

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití elektrických strojů v robotice

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš MĚSÍČEK**

Osobní číslo: **E14B0041P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Využití elektrických strojů v robotice**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Proveďte rozbor elektrických strojů používaných v oblasti robotiky.
2. Vyberte konkrétní pohon pro robotické vozítko a svou volbu zdůvodněte.
3. Vytvořte robotické vozítko poháněné Vámi zvoleným typem motoru.
4. Popište postup výroby vozítka a použité komponenty.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Světlík

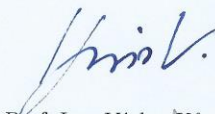
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na využívání elektrických strojů v oblasti robotiky. Úkolem této práce je popsat elektrické motory, které by mohly sloužit pro robotický pohon a zhodnotit jejich výhody a nevýhody. Dalším úkolem bakalářské práce je vyrobit robota, ve kterém použijeme námi zvolený motor, a popsat výhody použitého motoru a porovnat ho s ostatními motory.

Práce je rozdělena na dvě části. První část se zabývá stroji používanými v oblasti robotiky. V této části jsou popsány např. asynchronní, synchronní, stejnosměrné a další typy strojů. V druhé části je popsána stavba robota, kde je vysvětlen postup výroby konstrukce a jsou popsány použité komponenty, které robot obsahuje, a jejich vlastnosti (např. Arduino, ultrazvukové čidlo atd.).

Klíčová slova

Asynchronní stroj, synchronní stroj, stejnosměrný stroj, EC motor, krokový motor, lineární motor, momentová charakteristika, konstrukce, robot, Arduino, ultrazvuková čidla, bluetooth, baterie, ovládací deska.

Abstract

The presented bachelor thesis is focused on the usage of electric machines in the field of robotics. The goal of this thesis is to describe electric motors which could be used for a robotic drive and to evaluate their advantages and disadvantages. Another objective of this bachelor thesis is to make a robot which will contain our chosen motor, to describe the advantages of the used motor and to compare it with other motors.

The thesis is divided into two parts. The first part deals with the machines which are used in the field of robotics. In this part there is a description of different types of machines, for example induction, synchronous and DC machines. The other part describes the construction of the robot. It explains the process of construction and it describes the used components, which the robot contains and their characteristics (e.g. Arduino, ultrasonic sensor etc.).

Key words

Induction machine, synchronous machine, DC machine, EC motor, stepper motor, linear motor, speed-torque characteristic, construction, robot, Arduino, ultrasonic sensors, bluetooth, battery, control board

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2017

Lukáš Měsíček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Světlíkovi za cenné profesionální rady, užitečné připomínky a metodické vedení práce.

ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 ELEKTRICKÉ STROJE POUŽÍVANÉ V OBLASTI ROBOTIKY.....	12
1.1 ASYNCHRONNÍ STROJ	12
1.1.1 Konstrukce asynchronního motoru	12
1.1.2 Princip třífázového asynchronního motoru	13
1.1.3 Princip jednofázového asynchronního motoru	14
1.1.4 Spouštění asynchronního motoru	14
1.1.5 Řízení asynchronního motoru	15
1.1.6 Momentová charakteristika	16
1.1.7 Výhody a použití asynchronního motoru	16
1.2 SYNCHRONNÍ STROJ.....	18
1.2.1 Konstrukce synchronního motoru	18
1.2.2 Princip a rozběh synchronního motoru	19
1.2.3 Výhody a použití synchronního motoru	20
1.3 STEJNOSMĚRNÝ STROJ.....	21
1.3.1 Konstrukce kartáčového stejnosměrného motoru	21
1.3.2 Princip kartáčového stejnosměrného motoru	22
1.3.3 Řízení otáček kartáčového stejnosměrného motoru.....	23
1.3.4 Konstrukce motoru s elektronickou komutací.....	24
1.3.5 Princip EC motoru.....	26
1.3.6 Řízení otáček EC motoru	27
1.3.7 Výhody a použití stejnosměrného motoru.....	27
1.4 KROKOVÝ MOTOR	28
1.4.1 Druhy konstrukce krokových motorů.....	28
1.4.2 Princip krokového motoru	30
1.4.3 Statická momentová charakteristika	30
1.4.4 Způsoby řízení	31
1.4.5 Mikrokrokování	32
1.4.6 Výhody a použití krokových motorů.....	33
1.5 LINEÁRNÍ MOTORY	34
1.5.1 Konstrukce lineárního motoru	34
1.5.2 Druhy lineárních motorů	35
1.5.3 Výhody a použití lineárních motorů	36
2 KONSTRUOVÁNÍ ROBOTICKÉHO VOZÍTKA.....	37
2.1 KONSTRUKCE ROBOTA	37
2.2 MOTORY	38
2.3 BATERIE	39
2.4 ARDUINO.....	40
2.5 ULTRAZVUKOVÁ ČIDLA.....	42
2.6 BLUETOOTH	43
2.7 OVLÁDACÍ DESKA	43
2.8 HOTOVÉ ROBOTICKÉ VOZÍTKO	45
ZÁVĚR.....	47
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	49
PŘÍLOHY	1

Úvod

V dnešní době jsou roboti velice rozšíření. Jejich hlavním účelem je ulehčit člověku život a nahradit ho při stereotypní práci. Dále se nasazují do míst, která mohou být člověku nebezpečná, nebo se mohou používat pro průzkum vzdálených míst od Země jako například Mars rover, který byl vyslán na planetu Mars, kde následně prozkoumával místní podmínky. Velké využití robotů se nachází právě v průmyslu.

Samozřejmě každý robot musí mít svůj vlastní pohon, aby ho bylo možné uvést do pohybu. Celkem existují čtyři možné druhy pohonu, a to mechanický, pneumatický, hydraulický a elektrický pohon. Každý pohon má své specifické vlastnosti a v něčem vyniká lépe, v něčem naopak méně. Mechanický pohon patří k nejstarším pohonům. Dnes se s ním můžeme setkat hlavně v jednoduchých aplikacích. Tímto pohonem lze dosáhnout vysoké rychlosti a přesnosti. I životnost a spolehlivost je u mechanického pohonu vysoká. Možnost řízení tohoto motoru je ale velice obtížná. Další možný pohon využívaný pro roboty může být pneumatický. Tento pohon umožňuje velice rychlé přímočaré pohyby a řízení tohoto pohonu je o něco jednodušší než u mechanického pohonu. Ale velkou nevýhodou pneumatického pohonu je nutnost zajištění těsnosti, aby nedocházelo k úniku vzduchu a následně k snížení tlaku, a velice drahý provoz, poněvadž je potřeba stále udržovat stlačený vzduch. Pomocí hydraulického pohonu lze dosáhnout velké tuhosti. U hydraulického pohonu lze dobře řídit rychlost, ale je poměrně velkým problémem dosáhnout vysokých rychlostí. Ale stejně jako u pneumatického pohonu je u hydraulického pohonu problém zajistit dostatečnou těsnost, aby nedošlo k úniku kapaliny. Další nevýhodou je, že při poruše dochází k znečištění prostoru a je zapotřebí čerpadlo, aby docházelo ke stlačování kapaliny, a proto je i údržba o něco dražší. Poslední využívaný pohon je elektrický. Tento pohon je hodně využívaný díky jeho dobrému řízení rychlosti. S elektrickým pohonem lze dosáhnout velké tuhosti. Další výhodou tohoto pohonu oproti hydraulickému je, že v případě poruchy nedochází k znečištění prostoru. Jeho náklady na provoz jsou menší než náklady na hydraulický či pneumatický pohon. Nevýhodou tohoto pohonu je zajištění jeho chlazení. Dále se používají kombinované pohony, a jak je z názvu patrné, tyto pohony kombinují výhody jednotlivých pohonů [1].

Tato bakalářská práce se věnuje elektrickému pohonu, který je více využívaný v robotice, a popisuje, jakými stroji lze tento pohon realizovat a jejich vlastnosti. V závěru se kvalifikační práce zabývá stavbou robota, pro kterého byl vybrán vhodný elektrický pohon.

Seznam symbolů a zkratek

s.....	Skluz
n	Otáčky rotoru
n_1	Synchronní otáčky
f_1	Napájecí frekvence
p	Počet pólových dvojic
α	Úhel kroku
N_R	Počet zubů na rotoru
m.....	Počet fází
NdFeB.....	Sloučenina neodym, železo, bor
Sm-Co.....	Sloučenina samarium-kobalt
Li-Pol.....	Lithium-polymerový akumulátor
EC.....	Elektronicky komutovaný motor
BLDC	Bezkartáčový stejnosměrný motor
C, C++	Programovací jazyk
USB	Univerzální sériová sběrnice
PC	Osobní počítač
PWM.....	Pulsní šířková modulace
VCC.....	Napájení
GND	Uzemnění
TXD.....	Vysílání dat
RXD.....	Přijímání dat

1 Elektrické stroje používané v oblasti robotiky

1.1 Asynchronní stroj

Asynchronní stroj je v dnešní době nejrozšířenějším strojem. Lze ho používat v motorovém nebo generátorovém režimu, ale nejčastěji se využívá právě jako motor. Jeho otáčky rotoru jsou odlišné od synchronních otáček statoru [2, 3].

1.1.1 Konstrukce asynchronního motoru

Asynchronní motor se skládá ze tří hlavních částí, a to z rotoru, statoru a mechanického materiálu (ložiska, spojovací materiál a samostatná konstrukce). Stator je statická část motoru, která se skládá z izolovaných plechů, ve kterých jsou vyfrézované drážky pro statorové vinutí. Vinutí začíná a zároveň i končí na svorkovnici motoru, kde se umožňuje zapojení motoru do hvězdy nebo trojúhelníka. U asynchronního motoru můžeme rozlišovat dvě provedení rotoru, a to rotor nakrátko nebo rotor s vinutou kotvou [2, 3].

- **Rotor nakrátko**

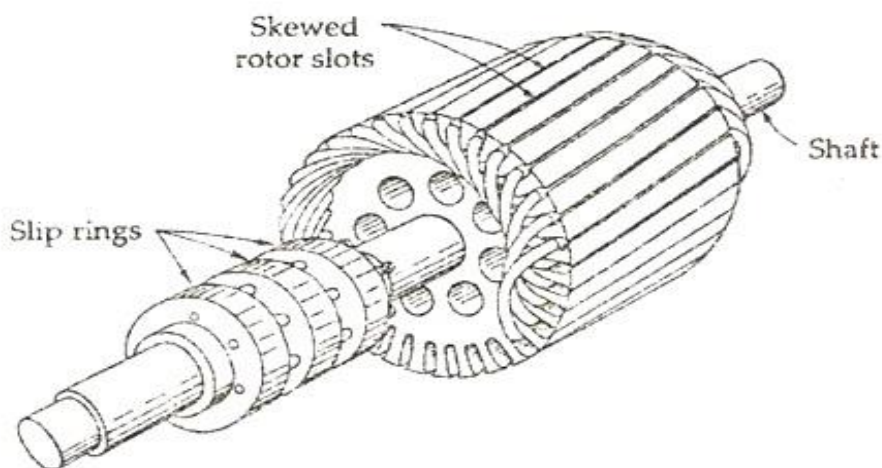
Rotor se stejně jako stator opět skládá z plechů, které mají v sobě vyfrézované nebo vyražené drážky. Do těchto drážek se ovšem už neukládá vinutí, ale jsou do nich vkládány tyče anebo bývají vylévány hliníkem. Tyče poté bývají na obou stranách spojeny vodivými kruhy, takzvaně nakrátko. Rotory se mohou vyskytovat i s dvěma tyčemi na jednu drážku, kde jedna tyč je rozběhová a druhá běhová. Tento typ rotoru má poté menší rozběhový proud a má větší záběrný moment [2, 3].



Obrázek 1: Rotor nakrátko [4]

- **Rotor s vinutou kotvou**

Rotor je opět tvořen z plechů, které mají vyfrézované drážky, ale u toho typu rotoru je do nich vloženo izolované vinutí. Začátek vinutí je poté spojen do hvězdy (může být i do trojúhelníka, ale častěji se zapojuje do hvězdy) a konec vinutí je zapojen na sběrací kroužky, které jsou nalisovány na hřídeli. Na tyto kroužky poté doléhají kartáče, které vedou do svorkovnice [2, 3].



Obrázek 2: Rotor s vinutou kotvou [5]

1.1.2 Princip třífázového asynchronního motoru

Princip asynchronního motoru spočívá v tom, že na statorové vinutí přivedeme třífázové napětí. Toto napětí vyvolá točivé magnetické pole, které zasahuje do vinutí uloženého v rotoru. Ve vinutí v rotoru se začne indukovat napětí, a to díky uzavření elektrického obvodu, protože vinutí není nijak přerušeno, vyvolá průchod proudu vinutím. Tento proud vyvolá rotorové magnetické pole. Posléze vznikne točivý moment rotoru, protože rotorové magnetické pole je spřažené se statorovým magnetickým polem, a to vyvolá vychýlení rotoru z jeho polohy ve směru statorového pole. S vyššími otáčkami rotoru se poté snižuje moment rotoru a proud indukovaný v rotoru. Naopak s větším momentem na hřídeli dojde ke snížení otáček a k zvýšení proudu ve vinutí. Ovšem nelze dosáhnout stejných otáček rotoru jako otáček statoru, protože asynchronní motor musí pracovat se skluzem. Skluz udává, jaký je rozdíl rotorových otáček od synchronních otáček statoru. Je tedy patrné, že skluz bude záviset na otáčkách rotoru, které jsou závislé na momentu na hřídeli. Skluz je možno zjistit z této rovnice [2, 3]

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} [-] \quad (1.1.2)$$

kde: s skluz

n otáčky rotoru

n_1 synchronní otáčky statorového pole, které lze spočítat jako $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} [\text{min}^{-1}]$

f_1 napájecí frekvence

p počet pólových dvojic

1.1.3 Princip jednofázového asynchronního motoru

U tohoto motoru nedojde k jeho rozběhu po přivedení jednofázového napětí na jednofázové statorové vinutí, protože nedochází ke vzniku točivého magnetického pole, ale vzniká pouze střídavé pulsující pole, které nevytváří točivý moment rotoru. Proto lze motor rozběhnout dvěma způsoby, buď se roztočí mechanicky, nebo se musí konstrukčně vyřešit vznik točivého magnetického pole. To se právě provádí pomocným vinutím, kde je potom statorové vinutí rozděleno do dvou vinutí. A to na pracovní vinutí, které je uloženo ve dvou třetinách drážek, a na pomocné vinutí, které je uloženo v jedné třetině drážek. Poté je pomocné vinutí zapojeno paralelně k pracovnímu vinutí, a to buď to s trvale připojeným kondenzátorem, nebo s kondenzátorem, který je připojen pouze při rozběhu, a poté dochází k jeho odpojení. Právě kondenzátor způsobuje časový posun proudu, který teče vinutím, a způsobuje poté točivé magnetické pole [6].

1.1.4 Spouštění asynchronního motoru

Při spouštění motoru je třeba hlídat proud, protože dochází k jeho velkému nárůstu dokonce až na šestnásobek jmenovité hodnoty. Proto se musí provádět určitá opatření, aby nedošlo ke snižování živostnosti stroje a nedocházelo k zareagování ochranných jističů při rozběhu motoru [2].

- **Přepínání hvězda trojúhelník**

Toto přepínání se využívá tak, že při zapojení do hvězdy teče o 1/3 menší proud než při zapojení do trojúhelníka. Je to způsobené změnou napájecího napětí, protože v trojúhelníku musíme brát v potaz sdružené napětí, ale pro hvězdu naopak pouze fázové.

Nejprve je zapojené vinutí do hvězdy a při dosažení rozběhové rychlosti dojde k přepojení, buď pomocí speciálního přepínače či pomocí stykačů, vinutí do trojúhelníka [3].

- ***Odporový spouštěč***

Odporový spouštěč slouží pro spouštění motoru s vinutou kotvou. Odpor je připojen k rotorovému obvodu a je nastaven na největší hodnotu, aby rotorem procházel malý proud. Poté hodnotu odporu snižujeme, až je rotor zapojen nakrátko [3].

- ***Frekvenční měnič***

Pomocí frekvenčního měniče lze řídit frekvenci napájecího napětí a tím pádem lze měnit i rychlost motoru, takže lze měnit i odebíraný proud [3].

- ***Softstartér***

Napětí na motoru je řízené pomocí polovodičových měničů (např. tyristorový), který umožňuje plynulý rozběh [6].

1.1.5 Řízení asynchronního motoru

Rychlost otáček se může provádět třemi způsoby.

- ***Změnou skluzu***

Změny skluzu lze dosáhnout dvěma způsoby. Buď skluz můžeme změnit pomocí napájecího napětí, nebo změnou odporu, ale to lze pouze v případě, že se jedná o rotor s vinutou kotvou. Jedná se ale o méně používaný způsob řízení otáček, protože při procesu vznikají ztráty (teplo vznikající na odporu) [3, 6].

- ***Počtem pólových párů***

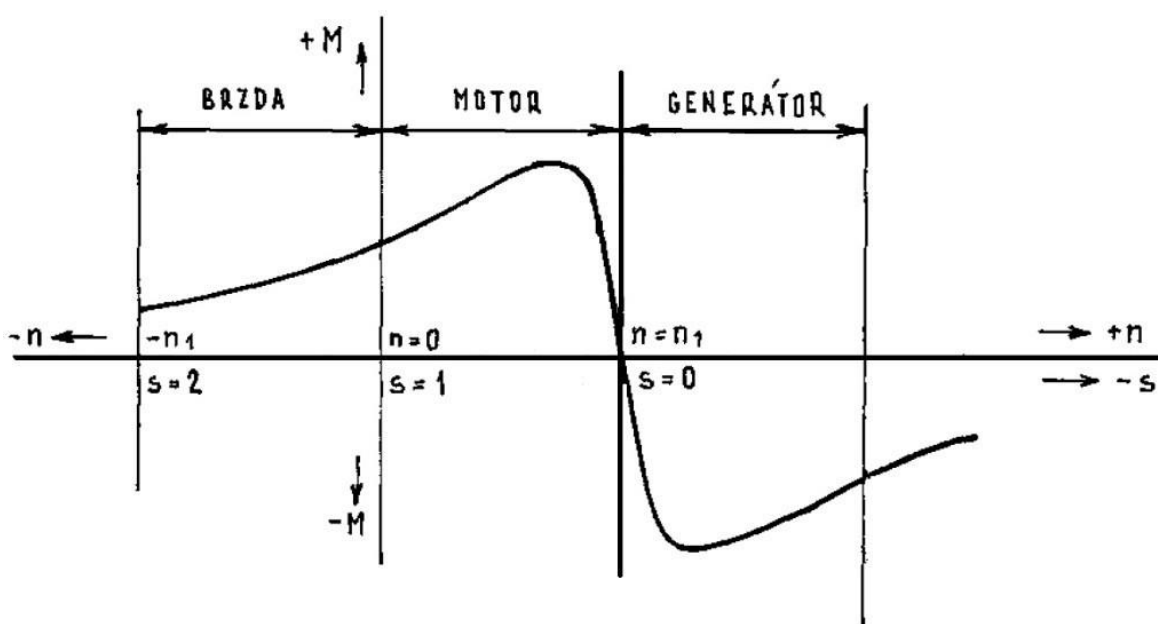
Tímto způsobem nelze plynule regulovat otáčky, protože se jedná o skokovou změnu. Ve statorovém vinutí je přidáno další vinutí, které má své pólové páry a dochází k přepínání mezi těmito vinutími. Nevýhodou je, že se nejedná o plynulou regulaci a také je zde složitější konstrukce pro statorové vinutí [3, 6].

- **Frekvenčním měničem**

Jedná se o nepříznivější způsob řízení otáček motoru. Používá se přímý či nepřímý měnič kmitočtu. Regulace otáček je plynulá a je bezetrátová. V dnešní době je to nejrozšířenější způsob, ale jedná se také o nejdražší způsob řízení otáček [3, 6].

1.1.6 Momentová charakteristika

Momentová charakteristika udává závislost na otáčkách a je možné z ní vyčíst tři režimy asynchronního motoru. Motor může pracovat v generátorovém chodu, a to pokud máme otáčky rotoru větší, než jsou otáčky magnetického pole statoru. Toho lze dosáhnout, když připojíme hřídel rotoru například na turbínu. Další je motorový režim, kdy jsou otáčky menší než otáčky pole statoru. Využívá se hlavně lineární část křivky, na které se nachází pracovní bod motoru. Dojde-li k tomu, že je rotor nucen se otáčet proti statorovému poli, chová se jako brzda [2, 3].



Obrázek 3: Momentová charakteristika [2]

1.1.7 Výhody a použití asynchronního motoru

Hlavní výhodou asynchronních strojů je jejich jednoduchá konstrukce, nízká cena a není zde zapotřebí časté údržby. Asynchronní motor není příliš vhodné používat v aplikacích, které kladou důraz na přesné polohování. Lze ho použít u jednoduchých manipulátorů, kde není kladen velký důraz na přesnou polohu, ale konstrukce je poté dovybavena koncovými

snímači, které slouží pro ovládání elektromagnetické brzdy. Proto se spíše vyskytuje jako pohon například u čerpadel, ventilátorů či výtahu [6, 7].

1.2 Synchronní stroj

Synchronní stroj se od asynchronního stroje liší hlavně v tom, že jeho otáčky rotoru jsou synchronní. Dojde-li k tomu, že jsou otáčky rotoru jiné, dochází k výpadu ze synchronizmu a stroj se zastaví. Tento stroj lze opět provozovat v motorovém nebo generátorovém režimu, ale to se v oblasti robotiky nevyužívá [7].

1.2.1 Konstrukce synchronního motoru

Stroj se opět skládá ze statoru a rotoru. Stator se oproti asynchronnímu stroji v ničem neliší, opět se skládá ze statorových plechů, ve kterých jsou vyfrézované drážky a v nich je uložené statorové vinutí. Rotor má opět několik druhů provedení. Může se jednat o hladký rotor nebo rotory s vyniklými póly. Synchronní stroje se nejvíce využívají v elektrárnách jako generátory, ale větší zastoupení má synchronní stroj s hladkým rotorem.

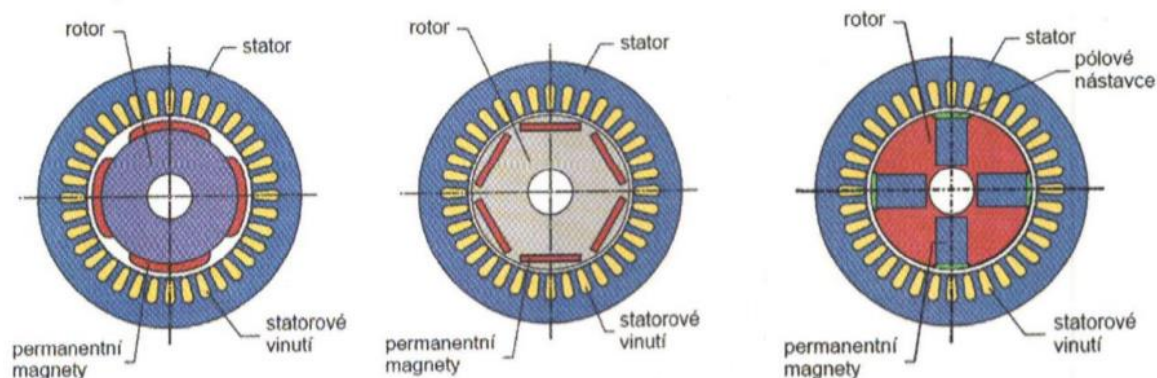


Obrázek 4: Synchronní stroj s hladkým rotorem [8]



Obrázek 5: Synchronní stroj s vyniklými póly [8]

V oblasti robotiky se spíše používá rotor s permanentními magnety. Tyto magnety reprezentují budící vinutí, které je potřeba k rozběhu motoru. Používají se magnety z materiálu NdFeB nebo se používají magnety z materiálu Sm-Co, které jsou ale mnohonásobně dražší. Jejich hlavní výhodou je, že mají vyšší pracovní teplotu než magnety z materiálu NdFeB. Umístění magnetů může být různé, celkem jsou tři základní možnosti. První možností je, že jsou magnety umístěné na povrchu rotoru, druhou možností je, že jsou magnety uloženy pod povrchem rotoru a poslední možností je, že se magnety uloží do drážek, které jsou vyfrézované v rotoru. Díky vlastnostem magnetů, které vytvářejí silné magnetické pole, jsou rozměry těchto motorů menší než motory s klasickým rotorem při stejném výkonu [7, 9].



Obrázek 6: Konstrukce synchronního motoru s magnety na povrchu, pod povrchem a vestavěnými magnety v rotoru [7]

1.2.2 Princip a rozběh synchronního motoru

Na statorové vinutí se přivede třífázové napětí, které opět jako u asynchronního motoru vytvoří točivé magnetické pole. Toto pole se opět točí synchronními otáčkami a působí na

rotor, který se ovšem nemůže rozběhnout na tyto otáčky kvůli své vlastní setrvačnosti. Proto je potřeba buď rotor mechanicky roztočit co nejbližší k synchronním otáčkám, kdy je poté rotor vtažen synchronními otáčkami magnetického pole a dojde k otáčení rotoru již shodného s otáčkami točivého magnetického pole statoru, nebo se používá měnič kmitočtu, který reguluje hodnotu napájecího napětí od nuly až na hodnotu, kterou udává regulátor rychlosti, nebo může být použit i regulátor polohy. Princip otáčení rotoru spočívá poté v tom, že statorové vinutí reprezentuje magnetické póly, které se mění rychlostí otáčení magnetického pole. K těmto pólům jsou poté přitahovány či odpuzovány magnetické póly rotoru, které tvoří permanentní magnety [7].

1.2.3 Výhody a použití synchronního motoru

Jak již bylo řečeno, velkou výhodou je menší konstrukce motoru za cenu zachování stejného výkonu. Náhradou budícího vinutí permanentními magnety dochází ke zmenšení rotoru, sníží se jeho hmotnost, takže poklesne i moment při rozběhu motoru. Nemusí se zde zřizovat přívod pro budící vinutí uložené v rotoru. Motor má i větší účinnost, protože zanikají Joulovy ztráty, které by vznikaly v budícím vinutí. Nevýhodou je ovšem cena, protože permanentní magnety jsou dražší než měděné vinutí. Další nevýhodou je, že permanentní magnety jsou závislé na teplotě, a proto je potřeba zajistit v určitých aplikacích, které mají vyšší provozní teploty, kvalitní chlazení. Synchronní motory se dnes používají již více, a to kvůli frekvenčním měničům. Lze je zpozorovat u trakčního pohonu nebo například u rotačních os používaných v CNC strojích [9].

1.3 Stejnosměrný stroj

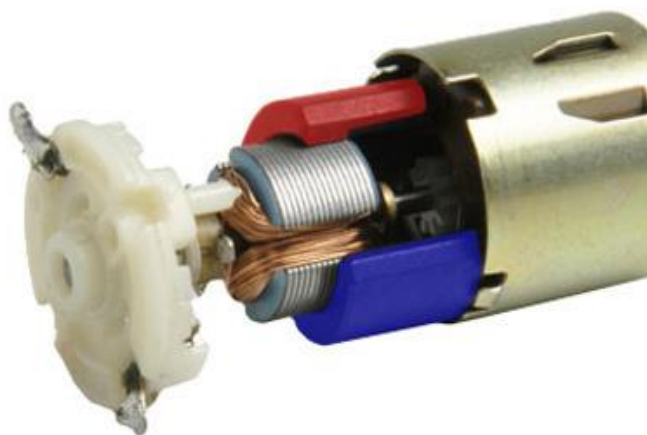
Jedná se opět o velmi rozšířený stroj. Můžeme ho nalézt ve velkých trakčních vozidlech, ale i v malých RC hračkách. Zásadní rozdíl oproti zmíněným strojům je v napájení, a to, jak již název napovídá, je stejnosměrné. Je více druhů stejnosměrných strojů, záleží na jejich budicím vinutí. Existují stejnosměrné stroje s paralelním, sériovým či kompaundním buzením, ale v našem případě se budeme věnovat stejnosměrným motorům s cizím buzením.

1.3.1 Konstrukce kartáčového stejnosměrného motoru

Motor obsahuje opět stator a rotor. Stator je tvořen buď budicím vinutím, které je uloženo v drážkách elektrotechnických plechů, nebo je tvořen permanentními magnety. U rotoru existují dvě možná provedení, a to s kotvou se železem či s kotvou bez železa [7].

- *Kotva se železem*

Kotva je složena z elektrotechnických plechů, ve kterých jsou opět vyfrézované drážky pro uložení elektrického vinutí, jež má začátek i konec vinutí na měděných lamelách, které poté tvoří komutátor. Na komutátor doléhají uhlíkové kartáče, ke kterým je přidělaný přívod napájení. Nevýhodou u tohoto provedení je, že při vysokých otáčkách nastávají ztráty v železe, a díky hmotnosti železného rotoru je i vyšší moment setrvačnosti. Proto je potřeba tyto vlastnosti brát v úvahu pro použití v dané aplikaci [7].



Obrázek 7: Motor s kotvou se železem [10]

- **Kotva bez železa**

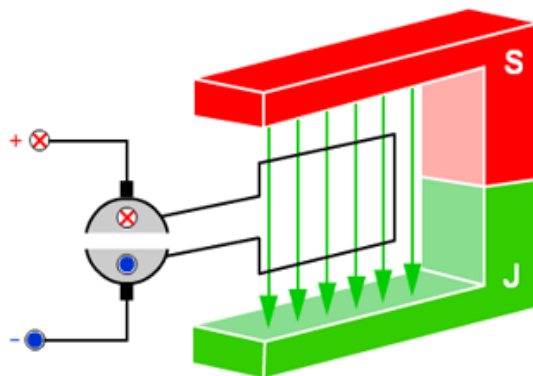
Toto provedení je o něco modernější. Rotor se zde skládá pouze ze samotného vinutí, jež je opět přivedené na lamely komutátoru. Vinutí rotoru vypadá ve skutečnosti jako dutý válec, do jehož dutiny je poté vložen permanentní magnet, který reprezentuje vnitřní stator a vnějšek vinutí obklopuje další permanentní magnet, jenž reprezentuje vnější stator. U tohoto typu nedochází ke ztrátám v železe a dosahuje i vyšší účinnosti [7].



Obrázek 8: Motor s kotvou bez železa [11]

1.3.2 Princip kartáčového stejnosměrného motoru

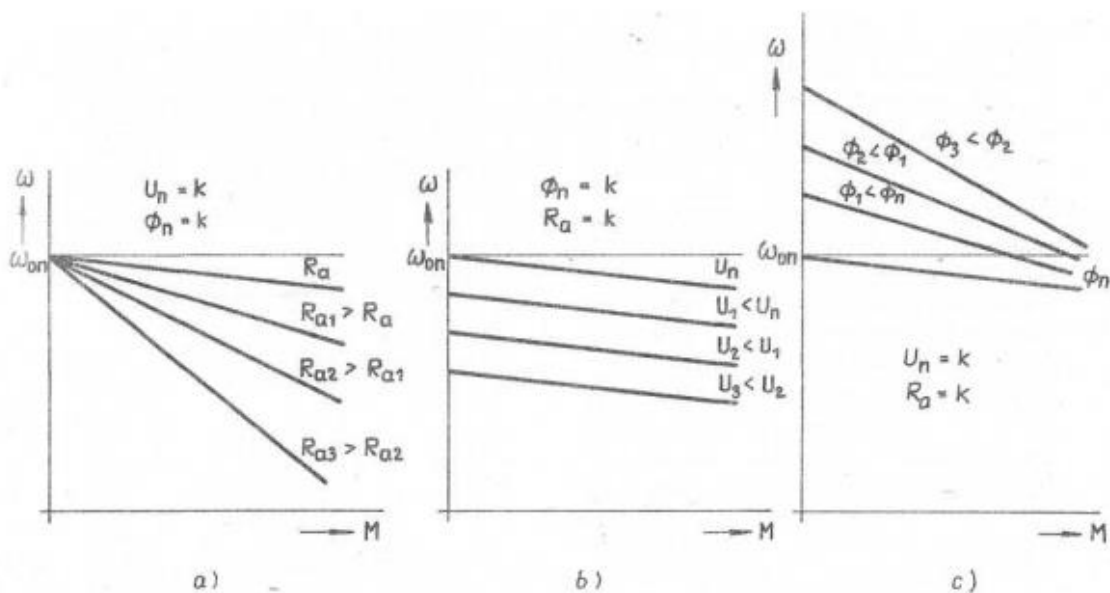
Přivede-li se proud na kartáče, začne proud protékat cívkou a vytvoří vlastní magnetické pole. Magnetické pole cívky nebo permanentních magnetů na sebe budou působit a jejich účinky uvedou kotvu do pohybu. Kotva se otáčí až do polohy, kdy je v zákrytu s magnetickými póly. Tato poloha se nazývá neutrální. Díky vlastní setrvačnosti kotvy dojde k natočení a komutátor opět přivede do cívky proud, ale v opačném směru než v přechodném stavu. Vznikne znovu magnetické pole cívky a dojde k dalšímu otočení kotvy. Tento jev se následně stále opakuje. Z tohoto popisu může být patrné, že pohyb nebude rovnoměrný, a proto se dávají minimálně tři cívky na rotor. Větším počtem cívek získáme plynulejší pohyb a větší točivý moment [12].



Obrázek 9: Pohled na strukturu kartáčového motoru [12]

1.3.3 Řízení otáček kartáčového stejnosměrného motoru

Existují celkem tři možnosti řízení otáček stejnosměrného motoru, a to buď pomocí změny napájecího napětí, změnou odporu kotvy a poslední možností je změna magnetického toku. Řízení otáček pomocí změny odporu, která je uvedena na obr. 10 pod písmenem a, vyplývá z úbytku napětí, které vznikne na odporu, který připojíme do série s odporem kotvy. Jak je vidět z charakteristiky, mění se pouze její sklon a otáčky naprázdno zůstávají stejné. Tato metoda je ale samozřejmě ztrátová, poněvadž úbytek na odporu se mění v teplo. Další možností regulace otáček je změna magnetického toku, na obr. 10 pod písmenem c, který se mění změnou proudu budicí cívky. Tato změna mění jak sklon charakteristiky, tak napětí naprázdno. Pro větší magnetický tok jsou otáčky naprázdno menší, ale charakteristika má zase menší sklon. Naopak pro menší magnetický tok se zvýší otáčky naprázdno, ale sklon charakteristiky je strmější. Má-li ale stejnosměrný motor jako cizí buzení použité permanentní magnety, je magnetický tok konstantní a není možné použít toto řízení. Poslední možnost řízení je pomocí změny napájecího napětí, která je na obr. 10 pod písmenem b. Z charakteristiky vyplývá, že pro různé hodnoty napětí je sklon charakteristiky stejný a mění se pouze otáčky naprázdno [13].

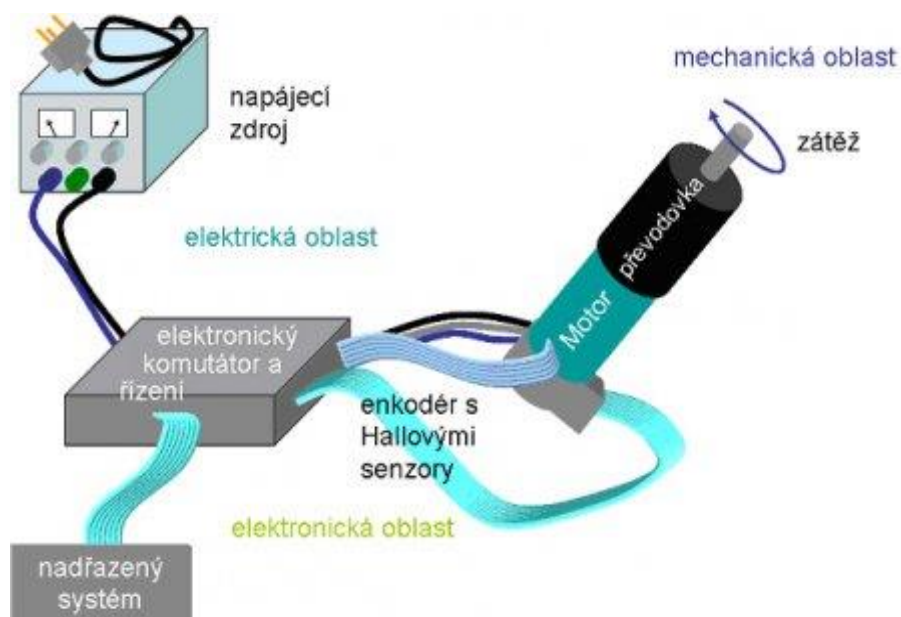


Obrázek 10: Regulace otáček a) změnou odporu, b) změnou napájecího napětí, c) změnou magnetického toku [13]

Z obr. 10 je patrné, že aby motor dosáhl většího momentu, je potřeba snížení otáček a následně zvětšení proudu kotvou. Naopak pro vysoké otáčky nelze dosáhnout vysokého momentu a kotvou teče menší proud.

1.3.4 Konstrukce motoru s elektronickou komutací

Dalším hojně využívaným typem motoru je motor s elektronickou komutací (EC). Pro tento typ je velmi rozšířený název bezkartáčový stejnosměrný motor (BLDC). Jak již název napovídá, u tohoto typu motoru se nebudou používat kartáče a komutátor, které omezovaly motory na živostnosti. Je potřeba zajistit, aby se vytvářelo točivé magnetické pole, a to se zajistí tak, že statorové vinutí je rozděleno na tři fáze, které jsou posunuté o 120 stupňů. Mechanickou komutaci, již vytvářely kartáče a komutátor, nahradíme vhodným elektronickým spínacím obvodem. Může se jednat například o měnič frekvence. Dále je potřeba zajistit, kdy má být daná fáze sepnutá. To se provádí za pomoci tří Hallových sond, které jsou rozmístěny po 120 stupních na statoru a podle jejich signálu vyhodnocujeme aktuální polohu rotoru [7].



Obrázek 11: Systém EC motoru [14]

Existují dvě možná provedení EC motoru:

- ***EC motor s homogenním vinutím***

Konstrukce tohoto motoru je podobná jako u synchronního motoru. Motor má 3 fázové satorové vinutí, které je uloženo v drážkách, a na rotoru jsou například permanentní magnety. Další možností je, že satorové vinutí nebude uloženo v drážkách, ale bude se jednat o takzvané samonosné splétané vinutí, které se umístí pod paket satoru. Je možné mít motor zapojený jak do hvězdy, tak do trojúhelníka. V praxi bývá ale více využíváno zapojení do hvězdy, které zmenší průřez vodičů vinutí a zmenší protékající proud vinutím. Dynamické vlastnosti tohoto motoru jsou ovšem o něco horší než u stejnosměrného motoru s kotvou bez železa, ale výhodou je, že nedochází ke zvlnění momentu a dosahují větší životnosti [7].

- ***EC motor s vnějším rotorem***

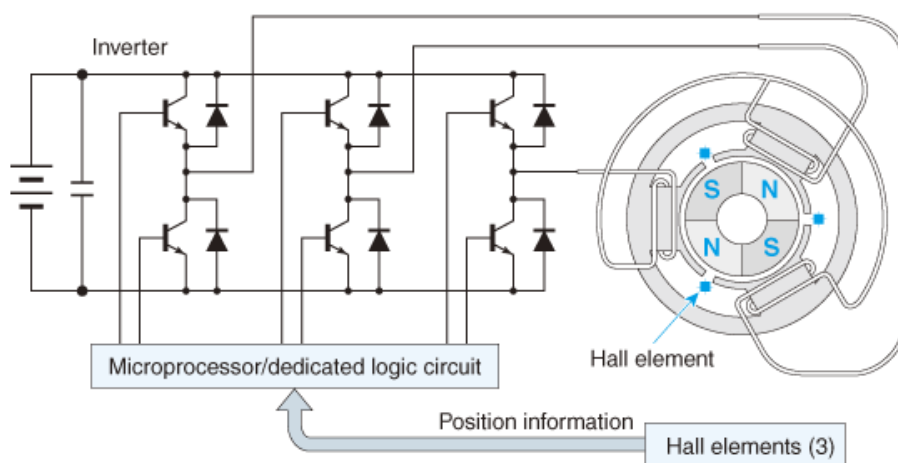
U tohoto typu motoru je konstrukce opačná než u dosavadních motorů. Rotor je zde tvořen permanentními magnety, ale není vložen do satoru, naopak rotor je nyní na vnější straně a obklopuje satorové vinutí, které je umístěno na vyniklých pólech. Obvykle bývá o dva magnety více na rotoru, než je celkový počet vyniklých pólů. Tyto motory nedosahují tak vysokých otáček jako motory s homogenním vinutím, ale dosahují vyššího momentu [7].



Obrázek 12: EC motor s vinutím na pólech [10]

1.3.5 Princip EC motoru

Hallové sondy jsou umístěny po 120 stupních a snímají polohu rotoru. Spínání tranzistoru je zhotoveno tak, aby byl proud jednotlivými fázemi posunut o 120 stupňů. Jak je vidět z obr. 13, všechny fáze jsou spojeny do uzlu, takže proud bude téci vždy přes dvě cívky. Proto v každém intervalu, který bude následovat po 60 stupních, potečou dva shodné proudy a jednou cívkou nepoteče žádný proud. Tímto je zajištěn vznik točivého magnetického pole. Následně jsou přitahovány póly rotoru k statorovým pólům, jež se ovšem stále mění a vzniká točivý moment [7].



Obrázek 13: Pohled na strukturu EC motoru [15]

1.3.6 Řízení otáček EC motoru

Jak vyplývá z principu EC motoru, tak vhodným spínáním tranzistorů vzniká točivý moment a následně otáčení rotoru. Proto se regulace otáček provádí vhodným spínáním tranzistorů [7].

1.3.7 Výhody a použití stejnosměrného motoru

Výhodou kartáčových motorů je, že se snadněji řídí. Jejich cena není příliš vysoká. Používají se hlavně v koncových bodech robotů a manipulátorů, například pro svírání či roztahování kleští. Nevýhodou je ovšem komutátor s kartáči, jelikož dochází k mechanickému opotřebování a může docházet i k jiskření [7].

EC motory mají hlavní výhodu v tom, že neobsahují komutátor s kartáči, takže nemůže docházet k žádnému jiskření a nedochází k mechanickému opotřebování, a proto mají větší živnost. Dosahují daleko vyšších otáček i točivého momentu než kartáčové stejnosměrné motory. Nevýhodou je potřeba zajistit zpětnou vazbu o poloze rotoru. Z těchto důvodů vyplývá, že provoz bývá dražší. Použití těchto motorů je možné i v náročných robotických aplikacích. Zaleží na dané aplikaci, kde bude kladen důraz na vyšší otáčky anebo na vyšší točivý moment [7].

1.4 Krokový motor

Jak je již z názvu motoru patrné, krokový motor pracuje po určitých krocích, ze kterých vznikne točivý pohyb. Krokový motor se skládá z rotoru, statoru a mechanického materiálu (ložiska, spojovací materiál a samotná konstrukce motoru) jako všechny elektrické motory.

Úhel kroku, po kterém motor pracuje, se spočítá dle následující rovnice [16]

$$\alpha = \frac{360}{m \cdot N_R} [^\circ] \quad (1.4)$$

kde: α úhel kroku

m počet fází

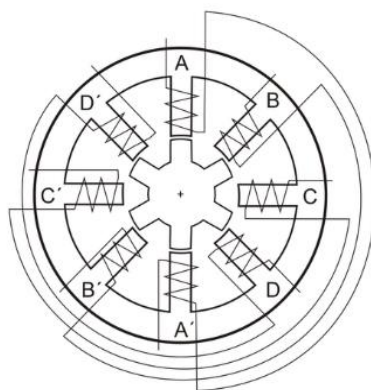
N_R počet zubů na rotoru

1.4.1 Druhy konstrukce krokových motorů

Krokové motory se vyrábějí ve třech možných provedeních:

- *S pasivním rotorem*

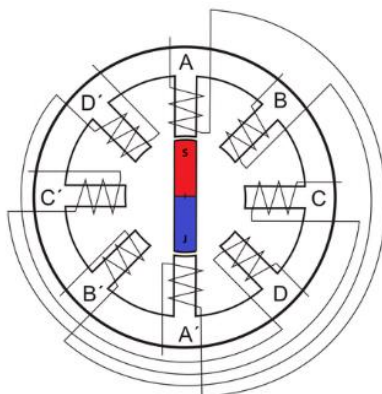
Stator má vyvedené zuby, na kterých jsou vždy navinuté cívky. Dvojice cívek vždy tvoří jednu fázi. I na rotoru jsou vyvedené zuby, na kterých ale nejsou navinuté žádné cívky, proto se tomuto rotoru říká pasivní. Materiálem rotoru bývá většinou měkké železo. Hřídel je pak ukončena v ložiskách, která jsou zabudovaná v konstrukci. Aby motor pracoval, je nutné splnit podmínku, že počet zubů statoru je odlišný od počtu zubů na rotoru. Tato konstrukce umožňuje dosáhnout vysokých otáček, ale za cenu menšího točivého momentu [16, 17].



Obrázek 14: Krokový motor s pasivním rotorem [18]

- **S aktivním rotorem**

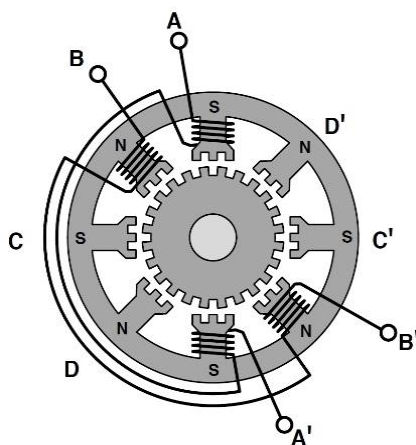
Rotor je v tomto případě velice odlišný, protože nemá vyvedené žádné zuby. Rotor je složen z permanentních magnetů a bývá rozdělen na několik pólů. Stator má opět vyvedené zuby, na kterých jsou navinuté cívky, které vytvářejí magnetické póly, jež v daný okamžik přitahují pól permanentního magnetu. U tohoto typu konstrukce lze naopak dosáhnout silného točivého momentu, ale už ne tak vysokých otáček [16, 17].



Obrázek 15: Krokový motor s aktivním rotorem [18]

- **Hybridní motory**

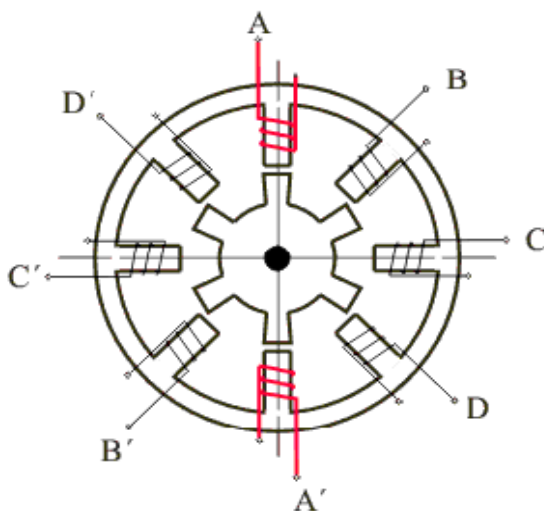
Jak je již z názvu patrné, hybridní motory jsou kombinací motorů s pasivním rotorem a s aktivním rotorem. Rotor je složen ze dvou půlek, kde každá půlka vytváří jeden magnetický pól, na kterých jsou vyfrézované drážky, které vytvářejí zuby. Uvnitř rotoru je uložený permanentní magnet. Na statorových pólových nástavcích jsou vyfrézované drážky. Využívá rychlých otáček pasivního rotoru a silného momentu aktivního rotoru [16, 17].



Obrázek 16: Hybridní krokový motor [19]

1.4.2 Princip krokového motoru

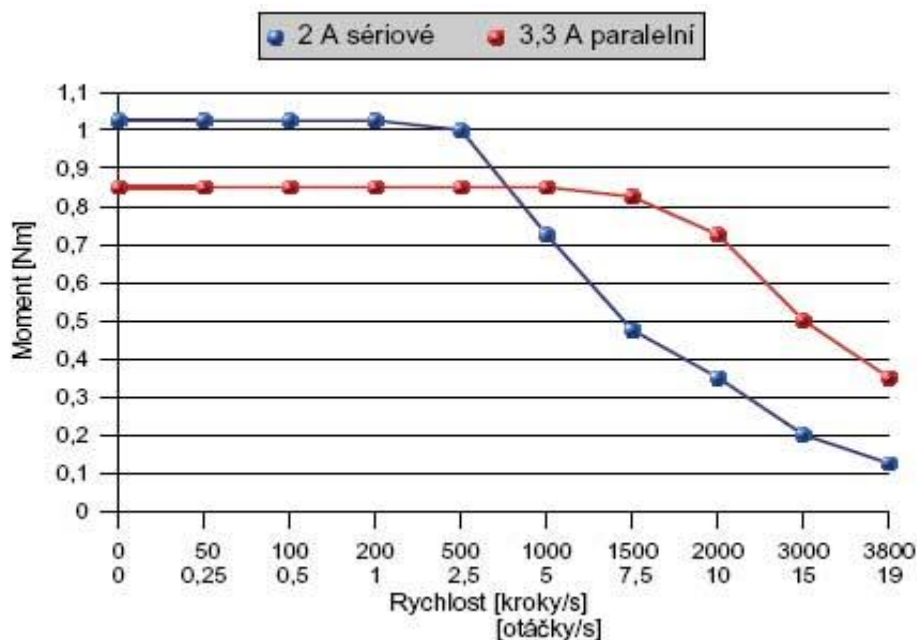
Základní princip si vysvětlíme na čtyřfázovém motoru. Z obr. 17 je patrné, že stator má 8 pólů, na kterých jsou navinuté cívky. Cívky, které tvoří dvojici, jsou vždy spojené a tak tvoří jednu fázi. Rotor má 6 zubů, které mají stejnou délku od všech pólů, takže je všude zachována stejná velikost vzduchové mezery. Buzení fází provádíme v určitých intervalech. Je-li fáze buzena, prochází dvojicí cívek stejnosměrný proud. Vybudíme-li fázi A, tak cívkami proteče stejnosměrný proud a vytvoří se magnetické pole, které zmagnetizuje pólové nástavce a dojde k natočení rotoru na póly A, A'. Poté fázi A odbudíme a vybudíme fázi B a tak začne protékat stejnosměrný proud a póly B, B' se zmagnetizují a přitáhnou zuby rotoru na pozici zmagnetovaných pólů. Stejný postup se provádí i u ostatních fází C a D. Postupným vybuzováním fází získáváme točivý pohyb [16, 17].



Obrázek 17: Znárodnění principu krokového motoru [20]

1.4.3 Statická momentová charakteristika

Jedná se o charakteristiku, která udává závislost momentu na napájecí frekvenci. Napájecí frekvence udává střední hodnotu rychlosti otáček. Obvykle se udávají dvě momentové křivky, kde jedna reprezentuje jmenovité zatížení a druhá maximální zatížení, kde při překročení maximálního momentu může nastat stav, kdy dojde ke ztrátě kroku [17].



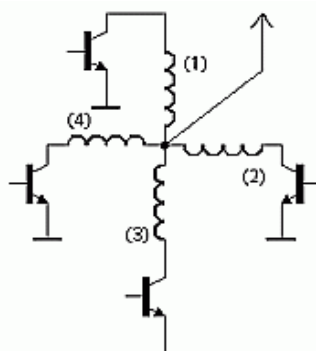
Obrázek 18: Momentová charakteristika [21]

1.4.4 Způsoby řízení

Využíváme čtyři hlavní způsoby, jak řídit krokový motor. Krokový motor můžeme řídit unipolárně, bipolárně, jednofázově, dvoufázově, plným nebo polovičním krokem.

- **Unipolární řízení**

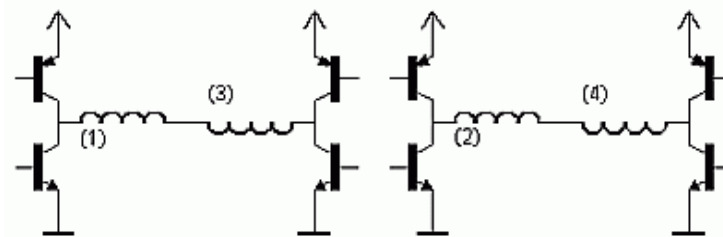
Tento způsob řízení je jednoduchý. Jeho princip spočívá v tom, že v daném okamžiku prochází proud pouze jednou cívkou. Nevýhodou tohoto způsobu řízení je, že máme menší krouticí moment. Naopak je zde menší odběr, protože proud prochází vždy pouze jednou cívkou. Další výhodou je snadná řídicí elektronika, kde stačí na každou cívku zapojit pouze jeden tranzistor [22].



Obrázek 19: Zapojení při unipolárním řízení [22]

- **Bipolární řízení**

Při tomto způsobu řízení prochází proud dvěma cívkami, které jsou zapojeny proti sobě. Při tomto řízení dostáváme daleko větší krouticí moment, ale zvýší se nám naopak spotřeba, protože proud prochází vždy dvěma cívkami. Řídící elektronika je zde složitější, jelikož pro každou dvojici cívek je potřeba H-můstek [22].



Obrázek 20: Zapojení při bipolárním řízení [22]

- **Jednofázové a dvoufázové řízení**

U jednofázového řízení se spouští proud vždy jednou cívkou. U dvoufázového řízení prochází proud vždy dvěma cívkami, které jsou vedle sebe. Tímto řízením dosahujeme většího krouticího momentu za stejného kroku jako u jednofázového řízení, bohužel máme opět větší spotřebu a složitější řízení [22].

- **Řízení s plným a polovičním krokem**

Když na jednu otáčku budeme potřebovat všechny zuby statoru, jedná se o řízení s plným krokem. Pokud bychom chtěli dosáhnout polovičního kroku, čím získáme větší přesnost, musíme střídat jednofázové a dvoufázové řízení [22].

1.4.5 Mikrokrokování

Potřebujeme-li dosáhnout ještě jemnějšího kroku, použijeme potom řízení pomocí mikrokrokování. Princip spočívá v tom, že budeme mít dvě fáze vedle sebe, v jedné fázi se budeme snažit zvyšovat budící proud a ve druhé ho naopak snižovat. Výhodou je, že máme přesnější polohování, klesne zvlnění momentu a také klesne hladina hluku kvůli menším změnám momentu [17, 23, 24].

1.4.6 Výhody a použití krokových motorů

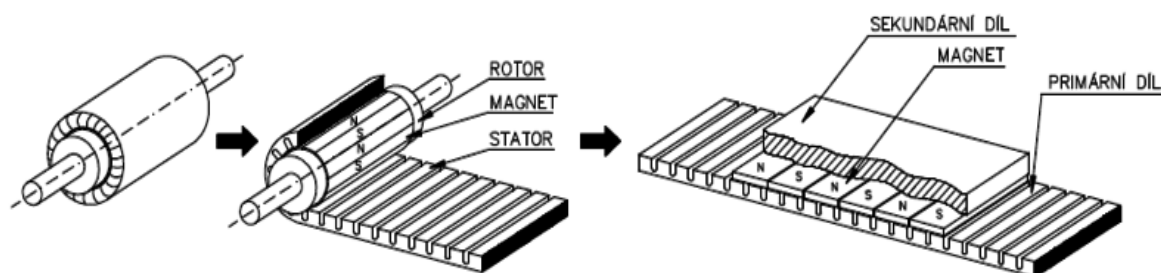
Krokové motory jsou dnes poměrně rozšířené. Používají se v mnoha oblastech, například v robotice, automobilech, CNC strojích a mnoho jiných. Využívá se jich hlavně kvůli jejich přesnosti na polohování, široké škále otáček, velikému krouticímu momentu, jsou jednodušší na obsluhu a mají delší životnost. Krokový motor se dokáže otáčet velmi pomalým a plynulým pohybem. Další výhodou je, že i při malém provedení (platí hlavně pro hybridní motory) se dá dosáhnout vysokého krouticího momentu a účinnosti. U krokového motoru lze jednoduše dosahovat obousměrného provozu. Jejich nevýhodou je, že při přetížení motoru dochází ke ztrátě kroku. Může dojít i ke vzniku vlastní rezonance. Ta nastane, když je nastavena malá krokovací frekvence. Dojde-li k tomu, že krokovací frekvence je rovna s frekvencí oscilací rotoru, tak se oscilace rotoru může zvyšovat do doby, až nastane zánik synchronizace. Další nevýhodou je jejich cena. Kvalitní krokový motor je stále dražší než stejnosměrný motor [17, 19, 23].

1.5 Lineární motory

V dnešní době v oblasti robotiky mají zastoupení i lineární motory. Oproti ostatním motorům se odlišují ve svém pohybu, který je přímočarý. Přímočarý pohyb lze získat dvěma způsoby. Prvním způsobem je nepřímý lineární pohyb, kde je využit klasický rotační motor, který je spojen kuličkovou maticí přes kuličkový šroub. Druhým způsobem je přímý lineární pohyb, kde máme tradiční rotační motor rozložený do roviny, kde je buď rotor připevněn ke konstrukci, nebo je stator přidělán k pohyblivé části [25].

1.5.1 Konstrukce lineárního motoru

Lineární motor je tvořen ze dvou částí, a to ze statoru, kterému se říká primární část, a rotoru, kterému se říká sekundární část. Oproti rotačním motorům se liší tím, že stator a rotor je zde rozvinutý do roviny. Primární část je stejná jako stator, je složená z plechů, ve kterých máme vyfrézované drážky a v nich uložené vinutí, které bývá poté zalito umělou hmotou. Sekundární část je konstrukčně odlišná pro daný typ motoru. Pro synchronní motor bývá sekundární část tvořena z permanentních magnetů (ze vzácných zemin např. NdFeB), které jsou poté připevněny na nosnou desku nebo je uloženy budící vinutí ve vyfrézovaných drážkách na nosné desce. Podle konstrukčního provedení se rozhoduje, zda se pohybuje primární či sekundární část. Většinou se ale používají motory s konstrukcí, kde se pohybuje primární část po určitém počtu sekundárních částí. Zde je ale nutno zajistit kvalitní pohyblivý kabel, kterému nebude škodit nepřetržitý pohyb a pohyblivý přívod vody, pokud je motor chlazený vodou. Dalším možným příslušenstvím u lineárních motorů může být pohybové čidlo. To je tvořeno čtecí hlavou a nosným páskem, na kterém jsou vypálené drážky, které udávají informaci o poloze motoru, s kterou následně pracuje číslicový regulátor. Tento regulátor obsahuje tři zpětné vazby, a to proudovou, rychlostní a polohovou [25, 26, 27].



Obrázek 21: Konstrukce lineárního motoru [27]

1.5.2 Druhy lineárních motorů

- ***Synchronní lineární motor***

U toho typu stroje máme jako primární část trojfázové vinutí uložené v drážkách a jako sekundární část používáme ocelovou destičku, na které jsou přidělané permanentní magnety ze vzácných zemin. Je potřeba zajistit, aby byl povrch sekundární části vyhlazený. Délka sekundární části není pevně stanovena, záleží totiž na dané aplikaci, kde se bude motor využívat. Motory bývají dovybaveny i vodním chladičem. U tohoto motoru je ale obtížné zajistit přívod k napájení, chladiči a snímači. Přívod musí být dostatečně flexibilní, aby jeho namáháním nedošlo k poškození. Tyto motory mají sílu přibližně od 50 N do 16 kN. Rychlost posuvu může být od 0,01mm/s až do 15m/s. Dnes se tyto motory stále zdokonalují, protože vzniká velká přitažlivá síla mezi primární částí a sekundární částí. Hlavní změnou je, že se vinutí neukládá do feromagnetika, ale je obalené laminovanou ocelí a vloženo do epoxidu pryskyřice. Sekundární část je poté ve tvaru U se dvěma magnety desek proti sobě. Primární část se pohybuje mezi deskami, ale z důvodu obklopení desek je o něco horší odvod tepla a musí se případně zajistit dostatečné chlazení, aby nedocházelo k přehřívání [28]. Hmotnost motoru je následně nižší a síla působící mezi primární a sekundární částí je téměř nulová. Výsledná síla motoru je ale nižší [25, 27, 29].

- ***Asynchronní lineární motor***

Tento motor je oproti synchronnímu jednodušší i levnější. Je to způsobeno hlavně díky jednoduchosti sekundární části. Tvoří ji klec nakrátko, kterou tvoří buď vinutí v drážkách, anebo se připevňuje měděný pás na ocelovou destičku. Primární část se nemění, opět máme vinutí uložené v drážkách statorových plechů, které většinou bývá zapojené do hvězdy. Hlavní výhodou je, že se nemusí používat žádný měnič kmitočtu, ale lze napájet motor přímo ze sítě 3x400 V s frekvencí 50 Hz. Rychlost je závislá na skluzu a síla je závislá na počtu pólů. Jejich síla se pohybuje od 300 až do 1200 N [25, 27, 29].

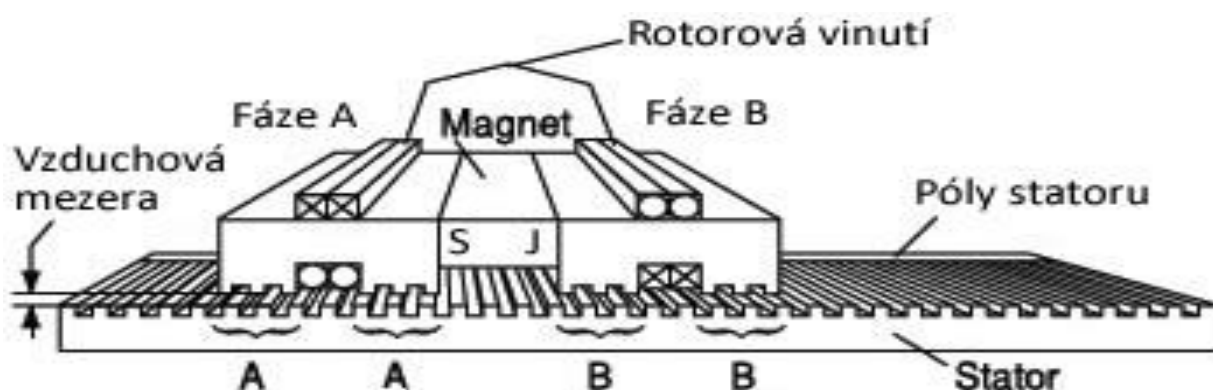
- ***Tubulární lineární motor***

U tohoto motoru je primární část stejná jako u rotačních motorů. Má tvar válce, ve kterém je uloženo vinutí, a na venek má vytvořené žebrovaní, které se musí dostatečně chladit vodou. Primární část je v tomto případě pevná a nepohybuje se. Sekundární část je pohyblivá a tvořena pístem, který se skládá z permanentních magnetů. Používá se hlavně u

vrtacích zařízení, kde má na sobě motor připevněné vysokootáčkové ústrojí. Jejich síla je od 300 až 1200 N a zdvih mají v rozmezí 25 až 265 mm [25, 27].

- **Krokový lineární motor**

V tomto případě využíváme stejného principu jako u klasického rotačního krokového motoru. Stator máme zde rozložený do přímky, která obsahuje zuby, nad kterou se nám pohybuje jezdec. Jezdec neleží přímo na statoru, ale na vzduchovém polštáři. Slouží pro polohování lehčích těles. Jejich síla bývá do 50 N [25].



Obrázek 22: Konstrukce lineárního krokového motoru [30]

1.5.3 Výhody a použití lineárních motorů

Lineární motory se využívají hlavně tam, kde je potřebný přímočarý pohyb. V dnešní době mají časté zastoupení v CNC strojích. Jejich výhodou je rychlost posuvu, dobrá dynamika, poměrně přesné polohování (bývá kolem $1\mu\text{m}$), větší škála regulace a přesnost při opakování polohy. Nevýhodou těchto motorů je jejich vyšší pořizovací cena. Další nevýhodou je, jak již bylo zmíněno, zajištění kvalitního pohyblivého přívodu energie, popřípadě přívodu vody [27, 29].

2 Konstruování robotického vozítka

Součástí této bakalářské práce je také vytvoření robota, kterého by bylo možné využívat i pro praktické účely. Byla zvolena univerzální konstrukce, aby na ni bylo možné do budoucna přidělat příslušenství pro různé aplikace. Mohlo by se jednat o měřicí přístroje pro zaznamenávání hodnot v místech, která by mohla být člověku nebezpečná, nebo by se na ni mohla přidělat například robotická ruka pro dálkovou manipulaci.

Robot díky své univerzálnosti může pracovat ve dvou režimech: manuální, kdy si bude moci obsluha dojet s vozítkem na určité místo, a automatický, aby se vozítko umělo pohybovat bezproblémově v prostoru a nedošlo ke kontaktu s objektem nacházejícím se v jeho oblasti. Pro řízení se bude využívat mobilní telefon s aplikací, přes kterou se bude volit dané řízení. V následujících kapitolách jsou popsány komponenty použité při stavbě robota.

2.1 Konstrukce robota

Jak již bylo řečeno, hlavním účelem bylo vytvoření univerzální konstrukce. Proto jsem jako pohon zvolil pásy, které najdou uplatnění jak na hladkém povrchu, tak v terénu. Dále bylo zapotřebí vyřešit odpružení konstrukce. K tomu byla použita tažná péra, která jsou připevněna na bocích konstrukce a jejich konec je připevněný na ramena, na kterých jsou přidělaná oběžná kola, která dosedají na pás. Pásy mají kolem svého obvodu na krajích otvory, do kterých dosedají zuby z ozubených kol, která jsou poháněna motory. Kvůli zmenšení rozměrů a lepšímu rozložení váhy, jsou umístěny motory tak, že jeden se nachází v přední části robota a je připevněný k pravé desce robota, a druhý motor se nachází v zadní části robota a je připevněný k levé části robota.

Velmi důležitá byla volba materiálu nosné konstrukce. První prototyp byl vypálený ze železa pomocí laseru. Tato konstrukce byla ovšem velice těžká. Samotné konstrukční celky vážily téměř 4 kg. Z toho důvodu jsem nechal vyrobit konstrukci z hliníku, kde konstrukční celky vážily necelé 2 kg. Další výhodou je, že není zapotřebí klást důraz na povrchovou ochranu.



Obrázek 23: Konstrukce robota

2.2 Motory

Bylo potřeba zvolit pohon, který bude uvádět robota do pohybu. Z výše vypsanych motorů jsem se rozhodoval mezi stejnosměrným, krokovým a EC motorem. Lineární pohon nepřipadal v úvahu z důvodu, že potřebujeme rotační pohyb a lineární motor umožňuje pouze přímočarý pohyb. Asynchronní a synchronní motor nebyl vhodný pro použití kvůli svému napájení. Robot by se musel napájet střídavým napětím a za robotem by se musel vláčet napájecí kabel. EC motor nebyl zvolen kvůli složitějšímu řízení a napájení obvodu, ačkoliv typ toho motoru dosahuje vysokých otáček a momentu. Další možností bylo použít krokový motor, kterým lze opět dosáhnout vysokých otáček a i vysokého krouticího momentu. Řízení u tohoto motoru není příliš složité, ale bylo by zapotřebí využít na jeden motor jeden driver a ten ovládat 4 piny z Arduina (kap. 2.4). Z tohoto důvodu jsem tento motor nezvolil, protože, jak bude ještě zmíněno, Arduino obsahuje pouze 14 digitálních vstupů/výstupů a nezbyly by už potřebné piny pro další vybavení robota. Procesem eliminace byl nakonec jako nejvhodnější varianta zvolen stejnosměrný motor. Tímto motorem lze dosáhnout vysokých otáček a poměrně i vysokého momentu. Řízení je realizováno změnou napájecího napětí k čemuž jsou využity 2 piny z Arduina.

Tabulka 1 Vlastnosti použitého motoru

Název motoru: ZGB37RG								
Napájecí napětí	Otáčky motoru (Rpm)	Převod převodky	Délka převodovky (mm)	Otáčky naprázdno (Rpm)	Proud naprázdno (A)	Jmenovitý proud (A)	Jmenovité otáčky (Rpm)	Jmenovitý moment (Kg·cm)
12V	5000	48	24,5	104	0,4	1,32	73	4,2



Obrázek 24: Stejnoseměrný motor zvolený pro robota (varianta pro 24V) [31]

2.3 Baterie

Jako zdroj elektrické energie jsem pro robota zvolil Li-Pol baterii. Tyto baterie dosahují výborných vlastností. Jejich rozměry jsou malé, ale záleží na počtu článků, z kterých se baterie skládá. Jelikož dosahují malých rozměrů, tak i jejich váha je velice nízká. Dosahují také vysokých kapacit. Mají velmi malé samovybití, které bývá 1% za měsíc.

Jak již bylo zmíněno, baterie se mohou skládat z několika počtu článků. Jeden článek může obsahovat libovolnou kapacitu (záleží na výrobci), ale jeho jmenovité napětí je 3,7 V. Pro dosažení baterie o vyšším napětí potřebujeme baterii, která je složena z více článků. Tyto baterie se chovají jako velmi tvrdý zdroj. U těchto baterií nedochází k paměťovému efektu (lze je nabíjet v jakémkoliv stavu a nabíjení kdykoliv přerušit). Důležitou věcí je hlídat na jaké napětí se jednotlivé články vybijí. Nesmí dojít k úplnému vybití (nesmí klesnout pod hodnotu 2,8 V), protože poté dochází ke zničení baterie. Další důležitou věcí je hlídat, aby nedošlo k mechanickému poškození baterie, protože články jsou tvořeny

pouze z hliníkové fólie. Nevýhodou je také i nabíjení baterie. Nejlepší způsob je použít inteligentní nabíječku, která dokáže danou baterii nabíjet jejím požadovaným proudem. Inteligentní nabíječka obsahuje i balancér, který hlídá stav článku při nabíjení, aby nedošlo k jeho přebití. Poslední nevýhodou je závislost baterií na teplotě, protože při mrazech dochází k zmenšení účinnosti baterie a tím pádem k zhoršení jejich vlastností [32, 33].

Jako zdroj energie je použita baterie od firmy ZIPPY FLIGHTMAX. Jelikož napájecí napětí motorů je 12 V, bylo nutné použít tří-člávkovou baterii, abychom dostali napětí 11,1 V. Kapacita baterie je 2200 mAh a její váha je 185 g.



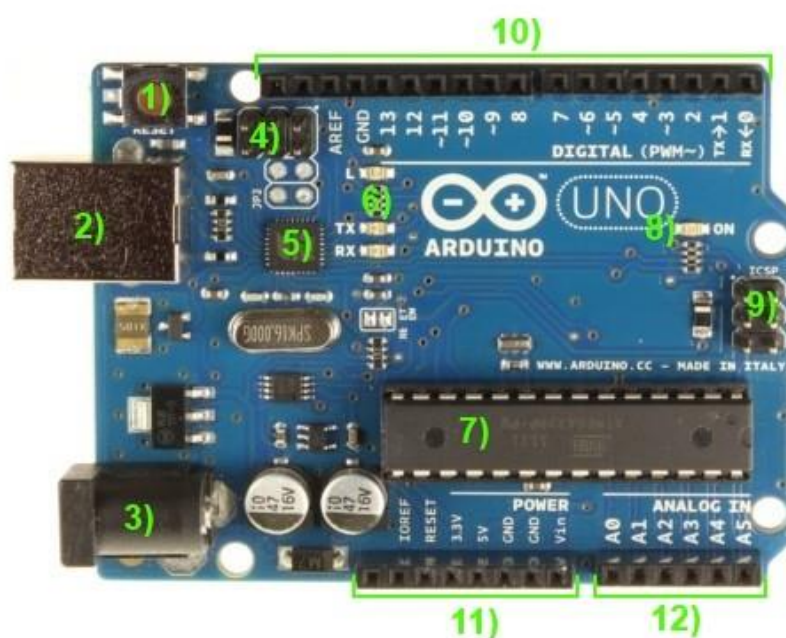
Obrázek 25: Li-Pol baterie zvolená pro robota

2.4 Arduino

Jako řídicí obvod, který se bude starat o funkci celého robota, jsem zvolil programovací desku od firmy Arduino. Arduino vyrábí mnoho programovacích desek, které se odlišují jak svými rozměry, tak i svým výkonem. Mezi nejmenší programovací desku od Arduina patří například Arduino Mini a mezi nejvýkonovější Arduino Intel Galileo. Všechny tyto desky je možné programovat pomocí jazyka C nebo C++, ale nejčastěji se se využívá knihovna Wiring, která obsahuje velké množství knihoven a celkové programování je poté snazší [34].

V tomto případě byla zvolena programovací deska Arduino Uno R3, která bývá často volena jako zlatá střední cesta z důvodu rozměrů a výkonu. Jedná se o programovací desku

osazenou procesorem ATmega238 (obr. 26 číslo 7). Tento procesor je vybavený pamětí o velikosti 32 kB. Deska obsahuje USB – serial převodník (obr. 26 číslo 5), proto je možné desku programovat pomocí USB kabelu, který je následně zaveden do PC. Deska dále obsahuje USB konektor (obr. 26 číslo 2), napájecí konektor (obr. 26 číslo 3), který slouží k externímu napájení, a na který je možné přiložit až 20 V (ale doporučené napětí je 7-12 V). K restartování programu lze použít restartovací tlačítko (obr. 26 číslo 1). Dále je deska osazena diodami (obr. 26 čísla 6 a 8), které signalizují zapnutí Arduina a komunikaci po sériové lince. Další velice důležité jsou vstupy a výstupy. Digitální vstupy/výstupy slouží pro komunikaci s periferiemi (obr. 26 číslo 10). Některé tyto piny jsou označeny vlnovkou, které slouží následně pro řízení pomocí PWM modulací. Arduino Uno R3 má celkem 14 těchto pinů a z toho jich je 6, které umožňují PWM modulaci. Dalších 6 pinů, které obsahuje deska, jsou analogové vstupy (obr. 26 číslo 12). Tyto vstupy slouží pro čtení analogových hodnot (například hodnota odporu na potenciometru). Poslední výstupy, které deska obsahuje, slouží převážně pro napájení dalších obvodů či snímačů (obr. 26 číslo 11). K Arduinu Uno R3 existuje dnes mnoho další rozšiřovacích desek, které následně umožňují komunikaci pomocí internetu, k řízení motorů nebo pro ukládání hodnot na SD kartu [35].



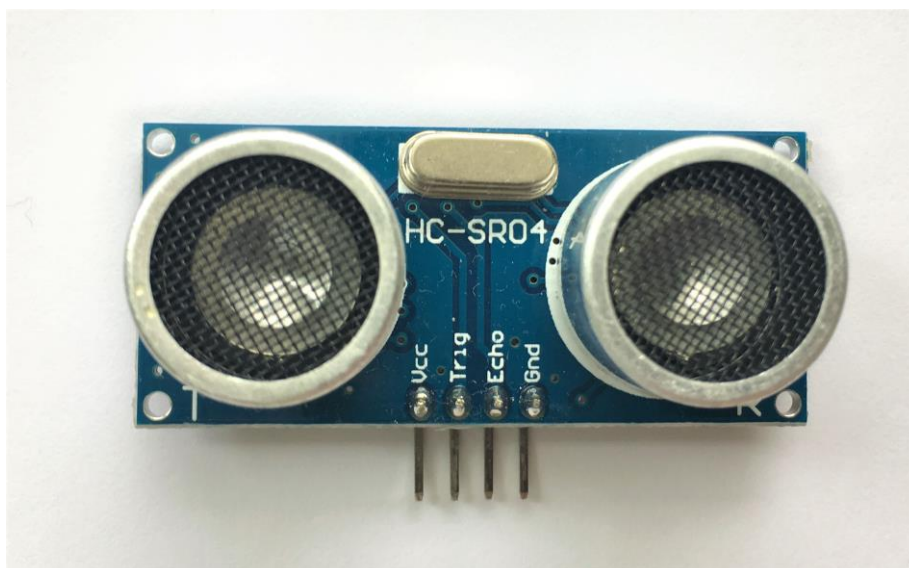
Obrázek 26: Arduino Uno R3 [35]

2.5 Ultrazvuková čidla

Jako ultrazvukové čidlo jsem si zvolil HC-SR04, které je schopné komunikovat s Arduinem po sériové lince. Jedná se o senzor, který je cenově dostupný a je schopný měřit vzdálenost od 2 cm až do 400 cm. Celkem jsou použity tři senzory, aby bylo možné měřit vzdálenost po obou bocích robota a vzdálenost, která se nachází před ním. Ultrazvukový senzor obsahuje ultrazvukový vysílač a ultrazvukový přijímač. Dále je ultrazvuk doplněn o integrované obvody, které zajišťují jeho správný provoz. Senzor obsahuje celkem 4 piny, kde dva reprezentují napájení a zem, Trig slouží pro spínání ultrazvukového vysílače a Echo slouží pro čtení z ultrazvukového přijímače [36].

Princip ultrazvukového senzoru spočívá v tom, že pomocí Arduina sepneme Trig po dobu 5 mikrosekund a následně ho vypneme. Během této doby se vyšle vysokofrekvenční vlna, která putuje prostorem, až dojde k jejímu odražení a následně putuje zpátky k ultrazvukovému přijímači. Pomocí pinu Echo a funkce pulseIn zjistíme délku impulzu. Abychom dostali délku v centimetrech, je potřeba délku impulzu vydělit konstantou, která je definována pro rychlost zvuku v $\text{cm}/\mu\text{s}$ při 20 °C. Ta musí být ještě vydělena dvěma, aby se jednalo o vzdálenost od předmětu k přijímači. Proto je zapotřebí vždy změřit pracovní podmínky, ve kterých bude senzor pracovat a přepočítat na tyto podmínky konstantu.

Podstatným parametrem je také pracovní úhel, s kterým je ultrazvukový senzor schopen měřit. U tohoto senzoru je pracovní úhel přibližně 15 stupňů [36].

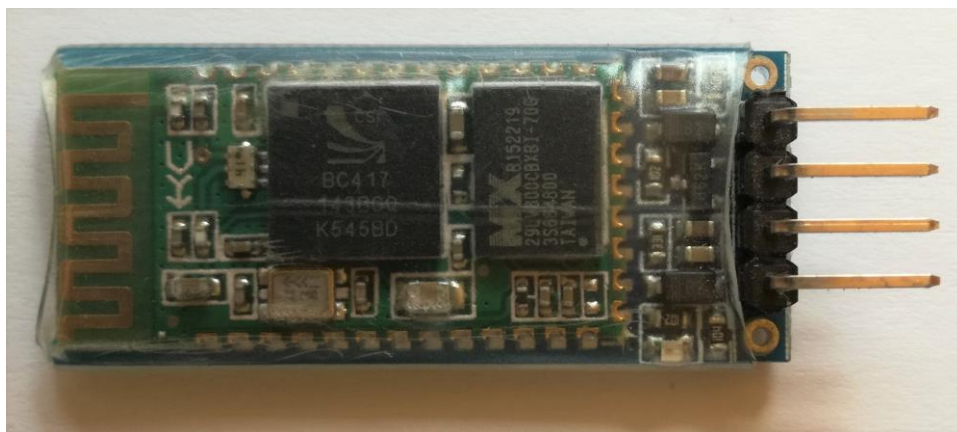


Obrázek 27: Ultrazvukové čidlo HC-SR04

2.6 Bluetooth

Aby bylo možné ovládat robota, bylo potřeba zvolit zařízení, které bude moci komunikovat s Arduinem. Z tohoto důvodu byla využita technologie bluetooth, díky které je možné komunikovat bezdrátově po sériové lince. Použitý modul HC-06 obsahuje 4 piny: VCC, GND, TXD a RXD. Piny VCC a GND slouží pro napájení modulu.

Tento modul pracuje s napětím 3,3V, ale díky dalšímu integrovanému vybavení je možné napájet modul přímo z Arduina 5V. Pin TXD slouží k vysílání dat a pin RXD ke čtení. Tento modul pracuje pouze v režimu SLAVE a to znamená, že Arduino je nadřazené nad tímto modulem. Komunikace je možná až do vzdálenosti 10 m [37].

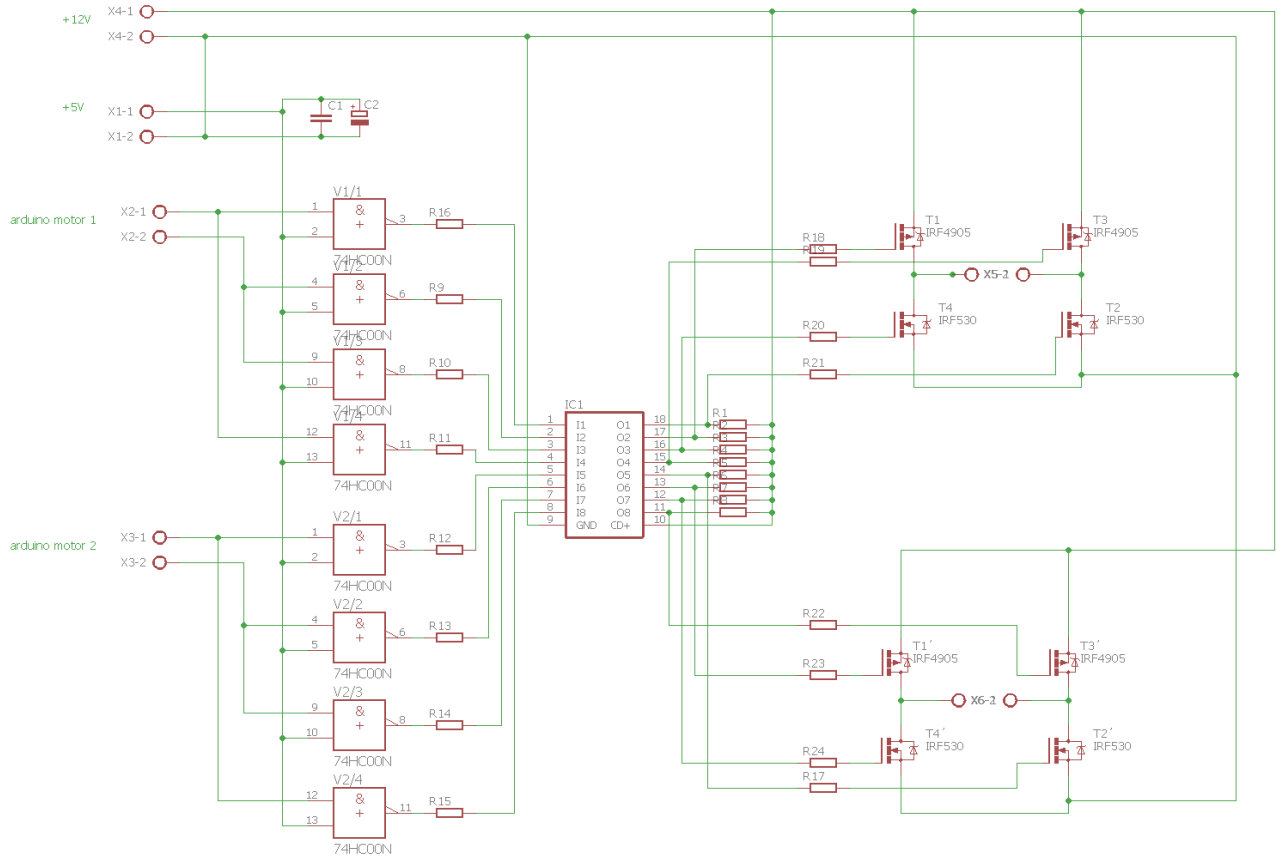


Obrázek 28: Bluetooth modul HC-06

2.7 Ovládací deska

K řízení motorů bylo původně plánováno použít motor shield L298P od Arduina, který umožňuje ovládat motory pomocí PWM modulace. Laboratorní měření však zjistilo, že motor odebírá rozběhový proud 2,5 A, který je větší než proud, s kterým může pracovat motor shield (2A). Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vyrobit vlastní řídicí desku, která bude sloužit pouze pro spínání motorů pomocí čtyř výstupů z Arduina. Deska obsahuje celkem osm unipolárních tranzistorů (MOSFET), které slouží k spínání motorů. Každý motor ovládá skupina čtyř tranzistorů, které tvoří unipolární tranzistory typu P a typu N. Na vstupy unipolárních tranzistorů vedou výstupy z tranzistorového pole, které slouží k zesílení napětí, aby došlo k plnému otevření unipolárních tranzistorů. Na vstup tranzistorového pole vedou výstupy z logického pole (74HC00), které udávají správnou

kombinaci pro spouštění motorů. Na vstup logického pole vedou vždy pro jeden motor dva výstupy z Arduina, které slouží pro ovládání motorů. K napájení logického obvodu jsou ještě připojeny dva kondenzátory, kde je jeden elektrolytický a druhý keramický. Tyto kondenzátory slouží k stabilizaci napájecího napětí.



Obrázek 29: Schéma ovládací desky

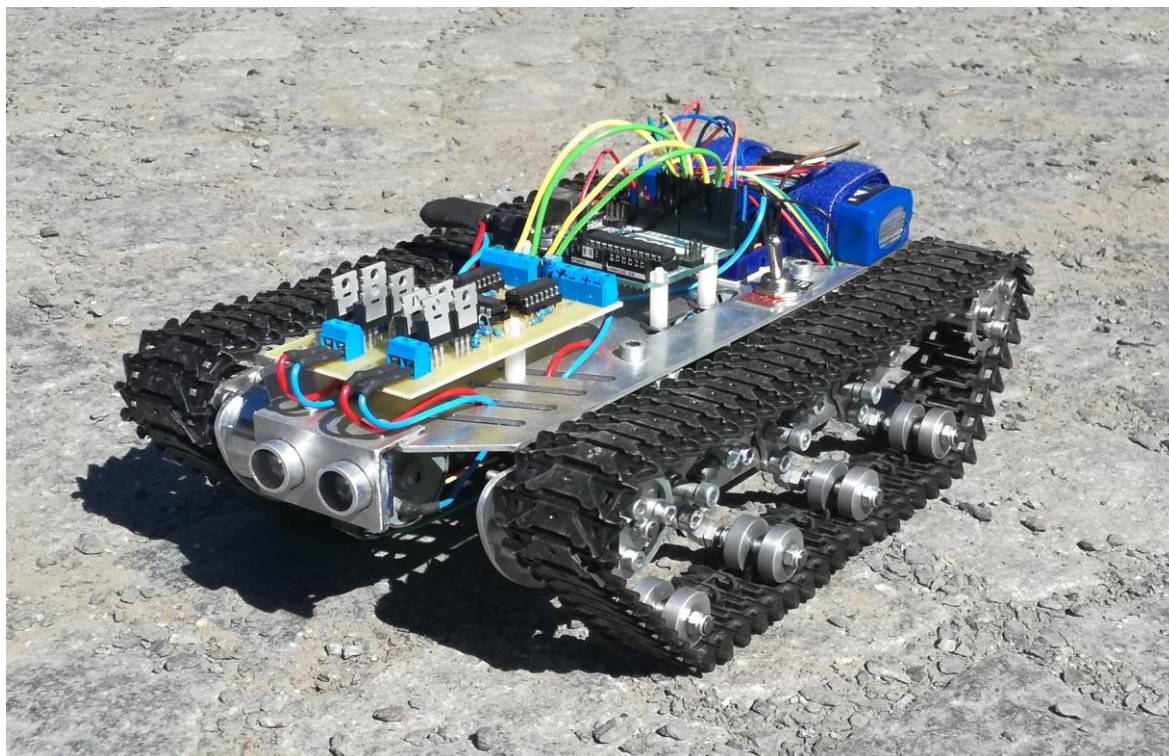
V zapojení jsou dále použity rezistory. Rezistory o hodnotě $1\text{ k}\Omega$ jsou zapojeny mezi výstupy logického obvodu a vstupy tranzistorového pole, kde zajišťují omezení vstupního proudu do tranzistorového pole. Dále jsou použity rezistory o hodnotě $10\text{ k}\Omega$, které jsou zapojeny z výstupu tranzistorového pole ke kladnému pólu napájení. Tato kombinace zapojení vytvoří zapojení se společným emitorem, které slouží k zesílení výstupního napětí, aby došlo k plnému otevření tranzistorů. Naposledy jsou použity rezistory o hodnotě $10\ \Omega$, jenž jsou zapojeny mezi výstupy tranzistorového pole a vstupy k unipolárním tranzistorům, které omezují nabíjecí kapacitní proud unipolárních tranzistorů.

• *Princip ovládací desky*

Princip bude popisován vždy pro jeden motor, poněvadž je totožný s principem pro druhý motor. Pokud budeme požadovat, aby se vozítko pohybovalo např. směrem dopředu je potřeba na výstupy z Arduina X2-1 a X2-2 nastavit kombinaci 0 a 1. Díky logickému hradlu dostaneme kombinaci 1 0 0 1 na vstupech 3 6 8 11. Tato kombinace zajistí, aby došlo k otevření tranzistoru T1 (tranzistor typu P) a T2 (tranzistor typu N) a zavření tranzistorů T3 a T4. Vhodným otevřením a zavřením tranzistorů dochází k toku proudu přes motor a otáčením motoru jedním směrem. Budeme-li chtít, aby vozítko jelo směrem dozadu, pak se nastaví na výstupy z Arduina opačná kombinace, než v předchozím případě. Pro kombinaci 0 a 0 na vstupech X2-1 a X2-2 nedochází k protékání proudu přes motor, poněvadž na výstupech logického obvodu je nyní kombinace 1 1 1 1 a tato kombinace sice otevře unipolární tranzistory typu N, které jsou připojeny na zem, ale neotevře unipolární tranzistory typu P, které jsou připojeny na kladný pól napájení, takže nemůže dojít k protečení proudu přes motor. Je důležité dát pozor, aby nebyla na výstupech z Arduina kombinace 1 a 1, protože tento stav je nepředvídatelný. Zapojení řídicí desky není proti tomuto stavu nijak ošetřeno, ale ovládací program v Arduinu ošetřen je.

2.8 Hotové robotické vozítko

Z vypálených konstrukčních dílů byla sestavena konstrukce robota, do které se namontovaly motory, ultrazvukové senzory a pásy. Následně se na robota umístila ovládací deska a Arduino Uno R3 a to za pomoci distančních sloupků. Poté se na zadní část robota přidělala baterie. Pomocí vodičů se propojily ostatní komponenty s baterií, před kterou se namontovala ochranná pojistka v případě poruchy. Po dokončení konstrukčních prací se přešlo k softwarové části. Byl vytvořen program, který se následně nahrál do řídicího obvodu Arduino Uno R3.



Obrázek 30: Hotové robotické vozítko

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat rešerši na téma využití elektrických strojů v robotice. V první kapitole jsou popsány různé stroje, které se mohou vyskytnout v robotice. Celkem je popsáno pět nejčastěji používaných typů strojů, kde každý motor má své specifické vlastnosti a možnosti použití.

Dalším úkolem bakalářské práce bylo postavit vlastní robotické vozítko. Pro robotické vozítko byl zvolen zpřevodovaný stejnosměrný motor, který je možné řídit pomocí změny napájecího napětí. Z důvodu nedostačujících parametrů motor shieldu L298P od firmy Arduino, bylo potřeba postavit vlastní ovládací desku, která slouží k spínání motorů pomocí 4 výstupů z Arduina Uno. Robotické vozítko bylo vybaveno ultrazvukovými senzory, aby se mohlo vozítko automaticky pohybovat v prostoru, aniž by narazilo do překážek, a dále bylo vybaveno bluetooth modulem HC-06, aby bylo možné vozítko ovládat bezdrátově pomocí aplikace v mobilním telefonu. Jako zdroj vozítka byla zvolena baterie Li-Pol o kapacitě 2200 mAh, která udrží robotické vozítko v plném provozu po dobu třiceti minut. Vozítko bylo naprogramované tak, aby ho bylo možné ovládat manuálně a v případě potřeby ho přepnout do automatického režimu, kdy se bude samovolně pohybovat v prostoru, aniž by došlo ke kontaktu s objekty.

Robotické vozítko bylo postaveno a vybaveno komponenty pro jeho provoz a následně naprogramováno. Při testování se projevila výrobní vada pásů a z tohoto důvodu vozítko při jízdě rovně lehce vybočuje doprava. Dalším problémem u vozítka je, že při automatickém řízení není schopno detekovat překážku, která by se nacházela na rohu vozítka. Tento problém by bylo do budoucna potřeba opravit, a to buď přidáním dalších dvou ultrazvukových senzorů, které by se umístily na rohy vozítka nebo přidáním jednoho ultrazvukového senzoru, který by se umístil na servomotor, jenž by otáčel senzorem.

Dalším vylepšením by bylo určitě nahrazení spínací desky motor shieldem, který zvládne rozběhový proud motorů, tak aby byla možná regulace otáček motorů pomocí PWM modulace. Dále by bylo možné přidat optické senzory, aby mohlo robotické vozítko jezdit po námi navržené trajektorii a mohlo dojít k detekci např. srážu, kdy by vozítko bezpečně zastavilo. Další velmi šikovnou úpravou by mohlo být přidání kamery na

voztítko, což by umožnilo sledování prostoru, ve kterém se vozítka nachází, poněvadž díky bluetooth modulu lze ovládat vozítka i z jiných místností, než ve které se nachází. Posledním možným návrhem na vylepšení by bylo použití Arduina Mega, které obsahuje více digitálních vstupů/výstupů, a přidání ochranného krytu na robota, čímž by byly komponenty chráněny proti vnějším vlivům.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. Průmyslové roboty a manipulátory. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00361-x.
- [2] ČERMÁK, Jiří. Asynchronní stroje – konstrukce, princip funkce a řízení [online]. 10. 2. 2017. [cit. 20. 2. 2017] Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni/>>.
- [3] Asynchronní stroj [online]. [cit. 22. 2. 2017] Dostupné z: <<http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2015/06/T2-asynchronn%C3%AD-stroj.pdf>>.
- [4] PRAIS, Sarah. AC Induction Motors with Squirrel Cage Rotors [online]. 8. 6. 2016 [cit. 22. 2. 2017]. Dostupné z: <<https://gearmotorblog.wordpress.com/2016/06/08/ac-induction-garmotors/>>.
- [5] Wound Rotor Induction Motor. [online]. [cit. 22. 2. 2017]. Dostupné z: <<https://www.theengineeringprojects.com/2016/10/wound-rotor-induction-motor.html>>.
- [6] VRÁNA, Václav. Asynchronní stroje [online]. 2005. [cit. 20. 2. 2017] Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_asynchronni_stroje_bc.pdf>.
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-48285.
- [8] ČERMÁK, Jiří. Synchronní stroje – konstrukce, princip funkce a použití [online]. 22. 5. 2017. [cit. 20. 2. 2017] Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/synchronni-stroje-konstrukce-princip-a-pouziti/>>.
- [9] Ústav teorie informace a automatizace. Poslední změna 25. 1. 2015. [cit. 3. 4. 2017] Dostupné z: <<http://mys.utia.cas.cz:1800/trac/bdm/export/1442/applications/dual/vahala/DP/kapitola1.pdf>>.

- [10] Modelářské elektromotory – 2. díl. [online]. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <<http://www.rc-zoom.cz/modelarske-elektromotory-2-dil/>>.
- [11] Maxon DC and EC motors [online]. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <<http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/service-academy-motor>>.
- [12] VALA, Zdeněk. Stejnoseměrné elektromotory [online]. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a13.pdf>.
- [13] Stejnoseměrné stroje (motory) [online]. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <<http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/VS/kap22.pdf>>.
- [14] SINGULE, Vladislav. Akční členy s EC motory – výhodné řešení pro mechatronické aplikace. [online]. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <<http://www.techpark.sk/technika-92009/ECmotory.html>>.
- [15] IMTHIAZ, Ahmed. Quora. *How does a bldc motor works?* [online]. 2017. [cit. 13. 4. 2017] Dostupné z: <<https://www.quora.com/How-does-a-blcd-motor-works>>.
- [16] Princip – krokový motor. [online]. Portál o pohonné technice v průmyslu, [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z: <<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>>.
- [17] Pohony s krokovými motorky [online]. [cit. 27. 11. 2016] Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_C_el_pohony/se_eph_c1_krokac_02_teorie.pdf>.
- [18] Druhy krokových motorů. [online]. [cit. 27. 11. 2016] Dostupné z: <<https://www.kvd.zcu.cz/cz/materialy/POS/HTML/57/default.htm>>.
- [19] Krokové motory 1 – typy motorů. Robodoupě, web nejen o robotice. [online]. [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z: <<http://robodoupe.cz/2013/krokovy-motory-1-ty-py-motoru/>>.

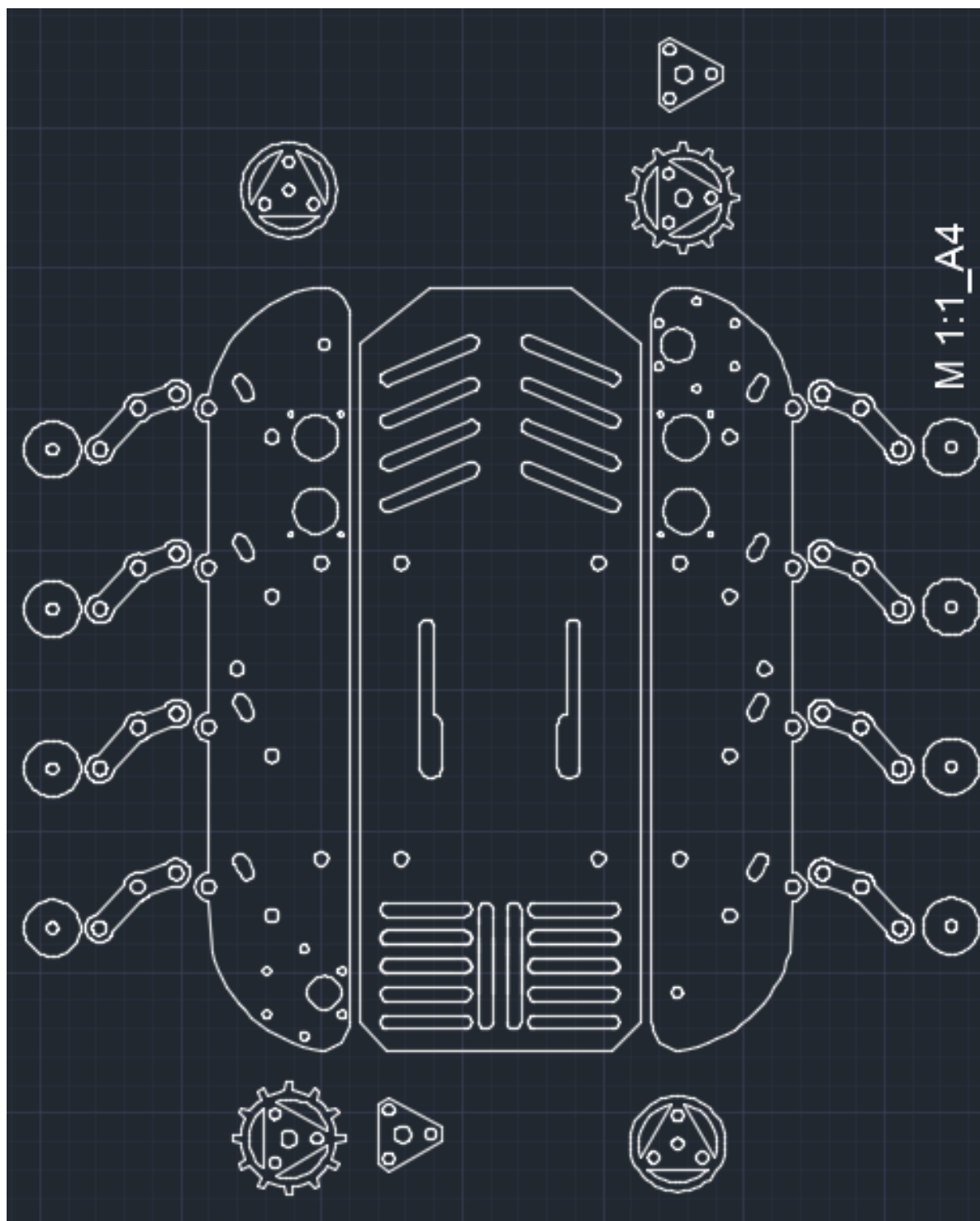
- [20] E-Automatizace, informační portál z oblasti automatizace. *Akční členy. Elektrické pohony*. [online]. [cit. 27. 11. 2016] Dostupné z: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_el.html>.
- [21] JURÁNEK, Martin. *Popis jednotlivých komponent*. [online]. [cit. 27. 11. 2016] Dostupné z: <http://home1.vsb.cz/~jur286/mast/tenzometry_files/komponenty_popis.htm>.
- [22] Řezáč, Kamil. Krokové motory. Princip funkce, metody řízení [online]. 2002. [cit. 27. 11. 2016] Dostupné z: <<https://robotika.cz/articles/steppers/cs>>.
- [23] BĚLÍČEK, David. Řízení krokového motoru mikrokontrolérem. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ladislav Káňa. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15536>.
- [24] NOVOTNÝ, Ondřej. Krokové motory. Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Pavel Světlík. Dostupné z: <<https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/14219/bakalarska%20prace%20krokove%20motory.pdf?sequence=1>>.
- [25] GÄRTNER, Jan. Návrh lineárního oscilačního pohonu s vnějším buzením. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Vladislav Singule. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30201>.
- [26] Lineární motory – co je lineární motor. Etel motion technology. Portál zabývající se lineárními motory. [online]. [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z: <<http://www.etel.ch/cz/linearni-motory/prehled/>>.
- [27] Lineární motory. VUES Brno s.r.o. © 2012 [online]. [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z: <http://www.vues.cz/file/424/CZ_LIN-OBECNE_020909.PDF>.

- [28] What are ironless linear motors ? Linear Motion Tips. Web o lineárních motorech. [online]. [cit. 15. 2. 2017]. Dostupné z: <<http://www.linearmotiontips.com/ironless-linear-motors>>.
- [29] VRBKA, Michal. Modelování lineárního pohonu s dc motorem pro potřeby řízení. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Houška. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/14602/2009_DP_Vrbka_Michal_48931.pdf?sequence=2>.
- [30] Princip – lineární motor. [online]. Portál o pohonné technice v průmyslu, [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z: <<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/linearni-motor>>.
- [31] Zhengke. Product. ZGA37RG/ZGB37RG. [online]. Specialized Manufacturer of DC Gear motor, Planetary Gear motor, AC Gear motor, AC synchronous motor, Linear Actuator, etc., 2017. [cit. 2. 4. 2017] Dostupné z: <<http://www.zhengkemotor.com/product/product48.html>>.
- [32] Jak zacházet s Lipol akumulátory – desatero toho nejdůležitějšího. [online]. [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <<http://www.rc-zoom.cz/jak-zachazet-s-lipol-akumulatory-desatero-toho-nejdulezitejsiho/>>.
- [33] Li-poly batteries [online]. [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <<https://rckane.cz/content/16-lipol-baterie>>.
- [34] VODA, Zbyšek. Seznámení s Arduinem [online]. 11. 10. 2014 [cit. 7. 5. 2017]. Dostupné z: <<https://arduino.cz/seznameni-s-arduinem/>>.
- [35] VODA, Zbyšek. Programujeme Arduinem [online]. 14. 10. 2014 [cit. 7. 5. 2017]. Dostupné z: <<https://arduino.cz/programujeme-arduino/>>.
- [36] Měřič vzdálenosti ultrazvukový. [online]. [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <<http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/meric-vzdalenosti-ultrazvukovy.html>>.

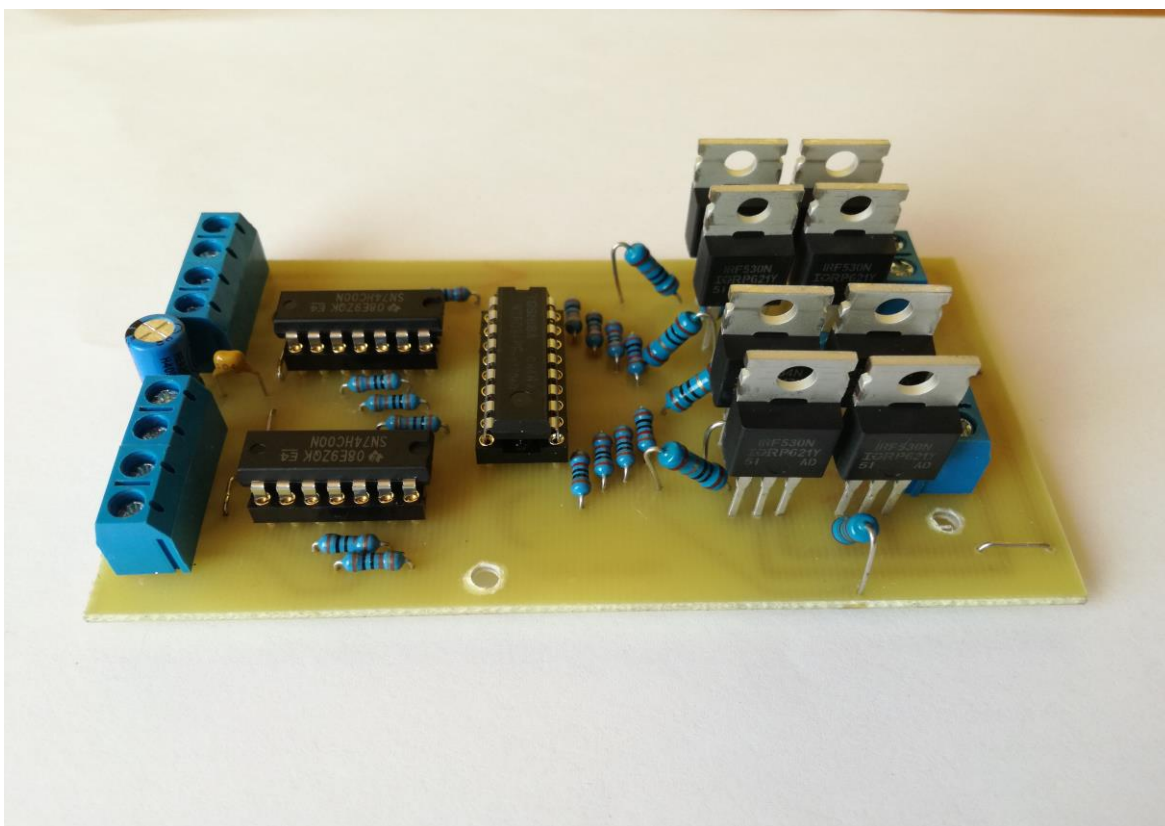
- [37] HC-06 Bluetooth [online]. [cit. 7. 5. 2017] Dostupné z: <<http://www.sakul.cz/index.php?id=43>>.

Přílohy

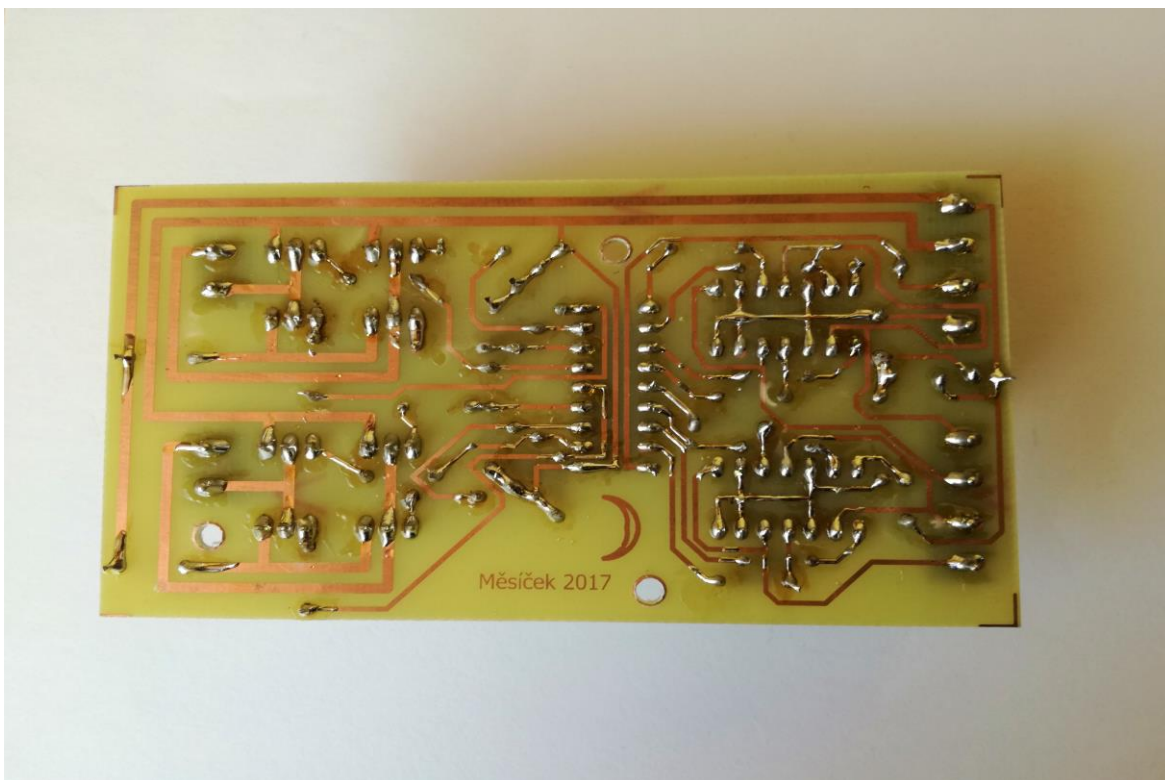
Příloha A – Návrh konstrukčních dílů v programu CAD



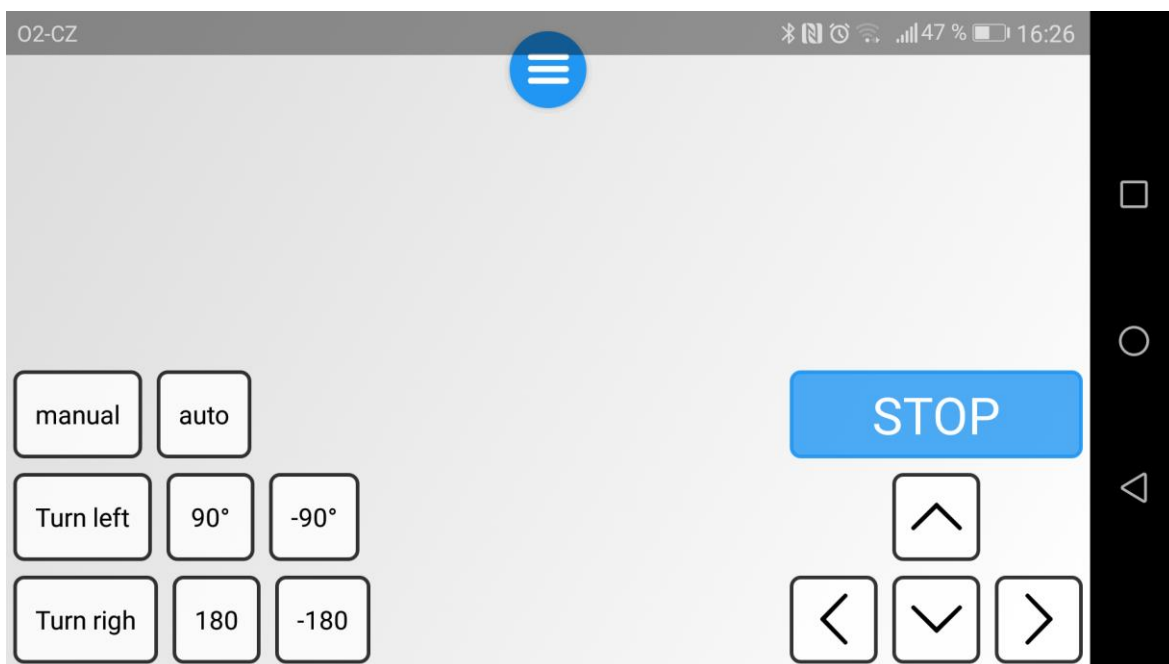
Příloha B – Ovládací deska



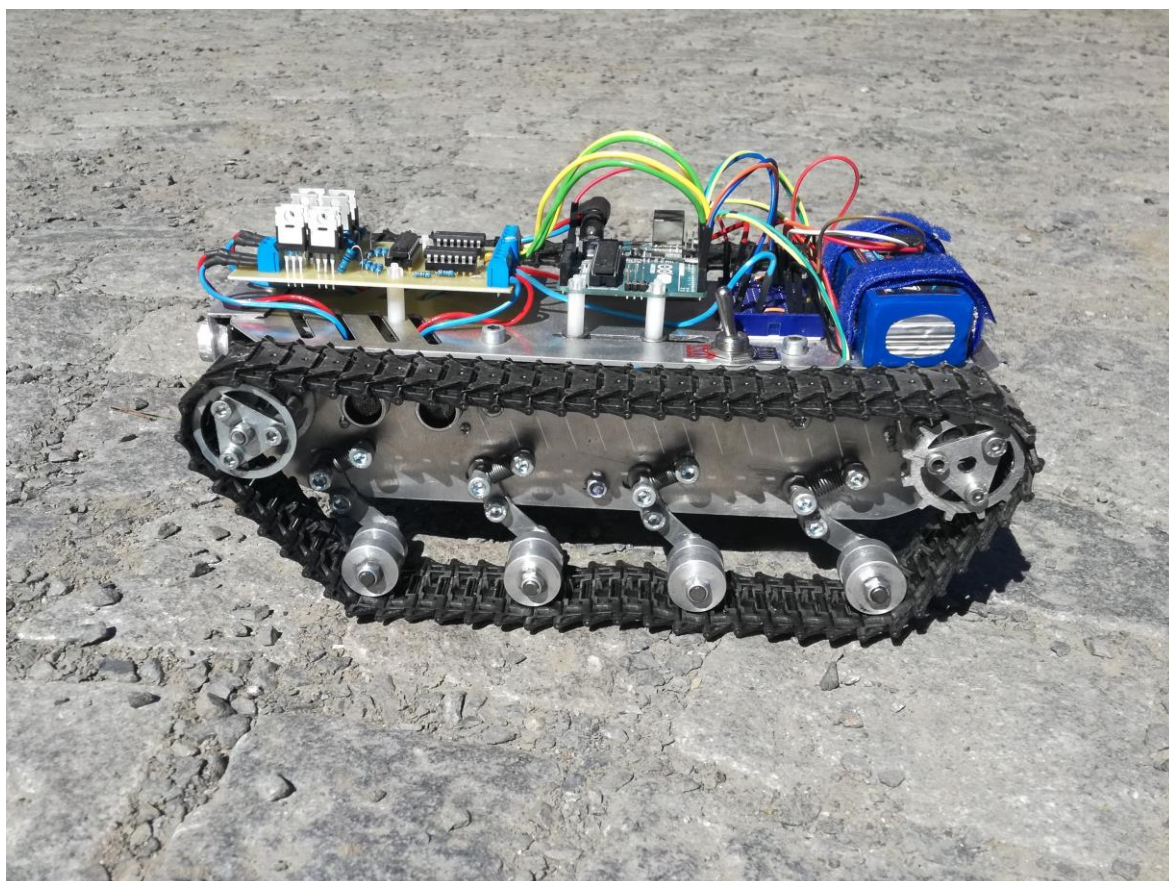
Příloha C – Plošný spoj ovládací desky



Příloha D – Ovládací aplikace robotického vozítka



Příloha E – Robotické vozítko z profilového pohledu



Příloha G - Program

```

const int M1_1=2;
const int M1_2=4;
const int M2_1=7;
const int M2_2=8;
int rizeni=0;
int serial_input=0;
int pTrigL=3;
int pEchoL=5; //Ultrazvuk vlevo
int pTrigP=6;
int pEchoP=9; //Ultrazvuk vpravo
int pTrigV=10;
int pEchoV=11; //Ultrazvuk vpředu

void setup(){ //Nastavení počátečních podmínek
  Serial.begin(9600); //Spuštění seriové linky
  Serial.println("zahajena komunikace"); //Vypíše text
  pinMode(M1_1,OUTPUT); //Nastavení pinů 2, 4, 7, 8 jako výstupy
  pinMode(M1_2,OUTPUT);
  pinMode(M2_1,OUTPUT);
  pinMode(M2_2,OUTPUT);
  stat(); //Vypnuté motory
  pinMode(pTrigL,OUTPUT);
  pinMode(pEchoL,INPUT); //Nastavení vstupu ultrazvuku vlevo
  pinMode(pTrigP,OUTPUT);
  pinMode(pEchoP,INPUT); //Nastavení vstupu ultrazvuku vpravo
  pinMode(pTrigV,OUTPUT);
  pinMode(pEchoV,INPUT); //Nastavení vstupu ultrazvuku vpředu
}

void loop(){
  int del=120; //Nastavení, jak bude dlouho trvat smyčka [ms]
  int smer=0x09; //Pokud není zmačknuté směrové tlačítko, bude stát
  (manualni_rizeni -> stuj)
  if(Serial.available(>0){ //Čtení serial
    serial_input=Serial.read();
    if(serial_input>=0x05 && serial_input<=0x15){
      smer=serial_input;
    }
    else if(serial_input<=0x04){
      rizeni=serial_input;
    }
  }
}
/*
* druh_rizeni: <0x00;0x04>
* 02 - manual
* 03 - auto
* tlacitko: <0x05;0x09>
* 05 vpřed
* 06 vzad
* 07 vlevo
* 08 vpravo
* 09 stop
* 10 otáčení vlevo
* 11 otáčení vpravo
* 12 otáčení o 90 vpravo
* 13 otáčení o 90 vlevo
* 14 otáčení o 180 vpravo
* 15 otáčení o 180 vlevo

```

```

*/
if(rizeni==0) return;
if(rizeni==0x02) manualni_rizeni(smer);
else{
    automaticke_rizeni();
}
delay(del);
}

void automaticke_rizeni(){
int pom=0;
nově objevené překážky v směru dopředu */
long vzd_vpredu=0,vzd_vpravo=0, vzd_vlevo=0;
vzd_vpredu=ultrazvuk(pTrigV, pEchoV); //Vzdálenost vepředu
if(vzd_vpredu>=20){
    dopředu();
    pom=1;
}
else{
    vzd_vpravo=ultrazvuk(pTrigP, pEchoP); //Vzdálenosti na bocích
    vzd_vlevo=ultrazvuk(pTrigL, pEchoL);
    if(pom==1){
        stat();
        pom=0;
    }

    //Rozhodnutí následujícího směru
    if((vzd_vpravo<12) && (vzd_vlevo<12)){
        dozadu();
        delay(750);
    }
    else if(vzd_vpravo>=vzd_vlevo){
        doprava();
        delay(750);
    }
    else if(vzd_vpravo<vzd_vlevo){
        doleva();
        delay(750);
    }
}
}

void manualni_rizeni(int smer){
    if(smer==0x09) stat(); //STOP
    else if (smer==0x05) dopředu(); //DOPŘEDU
    else if (smer==0x06) dozadu(); //DOZADU
    else if (smer==0x07) doleva(); //VLEVO
    else if (smer==0x08) doprava(); //VPRAVO
    else if (smer==0x10) turn_left(); //OTÁČENÍ VLEVO
    else if (smer==0x11) turn_right(); //OTÁČENÍ VPRAVO
    else if (smer==0x12) vpravo90(); //OTOČENÍ O 90 STUPŇŮ VPRAVO
    else if (smer==0x13) vlevo90(); //OTOČENÍ O 90 STUPŇŮ VLEVO
    else if (smer==0x14) vpravo180(); //OTÁČENÍ O 180 STUPŇŮ VPRAVO
    else if (smer==0x15) vlevo180(); //OTÁČENÍ O 180 STUPŇŮ VLEVO
}

void stat (){
digitalWrite(M1_1,LOW);
digitalWrite(M1_2,LOW);
digitalWrite(M2_1,LOW);
digitalWrite(M2_2,LOW);
}
}

```

```
void dozadu (){
  digitalWrite(M1_1,HIGH);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,HIGH);
  digitalWrite(M2_2,LOW);
}
void dopredu (){
  digitalWrite(M1_1,LOW);
  digitalWrite(M1_2,HIGH);
  digitalWrite(M2_1,LOW);
  digitalWrite(M2_2,HIGH);
}
void doleva (){
  digitalWrite(M1_1,LOW);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,HIGH);
  digitalWrite(M2_2,LOW);
}
void doprava (){
  digitalWrite(M1_1,HIGH);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,LOW);
  digitalWrite(M2_2,LOW);
}
void turn_left(){
  digitalWrite(M1_1,LOW);
  digitalWrite(M1_2,HIGH);
  digitalWrite(M2_1,HIGH);
  digitalWrite(M2_2,LOW);
}
void turn_right (){
  digitalWrite(M1_1,HIGH);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,LOW);
  digitalWrite(M2_2,HIGH);
}
void vpravo90 (){
  digitalWrite(M1_1,HIGH);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,LOW);
  digitalWrite(M2_2,HIGH);
  delay(220);
}
void vlevo90(){
  digitalWrite(M1_1,LOW);
  digitalWrite(M1_2,HIGH);
  digitalWrite(M2_1,HIGH);
  digitalWrite(M2_2,LOW);
  delay(220);
}
void vpravo180 (){
  digitalWrite(M1_1,HIGH);
  digitalWrite(M1_2,LOW);
  digitalWrite(M2_1,LOW);
  digitalWrite(M2_2,HIGH);
  delay(550);
}
void vlevo180(){
  digitalWrite(M1_1,LOW);
  digitalWrite(M1_2,HIGH);
```

```
digitalWrite(M2_1,HIGH);  
digitalWrite(M2_2,LOW);  
delay(550);  
}
```

```
long ultrazvuk(int pTrig, int pEcho){ //Nastavení ultrazvuku  
  long odezva=0, vzdalenost=0;  
  digitalWrite(pTrig,LOW);  
  delayMicroseconds(2); //Nastavení výstupu na 2 us na zem, pro jistotu  
  digitalWrite(pTrig,HIGH);  
  delayMicroseconds(5); //Nastavení výstupu na 5 us na napájení  
  digitalWrite(pTrig,LOW); //Výstup opět na zem  
  //Dostali jsme puls, který teď změříme pomocí funkce pulseIn  
  
  odezva=pulseIn(pEcho,HIGH);  
  vzdalenost=odezva/58.31; //Přepočet odezvy (us) na cm, 58.31 konstanta prostředí  
  return vzdalenost; //Vzdálenost v cm  
}
```