

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

UNIVERZÁLNÍ POHONNÁ JEDNOTKA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

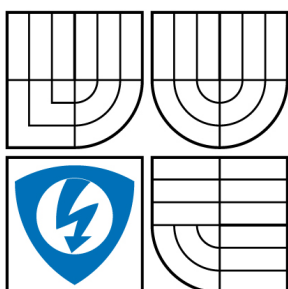
LUBOMÍR SEHNÁLEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## UNIVERZÁLNÍ POHONNÁ JEDNOTKA

UNIVERSAL DRIVE UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

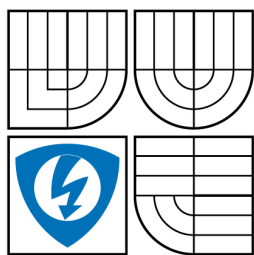
LUBOMÍR SEHNÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK FEDRA, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Lubomír Sehnálek

**ID:** 101882

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

## Univerzální pohonná jednotka

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti realizace malého modulu pohonné jednotky s elektromotory a bateriovým napájením. Zhodnoťte použití různých druhů motorku (stejnoseměrný, krokový, servo) a navrhnete možné řešení pro ovládání směru. Navrhnete blokové schéma modulu a blokový diagram pro řídicí program procesoru.

Realizujte navržený modul a otestujte jeho řízení. Zhodnoťte jednotlivé vlastnosti (manévrovatelnost, přesnost řízení, výdrž na bateriové napájení). Navrhnete a zhodnoťte možnosti komunikace s obecnou řídicí jednotkou. Vytvořte knihovnu funkcí pro řízení daného modulu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN - technická literatura, Praha 2003

[2] NOVÁK, P. MOBILNÍ ROBOTY - pohony, senzory, řízení. BEN - technická literatura, Praha 2005

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 5.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# Abstrakt

V dokumentu je řešen návrh univerzální pohonné jednotky. U tohoto návrhu se předpokládá, že pohonná jednotka bude řízena pomocí senzorické jednotky umístěné na šasi pohonné jednotky.

V teoretické části práce jsou rozebrány možnosti napájení, řízení motoru pomocí PWM, typů podvozku a odometrie, které pro použití v této aplikaci připadají v úvahu. Z této části je pak vybrána konkrétní konfigurace, která je popsána v kapitole zabývající se návrhem pohonné jednotky. Konstrukce zařízení je popsána v kapitole další, kde je popsána konečná konfigurace se všemi náležitostmi zařízení.

## Klíčová slova

Odometrie, PWM-řízení, podvozek, H-můstek, ST L293, ATmega8, stejnosměrný, motor, pohon, jednotka, UART

# Abstract

This document deal with design of universal driving unit. For the final solution is required driving unit which will be controled with help of sensory unit placed on the chassis of driving unit.

In theoretical part of this labour are examined possibilities of a power, electric motor operation by PWM, kind of chassis and odometry which could be taken into account. From this section is finally chosen concrete configuration which is then described in chapter concerned oneself with driving unit design. Construction of equipment is shown in next chapter where final configuration of equipment is described.

## Keywords

Odomtry, PWM kontrol, chassis, H-bridge, ST L293, ATmega8, DC motor, drive, unit, UART

# Bibliografická citace

SEHNÁLEK, L. Univerzální pohonná jednotka. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 39 s., 10 příl. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

# Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma Univerzální pohonná jednotka jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....

podpis autora

# Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Zbyňku Fedrovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 5. června 2009

.....

podpis autora

# OBSAH

Abstrakt .....	4
Klíčová slova .....	4
Abstract .....	4
Keywords .....	4
Bibliografická citace .....	4
Prohlášení .....	5
Poděkování .....	5
OBSAH .....	6
1 Úvod .....	8
2 Teoretický rozbor .....	9
2.1 Napájení .....	9
2.2 Typy elektromotorů .....	9
2.2.1 DC motory .....	9
2.2.2 Krokové motory .....	10
2.2.3 Servomotory .....	10
2.3 Určení potřebného výkonu elektromotoru .....	10
2.3.1 Určení potřebného výkonu .....	10
2.3.2 Určení odporových sil .....	11
2.4 Podvozek .....	13
2.4.1 Diferenciální podvozek .....	13
2.4.2 Synchronní podvozek .....	13
2.4.3 Trojkolový podvozek s řízeným předním kolem .....	13
2.4.4 Ackermanův podvozek .....	13
2.4.5 Podvozky se všesměrovými koly .....	13
2.5 Řízení pomocí PWM .....	14
2.5.1 Metoda řízení Sign-Magnitude 1 = směr velikost .....	15
2.5.2 Metoda řízení Sign-Magnitude 2 = směr velikost .....	15
2.5.3 Metoda řízení Locked-antiphase = střídané řízení .....	16
2.6 Zpětnovazební regulace .....	16
2.6.1 Proporcionální regulátor .....	17
2.6.2 Integrovní regulátor .....	17
2.6.3 Derivační regulátor .....	17
2.7 Senzory pohonné jednotky .....	17
2.7.1 Inkrementální senzory polohy .....	18
2.7.2 Absolutní snímače polohy .....	19
2.8 Mikrokontrolér ATMEL ATmega8 .....	19
3 Návrh univerzální pohonné jednotky .....	20
3.1 Typ podvozku .....	20
3.2 Druh pohonu a sensoriky .....	21

3.2.1	Dimenzování motorů.....	21
3.3	Napájení .....	22
3.4	Řídící modul (regulátor).....	22
3.4.1	ST L293.....	23
3.4.2	Mikrokontrolér ATmega 8 .....	23
3.5	Šasi .....	24
3.6	Blokové schéma univerzální pohonné jednotky.....	25
4	Konstrukce zařízení.....	26
4.1	Šasi .....	26
4.2	Řídící modul (regulátor).....	28
4.2.1	Napájecí blok.....	28
4.2.2	Výkonový blok.....	28
4.2.3	Regulační blok.....	29
4.3	Moduly senzorů otáček .....	31
5	Popis zařízení .....	32
5.1	Popis programu .....	32
5.1.1	Vykonání instrukcí přijatých UARTem .....	33
5.1.2	Změření a výpočet palubního napětí .....	33
5.1.3	Výpočet akční veličiny a vložení do registrů .....	33
5.1.4	Směr otáčení, Run, FreeRun, FastStop .....	33
5.2	Komunikační protokol a instrukce .....	34
5.3	Funkce zařízení .....	35
	Závěr.....	36
	Seznam literatury:.....	38
	Seznam obrázků: .....	39
	Přílohy a dokumentace na přiloženém CD:.....	39

# 1 Úvod

Zadáním práce je návrh a konstrukce pohonné jednotky, která bude sloužit v laboratoři pro experimentální a nebo výukové účely. Tato jednotka bude řízena sensorikou umístěnou na šasi pohonné jednotky, potažmo pomocí PC. Tyto periferie budou komunikovat s jednotkou pomocí vybraného komunikačního rozhraní. Pohonná jednotka bude určena pro přemísťování malého sensorického systému a bude napájena z baterií. Předpokládá se, že se robot (pohonná jednotka + sensorika) bude pohybovat po vodorovném povrchu s malým valivým odporem např. linoleum, dřevěná podlaha, dlážděná podlaha atp.

Kvůli tomu, pro co je jednotka určena, bylo by dobré aby byla snadno replikovatelná, a modifikovatelná. Toto budu muset mít na paměti při návrhu zařízení. Konkrétně při výběru šasi a materiálu z kterého bude vyrobeno.

V semestrálním práci budou teoreticky nastíněny možnosti řešení jednotlivých částí pohonné jednotky. Z těchto uvažovaných možností se sestaví nejvhodnější konfigurace pro danou aplikaci. Bude určen konstrukční materiál pro konstrukci šasi. Pokud bude čas, bude sestaven prototyp jednotky s jednoduchým řízením pohonu.



## 2 Teoretický rozbor

### 2.1 Napájení

Pohonná jednotka bude napájena z pohyblivého zdroje energie. Proto jako způsob napájení přichází v úvahu napájení z baterií. Baterie jsou zdrojem stejnosměrného napětí, proto je vhodné aby všechny prvky jednotky byly napájeny stejnosměrným napětím. Je proto by se měla volit zařízení se stejnosměrným napájecím napětím kvůli menší složitosti zapojení.

Akumulátory jsou k dostání v různých typech a v různých chemických složeních, přičemž každé má odlišné parametry. Z důvodu velkého výběru a lepší cenové dostupnosti připadají v úvahu akumulátory NiMH a NiCd. Vyrábí se články se jmenovitým napětím 1,2V, proto se vyrábí i tzv. baterypacky, které obsahují více těchto článků zapojených v různých kombinacích. Podle toho, zda chceme zvednout jejich kapacitu (udávána v mAh, baterie řazeny paralelně), nebo napájecí napětí (baterie řazeny sériově), nebo oboje (baterie řazeny sériovo-paralelně).

Dále by bylo však výhodné umístit na jednotku i konektor pro připojení stejnosměrného napětí z pevného (nepohyblivého) zdroje kvůli šetření akumulátorů v průběhu vývoje, kdy se zařízení programuje, sladuje se komunikace jednotlivých komponentů, funkčnost odometrie a není třeba mobilnost zařízení.

### 2.2 Typy elektromotorů

V současnosti je několik typů elektromotorů, které lze použít u malého pohonného systému s malými nároky na výkon. Vzhledem k druhu napájení, požadavkům na výkon a ceně, nebudu zde uvažovat možnost realizace pohonu pomocí elektromotorů napájených střídavým napětím, kvůli zvýšení složitosti řídicích prvků a tedy i zvýšení ceny. V úvahu tedy připadají jen motory stejnosměrné. Tyto motory jsou vyráběny v různých modifikacích.

#### 2.2.1 DC motory

Tento motor je napájený stejnosměrným napětím. Reverzace otáčení motoru se provádí pouhou změnou polarit napájení které je přivedeno na rotor motoru. Řízení otáček lze provést také velice jednoduše a to vřazením do série s motorem proměnný rezistor, z čehož plyne, že otáčky motoru jsou závislé na napětí. Řízení otáček motoru tímto způsobem je však velice nevýhodné, kvůli nezanedbatelnému ztrátovému výkonu na rezistoru. V dnešní době se však k regulaci otáček používá pulsně šířková modulace (PWM), kde jsou výkonové ztráty regulace zanedbatelné. Otáčky malých DC motorů jsou řádově kolem 10 tis. ot/min, proto se používají tyto motory pro aplikace v robotice v kombinaci s převodovkou.

### 2.2.2 Krokové motory

Tento typ motorů se používá pro přesné řízení otáček bez použití jakéhokoliv odometrického zařízení. Tyto motory mají zajištěnou funkčnost za předpokladu že jsou dostatečně dimenzovány. Krokové motory se nevyrábí v vyšších výkonech jako běžné motory, avšak pro tuto aplikaci by byli stále ještě dostačující. Jejich cena je vyšší než u běžných DC motorů.

### 2.2.3 Servomotory

Toto jsou již zařízení, obsahující řídicí jednotku se zpětnou vazbou a motor (motor může být jak střídavý, tak stejnosměrný) Poloha natočení je snímána pomocí fotoelektrického snímače (encoder), nebo pomocí rozkladače (selsyn), v běžných aplikacích také například pomocí optického snímače, nebo pomocí potenciometru, který se však již téměř nepoužívá. Signál snímače je pak přiveden do regulátoru jako zpětná vazba motoru. Tyto motory jsou výhradně řízeny pomocí PWM. Tyto zařízení jsou nejdražší z těchto tří uvedených typů motorů.

## 2.3 Určení potřebného výkonu elektromotoru

Následující text, vzorce a obrázky kapitoly 2.3 jsou převzaty z [7].

### Pro určení potřebného výkonu motoru potřebujeme znát:

- Hmotnost robota
- Požadovanou stoupavost
- Maximální rychlost
- Maximální zrychlení
- Velikost kol
- Materiál kol a terén, pro jaký je robot určen

### 2.3.1 Určení potřebného výkonu

#### Potřebný výkon motoru:

Uvedený postup ukazuje přibližné určení potřebného výkonu

$$P = F \cdot v_{\max} = M_k \cdot \omega \quad (1)$$

F ... je součet všech „odporových sil“ působících na robota

v<sub>max</sub> ... požadovaná maximální rychlost

M<sub>k</sub> ... potřebný krouticí moment na kole robota

w ... úhlová rychlost otáčení kola

### 2.3.2 Určení odporových sil

**Uvažujeme 3 nejdůležitější složky sil:**

- síla na překonání trakčních odporů
- síla pro překonání setrvačných sil při akceleraci
- síla pro stoupání

#### **Trakční odpory**

Dominantní odpor proti pohybu způsobuje odpor valení, který je způsoben deformací kola a podložky. Výsledkem je, že se kolo neodvaluje kolem ideálního bodu dotyku, ale kolem jiného bodu posunutého o vzdálenost, která se nazývá rameno valivého odporu  $x$ .

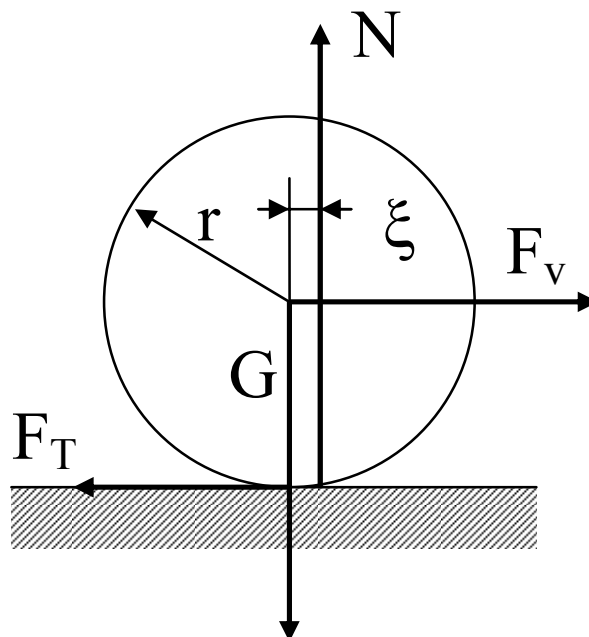
$$F_v = G \cdot \frac{\xi}{r} \quad (2)$$

$F_v$  ... síla pro pohyb

$G$  ... tíhová síla ( $G=m \cdot g$ )

$F_T$  ... potřebná adhezní síla

$N$  ... normálová síla mezi podložkou a kolem



Obrázek 2.3.1 trakční odpor, převzato z [7]

#### **Setrvačná síla**

Při akceleraci musí hnací síla překonat setrvačnou sílu

$$F_a = m \cdot a_{\max} \quad (3)$$

$F_a$  ... síla pro akceleraci

$m$  ... hmotnost robota (pro přesnější výpočet je nutné uvažovat i setrvačnost rotujících hmot, tj. motoru a převodovky)

$a_{max}$  ... maximální zrychlení

### **Síla pro stoupání**

Při jízdě do kopce musí robot překonat složku tíhové síly

$$F_s = G \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

$F_s$  ... síla pro stoupání

$G$  ... tíhová síla ( $G=m \cdot g$ )

$\alpha$  ... maximální úhel stoupání

### **Celková potřebná síla pohonu:**

$$F = F_v + F_a + F_s \quad (5)$$

### **Potřebný krouticí moment pohonu:**

$$M_k = F \cdot r \quad (6)$$

### **Výstupní otáčky pohonu:**

$$\omega = \frac{v_{max}}{r} \quad (7)$$

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (8)$$

### **Potřebný výkon pohonu:**

$$P = M_k \cdot \omega \quad (9)$$

Takto určený výkon pohonu je poněkud nadhodnocený, protože obvykle při maximální rychlosti nepotřebujeme plnou akceleraci, také do kopce pomůže setrvačnost, atd.

Dynamika robota bude při takto navrženém pohonu lepší než je předpoklad, protože většina motorů poskytuje při nižších otáčkách větší krouticí moment. Takže pro nižší otáčky získáme větší akceleraci než byla požadována.

Takže výsledný výkon se může o něco zmenšit oproti vypočtenému.

## **2.4 Podvozek**

Podvozkem se rozumí část zařízení, která je schopna zařízení přemísťovat. Toto zařízení obsahuje minimálně jeden elektromotor, jejich počet je ovlivněn tím, v kolika osách se bude zařízení pohybovat a dále také jaký typ podvozku bude použit.

### **2.4.1 Diferenciální podvozek**

Jedná se o podvozek s dvěma samostatně hnanými koly a aspoň jedním opěrným bodem. Hnaná kola mají stupeň volnosti jedna. Opěrný bod může být realizován jako třetí bod, nebo kolo s prvním či druhým stupněm volnosti. Zatačení je realizováno poměrem a směrem otáčení hnacích kol vůči sobě. Podvozek je s oblibou používán právě v robotice.

### **2.4.2 Synchronní podvozek**

Stěžejní vlastností tohoto podvozku je schopnost pohybovat se zařízením po dvou osách, aniž by se změnila směrová orientace zařízení. Toto zařízení má minimálně tři kola a otáčí se stejnou rychlostí a stejným směrem. Podvozek je nevhodný pro nerovné povrchy a je náročný na konstrukci (1 kolo potřebuje k ovládnutí 2 motory – směr, otáčení).

### **2.4.3 Trojkolový podvozek s řízeným předním kolem**

Jde o podvozek s hnanými zadními koly a předním kolem řízeným. Lze aplikovat i v terénu. Podvozek se však nemůže otočit namísto, z čehož plyne horší obratnost podvozku. Podvozek není vhodný pro aplikace, kde je vyžadována operovatelnost na malém prostoru. Pro aplikace ve vnitřních prostorech proto není podvozek tak často používán.

### **2.4.4 Ackermanův podvozek**

Tento podvozek je používán u automobilů. Princip podvozku spočívá v pevné zadní nápravě a přední nápravě otočné, z čehož má každé přední kolo jiný poloměr natočení, protože při zatačení každé kolo opisuje jiný poloměr kružnice. Toto řešení není také vhodné pro aplikace, kde je vyžadována velká obratnost a operovatelnost na malém prostoru.

### **2.4.5 Podvozky se všesměrovými koly**

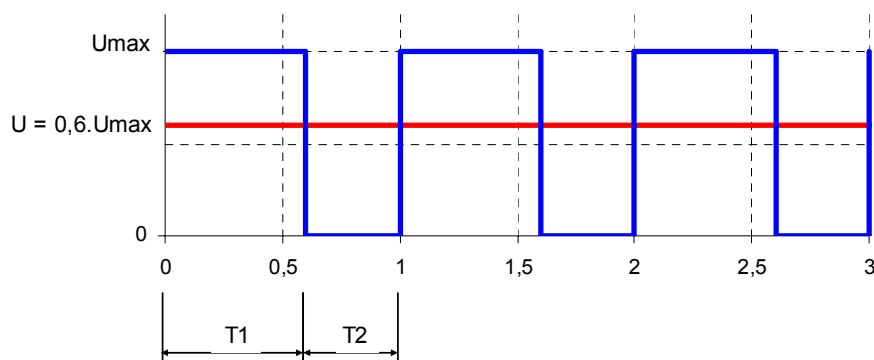
Na tomto podvozku jsou všechna kola stupně volnosti 1, avšak tyto kola mají po svém obvodu umístěny válečky umožňující pohyb i v druhé ose – těmto kolům se proto říká všesměrová. Podvozek bývá zpravidla tříkolový, z čehož musí být všechna kola nezávisle poháněna. Podvozek je schopen překonávat překážky o maximální výšce poloviny průměru

válečků umístěných po obvodu kol. Podvozek je vhodný pro použití ve vnitřních prostorách, kde je vyžadována operovatelnost na malém prostoru.

## 2.5 Řízení pomocí PWM

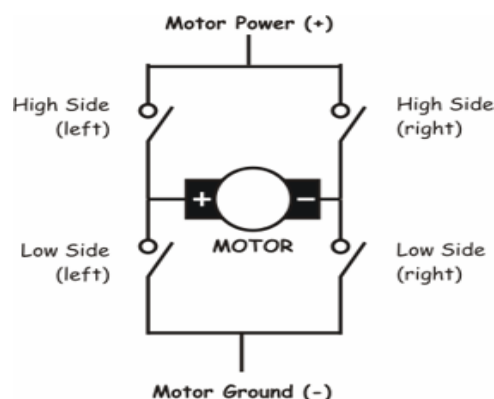
Princip PWM spočívá v rychlém spínání a vypínání napájení DC motoru a to řádově o kmitočtu jednotek kHz, u speciálních DC motorů však tento kmitočet může být až v řádech desítek kHz. Jelikož je spínání dostatečně rychlé, rotor díky setrvačnosti nestačí sledovat rychlé změny napájení. Potom se motor chová jako kdyby byl napájen napětím o velikosti střední hodnoty napětí, která je dána poměrem doby sepnutí ku době vypnutí.

$$U_s = \frac{T_1}{T_2} \cdot U_{\max} \quad (10)$$



Obrázek 2.5.1 princip PWM převzato z [4]

K řízení motoru pomocí PWM se používá tzv. H-můstek. Ten je tvořen čtyřmi polovodičovými spínacími prvky. Schéma H-můstku je na **obr. 2.3**. Vždy se spínají právě 2 tyto spínací prvky (na každé straně jeden), kterými určujeme směr otáčení motoru. Otáčky jsou pak určeny střídou (PWM), kterou spínáme vybrané spínací prvky. Nikdy nesmí dojít k sepnutí spínacích prvků na jedné straně můstku ve stejnou dobu, aby nedošlo ke zkratu. Tato podmínka musí být u můstku ošetřena. Zapojení H-můstku je většinou trojvodičové, kde první vodič je tzv. EN, který povoluje spínání spínacích prvků v H-můstku. Dále vodiče IN1 a IN2. IN1 ovládá spínací prvky levé strany, kde sepne jeden spínací prvek a druhý rozezne. Toto bývá obvykle řešeno logickými hradli. Obdobně je tomu u IN2, který však ovládá pravou stranu H-můstku. Existují různé metody řízení motorů pomocí H-můstku. Tyto metody jsou popsány v kapitolách **2.5.1 – 2.5.3**



Obrázek 2.5.2 princip zapojení H-můstku převzato z [4]

V případě, že není možno docílit dostatečně velké frekvence spínání u motorů s malým výkonem (tj. do několika Wattů), je doporučeno vřadit do série s motorem tlumivku pro zvýšení setrvačnosti motoru.

Následující texty podnadpisů 2.5.1 – 2.5.3 jsou převzaty z [4]

### 2.5.1 Metoda řízení Sign-Magnitude 1 = směr velikost

Vstupy IN1 a IN2 volíme směr otáčení, na vstup ENABLE je přiveden PWM signál, řídicí rychlost. Příslušné dva tranzistory (dle směru otáčení) spínají napájení. Při vypnutí jsou všechny tranzistory uzavřeny, tj. motor se může „volně otáčet“.

**Sign-Magnitude 1**

IN1 = DIR	IN2 = ~ DIR	EN = PWM	A	B	C	D	Motor
0	1	0	0	0	0	0	volně se otáčí
0	1	1	1	0	0	1	vpřed
1	0	0	0	0	0	0	volně se otáčí
1	0	1	0	1	1	0	vzad

Tab. Sign-Magnitude 1 převzato z [4]

### 2.5.2 Metoda řízení Sign-Magnitude 2 = směr velikost

Jeden vstup IN1 určuje směr otáčení, na druhý IN2 je přiveden signál PWM, pro řízení rychlosti, vstup ENABLE je trvale aktivní. Jedna strana můstku má trvale sepnutý jeden tranzistor, na druhé straně se střídavě spíná horní a dolní, dle PWM. Tzn. motor akceleruje nebo brzdí.

**Sign-Magnitude 2**

IN1 = PWM	IN2 = DIR	ENABLE	A	B	C	D	Motor
0	0	1	0	1	0	1	brzda
1	0	1	1	0	0	1	vpřed
0	1	1	0	1	1	0	vzad
1	1	1	1	0	1	0	brzda

**Tab.** Sign-Magnitude 2 převzato z [4]

### 2.5.3 Metoda řízení Locked-antiphase = střídané řízení

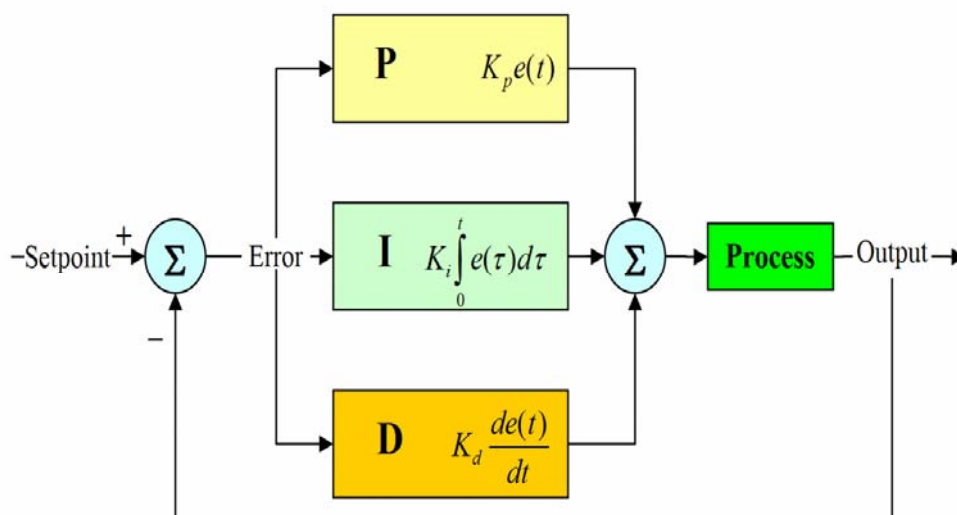
Oba vstupy IN1 a IN2 jsou připojeny na PWM signál, vstup ENABLE je trvale aktivní. Pokud je plnění PWM 50%, je výsledná střední hodnota napětí nulová a motor stojí. Pro plnění <50% se otáčí jedním směrem pro >50% se otáčí druhým směrem.

**Locked-antiphase**

IN1 = PWM	IN2 = ~ PWM	ENABLE	A	B	C	D	Motor
0	1	1	1	0	0	1	vpřed
1	0	1	0	1	1	0	vzad

**Tab.** Locked-antiphase převzato z [4]

## 2.6 Zpětnovazební regulace



**Obrázek 2.6.1** varianty zpětnovazebního regulátoru převzato z [10]

Regulace pracuje se zpětnou vazbou. Jak zpětná vazba je zde chápán (jakýkoliv druh) senzor pohybu, který nám podává informaci o regulované veličině. Na základě této hodnoty a požadované se provádí regulace, jejímž cílem je nastavit regulovanou veličinu tak, aby byla rovna požadované. Jako regulátor je v tomto případě výpočetní algoritmus. Existují regulátory



třech typů (Proporcionální, Integrovní a Derivační). Výsledný regulační algoritmus bývá většinou kombinací alespoň 2 typů. Nejčastěji používanými kombinacemi regulátorů jsou PI a PID.

### 2.6.1 Proporcionální regulátor

U tohoto regulátoru je velikost akční veličiny přímo úměrná aktuální velikosti regulační odchylky. Tento typ regulátoru lze použít například při natáčení motoru do konkrétní polohy. Regulační odchylka je pak rozdíl natočení. A výkon motoru je pak tomuto rozdílu úměrný. Při nulové regulační odchylce má regulátor nulovou akční veličinu.

$$U_n = P \cdot e_n \quad (11)$$

$U_n$ -akční veličina

P-proporcionální regulační konstanta

$e_n$ -regulační odchylka

### 2.6.2 Integrovní regulátor

Tento typ regulátoru se používá tam, kde je třeba nenulové akční veličiny k udržení či dosažení nulové regulační odchylky. Používá se například k regulaci otáček. K hodnotě akční veličiny, která nám udrží požadované otáčky, regulátor postupně konverguje.

$$U_n = I \cdot \sum e_i \quad (12)$$

$U_n$ -akční veličina

I-integrovní regulační konstanta

$e_i$ -regulační odchylka  $0 \leq i \leq (n-1)$

### 2.6.3 Derivační regulátor

Derivační část se používá k omezení překmitů akční veličiny. Používá se ještě v kombinaci s jiným typem. Samotný ho pro tuto aplikaci nelze použít.

$$U_n = D \Delta e_n \quad (13)$$

$U_n$ -akční veličina

P-proporcionální regulační konstanta

$e_n$ -regulační odchylka

## 2.7 Senzory pohonné jednotky

Měření otáček, nebo natočení lze provádět v průmyslu různými způsoby. V robotice se však používají jen snímače optické a indukční, u velmi jednoduchých aplikací lze použít rezistorového potenciometru avšak od tohoto způsobu se již ustupuje. Tyto snímače převedou veličinu neelektrickou na elektrickou a předají ji regulačnímu prvku, který ji dále zpracovává.

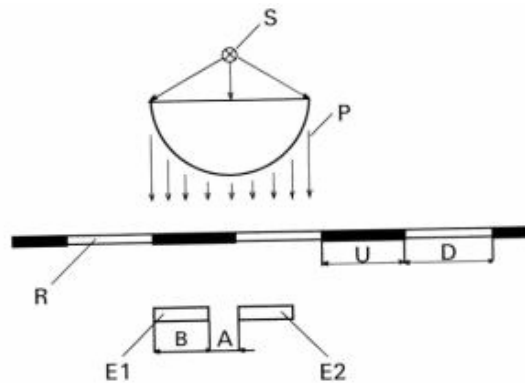
### 2.7.1 Inkrementální senzory polohy

Jedná se o digitální snímače s neomezeným rozsahem natočení a bezdotykového způsobu měření. Podle metody měření lze tyto snímače rozdělit na inkrementální (přírůstkové) a absolutní. “Princip optických snímačů polohy spočívá v modifikaci světelného toku mezi vysílačem a přijímačem polohou snímaného předmětu a následném převodu na elektrickou veličinu.” [6]

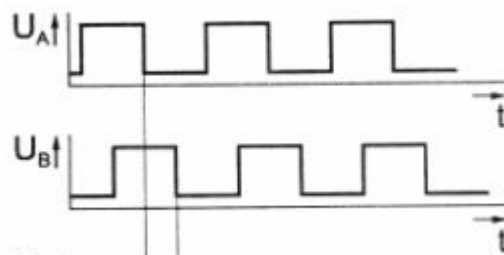
#### Optický inkrementální snímač polohy

Text převzat z [6]

Minimální konfigurace obsahuje jeden světelný zdroj, rotující disk s průhlednými a neprůhlednými dílky, dvě snímací jednotky a vyhodnocovací logické obvody. Světelný tok zdroje S (Ga-As-LED) upravený nastříknutou čočkou P prochází rastrem R ke dvěma snímacím fotodiodám E1, a E2. Fázový posun  $U_A$ ,  $U_B$  ( $90^\circ$ ) je nutný pro vyhodnocení směru pohybu.



Obrázek 2.7.1 princip inkrementálního čidla, převzato z [6]



Obrázek 2.7.2 průběh napětí na fotodiodách, převzato z [6]

#### Indukční inkrementální snímače polohy

Text převzat z [5]

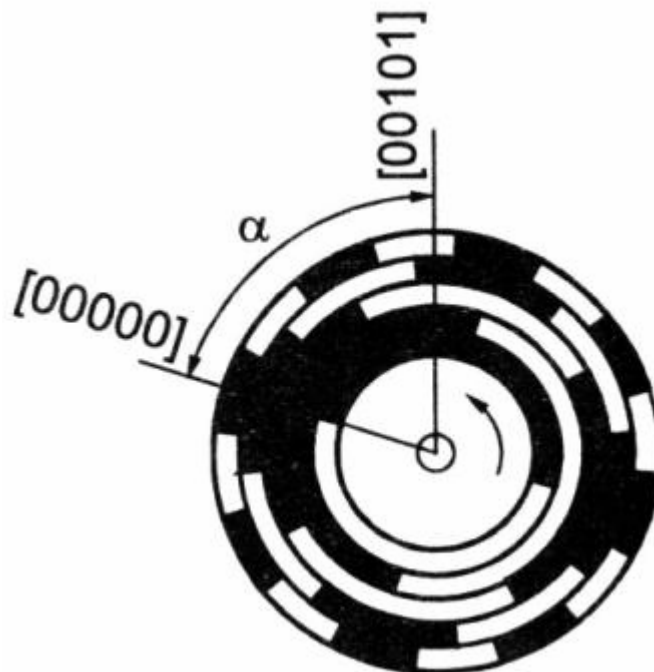
Tento senzor využívá Hallovy sondy, která snímá otáčející se magnetický váleček. Při tomto měření se využívá Hallova jevu, což je vznik elektrického napětí  $U_H$  na stranách vodivého materiálu ve kterém protéká proud  $I$  a je vystaven magnetické indukci  $B$ . Hustota impulzů je u malých rozměrů magnetického disku omezena na několik desítek impulzů na otáčku protože jsou dány minimální rozměry pólů pro potřebné dosažení intenzity

magnetického pole. Hallovy sondy totiž vyžadují poměrně silné magnetické pole. Výstupem tohoto inkrementálního senzoru je opět dvojice kvadraturních signálů A a B.

### 2.7.2 Absolutní snímače polohy

Text převzat z [6]

Princip spočívá v modifikaci světelného toku skleněným kotoučkem se soustřednými stopami s průhlednými a neprůhlednými plochami kódovanými v Grayově kódu. Výstupním signálem je digitální slovo (šířka=počet stop), které reprezentuje polohu (úhlovou hodnotu) vztaženou k referenčnímu bodu.



Obrázek 2.7.3 Optický absolutní snímač polohy, převzato z [6]

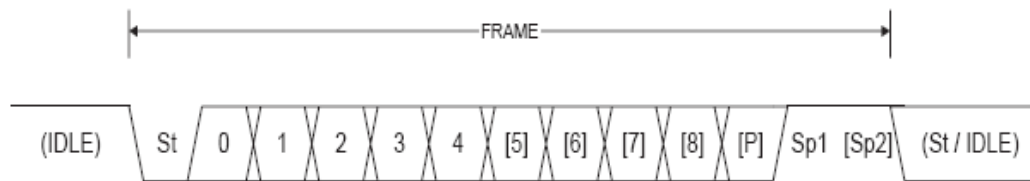
## 2.8 Mikrokontrolér ATMEL ATmega8

Mikrokontrolér obsahuje jeden USART [3] (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) pro komunikaci pomocí UART s volitelnou rychlostí komunikace (BaudRate).

Dále Čítač/Časovač1 [3] s předěličkou hodinového signálu procesoru. Tento čítač má vyvedeny dva komparční kanály na piny procesoru, na kterých se generuje PWM signál na základě hodnot vložených do komparačních registrů mikrokontroléru.

Dále obsahuje 2x externí přerušeni s nastavitelnou citlivostí na změnu úrovně.

## UART



Obrázek 2.8.1 datový packet UART. Převzato z [3]

St – Start bit, vždy v log “0“.

(n) – Datové bity (0 – 8).

P – Paritní bit. Může být sudý, nebo lichý

Sp – Stop bit, vždy v log “1“.

IDLE – žádný přenos na lince, IDLE musí být v log “1“

## 3 Návrh univerzální pohonné jednotky

Pohonná jednotka má být univerzální, tedy aby se na ní dalo provozovat více druhů aplikací. A také mohla být řízena různými perifériemi. Toto již předesílá, že jednotka bude muset umět komunikovat s okolím pomocí nějakého univerzálního rozhraní. Předpokládám, že pohonná jednotka bude řízena senzorykou, případně počítačem. S tímto kritériem musím počítat při výběru druhu rozhraní. V dnešní době má většina mikrokontrolérů více komunikačních rozhraní (TWI, USART, I2C) a lze si tedy vybrat rozhraní které bude nejvíce vyhovovat našim požadavkům.

Při výběru typu elektromotoru budu volit podle ceny, možností regulace a složitosti řízení a pokusím se najít levné, účinné a jednoduché řešení.

Typ podvozku pohonné jednotky chci volit tak aby byl konstrukčně jednoduchý, měl operovatelnost na malém prostoru, byl dobře sladitelný s výběrem elektromotoru.

Šasi jednotky by mělo být takové, aby nebylo příliš těžké, mělo spoustu upevňovacích bodů pro upevnění různých modulů a senzorů bylo pevné a byla možnost jeho modifikovatelnosti a replikovatelnosti, z čehož vyplývá, že by díly měli být tipizovány jistým výrobcem a bylo je možno nahrazovat jinými.

A konečně výběr baterií budu volit dle požadavků elektromotorů. Hledět budu také na dostupnost a cenu a výběr kapacit.

### 3.1 Typ podvozku

**Zvolil jsem Diferenciální podvozek.** Tento typ se často a s oblibou používá v aplikacích robotů ve vnitřních prostorech. Podvozek není složitý na konstrukci a jednotka která tohoto podvozku využívá má výbornou obratnost. Podvozek využívá dvou poháněných

kol a minimálně jednoho opěrného kola. Tento podvozek svou konstrukcí tedy vyžaduje použití dvou motorů, pomocí kterých se realizuje veškerý pohyb. Hnaná kola nebudou umístěna uprostřed šasi, ale na jeho konci. Na druhém konci bude umístěno opěrné kolo se stupněm volnosti 2.

## 3.2 Druh pohonu a senzory

Vybral jsem 2 DC motory GM13-050SK. Motor je dodáván již s převodovkou. Jeho jmenovité napájecí napětí je 7V a při zatížení má 52 ot/min. Proud odebíraný motorem při zatížení je 280mA [8]. **Motory budou řízeny pomocí PWM v módu Sign-Magnitude 1** a jejich otáčky budou kontrolovány pomocí optického čidla. Tímto čidlem bude TCST1103, optický senzor s fototranzistorem [9], který bude zapojen jako zjednodušené inkrementální čidlo. Měření budou otáčky bez informace směru otáčení. Měřit se bude doba mezi jednotlivými impulsy.

### 3.2.1 Dimenzování motorů

Kontrola, zda zvolený motor bude dostačující pro tuto pohonnou jednotku

#### Známé parametry:

Krouticí moment motoru je dle katalogového listu  $M_k = 1,3kg/cm$  [8].

$$M_{kM} = 1,3kg/cm \Rightarrow 0,0980665 \cdot 1,3 = 0,1275Nm = 127,5Nmm \quad (11)$$

Maximální rychlost je vypočtena z maximálních otáček při zatížení, které jsou uvedeny v katalogovém listu  $n = 52ot/min$  [8].

$$v_{max} = 0,051 \cdot \pi \cdot \frac{52}{60} = 0,139m/s \quad (12)$$

#### Požadované parametry:

$\phi$  kola = 51mm

hmotnost = 750g

Stoupání = 0°

$a_{max} = 3m/s^2$

#### Odpor při valení:

problém je odhad deformace kola a podložky – odhad styková plocha cca 5mm, tedy  $\zeta = 2,5mm$ .

$$F_v = \frac{m \cdot g \cdot \zeta}{r} = \frac{0,75 \cdot 10 \cdot 2,5}{25,5} = 0,735N \quad (13)$$

#### Setrvačná síla:

$$F_a = m \cdot a_{\max} = 0,75 \cdot 3 = 2,25 N \quad (14)$$

**Síla pro stoupání:**

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 0,75 \cdot 10 \cdot \sin 0^\circ = 0 N \quad (15)$$

**Celková potřebná síla pohonu:**

$$F = F_v + F_a + F_s = 0,735 + 2,25 + 0 = 3 N \quad (16)$$

**Potřebný kroutící moment pohonu:**

$$M_{kV} = F \cdot r = 3 \cdot 0,0255 = 0,0765 Nm = 76,5 Nmm \cdot \quad (17)$$

Jelikož je  $M_{kM} > M_{kV}$ , motor je dostatečně dimenzován pro použití v této jednotce.

### 3.3 Napájení

Baterie jsem zvolil AA Ni-Cd, kvůli jejich velké dostupnosti a výběru kapacit. Nabíjení těchto baterií není složité, a proto ani nabíječky nejsou drahé. Jelikož tyto baterie mají jmenovité napětí 1,2V a pro napájení jednotky je potřeba 7V(motor) a 5V(řídící logika), bude těchto baterií 6 zapojených v sérii. Tím bude dosaženo napětí 7,2V. Motory se tedy budou napájet přímo tímto napětím a pro napájení řídící logiky se pomocí nízko úbytkového stabilizátoru napětí přemění na 5V.

Bude však možno připojit jakýkoliv jiný bateriový zdroj se jmenovitým napětím 7,2V. Tím mohou být například různé druhy modelářských baterry packů.

Také bude možno jednotku napájet z jiného napájecího zdroje jako například pomocí laboratorního zdroje napětí přes konektor, který bude umístěn na desce s řídící elektronikou, nebo případně na šasi z důvodu lepší přístupnosti.

### 3.4 Řídící modul (regulátor)

V tomto modulu se bude nacházet veškerá řídící logika pohonné jednotky. Což bude řízení otáček motoru a komunikace s okolím přes rozhraní UART. Modul bude obsahovat 2 H-můstky pro řízení motorů pomocí PWM. Tyto H-můstky bude reprezentovat obvod ST L293 [2]. Dále se zde bude nacházet mikrokontrolér ATmega8 [3]. A dále konektory a podpůrné diskretní součástky ke zmiňovaným obvodům. Deska bude napájena jmenovitým napětím 7,2V.

### 3.4.1 ST L293

Tento integrovaný obvod slouží k řízení motorů pomocí PWM. Jedná se o 4-kanálový driver (dvojitý H-můstek). Pomocí tohoto obvodu je možno plně ovládat 2 DC motory.

L293	
Output Voltage(Max)(V)	36
Switching Voltage(Max)(V)	36
Peak Output Current(mA)	1500
Drivers Per Package	4
Input Compatibility	TTL
Delay Time(Typ)(ns)	800
Operating Temp Range(Celsius)	0 to 70

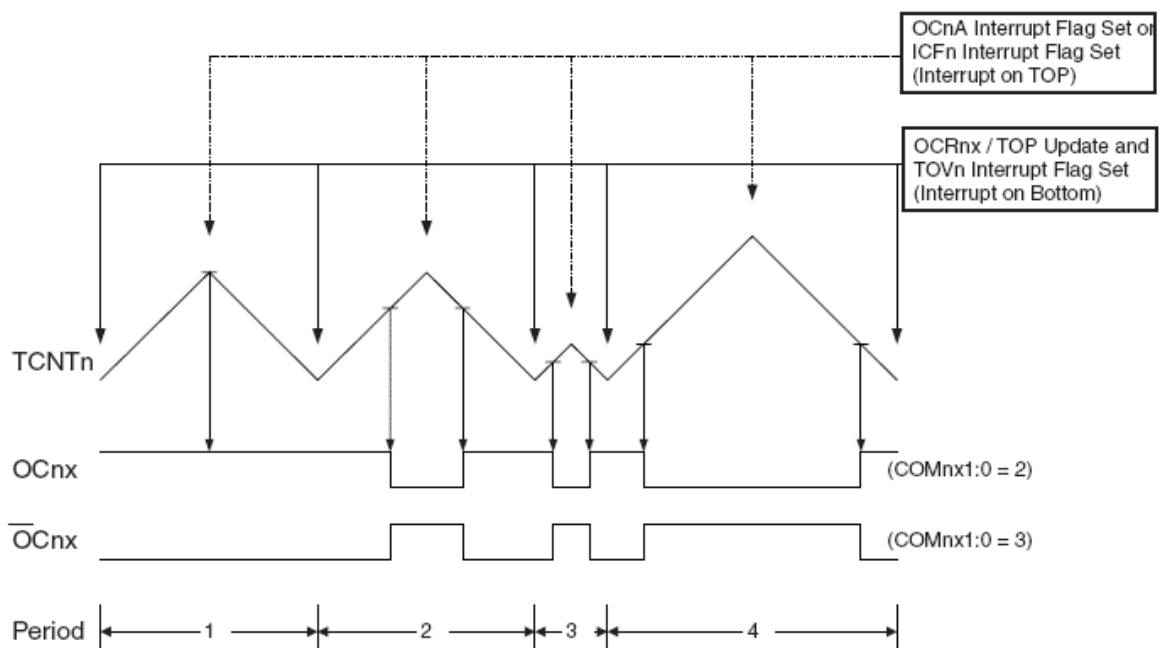
**Tab.** parametry L293 převzato z [2]

Jelikož se předpokládá, že se bude jednotka pohybovat pouze po nenakloněné a rovné ploše, výkon motorů nebude potřeba opravdu nijak veliký. Předpokládány výkon motorů je kolem 2W,

### 3.4.2 Mikrokontrolér ATmega 8

Pro generování PWM signálu bude použit čítač/časovač 1 ve Fázově a Frekvenčně nastavitelném módu. Čítač/časovač 1 je shopen přímo řídit dva výstupní komparační piny mikrokontroléru, které budou připojeny na povolovací vstupy driverů H-můstku.

#### Čítač/Časovač1

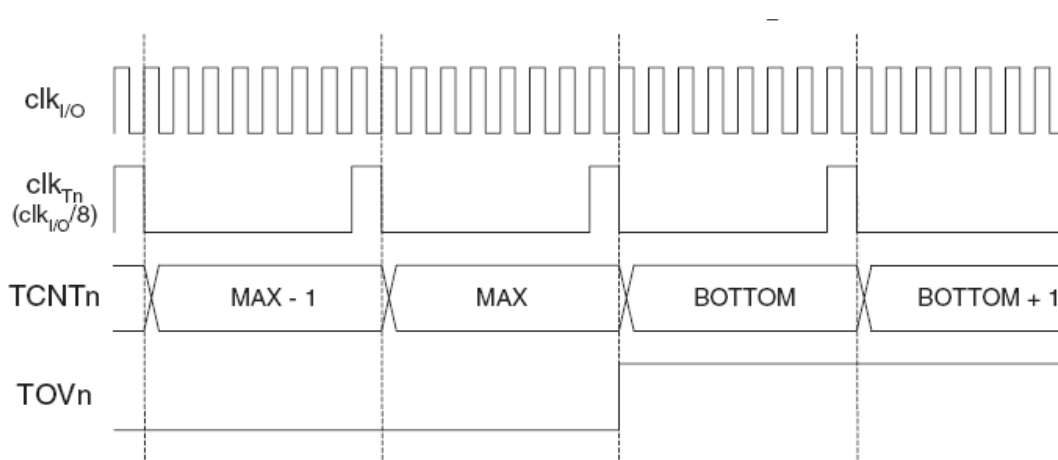


**Obrázek 3.4.1** princip generování PWM ve Fázově a Frekvenčně upravitelném módu převzato z [3]

Pro komunikaci s okolním prostředím bude použit sériový interface UART. V budoucnu bude možno regulátor jen doděláním SW o podporu sběrnice I2C, nebo ovládání například tlačítka (budou vyvedeny volné piny na desce plošných spojů).

Dále bude použit čítač/časovač 0 v kooperaci s externími přerušeními od optických senzorů, pomocí kterého se bude měřit doba mezi jednotlivými impulzy od senzorů. Toto řešení je vhodné pro měření délky trvajících událostí. Citlivost externích přerušení bude nastavena na nástupnou hranu, protože charakteristika optických čidel má strmější přechod z logických úrovní právě při přechodu z log "0" do log "1". Pokud by byl přechod příliš pozvolný, mohl by komparátor tento signál vyhodnotit vícekrát jako impulz.

### Čítač/časovač 0

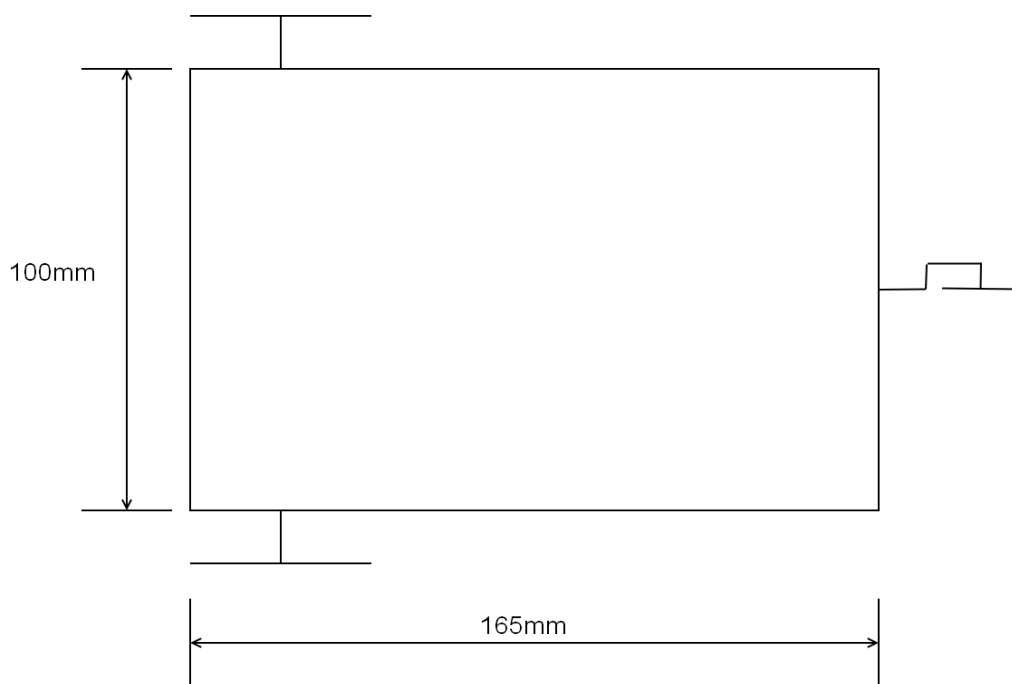


Obrázek 3.4.2 princip činnosti čítače/časovače 0 převzato z [3]

## 3.5 Šasi

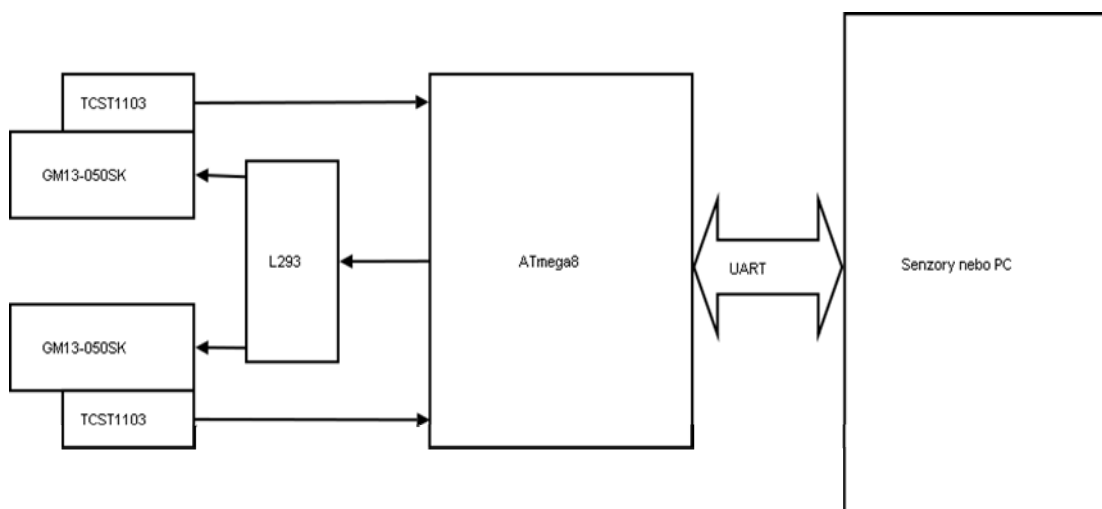
Jako konstrukční díly šasi Univerzální pohonné jednotky použijí díly ze stavebnice Merkur v železném provedení a to kvůli jednoduchosti konstrukce, možnosti přestavby a lehké replikovatelnosti. Součástky lze objednat jednotlivě a z velké nabídky dílů. Jako spojovacího materiálu bude použito šroubů s maticemi, také od firmy Merkur.





**Obrázek 3.5.1** rozměry šasi pohonné jednotky

### 3.6 Blokové schéma univerzální pohonné jednotky



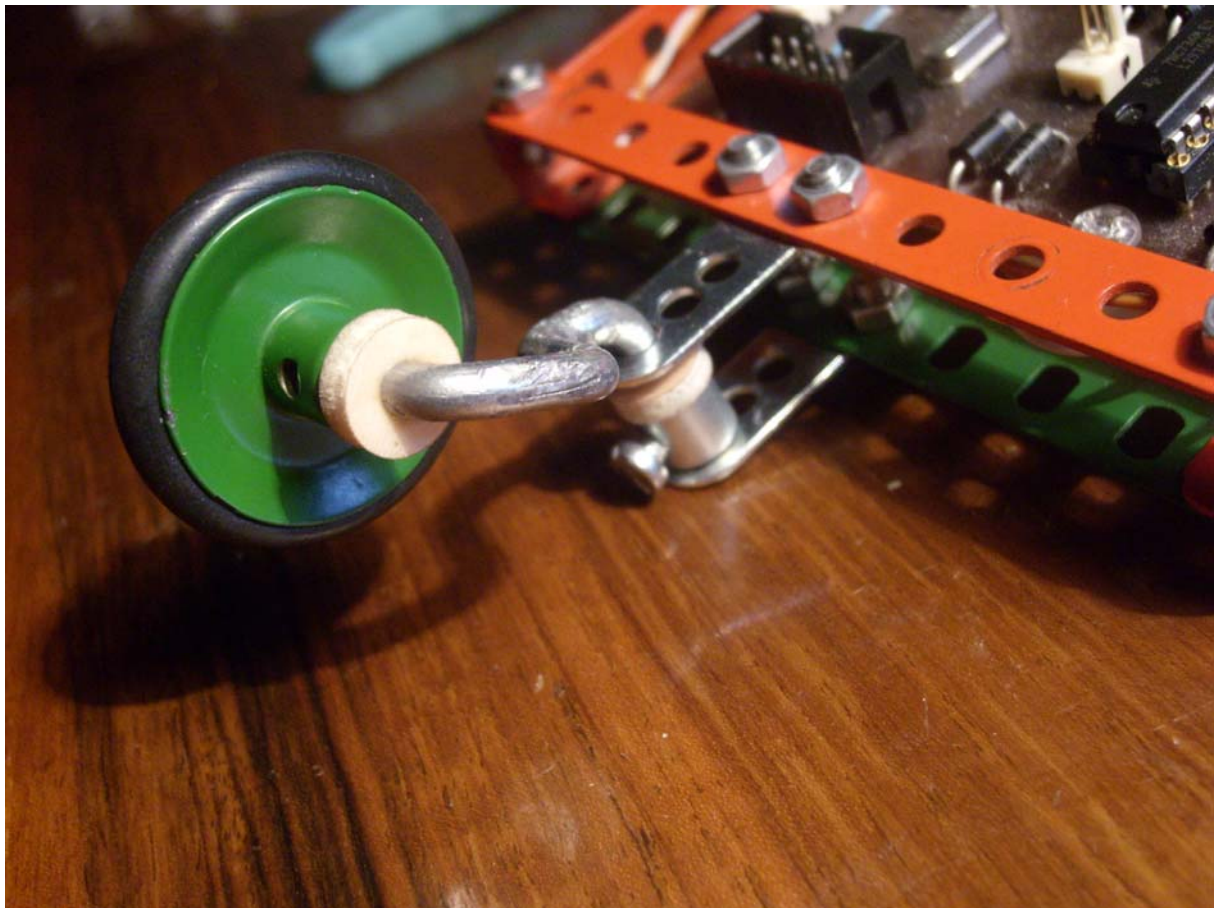
**Obrázek 3.6.1** blokové schéma univerzální pohonné jednotky

## 4 Konstrukce zařízení

### 4.1 Šasi

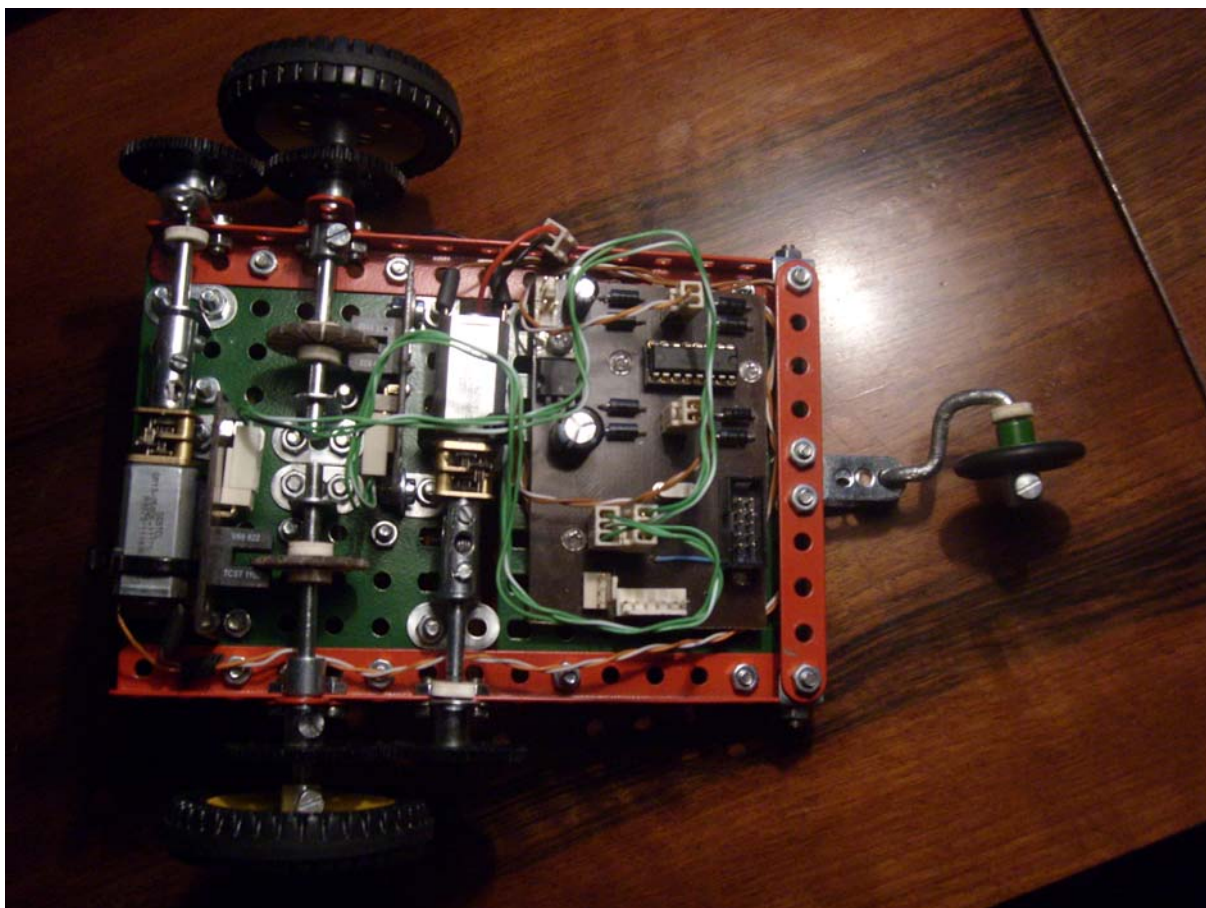
Podvozek je postaven na dvou podélných profilech délky 150mm umístěných na obou stranách šasi. Na tyto profily jsou našroubovány dva příčně orientované děrované plechy (70x100).

Na zadní části podvozku je z druhé strany L profilů našroubována vzpěra, která spolu s krajem děrovaného plechu nad ní plní funkci upevňovacího bodu pro kloub zadního opěrného kolečka. V kloubu je uchycena hřídel, která je zohýbaná tak, aby opěrné kolečko procházelo podélnou osou podvozku a jeho osa otáčení se neprotínala s osou otáčení hřídele v kloubu. Hřídel je ohnutá v takovém sklonu, aby se kolečko vešlo pod podvozek jednotky a bylo jím tedy možno otáčet o 360°. Toto je podmínka schopnosti manévrovat.



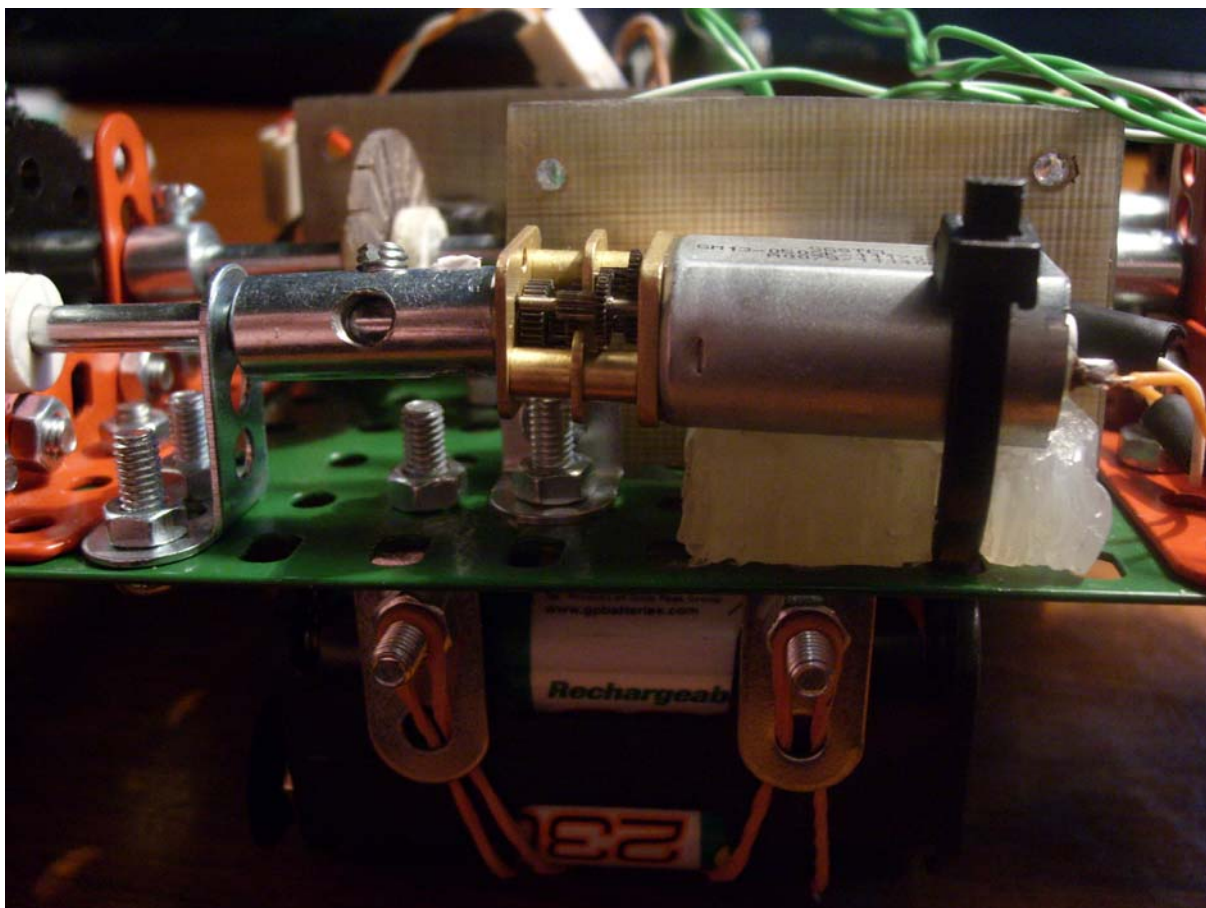
Obrázek 4.1.1 princip a uchycení zadního vlečného kolečka

Pod zadním plechem je připevněn modul regulátoru pomocí tří distančních plastových sloupků s plastovými křížovými šrouby.



Obrázek 4.1.2 umístění desky regulátoru

Pod předním plechem je umístěno celé hnací ustrojí i se zpětnou vazbou. Motory s integrovanou převodovkou jsou uloženy za sebou napříč podélné osy podvozku. Hnací síla každého z motorů je převáděna na kola pomocí ozubeného soukolí s převodovým poměrem 1:1 a dvou poloos. Na poloose každého kola je umístěn řezaný kotouček pro snímání odometrie. U těchto kotoučků jsou pak upevněny napříč za sebou moduly senzorů otáček.



Obrázek 4.1.3 hnací ustrojí i s odometrií

Podle podrobné fotodokumentace a seznamu součástek umístěných v příloze je možné konstrukci replikovat. Konstrukce je snadno modifikovatelná.

## 4.2 Řídicí modul (regulátor)

Na desce řídicího modulu regulátoru se nachází napájecí, výkonová a regulační část. Deska je osazena konektory se zámkem typu PFH a jedním MLW10 konektorem, který je určen k programování mikrokontroléru přes ISP.

### 4.2.1 Napájecí blok

Hlavním prvkem tohoto bloku je Nízko úbytkový stabilizátor LF50CV s úbytkem napětí 0,4V, avšak ozkoušena je funkčnost i při napájecím napětí 6,3V. Dále jsou zde jen filtrační kondenzátory a 5V výstup pro napájení dalších zařízení připevněných na jednotku. Elektrolytický kondenzátor je na výstupu stabilizátoru z důvodu vyfiltrování špiček vznikajících na motorech, které není stabilizátor schopen potlačit. Tyto špičky měly vliv na běh kontroléru a komunikaci s jeho okolím.

### 4.2.2 Výkonový blok

Ve výkonovém bloku se nachází integrovaný obvod ST293DNE s 2-mi plně říditelnými H-můstky. Tato část je napájena napětím přímo z akumulátoru, tedy napětím 6,3-7,2V. Na každém výstupu z ST293DNE do motoru jsou zapojeny dvě antiparalelně zapojené

schotkyho diody kvůli odvedení naindukovaných napět'ových špiček. Tyto špičky napětí opačné polarit'y jsou způsobeny řízením motorů pomocí PWM. Tento blok je řízený regulačním blokem přes šestici pinů. Které jsou odděleny omezovacími 1k rezistory. Výstupy pro motory jsou vyvedeny na konektory.

### 4.2.3 Regulační blok

Tento blok je dá se říci hlavní. Obstarává komunikaci s okolím přes UART, měření signálů z optických senzorů, spíná motory pomocí obvodu ST293DNE a měří palubní napětí. Na desce je osazen mikrokontrolér ATMEL ATmega 8 s 8k Flash pamětí a 1k interní SRAM. Hodinový signál procesoru je generován pomocí externího krystalu o frekvenci 11,0592MHz.

Mikrokontrolér lze programovat pomocí ISP přes MLW10 konektor. Zapojení MLW10 je na obr 4.2.1 vlevo dole.

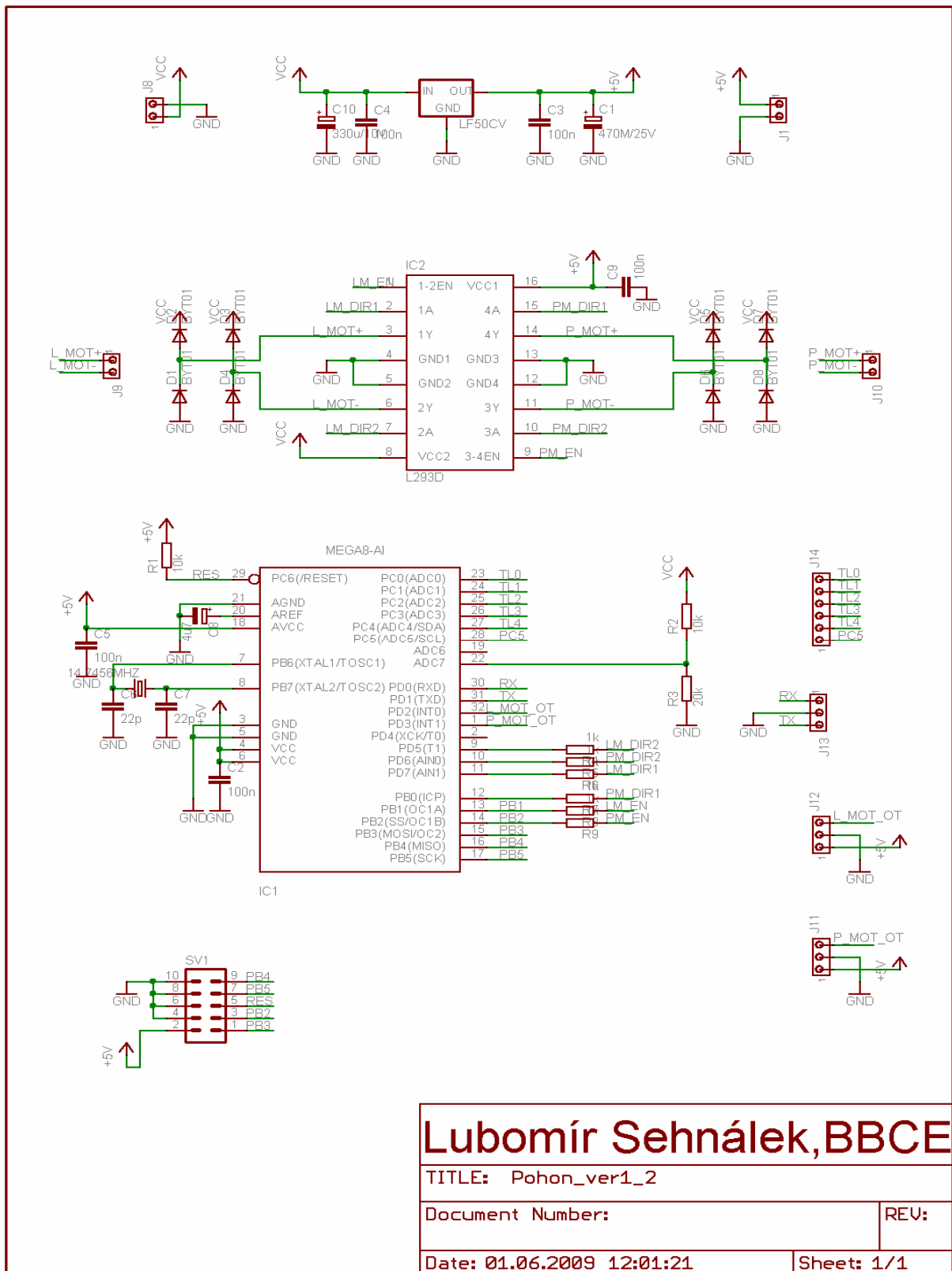
K mikrokontroléru jsou pomocí dalších dvou konektorů připojeny optické senzory orometrie. Tyto senzory jsou připojeny na externí přerušení INT0 a INT1. Senzory jsou napájeny 5V z modulu regulátoru.

Dále je od mikrokontroléru vyveden na konektor sériový interface USART pro komunikaci s okolím.

Vyvedena je také šestice pinů, která má volitelné použití. V této aplikaci nemají piny žádnou funkci, ale lze ji doprogramovat. Na dvou těchto pinech je vyvedena sběrnice I2C, kterou lze v budoucnu také použít.

Jak je již výše zmíněno, mikrokontrolér řídí motory pomocí plného H-můstku. V módu v jakém je řízení motorů navrženo je PWM signál přiváděn na povolovací piny driverů jednotlivých můstků. Tento PWM signál je generován na pinech mikrokontroléru OC1A a OC1B.

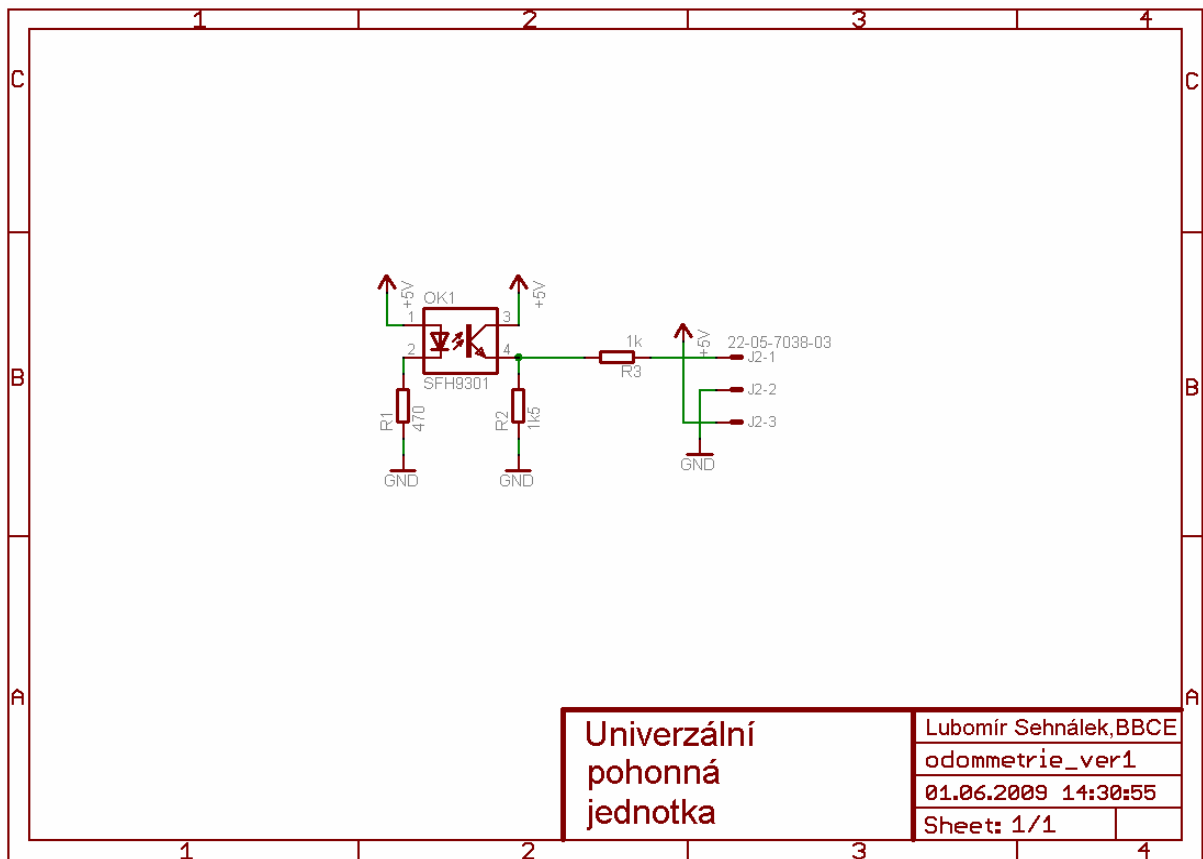
Pro měření palubního napětí je k pinu ADC7 přes odporový dělič v poměru 2/3  $U_{cc}$  přivedeno napětí  $U_{CC}$  (napětí napájecího zdroje).



Obrázek 4.2.1 schéma zapojení modulu regulátoru

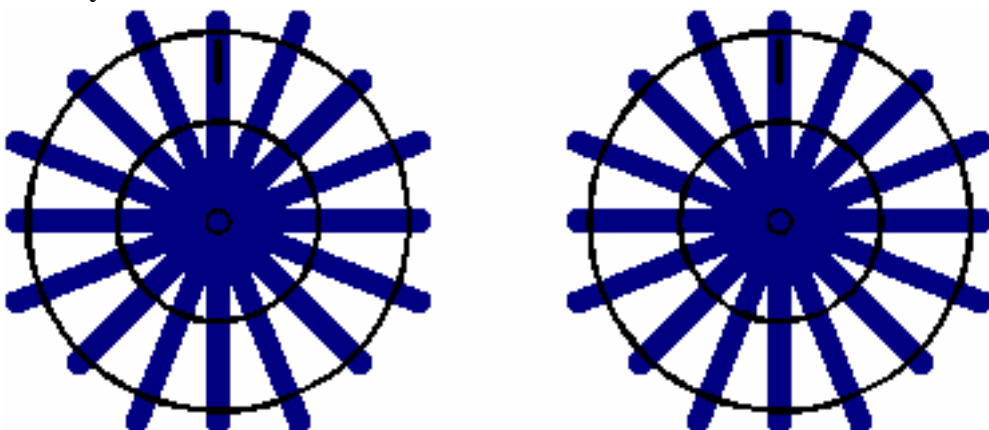
### 4.3 Moduly senzorů otáček

Jedná se o modul s optickým senzorem, několika odpory a konektorem PFH, pomocí kterého se modul připojí k modulu regulátoru. Hodnoty rezistorů R1 a R2 byly měřením určeny jako nejvhodnější. Optický senzor má při těchto hodnotách (paprsek přerušen)  $\log^{\circ}0^{\circ} = 0,1V$  a (procházející paprsek)  $\log^{\circ}1^{\circ} = 4,85V$ .



Obrázek 4.3.1 schéma zapojení modulu odometrie

#### Řezaný kotouček k měření otáček kola

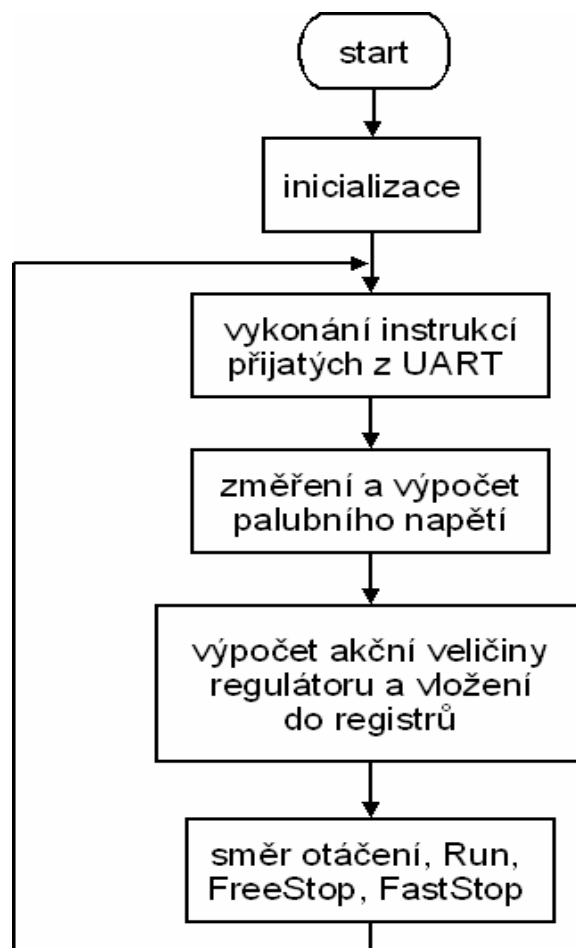


Obrázek 4.3.2 řezané kotoučky

Kotoučky mají 16 zářezů na otáčku

# 5 Popis zařízení

## 5.1 Popis programu



Obrázek 5.1.1 vývojový diagram hlavního programu regulátoru

Před startem programu jsou deklarovány globální proměnné a definovány konstanty. Mimo jiné jsou také deklarovány 2 bajty určené jako bitové pole, pomocí těchto bitů jsou předávány příznaky. Tyto příznaky ovlivňují buď běh obsluhy přerušení a dalšího podprogramu, v případě že byl příznak nastaven podprogramem. V případě že byl příznak nastaven obsluhou přerušení, ovlivňují tyto příznaky chod podprogramů.

V inicializaci jsou nastavena veškerá přerušení a nastavení I/O pinů na požadované hodnoty.

Hlavní smyčka je nekonečná. Uvnitř této smyčky jsou podprogramy vykonávající se neustále bez jakékoliv podmínky. Hlavní smyčka obstarává aktuální informace o palubním napětí, odezvu na instrukci odeslanou prostřednictvím UART, nastavené chtěné otáčky a směr otáčení.



### 5.1.1 Vykonání instrukcí přijatých UARTem

Na začátku podprogramu se testuje zda byla nějaká instrukce přijata. Pokud ano, tak se dále testuje, zda je instrukce adresována tomuto zařízení. Aby byla instrukce adresována tomuto zařízení, musí packet který byl poslán začínat adresou tohoto zařízení (je definována jako konstanta), nebo univerzální adrese zvané BroadCast (0x00). Pokud je tato podmínka také splněna, podprogram instrukci vyhodnotí, provede instrukci, nastaví příznaky pro jiné podprogramy a poté odešle odpověď s ACK (Acknowledgment). Pokud však je instrukce neznámá, program odpoví s Negativním ACK

### 5.1.2 Změření a výpočet palubního napětí

Měření se neprovádí kontinuálně, ale vždy jednorázově. Na začátku programu se testuje zda je AD převod kompletní. Pokud ne, podprogram se ukončí, pokud ano, program si uloží do proměnné hodnotu z převodních registrů. Poté následuje výpočet palubního napětí ze známého dělicího poměru spolu s přepočtem hodnot v proměnné na analogovou úroveň.

Pozn.: Jako referenční napětí je připojeno 5V

### 5.1.3 Výpočet akční veličiny a vložení do registrů

Nejprve podprogram testuje zda jsou nastaveny otáčky jiné než nulové. Pokud jsou nulové, podprogram nastaví hodnotu komparačního registru daného motoru na hodnotu 3 (tj. minimální možná) a vynuluje integrační složku regulátoru.

Pokud je však podmínka splněna, tak podprogram dále testuje zda nastal na senzorech další impulz, nebo došlo k přetečení čítač, což znamená, že kolo se netočí. Pokud je i tato podmínka splněna, podprogram začne nejprve počítat aktuální otáčky. Ty jsou počítány z rozdílu hodnot minulého stavu čítače 0 a aktuálního stavu čítače 0. Potom začne vypočet akční veličiny. K tomuto jsou použity hodnoty aktuálních otáček, požadovaných otáček a aktuálních otáček z minulého výpočtu. K tomuto je použita obdoba následujícího algoritmu, která je převzat z [11]:

$$\begin{aligned} e &= \text{req\_speed} - \text{cur\_speed} \\ \text{sum\_e} &+= e \\ \text{pulse\_width} &= P * e + I * \text{sum\_e} - D * (\text{cur\_speed} - \text{last\_speed}) \end{aligned} \tag{18}$$

Použitý regulátor je typu PID Tímto algoritmem vypočtená akční veličina je pak vložena do komparačního registru čítače/časovače 1. Poté to samé provede pro výpočet hodnot druhého motoru.

### 5.1.4 Směr otáčení, Run, FreeRun, FastStop

V tomto podprogramu je na základě příznaků v bitových polích nastavován směr a otáčení či neotáčení motoru. V případě že se má motor zastavit, program zastaví čítač/časovač 1 a poté vynuluje povolovací bit driveru na H-můstku. V opačném případě zas čítač povolí. Tímto podprogram končí.

## 5.2 Komunikační protokol a instrukce

Packet kterým se komunikuje má na obě strany pevnou délku a to 7bytů.

UART má následující parametry:

- 8-mi bitová komunikace
- 1 StopBit
- Bez paritního bitu
- 9600 BaudRate

skladba komunikačního protokolu - z MASTERa						
SlaveADRESA	INSTRUKCE	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4

skladba komunikačního protokolu - ze SLAVEu						
SlaveADRESA	INSTRUKCE	ACK/NACK	Data 0/Err	Data 1	Data 2	Data 3

Tabulka 5.2.1 skladba komunikačního protokolu

instrukce	hex	offset:	1	2	3	4	5
read Aktuální Otáčky (LevýMotor,...)	0x00	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	LM <sub>H</sub>	LM <sub>L</sub>	PM <sub>H</sub>	PM <sub>L</sub>
read Chtěné Otáčky (LevýMotor,...)	0x01	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	LM <sub>H</sub>	LM <sub>L</sub>	PM <sub>H</sub>	PM <sub>L</sub>
read Max.Min. Možné Ot.	0x02	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	Max <sub>H</sub>	Max <sub>L</sub>	Min <sub>H</sub>	Min <sub>L</sub>
read Počet pulsů (PulsyLevýMotor,...)	0x03	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	PLM <sub>H</sub>	PLM <sub>L</sub>	PPM <sub>H</sub>	PPM <sub>L</sub>
write Otáčky (LevýMotor,...)	0x04	dotaz	LM <sub>H</sub>	LM <sub>L</sub>	PM <sub>H</sub>	PM <sub>L</sub>	MotorSetting
		odpověď	ACK	0x00	0x00	0x00	0x00
write PWM (LevýMotor,...)	0x05	dotaz	LM <sub>H</sub>	LM <sub>L</sub>	PM <sub>H</sub>	PM <sub>L</sub>	MotorSetting
		odpověď	ACK	0x00	0x00	0x00	0x00
read Napětí	0x06	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	Nap <sub>H</sub>	Nap <sub>L</sub>	0x00	0x00
read Verze SW (X - data z této pozice)	0x07	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	X.yy	y.Xy	y.yX	0x00
read PWM (LevýMotor,...)	0x08	dotaz	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
		odpověď	ACK	LM <sub>H</sub>	LM <sub>L</sub>	PM <sub>H</sub>	PM <sub>L</sub>
<b>!!! veškeré údaje otáček posílané UARTem jsou násobeny 100 !!!</b>							
<b>!!! údaj o napětí posílaný UARTem je násoben 1000 !!!</b>							
<b>!!! údaj o PWM posílaný UARTem je nezměněn !!!</b>							

Tabulka 5.2.2 Seznam dotazů a odpovědí

ACK	0x0A	korektně provedeno, následují data (pokud jsou)
NACK	0xFF	vyskytla se chyba (následuje kód chyby)
ucmd	0xFE	kód chyby (err)

Tabulka 5.2.3 Acknowledgment

skladba bytu MotorSetting a přístupné kombinace							
Pravý motor bity 4 - 7				Levý motor bity 0 - 3			
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1

Tabulka 5.2.4 přípustné varianty nastavení motorů

MotorSettings	bit
log"1" otáčky vzad	0 nebo 4
log"1" FastStop	1 nebo 5
log"1" FreeRun	2 nebo 6
log"1" Run	3 nebo 7

Tabulka 5.2.5 významy jednotlivých bitů v Bytu MotorSetting

adresy zařízení	hex
BroadCast	0x00
Adresa Poh.Jed.	0x10

Tabulka 5.2.6 adresy zařízení

### 5.3 Funkce zařízení

Po zapnutí napájení je jednotka v klidu. Čeká na příjem první instrukce a měří palubní napětí. Defaultně nastavené hodnoty důležitých proměnných jsou:

- aktuální otáčky obou motorů = 0
- chtěné otáčky obou motorů = 0
- hodnoty komparačních registrů obou motorů = 0x0003
- hodnota počítadel impulzů = 0

V případě, že přijde korektní instrukce, zařízení na ni odpoví podle tab. 5.2.2. Od okamžiku, kdy jsou požadované otáčky nenulové a motory(motor), nejsou(není) zastaven, jednotka kontinuálně ty otáčky reguluje. Pokud však přijde instrukce pro nastavení hodnoty komparačních registrů přímo, jednotka to vyhodnotí jako externí řízení a regulační algoritmus se nebude provádět. Externí regulaci je možno provádět na základě informací o aktuálních otáčkách, nebo o stavu počítadla impulzů od minulého čtení. Vždy po přečtení se počítadlo vynuluje. Počítadlo je 16bitová proměnná, tedy jeho maximální velikost je 65535. Ve chvíli kdy přijde instrukce se zápisem chtěných otáček, jednotka zase otáčky začne regulovat sama.

Zastavení kol lze provést 2ma způsoby. Nastavením v **MotorSetting** bitu **FreeRun** – což je volné otáčení motoru. Nebo bitu **FastStop** – kdy je motor zkratován, je tak bráněno motoru v otáčení. Opětovným nastavením bitu **Run** se motor rozběhne.

# Závěr

V teoretické části jsem uvedl varianty podvozků, motorů, druhu řízení stejnosměrných motorů a odometrie. V návrhu jsem pak z těchto možností volil následovně.

Jako podvozek jsem zvolil diferenciální. Tento se vyznačuje velkou obratností, konstrukční jednoduchostí a je velmi často v podobných aplikacích používán. Dále jsem zvolil jako pohon dva DC motory. Jejich pořizovací náklady jsou nízké a řízení pomocí PWM jednoduché a to díky integraci H-můstku do integrovaných obvodů. Jako snímač odometrie volím zjednodušené inkrementální čidlo, protože údaje o směru otáčení bude zjišťovat software z nastavení. Jelikož nepředpokládám že se pohonná jednotka, potažmo robot nebude s něčím „přetlačovat“. Šasi je navrženo z plechových dílů stavebnice Merkur bez ochranných nárazníků. Jednotka bude komunikovat s řídicí sensorikou, potažmo s PC přes rozhraní UART. Protokol komunikace je popsán výše a sumář instrukcí i s odpověďmi na ně je v příloze.

Regulace je plně funkční a je možno volit její řízení různě, buď požadavkem na otáčky, nebo vkládáním hodnot přímo do komparačního registru čítače/časovače 1. Regulaci otáček provádí algoritmus PID regulace. Odezva na změnu otáček není příliš rychlá. Toto je způsobeno relativně dlouhotrvajícím čekáním na další impuls ze sensorů. Ve snaze zrychlit regulátor byla již regulace nestabilní. Řešením je zkrátit dobu výpočtu aktuálních otáček například zvětšením počtu zářezů na kotoučku, nebo umístěním čárkovaného pásu kolem obvodu kola, kde je možno mít těchto zářezů podstatně více.

Jednotka dále čítá impulzy od sensorů jednotlivých kol od minulého vyzvednutí.

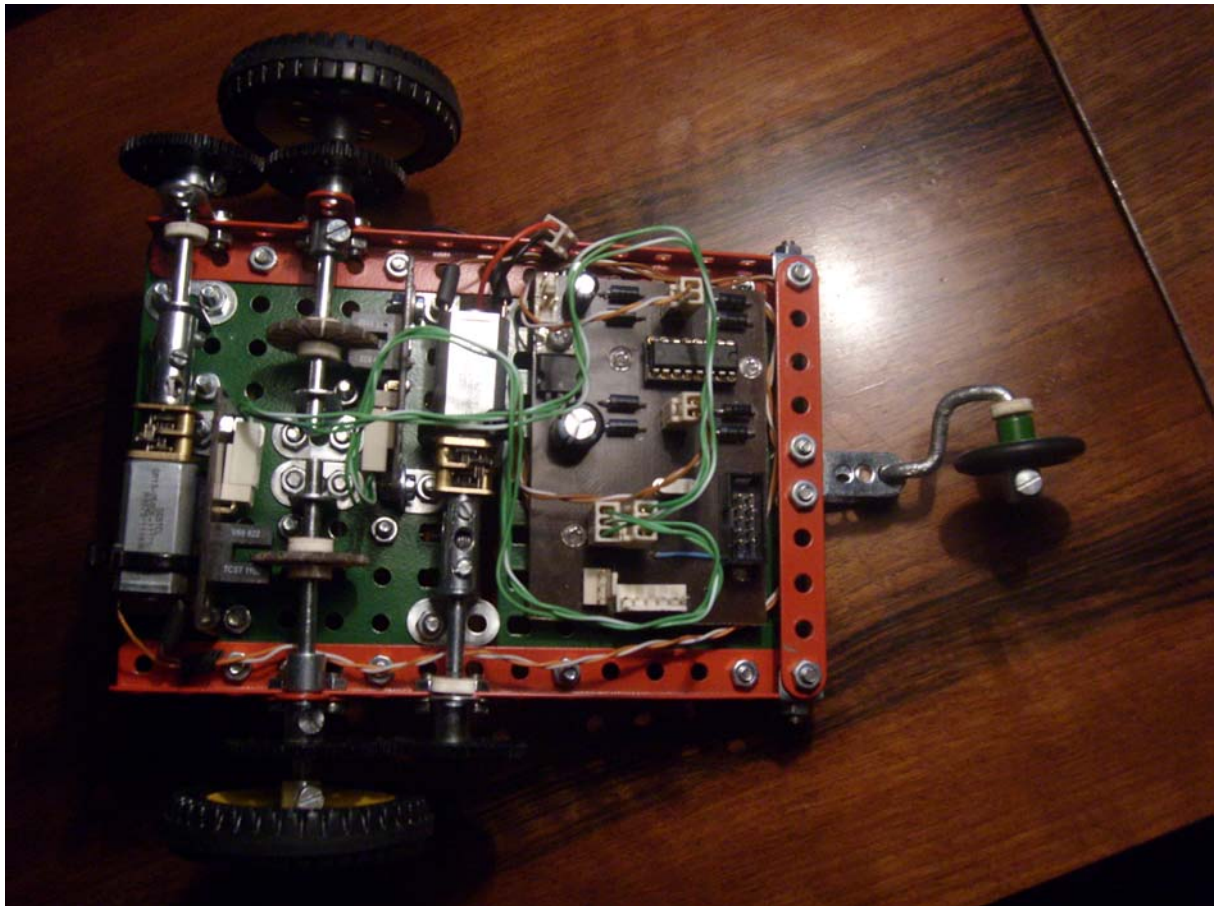
Na žádost jednotka odešle hodnotu palubního napětí, nebo jiné zmiňované veličiny, kterou lze nastavit.

V současné době není zcela dořešeno upevnění motorů a baterií. Vyosení hnací hřídele motoru a hnané hřídele ozubeného soukolí, která vznikla menším průměrem hnací hřídele motoru je prozatím vyřešena vyvločkováním spojky hřídelů.

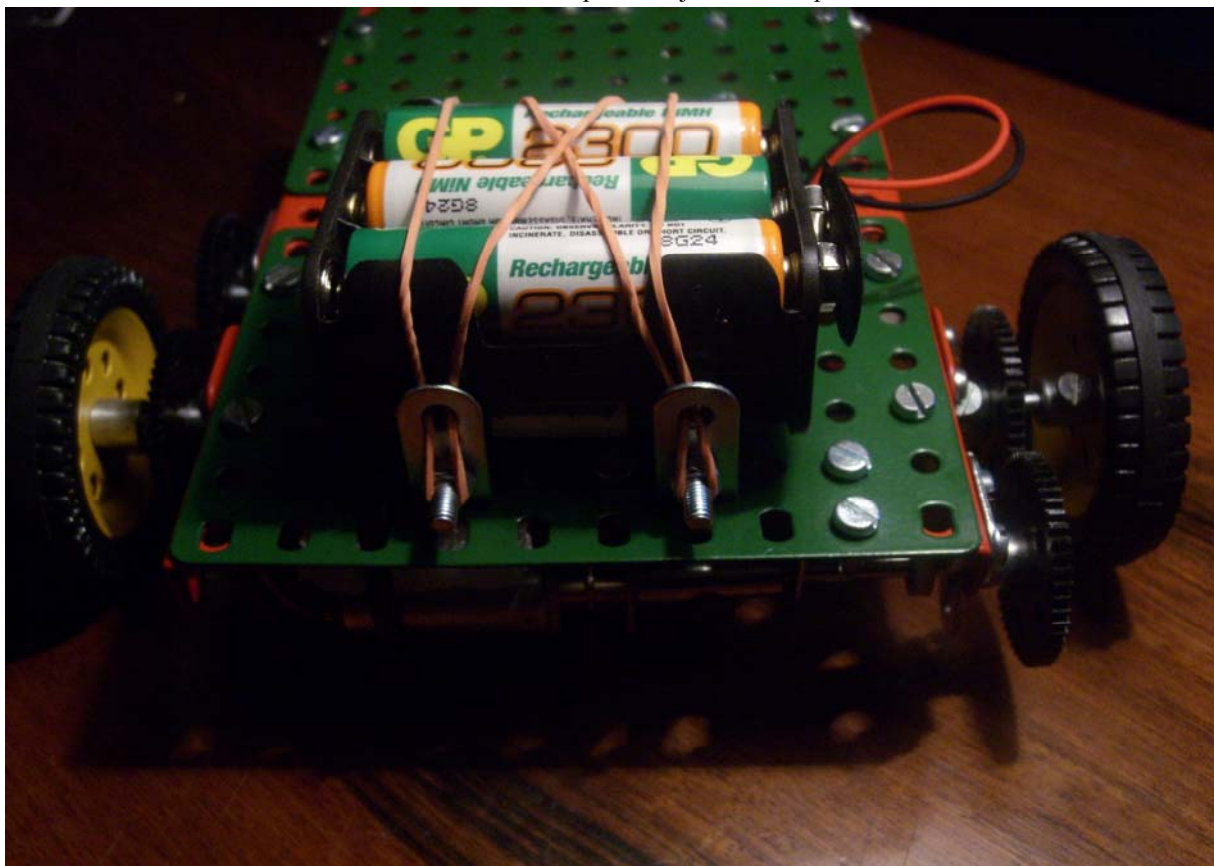
Jelikož má nynější bateriový zdroj zbytečně velkou kapacitu, v budoucnu by bylo dobré tento zdroj vyměnit za nějaký kompaktnější a méně předimenzovaný baterry pack. Výdrž jednotky při nynějších bateriích je cca 2h.

Podoba zadního opěrného kolečka není také zcela dokončena. Na výrobu tohoto kolečka i s kloubem nebudou výrobky firmy Merkur pravděpodobně stačit a bude třeba poohlédnout se například v nějakých modelářských potřebách.

S výsledkem práce jsem spokojený, avšak vím že je v hodně směrech co doladovat. Doufám že bude jednotka sloužit dobře k účelům na jaké byla vyvinuta.



Obrázek z1 pohonná jednotka zespodu



Obrázek z2 pohonná jednotka z horní strany postavena na kola

## Seznam literatury:

- [1] HAVLÍK, Ladislav. Vlastnosti a použití nabíjecích článků a akumulátorů. Rádio plus KTE[online]. Únor 2001 [cit. 3. června 2009]. 7 s. Dostupné na WWW: <<http://www.sam119.sk/tipy/akumulatory.pdf>>
- [2] SGS-Thomson Microelectronics[online]. HIGH-POWER, DUAL-BRIDGE ICs EASE STEPPER-MOTOR-DRIVE DESIGN. 1995. 8 s. Dostupný na WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/an/1680.pdf>>
- [3] ATMEL CORPORATION [online]. San Jose, USA. 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8, ATmega8L. 2008. 208 s. Dokument dostupný na WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2486.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf)>
- [4] LOCKER, Martin. Řízení stejnosměrného motoru. Eurobot[online]. Prosinec 2006 [cit. 3. června 2009]. Dostupné na WWW: <[http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Rizeni\\_stejnoserneho\\_motoru.ppt](http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Rizeni_stejnoserneho_motoru.ppt)>
- [5] NOVÁK, P. Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení. Praha. BEN-technická literatura, 2005. 256 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [6] HAVLÍČEK, Tomáš. Snímače polohy. <<http://skriptum.wz.cz>>[online]. [cit. 3. června 2009]. Dostupné na WWW: <<http://skriptum.wz.cz/autom/poloha.htm>>
- [7] LOCKER, Martin. Pohony pro mobilního robota. Eurobot[online]. Prosinec 2006 [cit. 3. června 2009]. Dostupné na WWW: <[http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Pohony\\_pro\\_mobilniho\\_robota.ppt](http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Pohony_pro_mobilniho_robota.ppt)>
- [8] SHENGUANG SCIENCE & TECHNOLOGY [online]. Kowloon, Hong Kong. Hot Gear Motor -SGM13F Series. 2003. 1 s. Dokument dostupný na WWW: <<http://www.sgstcl.com/up/38/engpdf/GM13.pdf>>
- [9] VISHAY SEMICONDUCTORS [online]. Heilbronn, Germany. Transmissive Optical Sensor with Phototransistor Output. 2006. 9 s. Dokument dostupný na WWW: <<http://www.vishay.com/docs/83764/tcst1103.pdf>>
- [10] Wikipedia [online]. PID controller. [cit. 3. června 2009]. Dokument dostupný na WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)>
- [11] WINKLER, Zbyněk. Řízení pohybu. Robotika.cz [online]. Prosinec 2007 [cit. 3. června 2009]. Dokument dostupný na WWW: <<http://robotika.cz/guide/control/cs>>

## Seznam obrázků:

Obrázek 2.3.1 trakční odpor, převzato z [7] .....	11
Obrázek 2.5.1 princip PWM převzato z [4] .....	14
Obrázek 2.5.2 princip zapojení H-můstku převzato z [4] .....	15
Obrázek 2.6.1 varianty zpětnovazebního regulátoru převzato z [10].....	16
Obrázek 2.7.1 princip inkrementálního čidla, převzato z [6].....	18
Obrázek 2.7.2 průběh napětí na fotodiodách, převzato z [6].....	18
Obrázek 2.7.3 Optický absolutní snímač polohy, převzato z [6] .....	19
Obrázek 2.8.1 datový packet UART. Převzato z [3].....	20
Obrázek 3.4.1 princip generování PWM ve Fázově a Frekvenčně upravitelném módu převzato z [3].....	23
Obrázek 3.4.2 princip činnosti čítače/časovače 0 převzato z [3] .....	24
Obrázek 3.5.1 rozměry šasi pohonné jednotky .....	25
Obrázek 3.6.1 blokové schéma univerzální pohonné jednotky .....	25
Obrázek 4.1.1 princip a uchycení zadního vlečného kolečka .....	26
Obrázek 4.1.2 umístění desky regulátoru .....	27
Obrázek 4.1.3 celé hnací ustrojí i s odometrií .....	28
Obrázek 4.2.1 schéma zapojení modulu regulátoru .....	30
Obrázek 4.3.1 schéma zapojení modulu odometrie.....	31
Obrázek 4.3.2 řezané kotoučky .....	31
Obrázek 5.1.1 vývojový diagram hlavního programu regulátoru .....	32

## Přílohy a dokumentace na přiloženém CD:

Datasheet L293DNE	(L293D.pdf)
Datasheet TCST1103	(TCST1103.pdf)
Datasheet ATMEL ATmega 8	(ATmega8.pdf)
Komunikační protokol UARTu	(KomProtUPJ.pdf)
Seznam součástí šasi MERKUR	(MERKURseznam.xls)
Fotodokumentace konstrukce šasi	(FotoSasi.zip)
Fotodokumentace jednotlivých modulů a jejich umístění	(FotoModul.zip)
Zdrojový kód k regulátoru Univerzální pohonné jednotky	(CsourceUPJ.zip)
Schémata zapojení a návrhy desek – Eagle 16r2 light	(EagleSourceUPJ.zip)