí sériové linky RS 422/485 nebo CAN – BUS. Jedná se o řízení otáček, momentů a spouštění jednotlivých polohových nebo rychlostních momentů.^[8]

5.4.3 Generátor rychlostního profilu (PG)

Do struktury je zařazen, pokud není servozesilovač využíván v některém z módů souvislého řízení přes sběrnici CAN. PG zajišťuje, aby se vstupní žádané veličiny rychlostního a polohového regulátoru nemohly změnit skokově.

PG má tři parametry:

- Zrychlení udává maximální přírůstek rychlosti za jednotku času ve směru od nulové rychlosti ke kladné nebo záporné rychlosti.
- Zpomalení udává maximální úbytek rychlosti za jednotku času směrem k nulové rychlosti.
- Maximální rychlost přejezdu. Výstup z PG nikdy nepřekročí tuto hodnotu.

Vstupem do PG může být buď rychlost, nebo cílová poloha. Podle zvoleného režimu.

Výstupem PG je rychlost která je využita jako rychlostní před-korekce a je přes násobící člen přičtena k výstupu polohového regulátoru. Poloha, která je počítána z výstupní rychlosti a je přímo přivedena na vstup polohového regulátoru.^[8]

5.4.4 Souvislé řízení po sběrnici CAN

Lze použít, pokud je nadřazený systém schopen generovat periodicky požadovanou hodnotu. Pro polohový režim je třeba generovat polohy v cyklu 1 až 4 ms. Pokud je poloha generována v cyklu 1ms je přímo předávána do polohového regulátoru. Při delším cyklu je hodnota ještě interpolována. Souvislé rychlostní řízení není náročné na přesnost cyklu a délka cyklu může být dle možností a potřeb prodloužena. Zadaná rychlost se předává přímo do rychlostního regulátoru. V obou těchto režimech není využit generátor rychlostního profilu a je proto třeba aby nadřazený systém kontroloval maximální rychlost a maximální změnu rychlosti. Generátor rychlostního profilu musí být integrován v nadřazeném systému.

Servozesilovač v těchto režimech kontroluje komunikaci a při výpadku bezpečně zastaví.

[8]

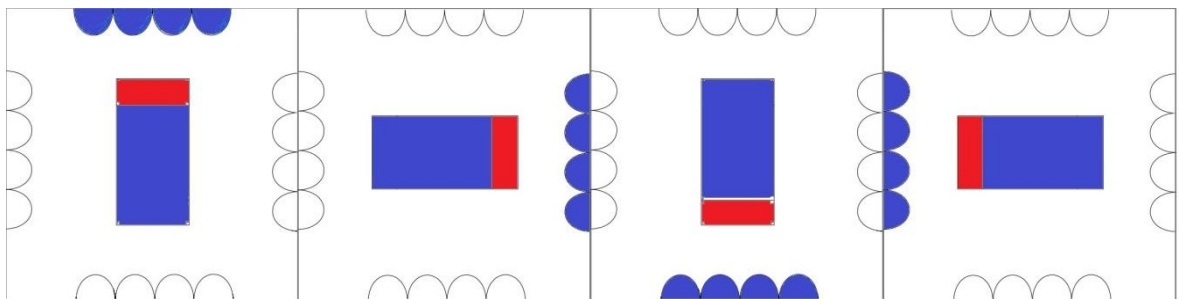
5.4.5 Řízení pomocí „kroku“ a „směru“

Řízení v tomto režimu je pomocí emulace krokového motoru. V tomto módu se servozesilovač se servomotorem řídí stejně jako krokový motor. Rozdíl oproti vnějšímu řízení je v tom, že samotný servozesilovač s motorem pracuje v módu polohového řízení.

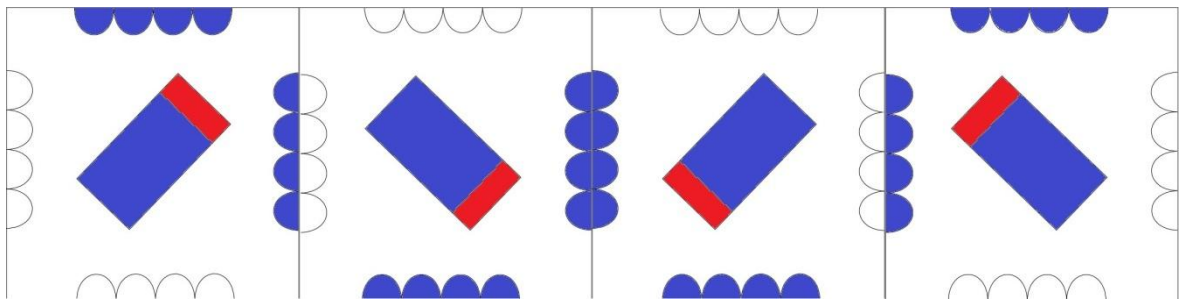
Výhodou toho řízení je nemožnost ztráty kroku, které můžou u normálních krokových motorů nastat a v případě přetížení servomotor indikuje chybu nebo proudové přetížení.

5.4.5.1 Unipolární, bipolární řízení

Unipolární řízení krokového motoru je prováděno zapojením právě jedné cívky statoru na elektrický proud. Výhodou tohoto zapojení je nízká spotřeba a jednoduchý řídicí obvod, ale za cenu snížení točivého momentu motoru. U bipolárního řízení prochází proud právě dvěma protilehlými cívkami, které mají opačnou polaritu. Při tomto řízení dochází ke zvýšení točivého momentu, ale za cenu zvýšení spotřeby motoru a náročnější řídicí elektroniky motoru.



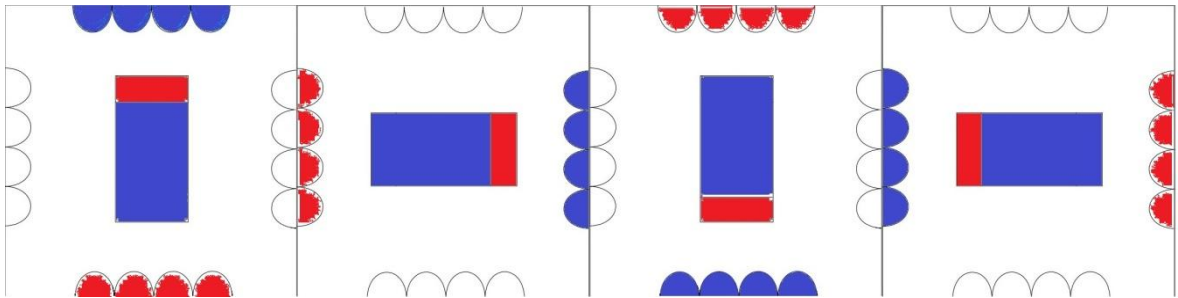
Obrázek 22: Unipolární, jednofázové řízení krokového motoru



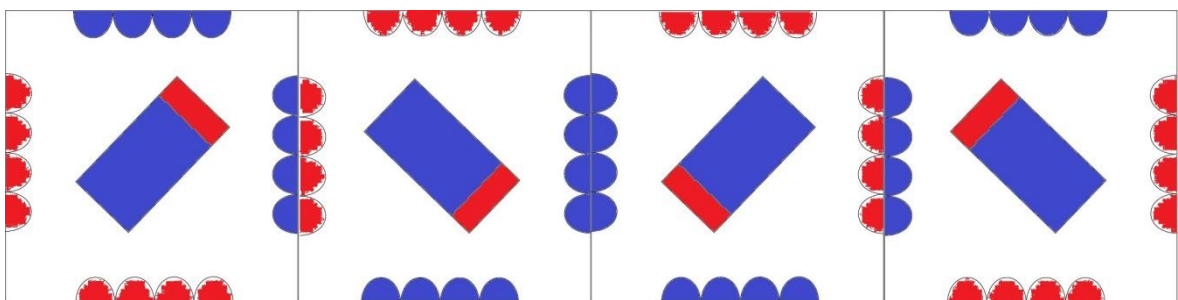
Obrázek 23: Unipolární dvoufázové řízení krokového motoru

5.4.5.2 Jednofázové, dvoufázové řízení

Jednofázové řízení je řízení krokového motoru pomocí právě jedné zapojené cívky do elektrické sítě. Oproti tomu u dvoufázového řízení jsou zapojeny do sítě právě dvě sousední cívky. Výhodou tohoto zapojení je zvýšení momentu motoru, ale za cenu dvojnásobného zvýšení spotřeby.



Obrázek 24: Bipolární jednofázové řízení krokového motoru

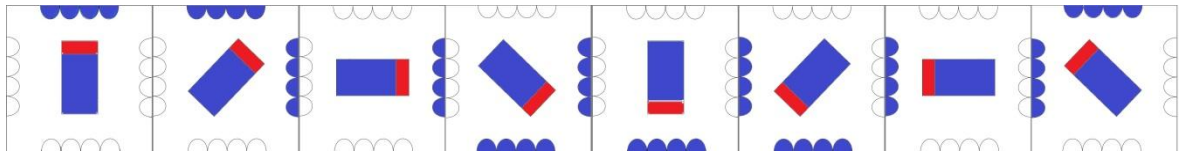


Obrázek 25: Bipolární dvoufázové řízení krokového motoru

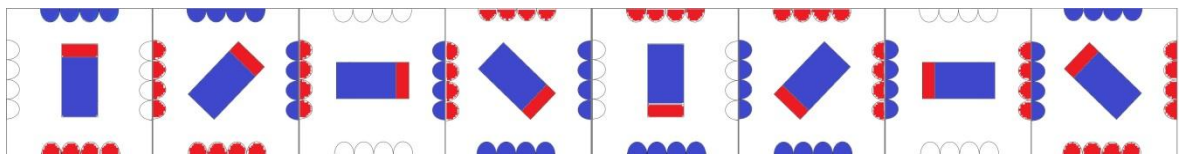
5.4.5.3 Plný, poloviční krok

Řízení krokového motoru plným krokem znamená, že na jedno otočení rotoru je potřeba právě tolik kroků, kolik zubů má rotor.

Řízením krokového motoru s polovičním krokem dosáhneme dvojnásobné přesnosti. Na jednu otočku rotoru je potřeba dvojnásobný počet kroků než je počet zubů na rotoru. Navíc zde dochází ke střídání jednofázového a dvoufázového řízení.^[9]



Obrázek 26: Unipolární řízení krokového motoru s polovičním krokem



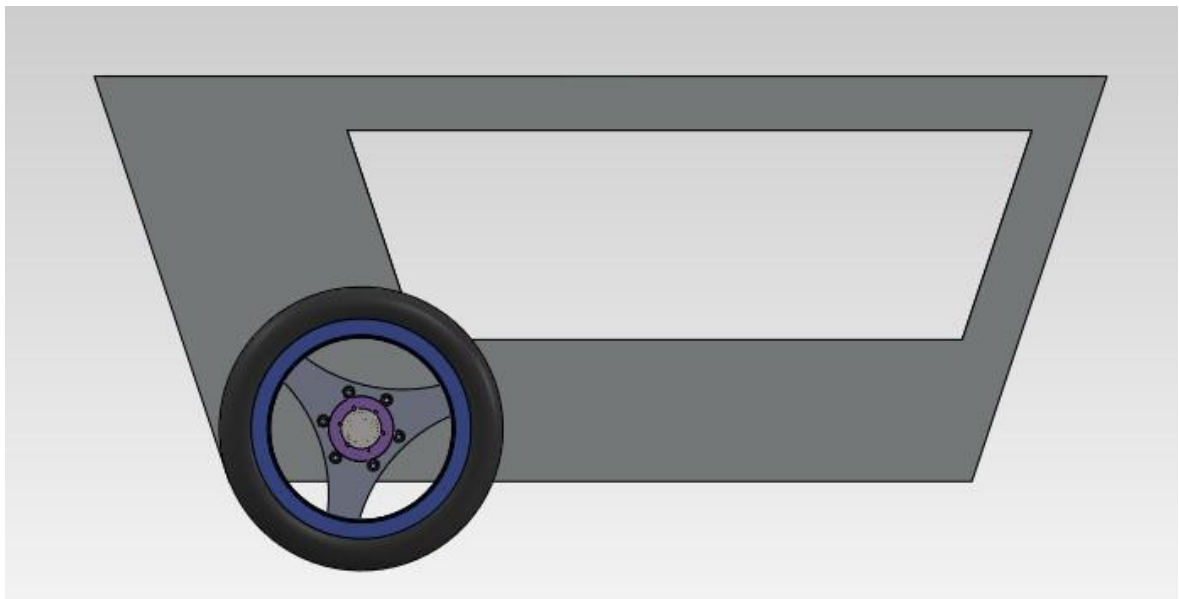
Obrázek 27: Bipolární řízení krokového motoru s polovičním krokem

6 DALŠÍ TECHNOLOGIE V PODVOZKU

Dalšími technologie je nutné řešit z hlediska vnitřního uspořádání robota.

6.1 SICK

Jedná se o laserový scanner vnějšího prostředí, a v daném autonomním robotu bude zastávat hlavní funkci pro detekci okolí a překážek a pro jeho následný pohyb tímto prostředím. Umístění SICKu v podvozku je na spodní nosné desce v přední části. Jeho úhel zorného pole je 70° . To nám následně omezuje maximální posunutí předních hnaných kol dopředu. V daném případě tedy musela ustoupit stabilita před používaným rozsahem scanneru. Proto bylo vyžadováno umístění kol tak, aby kolo nepřesahovalo přední hranu bokorysu kostry.



Obrázek 28: Bokorys – umístění předních kol

6.2 Ultrazvukové a infračervené senzory

Senzory, které budou umístěny po horním a spodním obvodu podvozku. Senzory budou mít za úkol navádět autonomní podvozek v prostředí, ve kterém bude minimální dosah SICKu příliš velký. Jejich hlavním úkolem bude navádět robota ve stísněných podmínkách nebo při nájezdu do dokovací stanice. Dalším úkolem těchto senzorů bude vyslání signálu,

když se podvozek bude nacházet ve velmi těsné blízkosti překážky a další pohyb by již nebyl možný.

6.3 Čtečka magnetických pásků

Čtečka magnetických pásků bude sloužit jako hlavní senzor pro couvání do dokovací stanice. Čtečka bude umístěna na spodní straně podvozku a jejím úkolem bude najít magnetický pásek, který má za úkol navést podvozek do dokovací stanice. Dosah čtečky tedy limituje světlou výšku podvozku a navíc s požadavky na umístění SICKu a stability na podvozek nám velmi omezuje umístění hřídele předních hnaných kol.

6.4 Dokovací stanice

Nejedná se o technologii, která je umístěná v robotovi. Stanice, jejíž hlavním úkolem bude dobíjet pohonné a napájecí akumulátory v robotu. Dokovací stanice se skládá z boxu a přední nájezdové rampy. Nájezdová rampa má na své horní straně 6 měděných kontaktů, které slouží pro přenos elektrické energie do baterií, aniž by se museli demontovat z robota. Na obrázku je znázorněn koncepční návrh dokovací stanice. Jedná se o statickou část, která bude umístěna na pevném místě ve střezném objektu. Předpokládá se, že robot bude k dokovací stanici najíždět couváním, protože kontakty budou umístěny v zadní části robota.



Obrázek 29: Dokovací stanice

6.5 Baterie

Jedná se o dvojici gelových baterií. Každá z nich má napětí 12V, kapacitu 12Ah a hmotnost 3,9 kg. Z funkčního hlediska nejsou baterie nijak limitovány. Limitem pro umístění baterií je jejich vysoká hmotnost, která bude z velké části určovat výsledné umístění těžiště.

6.6 Řídící počítač

Bude to jednoduchý mikropočítač, jehož úkolem bude robota řídit. Z hlediska funkčního i prostorového zde nejsou žádné limity a proto jej bude možné umístit téměř na libovolné místo.

6.7 Panel PC

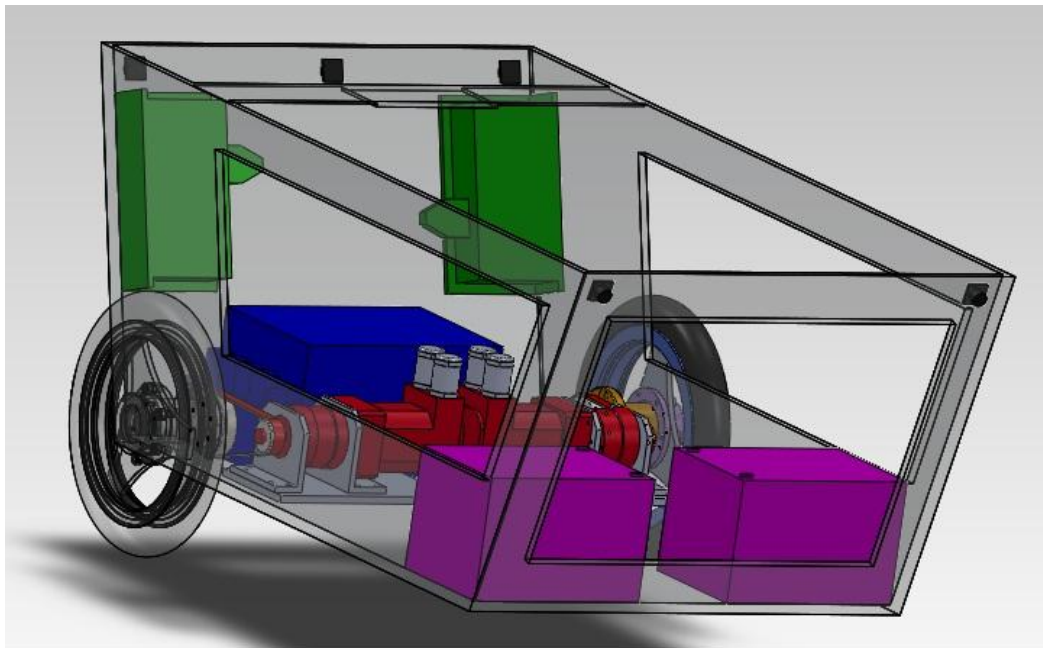
Bude se jednat o dotykový displej, který bude umístěn na horní straně podvozku. Jeho hlavním úkolem bude zjednodušit ovládání a nastavení robotického systému.

7 NÁVRHY JEDNOTLIVÝCH USPOŘÁDÁNÍ KOMPONENT V PODVOZKU

Jednotlivé varianty návrhu rozmístění komponentů. Komponenty v robotu se dělí na dvě skupiny. Na komponenty, které mají pevně dané místo, jako například SICK nebo ultrazvukové senzory a komponenty, které pevné místo nemají.

7.1 Varianta A

První z návrhů. SICK se nachází na přední straně podvozku s pevným umístěním tak, aby jeho pozorovací úhel nebyl ničím omezen. Stejně tak i umístění pěti ultrazvukových senzorů. Tři ultrazvukové senzory se nacházejí v přední horní části podvozku a dva senzory v zadní horní části. Motory se nacházejí těsně za SICKem. Výhoda tohoto uložení je malá vzdálenost os kol a motorů. Navíc se sníží těžiště a zvýší stabilita celého podvozku. Nevýhodou uložení je ztížení přístupu k ozubeným řetězům a navíc je zde zvýšené riziko elektromagnetického rušení. Servozesilovače jsou umístěny tak, aby případná elektroinstalace byla co nejkratší. Baterie jsou umístěny na opačné straně podvozku tak, aby došlo k vyvážení celého podvozku.

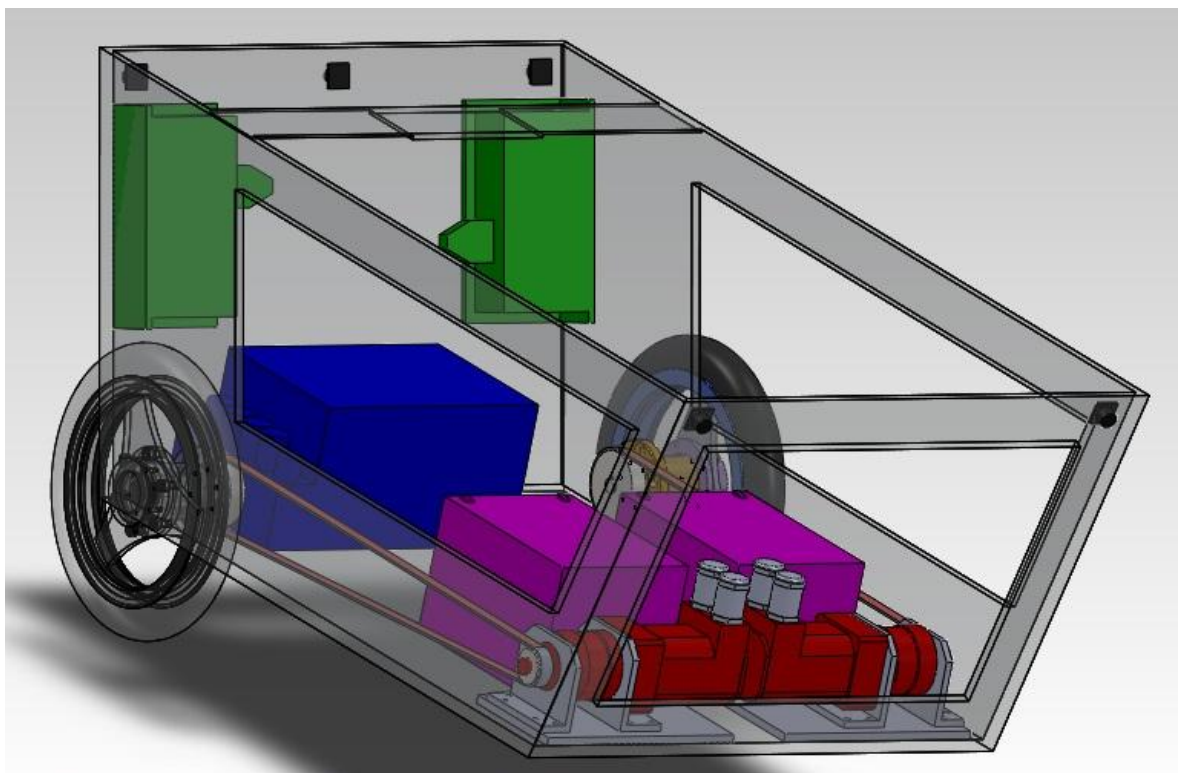


zelené objekty - servozesilovač
 červené objekty - motory a převodovka
 černé objekty - ultrazvukové senzory
 fialové objekty - baterie
 modrý objekt - SICK

Obrázek 30: Rozmístění komponent – návrh č. 1

7.2 Varianta B

Stejně jak v předchozí variantě mají SICK a ultrazvukové senzory své, pevně dané, místo. Oproti předchozí variantě se motory nacházejí v zadní spodní části podvozku, za bateriemi. Výhodou tohoto návrhu je lepší přístup k ozubenému řemenu. Další výhodou je snížení elektromagnetického rušení, jehož zdrojem by mohly být motory. Stejně jako v předchozí variantě se servozesilovače nacházejí v přední části. Nevýhodou tohoto návrhu je delší elektroinstalace mezi servozesilovači a motory.



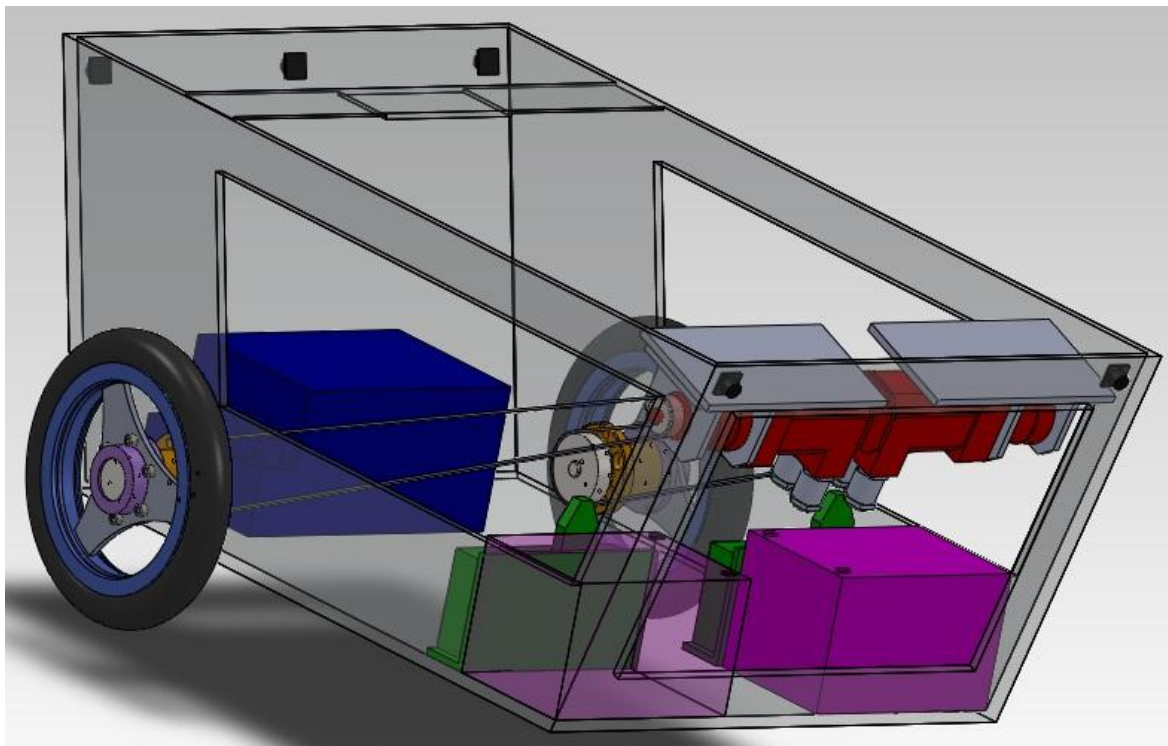
zelené objekty - servozesilovač fialové objekty - baterie
 červené objekty - motory a převodovka modrý objekt - SICK
 černé objekty - ultrazvukové senzory

Obrázek 31: Rozmístění komponent – návrh č. 2

7.3 Varianta C

U třetího návrhu byly motory umístěny v zadní horní části nad bateriemi. Ozubený řemen je vedený úhlopříčně k předním kolům. Umístění SICKu a ultrazvukových senzorů je neměnné. Servozesilovače jsou umístěny těsně před bateriemi. Výhoda tohoto umístění je oddělení pohonu kol od zbylé elektroniky, která by se nacházela v přední části. Nevýhoda

je vzhledem k hmotnostem jednotlivých komponentů posunutí těžiště výše a více dozadu a tím může dojít k snížení stability podvozku.



zelené objekty - servozesilovač

fialové objekty - baterie

červené objekty - motory a převodovka

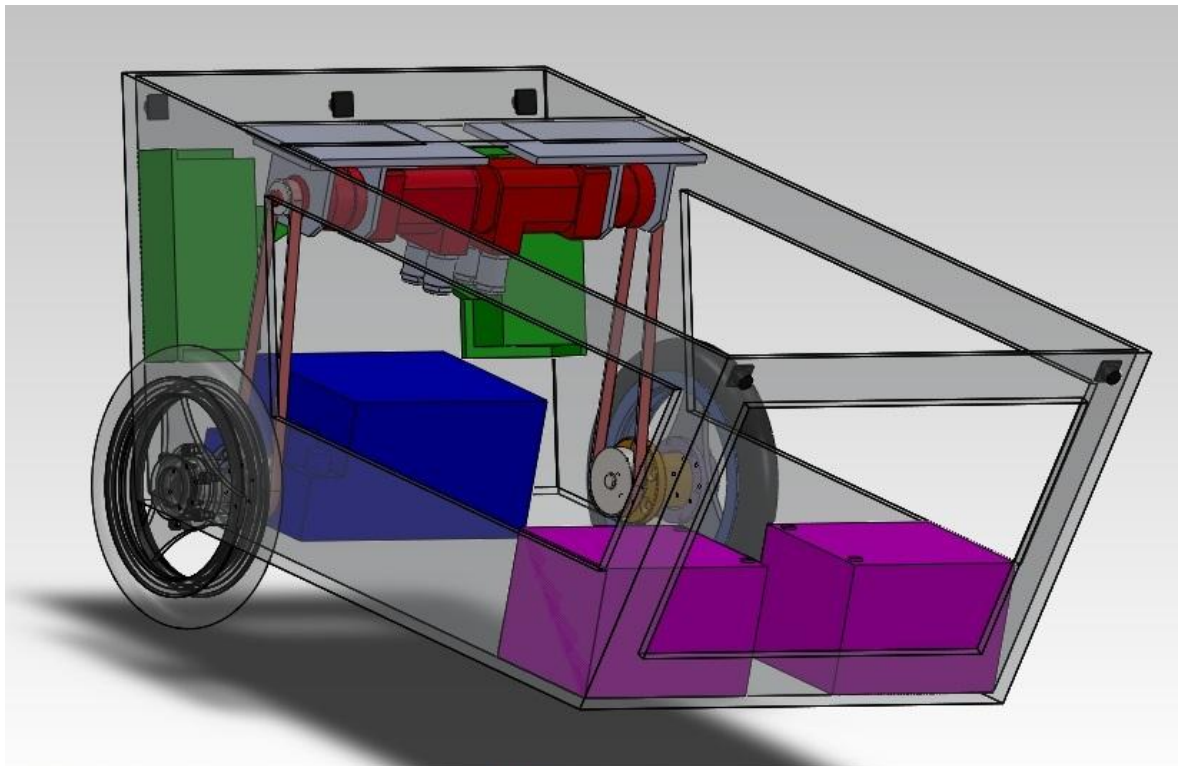
modry objekt - SICK

černé objekty - ultrazvukové senzory

Obrázek 32: Rozmístění komponent – návrh č. 3

7.4 Varianta D

Čtvrtý návrh počítá s umístěním motorů na příčnici na horní straně podvozku. Servozesilovače jsou umístěny na přední stěně podvozku tak, aby nezasahovaly do pozorovacího úhlu SICKu. Výhoda tohoto uspořádání je rovnoměrné rozložení hmotnosti komponent v podvozku, malá vzdálenost servozesilovačů a motorů. Vzdálenost mezi motory a zbylými elektrickými a elektronickými zařízeními snižuje, oproti prvnímu návrhu, možnost elektromagnetického rušení. Nevýhodou je zvýšení polohy těžiště oproti prvnímu návrhu



zelené objekty - servozesilovač fialové objekty - baterie
červené objekty - motory a převodovka modrý objekt - SICK
černé objekty - ultrazvukové senzory

Obrázek 33: Rozmístění komponent – návrh č. 4

ZÁVĚR

V teoretické části byla provedena rešerše elektrických pohonů a následné vybrání konkrétního druhu motoru pro pohon automatického robotického systému, možností řízení pohybu robotického systému. Dále zde bylo provedeno porovnání jednotlivých druhů řízení podvozků a jejich možných výhod a nevýhod pro daný robotický systém. Praktická část byla zaměřena na obecný popis možností uložení hřídele a následně i řemenového převodu. Na základě této bakalářské práce byly vytvořeny čtyři návrhy vnitřního rozmístění komponent. S uvedením výhod a nevýhod pro jednotlivá řešení. Nejedná se však o všechny dostupné varianty rozmístění technických zařízení a každý z návrhů umožňuje další drobné změny umístění. Vzhledem k tomu, že konstrukcí ostatních subcelků robota se zabývají další čtyři práce, bude použité konečné řešení kompromisem výsledků všech zúčastněných prací.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In the theoretical part, research of electrical drives was carried out and then a specific type of engine to drive an automatic robotic system and possible ways to control it were chosen. Furthermore, individual chassis driving types and their possible advantages and disadvantages for the stated robotic system were compared. The practical part was focused on a general description of possible ways to place the shaft and afterwards even the belt gear. Based on this thesis, four proposals of internal components arrangement were made also with mentioning advantages and disadvantages of the individual solutions. However, this is not all the possible variants of the technical devices arrangement and each of the proposals allows more small changes in the placement. Since there are four more theses dealing with the construction of other sub-units of the robot, the applied solution will consist of compromised results of all.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ISO Standard 8373:1994, Manipulating Industrial Robots – Vocabulary
- [2] DUŠÁKOVÁ, Eva a Dominik ZUNT. O původu slova robot. [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://capek.misto.cz/robot.html>
- [3] DEVOL JR., George C. *Programmed Article Transfer* [patent]. 10. prosince 1954. Patent, US 2998237. Uděleno 13. června 1961.
- [4] Doc. Ing. ŠOLC František CSc., a Ing Luděk ŽALUD Ph.D. *Robotika*. Dostupné z: http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf
- [5] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-730-0092-X.
- [6] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [7] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 137 s. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [8] TG DRIVES S. R. O. *TG Drives* [online]. 2006 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: www.tgdrives.cz
- [9] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory. DLOUHÝ, Martin a Zbyněk WINKLER. *Robotika* [online]. 2002-10-28 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [10] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vydání. BEN - technická literatura, 2004, 160 s. ISBN 80-7300-110-1; 9788073001100.
- [11] VÁŇA, Vladimír. *Atmel AVR programování v jazyce C*. 1. vydání. BEN - technická literatura, 2003, 216 s. ISBN 80-7300-102-0; 9788073001025.
- [12] BALÁTĚ, Jaroslav. *Automatické řízení*. 2. aktualizované. BEN - technická literatura, 2004, 664 s. ISBN 978-80-7300-148-3; 9788073001483.
- [13] LAUCKÝ, Vladimír. *Technologie komerční bezpečnosti II*. první. 2004, 122 s. ISBN 80-7318-231-9.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VRM Variable reluctance motors

PM Permanent magnet

HB Hybrid

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Podvozek s čtyřmi pevnými koly	27
Obrázek 2: Klasický pohon čtyřkolky	28
Obrázek 3: Podvozek s diferenciálem	29
Obrázek 4: Odděleně hnaná zadní kola	30
Obrázek 5: Odděleně hnaná přední kola	30
Obrázek 6: Původní koncepce robota	33
Obrázek 7: 3D nákres kostry	34
Obrázek 8: Umístění teoretických hran překlopení tříkolového podvozku - pohyb vpřed	35
Obrázek 9: Umístění teoretických hran překlopení tříkolového podvozku - otočení kolem levého kola	35
Obrázek 10: Umístění teoretických hran překlopení tříkolového podvozku - pohyb vzad	36
Obrázek 11: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku - pohyb vpřed	37
Obrázek 12: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku – otočení kolem levého kola	37
Obrázek 13: Umístění teoretických hran překlopení čtyřkolového podvozku – pohyb vzad	38
Obrázek 14: Schématické znázornění - Řemen uvnitř kostry	42
Obrázek 15: Schématické znázornění - Řemen vně kostry	42
Obrázek 16: Umístění řemenů bokorys	43
Obrázek 17: Umístění řemenů – řez	43
Obrázek 18: Hřídel 1 – schématický řez	44
Obrázek 19: Hřídel 2 – schématický řez	44
Obrázek 20: Hřídel 3 – schématický řez	45
Obrázek 21: Hřídel 3 – schématický řez	46
Obrázek 22: Unipolární, jednofázové řízení krokového motoru	50
Obrázek 23: Unipolární dvoufázové řízení krokového motoru	50
Obrázek 24: Bipolární jednofázové řízení krokového motoru	51
Obrázek 25: Bipolární dvoufázové řízení krokového motoru	51
Obrázek 26: Unipolární řízení krokového motoru s polovičním krokem	52

Obrázek 27: Bipolární řízení krokového motoru s polovičním krokem.....	52
Obrázek 28: Bokorys – umístění předních kol	53
Obrázek 29: Dokovací stanice	54
Obrázek 30: Rozmístění komponent – návrh č. 1	56
Obrázek 31: Rozmístění komponent – návrh č. 2.....	57
Obrázek 32: Rozmístění komponent – návrh č. 3.....	58
Obrázek 33: Rozmístění komponent – návrh č. 4.....	59

SEZNAM ROVNIC

1 – Lorenzův zákon síly.....	14
2 – Otáčky motoru	18
3 – Velikost kroku.....	20
4 – Úhlová rychlost.....	24
5 – Obvod kruhu	38
6 – Počet otáček	39
7 – Převodový poměr	39
8 – Teoretická světlá výška podvozku	39
9 – Obvod kruhu	40
10 – Počet otáček	40
11 – Převodový poměr	40
12 – Teoretická světlá výška podvozku	40

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace, Varianta A

Výkresová dokumentace, Varianta B

Výkresová dokumentace, Varianta C

Výkresová dokumentace, Varianta D

