

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Michal Koloušek

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Řízení alternativních pohonů mobilního robotu sledujícího
vodicí čáru
Control of Alternate Driving System of the Line Following
Mobile Robot

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Koloušek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Řízení alternativních pohonů mobilního robotu sledujícího vodící čáru**
Control of Alternate Driving System of the Line Following Mobile Robot

Zásady pro vypracování:

- [1] Seznámení se s problematikou mobilních robotů, jejich řídicích a senzorických systémů a alternativních pohonů.
- [2] Návrh a realizace soustavy mobilního robotu s alternativními pohony pro jednoduchou transportní úlohu.
- [3] Sestavení soustavy mobilního robotu sledujícího vodící čáru, realizace měřicího systému experimentu a realizace experimentů prokazujících schopnost využívání alternativních pohonných jednotek.
4. Zhodnocení výsledků řešení a experimentů.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991, 269 s. ISBN 80-03-00567-1.
- [3] CETL, Tomáš. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 145 s. ISBN 80-01-02859-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



.....

Michal Koloušek

Datum: 7. 5. 2014

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohumilu Horákovi, Ph.D. za pomoc při řešení bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací mobilního robotu, který sleduje vodící čáru a používá alternativní zdroje napájení. Nejdříve je provedena stručná analýza používaných podvozků, pohonů, senzorů, navigace a zdrojů energie. Na základě této analýzy jsou vybrány vhodné varianty.

K řízení robotu a napájení jsou použity mikrokontroléry od firmy Atmel. K nabíjení Li-Pol akumulátoru jsou použity fotovoltaické články.

Abstract

This bachelor thesis focuses on creating mobile, drawn path following robot fueled by alternate-power generator. At first is analysis chassis, motors, sensors, navigation and power sources. Based on this informations suitable components are selected.

Driving and powering the robot is handled by Atmel's microcontrollers. Photo-voltaic panels are used for charging Li-Pol battery.

Klíčová slova

Atmel, H-můstek, DC/DC měnič, robot, senzor, Li-Pol, fotovoltaický článek, DC motor

Key words

Atmel, H-bridge, DC/DC converter, robot, sensor, Li-Pol, fotovoltaic cell, DC motor

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	Elektrický proud (ampér)
A/D	Analogově digitální převodník
ADC	Analog to Digital Converter
AGM	Absorbed Glass Mat
Ah	Kapacita (ampérhodina)
AVR	Označení pro rodinu 8bitových mikročipů
BLDC	Brushless DC
CA	Jmenovitá ampérhodinová kapacita
DC	Direct Current
DC/DC	Stejnosměrný měnič
DIR	Direction
DPS	Deska Plošných Spojů
GPS	Global Positioning System
Hz	Kmitočet (hertz)
IR	InfraRed
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
Li-Ion	Lithium-Iont
Li-Pol	Lithium-Polymer
MKO	Monostabilní klopný obvod
N	Polovodič typu N
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
Ni-MH	Nickel-Metal Hydrid
P	Polovodič typu P
Pb	Plumbum
Pin	Vývod integrovaného obvodu
P-N	Polovodičový P-N přechod
PWM	Pulse Width Modulation
R.U.R.	Rossum's Universal Robots
RPM	Revolutions Per Minute (ot/min)
RTG	Radioizotopový Termoelektrický Generátor
SEPIC	Single Ended Primary Inductor Converter
TEG	Thermoelectric generators
V	Elektrické napětí (volt)
W	Výkon (watt)
eV	Elektronvolt (joule)

Obsah

Úvod	1
1 Robotika	2
1.1 Základní rozdělení robotů	2
1.2 Rozdělení robotů podle řízení	2
2 Lokomoční ústrojí mobilních robotů	4
2.1 Ackermannův podvozek	4
3 Pohony průmyslových robotů	7
3.1 Servomotor	7
3.1.1 Blokové schéma modelářského servomotoru	8
3.1.2 Řízení servomotoru	9
3.2 Stejnoseměrný motor	9
3.2.1 Řízení stejnosměrného motoru	9
3.2.2 Motor s permanentním magnetem	11
4 Senzorický subsystém	12
4.1 Interní senzory	12
4.1.1 Senzory polohy	12
4.1.2 Magnetický senzor AM512B	13
4.2 Externí senzory	14
4.2.1 Infračervený senzor	14
5 Zdroje energie	15
5.1 Termoelektrický generátor	15
5.2 Palivový článek	15
5.3 Fotovoltaické články	16
5.4 Elektrochemické články	17
5.4.1 Superkapacitor	17
5.4.2 Pb akumulátory	18
5.4.3 Ni-Cd akumulátory	18
5.4.4 Ni-MH akumulátory	18
5.4.5 Li-Ion akumulátory	19
5.4.6 Li-Pol akumulátory	19
5.5 Nabíjení akumulátorů	19
5.5.1 Nabíjení a vybíjení Li-Pol akumulátorů	19
6 Návrh řešení mobilního robotu	21
6.1 Řídicí modul	22

6.1.1	Popis modulu	22
6.2	H-můstek.....	25
6.3	Čidla čáry.....	26
6.4	Voltmetr.....	26
6.4.1	Popis modulu	28
6.5	Elektronický spínač.....	30
6.6	Solární panel	30
6.7	DC/DC měnič	31
6.8	Regulátor napětí s omezením proudu	31
6.9	Omezovač napětí na člancích akumulátoru	33
	Závěr.....	34
	Použitá literatura.....	35
	Seznam příloh.....	37

Úvod

V robotice se hojně využívají alternativní zdroje energie už několik desetiletí. Například ve vesmírném programu se využívají fotovoltaické články a radioizotopové termoelektrické generátory (RTG). Dalšími využívanými alternativními zdroji energie jsou palivové články, superkapacitory, termoelektrické generátory, aj.

Teoretická část práce se zabývá Ackermannovým podvozkem a elektrickými pohony, které jsou stručně probrány a jsou zhodnoceny jejich výhody a nevýhody. Poslední dvě kapitoly jsou věnovány senzorům a zdrojům energie.

Praktická část se věnuje řízením DC motorů a servomotoru pomocí PWM. Dále se práce zabývá použitím H-můstku a infračervených čidel pro sledování vodící čáry a také se zaměřuje na napájecí a nabíjecí části robotu.

Výsledkem této práce bude funkční mobilní robot, který bude sledovat vodící čáru a jeho akumulátor bude dobíjený z alternativního zdroje energie.

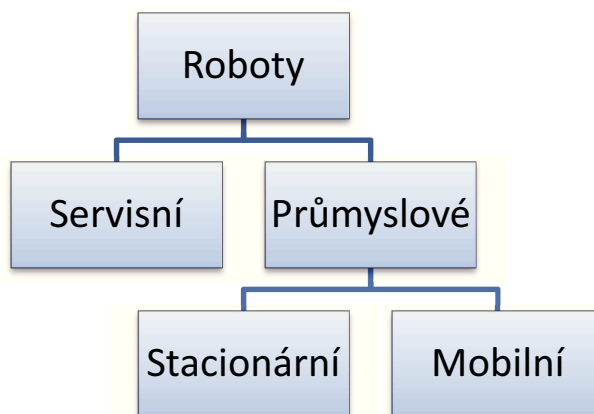
1 Robotika

Robot je stroj pracující s určitou mírou samostatnosti, vykonávající určené úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem a se zadavatelem. Robot je schopen své okolí vnímat pomocí senzorů, zasahovat do něj, případně si o něm vytvářet vlastní představu, model. Vnímáním světa nejenže může poznávat svět samotný, ale může také vyhodnocovat svůj vliv na něj a využívat tak zpětnou vazbu. Robot je fyzickou realizací obecnějšího pojmu agent. [5]

Slovo robot poprvé použil český spisovatel Karel Čapek v roce 1920 ve své divadelní hře R.U.R. Dalším literárním následovníkem byl Isaac Asimov, který ve své sbírce povídek definoval tři zákony robotiky.

1.1 Základní rozdělení robotů

Roboty lze rozdělit do dvou základních skupin, servisní a průmyslové. Průmyslové se dále dělí na stacionární a mobilní. Stacionární robot se nemůže přemísťovat a koná pouze předepsaný pohyb. Jedná se zejména o manipulátory v průmyslu. Mobilní robot může být ovládaný dálkově operátorem nebo být plně autonomní. Na obrázku 1 je zobrazené blokové schéma třídění robotů.



1.2 Rozdělení robotů podle řízení

Roboty můžeme rozdělit do tří základních typů podle jejich řízení. Na dálkově řízené, autonomní a kombinaci dvou předešlých.

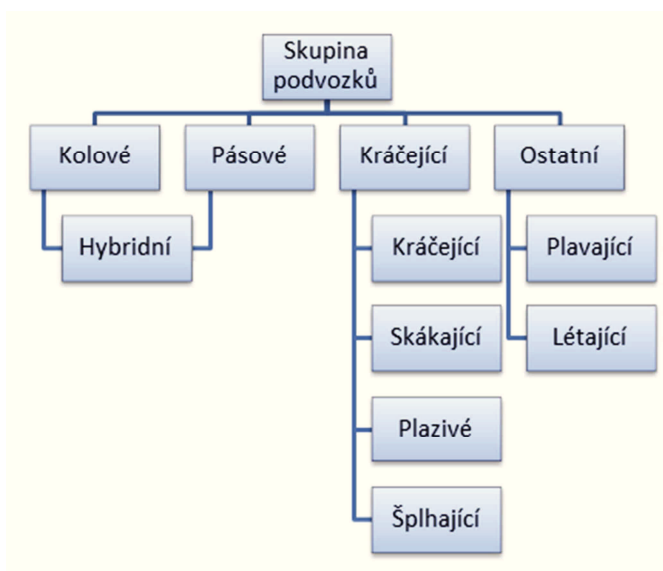
Dálkově řízené roboty jsou nejvíce používané. Roboty jsou ovládané na dálku operátorem, který má vizuální informace o prostředí v okolí mobilního robotu. Využívají se např. jako průzkumné vozidla, chirurgické manipulátory a bezpilotní letadla.

Autonomní roboty mohou samostatně vykonávat předem připravené činnosti a přitom dynamicky reagovat na své prostředí. Jedná se např. o vyhnutí se překážkám nebo po ukončení činnosti se vrátit na určité místo.

Kombinované roboty využívají vlastnosti předešlých dvou typů řízení. Může se jednat o dálkově řízené průzkumné letadlo, které se po ztrátě komunikace s operátorem vrátí na určené GPS souřadnice.

2 Lokomoční ústrojí mobilních robotů

V této kapitole se budeme zabývat podvozky pro mobilní roboty. Rozebereme si pouze Ackermannův podvozek, protože rozebrání všech typů by bylo nad rámec této práce. Na obrázku 2 můžeme vidět rozdělení konstrukčních typů podvozků mobilních robotů.



Obr. 2 Rozdělení podvozků [11]

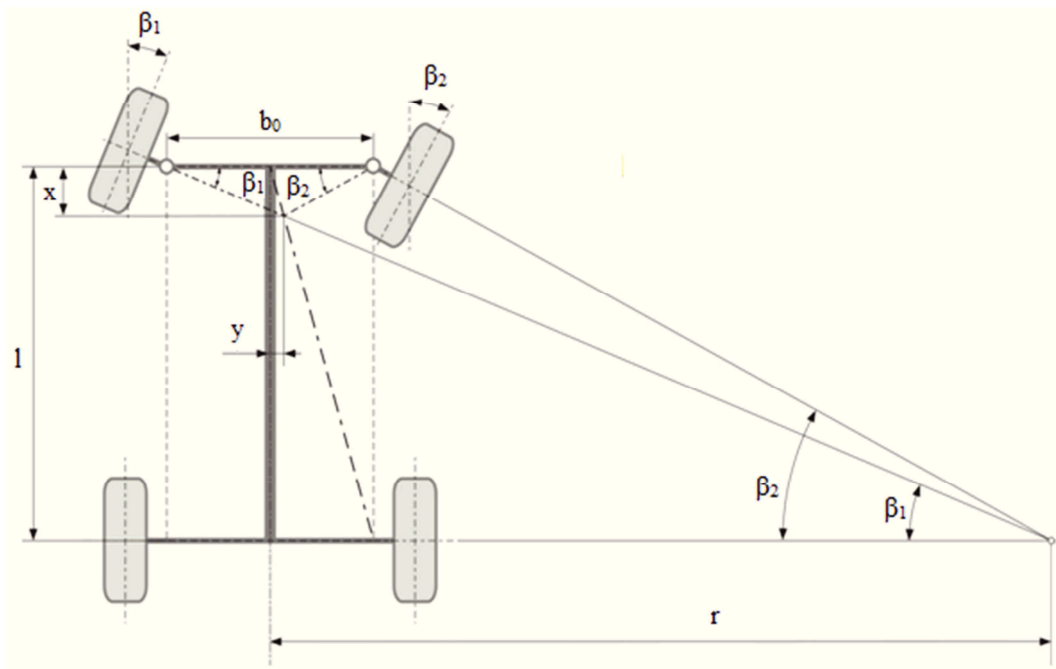
2.1 Ackermannův podvozek

Tento podvozek se používá v automobilovém průmyslu. Nejčastěji se konstruuje tak, že zadní kola jsou hnaná a přední kola se natáčejí. Výhodou je velká nosnost nebo činnost v těžkém terénu. Nevýhodou je nemožnost se otočit na místě. Podvozek použitý v mé práci je na obrázku 3.

Při jízdě zatáčkou opisují vnitřní a vnější kola kružnice s jinými poloměry. Aby nevznikalo nežádoucí smýkání po dráze, musí podvozek splňovat Ackermannovu podmínku. Ackermannova podmínka platí jen tehdy, kdy na prodloužené ose zadní nápravy leží střed otáčení vozidla a průsečík os čepů kol. Pro splnění teoretických podmínek se používá tzv. lichoběžníkové řízení. Ackermannovu geometrii řízení můžeme vidět na obrázku 4.



Obr. 3 Podvozek Tamiya TXT-1



Obr. 4 Ackermannova geometrie řízení [10]

Pro každé kolo máme vzorec (1) (2):

$$\cotg\beta_1 = \frac{r + \frac{b_0}{2}}{l} \quad (1)$$

$$\cotg\beta_2 = \frac{r - \frac{b_0}{2}}{l} \quad (2)$$

Platí Ackermannova podmínka (3).

$$\cotg\beta_1 - \cotg\beta_2 = -\frac{b_0}{l} \quad (3)$$

Kde \$r\$ se vypočítá pomocí vzorce (4):

$$r = \frac{l}{\tg\beta} \quad (4)$$

Kde je:

\$\beta\$ – úhel od středu přední nápravy k průsečíku (\$^\circ\$)

- β_1 – úhel natočení vnitřního předního kola od osy vozidla ($^\circ$)
- β_2 – úhel natočení vnějšího předního kola od osy vozidla ($^\circ$)
- b_0 – rozchod kol (m)
- l – rozvor náprav (m)
- r – vzdálenost středu zadní nápravy k průsečíku (m)

3 Pohony průmyslových robotů

V oblasti průmyslových robotů se nejčastěji používají elektrické pohony, ale hojně se využívá i spalovacích, hydraulických a pneumatických pohonů.

Spalovací motory přeměňují chemickou energii (spalováním) na tepelnou a na mechanickou energii, která působí na píst nebo turbínu. Slouží k pohánění jiných strojních zařízení. Rozdělujeme je na dva typy. Motory s vnějším spalováním, které spalují palivo mimo pracovní prostor motoru (parní stroj) a na motory s vnitřním spalováním, kde dochází ke spalování paliva přímo v pracovním prostoru motoru (čtyřdobý motor). Využívají se především v dopravních a mobilních prostředcích (automobily, generátory elektrického proudu).

Hydraulické motory se využívají především u manipulátorů. Využívá se tlaková energie pracovní kapaliny. Vyznačují se dosažitelností velkých silových převodů a vysokou spolehlivostí. Nevýhodou je přítomnost hydraulických olejů, které jsou hořlavé. Rozdělují se na rotační, přímočaré a s kývavým pohybem.

Pneumatické motory se také využívají především u manipulátorů a využívají energii pracovního plynu. Výkon je omezen tlakem pracovních rozvodů a celkově mají malou účinnost.

Elektrický pohon je označení pro soubor všech technických prostředků zajišťujících pohon nějakého strojního mechanismu za pomoci elektrické energie, zpravidla za pomoci elektromotoru, který pak obvykle tvoří základní část elektrického pohonu. [6]

Výhody elektrických pohonů:

- Pohon lze zkonstruovat pro libovolný výkon se širokým rozsahem momentů a otáček.
- Svým provozem nevytváří žádné zplodiny, vibrace a vysokou úroveň hluku.
- Vyznačuje se snadnou ovladatelností a údržbou.
- Elektrický pohon má vysokou účinnost a je ho možné krátkodobě přetížít.
- Levná výroba a dlouhá životnost.

Nevýhody elektrický pohonů:

- Elektrický pohon je závislý na okamžité dodávce elektrické energie.
- Nízký poměr mezi výkonem a hmotností elektrického pohonu.

Nejčastěji používanými elektrickými pohony jsou krokové motory, BLDC motory, servomotory, stejnosměrné a střídavé motory. V následujících kapitolách si probereme servomotory a stejnosměrné komutátorové motory.

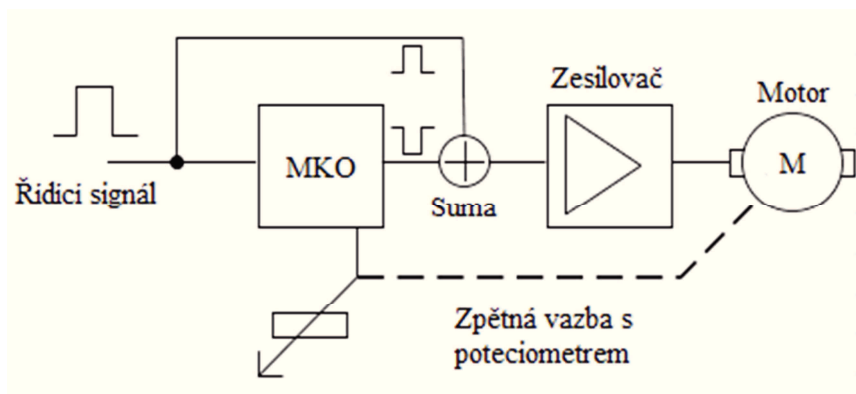
3.1 Servomotor

Jsou to motory s integrovanou převodovkou a inkrementálním enkodérem. Velkou popularitu mají v oblasti malých a levných robotů tzv. modelářská serva, která obsahují minimotor, převodovku, potenciometr jako zpětná vazba polohy a řídicí elektroniku v kompaktním pouzdru se třemi vývody (napájení, zem, řídicí signál). Serva se primárně nemohou kontinuálně otáčet, jsou určena pouze pro polohování v rozsahu 180° (Grauper) či 120°. Je však možno klasická serva upravit pro kontinuální provoz, se zachováním možnosti řídit rychlost otáčení v obou směrech šířkou pulsu. Tato úprava je

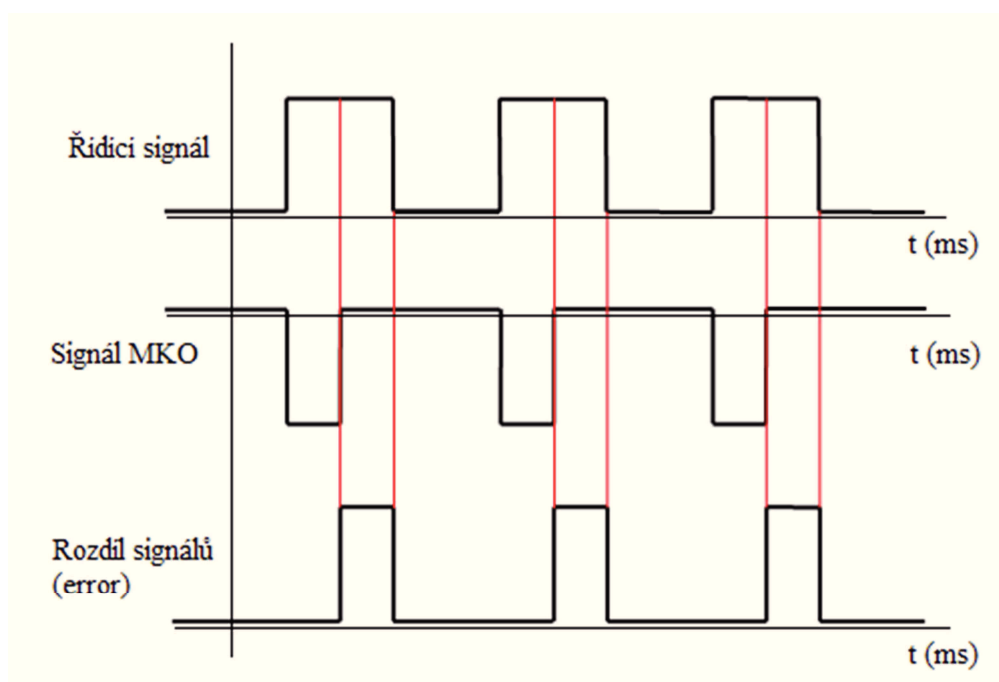
však u většiny typů nevratná a je nutno počítat s rychlým opotřebením motoru i převodů, protože tyto nejsou stavěny na kontinuální provoz.[3]

3.1.1 Blokové schéma modelářského servomotoru

Na vstup serva se přivádí řídicí signál, který spustí MKO. Ten vygeneruje impuls o opačné polaritě než je vstupní signál, který odpovídá momentálnímu natočení serva. Tyto dva signály se odečtou a zesílený výsledek způsobí natočení motoru požadovaným směrem. Když se hřídel otáčí, otáčí se i potenciometr, který slouží jako zpětná vazba MKO. Impuls generovaný MKO se přibližuje se svojí délkou vstupnímu signálu. Až jsou tyto dva signály stejné, motor se zastaví a servo je nakloněno požadovaným směrem. Na obrázcích vidíme blokové schéma (obr. 5) a jednotlivé průběhy napětí (obr. 6).



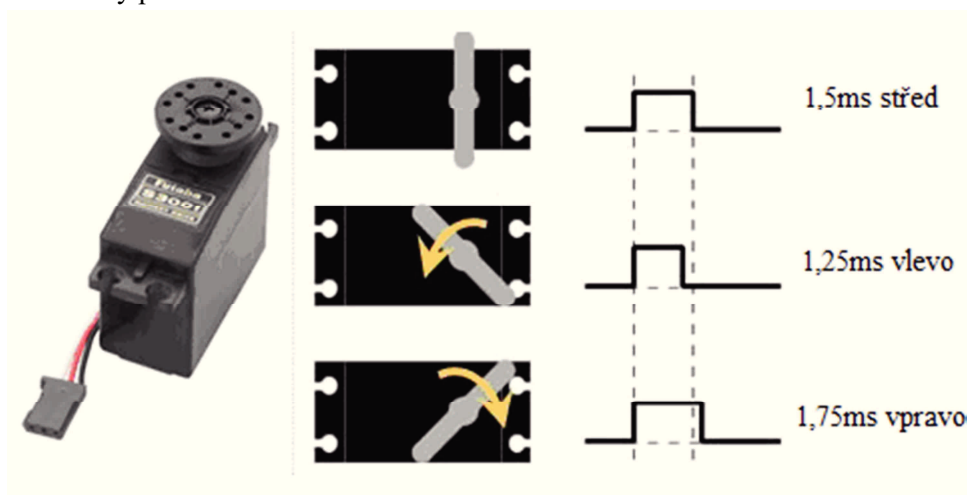
Obr. 5 Blokové schéma servomotoru [1]



Obr. 6 Průběhy signálů servomotoru

3.1.2 Řízení servomotoru

Standardně se servo připojuje následujícím způsobem: červený vodič na kladný pól, černý na záporný a bílý na PWM výstup. Ovládá se pulsy v rozsahu 0,5ms až 2,5ms s frekvencí 50Hz. Když vyšleme impuls široký 1,5ms, přesune osu serva do střední polohy. Na obrázku 7 lze vidět reagování serva na změnu šířky pulsu.



Obr. 7 Změna otáčení v závislosti na změnu šířky pulsu [14]

3.2 Stejnosměrný motor

Proud, protékající vinutím kotvy, vytváří reakční magnetické pole, které zeslabuje a deformuje magnetické pole hlavních pólů a ovlivňuje i magnetické pole komutačních pólů. K potlačení reakčního pole slouží kompenzační vinutí, zakládané do drážek pólových nastavců hlavních pólů. [5]

Rychlost motoru na stejnosměrný proud obecně závisí na velikosti napětí a proudu procházejících vinutím motoru a na zátěži neboli velikosti brzděného momentu. Rychlost motoru při daném brzděném momentu je úměrná napětí, točivý moment je úměrný proudu. Rychlost motoru lze regulovat změnou pracovního napětí a buzením. [5]

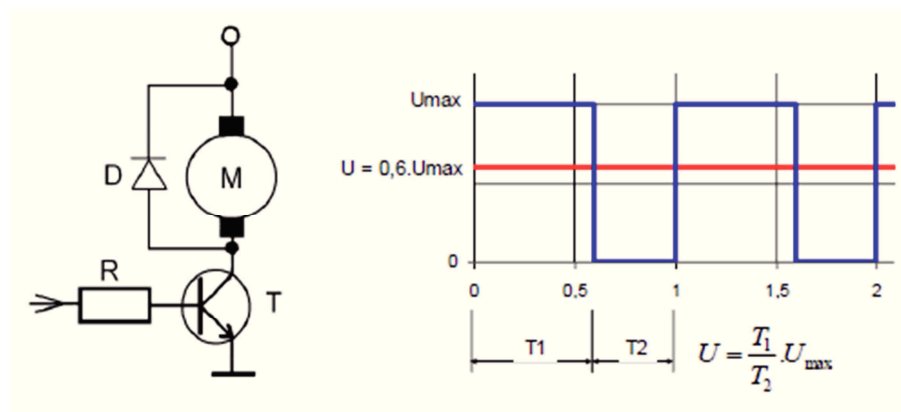
Výhodou těchto motorů je příznivý poměr výkon/hmotnost a snadné řízení otáček. Tyto motory jsou také velice dobře dostupné za příznivou cenu. Nevýhodou je složité polohové řízení osy. Dále DC motor pracuje na velmi vysokých otáčkách a na nízkém momentu. To je pro pohon mobilního robota nežádoucí. Tento problém se dá vyřešit převodovkou nebo v lepším případě řízení pomocí PWM v zapojení v H-můstku.

3.2.1 Řízení stejnosměrného motoru

U elektromotoru je možné řídit rychlost a směr otáčení, polohu natočení rotoru, proud a napětí na motoru. Otáčky DC motoru jsou úměrné napájecímu napětí a zatížení. Rychlost tedy můžeme řídit změnou napětí. Protože proud do motoru je poměrně velký, nelze použít lineární regulaci, proto se používá PWM řízení – pulzně šířková modulace. [5]

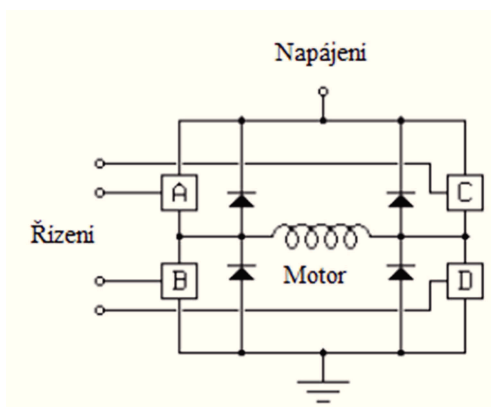
Princip spočívá v rychlém spínání a vypínání napájení. Díky setrvačnosti motoru a dostatečně vysoké frekvenci spínání, rotor nestačí tyto změny sledovat. Motor se chová, jako kdyby byl napájen napětím o velikosti střední (průměrné) hodnoty, která je dána poměrem doby zapnutí a vypnutí. [5]

Na obrázku 8 vidíme jednkvadrantové zapojení. Nazývá se tak proto, že můžeme řídit otáčky jen v jednom směru. Na bázi tranzistoru se přivádí PWM signál. Ochranná dioda D chrání tranzistor proti zápornému napětí generovaného vinutím motoru.



Obr. 8 PWM řízení otáček [5]

Když potřebujeme měnit i směr otáčení, používá se tzv. H-můstek (obr. 9). H-můstek je tvořen čtveřicí spínacích prvků (relé, bipolární nebo unipolární tranzistory). Většina H-můstku je už integrovaná do jednoho pouzdra. Je důležité, aby nesešnuly spínače A, B nebo C, D, protože by napájecí napětí bylo ve zkratu.



Obr. 9 Zapojení DC motoru v H-můstku [5]

Kombinací sepnutých spínačů (A, B, C, D) můžeme měnit směr otáčení nebo uvést motor do brzdného režimu. Kombinace je znázorněna v tabulce 1.

Tab. 1 Zobrazení režimů H-můstku [5]

Spínač A	Spínač B	Spínač C	Spínač D	Motor
0	0	0	0	Volně se točí
1	0	0	1	Vpřed
0	1	1	0	Vzad
0	1	0	1	Brzda
1	0	1	0	Brzda

3.2.2 Motor s permanentním magnetem

Nejjednodušší motor na stejnosměrný proud má stator tvořený permanentním magnetem a rotující kotvu ve formě elektromagnetu s dvěma póly. Rotační přepínač zvaný komutátor mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházejícího kotvou dvakrát během každé otáčky. Tím zajistí, že síla působící na póly rotoru má stále stejný směr. V okamžiku přepnutí polarity udržuje běh tohoto motoru ve správném směru setrvačností. [5]

V robotu jsou použity dva motory MIG 500 (obr. 10). Motory jsou vybaveny ventilátorem a zesíleným magnetickým pláštěm, což přináší vyšší účinnost a menší odběr.



Obr. 10 Stejnosměrný motor s permanentním magnetem MIG 500 [18]

Vlastnosti MIG 500 převzaté z [18]:

- Napětí: 3,6 až 8,4V
- Otáčky: 22000ot/min
- Proud na prázdno: 2A
- Proud při maximální účinnosti: 12A
- Hmotnost: 164g (bez pláště), 191g (s pláštěm)
- Průměr hřídele: 3,17mm

4 Senzorický subsystém

Senzory slouží k orientaci průmyslových robotů v prostoru a navigaci. Senzory lze rozdělit do dvou základních skupin. Na interní a externí senzory. Interní umožňují robotu zjistit jeho vnitřní stav a externí dovolí robotu vnímat okolní prostředí.

Pro velké množství senzorů se budeme zabývat jen těmi nezákladnějšími senzory, které se používají pro průmyslové roboty.

4.1 Interní senzory

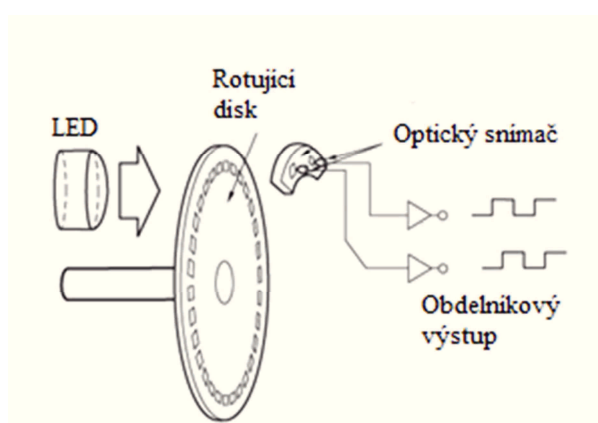
Tento druh senzoru poskytuje mobilním robotům informace o jejich subsystémech. Pro diagnostické účely je to například teplota, aby se vyhnul oblastem s příliš vysokou teplotou, nebo kontrola stavu baterie, aby se mohl vrátit k dobíjecí stanici. Pro účely navigace poskytují senzory informace o poloze a rychlosti pohonu robotu.

Většinou se používají čidla polohy, tlaku, síly, deformace, krouticího momentu, otáček, průtoku a teploty.

4.1.1 Senzory polohy

Dělíme je na analogové a digitální. Analogové senzory jsou odporové, indukční a kapacitní. Využívají k měření změny elektrické veličiny. Jejich nevýhodou je omezené měření úhlu natočení. Dnes se nejčastěji používají digitální, a to proto, že mají neomezený rozsah měření a měří bezdotykově. Lze je rozdělit na inkrementální a absolutní.

Inkrementální senzor (obr. 11) funguje na principu přerušovaného světelného toku dopadajícího na čidlo. LED dioda vysílá tok světla přes kotouč s ryskami. Prochází-li světlo přes průhlednou rysku, na čidlo dopadá maximální světelný tok. Když je však čidlo v zákrytu, na čidlo dopadá jen minimum světelného toku. Tento signál je komparátorem převeden na obdélníkový signál.



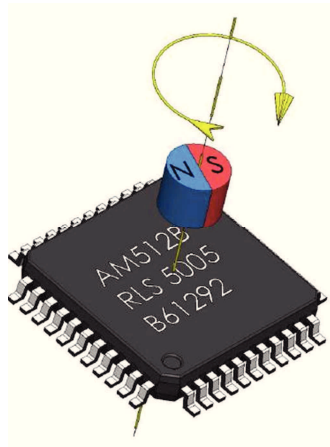
Obr. 11 Princip optického inkrementálního senzoru [13]

Pro modernější způsoby měření úhlového natočení se využívá magnetických senzorů. Senzor je realizován jen pomocí integrovaného obvodu a magnetu, a proto má široké využití v nepříznivých oblastech, kde by optický senzor nešel použít.

Magnetické snímače mají vysoké rozlišení (až 13bitů) a pracují do několika desítek tisíc rpm. Dále jejich výhodou je nízká cena, malé rozměry a nízká hmotnost. V další kapitole je rozepsán magnetický senzor AM512B, který je v robotu použit pro snímání otáček motoru.

4.1.2 Magnetický senzor AM512B

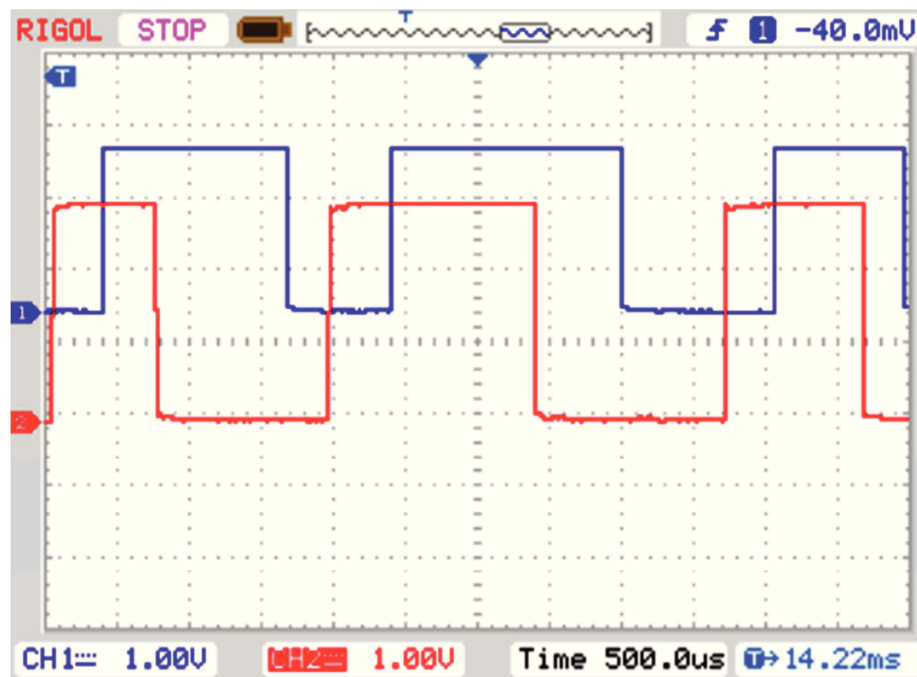
Integrovaný obvod AM512B (obr. 12) snímá úhlové natočení permanentního magnetu (diametrální polarizace), který je umístěn nad čipem. Na povrchu obvodu je umístěna kruhová matice Hallových sond, tak aby poskytovaly napěťový výstup v závislosti na magnetické indukci. Výstup z Hallových sond je sinus a cosinus, který je přepočítán na absolutní úhlovou polohu magnetu. Přírůstek je dostupný na kvadraturních výstupech A a B o rozlišení 512 impulzů na jednu otáčku magnetu. Na obrázku 13 jsou průběhy napětí z výstupů A a B zobrazeny osciloskopem.



Obr. 12 Integrovaný obvod AM512B s magnetem [19]

Vlastnosti AM512B převzaté z [19]:

- Bezdotykové měření úhlového natočení s rozsahem 360°,
- ideální nasazení v drsném prostředí, kvůli magnetickému snímání,
- kompletní řešení na jednom čipu,
- 9 bitů absolutního rozlišení,
- výstupy v podobě:
 - Inkrementální,
 - paralelní,
 - sériový,
 - lineární.
- továrně linearizováno,
- vysoké otáčky až 30000 RPM,
- napájecí napětí 5V,
- nízká spotřeba (20mA),
- teplotní rozsah -40 C° až 125 °C,
- RoHS pouzdro.



Obr. 13 Průběhy napětí výstupů A a B z magnetického senzoru

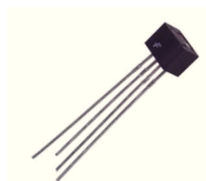
4.2 Externí senzory

Slouží k získávání informací o okolí. Rozdělují se na dvě skupiny. Pasivní, vyhodnocují pouze přijaté záření a aktivní, ty vyhodnocují vlastní odražené záření. Dále je můžeme rozdělit na dotykové a bezdotykové. Dotykové mohou měřit jen pomocí dotyku a tím je omezen jejich dosah. Bezdotykové používají k měření nejrůznější záření. Jedná se především o optické, elektromagnetické a akustické záření.

4.2.1 Infračervený senzor

Slouží k detekování překážek od pár milimetrů až několika metrů. Senzor se skládá z vysílací a přijímací části. Vysílací částí je IR LED a přijímací částí IR tranzistor nebo IR fotocitlivá dioda. Vysílací i přijímací část je obvykle v jednom pouzdře a jsou už natočeny tak, aby odražený paprsek se vrátil k přijímači. Na obrázku 14 je IR senzor QRD1114, který je použit v této práci pro sledování vodící čáry.

Nevýhodou je, že množství odraženého IR světla je závislé na typu a barvě překážky. Černá barva pohltí IR záření skoro celé.



Obr. 14 Infračervený vysílač a přijímač [12]

5 Zdroje energie

Každé zařízení – tedy i robot potřebuje nějaký zdroj energie, ze kterého budou napájeny jeho řídicí a senzorické subsystémy včetně pohybového, kde zpravidla pohybový subsystém má nejvyšší nároky na odběr energie. [1]

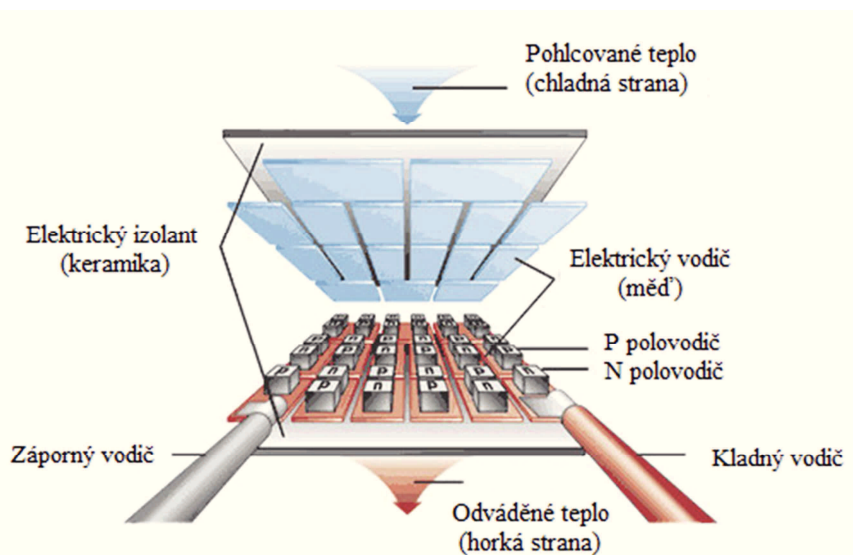
Nejrozšířenějšími zdroji elektrické energie jsou chemické články. Dělí se na primární články (baterie) nebo sekundární články (akumulátory). Akumulátory oproti bateriím lze znovu nabíjet. Nejpoužívanějšími typy akumulátorů jsou: Li-Ion, Li-Pol, Pb, Ni-Cd, Ni-MH, superkapacity, atd.

Dalšími zdroji energie jsou tzv. alternativní zdroje energie. Patří zde například solární články, palivové články, termoelektrické generátory, atd.

5.1 Termoelektrický generátor

Termoelektrický generátor (TEG) je složený z termoelektrických článků. Každý článek je schopen vytvořit napětí v rozmezí desítek až stovek μV . Proto jsou články propojovány do série, aby bylo dosaženo většího výstupního napětí. Tyto články jsou nejčastěji tvořeny z polovodičových materiálů. Při zahřátí jedné strany článku a ochlazení druhé strany se začne na vývodech generovat elektrické napětí. Nastává tzv. Seebeckův jev. Tento článek je zobrazen na obrázku 15.

TEG se využívá k výrobě elektrické energie z odpadního tepla. Například ze spalovacího motoru nebo z kotle na tuhá paliva. Jedna ze zajímavých aplikací je využití rozpadu radioaktivních látek, které dodají potřebnou tepelnou energii. Tyto radioizotopové termoelektrické generátory (RTG) jsou schopny dodávat elektrický proud několik desítek let.



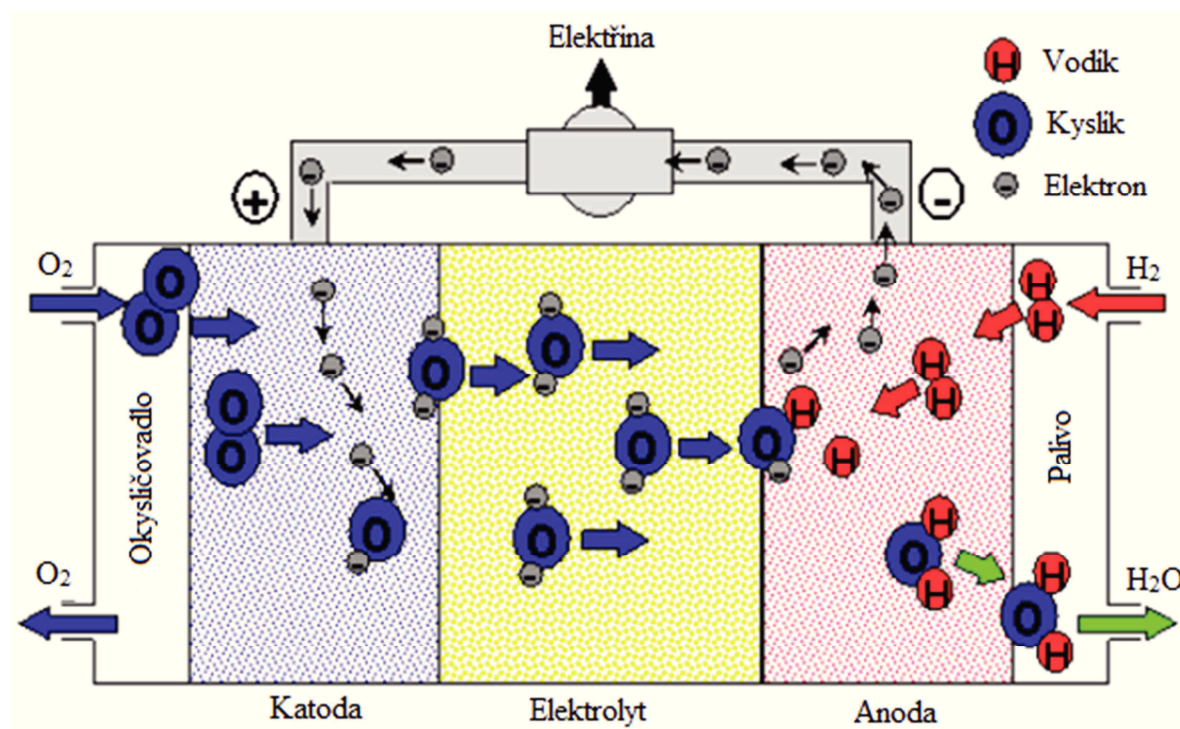
Obr. 15 Konstrukce termoelektrického generátoru [8]

5.2 Palivový článek

Jsou to zařízení, kde na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně paliva na elektrickou energii. Skládá se z porézních elektrod oddělených elektrolytem.

Princip článků je jednoduchý. Na zápornou elektrodu (Anodu) se přivede palivo. Palivo zde oxiduje (atomy se zbavují z valenční sféry elektronů) a uvolněné elektrony putují ke kladné elektrodě (katodě). Ke kladné elektrodě se přivádí okysličovadlo. Zde probíhá redukce a okysličovadlo volné elektrony přijímá za reakce kladných iontů, které k ní pronikají elektrolytem.

Princip článku je zobrazen na obrázku 16. U znázorněného obrázku je odpadním prvkem voda, což dělá článek velmi ekologický.



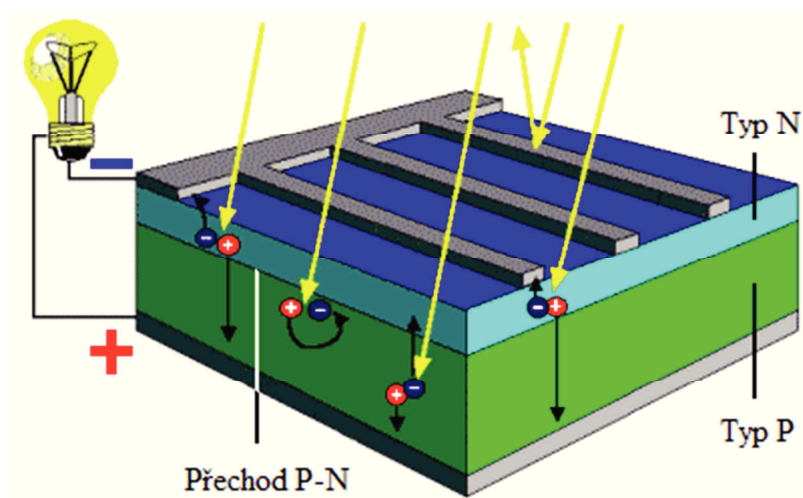
Obr. 16 Princip činnosti palivového článku [4]

U jiných typů článků je princip transformace energie stejný. Liší se pouze materiálem elektrod, pracovní teplotou a použitým elektrolytem. Jako palivo se nejčastěji využívá čistý vodík, ale velká pozornost je také věnována i nepřímým palivům (vodík je získáván neformovacím procesem). Mezi nejvýznamnější zdroje patří methan, methanol, ethanol, čpavek a zemní plyn.

5.3 Fotovoltaické články

Fotovoltaický článek (obr. 17) je tvořen tenkou křemíkovou destičkou typu P a na ní se vytvoří tenká vrstva polovodiče N. Vznikne tzv. polovodičový přechod P-N. Dopadající fotony dodávají atomům potřebnou energii a z krystalické mřížky křemíku se začnou uvolňovat elektrony. Tyto fotony musí mít dostatečnou energii, aspoň 1,12eV. Na přechodu P-N se vytvoří cca 0,5V. Na obrázku 23 vidíme konstrukci fotovoltaického článku.

Různým zpracováním můžeme vyrobit tři typy článků. Amorfni, monokrystalický a polykrystalický.



Obr 17 Fotovoltaický efekt [7]

Fotovoltaické články mají mnoho nesporných výhod, ale i nevýhod. Hlavní výhodou je, že při provozu nevznikají žádné škodlivé emise. Díky tomu jsou fotovoltaické panely velmi ekologické. Dále je to prakticky nevyčerpatelný zdroj energie.

Nevýhodou je malá životnost článku (20 let). Elektrická energie se vyrábí jen při osvětlení článku (ve dne), proto jsou nutné záložní zdroje elektrického proudu. Velmi záleží na průměrné roční intenzitě slunečního záření.

5.4 Elektrochemické články

Elektrochemické články se skládají z kladné a záporné elektrody, vložené v elektrolytu. Elektrolyt uvolňuje nosiče náboje (anionty a kationty). Elektrody jsou od sebe oddělené separátorem, který umožňuje pouze pohyb nosičů náboje. Elektrochemické články rozdělujeme na primární a sekundární články.

Primární články vytváří elektrickou energii nevratným chemickým procesem, proto je lze použít jenom jednou. Dělí se na zinko-chloridové, alkalické a lithiové. U alkalických a zinko-chloridových se elektrická energie vyrábí rozpouštěním zinku ve vhodném elektrolytu. U lithiové baterie je anoda tvořena lithiem nebo jeho sloučeninami, a proto se může napětí jednoho článku pohybovat od 1,5V do 3,7V.

Sekundární články, také nazývané akumulátory, dokáží akumulovat elektrickou energii. Oproti primárním článkům je lze znovu nabít, a tato jejich výhoda měla za následek jejich masové užití v elektronických zařízeních. Nejčastěji známe články na bázi olova, niklu a lithia. Dále se používají superkapacitory. Tyto články jsou stručně probrány v následujících kapitolách.

5.4.1 Superkapacitor

Jedná se o elektrolytický kondenzátor, který může mít kapacitu až několik tisíc faradů. To umožňují elektrody s pórovitým povrchem. Aktivní plochu můžeme dále zvětšit za pomoci nanomateriálů. Jelikož jsou od sebe elektrody odděleny dielektrikem o tloušťce desetin nanometru, je

jejich povolené napětí jen kolem 2,3 až 2,7 V. Proto se v aplikacích musí řadit do série, aby se zvýšilo jejich provozní napětí.

Superkapacity (obr. 18) umožňují velmi rychle nabití (v řádech vteřin) a až statisíce nabíjecích a vybíjecích cyklů. Lze je vybit díky malému vnitřnímu odporu až v řádech kiloampér.



Obr. 18 Superkapacity Maxwell [9]

5.4.2 Pb akumulátory

Olověné akumulátory mají elektrody založené na bázi olova. Elektrolytem je kyselina sírová. Akumulátory jsou schopny dodat až stovky ampér, ale jejich nevýhodou je velká hmotnost a rozměry.

Nejběžnější jsou dva typy používaných olověných akumulátorů. Se zaplavenými elektrodami, kde je elektrolyt ve formě kapaliny mezi elektrodami, který se musí občas doplnit. Nejčastěji se používají v automobilech.

Dalším typem jsou ventilem řízené olověné akumulátory, které jsou zapouzdřené, aby zabránily ztrátám elektrolytu. Jsou dva typy těchto akumulátorů. AGM, kde je elektrolyt nasáknutý ve skelné vatě mezi elektrodami. Gelové, kde je elektrolyt ve formě gelu. Nejčastěji se využívají v záložních zdrojích.

5.4.3 Ni-Cd akumulátory

Ni-Cd akumulátor se skládá ze tří vrstev. Záporná elektroda je z jedovatého kadmia, a proto se jeho použití omezuje a je nahrazený Ni-MH akumulátory. Kladná elektroda je z hydroxidu-niklu a jako separátor je použit hydroxid draselný. Jeho jmenovité napětí je 1,2 až 1,35V.

Výhodou je velká odolnost proti mrazu a má velmi malý vnitřní odpor. Nevýhodou je vznik paměťového efektu při nesprávném nabíjení akumulátorů.

5.4.4 Ni-MH akumulátory

Ni-MH akumulátor je jeden z nejčastěji používaných akumulátorů. Oproti Ni-Cd akumulátorů má až dvounásobnou kapacitu. Jmenovité napětí je 1,2V.

Záporná elektroda je tvořena slitinou, která dokáže vázat vodík a tak vytvářet směs hydridů. Kladná elektroda je tvořena hydroxidem niklu a jako elektrolyt je použit alkalický hydroxid draselný.

5.4.5 Li-Ion akumulátory

Li-Ion akumulátor má anodu tvořenou uhlíkem a katodu oxidem kovu. Například oxidem kobaltolitným (LiCoO_2). Jako elektrolyt je použita lithiová sůl.

Jmenovité napětí jednoho článku je 3,6V, a proto se velmi často řadí do série pro zvýšení jmenovitého napětí. Napětí na článku při nabíjení nesmí překročit 4,2V a při vybíjení pod 2,8V. Překročení těchto hodnot vede k nevratnému zničení článku.

Výhodou Li-Ion článků je vysoká akumulace energie vzhledem k objemu a schopnosti dodávat velké proudy.

5.4.6 Li-Pol akumulátory

Li-Pol články vznikly dalším vývojem Li-Ion článků. Poměrně drahý oxid kobaltu byl na záporné elektrodě nahrazen jinými levnějšími oxidy kovů, tekutý elektrolyt byl nahrazen polymerem v pevném skupenství, který současně zastává funkci separátoru. Výrobní technologie umožňuje vyrábět celý elektrodový systém velmi tenký a flexibilní a lze jej jak stočit do válcového pouzdra, tak složit do několikavrstvé sendvičové struktury, kterou je navíc možno tvarovat podle potřeby aplikace. [2]

Má stejné vlastnosti jako Li-Ion akumulátor, ale dokáže dodávat větší proudy a má větší akumulaci energie vzhledem k objemu.

Na obrázku 19 vidíme Li-Pol akumulátor, kde dva širší vodiče slouží k napájení a tenké vodiče k připojení balanceru a nabíječky.



Obr. 19 Li-Pol Akumulátor [15]

5.5 Nabíjení akumulátorů

Akumulátory mají omezené množství reaktantů, které se vybíjením článku přemění na reakční produkty. Tyto reakční produkty lze vnějším proudem převést na původní aktivní reaktanty. Tato elektrická energie se akumuluje v elektrochemické formě.

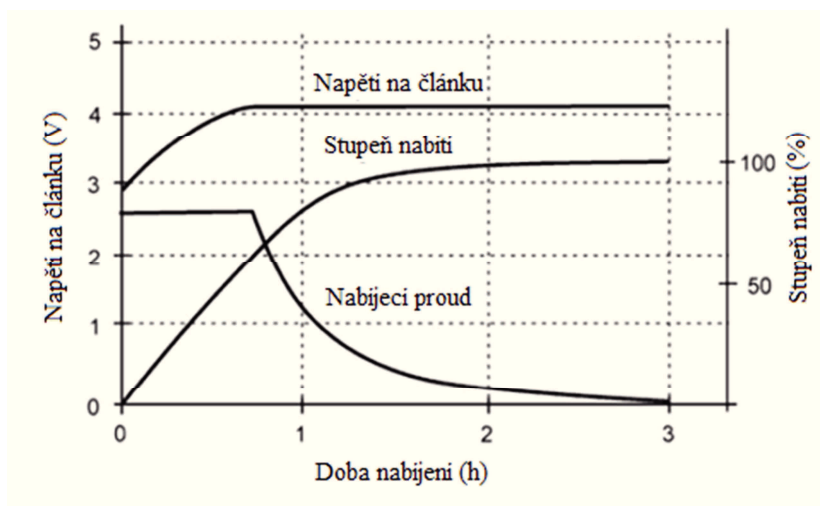
Kvalitu akumulátoru určuje počet cyklů nabití-vybití (udává životnost v cyklech). Velké množství akumulátorů vydrží stovky až tisíce těchto cyklů.

5.5.1 Nabíjení a vybíjení Li-Pol akumulátorů

K nabíjení Li-Pol akumulátorů musíme použít automatickou nabíječku, která nepřekročí mezní napětí 4,2V, protože jinak by mohlo dojít až k výbuchu akumulátoru. Cca do 80% kapacity akumulátoru probíhá nabíjení konstantním proudem do velikosti 0,8 CA. Po dosažení konečného

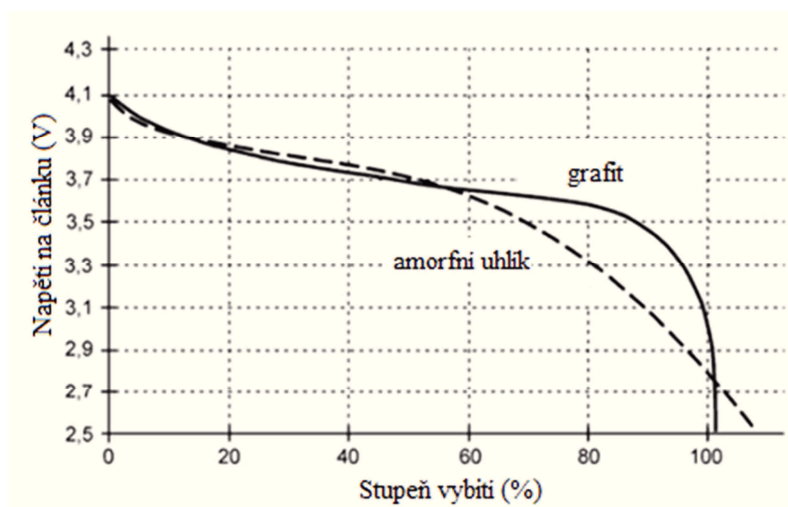
napětí 4,2V, proud klesne pod 5% počátečního nabíjecího proudu. Tyto průběhy můžeme vidět na obrázku 20. Životnost baterie je závislá na velikosti nabíjecího proudu. Čím menší nabíjecí proud, tím se razantně zvýší životnost akumulátoru.

Nabíjet můžeme akumulátory řazené paralelně (zvýší se kapacita, ale napětí je stejné), sériově (zvýší se napětí, ale kapacita zůstává stejná) a sérioparalelně. U nabíjení sériově řazených akumulátorů je vhodné použít balancer, který udržuje napětí na všech člancích konstantní.



Obr. 20 Průběh napětí a proudu při nabíjení Li-Pol akumulátorů [2]

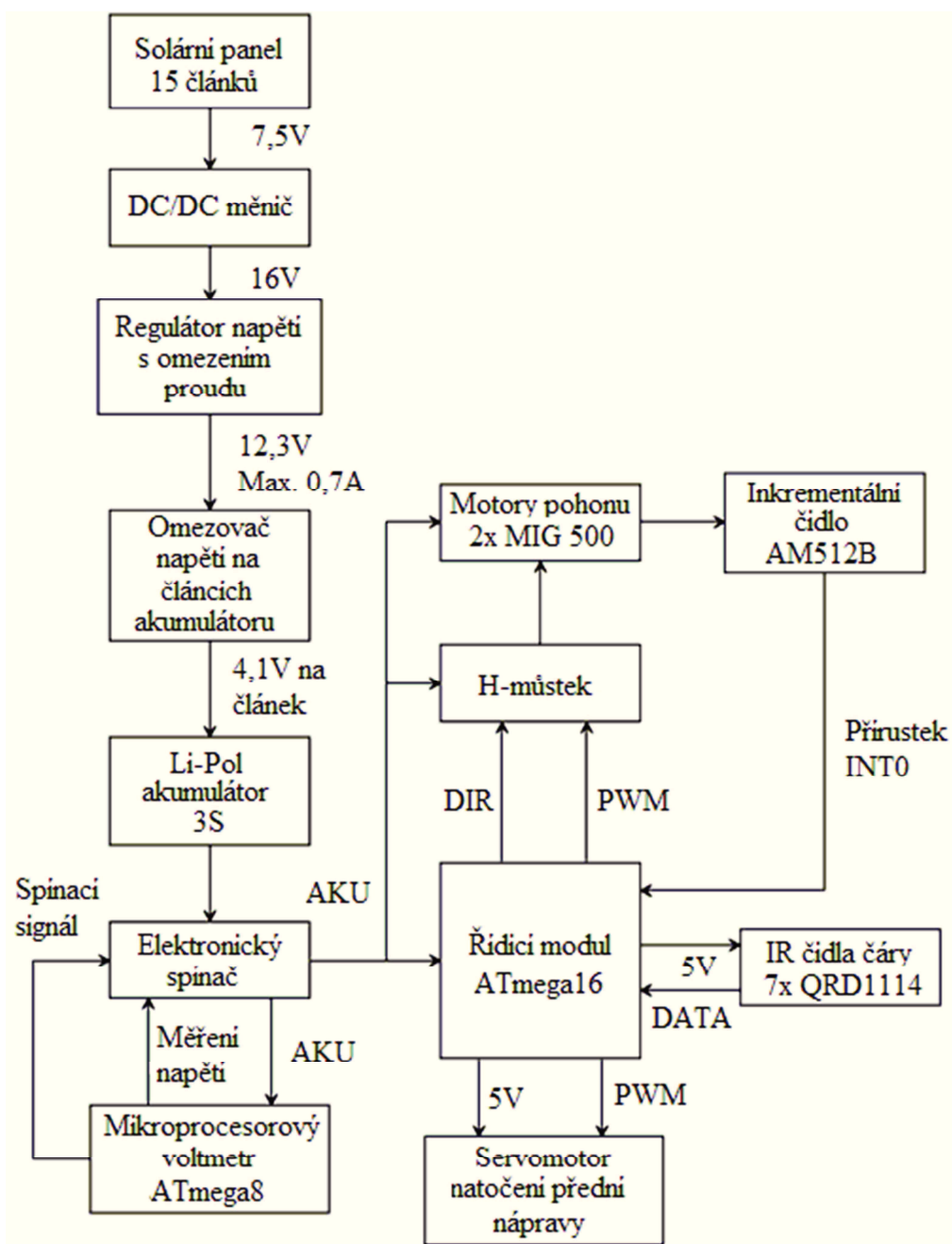
Vybíjecí křivka (obr. 21) má klesající charakter a ke konci vybití dochází k rychlejšímu poklesu napětí na článku. U článku s grafitovou katodou se považuje konečné napětí 3V a s amorfním uhlíkem 2,5V. Pokud napětí klesne pod tyto hodnoty, je potřeba článek nabíjet malým proudem do doby, než stoupne napětí na článku ke 3V (2,5V). Poté je možné pokračovat v nabíjení běžným způsobem. Vybití článku lze až špičkově 50 násobkem kapacity článku. Samovybití Li-Pol článků je cca 5% kapacity za měsíc.



Obr. 21 Průběh napětí při vybití Li-Pol akumulátorů [2]

6 Návrh řešení mobilního robotu

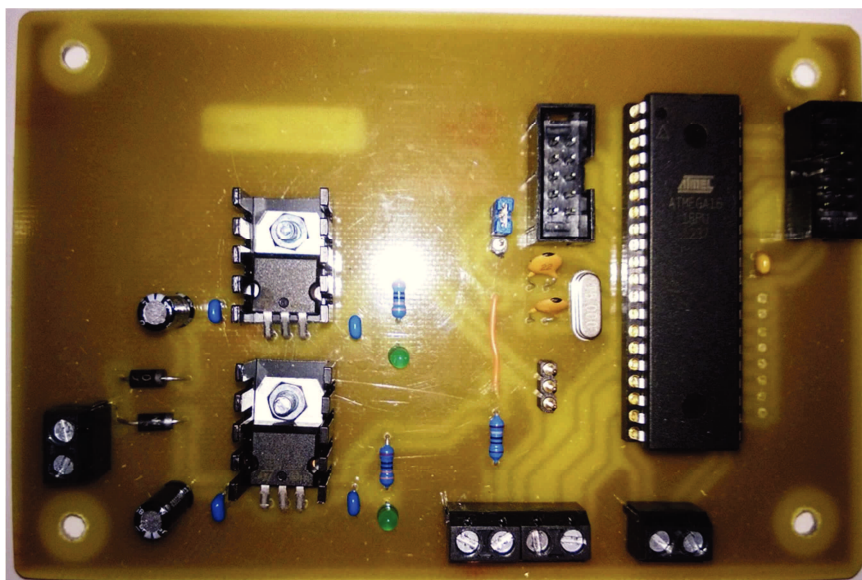
Cílem návrhu je zkonstruování mobilního robotu, který sleduje vodící čáru. Na obrázku 22 vidíme blokové schéma robotu. V první části se zabýváme řízením dvou stejnosměrných motorů pomocí H-můstku. Dále řízením servomotoru a čidly ke sledování černé čáry. Motory a servomotory jsou už předinstalované v použitém Ackermannově podvozku. V druhé části řešíme napájecí a nabíjecí části robotu. Jednotlivé moduly si probereme v dalších kapitolách.



Obr. 22 Blokové schéma robotu

6.1 Řídicí modul

Modul je realizován mikroprocesorem ATmega16. Modul generuje PWM signál pro servomotor a H-můstek. Dále zpracovává přijaté signály z IR čidel pro sledování černé čáry. Na základě těchto údajů robot sleduje černou čáru. Sestavený modul je na obrázku 23. Schéma a DPS je v příloze A.



Obr. 23 Sestavený řídicí modul

6.1.1 Popis modulu

Napětí přivedené na svorku X1 je vyfiltrováno a dvěma obvody 7805 stabilizováno na 5V, pro každou napájecí větev zvlášť. První větev napájí servomotor a druhá větev mikroprocesor a IR čidla. Modul je chráněný proti prepólování.

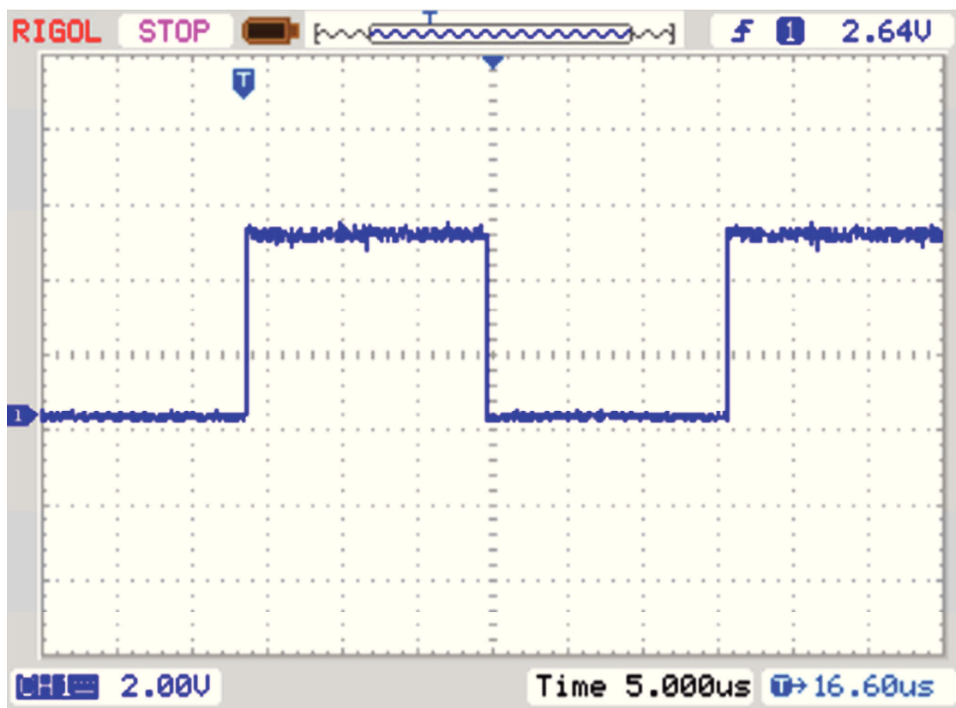
Na svorkovnici X2 je výstup PWM signálu a signálu DIR do H-můstku. PWM signál je generován časovačem/čítačem 2 na výstupním pinu OC2. Je použité rychlé PWM. Velikost výstupní frekvence spočítáme pomocí vzorce (1).

$$f_{Výst} = \frac{f_{CLK}}{N \cdot 256} = \frac{8000000}{1 \cdot 256} = 31250Hz \quad (1)$$

Kde:

- $f_{Výst}$ – výstupní frekvence
- f_{CLK} – takt mikroprocesoru
- N – předdělička

Registrem OCR2 měníme střídu výstupního PWM signálu. Když je OCR2 = 128, je střída cca 50%. Ukázka signálu s 50% střídou je na obrázku 24.



Obr. 24 Napěťový PWM signál s 50% střídou s výstupu OC2

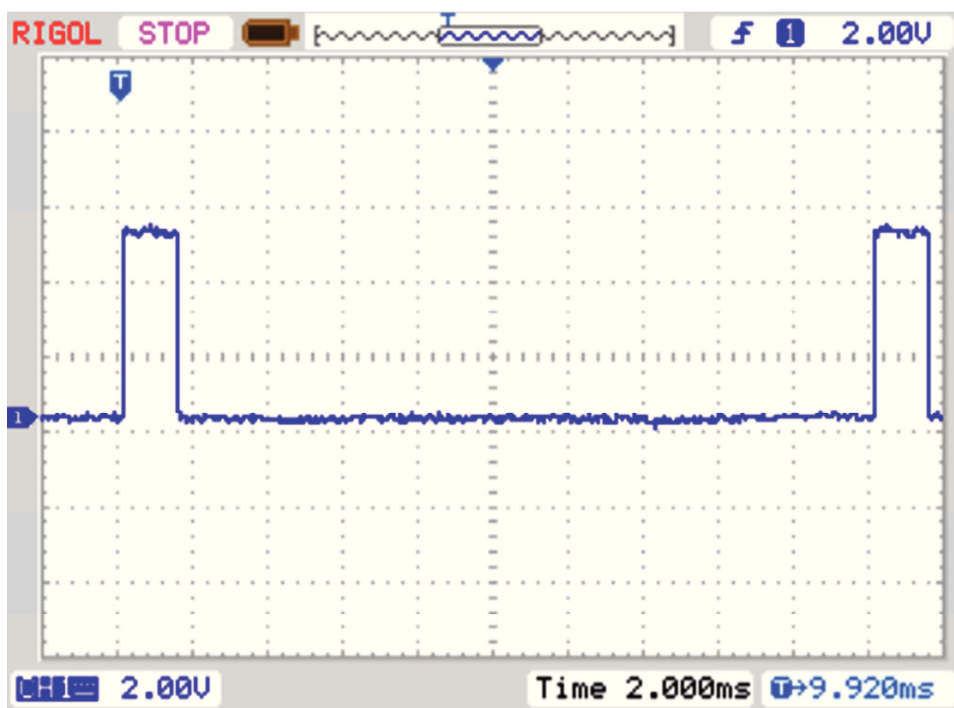
Na konektor SV1 se připojí tří vodičovým kabelem servomotor. PWM signál je generovaný časovačem/čítačem 1 na výstupní pin OC1A. Je použit fázově a frekvenčně korigovaný PWM režim, který je od normálního PWM režimu dvakrát přesnější. Podle vzorce (2) vypočítáme výslednou frekvenci na výstupu.

$$f_{Vyst} = \frac{f_{CLK}}{2 \cdot N \cdot TOP} = \frac{8000000}{2 \cdot 8 \cdot 10000} = 50Hz \quad (2)$$

Kde je:

- f_{Vyst} – výstupní frekvence
- f_{CLK} – takt mikroprocesoru
- N – předdělička
- TOP – maximální výše do kdy časovač/čítač čítá

Frekvence je 50Hz, kterou vyžadují servomotory. Na obrázku 25 je ukázaný signál, který natočí servomotor do centrální polohy. Registry OCR1AH a OCR1AL se nastavuje střída signálu. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty registrů pro tři základní směry servomotoru.



Obr. 25 Napěťový PWM signál ovládající servomotor z výstupu OC1A

Tab. 2 Hodnoty pro tři základní polohy servomotoru

Hodnota	OCR1AH	OCR1AL	Natočení
625	0x02	0x71	-45°
750	0x02	0xEE	0°
875	0x03	0x6B	+45°

Na svorkovnici X3 se připojí inkrementální senzor. Pulzy jsou přivedeny na vstupní pin INT0. Registrem MCUCR se nastaví podmínky pro vyvolání přerušení. V tomto případě je nastavena podmínka na náběžnou hranu pulzu. Při každé náběžné hraně se do proměnné *puls* přičte jednička. Časovač/čítač 0 každých 0,00204s provede přerušení a vykoná se kód v něm. Periodu přerušení vypočítáme ze vzorce (3). Při každém přerušení se do proměnné *smyčka* přičte jednička. Výpočet otáček za minutu se provede každou cca 1s. Poté se vynuluje proměnná *puls* a *smyčka* a začíná nový cyklus měření. Na obrázku 26 je část kódu pro měření otáček motoru.

$$t_{\check{c}/\check{c}} = \frac{N \cdot TOP}{f_{CLK}} = \frac{64 \cdot 255}{8000000} = 0,00204s \quad (3)$$

Kde:

$t_{\check{c}/\check{c}}$ – doba za kterou dojde k přerušení časovače/čítače

N – předdělička

TOP – maximální výše do kdy časovač/čítač čítá

f_{CLK} – takt mikroprocesoru


```

//Přerušeni z INTO
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
puls++; //Při každé náběžné hraně na vstupu INTO se do proměnné puls přičte 1
}

//Přerušeni z č/č 0
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
smacka++; //Při každém přerušeni se přičte 1
if (smacka>=491) // 0,00204*491 = cca 1s
{
feedback_rpm=puls*60/512; //Přepočet na RPM
smacka=0;
puls=0;
}
}
}

```

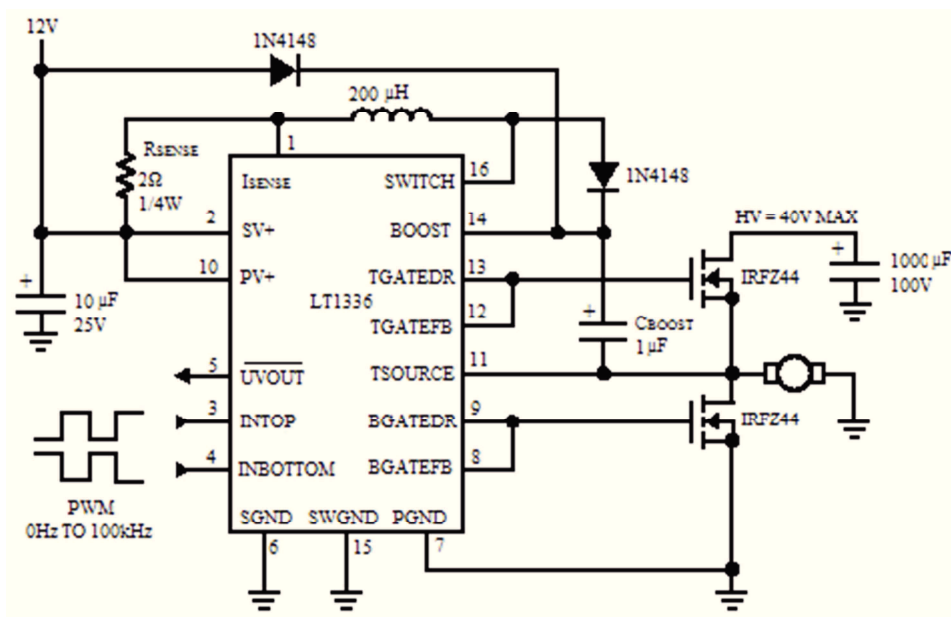
Obr. 26 Část kódu pro měření otáček motoru

6.2 H-můstek

Sestavený H-můstek je převzatý z této diplomové práce [16], která byla řešená na stejném podvozku.

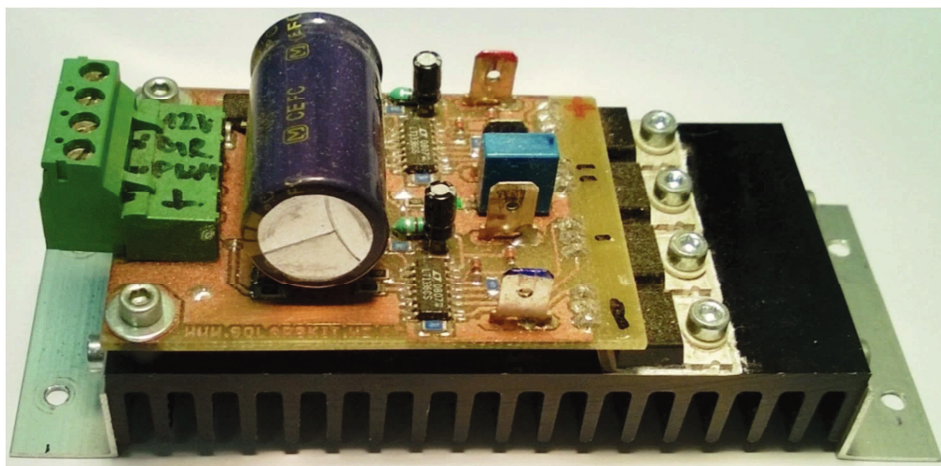
H-můstek se skládá ze vstupní logiky, budiče a výkonové části. Vstupní logika zajišťuje správnou funkci H-můstku a přerozdělení PWM signálu na jednotlivé půlmosty v závislosti na signálu DIR.

Budící obvod je použit ke spínání výkonových MOSFETů ve výkonové části. Použitým obvodem je zde LT1336 a jeho typické zapojení je na obrázku 27. Tento obvod obsahuje DC/DC měnič, který napájí high side část budiče, a proto je možné horní tranzistor sepnout trvale. Výhodou tohoto obvodu je nízká hodnota výstupního odporu a schopnost dodat špičkově proud až 1,5A.



Obr. 27 Typické zapojení obvodu LT1336 [22]

Výkonová část je realizována tranzistorem MOSFET. Jsou použity čtyři tranzistory IRFZ48V, které mají v sobě integrované zpětné diody pro indukční zátěž a velmi malý odpor R_{DS} . Takto realizovaný H-můstek je na obrázku 28.

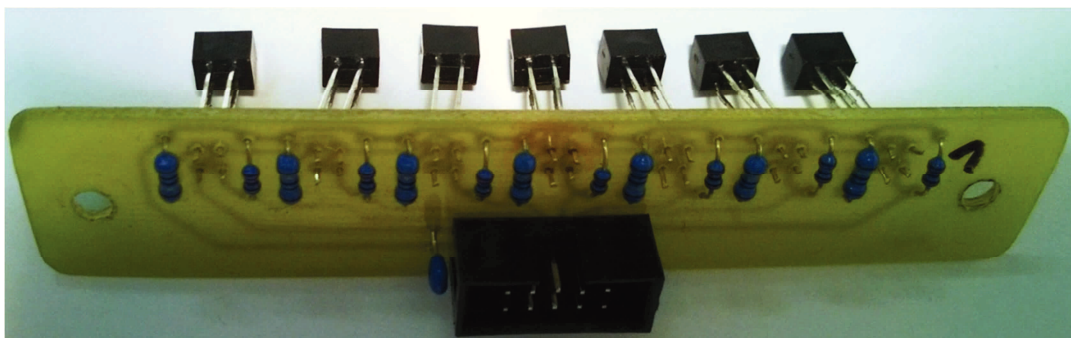


Obr. 28 Realizovaný H-můstek

6.3 Čidla čáry

Pro sledování černé čáry je modul sestavený sedmi IR čidly QRD1114. Jedná se o modul, kde je IR dioda a přijímací tranzistor v jednom pouzdře. Tyto čidla jsou modernějším nástupcem CNY70.

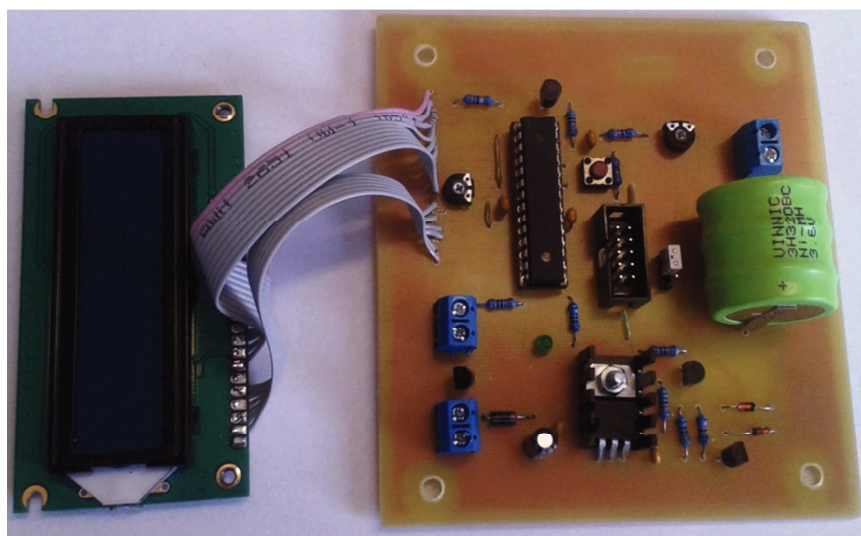
Čidla jsou zapojena přes pull-up rezistory připojené k řídicí desce plochým kabelem. Sestavený modul je na obrázku 29. Schéma a DPS je v příloze B.



Obr. 29 IR čidla čáry

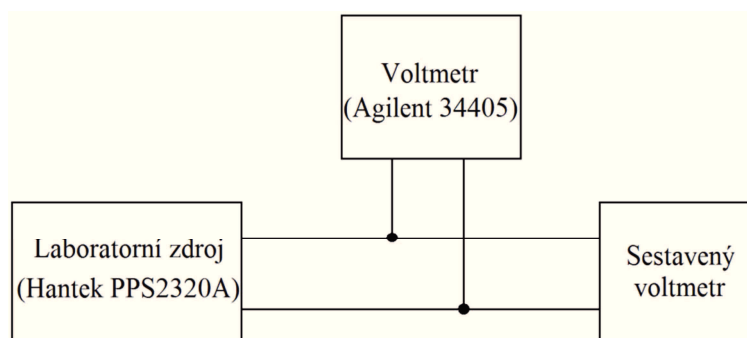
6.4 Voltmetr

Voltmetr je realizován mikroprocesorem ATmega8. Tento modul slouží k měření napětí na akumulátoru. Pokud klesne napětí pod nastavenou dolní mez, program odpojí přes elektronický spínač zátěž. Po nabití akumulátoru nad horní mez, program opět sepne zátěž. Sestavený modul je zobrazen na níže uvedeném obrázku.



Obr. 30 Sestavený voltmetr

Sestavený voltmetr je kalibrováný podle blokového zapojení na obrázku 31. Jako zdroj napětí je použit laboratorní zdroj Hantek PPS2320A. Jako kalibrační měřidlo je použitý voltmetr Agilent 34405.



Obr. 31 Zapojení pro kalibraci voltmetru

Na laboratorním zdroji bylo nastaveno cca půlka rozsahu sestaveného voltmetru (10V) a potenciometrem R_3 se seřídilo napětí sestaveného voltmetru kalibračním voltmetrem na stejnou hodnotu. Poté se provedlo 40 měření cca od 0,5V do 20V. Hodnoty jsou zapsány v tabulce 3. U_{Namerena} je hodnota napětí odečtená ze sestaveného voltmetru a U_{Spravna} je hodnota z kalibračního voltmetru.

Tab. 3 Kalibrační měření

Č. měření	$U_{\text{Namerena}} \text{ (V)}$	$U_{\text{Spravna}} \text{ (V)}$	$\Delta U \text{ (V)}$	Č. měření	$U_{\text{Namerena}} \text{ (V)}$	$U_{\text{Spravna}} \text{ (V)}$	$\Delta U \text{ (V)}$
1	0,49	0,49	0	21	10,52	10,516	0,004
2	0,96	0,996	-0,036	22	11,04	11,028	0,012
3	1,48	1,49	-0,01	23	11,54	11,53	0,01
4	1,98	2	-0,02	24	12,04	12,026	0,014
5	2,5	2,5	0	25	12,54	12,52	0,02
6	3	3,01	-0,01	26	13	12,98	0,02
7	3,5	3,51	-0,01	27	13,53	13,524	0,006
8	4	4,01	-0,01	28	14,02	14,018	0,002
9	4,52	4,516	0,004	29	14,5	14,492	0,008
10	5,02	5,018	0,002	30	15,06	15,035	0,025
11	5,52	5,525	-0,005	31	15,56	15,538	0,022
12	6,02	6,024	-0,004	32	16,02	15,998	0,022
13	6,52	6,526	-0,006	33	16,58	16,54	0,04
14	7,02	7,017	0,003	34	17,06	17,018	0,042
15	7,52	7,513	0,007	35	17,58	17,539	0,041
16	8	8,01	-0,01	36	18,04	18,031	0,009
17	8,52	8,51	0,01	37	18,56	18,532	0,028
18	9,02	9,018	0,002	38	19,06	19,035	0,025
19	9,52	9,516	0,004	39	19,56	19,535	0,025
20	10,02	10,018	0,002	40	19,96	19,938	0,022

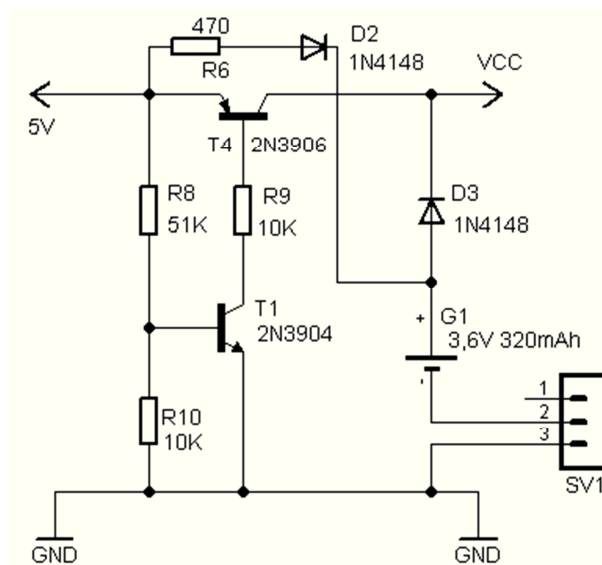
Absolutní chybu měření vypočítáme ze vzorce (1).

$$\Delta U = U_{\text{Namerena}} - U_{\text{Spravna}} = 5,02 - 5,018 = 0,002V \quad (1)$$

Z tabulky vidíme, že naměřené hodnoty napětí sestaveným voltmetrem se od správné hodnoty liší pouze v tisícinách, maximálně v setinách. V našem případě je tato přesnost plně dostačující.

6.4.1 Popis modulu

Modul je chráněný proti přepólování a vstupní napětí je stabilizováno pomocí obvodu 7805 na 5V. Modul má záložní napájení, které je realizované NiMH akumulátorem o celkovém napětí 3,6V a kapacitě 320mAh. Schéma zapojení záložního obvodu je na obrázku 32.



Obr. 32 Schéma záložního napájení

Ve stavu zapnutého napájení se akumulátor přes rezistor R6 a diodu D2 dobíjí konstantním proudem. V okamžiku vypnutého napájení se uzavře tranzistor T2, aby se akumulátor nevybíjel zpět do zdroje, a modul funguje na záložní akumulátor.

Měřené napětí se přivádí na A/D převodník čipu ADC5 přes odporový dělič v poměru 1:8 a ladící trimr. Pro výpočet výsledného napětí je použita interní reference čipu o velikosti 2,56V. Přesnější externí reference nemohla být použita z důvodu jiného napájecího a záložního napětí. Na ADC5 pin se tudíž může přivést pouze maximální napětí 2,56V a s použitým děličem cca 20V. Napětí 2,56V se rozdělí mezi 10 bitů (rozlišení A/D převodníku) a výsledná hodnota se vynásobí konstantou vypočtenou ze vzorce (1). Konstantu je potřeba ještě vynásobit 8, protože dělič je 1:8.

$$K = \frac{A_{ref}}{2^{10}} \cdot 8 = \frac{2,56}{1024} \cdot 8 = 0,0025 \cdot 8 = 0,02 \quad (1)$$

K – násobící konstanta
Aref – referenční napětí (V)

Část kódu pro výpočet napětí:

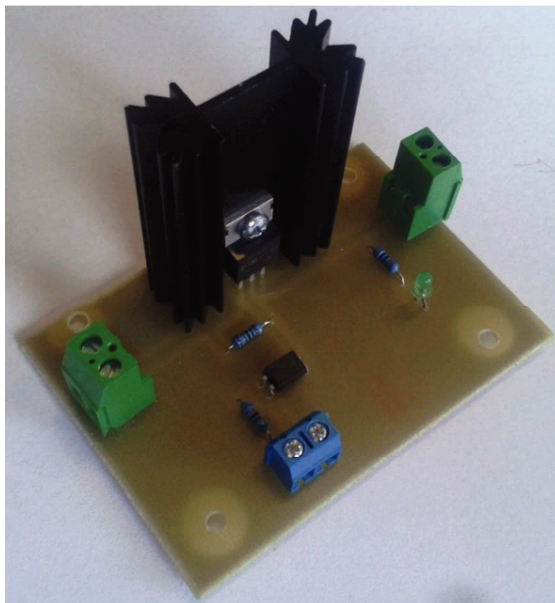
*napeti = (float)(ADCW*0.02); //ADCW - registr obsahující hodnotu z A/D převodníku*

Hodnota z ADCW v rozmezí 0 až 1023 je vynásobená konstantou 0,02. Tato hodnota je výsledné napětí s rozlišením na dvě desetinná místa a je uložena do proměnné *napeti*.

Celé schéma a DPS voltmetru je v příloze C.

6.5 Elektronický spínač

Elektronický spínač (obr. 33) je modul, který na základě voltmetru odpojí nebo připojí zátěž podle potřeby. Spínač je realizován pomocí tranzistoru MOSFET. Jejich výhodou jsou dobré spínací vlastnosti, vysoký proud I_D a nízký sepnutý odpor kanálu R_{DS} . V realizovaném spínači je použit P-MOSFET IRF4905, který má odpor $R_{DS} = 0,02\Omega$. S použitým chlazením je možné tranzistor zatížit cca 16W. Tato hodnota pro tyto účely stačí.



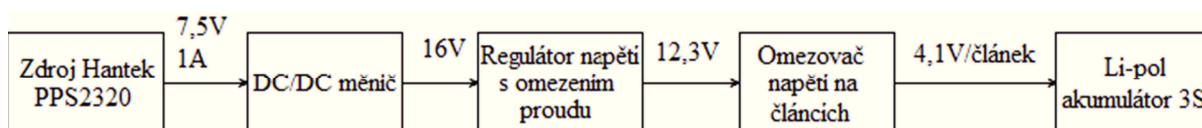
Obr. 33 Sestavený elektronický spínač

Svorka X1 je vstup a svorka X2 je výstup. Na svorku X3 se přivede řídicí signál z voltmetru. V logické 1 je optočlen PC817 sepnutý a tranzistor IRF4905 je otevřený a na výstupu je napětí, které je signalizováno LED diodou. V logické 0 je optočlen vypnutý a tranzistor je uzavřený. Na výstupu je 0V. Schéma a DPS je v příloze D.

6.6 Solární panel

Navržený solární panel se skládá z 15 monokrystalických článků, které jsou pospojovány do série. Jeden článek o velikosti 102,4x102,4mm generuje maximální výkon cca 1W při osvětlení 1000W/m². Celkové výstupní napětí panelu je cca 7,5V.

Jelikož solární panel do data odevzdání bakalářské práce nebyl k dispozici z důvodů nedodání firmou Solartec, byl panel nasimulován laboratorním zdrojem (Hantek PPS2320A). Nasimulovaný solární panel měl výstupní napětí 7,5V a výstupní proud 1A. Blokové schéma soustavy je na obrázku 34.



Obr. 34 Napájecí soustava s laboratorním zdrojem

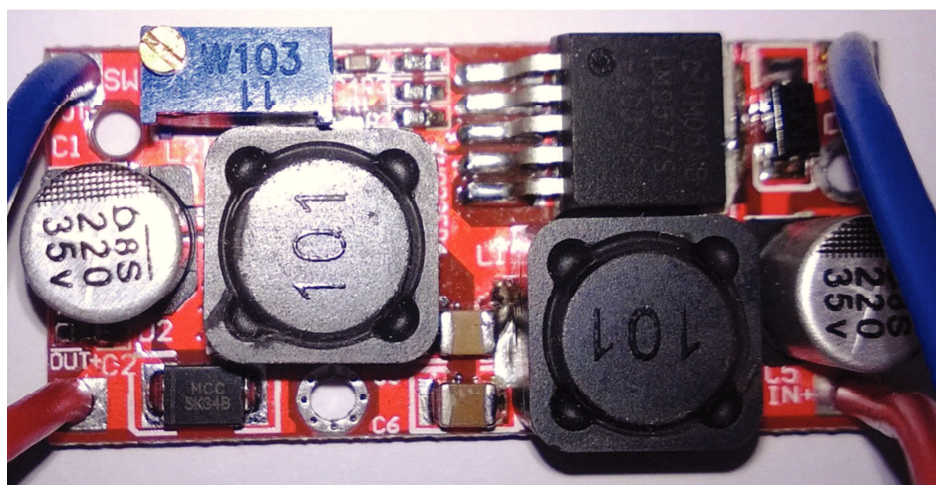
6.7 DC/DC měnič

DC/DC měniče se používají pro změnu velikosti stejnosměrného napětí nebo proudu. V robotu je použit zakoupený DC/DC měnič. Jedná se o tzv. SEPIC měnič, který dokáže napětí zvyšovat i snižovat. Parametry konkrétního DC/DC měniče jsou v tabulce 4 převzaté z [17].

Tab. 4 Parametry DC/DC měniče

Vstupní napětí	3-35VDC
Výstupní napětí	1,25-30VDC
Výstupní proud	2A
Účinnost	92%
Frekvence	50kHz
Zvlnění výstupního napětí	40mV
Pracovní teplota	-40°C +85°C
Rozměry	48 x 23 x 14mm

Na vstupní svorky DC/DC měniče je přivedeno napětí ze solárního panelu o velikosti cca 7,5V. DC/DC měnič vstupní napětí zvýší na 16V, které je napojeno na vstup regulátoru napětí s omezením proudu. DC/DC měnič je na obrázku 35.

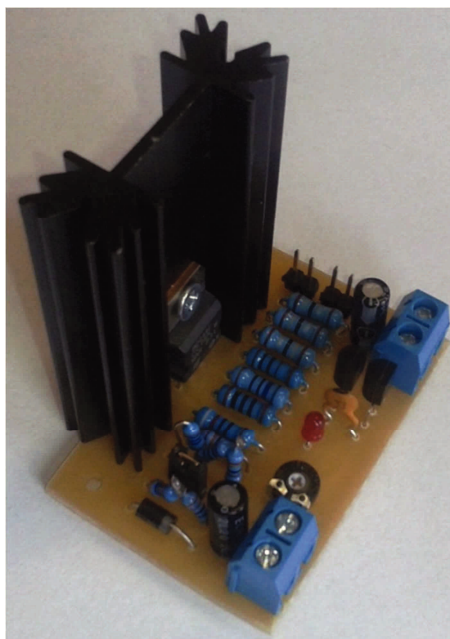


Obr. 35 DC/DC měnič

6.8 Regulátor napětí s omezením proudu

Tato konstrukce regulátoru napětí (obr. 36) je převzatá z tohoto zdroje[20]. Regulátor je založený na referenčním zdroji napětí TL431. Použití tohoto obvodu je výhodnější a mnohem stabilnější než použití katalogového zapojení LM317. Na obvodě LM317 vzniká velký úbytek napětí cca 2,5V. Jako stabilizátor proudu pracují tranzistory T1 a T2. Nabíjecí proud protéká přes odpor R1(R9,10). Pokud úbytek napětí na tomto odporu přesáhne asi 0,6 V, začne se pomocí T1 omezovat proud tranzistorem T2. Hodnota odporu R1 tedy určuje nabíjecí proud. Díky použití tranzistorů PNP je úbytek na nabíjecí podstatně menší než u ostatních zapojení. Další výhodou je, že minus pól výstupu

je společný se vstupním. Výstupní napětí je řízeno již zmíněným obvodem TL431. Jeho velikost určuje dělič napětí na výstupu (R5,R7,R8, P1), který upravuje napětí na velikost referenčního napětí obvodu 2,5V [20].



Obr. 36 Sestavený regulátor napětí s omezením proudu

Propojka J1 se používá k nastavení výstupního napětí pro dva nebo tři články. Propojky J2 a J3 slouží k nastavení omezovače proudu. V tabulce 5 je nastavení výstupního napětí a v tabulce 6 je nastavení omezovače proudu.

Tab. 5 Nastavení napětí [20]

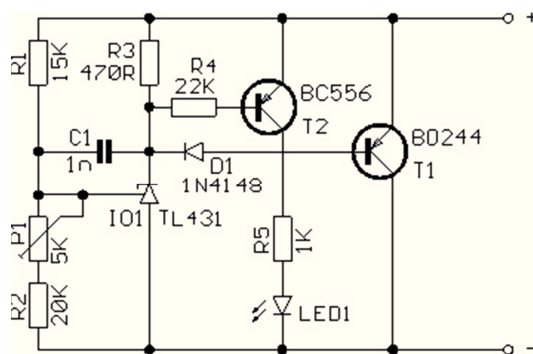
Propojka J1	Výst. Napětí
spojen	2 články
rozpojen	3 články

Tab. 6 Nastavení proudu [20]

Propojka J2	Propojka J3	Výst. proud
rozpojen	rozpojen	0,35A
spojen	rozpojen	0,7A
spojen	spojen	1A

6.9 Omezovač napětí na člancích akumulátoru

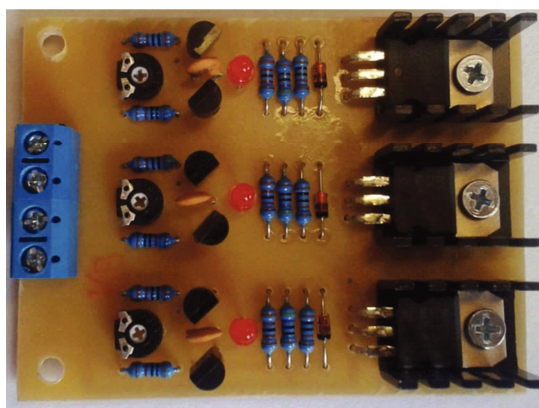
Konstrukce omezovače napětí je převzata ze zdroje [21]. Omezovač omezuje napětí na jednotlivých člancích Li-Pol akumulátoru a zároveň je chrání proti přebití. Sestavený obvod je složený ze tří, do série spojených stejných modulů. Schéma modulu můžeme vidět na obrázku 37.



Obr. 37 Schéma zapojení jednoho modulu [21]

Na realizovanou konstrukci lze připojit jeden až tři články. Pro vyšší počet článků se musí připojit další omezovací moduly. Omezovací napětí se nastavuje na každém modulu zvlášť trimrem v rozsahu cca 4,1 až 4,3V. S použitým chlazením lze akumulátor dobíjet až proudem 1A.

Funkce omezovače je taková, že článek se dobije na požadovanou napěťovou úroveň a přebytečný nabíjecí proud se promění v teplo. Dobitý článek je signalizovaný LED diodou. Sestavený omezovač je na obrázku 38.



Obr. 38 Sestavený omezovač napětí

Závěr

V práci jsem se seznámil s problematikou mobilních robotů, jejich řídicích a senzorických systémů. Na základě těchto informací jsem získal zkušenost, jak vyrobit mobilního robota a správně ho řídit. Dále jsem se seznámil s alternativními zdroji energie a jejich aplikaci v mobilních robotech.

Při návrhu robotu jsem se jako první zaměřil na jeho řízení a sledování vodící čáry, a potom na realizaci napájecí soustavy s alternativním zdrojem energie.

Rozhodl jsem se použít Ackermannův podvozek. Navrhnul jsem řídicí modul, který ovládá servomotor přední nápravy Ackermannova podvozku. Ten také řídí dva DC motory pomocí PWM přes H-můstek. Jeden motor pohání přední dvě kola a druhý motor zadní dvě kola. H-můstek jsem převzal od Ing. Tomáše Solarskiho, který byl už sestavený a vhodný pro tento typ podvozku. Ke sledování čáry jsem zhotovil modul sedmy infračervených čidel QRD1114. Ze začátku robot při sledování vodící čáry ztrácel signál na IR čidlech a zastavoval se. Tento problém byl způsoben drobným nakláněním celého robotu při jízdě kvůli jeho velké hmotnosti. Problém jsem vyřešil zdvojením vodící čáry z 1,5cm na 3cm.

Jako alternativní zdroj energie jsem vybral solární panel. Z důvodu nedodání solárního panelu do data odevzdání bakalářské práce jsem solární panel nasimuloval laboratorním zdrojem. Sestavil jsem mikroprocesorem řízený voltmetr, který měří aktuální napětí na Li-Pol akumulátoru. Tento voltmetr jsem kalibroval podle přesného voltmetru Agilent 34405. Při poklesu napětí pod dolní mez se odpojí zátěž elektronickým spínačem, který jsem navrhl a vyrobil. Zátěž se připojí až po nabití akumulátoru nad horní mez. Akumulátor se dobíjí přes zakoupený DC/DC měnič, regulátor napětí s omezením proudu a omezovače napětí. Regulátor napětí s omezením proudu a omezovače napětí jsem zhotovil ze schémat na internetu. Funkčnost soustavy jsem otestoval bez připojených DC motorů. Místo DC motorů jsem připojil umělou zátěž. Napájecí soustava funguje správně a bez problému.

Mým dalším plánem do budoucna je přidělat k robotu více solárních panelů, které se při vybitém akumulátoru vysunou, a tím o hodně vzroste nabíjecí výkon. Tímto by se akumulátor nabil na plnou kapacitu mnohem rychleji.

Bakalářskou práci jsem získal teoretické znalosti o této problematice, převážně z oblasti alternativních zdrojů energie a řízení. Prakticky jsem se naučil řízení stejnosměrných motorů pomocí PWM a využívání A/D převodníku pro měření napětí a jeho zobrazování na LCD displeji. Dále jsem si prohloubil znalosti v programovacím jazyku C a jeho implementace do mikroprocesorů AVR.

Použitá literatura

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] CETL, Tomáš. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02859-3.
- [3] ŠOLC, František a Luděk ŽALUD. *Robotika* [online]. Brno: VUT, 2002 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf
- [4] PORŠ, Zdeněk. *Palivové články* [online]. 2002 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [5] HORÁK, Bohumil, Jiří KAZÁRIK, Tereza OTÁHALOVÁ, Ondřej BALAK a Kristýna FRIEDRISCHKOVÁ. *Průmyslová robotika* [online]. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, 2012 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: http://rc111.vsb.cz/pr/Sylaby%20PR%20a%20roz%9ai%f8uj%edc%ed%20materi%e1ly/Skrip ta_PR.pdf
- [6] Elektrický pohon. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2002- [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_pohon
- [7] Fotovoltaika. *Skupina ČEZ* [online]. 2014 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [8] Termoelektrické materiály. *Fakulta chemicko-technologická* [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/slchpl/vyzkum/termo-materialy.html>
- [9] D Cell Series - Board Mounted Cells. *Maxwell technologies* [online]. 2013 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/products/d-cell-series>
- [10] Ackermannova podmínka. SAJDL, Jan. *Autolexicon.net* [online]. 2013 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/ackermannova-podminka/>
- [11] KÁRNÍK, Ladislav. Lokomoční ústrojí mobilních robotů pro nestrojírenské aplikace. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2002, roč. 2002, č. 7 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28494
- [12] Senzory. *Snail instruments* [online]. 2013 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/ir-reflexni/181-qrd1114.html>
- [13] Servo Motor Glossary of Terms. *Oriental motor* [online]. 2013 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-glossary.html>
- [14] RC model vybavený parkovacím asistentem. *Freisi* [online]. 2009 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://freisi.ic.cz/2009/08/rc-model-vybaveny-parkovacim-asistentem>
- [15] Li-Pol. *Modell craft* [online]. 2013 [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.modellcraft.cz/www-modellcraft-cz/eshop/1-1-Akumulatory/1-2-Li-Pol>
- [16] SOLARSKI, Tomáš. *Řídicí a senzorický subsystém mobilního robotu*. Ostrava, 2009. <http://hdl.handle.net/10084/73971>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.
- [17] DC-DC měniče napětí. *Solfoton: Elektřina ze Slunce* [online]. 2011 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.solfoton.eu/products/dc-dc-menic-napeti/>

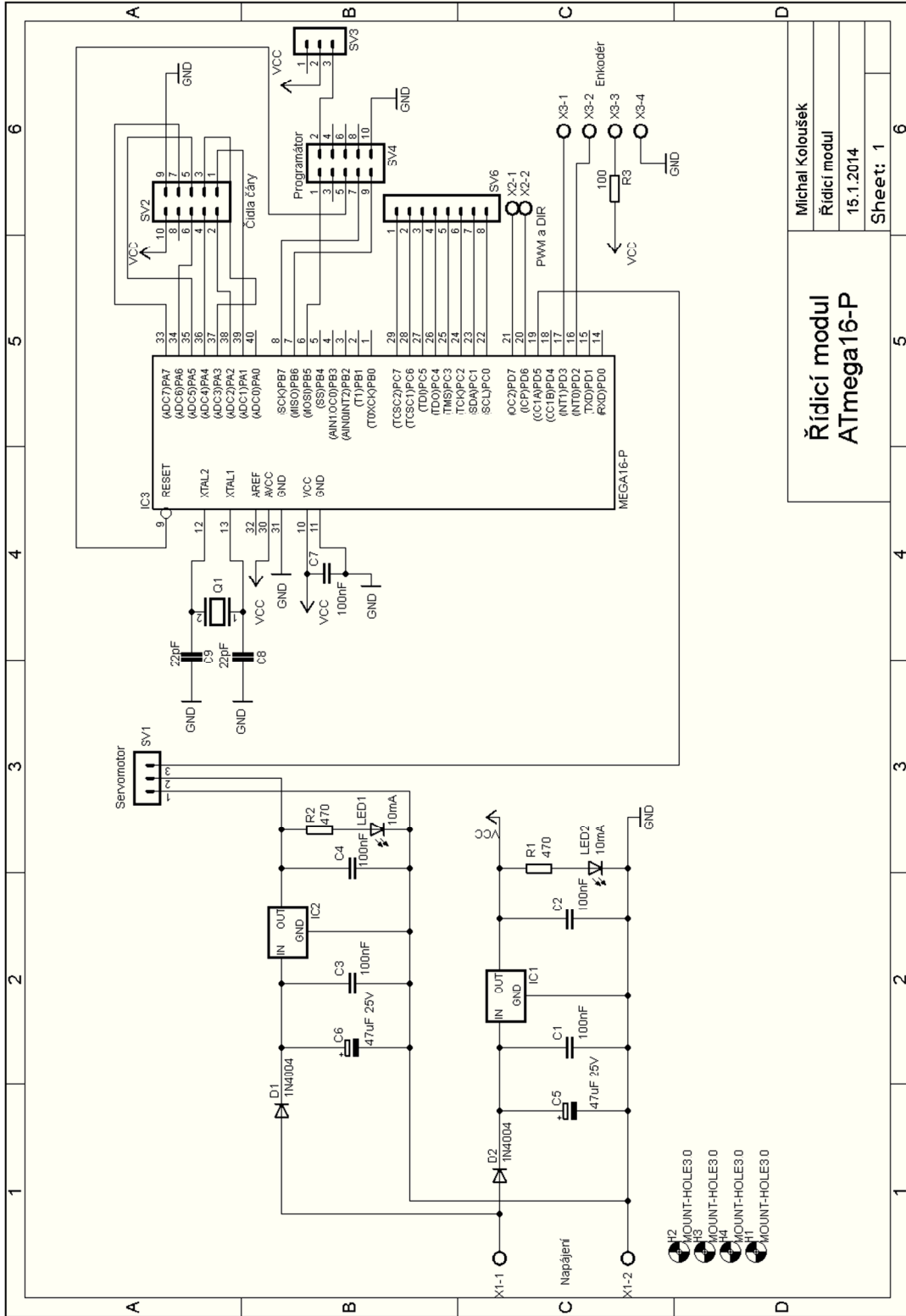
- [18] Stejnoseměrné elektromotory. *Pecka model* [online]. 2011 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/elektromotory-a-prislusenstvi/stejnosemerne-elektromotory/mig/133078-mig-500-turbo-7-2-v-race>
- [19] AM512B [online]. 2009 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: http://www.datasheetlib.com/datasheet/637002/am512b_rls.html
- [20] Jednoduchý baníječ LiIon, LiPol a Pb článků. *Miloš Zajíc: Elektronické moduly a stavebnice* [online]. 2007 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.zajic.cz/nablion/nablion.htm>
- [21] Omezovač napětí pro nabíjení Li-Ion a Li-Pol článků II. *Miloš Zajíc: Elektronické stavebnice a moduly* [online]. 2007 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.zajic.cz/omezovac/omezovac.htm>
- [22] LT1336 [online]. 2009 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/70411/LINER/LT1336/125/1/LT1336.html>

Seznam příloh

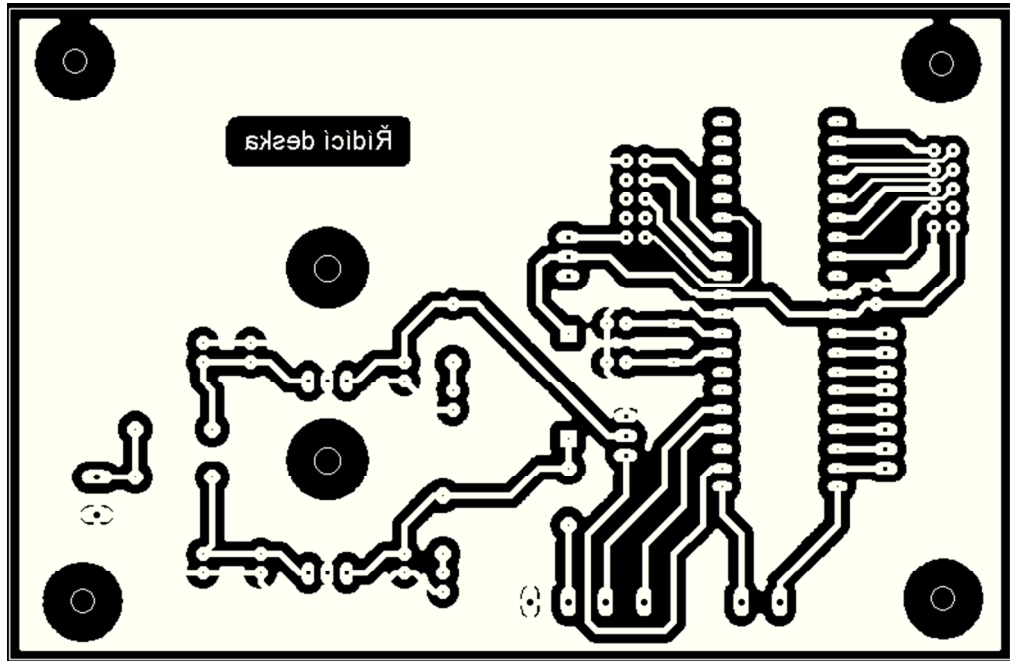
Příloha A	Schéma a DPS řídicího modulu.....	I
Příloha B	Schéma a DPS čidel čáry.....	III
Příloha C	Schéma a DPS voltmetru.....	V
Příloha D	Schéma a DPS elektronického spínače.....	VII
Příloha E	Fotogalerie	IX
Příloha F	Příloha na DVD	XI

Příloha A Schéma a DPS řídicího modulu

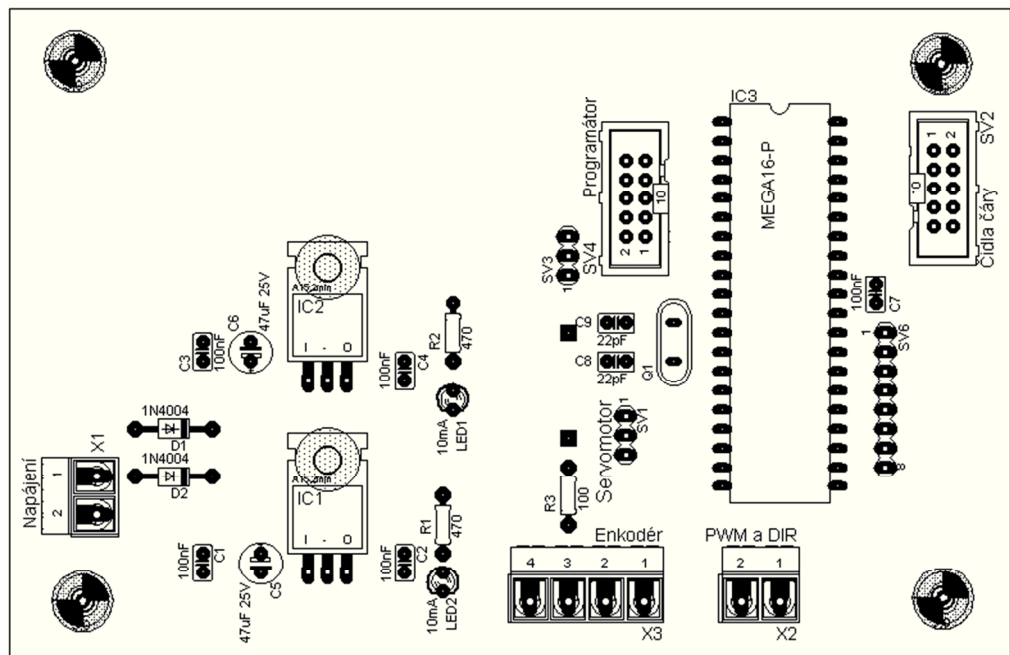
Schéma řídicího modulu



DPS strana Bottom

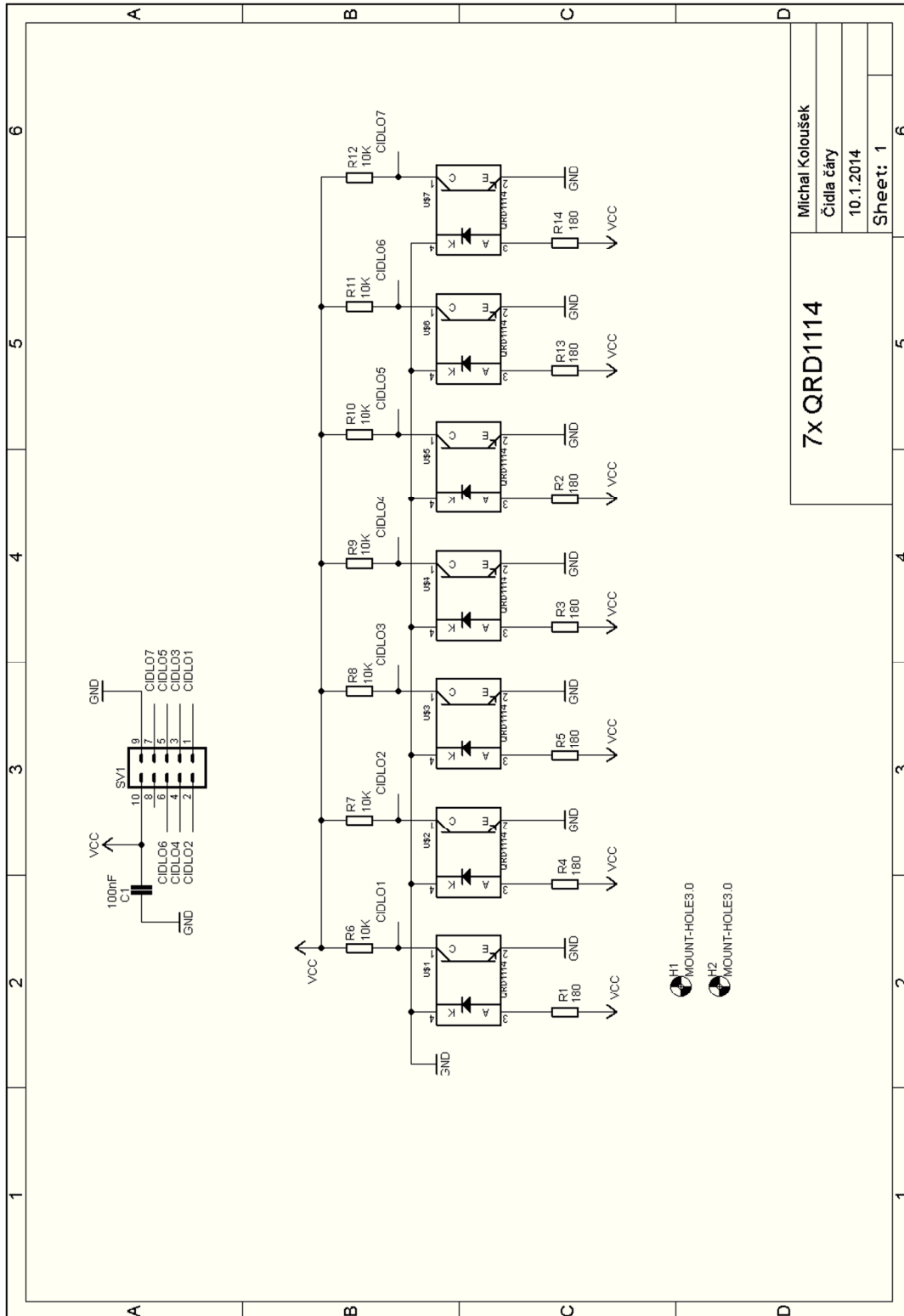


Osazení součástek



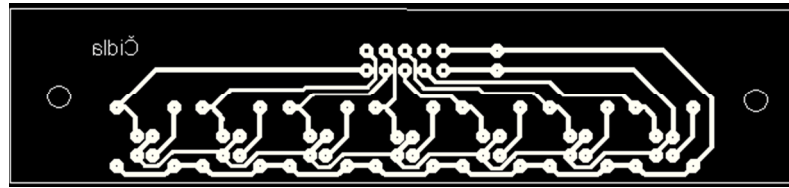
Příloha B Schéma a DPS čidel čáry

Schéma čidel čáry

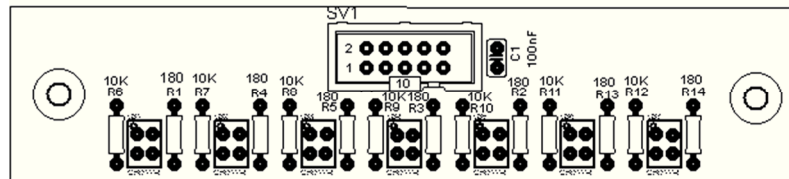


7x QRD1114											
						Michal Koloušek					
						Čidla čáry					
						10.1.2014					
					Sheet: 1						

DPS strana Bottom

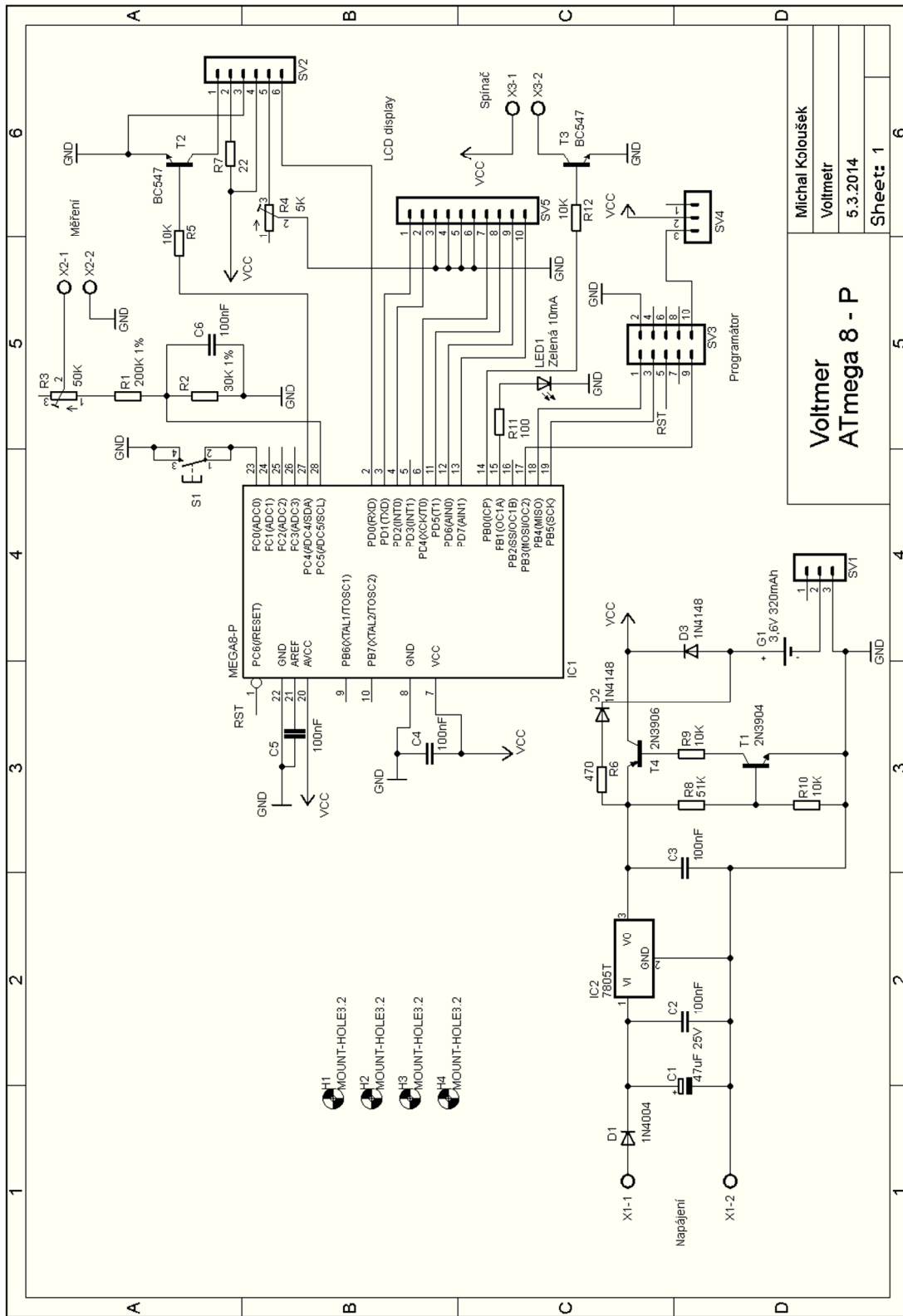


Osazení součástek



Příloha C Schéma a DPS voltmetru

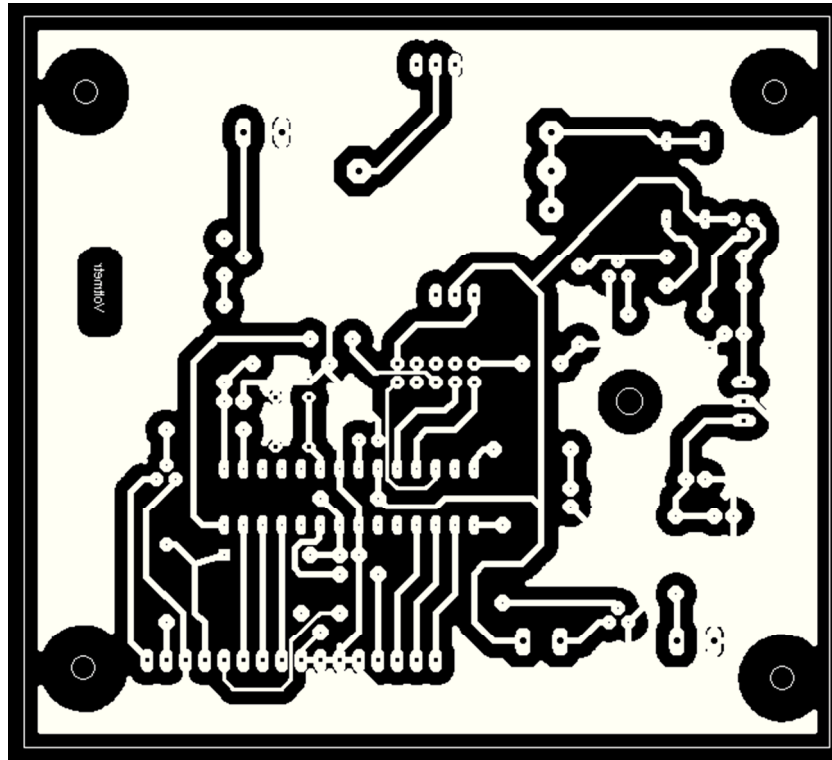
Schéma voltmetru



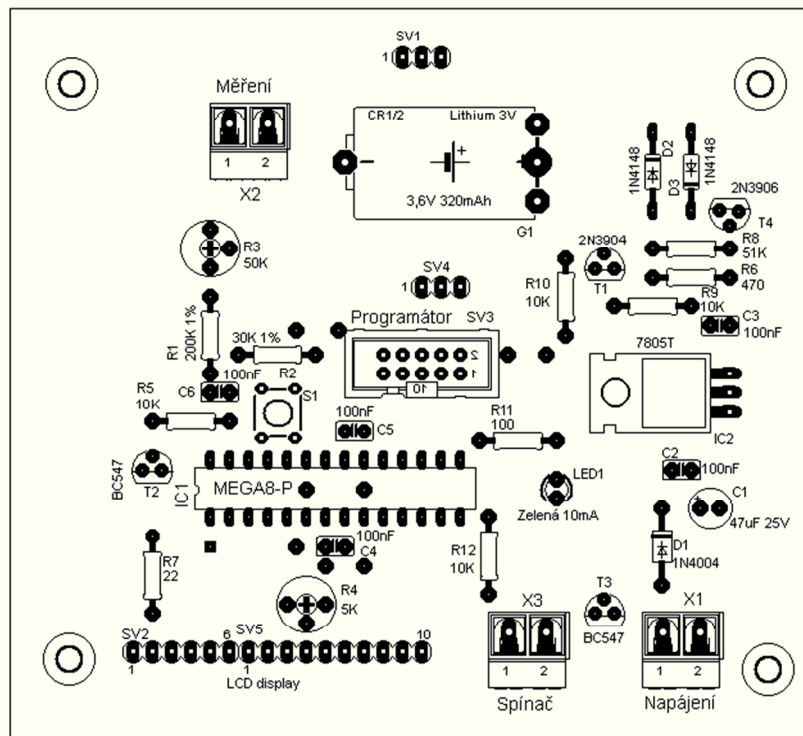
Michal Koloušek
 Voltmetr
 5.3.2014
 Sheet: 1

Voltmetr
 ATmega 8 - P

DPS strana Bottom

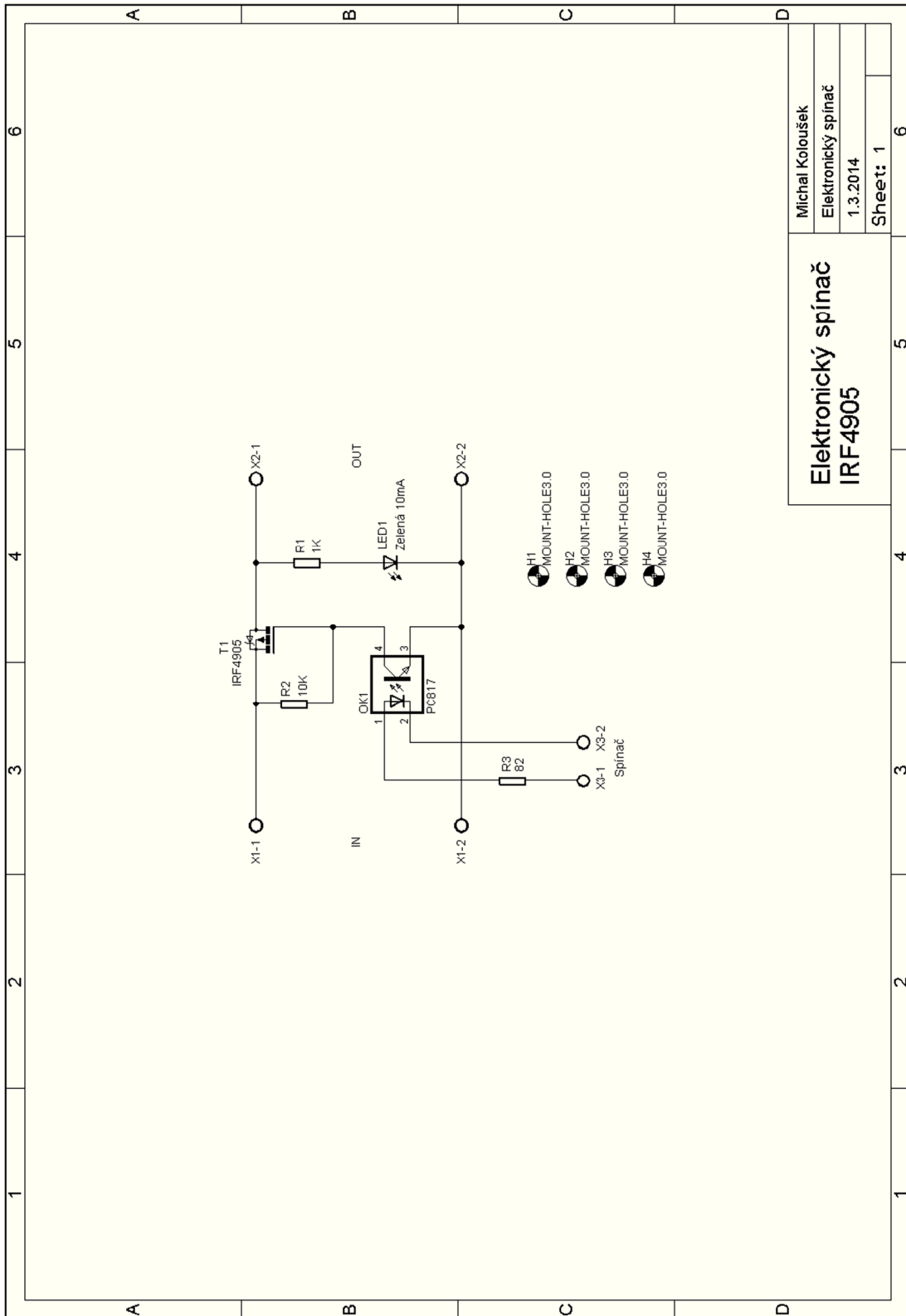


Osazení součástek

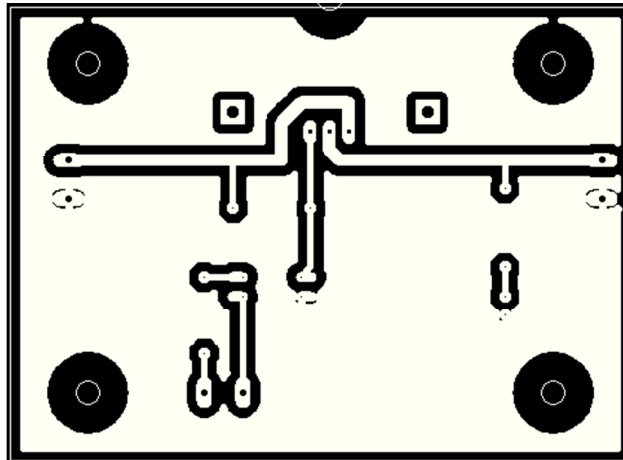


Příloha D Schéma a DPS elektronického spínače

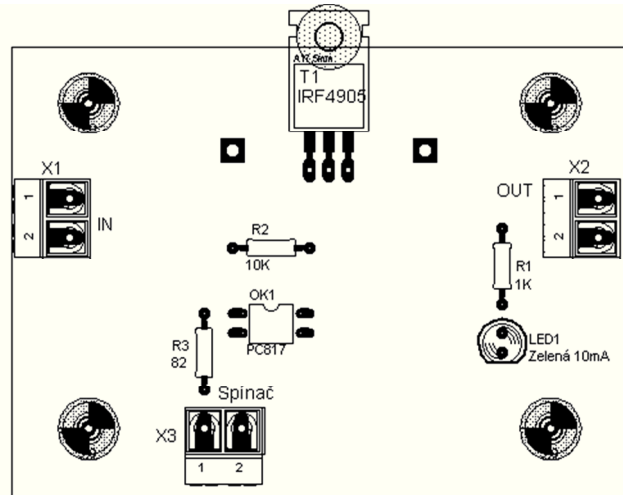
Schéma elektronického spínače



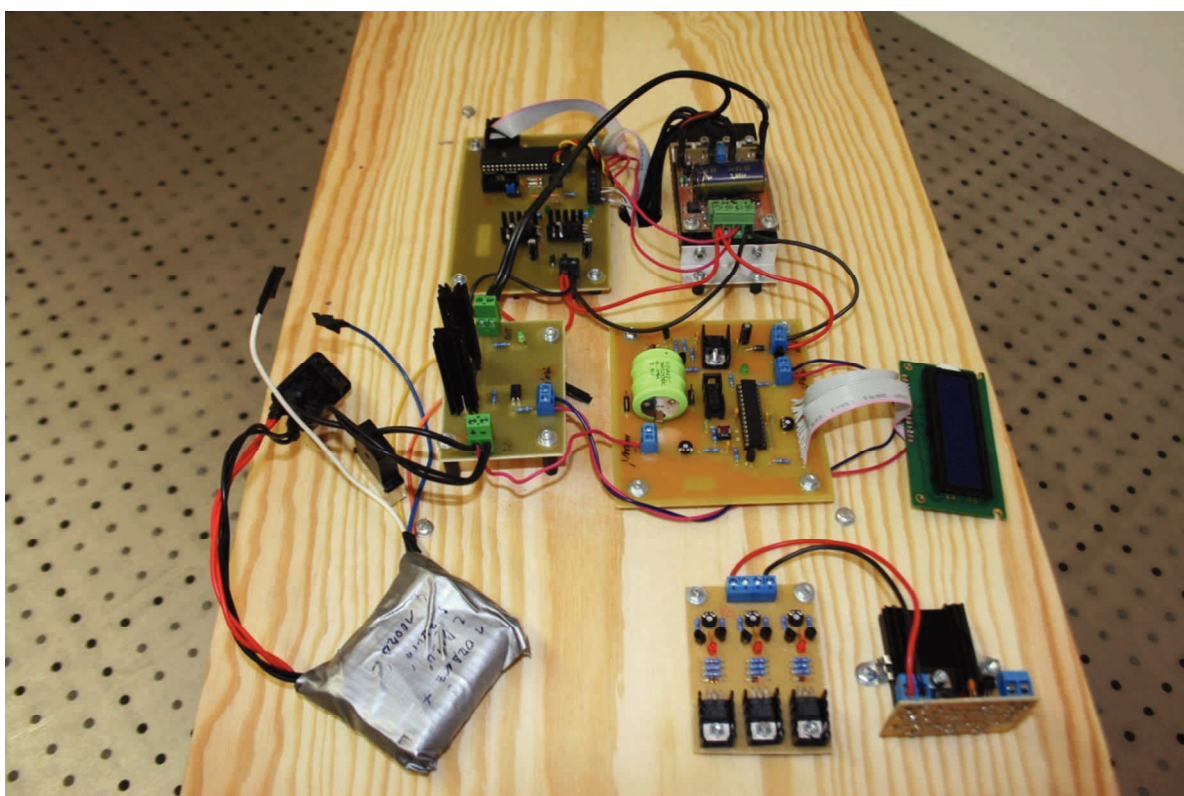
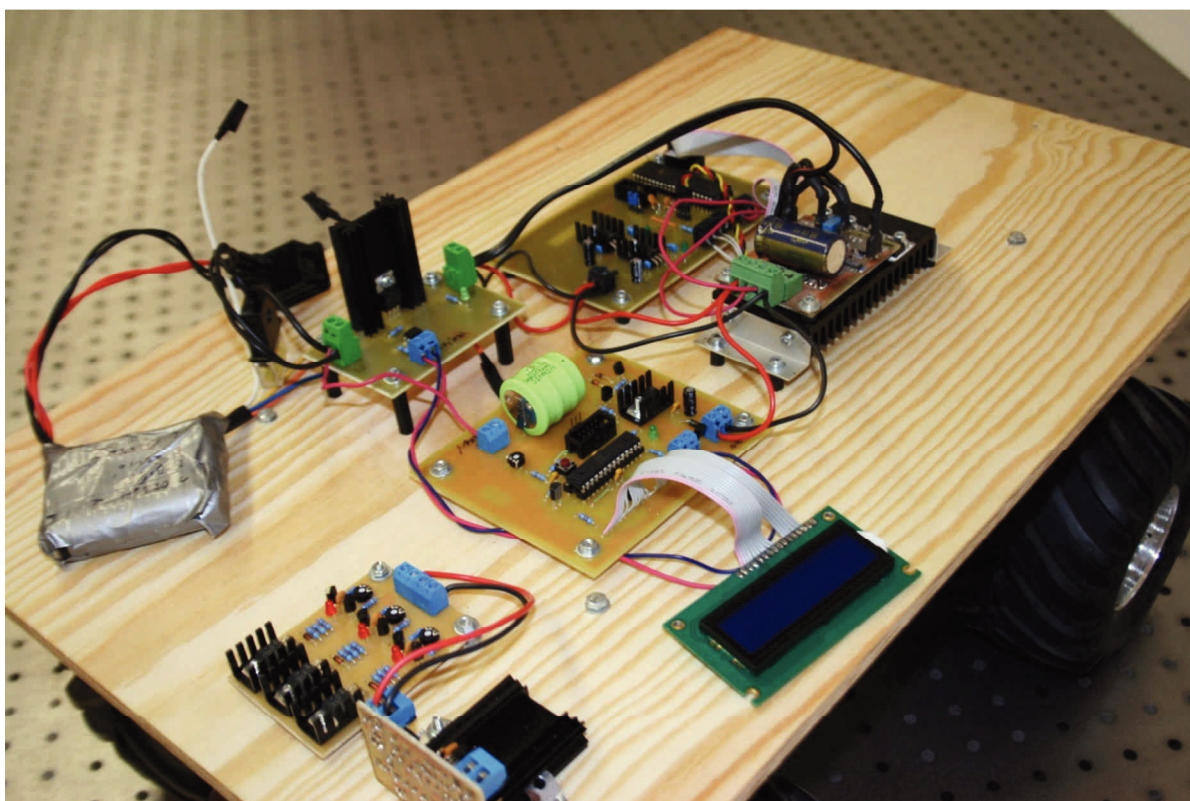
DPS strana Bottom

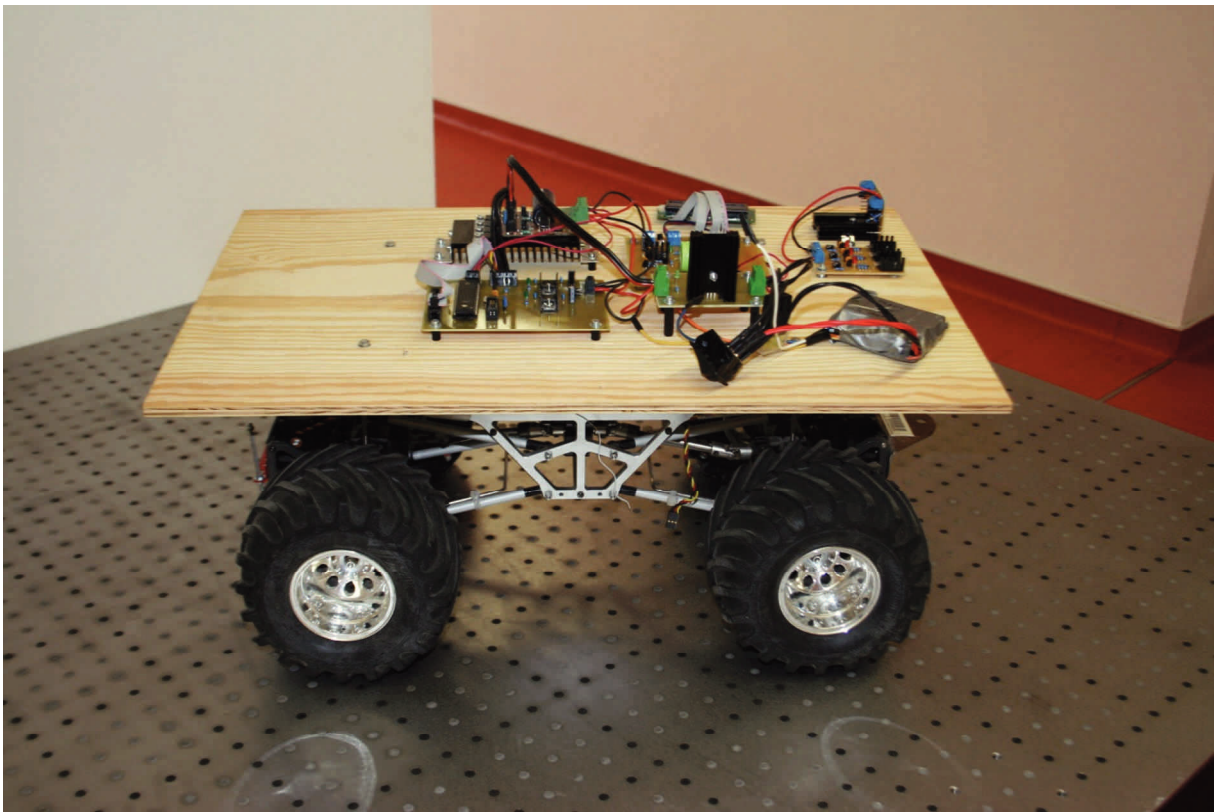
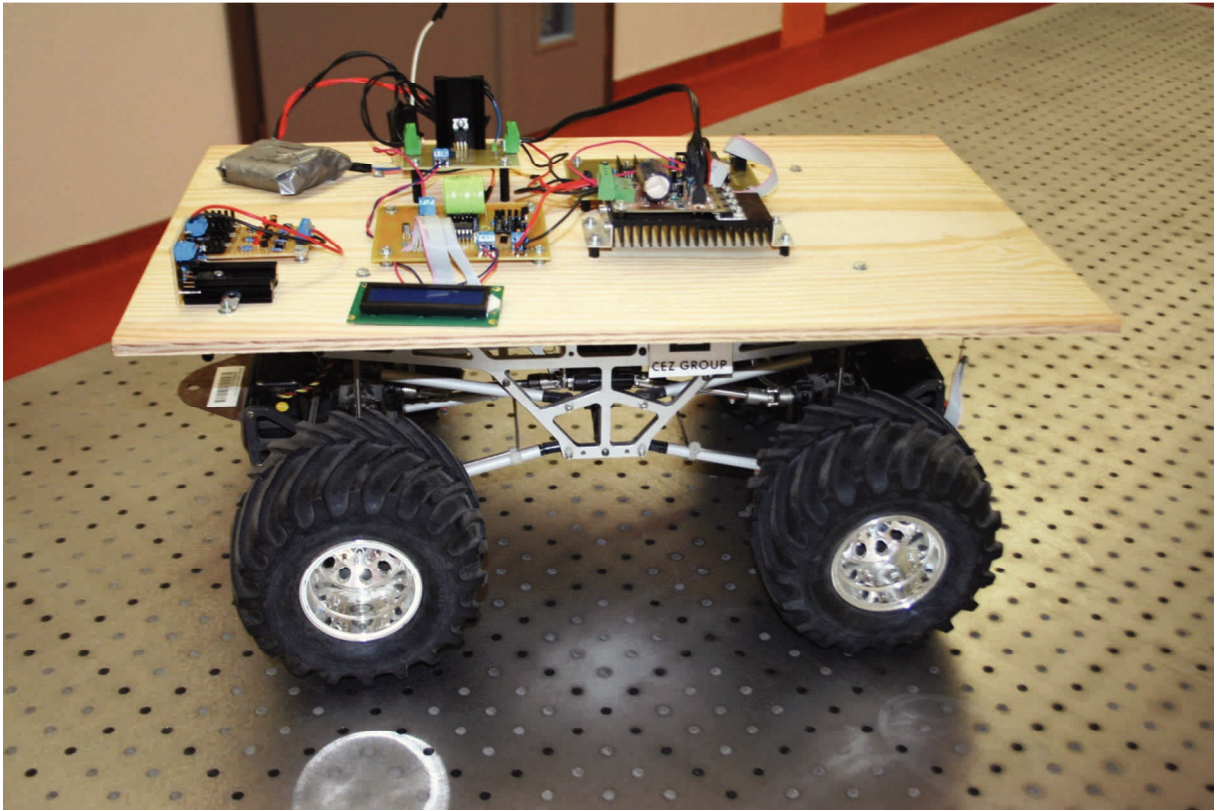


Osazení součástek



Příloha E Fotogalerie





Příloha F Příloha na DVD

Příloha na DVD obsahuje programy pro voltmetr a řídicí modul, napsané v programu CodeVisionAVR 2.04.9a. Dále obsahuje schémata v programu Eagle 6.4.0 a seznamy součástek voltmetru, řídicího modulu, čidel čáry a elektronického spínače.