

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Elektronická řídicí jednotka pohonu podvozku
mobilního robota

Jiří Král

Bakalářská práce
2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Král**
Osobní číslo: **I08277**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Elektronická řídicí jednotka pohonu podvozku mobilního robota**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Práce se bude zabývat návrhem a konstrukčním řešením elektronické jednotky řízení otáček stejnosměrných motorů určených pro pohonnou jednotku podvozku mobilního robota. V práci bude nejprve rozpracována rešerše řešeného tématu se zaměřením na řídicí elektronické jednotky stejnosměrných motorů s možností jejich zpětnovazebního řízení. Budou porovnána řešení s krokovým motorem a motorem s permanentním magnetem. Teoretická část bude obsahovat popis způsobu snímání otáček rotoru motoru a popis způsobu měření proudu rotorovým vinutím. V návrhu elektronické jednotky bude využita moderní součástková základna. Řízení elektronické jednotky bude realizováno jednočipovým mikropočítačem fy Atmel, řady ATmega. Spolu s elektronickou řídicí jednotkou bude návrh technického řešení obsahovat i návrh potřebných podpůrných obvodů, jako jsou například napájecí obvody, obvody nabíjení akumulátorů atd. S tím souvisí i úkol výběru vhodných akumulátorů pro napájení elektroniky celého podvozku mobilního robota. Výsledkem práce bude funkční elektronická jednotka zabudovaná do podvozku mobilního robota.

Teoretická část:

- Současný stav technického řešení pohonů robotických systémů.
- Popis činnosti servomotoru.
- Popis činnosti vybraných komponent pro konstrukci řídicí jednotky.

Implementační část:

- Návrh hardware elektronické řídicí jednotky motorů a jejich podpůrných obvodů.
- Realizace návrhu.
- Testování jednotky na podvozku mobilního robota v laboratoři specializace.

Požadavky na studenta:

Základní orientace v návrhu elektronického a mechanického systému. Práce s CAD softwarem pro návrh plošných spojů Eagle. Základní dovednosti v osazování a ožívování plošných spojů. Znalost programování v assembleru a jazyce C pro mikropočítače Atmel.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Novák Petr: Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení - 1. díl, BEN - technická literatura, 2005, ISBN 80-7300-141-1

Záhlava Vít: Návrh a konstrukce DPS, BEN - technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-266-4

Plíva Zdeněk: Eagle Prakticky, BEN - technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-252-7

Burkhard Mann: C pro mikrokontroléry, BEN - technická literatura, 2003, ISBN 80-7300-077-6

Matoušek David: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - 3. díl - edice uP a praxe 2.vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

8. prosince 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2012



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.

děkan



L.S.



doc. Ing. František Dušek, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

Prohlášení autora

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 5. 2012

Jiří Král

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat osobám, které mi byly nápomocny v průběhu zpracování bakalářské práce a které mne podporovaly během studia. Především bych chtěl poděkovat panu profesorovi Ing. Liborovi Havlíčkovi Ph.D za ochotu a trpělivost při konzultacích mé práce.

Anotace

Práce se v první části zabývá stručným popisem různých typů podvozků, elektrických pohonů, způsobu řízení elektrických motorů a snímačů úhlu natočení jejich výstupní hřídele. V druhé části je popsána vlastní konstrukce řídicí jednotky pohonu podvozku mobilního robota a dalších nezbytných obvodů potřebných pro správnou funkci celého robota. V závěru práce je stručně popsán program, který se stará o příjem dat a samotné řízení pohonu.

Klíčová slova

Mobilní robot, řízení elektrických pohonů, mikroprocesor, H-můstek

Title

Electronic control unit of mobile robot chassis drive

Annotation

The first part of this work is a brief description of different types of chassis, electrical drives, ways of management for electric motors and description of different types of angle sensor of output shaft. The second part describes the design of their control units, drive mobile robot chassis and other necessary circuits required for the proper functioning of the robot. At the end of the work is briefly described the program, which is capable received data and controlled its own drive.

Keywords

Mobile robot, control of electrical drives, microprocessor, H-bridge

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Druhy robotů a jejich podvozků	12
2.1 Rozdělení mobilních robotů podle prostředí, ve kterém jsou provozovány.....	12
2.2 Rozdělení mobilních robotů podle typu podvozku.....	13
3 Teorie motorů	14
3.1 Stejnoseměrný motor.....	14
3.1.1 Princip stejnosměrného motoru	15
3.1.2 Charakteristiky motoru	17
3.2 Servomotor	18
3.3 Krokový motor	19
3.3.1 Krokové motory s pasivním rotorem.....	20
3.3.2 Krokové motory s aktivním rotorem	21
4 Řízení pohonu	24
4.1 Řízení motorů	24
4.1.1 Stejnoseměrný motor.....	24
4.1.2 Servomotor	25
4.1.3 Krokový motor	26
4.2 Zpětnovazební řízení	27
4.2.1 Snímače natočení.....	27
5 Vlastní konstrukce	29
5.1 Podvozek	29
5.2 Logická část.....	30
5.2.1 Napájecí obvod.....	30
5.2.2 Mikroprocesor	31
5.2.3 Rozhraní ICSP	33
5.2.4 Komunikační rozhraní	34
5.2.5 Rozhraní pro připojení výkonové části.....	37

5.2.6	Rozhraní umožňující další rozšíření	37
5.3	Výkonová část	38
5.3.1	Zapojení a funkce obvodu L6207	39
5.3.2	Zapojení a účel zdroje stabilizovaného napětí.....	41
5.4	Programátor	42
5.5	Firmware.....	43
5.5.1	Komunikační protokol.....	43
5.5.2	Nastavení I/O	45
5.5.3	Nastavení registrů pro PWM	45
5.5.4	Nastavení registrů pro UART.....	46
6	Závěr.....	47
	Literatura	48
	Přílohy	49

Seznam zkratek

MR	Mobilní robot
KM	Krokový motor
PWM	Pulse Width Modulation
ICSP	In-Circuit Serial Programming
LED	Light Emitted Diode
ADC	Analog to Digital Converter
I/O	Input/Output
SCK	Serial Clock
MOSI	Master Out/Slave Input
MISO	Master Output/Slave Input
USB	Universal Serial Bus
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
PCM	Pulse-Code Modulation
DDR	Data Direction Register

Seznam obrázků

Obrázek 3.1 - Zjednodušené znázornění stejnosměrného motoru a jeho principu.....	15
Obrázek 3.2 – Konstrukce stejnosměrného komutátorového motoru [2].....	16
Obrázek 3.3 - Rychlostní a momentová charakteristika stejnosměrného motoru [1]	17
Obrázek 3.4 – Čtyřfázový krokový motor s pasivním rotorem.....	20
Obrázek 3.5 – Dvoufázový krokový motor s aktivním rotorem s radiálně orientovaným magnetem	22
Obrázek 3.6 - Dvoufázový krokový motor s aktivním rotorem s axiálně orientovaným magnetem	23
Obrázek 4.1 - H-můstek.....	24
Obrázek 4.2 - Průběhy signálů pro řízení servomotoru.....	25
Obrázek 5.1 - Finální podoba logické části	30
Obrázek 5.2 - Vlastní zapojení napájecího obvodu.....	30
Obrázek 5.3 - Zapojení obvodu 78L05 podle datasheetu [4]	31
Obrázek 5.4 - Zapojení mikroprocesoru.....	32
Obrázek 5.5 - Zapojení krystalového oscilátoru podle datasheetu [5]	32
Obrázek 5.6 - Zapojení dolnoprostupního LC filtru podle datasheetu [5]	33
Obrázek 5.7 - Připojení vývodů ke konektoru a jejich umístění na mikroprocesoru	34
Obrázek 5.8 - Komunikační rozhraní USB 2.0 - UART	35
Obrázek 5.9 - Finální podoba komunikačního rozhraní USB 2.0 - UART.....	35
Obrázek 5.10 – Bezdrátové komunikační rozhraní s BTM-222.....	36
Obrázek 5.11 - Finální podoba bezdrátového komunikačního rozhraní	36
Obrázek 5.12 - Vývody na ATmega8 a L6207 spojené rozhraním.....	37
Obrázek 5.13 - Schéma výkonové části	38
Obrázek 5.14 - Finální podoba výkonové části	38
Obrázek 5.15 - Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu L6207 [9]	39
Obrázek 5.16 - Zapojení nábojové pumpy [9].....	40
Obrázek 5.17 - Typické zapojení obvodu TL431 [10]	41
Obrázek 5.18 – Schéma zapojení programátoru.....	42
Obrázek 5.19 - Finální podoba programátoru	42
Obrázek 5.20 - Struktura registrů TCCR1A a TCCR1B [5]	45
Obrázek 5.21 - Struktura registrů UCSRB a UCSRC [5].....	46

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Vlastnosti vybraných serv [3]	19
Tabulka 5.1 - Pravdivostní tabulka pro vstupy obvodu L6207 [9].....	40
Tabulka 5.2 - 1 byte komunikačního protokolu	43
Tabulka 5.3 - Kódování rychlosti v komunikačním protokolu	44
Tabulka 5.4 - kombinace 5. a 4. bitu v komunikačním protokolu.....	44

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá řízením podvozku mobilního robota za použití moderní součástkové základny. Cílem je popsat návrh a konstrukci elektronické jednotky řízení otáček stejnosměrných motorů určených pro pohonnou jednotku podvozku mobilního robota.

Nejprve se budu zabývat teorií. Jako první zde popíši jednotlivé druhy robotů, jejich podvozků a konstrukci různých druhů motorů. V závěru teoretické části popíši možnosti řízení jednotlivých pohonů a snímače natočení, pomocí nichž může být realizována zpětná vazba.

Druhá část práce je praktická a zabývá se vlastní konstrukcí. Je zde popsána konstrukce a funkce řídicí části realizované jednočipovým mikroprocesorem firmy Atmel, řady ATmega. a výkonové části realizované dvojitým H-můstkem od firmy STMicroelectronics.

V poslední části se věnuji vývoji firmware psaného ve vývojovém prostředí AVR Studio v programovacím jazyce C. Tento firmware se stará o nastavení jednotlivých registrů mikroprocesoru potřebných pro správnou funkci sériové linky, generátoru PWM signálu a správné nastavení I/O portů. Dalším úkolem programu je přijmout data od operátora, správně je zpracovat a v závislosti na výsledku zpracování dat obsloužit jednotlivé motory.

Výsledkem této práce bude funkční elektronická jednotka zabudovaná do podvozku mobilního robota.

2 Druhy robotů a jejich podvozků

2.1 Rozdělení mobilních robotů podle prostředí, ve kterém jsou provozovány

Roboti se prosazují v čím dál větším počtu průmyslových odvětví a jsou lidem nápomocni při různých profesích. Při navrhování robota musí být bráno v úvahu prostředí, ve kterém bude robot používán. Podle prostředí působení robota jsou rozlišovány různé typy robotů.

Nejhrubší členění dle prostředí je na roboty pro vnitřní a vnější použití. Roboti používaní pro vnější prostředí musí být odolnější, musí mít větší průchodnost terénem a mohou se lišit způsobem orientace v prostředí. Na roboty pro vnitřní použití nejsou kladeny tak velké požadavky na průchodnost terénem, protože v budovách není terén náročný. Orientace těchto robotů uvnitř budov můžeme být řešena například pomocí sledování čar na podlaze.

Jiným hlediskem členění robotů podle prostředí může být rozlišení na roboty pohybující se:

- na zemi,
- ve vzduchu,
- ve vodě,
- ve vesmíru,
- a v jejich kombinacích.

Použití robotů na zemi je velmi široké. Mezi vzdušné roboty nejčastěji patří armádní bezpilotní letouny. Ve vodě se hojně využívají roboti pro hloubkové ponory a pro průzkum člověku nepřístupných prostor. Použití robotů ve vesmíru je často výhodnější než nasazení lidí, je méně finančně náročné a neriskují se lidské životy.

Podle [1] se dají roboti dále dělit podle vztahu k profesi na:

- manipulační,
- montážní,
- servisní,
- inspekční,
- průzkumné,
- vojenské,
- zdravotnické,
- a určené pro zábavu

2.2 Rozdělení mobilních robotů podle typu podvozku

Na základě typu prostředí, ve kterém bude robot používán, je rozhodováno, jaký typ podvozku bude nejvhodnější použít. Můžeme si volit mezi podvozky:

- kolovými,
- pásovými,
- kráčejícími,
- a speciálními.

Kolové podvozky se používají nejčastěji. Mohou být dále děleny podle počtu kol a jejich uspořádání. Kola mohou být hnaná nebo vlečná, a mohou mít různý stupeň volnosti. Kola s jedním stupněm volnosti se otáčejí kolem jedné osy. Robot zatáčí tak, že jsou kola řízena diferenciálně. Kola s více stupni volnosti se otáčejí kolem více os a robot pomocí tohoto systému může zatáčet.

Pásoví roboti se používají převážně v náročnějších terénech, které jsou pro kolové příliš obtížné. Tento typ podvozku má tu nevýhodu, že je jeho pohyb více energeticky náročný. Kvůli smyku, který doprovází otáčení je nutno použít složitější sebelokalizaci (odometrii).

Kráčející roboty můžeme dále dělit podle počtu nohou na:

- jednonohé (skákající),
- dvounohé,
- třínohé,
- čtyřnohé,
- šestinohé,
- osminohé,
- a speciální konstrukce

Při návrhu kráčejících robotů se konstruktéři často nechávají inspirovat v přírodě. Napodobuje se chůze lidí, zvířat nebo hmyzu. Vícenozí roboti jsou schopni zdolávat ještě náročnější terén a pomoci tak člověku při práci v nebezpečném prostředí. Mezi hlavní nevýhody patří vyšší počet akčních členů, složitější řízení, konstrukční složitost a s tím spjatá výrobní náročnost.

Mezi speciální typy robotů jsou řazeny na příklad roboti plazící se, šplhající a hybridní.

3 Teorie motorů

3.1 Stejnoseměrný motor

Stejnoseměrný motor se používá především pro jeho příznivý poměr hmotnost/výkon, snadnou dostupnost a cenu. Nejčastěji může být tento typ motorů nalezen v MR malých a středních velikostí. Vyznačuje se relativně snadným řízením otáček velikostí napětí, vysokou rychlostí otáčení a malou silou, což může být bráno za jednu z nevýhod tohoto typu motoru. Pokud má být dosaženo snížení rychlosti otáčení při současném zvýšení momentu, použijeme převodovku. Použitím převodovky však stoupá cena pohonu. Další nevýhody jsou komutátorem vyvolané elektromagnetické rušení a dále pak složitější přesné polohové řízení.

Pro polohové řízení se nejčastěji používá zpětnovazebního zapojení snímače natočení výstupní hřídele motoru. Tyto snímače se vyrábějí na principu různých

fyzikálních zákonů, v různých přesnostech, velikostech a s různým typem výstupních informací.

3.1.1 Princip stejnosměrného motoru

Kolem každého vodiče, kterým protéká proud, vzniká magnetické pole. Pokud je takovýto vodič vložen do pole s magnetickou indukcí B , bude vychylován Amperovou silou F ve směru, který udává Flemingovo pravidlo levé ruky. Flemingovo pravidlo říká, že pokud je levá ruka umístěna tak, aby indukční čáry vstupovaly do dlaně a natažené prsty ukazovaly dohodnutý směr proudu protékající vodičem, potom odtažený palec ukazuje směr magnetické síly F .

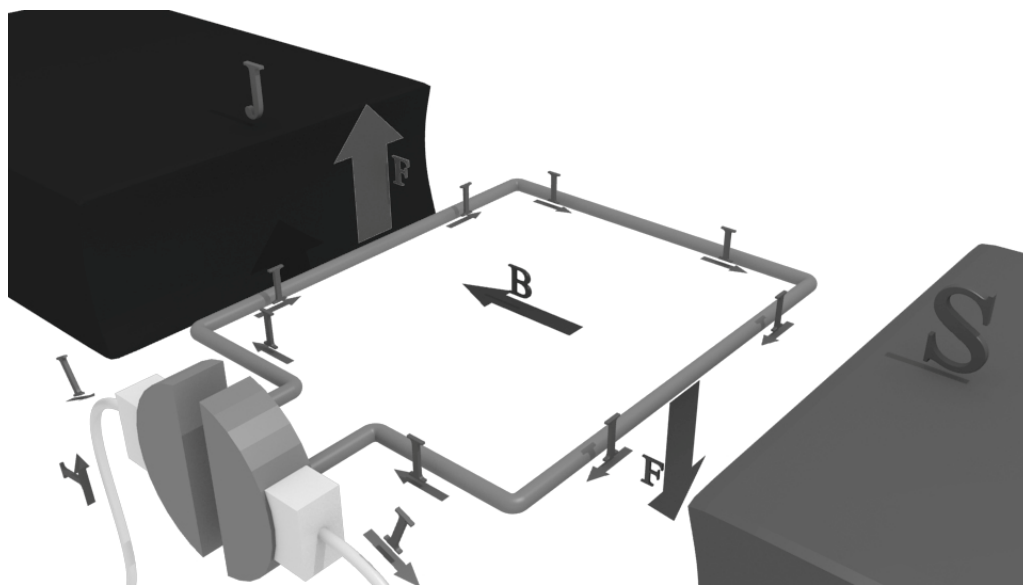
$$F = I \cdot l \cdot B \quad (3.1)$$

kde F – Amperova síla

I – Proud protékající vodičem

l – Délka vodiče

B – Magnetická indukce



Obrázek 3.1 - Zjednodušené znázornění stejnosměrného motoru a jeho principu

Z konstrukce stejnosměrného motoru, znázorněné na obr. 3.1, je zřejmé, že z vodiče je vytvořena smyčka a ta je vložena mezi permanentní magnety. Po připojení napájecího napětí začne smyčkou procházet proud a ta se začne vychylovat Amperovou silou. Tato síla vytváří moment M na rameni o poloměru r smyčky. To znamená, že tyto síly jsou dvě, navzájem opačné a každá působí na jednu polovinu smyčky. Díky tomuto poznatku můžeme odvodit, že na smyčku působí moment M .

$$M = 2 \cdot I \cdot l \cdot B \cdot \frac{r}{2} \cdot \cos \alpha = I \cdot l \cdot B \cdot r \cdot \cos \alpha \quad (3.2)$$

kde M – silový moment

r – poloměr smyčky

α - úhel, který svírá plocha smyčky s indukčními čarami

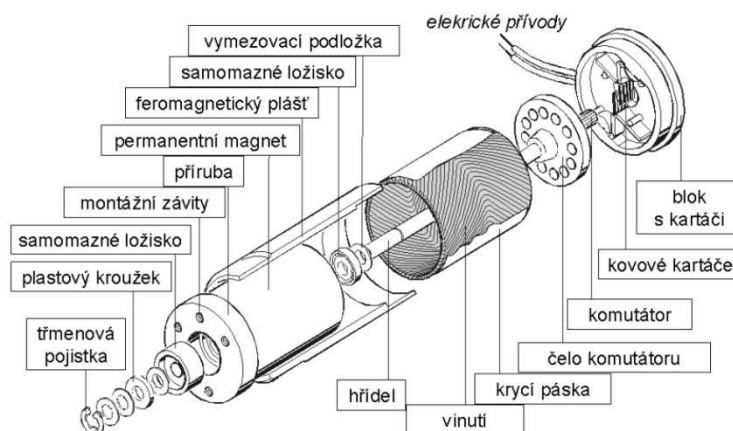
Tato rovnice se dá zjednodušit substitucí, takže moment působící na smyčku vodiče, kterým protéká proud je následující:

$$M = I \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (3.3)$$

Ve skutečném stejnosměrném motoru je ovšem naše smyčka nahrazena cívkou o N závitů. Takže výsledný moment bude N krát větší, níže je uveden výsledný vzorec.

$$M_{celk} = N \cdot I \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (3.4)$$

Pro souvislé otáčení hřídele je potřeba zajistit změnu polarity napětí přiváděného do vinutí motoru, pro tento účel se používá komutátor. Umístění komutátoru ve skutečném motoru je viditelné na obr. 3.2.

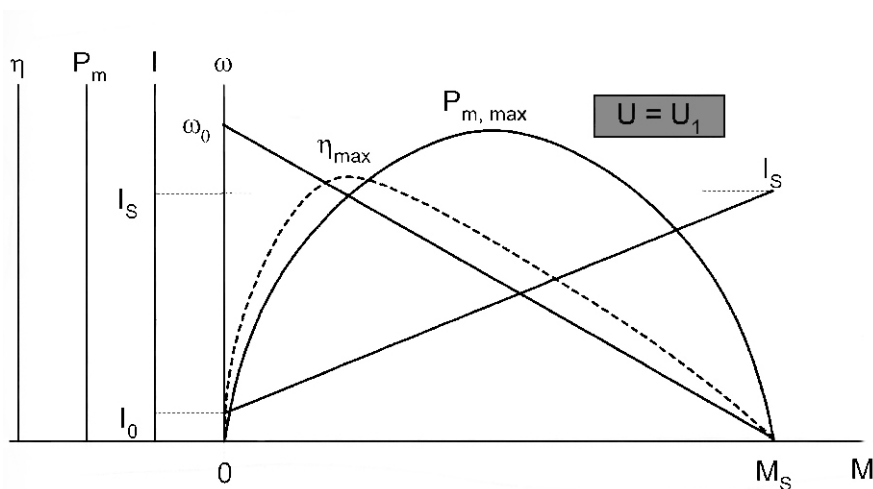


Obrázek 3.2 – Konstrukce stejnosměrného komutátorového motoru [2]

Vzhledem k tomu, že se vinutí motoru otáčí v homogenním poli, tak tento elektrický stroj nepracuje pouze jako motor, ale i jako generátor. Podle Faradayova zákona elektrické indukce se začne ve vodiči indukovat napětí, pokud dojde ke změně magnetického pole, začnou se pohybovat zdroje magnetického pole nebo pokud se v tomto poli začne pohybovat vodič, což je případ stejnosměrného motoru. Toto indukované napětí se nazývá zpětné elektromotorické a je závislé na parametrech motoru a na rychlosti otáčení rotoru v magnetickém poli. Zpětné elektromotorické napětí je v opačné polaritě proti napájecímu napětí. Při krátkém přerušení napájení a změření elektromotorického napětí, je možné, ze závislosti rychlosti otáčení a elektromotorického napětí, určit rychlost otáčení výstupní hřídele.

3.1.2 Charakteristiky motoru

Aby mohl být vybrán správný motor, je nejprve nutné porozumět jeho základním vlastnostem a charakteristikám. Grafické znázornění těchto vlastností je na obr.3.3.



Obrázek 3.3 - Rychlostní a momentová charakteristika stejnosměrného motoru [1]

Účinnost motoru η nazývaná též účinnost menší než jedna se určí jako poměr elektrického vstupního příkonu P_e a mechanického výstupního výkonu $P_{výst}$.

$$\eta = \frac{P_e}{P_{výst}} \quad (3.5)$$

kde η – účinnost motoru
 P_e – vstupní příkon
 $P_{výst}$ – výstupní výkon

U malých motorů je tato účinnost udávána v rozmezí 0,5 - 0,75 a u velkých motorů je udávána kolem 0,9. Ztráty na motoru jsou způsobeny například třením a odporem vinutí.

Na rychlostní a momentové charakteristice obr. 3.3, je vyznačeno několik zajímavých bodů. I_0 - proud procházející motorem bez zátěže na hřídeli, tento proud je nutný pro překonání tření a ztrát. Vzhledem k tomu, že na hřídeli není žádná zátěž, motor při tomto proudu pracuje při maximálních otáčkách ω_0 , kterým se říká otáčky bez zátěže. Jak je uvedeno v [2] maximální účinnosti η_{max} se dosáhne přibližně při 1/7 maximálního kroutícího momentu M_S . Motor pracuje při maximálním výkonu $P_{m, max}$ přibližně při $\frac{1}{2} M_S$ a tedy $\frac{1}{2} \omega$. I_S - proud procházející motorem při příliš velké zátěži na výstupní hřídeli, která způsobí její zastavení tedy ω je rovna nule.

3.2 Servomotor

Tento typ pohonu se nejčastěji používá jako polohovací zařízení. Pro malé školní roboty je nejvhodnější zvolit modelářské servo. Servomotor je složený z několika částí a to, ze stejnosměrného motoru, převodovky, řídicí elektroniky a snímače natočení. Snímač natočení je použit jako zpětná vazba pro řídicí obvod. Jako snímač natočení se většinou používá potenciometr, který může být připojen buď přímo na hnanou hřídel, nebo u lepších typů servomotorů přes převod, jehož pomocí jsou úspěšně eliminovány vibrace z hnané hřídele. Úhel natočení servomotorů bývá $\pm 90^\circ$. Aby nedocházelo k natočení, mimo tento rozsah se zajišťuje mechanicky na převodovce. Odstraněním potenciometru a drobnou úpravou na převodovce se dá docílit kontinuálního otáčení výstupní hřídele, tato úprava bývá nevratná. Při kontinuálním otáčení dochází k většímu opotřebení převodů i motoru a tím se snižuje životnost serva. Servomotory bývají vyráběny v různých velikostech, s různou silou a rychlostí chodu. Rychlost chodu bývá vztažena k určitému úhlu, ten se u různých výrobců liší a proto je potřeba na toto dát pozor při výběru. Tato zařízení se prodávají ve velikostech micro, macro, standard a maxi. Následující tabulka tab. 3.1 obsahuje charakteristiku dvou analogových serv společnosti HiTec ve velikostech micro a maxi.

Tabulka 3.1 - Vlastnosti vybraných serv [3]

	HiTec HS-55 (micro)		HiTec HS-815BB (maxi)	
	Při 4,8 V	Při 6,0 V	Při 4,8 V	Při 6,0 V
Tah (kg/cm)	1,1	1,3	19,8	24,7
Rychlost (s/60°)	0,17	0,14	0,19	0,14
Kuličková ložiska	Ne		2xBB	
Rozměry (mm)	22,6x11,4x23,9		65,8x30x57,4	
Hmotnost (g)	7,94		153,09	
Napájení (V)	4,8 - 6		4,8 - 6	

Servomotor bývá řízen pulsně, šířkově modulovaným signálem (PWM signálem). Kde je perioda signálu neměnná. Směr a velikost pootočení se řídí šířkou pulsů.

3.3 Krokový motor

Krokové motory jsou v robotice používány především pro malé, lehké roboty. Mezi výhody tohoto typu motoru patří jejich cena a rychlost otáčení, která není tak vysoká jako u stejnosměrných motorů. V některých případech se nízká rychlost otáčení může zdát jako nevýhoda. KM se otáčejí po krocích. Velikost kroku se pohybuje přibližně od 0,8° do 15°, je závislá na konstrukci a na způsobu řízení KM. Frekvence řídicího signálu f_s , určuje rychlost otáčení a počet impulzů velikost pootočení.

$$n = \frac{60 \cdot f_s \cdot \alpha}{360} \quad (3.6)$$

kde n - počet otáček za minutu

f_s - frekvence řídicího signálu (počet kroků za vteřinu)

α - úhlová velikost jednoho kroku

Další výhodou je, že nepotřebují snímače natočení, snímače rychlosti a převodovku. Vzhledem k tomu, že jsou řízeny logickým signálem, nepotřebují ani A/D a D/A převodníky. Mají rychlou odezvu na rozběhnutí, zastavení a reverzaci chodu motoru. Dále vysokou spolehlivost především díky tomu, že nemají mechanický komutátor. KM můžeme rozdělit podle konstrukce na motory s pasivním rotorem a na motory s aktivním rotorem.

3.3.1 Krokové motory s pasivním rotorem

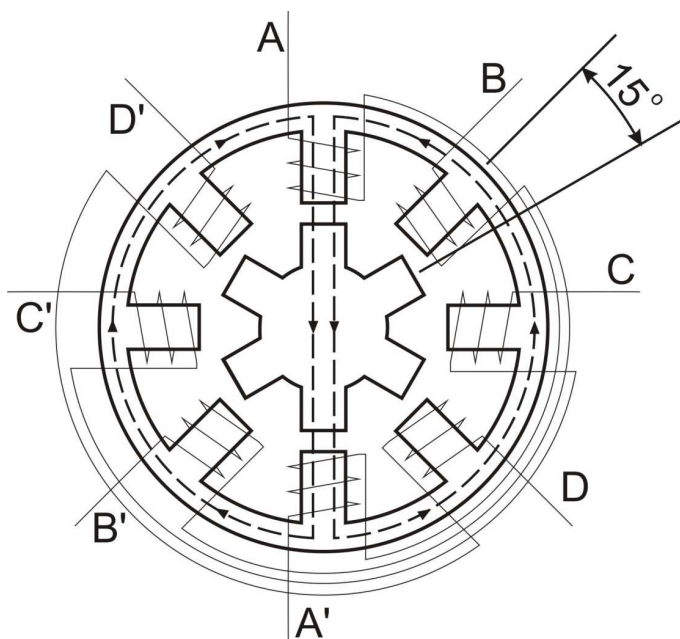
Tento typ krokových motorů se někdy označuje jako motory s proměnou reluktancí nebo reluktanční (z angl. variable reluctance motor). Jak již z názvu vyplývá, během otáčení se reluktance, nebo-li magnetický odpor mění tak, že se rotor, po změně buzené fáze, nastaví do polohy s nejmenším magnetickým odporem, což je v podstatě jinak řečeno to, že se pootočí o jeden krok. Pokud známe počet pólů rotoru a statoru, můžeme spočítat úhlovou velikost jednoho kroku α podle následujícího vzorce:

$$\alpha = 360 \left| \frac{1}{N_{NR}} - \frac{1}{N_{NS}} \right| \quad (3.7)$$

kde N_{NS} - počet pólů statoru

N_{NR} - počet pólů rotoru

Stator je tvořen ocelovými plechy z magneticky měkkého materiálu. Po jeho vnitřním obvodu jsou pólové nástavce. Na nichž jsou navinuta jednotlivá fázová vinutí. Vinutí na protilehlých pólových nástavcích jsou spojena do série a vytváří tak severní a jižní pól. Rotor bývá vyroben z jednoho kusu ocele, nebo ze svazku plechů, stejně jako stator. Po obvodu rotoru jsou tvarované póly, které jsou stejně široké, jako nástavce na statoru. Mezi rotorem a státorem je velmi malá vzduchová mezera v řádech setin milimetru.



Obrázek 3.4 – Čtyřfázový krokový motor s pasivním rotorem

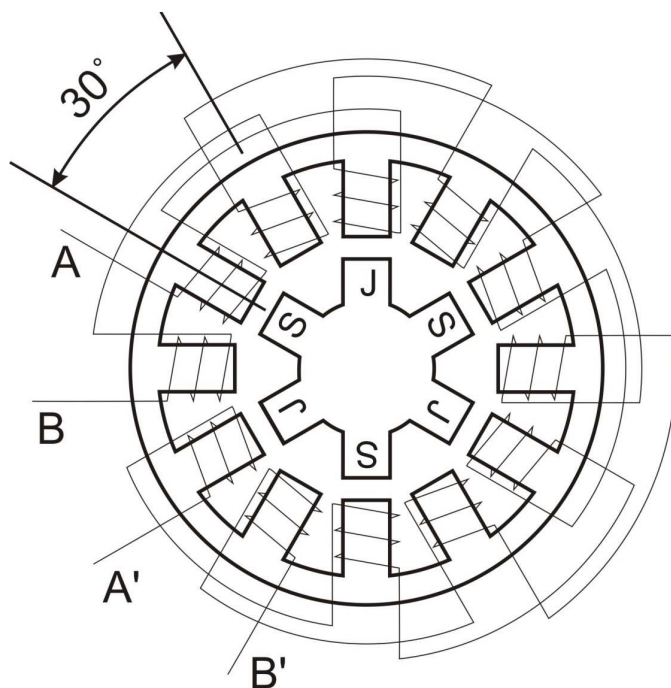
Na obr. 3.4, je znázorněno konstrukční řešení, čtyřfázového krokového motoru s pasivním rotorem, kde je buzena fáze A. Pro otočení motoru o jeden krok se přestane budit fáze A a začne napájet fáze B. Základním způsobem, jak docílit otáčení motoru je postupné střídání napájení jednotlivých fází v pořadí A, B, C, D pro otáčení v opačném směru se postupně přivádí napětí na fáze v opačné posloupnosti a to D, C, B, A.

3.3.2 Krokové motory s aktivním rotorem

Tyto krokové motory jsou díky jejich konstrukční jednoduchosti poměrně levné, ale jejich řídicí obvod je dražší. Složitost řídicího obvodu spočívá v tom, že musí zajistit změnu směru proudu ve vinutích statoru. Pokud by toto nebylo umožněno, rotor by se nemohl otáčet. KM s aktivním rotorem mají oproti KM s pasivním rotorem vyšší výkon. Jako rotor je zde použit permanentní magnet na hřídeli z nemagnetického materiálu. Tento typ rotoru způsobuje, že motory mají malou časovou konstantu vinutí, rychle reagují na změnu pohybu a díky tomu lze dosáhnout vyššího pracovního kmitočtu. Podle orientace magnetu v rotoru se krokové motory s aktivním rotorem dále dělí na motory:

- s radiálně orientovaným magnetem
- s axiálně orientovaným magnetem

Krokové motory s aktivním rotorem s radiálně orientovaným magnetem, se často používají ve výpočetní technice jako polohová zařízení pro periferie. Mají poměrně velkou velikost kroku, ($7,5^\circ$ a větší). Počet zubů statoru musí být dělitelný čtyřma a jejich počet je dvojnásobný proti počtu zubů rotoru. Na zubech statoru jsou navinuta jednotlivá vinutí tak, že se střídá vinutí fáze A a B, dále pak každé druhé vinutí A nebo B je navinuto tak, že představuje opačný pól. Pokud se použije napětí s rozdílným znaménkem, budou póly orientovány opačně.

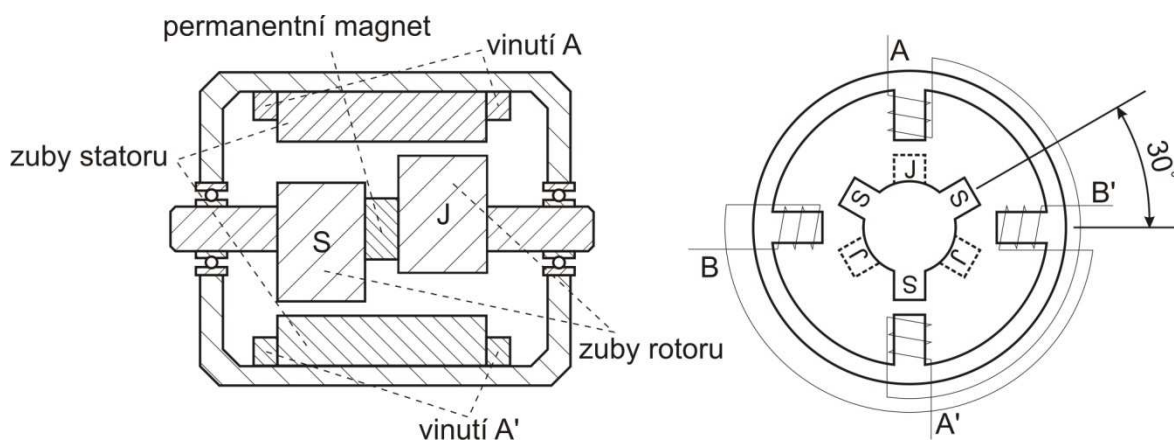


Obrázek 3.5 – Dvoufázový krokový motor s aktivním rotorem s radiálně orientovaným magnetem

Na obr. 3.5, je znázorněno konstrukční řešení, krokového motoru s aktivním rotorem s radiálně orientovaným magnetem, kde je buzena fáze A. Pro otočení motoru o jeden krok se přestane budit fáze A, zároveň začne napájet fáze B. Pro otočení o další krok, se přestane napájet fáze B, v ten samý čas se přivede napětí na fázi A', tím samým napětím se následně bude napájet i fáze B'. Z předchozího popisu plyne pořadí buzení fází a to takto A, B, A', B'. Pro kontinuální otáčení se celý postup opakuje. Aby se rotor otáčel v opačném směru, budí se fáze v opačném pořadí B', A', B, A.

Krokové motory s aktivním rotorem s axiálně orientovaným magnetem, se také nazývají jako hybridní, to z toho důvodu, že kombinují výhodné vlastnosti krokových motorů s pasivním rotorem a krokových motorů s aktivním rotorem s radiálně orientovaným magnetem. Kombinace těchto vlastností způsobila to, že jsou dnes nejpoužívanějším typem krokových motorů. V rotoru těchto motorů je použit axiálně orientovaný magnet, na jehož koncích jsou nalisovány pólové nástavce z feromagnetického materiálu, z nichž má každý jinou polaritu. Po obvodu pólových nástavců jsou vytvořeny zuby, které jsou stejně široké jako zuby na pólových nástavcích statoru. Dále jsou zuby na pólových nástavcích rotoru navzájem pootočený. Pokud se díváme na rotor tak, aby hnaná hřídel směřovala k nám, je vždy za zubem jednoho pólového nástavce mezera na druhém pólovém nástavci. Na statoru zuby na nástavcích pootočený nejsou. Typická velikost kroku

je přibližně $0,9^{\circ}$ - $3,6^{\circ}$. Většinou se vyrábějí jako dvoufázové, ale můžeme se setkat i s tří nebo pětifázovými. Jsou dražší než předchozí typ a nejčastěji se používají v průmyslu.



Obrázek 3.6 - Dvoufázový krokový motor s aktivním rotorem s axiálně orientovaným magnetem

Na obr. 3.6, je znázorněno zjednodušené konstrukční řešení hybridního KM, v levé části obrázku je jeho průřez. Pomocí pravé části obrázku a předchozích znalostí, může být odvozen způsob chodu tohoto motoru. Pokud není napájena žádná z fází, setrvává rotor v klidové poloze určené permanentním magnetem v jádře. Přivedením kladného napětí na vinutí A se vytvoří na horním pólovém nástavci severní pól, který přitáhne nejbližší zub pólového nástavce na jižním konci rotoru. Spodní pólový nástavec statoru spojený s horním do série tvoří jižní pól a přitáhne zub na severním konci pólového nástavce rotoru. Pro otočení o jeden krok se přestane napájet vinutí A a zároveň začne napájet vinutí B, pro další krok se napájí kladným napětím vinutí A' a následně se napájí vinutí B'. Z toho vyplývá, že pro otáčení jedním směrem se budí jednotlivá vinutí v pořadí A, B, A', B' a tento postup se stále opakuje, dokud není požadována změna chodu, zastavení nebo reverzace. Pro otáčení druhým směrem se budí vinutí v opačném pořadí, tedy B', A', B, A. Skutečné hybridní KM mají rotor rozdělen na mnohem větší počet zubů, např. pro krok $1,8^{\circ}$, na 50 zubů. Pólové nástavce jsou také rozděleny na zuby shodné šířky, jako zuby na rotoru. Kromě dvoufázového zapojení existují i třífázová i pětifázová. Jejich výhodou je menší krok, tudíž i přesnost polohování. Nevýhodou je složitější řízení.

Krokové motory mohou být řízeny více způsoby, tyto výše uvedené jsou nejjednodušší a nejvhodnější pro pochopení funkce těchto motorů.

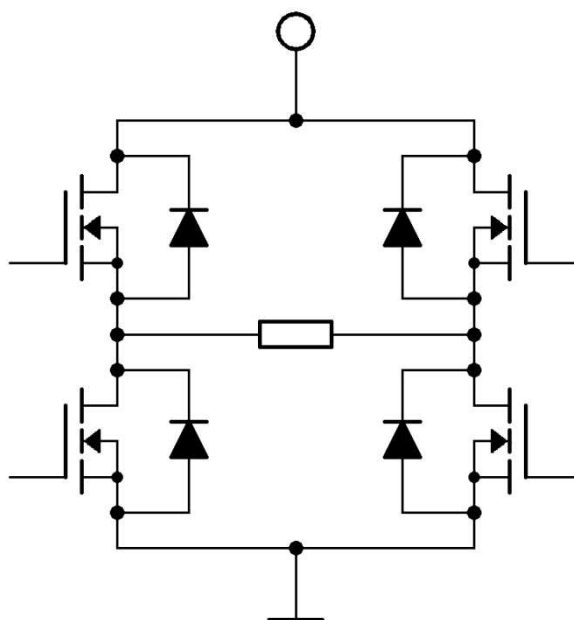
4 Řízení pohonu

Na řízení robotů se dá pohlížet z několika různých úhlů. První pohled je, zda bude robot řízen autonomně, nebo zda jej bude řídit operátor např. dálkovým ovládačem. Druhým možným pohledem je to, zda potřebuje mít zpětnou vazbu od motorů a vědět přesný úhel natočení, rychlost otáčení, nebo ujetou vzdálenost. Nejdůležitější je rozhodnout, jakým způsobem budou řízeny přímo samotné motory. Způsob řízení motorů se pro jednotlivé typy motorů liší a existují pro ně i různé možnosti.

4.1 Řízení motorů

4.1.1 Stejnoseměrný motor

Nejjednodušším způsobem řízení stejnosměrného motoru je řízení změnou úrovně napájecího napětí. Tento způsob řízení je ovšem poměrně energeticky náročný. Aby bylo možno dosáhnout otáčení motoru na druhou stranu, je potřeba změnit směr proudu tekoucího vinutím rotoru. Proto je potřeba použít bipolární způsob napájení nebo H-můstek. Dnes se dává přednost především H-můstkům, tyto se vyrábějí ve dvou verzích, určené pro lineární změnu proudu, nebo pro PWM signál. Jejich zapojení se liší především jinými typy tranzistorů. Oba typy H-můstků se liší také jiným způsobem řízení.



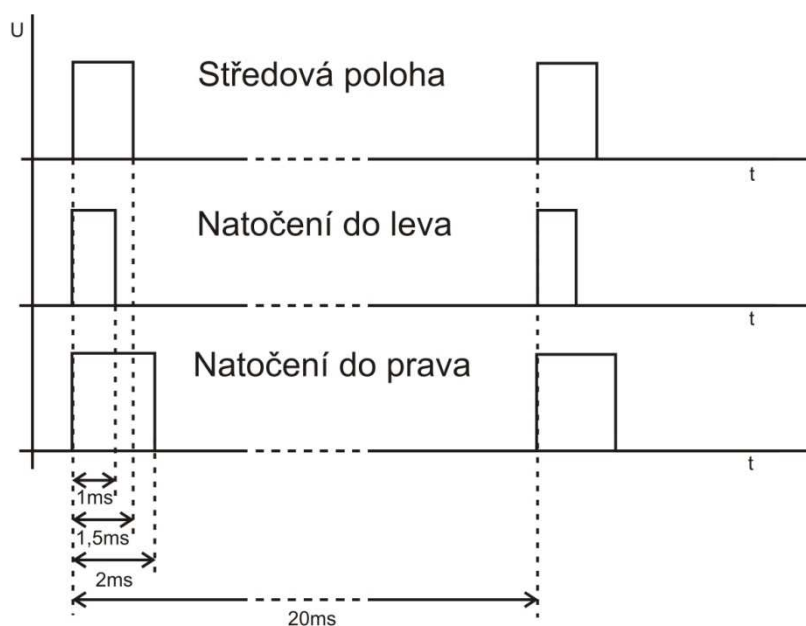
Obrázek 4.1 - H-můstek

PWM signál je obdélníkový signál, který má stále stejnou frekvenci, je u něj řízena šířka pulzů závisle na požadovaném napětí. Hlavní výhodou pro řízení motorů je taková, že

jsou tranzistory zcela otevřeny nebo zcela zavřeny a tím na nich dochází k minimálním ztrátám. Ke ztrátám dochází pouze při sepínání a vypínání. Vhodně zvolenou frekvencí tak, aby doba sepnutí a vypnutí byla krátká proti periodě signálu, dochází k úspoře energie oproti lineárnímu řízení proudu. Nevýhodou při nevhodně zvolené frekvenci PWM signálu, v oblasti slyšitelného pásma, je možnost pískání motoru. Z tohoto důvodu se doporučuje používat frekvenci nad 20 kHz. Indukčnost motoru zajišťuje jistou latenci, díky níž sleduje výsledný proud střední hodnotu PWM signálu a tomu jsou úměrné i otáčky motoru.

4.1.2 Servomotor

Jak již bylo řečeno servomotor je také řízen pomocí PWM signálu. Při porovnání řízení stejnosměrného motoru pomocí PWM se způsobem řízení servomotoru, je zjištěna značná odlišnost. Pro řízení servomotoru má nejčastěji PWM signál frekvenci 50 Hz, to znamená jeden impuls každých 20 ms. Středová poloha je u většiny typů serv při šířce pulzu 1,5 ms. Zvyšováním nebo snižováním šířky pulzu se hřídel otáčí jedním nebo druhým směrem až do krajní polohy. Šířku pulzů můžeme většinou nastavovat v rozmezí $\pm 0,5$ ms od středové polohy. Existují i serva, která mají tento rozsah podstatně vyšší např. $\pm 0,9$ ms. To je dobré vždy zkontrolovat, když připojujeme nové servo za jiný typ starého serva, aby nedocházelo k nárazům do mezních poloh a tím ke snižování životnosti. Většinou se dají šířky pulzů pro krajní polohy přeprogramovat.



Obrázek 4.2 - Průběhy signálů pro řízení servomotoru

4.1.3 Krokový motor

Pro řízení krokových motorů může být použito totožné zapojení H-můstku jako pro řízení stejnosměrných motorů pomocí PWM. Jediný rozdíl je zde v jejich počtu, zde musí být použit pro každé vinutí. Tedy, pokud má být tímto způsobem řízen dvoufázový hybridní KM, musí být použito dvou H-můstků. Z důvodu rozsáhlosti tohoto tématu bude popsáno pouze řízení dvoufázového hybridního krokového motoru. Nejideálnějším typem dvoufázového hybridního motoru pro popis řízení je motor s univerzálním uspořádáním fází, který má 8 vyvedených vodičů. To znamená, že na jednom pólovém nástavci je vinutí rozděleno na poloviny, každá polovina fáze má vyveden z pouzdra svůj začátek a konec. Takto vyvedené fáze mohou být spojeny podle vybraného způsobu řízení. Způsob řízení může být unipolární nebo bipolární, název těchto způsobů je odvozen od toho, kolik zdrojů napětí by muselo být použito pro simulaci chodu KM. Z toho plyne, že pro unipolární vinutí by byl použit pouze jeden zdroj a pro bipolární řízení dva zdroje, pro bipolární řízení je používán H-můstek a tím odpadá nutnost dvou zdrojů. Každá z těchto metod nalezne různé uplatnění, pokud je vyžadován velký kroutící moment při nízkém krokovacím kmitočtu, bude vhodnější použít bipolární zapojení a naopak. U unipolárního řízení mohou být poloviny fází spojeny buď sériově, kdy jsou vyvedeny dva a dva konce vinutí a jejich středy, tedy 6 vodičů, nebo paralelně, kdy jsou vyvedeny dva a dva konce vinutí a jejich spojené středy, tedy 5 vodičů. Unipolární řízení spočívá v tom, že středy jsou napájené a jednotlivé poloviny vinutí jsou spínány proti zemi, podle toho jakým směrem se má výstupní hřídel otáčet. Dále se bude popsáno bipolárnímu řízení dvoufázového hybridního KM.

Bipolární řízení může být dále řazeno podle složitosti následovně. Jednofázové řízení, pomocí H-můstku je napájena pouze jedna fáze, tyto fáze jsou postupně spínány tak, aby se rotor otáčel, jednofázové řízení bylo více popsáno v kapitole 3.3. Pro dvoufázové řízení je použit stejný řídicí obvod, jako u jednofázového. V tomto případě jsou ovšem spínány 2 fáze současně, z toho vyplývá, že je rotor vždy pootočen o polovinu kroku proti jednofázovému řízení. Velikost kroku, ale zůstává stále stejná. Hlavní výhodou tohoto typu řízení proti předchozímu je větší kroutící moment na výstupní hřídeli. Jako zástupce dvoufázového řízení můžeme vybrat čtyřtaktní dvoufázové řízení, kde jsou fáze buzeny v tomto pořadí AB, BA', A'B', B'A, nebo opačně, podle požadovaného směru otáčení. Řízení, které v sobě kombinuje předchozí dva způsoby a používá také H-můstek, se

jmenuje řízení s polovičním krokem. Jsou zde spínány jak jednotlivá vinutí, tak i jejich páry a to následovně A, AB, B, BA', A', A'B', B', B'A. Tomuto typu se také říká osmitaktní řízení. Hlavní nevýhodou je proměnný kroutící moment na výstupní hřídeli. Toto se dá odstranit tak, že v momentě, kdy je sepnuta pouze jedna fáze, se zvýší proud procházející touto fází. Aby bylo možné tuto úpravu provést, musí být obětováno jednoduché řízení pomocí H-můstku za složitější. Při zvýšení proudu jedním vinutím, je toto vinutí přetěžováno, a proto se nedoporučuje v tomto okamžiku motor zastavovat. Při jistém krokovacím kmitočtu může také dojít k problémům s rezonancí. Tento problém se dá odstranit použitím mikrokrokování. Mikrokrokováním je také dosaženo dalšího snížení velikosti kroku. Dělení kroku se nejčastěji provádí v mocninách dvou. Čím jemnějšího mikrokrokování je dosaženo tím menší se vyskytují problémy s rezonancí. Aby byl na výstupní hřídeli stále stejný moment, musí být opět regulován proud procházející fázemi. Z toho plyne největší nevýhoda tohoto druhu řízení, složitý a poměrně drahý řídicí člen.

4.2 Zpětnovazební řízení

Zpětná vazba je v automatizaci používána k tomu, aby bylo možno zjistit skutečný stav zařízení a v závislosti na tomto stavu ovlivňovat vstup řízené soustavy. Existuje kladná a záporná zpětná vazba, ta se používá nejčastěji. K zjištění skutečného stavu jsou zapotřebí snímače požadovaných veličin. Pro zpětnovazební řízení pohonů jsou nejčastěji potřeba snímače natočení.

4.2.1 Snímače natočení

Nejdůležitějším požadavkem na snímače je, aby neovlivňovali měřenou veličinu, nebo celou měřenou soustavu. Pro snímání natočení tento požadavek splňuje několik druhů snímačů. Jsou to na příklad snímače optoelektronické, indukční a kapacitní. Snímače mohou být dále děleny na inkrementální a absolutní. Princip inkrementálních snímačů bude vysvětlen na optoelektronickém snímači. Tento snímač se skládá z pohyblivého kotoučku umístěného na hřídeli, jejíž otáčky mají být snímány, nepohyblivého stínítka před snímači, snímačů, kterými bývá fototranzistor a zdroj světla. Po obvodu pohyblivého kotoučku jsou průhledné a neprůhledné rysky, jejich rozestup určuje citlivost snímače. Tento kotouček bývá doplněn další ryskou, mimo „hlavní kruh rysek“, která určuje právě jednu otáčku a používá se též jako referenční bod. Pro toto vylepšení musí být použit druhý zdroj světla a snímač. Aby bylo možno rozlišit směr otáčení, musí být podle [1], použit

třetí pár, zdroj světla, snímač na „hlavním kruhu rysek“, ovšem posunutý o úhel α proti prvnímu páru.

$$\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{2\pi}{n} \quad (4.1)$$

kde α – úhel posunutí druhého zdroje

n – počet rysek na otáčku

k – celé číslo

Absolutní snímače natočení budou taktéž popsány pomocí optoelektronického snímače natočení, pro možnost snadnějšího porovnání obou typů. Výstupem z tohoto snímače je přesný úhel natočení, u předchozího to byl sled pulzů a ten musel být dále vyhodnocován. Aby toho bylo dosaženo, potřebujeme větší počet snímacích prvků, který je závislý na rozlišení snímače. Konstrukce je velmi podobná, optoelektronický absolutní snímač natočení se také skládá ze zdroje světla, pohyblivého kotoučku, stínítka a snímačů. Na pohyblivém kotoučku již není pouze „hlavní kruh rysek“, ale úhel natočení v přímém binárním kódu nebo zakódovaný pomocí Grayova kódu. Výhoda binárního kódu je zřejmá, úhel se nemusí převádět, na rozdíl od Grayova kódu na skutečný úhel. Pomocí Grayova kódování ovšem docílíme odstranění možných chyb, protože sousední hodnoty se vždy liší pouze v jednom bitu. Z hodnot naměřených pomocí snímačů natočení můžeme dále vypočítat rychlost otáčení, rychlost pohybu celého robota, nebo pokud nedochází k prokluzu kol, polohu robota proti výchozí pozici.

5 Vlastní konstrukce

Cílem bylo vytvořit řídicí jednotku podvozku mobilního robota. Řídicí jednotka se skládá ze dvou částí a to z logické části a výkonové části. Logická část obsahuje mikroprocesor a součástky potřebné pro jeho chod, napájecí obvod, rozhraní pro sériové programování ICSP, komunikační rozhraní, rozhraní pro připojení výkonové části a rozhraní umožňující další rozšíření tohoto modulu. Výkonová část obsahuje pouze integrovaný obvod L6207 se součástkami nutnými pro jeho chod, zdroj referenčního napětí a rozhraní pro připojení k logické části. Řídicí jednotka je připevněna v podvozku mobilního robota.

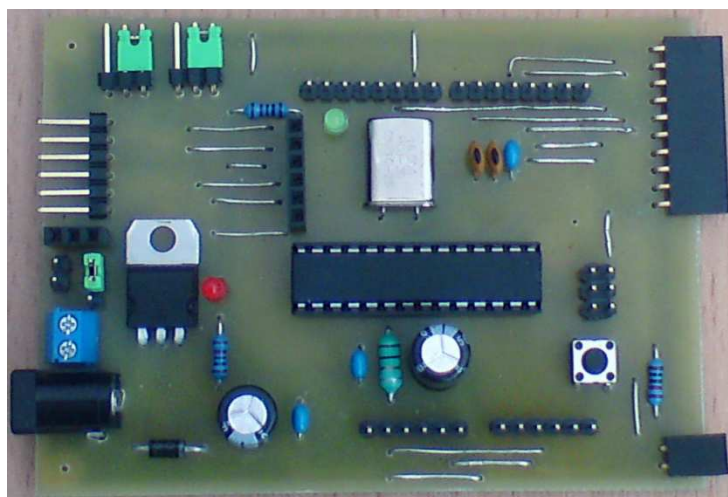
Jako podvozek byl zvolen podvozek MOB-03 od výrobce Hobbyrobot. Tento podvozek již obsahuje čtyři motory MG37, s převodovkou na výstupní hřídeli z motoru. Motory jsou řízeny pomocí PWM signálu, generovaným procesorem ATmega8 a dále zpracovávaným v integrovaném obvodu L6207. Celý robot je napájen pomocí NiMH baterií. Napětí z baterií je dále upraveno pomocí obvodu 78L05, pro napájení mikroprocesoru a obvodem TL431, na jehož výstupu je referenční napětí pro obvod L6207.

5.1 Podvozek

Podvozek MOB-03 od výrobce Hobbyrobot byl zvolen z důvodu dobré dostupnosti. Umožňuje snadné upevnění jednotlivých modulů díky duralovým profilům Ítem. Obsahuje čtyři stejnosměrné motory s převodovkou, s převodovým poměrem 36:1, GM37-150 s touto převodovkou a motory by se měl podvozek pohybovat rychlostí 0,68 m/s při 75 % maximálních otáček. Při napájení motoru 12 V a bez zátěže na hřídeli má motor odběr 80 mA, proud na krátko je 0,85 A. Podvozek s připevněnými koly je 240 mm dlouhý, 270 mm široký a 115 mm vysoký.

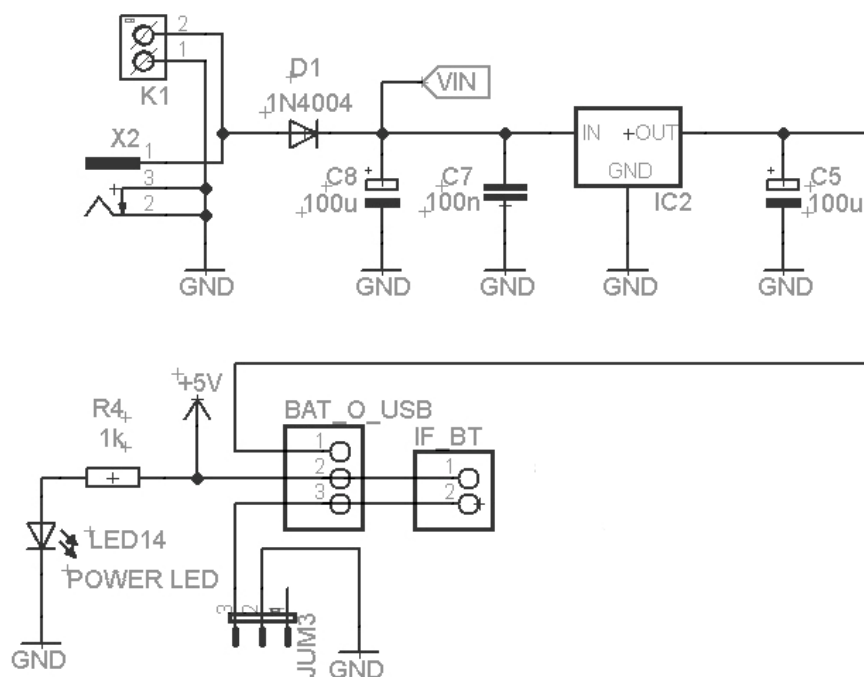
5.2 Logická část

Logická část na obr. 5.1 slouží jako „základní deska“ dají se k ní připojovat různé periferie a řídí chod celého systému. Řídí pohyb robota, zajišťuje komunikaci s operátorem a umožňuje ovládání dalších periférií, které mohou být připojeny na volné porty mikroprocesoru.



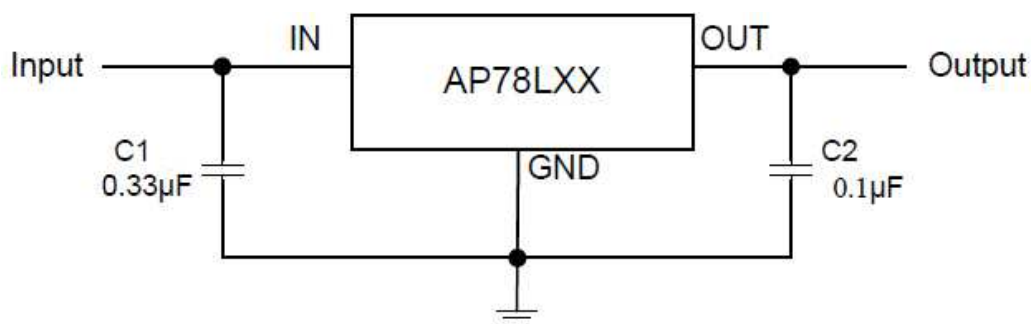
Obrázek 5.1 - Finální podoba logické části

5.2.1 Napájecí obvod



Obrázek 5.2 - Vlastní zapojení napájecího obvodu

Napájení logické části je možné několika způsoby, připojení k napájení je vždy indikováno LED diodou LED14, která je pojmenována jako POWER LED. Jedním způsobem je napájení pomocí napětí 5 V z USB, přes komunikační rozhraní. Napětí z USB již nemusí být dále upraveno a je rozvedeno po celé logické části. Další možností je napájení pomocí NiMH baterií nebo laboratorního zdroje, zdroj i baterie se připojují ke stejným konektorům. Vstupní napětí, při tomto způsobu napájení je 12 V. To je dále upraveno regulátorem 78L05 na 5V.

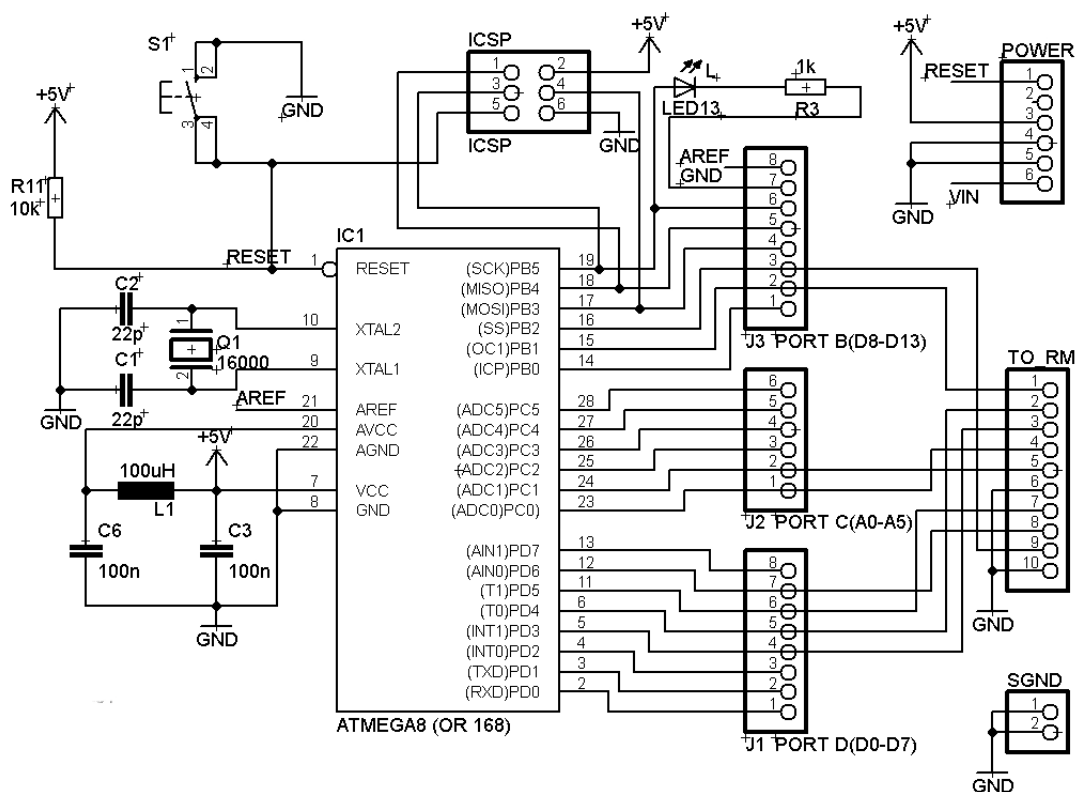


Obrázek 5.3 - Zapojení obvodu 78L05 podle datasheetu [4]

Tento obvod je zapojen podle typického zapojení uvedeném v datasheetu, obr. 5.3. Pokud je dostupné napájení z baterií/laboratorního zdroje nebo z USB, můžeme si mezi nimi vybrat pomocí jumperu BAT_O_USB. Na obr. 5.1 je vidět další jumper pojmenovaný IF_BT, ten slouží k tomu, aby bylo možné napájet bezdrátový komunikační modul z baterií/laboratorního zdroje.

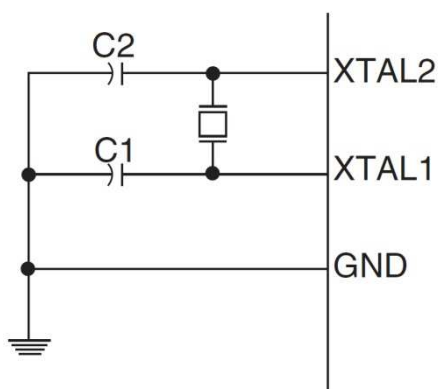
5.2.2 Mikroprocesor

Jako řídicí jednotka byl zvolen mikroprocesor ATmega8. Což je 8 bitový mikroprocesor od firmy Atmel AVR s 8 KB programovatelné flash paměti, 512 B EEPROM, 1 KB integrované RAM, dvěma 8 bitovými čítači/časovači, jedním 16 bitovým čítačem/časovačem, třemi PWM kanály a 28 programovatelnými I/O porty, více informací je napsáno v datasheetu [5]. Tyto vlastnosti jsou pro tuto řídicí jednotku dostačující.



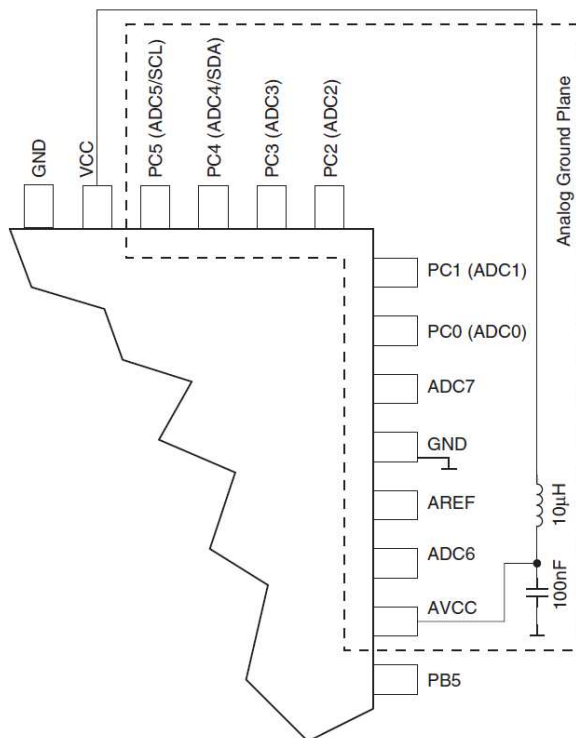
Obrázek 5.4 - Zapojení mikroprocesoru

Schéma zapojení mikroprocesoru je znázorněno na obr. 5.4. Pro chod mikroprocesoru je nutné použít generátor hodinového signálu. Procesor ATmega8 má integrovaný generátor o frekvenci 8 MHz. V řídicím obvodu byl ovšem použit generátor externí s frekvencí 16 MHz. Z těchto dvou generátorů si můžeme vybrat při programování. Externí generátor s frekvencí 16 MHz je realizován pomocí krystalového oscilátoru Q1 a dvou kondenzátorů C1 a C2 s kapacitou 22 pF, zapojení krystalového oscilátoru na obr. 5.3 je totožné se zapojením v datasheetu, obr. 5.5.



Obrázek 5.5 - Zapojení krystalového oscilátoru podle datasheetu [5]

Dalším obvodem připojeným k mikroprocesoru je dolnoprostopustný LC filtr, který slouží k odstranění šumu s vysokou frekvencí na vstupu pro napájení ADC. Je realizován cívku L1 a kondenzátorem C6, podle zapojení v datasheetu, obr. 5.6.

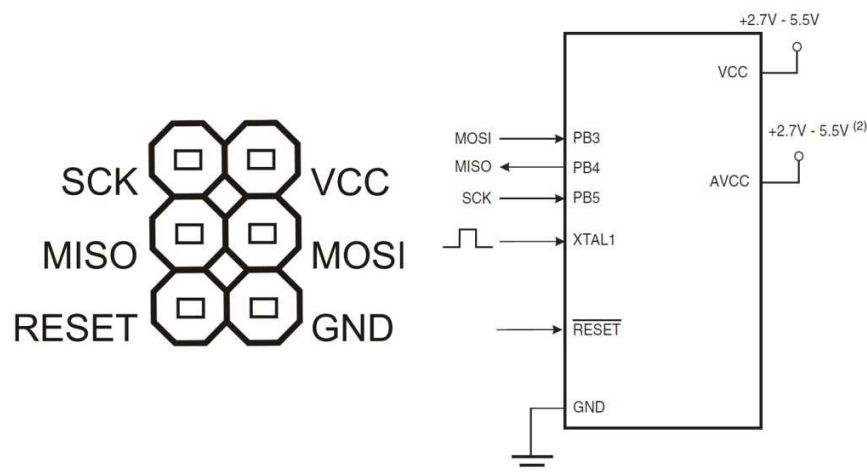


Obrázek 5.6 - Zapojení dolnoprostopustného LC filtru podle datasheetu [5]

Pro připojení výkonové části jsou zde vyvedené příslušné vývody z mikroprocesoru na konektor TO_RM. Aby bylo umožněno snadné rozšíření celého zapojení, jsou od mikroprocesoru vyvedeny všechny porty, včetně již použitých na konektory pojmenované J1 PORT D, J2 PORT C a J3 PORT B. ICSP konektor slouží pro programování mikroprocesoru.

5.2.3 Rozhraní ICSP

ICSP rozhraní, jak již sám název sériové programování v obvodu (z angl. in circuit serial programming) napovídá, slouží pro připojení programátoru, který umožní sériové programování mikroprocesoru zapojeného přímo v obvodu, odpadá tak nutnost demontáže a klesá riziko zničení mikroprocesoru, při manipulaci s ním. V levé části obr. 5.7 je znázorněno rozložení ICSP konektoru, v první části je znázorněno umístění jednotlivých vývodů, na mikroprocesoru ATmega8, potřebných pro ICSP programování, tak jak je znázorněno v datasheetu [5].



Obrázek 5.7 - Připojení vývodů ke konektoru a jejich umístění na mikroprocesoru

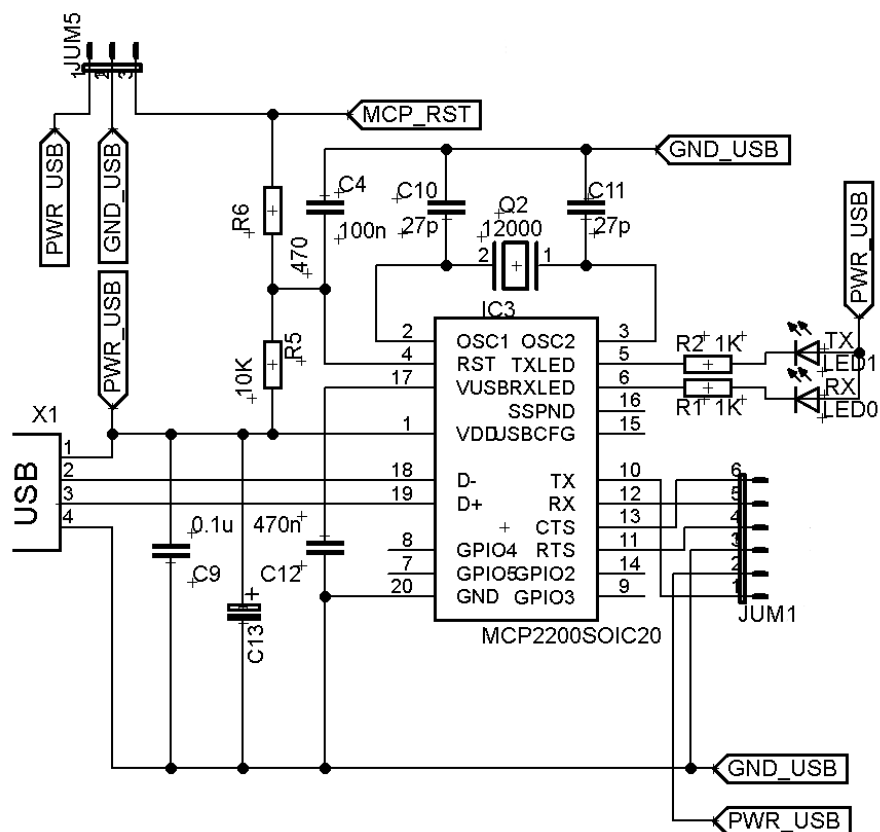
K programování přes ICSP rozhraní jsou potřeba tři signály SCK, MOSI a MISO. Frekvence přiváděná na SCK musí být nižší než $\frac{1}{4}$ kmitočtu hodinového signálu mikroprocesoru. Jak je uvedeno v [6], samotné sériové programování se skládá z následujících kroků.

- Připojit napájecí napětí a uvést RESET do log. 1 a vyčkat nejméně 10 ms.
- Na vývod MOSI vyslat instrukci povolující sériový zápis do paměti.
- Vysláním příslušné formátové instrukce zápisu naprogramovat 1 B.
- Zápis lze verifikovat zasláním instrukce pro čtení, která na vývodu MISO vrátí obsah žádané adresy
- Po poklesu RESET do log. 0 se MCU vrátí k běžné činnosti

Veškeré informace o seriovém programování firma Atmel zveřejnila a díky tomu mohla vzniknout celá řada programátorů, jak od profesionálních tak od amatérských konstruktérů.

5.2.4 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní je připojováno k patici na „základní desce“. Patice je realizována konektory JUM2 a JUM3. Na tuto patici je možno připojit dvě různá komunikační prostředí. Jedno je určeno pro komunikaci s PC a druhé pro bezdrátovou komunikaci s ovladačem.

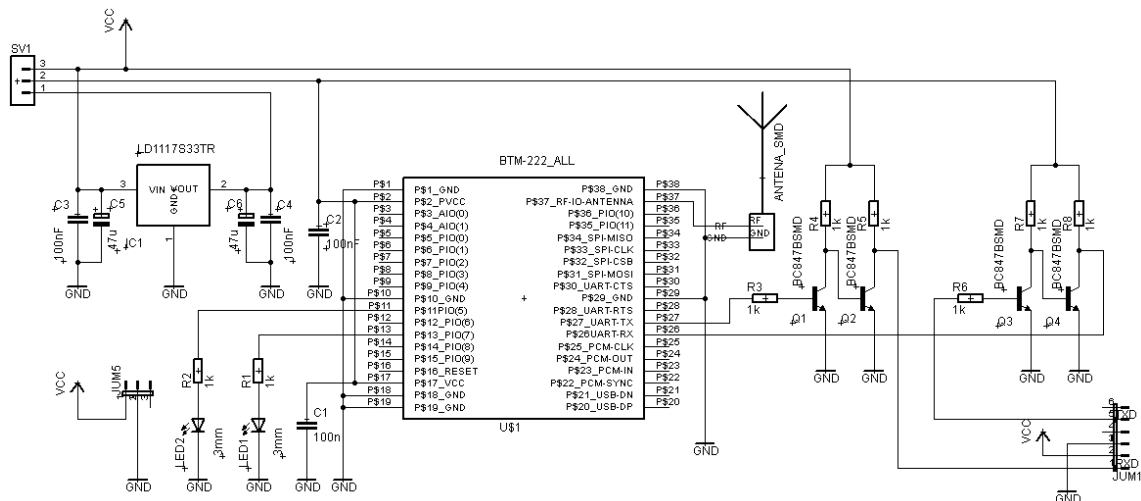


Obrázek 5.8 - Komunikační rozhraní USB 2.0 - UART

Hlavním obvodem komunikačního rozhraní určeného pro komunikaci s PC je převodník z USB 2.0 na UART od firmy Microchip označený MCP2200. „Obvody MCP2200 jsou ve skutečnosti naprogramovaným mikroprocesorem PIC18F14K50, od téže firmy. Mají naprosto shodné rozložení pinů a provozní vlastnosti, pouze na sobě nesou jiné označení.“ [7]. Toto rozhraní může také sloužit pro sledování průběhu komunikace, kdy je tento průběh zobrazován v terminálovém programu na PC. Konstrukce obvodu je znázorněna na obr. 5.8 a obr. 5.9.



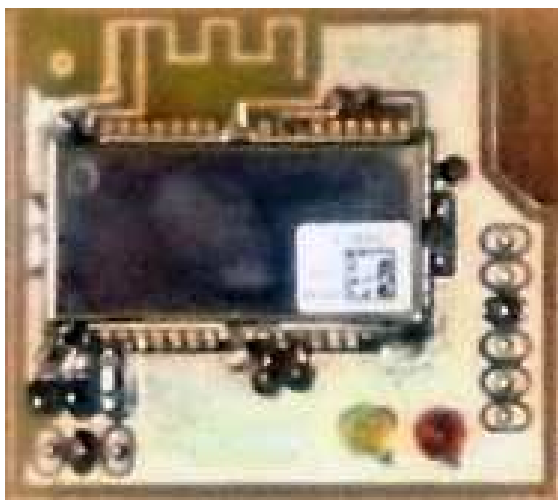
Obrázek 5.9 - Finální podoba komunikačního rozhraní USB 2.0 - UART



Obrázek 5.10 – Bezdrátové komunikační rozhraní s BTM-222

K bezdrátovému propojení s ovladačem je použit bluetooth modul BTM-222. Vzhledem k tomu, že tento obvod pracuje s 3,3 V logikou, bylo nutno zajistit redukcí z 5 V na 3,3 V pro data z procesoru odcházející, ze 3,3 V na 5 V pro data přicházející od ovladače a v neposlední řadě z 5 V na 3,3 V pro napájení celého obvodu. Schéma zapojení bezdrátové komunikační jednotky je znázorněno na obr. 5.10. Vlastnosti BTM-222 jsou podle datasheetu [8] následující :

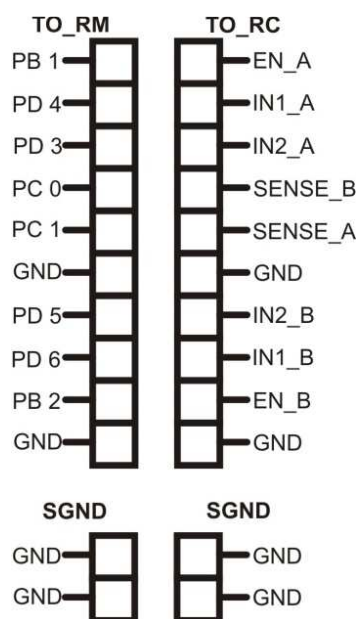
- výstupní výkon +18 dBm (class 1)
- napájecí napětí 3 V - 3,6 V
- průměrný odběr proudu 114 mA
- komunikační rozhraní USB, UART, SPI a PCM



Obrázek 5.11 - Finální podoba bezdrátového komunikačního rozhraní

5.2.5 Rozhraní pro připojení výkonové části

Výkonová část na obr. 5.13 je k logické části na obr. 5.4 připojována přes rozhraní realizované konektorem TO_RM, ze strany logické části a konektorem TO_RC ze strany výkonové části, pro větší stabilitu a pevnost spojení je z obou desek vyvedena zem na konektor pojmenovaný SGND.



Obrázek 5.12 - Vývody na ATmega8 a L6207 spojené rozhraním

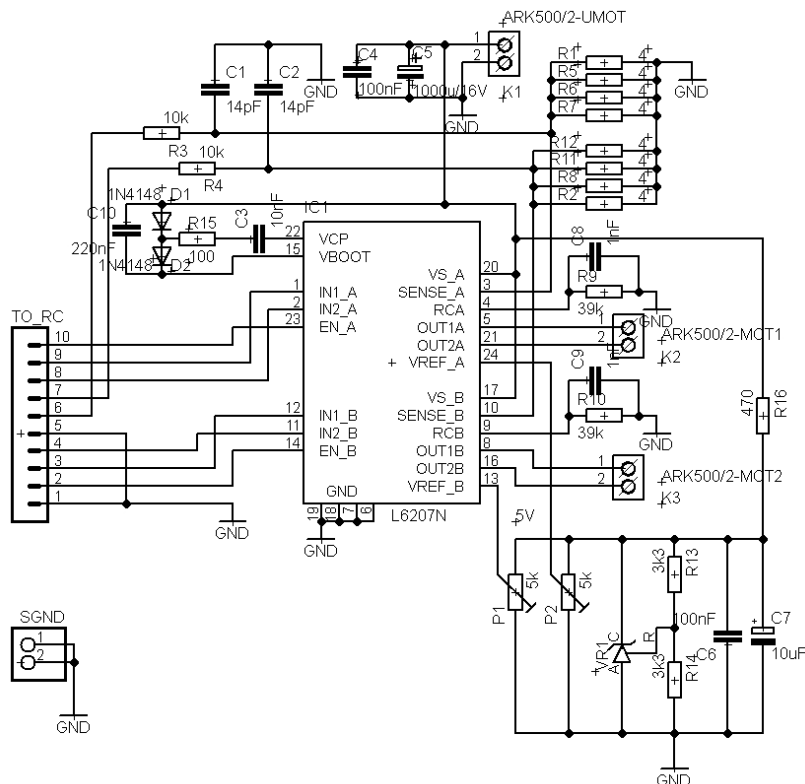
Na výstupech PB1 a PB2 z mikroprocesoru ATmega8 je generován PWM signál pro jednotlivé motory. Výstup PB1 generuje PWM signál pro H-můstek A. Na výstupu PB2 je PWM pro H-můstek B v obvodu L6207. Na výstupech PD3 – PD6 může být log. 1 nebo log. 0. Podle toho, který motor a jakým směrem se má otáčet. PD3 a PD4 určuje směr napětí procházející můstkem A. PD4 a PD5 určuje směr napětí procházejícího motorem připojeného k můstku B. Více o nastavení směru otáčení výstupní hřídele motoru bude popsáno v části pojmenované Zapojení a funkce obvodu L6207. Další dva porty PC0 a PC1 vyvedené na toto rozhraní jsou určeny pro realizaci zpětné vazby.

5.2.6 Rozhraní umožňující další rozšíření

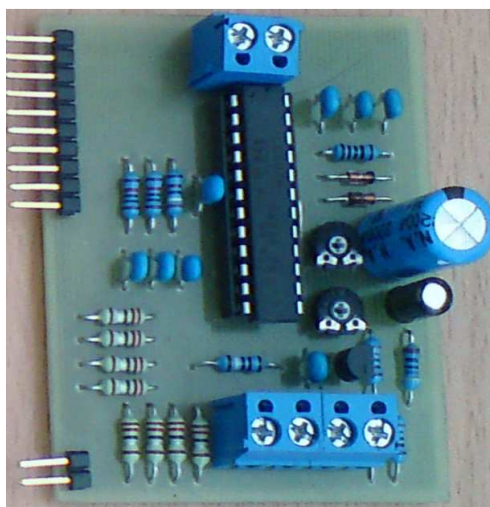
Kvůli možnosti rozšíření celého zapojení jsou vyvedeny všechny programovatelné výstupy z mikroprocesoru na konektory pojmenované J1 PORT D, J2 PORT C a J3 PORT B. Pro možnost napájení dalších přídatných desek je zde konektor POWER. Pro řízení motorů jsou použity pouze výstupy pojmenované PB1, PB2, PD3-PD6, PC0 a PC1. Všechny ostatní lze použít pro rozšíření

5.3 Výkonová část

Výkonová část na obr. 5.13 a obr. 5.14 je řešena jako periferie s možností připojení k „základní desce“ konektorem TO_RC a pro větší pevnost spojení konektorem SGND. Výkonová část se skládá z integrovaného obvodu L6207 a obvodů potřebných pro jeho činnost včetně stabilizovaného zdroje realizovaného obvodem TL431. Dále se skládá z konektorů pro připojení motorů, konektoru pro napájení výkonové části a zpětné vazby.



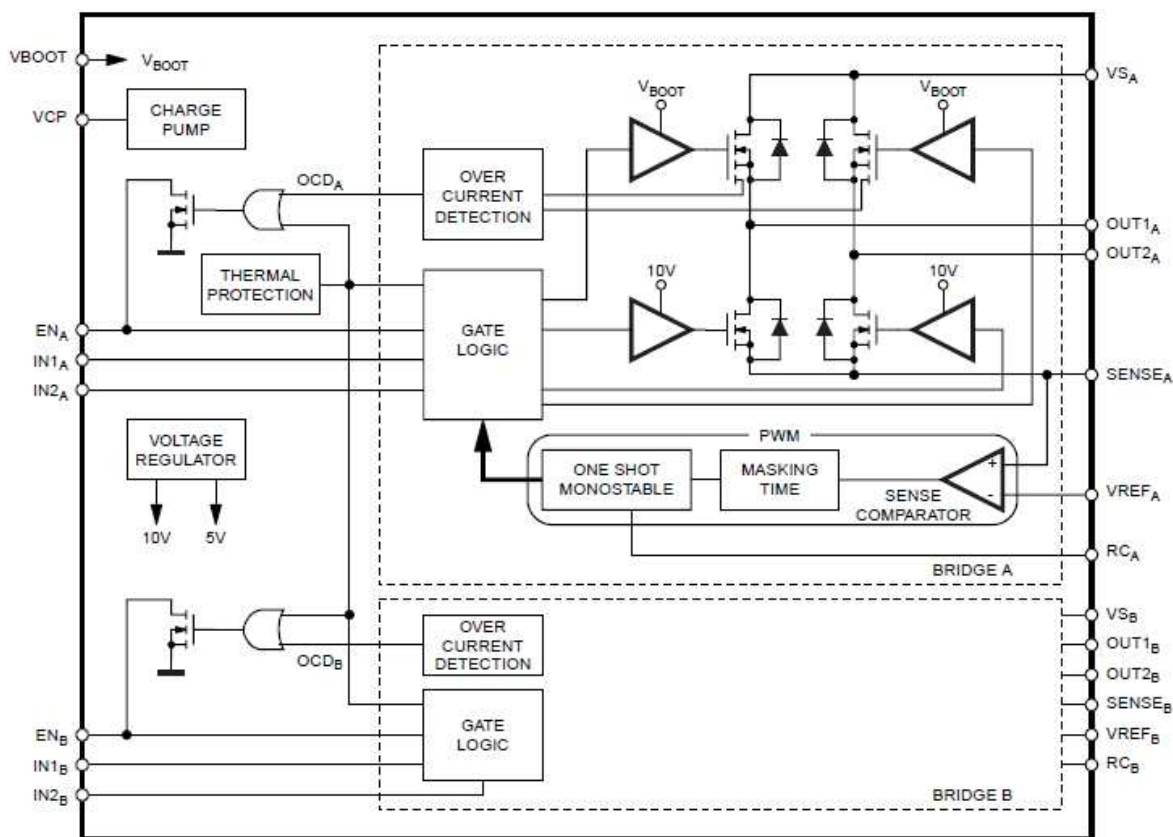
Obrázek 5.13 - Schéma výkonové části



Obrázek 5.14 - Finální podoba výkonové části

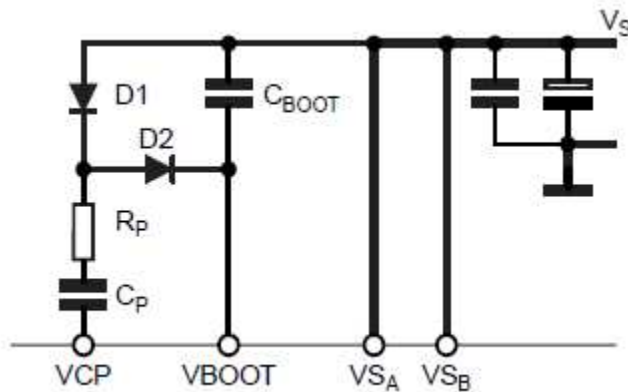
5.3.1 Zapojení a funkce obvodu L6207

Obvod L6207 je dvojitý H-můstek určený pro řízení motorů, jak pro řízení dvoufázového krokového motoru, tak pro řízení stejnosměrného komutátorového motoru. Obvod mimo jiné obsahuje dva identické obvody, které porovnávají proudy odebírané motory s proudy ze zdroje referenčního napětí. Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu je na obr. 5.15. Obvod TL431 realizuje zdroj referenčního napětí. Pomocí dvou paralelně zapojených, nastavitelných odporů, na výstupu referenčního zdroje, se nastavuje maximální proud tekoucí motory.



Obrázek 5.15 - Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu L6207 [9]

Brány tranzistorů v horní části můstků vyžadují, pro svoji činnost, větší napětí než je napětí napájecí, toto napětí je označováno VBOOT, z tohoto důvodu se používá nábojová pumpa. K realizaci nábojové pumpy se používá interní oscilátor a několik dalších externích součástek. Na výstupu VCP je obdélníkový signál s frekvencí 600 kHz a amplitudou 10 V. Zapojení nábojové pumpy na obr. 5.13 vychází ze zapojení uvedeného v datasheetu k součástce L6207, obr. 5.16.



Obrázek 5.16 - Zapojení nábojové pumpy [9]

Vývody $IN1_A$, $IN1_B$, $IN2_A$ a $IN2_B$ slouží k řízení směru otáčení výstupní hřídele motoru. Jsou připojeny přes konektor TO_RC přímo na programovatelné výstupy PD3-PD6 mikroprocesoru. Jak ovlivňuje logická úroveň na vstupech $IN1$ a $IN2$ obvodu L6207 výstupy $OUT1$ a $OUT2$ je rozepsáno v tabulce tab. 5.1.

Tabulka 5.1 - Pravdivostní tabulka pro vstupy obvodu L6207 [9]

INPUTS			OUTPUTS		Description
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2	
L	X	X	Z_V	Z_V	Disable
H	L	L	GND	GND	Brake Mode (Lower Path)
H	H	L	V_S	GND (V_S)	Forward
H	L	H	GND (V_S)	V_S	Reverse
H	H	H	V_S	V_S	Brake Mode (Upper Path)

kde X - nedefinovaný stav

L - log. „0“

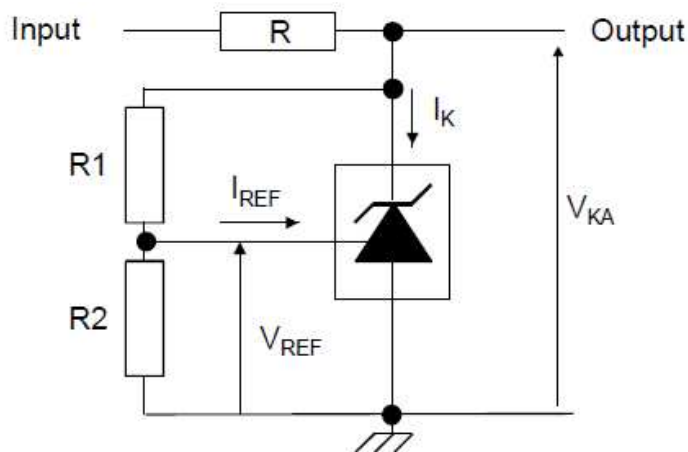
H - log. „1“

Z_V - vysoká výstupní impedance

GND (V_S) - GND během T_{on} , V_S během T_{off}

5.3.2 Zapojení a účel zdroje stabilizovaného napětí

Zdroj stabilizovaného napětí je tvořen obvodem TL431. Zapojení TL431 na obr. 5.13 vychází ze zapojení uvedeného v katalogu, obr. 5.17.

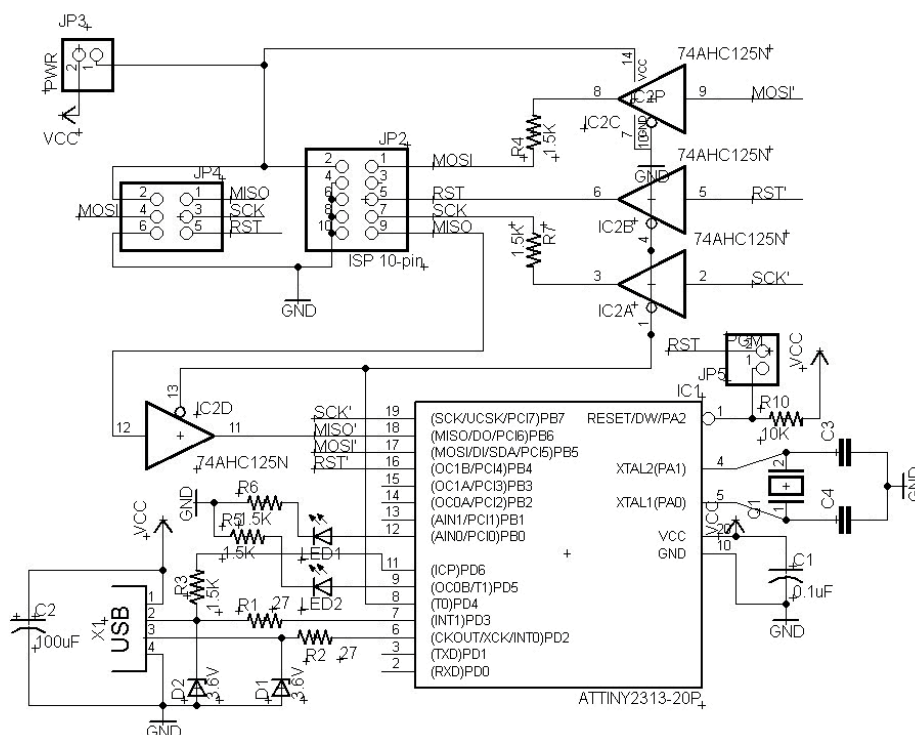


Obrázek 5.17 - Typické zapojení obvodu TL431 [10]

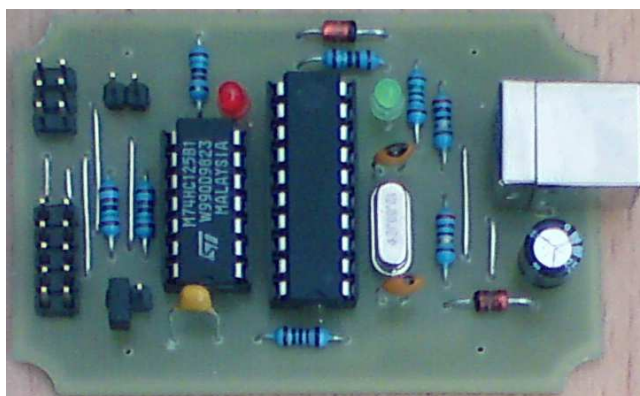
Do katalogového zapojení je přidán stabilizační kondenzátor a dva paralelně spojené, proměnné odpory pro možnost regulace proudu, s kterým se porovnává proud odebíraný motory. Při překročení tohoto proudu, se přestane napájet motor, kterým tento proud procházel. Doba, po kterou není motor napájen, je učena paralelní kombinací odporu a kondenzátoru připojené k vývodům RC. Velikost odporu a kondenzátoru je shodná pro oba můstky.

5.4 Programátor

Zapojení programátoru, který byl použit pro programování mikroprocesoru na řídicí části, vychází ze zapojení uvedeného na této web stránce [11]. Jedná se o jednoduchý open-source USB AVR programátor umožňující ICSP. Jeho konstrukce je velmi levná a snadná, což nic neubírá na jeho funkčnosti. Pracuje dobře s avrdude a je kompatibilní s AVRStudiem. V AVRStudiu byl vytvořen celý program ovládající mobilní robot. Hlavním rozdílem mezi programátorem z výše uvedených stránek a programátorem použitým pro programování je tištěný spoj. Ten byl kompletně přepracován na jednostrannou desku. Při této úpravě se změnilo i rozmístění jednotlivých součástek.



Obrázek 5.18 – Schéma zapojení programátoru



Obrázek 5.19 - Finální podoba programátoru

5.5 Firmware

Po vývoj firmware bylo použito prostředí AVR Studio. Tento program je poskytován zdarma, přímo výrobcem mikroprocesorů Atmel. V základní instalaci poskytuje pouze možnost programování v jazyce symbolických adres. AVR Studio lze rozšířit sadou nástrojů WinAVR, které obsahují GNU GCC kompilátor pro programovací jazyk C a C++. Celý program byl napsán v programovacím jazyce C.

Program se stará o příjem informace přes sériovou linku, zpracování této informace a obsluhu pohonů podle této informace. Pro přenos informace, musel být vytvořen komunikační protokol a nastaveny registry ovládající UART. Pro obsluhu motorů bylo nastaveno několik portů jako výstupní, kombinace jejich výstupů řídí směr otáčení a byly nastaveny registry ovládající PWM generátor pro ovládání rychlosti otáčení motorů.

5.5.1 Komunikační protokol

Komunikační protokol je velmi jednoduchý, obsahuje pouze jeden byte, v kterém jsou obsaženy všechny informace potřebné pro řízení podvozku. V prvních čtyřech bitech je obsažena rychlost motoru, 4. bit řídí směr otáčení, 5. bit určuje, pro který motor jsou tyto informace určeny, 7. a 6. bit je prázdný. Byte informace je znázorněn v tabulce tab. 5.2.

Tabulka 5.2 - 1 byte komunikačního protokolu

7. bit	6. bit	5. bit	4. bit	3. bit	2. bit	1. bit	0. bit
		MOTOR	SMER	R Y C H L O S T			

Rychlost otáčení motorů obsažená v tomto protokolu je v rozmezí od 0% do 100% maximálních otáček, tak jak je znázorněno v tabulce tab. 5.3. V závislosti na těchto hodnotách se mění šířka pulsů, generovaných generátorem PWM signálu. Šířka pulsů PWM signálu je rozdělena postupně od 0, při nulové šířce pulsů PWM signálu je výstup z generátoru nulový a motor se neotáčí, až do 255, kdy je výstup generátoru opět téměř konstantní s tím rozdílem, že jeho hodnota není nulová, ale 5 V.

Tabulka 5.3 - Kódování rychlosti v komunikačním protokolu

3. bit	2. bit	1. bit	0. bit	Rychlost otáčení
0	0	0	0	0%
0	0	0	1	10%
0	0	1	0	20%
0	0	1	1	30%
0	1	0	0	40%
0	1	0	1	50%
0	1	1	0	60%
0	1	1	1	70%
1	0	0	0	80%
1	0	0	1	90%
1	0	1	0	100%

Kombinace 4. a 5. bitu určuje, jaký motor se má otáčet kterým směrem. Podle těchto kombinací, uvedených v tab. 5.4, jsou v programu následně nastaveny výstupy PD3 – PD6. Ke změně směru otáčení nedochází skokově, z důvodu snižování životnosti motoru a převodovky, ale nejprve dojde k postupnému zastavení motoru, následně ke změně výstupů udávajících směr otáčení, tak jak je uvedeno v tab. 5.1 posledním krokem reverzace chodu motoru je zrychlení na opačnou stranu, jinak řečeno zvýšení šířky pulzů PWM signálu na požadovanou hodnotu.

Tabulka 5.4 - kombinace 5. a 4. bitu v komunikačním protokolu

5. bit	4. bit	význam
MOTOR	SMER	
0	0	motorA vpřed
0	1	motorA vzad
1	0	motorB vpřed
1	1	motorB vzad

5.5.2 Nastavení I/O

Aby bylo možné řídit směr otáčení motorů je potřeba nastavit porty PD3 – PD6 jako výstupy. Toho se docílí nastavením požadovaných bitů v registru DDRD. Tento registr určuje, zda jsou jednotlivé piny procesoru nastaveny jako výstupy, nebo jako vstupy. Logická „0“ v jednotlivých bitech tohoto registru znamená, že jsou piny přiřazené těmto bitům nastaveny jako vstupní. Logická „1“ nastaví příslušné piny jako výstupní. Nastavení pinů PD3 – PD6 jako výstupních v jazyce C vypadá následovně.

```
//nastaveni portu PD
DDRD = (1<<PD3)|(1<<PD4)|(1<<PD5)|(1<<PD6);
```

5.5.3 Nastavení registrů pro PWM

Pro generování PWM signálu musí být nastaveno několik registrů obsluhujících 16 b čítač/časovač. Tento čítač/časovač poskytuje dva oddělené výstupní kanály. Jeden kanál je použit jako zdroj PWM signálu pro motorA a druhý kanál pro motorB. Nastavení registrů obsluhujících čítač/časovač bylo provedeno následovně.

```
//navtaveni generatoru a porovnavani vystup
TCCR1A = (1<<WGM10) | (1<<COM1A1) | (1<<COM1B1);
//nastaveni preddelicky
TCCR1B = (1<<CS12) | (1<<CS10);
```

TCCR1A a TCCR1B jsou 8 b registry, jejichž pomocí lze nastavit chování 16 b čítače/časovače, chování je společné pro oba kanály. Obsah těchto registrů je znázorněn v obr. 5.20. V tomto případě bylo nastaveno generování PWM signálu, způsob porovnávání výstupu a byla nastavena předdělička. Šířka impulzů PWM signálu se nastavuje registry OCR1A a OCR1B, oba registry jsou 16 bitové.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 5.20 - Struktura registrů TCCR1A a TCCR1B [5]

5.5.4 Nastavení registrů pro UART

Pro příjem informací od operátora je potřebné nastavit registry obsluhující UART. Komunikace přes UART je možná za použití pouhých dvou vodičů RXD a TXD. RXD na výstupu PD0 slouží jako vstupní pin a TXD na výstupu PD1 slouží jako pin výstupní.

```
//povoleni zapisu a vysilani
UCSRB |= (1<<RXEN) | (1<<TXEN);
//nastaveni delky znaku na 8b
UCSRC |= (1<<UCSZ0) | (1<<UCSZ1);
//nastaveni baud rate (modulační rychlosti)
UBRRH = 0;
UBRRL = 3;
```

Nastavení UART je velmi jednoduché, k jeho zprovoznění stačí nastavit pouhé dva registry UCSRB a UCSRC. Struktura registrů UCSRB a UCSRC je znázorněna na obr. 5.21. V UCSRB stačí povolit čtení a zápis a v UCSRC je nastavena délka znaku. Poslední, co musí být nastaveno je modulační rychlost, tak zvaný baud rate. Baud rate musí být stejný na straně přijímače i na straně vysílače.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	0	0	0	0	1	1	0	

Obrázek 5.21 - Struktura registrů UCSRB a UCSRC [5]

6 Závěr

Práce se zabývala návrhem a konstrukčním řešením elektronické jednotky řízení otáček stejnosměrných motorů určených pro pohonnou jednotku podvozku mobilního robota. V práci jsem nejprve stručně popsal různé způsoby dělení robotů a jejich konstrukcí, dále jsem popsal několik typů motorů, různé možnosti jejich řízení a snímání otáček potřebných pro realizaci zpětné vazby. V praktické části jsem popsal konstrukci řídicí jednotky a jejich podpůrných obvodů.

Pro řízení celé jednotky jsem, podle zadání práce, zvolil mikroprocesor firmy Atmel řady ATmega s označením ATmega8. Tímto mikroprocesorem je řízen dvojitý H-můstek L6207, který mne překvapil svou výbornou funkčností a tím že se nijak výrazně nezahřívá ani při přetížení motorů a průchodu proudu nakrátko. Proud nakrátko je omezen přibližně na 1,5 A.

Během konstrukce, oživování a testování funkčnosti obvodů se nevyskytli žádné problémy a řídicí jednotka funguje bezchybně. Jediné potíže byly s programátorem, který občas nahlásil chybu. Na přímé příčiny této chyby se mi nepodařilo přijít, ale předpokládám, že by mohla být způsobena firmwarem nahraným v mikroprocesoru na desce programátoru. Po odpojení programátoru a jeho opětovném připojení fungoval většinou korektně.

Z důvodu rozsáhlosti práce a množství obvodů potřebných pro funkci a testování funkčnosti řídicí jednotky se mi nepodařilo stihnout navrhnout nabíjecí obvod pro NiMH baterie. Tyto baterie byly vybrány z důvodu velké odolnosti, jejich nevýhodou je vyšší hmotnost.

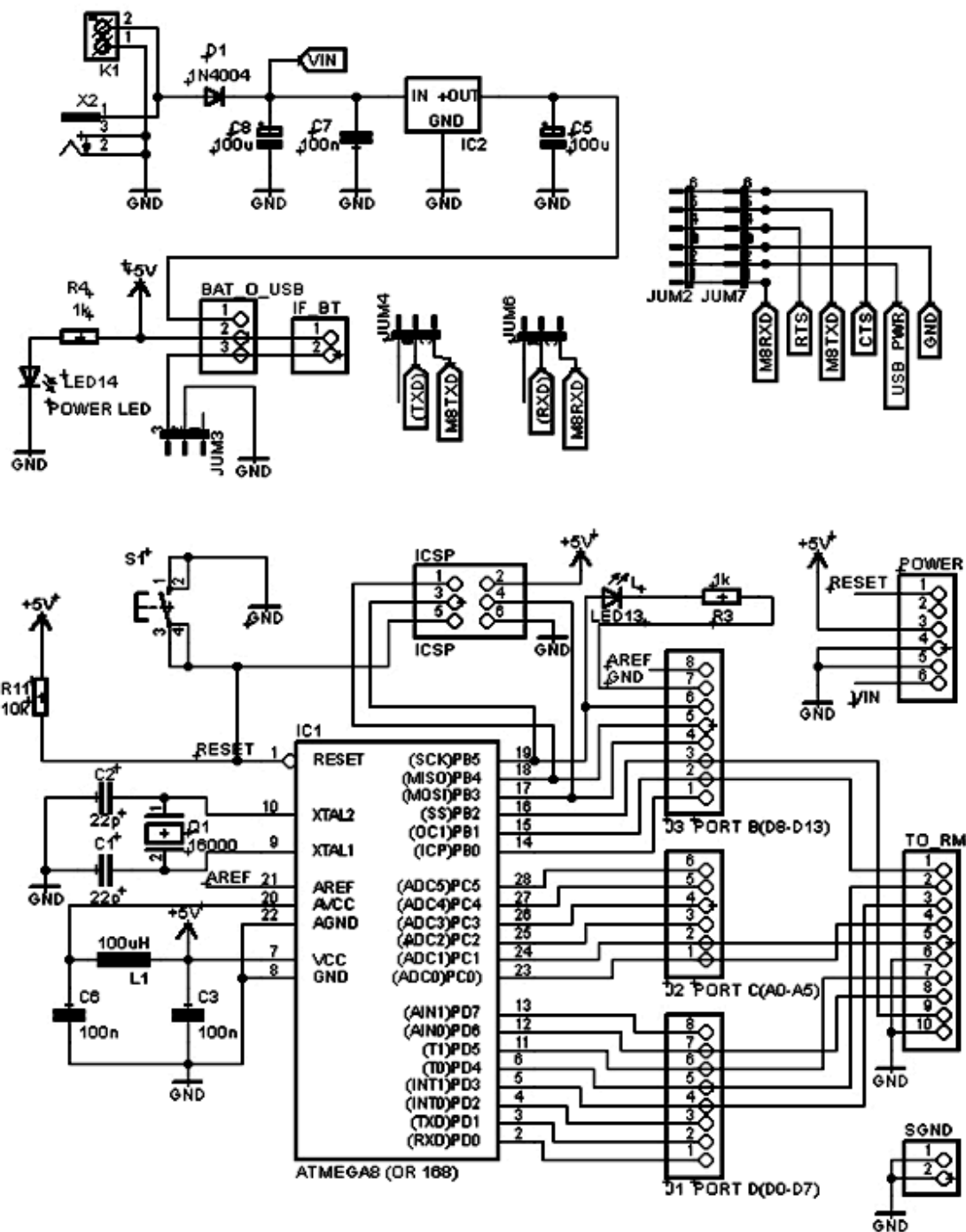
Uplatnění těchto obvodů vidím především v laboratořích školy, jako pomůcku při výuce programování mikroprocesorů. Vzhledem k umístění rozhraní, které umožňuje další rozšíření celé konstrukce doufám, že práce na této řídicí jednotce neustanou a že se najde nějaký nástupce. Ten by se mohl zabývat na příklad řešením orientace robota v prostoru.

Literatura

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení - 1. díl*. místo neznámé : BEN - technická literatura, 2005. 80-7300-141-1.
- [2] UZIMEX PRAHA, spol. s r.o. www.uzimex.cz. [Online] [Citace: 10. prosinec 2011.] http://www.uzimex.cz/soubory/20070103_maxon_serial.pdf.
- [3] ANALOG SERVOS - HiTec RCD. *HiTec RCD*. [Online] HiTec RCD. [Citace: 25. Březen 2012.] <http://www.hitecrcd.com/products/analog/index.html>.
- [4] Diodes Incorporated. Datasheet AP78LXX. *diodes.com*. [Online] [Citace: 25. duben 2012.] <http://www.diodes.com/datasheets/AP78LXX.pdf>.
- [5] Atmel. Datasheet ATmega8. [Online] [Citace: 25. duben 2012.] <http://www.atmel.com/Images/doc2486.pdf>.
- [6] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontrolery Atmel AVR - Popis procesoru a instrukční soubor*. Praha : BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-083-0.
- [7] PANDATRON. MCP2200 a modul USB I/O. *Pandatron.cz*. [Online] 5. červenec 2011. [Citace: 16. duben 2012.] http://pandatron.cz/?2765&mcp2200_a_modul_usb_i%2Fo.
- [8] Rayson. Datasheet BTM-222. [Online] [Citace: 25. Duben 2012.] http://www.taiwantrade.com.tw/resources/member/276716/productcatalog/b9ee22e4-e94a-45cd-8db0-ac88b3a11a75_BTM222%20DataSheet.pdf.
- [9] STMicroelectronics. Datasheet L6207. [Online] [Citace: 25. duben 2012.] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00002293.pdf.
- [10] STMicroelectronic. Datasheet TL431. [Online] [Citace: 25. duben 2012.] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000986.pdf.
- [11] ladyada.net. USBtinyISP. [Online] 14. listopad 2011. [Citace: 26. duben 2012.] <http://www.ladyada.net/make/usbtinyisp/>.

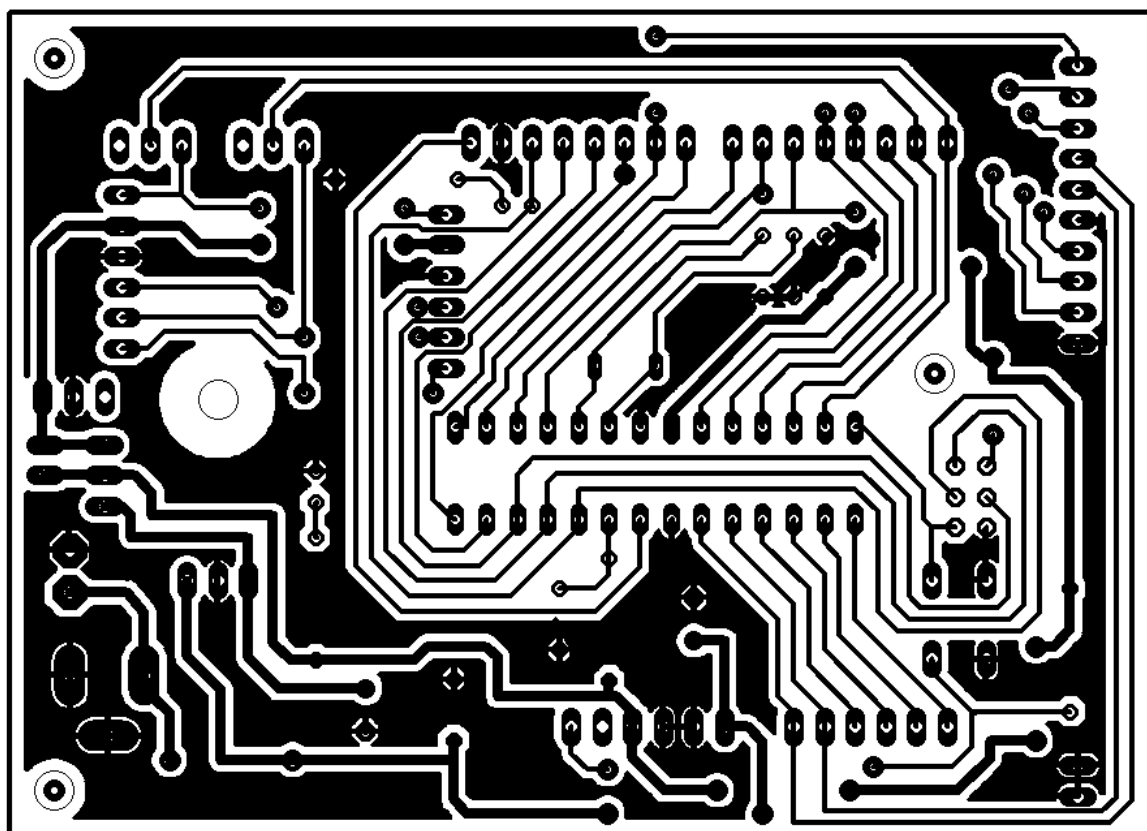
Přílohy

Příloha A – Schéma logické jednotky

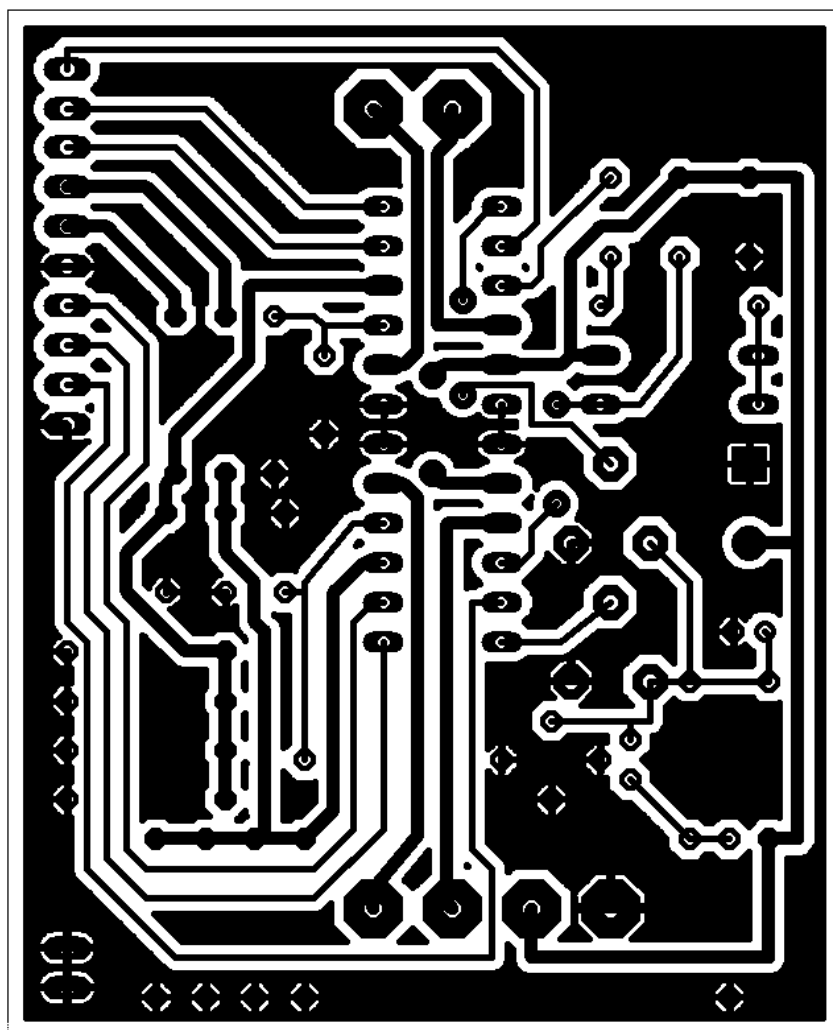


Kompletní schéma logické jednotky

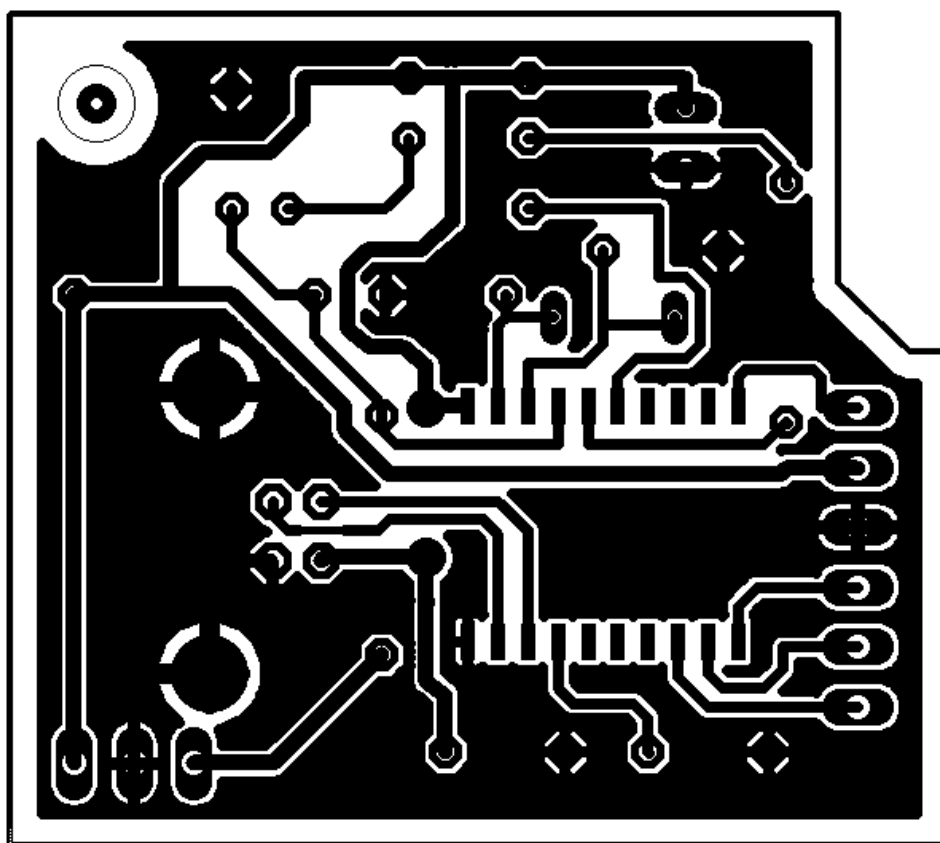
Příloha B – Plošné spoje



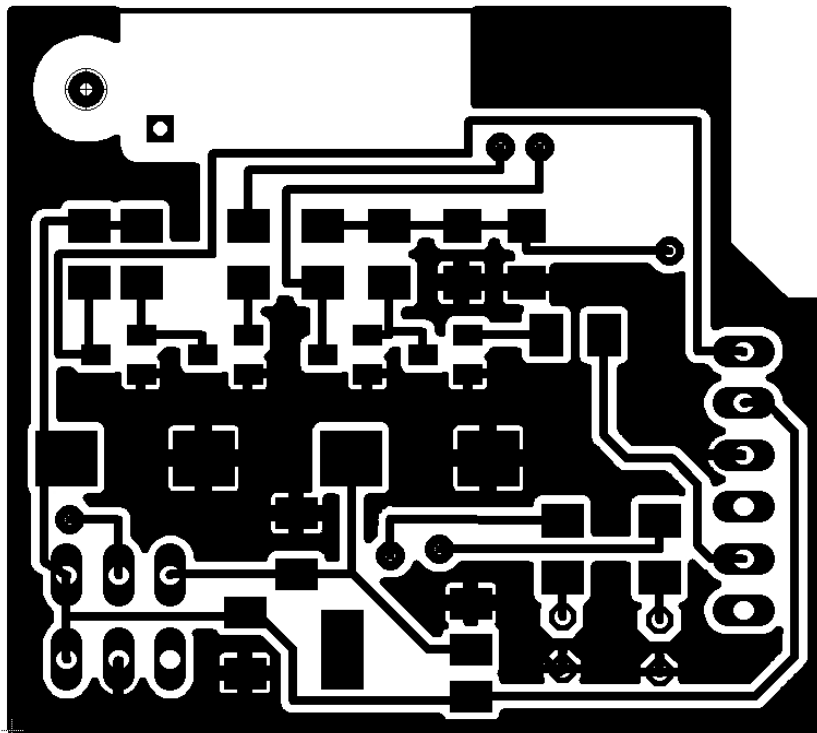
Plošný spoj logické jednotky (pohled shora)



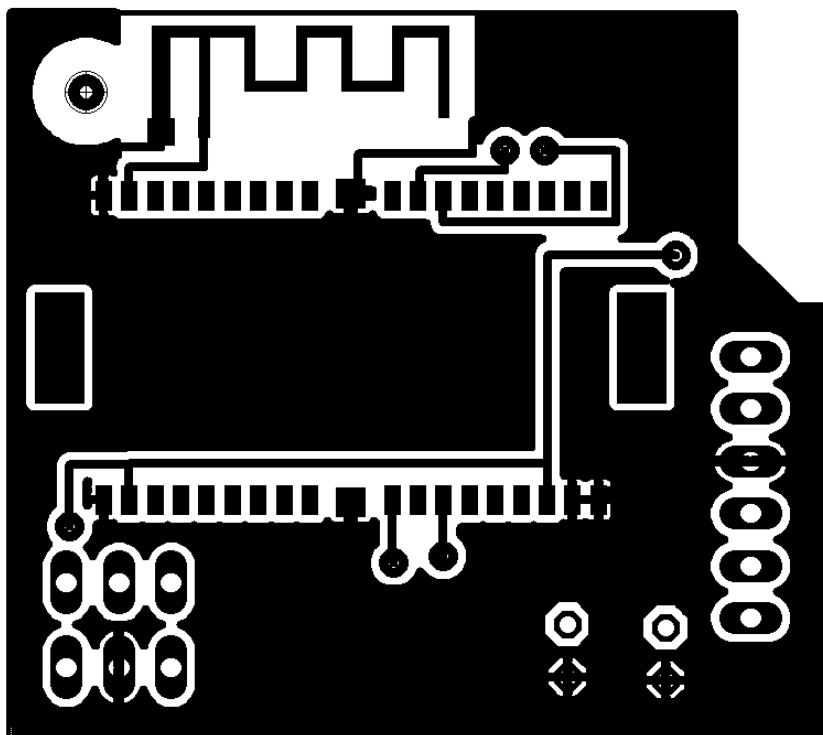
Plošný spoj výkonové části (pohled shora)



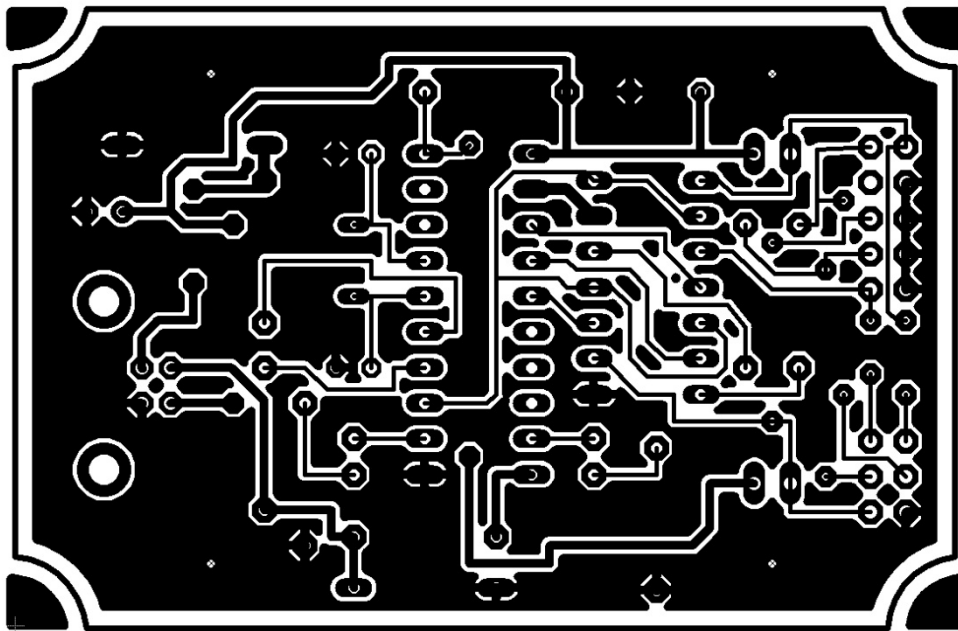
Plošný spoj komunikačního rozhraní USB 2.0 - UART (pohled shora)



Plošný spoj bluetooth modulu (pohled shora, spodní strana)



Plošný spoj bluetooth modulu (pohled shora, horní strana)



Plošný spoj programátoru (pohled shora)

Příloha D – Obsah CD

Jiri_Kral.pdf - plný text práce

složka Firmware - projekty pro AVRStudio psané v jazyce C

motor_v1 - program, který složil k testování funkčnosti komunikace

motor_v2 - Finální program

složka Navrh - podklady pro výrobu desek plošných spojů v programu Eagle 6.0.0.

BT - podklady pro výrobu bezdrátové komunikační jednotky „bluetooth modulu“

Logicka_cast - podklady pro výrobu logické části

Prog - podklady pro výrobu programátoru

USB-UART - podklady pro výrobu převodníku USB-UART

Vykonova_cast - podklady pro výrobu výkonové části