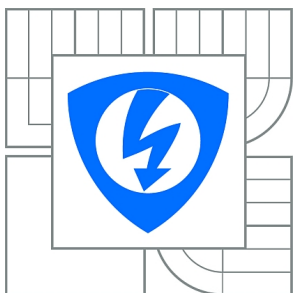


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO ŘÍZENÍ SS MOTORŮ

CONTROL SYSTEM FOR DC MOTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ MIKULÁŠTÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KOPEČNÝ, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Jiří Mikuláščík

ID: 125546

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém pro řízení ss motorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte řídicí systém pro stejnosměrné motory MCCRA12MP3N a MCCRA12MP fy T.E.A. Technik. Motory s řídicím systémem budou použity jako pohonné jednotky mnohoseměrového podvozku. Řídicí systém by měl zajistit synchronní chod motorů a sledování požadovaných časových průběhů rejdu a otáček kol podvozku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Atmel [online]. 2007 [cit. 2011-09-19]. AN4987. Dostupné z WWW:
<http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4987.pdf>.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 28.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je návrh řídicího systému pro stejnosměrné motory MCCRA12MP3N a MCCRA12MP. Tento systém bude určen pro řízení podvozku a bude umožňovat plynulou regulaci rychlosti. Dále bude moci přijímat žádané hodnoty otáček a odesílat aktuální hodnoty za pomoci sériového rozhraní.

KLÍČOVÁ SLOVA

stejnosměrný motor, řídicí systém, mnohosměrový podvozek, regulace otáček

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design of a control system for DC engines MCCRA12MP3N and MCCRA12MP. This system will be used to control a chassis and will allow smooth speed control of it. Serial interface will also be able to receive the desired and send out the current RPM values.

KEYWORDS

DC motor, control system, multi-way chassis, speed regulation

MIKULÁŠTÍK, Jiří *Řídicí systém pro řízení SS motorů*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012. 45 s. Vedoucí práce byl Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Řídicí systém pro řízení SS motorů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce 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.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lukáši Kopečnému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	9
1 Stejnosměrný(DC) motor	10
1.1 Princip a konstrukce	10
1.2 Výhody a nevýhody	11
1.3 Matematický popis	12
1.4 Charakteristika motorů MCCRA12MP	14
2 Řídicí modul	15
2.1 Výkonová část	16
2.2 Senzorická část	19
2.2.1 Měření polohy	19
2.2.2 Měření proudu	20
2.3 Řídicí část	21
3 Návrh řídicího systému	24
3.1 Konfigurace vstupů a výstupů	24
3.2 Zpracování kvadraturního signálu z enkodérů	25
3.3 Pulzně šířková modulace	26
3.4 Měření a regulace rychlosti	28
3.5 Měření proudu	30
3.6 DMA řadič	31
3.7 Sériová komunikace	32
3.8 PC terminál	33
3.9 Ladění a ověření funkčnosti	36
Závěr	41
Literatura	42
Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
Seznam příloh	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Řez stejnosměrným motorem s per. magnety[2]	10
1.2	Náhradní zapojení stejnosměrného motoru s permanentními magnety	12
2.1	Řídicí modul	15
2.2	Unipolární spínání-stavy[16]	16
2.3	Unipolární spínání-průběh napětí[16]	16
2.4	Unipolární spínání-stavy[16]	17
2.5	Bipolární spínání-průběh napětí[16]	17
2.6	Blokové schéma obvodu VNH3SP30[7]	18
2.7	Optický inkrementální enkodér[13]	19
2.8	Kvadraturní signál[9]	20
2.9	Blokové schéma ATxmega16A4[8]	22
2.10	Blokové schéma Event systému[8]	23
3.1	PWM signál [14]	26
3.2	Generování PWM signálu [8]	27
3.3	Vývojový diagram vzorkovací rutiny	29
3.4	Diskrétní regulace DC motoru	30
3.5	USART-datový rámec [15]	32
3.6	Datový packet odesílaných dat z mikrokontroléru	32
3.7	Datový packet odesílaných dat z PC	33
3.8	Vývojový diagram PC terminálu	34
3.9	Řídicí terminál pro PC	35
3.10	Blokové schéma zapojení	36
3.11	Rozdílná konfigurace diskrétního PI regulátoru	37
3.12	Regulace rychlosti v obou směrech	38
3.13	Odezva regulátoru na rozdílný zatěžovací moment	39
3.14	Regulace s rampovou funkcí	40

SEZNAM TABULEK

1.1	Technické parametry motorů[5]	14
1.2	Technické parametry enkodéru[6]	14
2.1	Tabulka stavů modulu VNH3ASP30[7]	18

ÚVOD

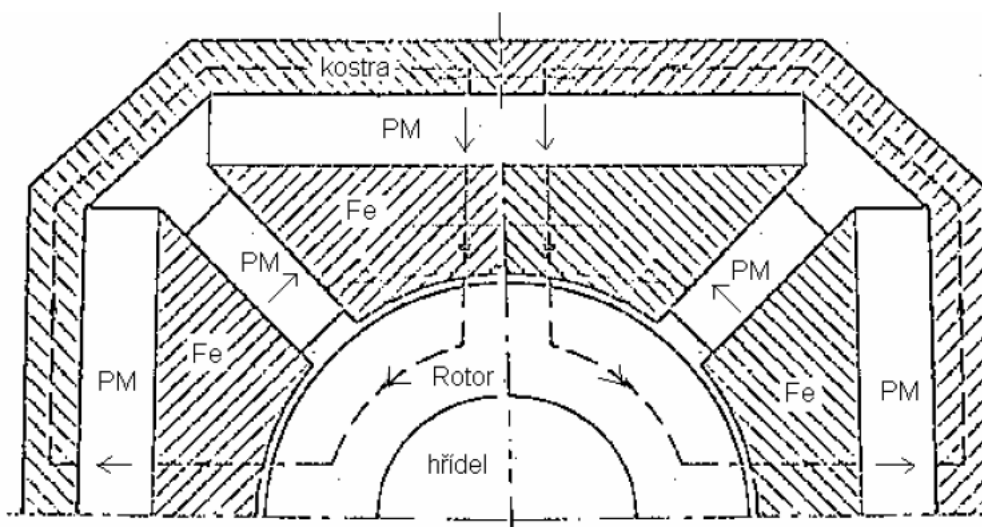
První část bakalářské práce je zaměřena na teorii, rozebírá funkci a princip stejnosměrného motoru. Zabývá se matematickým popisem, odvozením důležitých rovnic a možnými principy řízení otáček daných motorů. Druhá část práce je věnována popisu použitého zařízení pro implementaci řídicích algoritmů a popisu jeho funkčních částí. Třetí část této práce se věnuje praktickému návrhu řídicího systému. Popisuje řídicí algoritmy a všechny použité periferie mikrokontroléru ATxmega16A4 a jejich konfiguraci. Dále se věnuje odladění regulátorů otáček a celkovému ověření funkčnosti.

1 STEJNOSMĚRNÝ(DC) MOTOR

Stejnoscsměrný motor patří k historicky nejstarším elektrickým strojům. Stejnoscsměrný motor je ideálním regulačním motorem - jeho otáčky lze plynule měnit změnou přiváděného napětí. Pro regulované pohony se používá zejména stejnosměrných motorů s cizím buzením a motorů s buzením permanentními magnety ve statoru.

1.1 Princip a konstrukce

Stejnoscsměrný motor by se z hlediska funkčnosti dal rozdělit na tři části: stator, rotor a komutátor. U stejnosměrného motoru s permanentními magnety je stator tvořen soustavou magnetů. Na výrobu těchto magnetů se používá magneticky tvrdých materiálů, zejména feritů a spékaných materiálů ze vzácných zemin například samarium-kobalt nebo sloučeniny neodymu, železa a bóru[2]. Dále je stator tvořen pólovými nástavci z měkkého železa sloužící ke koncentraci magnetického toku do vzduchové mezery. Další nepostradatelnou součástí stejnosměrného motoru je rotor (kotva) s vinutím tvořeným jednotlivými cívkami. Toto vinutí je uloženo v drážkách na rotoru a jeho vývody jsou vyvedeny na komutátor. Komutátor slouží pro přivedení napájecího napětí na rotující ustrojí motoru (rotor) a zajištění postupného střídání fází takovým způsobem, že ve vzduchové mezeře vznikne magnetické pole vyvolávající rotaci kotvy. K přivedení napájecího napětí na komutátor jsou použity uhlíkové kartáčky, které tlačí na jeho povrch. Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety je ukázán na obr.1.1



Obr. 1.1: Řez stejnosměrným motorem s per. magnety[2]

Kromě motorů s permanentními magnety se zejména pro větší výkony používá motorů s cizím buzením, v nichž se magnetické pole vytváří proudem budicího vinutí, navinutém na tzv. hlavních (budicích) pólech statoru. Nevýhodou těchto motorů jsou větší ztráty o Jouleovy ztráty v budicím vinutí. Tato nevýhoda je na druhé straně vykompenzována možností regulace odbuzováním. [2]

1.2 Výhody a nevýhody

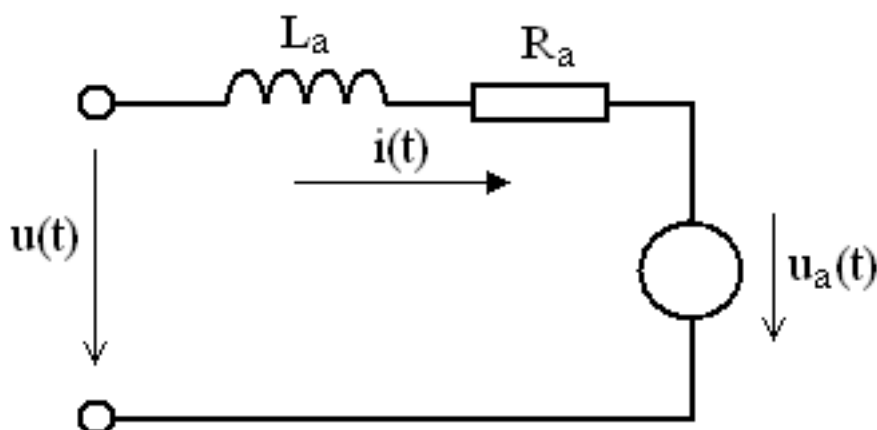
Hlavní výhodou stejnosměrných motorů je jednoduchá konstrukce poměrně levná na výrobu. Cenu stejnosměrného motoru s permanentními magnety převážně určuje materiál použitý na výrobu magnetů. Další velikou výhodou je jednoduché řízení otáček motoru. Úhlová rychlost stejnosměrného motoru je totiž přímo úměrná napětí přivedenému na svorky motoru. Tuto závislost popisuje vztah: 1.7. Nejčastějším způsobem pro řízení otáček v obou směrech je použití čtyřkvadrantového měniče (H-můstek) a pulzně šířkové modulace (PWM) pro spínání jednotlivých tranzistorů. Touto problematikou se blíže zabývají kapitoly 2.1 a 3.3.

Na druhou stranu velkou nevýhodou stejnosměrných motorů je mechanický způsob komutace. Toto řešení přináší řadu nevýhod a to hlavně vysoké ztráty (malá účinnost) a velké rušení napájecího vedení. Uhlíkové kartáčky tlačí na stator a vznikají třecí síly působící v opačném směru otáčení. Kartáčky se s postupem času opotřebovávají a zanáší komutátor, proto je potřeba údržba těchto motorů.

V dnešní době se proto stále častěji setkáváme s nasazením motorů s elektrickým komutováním (Krokové motory, BLDC, apod.). Tyto motory potřebují sice složitější řízení, ale jejich velkou výhodou je jejich větší účinnost (největším zdrojem tření je uložení v ložisku) a hlavně odpadá potřeba údržby těchto motorů. Těchto výhod se využívá především při nasazení pohonů v průmyslové výrobě, kde odpadají nutné revize a tudíž prostoje výrobních linek.

1.3 Matematický popis

Tato kapitola se zabývá odvozením základních charakteristik popisující statické a dynamické vlastnosti stejnosměrného motoru s permanentními magnety. Obrázek 1.2 zobrazuje náhradní zapojení z hlediska elektrické podstaty stroje. Motor je zde popsán pomocí vnitřního odporu R_a , indukčností kotvy L_a a zpětně naindukovaným napětím způsobeným rotoací motoru $u_a(t)$. Na motor působí vstupní napětí $u(t)$.



Obr. 1.2: Náhradní zapojení stejnosměrného motoru s permanentními magnety

Z náhradního schématu motoru je patrné, že pro obvod kotvy z II. Kirchhoffova zákona platí:

$$u(t) = u_a(t) + R_a \cdot i(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (1.1)$$

Pro napětí indukované na kotvě platí:

$$u_a(t) = C \cdot \phi \cdot \omega(t) \quad (1.2)$$

- C - konstanta motoru
- ϕ - magnetický tok

Chování rotující mechanické soustavy lze popsat pomocí následující pohybové rovnice:

$$m(t) - m_z(t) = J_c \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (1.3)$$

Kde:

- $m(t)$ - moment motoru
- $m_z(t)$ - moment zátěže
- J_c - celkový moment setrvačnosti

Pro moment stejnosměrného stroje s permanentními magnety platí:

$$m(t) = C \cdot \phi \cdot i(t) \quad (1.4)$$

Pro odvození následujících diferenciálních rovnic budeme předpokládat, že motor v ustáleném i pohybovém stavu má konstantní magnetický tok, jehož velikost je dána použitým typem magnetů a konstrukcí magnetického obvodu.

S využitím výše uvedených vztahů dostaneme požadovanou soustavu diferenciálních rovnic:

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} \cdot (u(t) - C \cdot \phi \cdot \omega(t) - R_a \cdot i(t)) \quad (1.5)$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J_c} \cdot (C \cdot \phi \cdot i(t) - m_z(t)) \quad (1.6)$$

Pro ustálený stav motoru můžeme snadno odvodit závislost úhlové rychlosti:

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \phi} + \frac{R_a}{(C \cdot \phi)^2} \quad (1.7)$$

Z rovnice je patrné, že úhlovou rychlost stejnosměrného motoru lze ovlivnit následujícími způsoby:

- Změnou vnitřního odporu kotvy - Tato hodnota je dána konstrukčními vlastnostmi motoru, lze ji však ovlivnit přídavným rezistorem zapojeným v sérii. Tato metoda není však příliš vhodná z důvodů výkonových ztrát na tomto rezistoru.
- Změnou magnetického toku - Tato metoda se nedá aplikovat na motory s permanentními magnety, protože mají konstantní magnetický tok.
- Změnou napájecího napětí - Tato možnost je nejideálnějším řešením, jak je patrné z rovnice, úhlová rychlost je přímo uměrná napájecímu napětí. Ostatní veličiny jsou konstantní a se změnou napětí se nemění.

1.4 Charakteristika motorů MCCRA12MP

Dle zadání se tato práce zabývá řízením motorů MCCRA12MP a MCCRA12MP3N od výrobce Mini Motor. Tyto motory jsou stejnosměrné s buzením pomocí permanentních magnetů ve statoru. Následující tabulky zobrazují technické parametry těchto dvou motorů.

Charakteristické parametry motorů MCCRA12MP a MCCRA12MP3N:

Technický parametr	MCCRA12MP	MCCRA12MP3N)
Příkon	60 W	115 W
Výkon	37 W	75 W
Napájecí napětí	12 V	12 V
Jmenovitý proud	5 A	9,6 A
Jmenovité otáčky	2800 rpm	2800 rpm
Převodový poměr	20	20
Výstupní otáčky za převodovkou	140 rpm	140 rpm
Kroutící moment	1,4 Nm	4,1 Nm

Tab. 1.1: Technické parametry motorů[5]

Jako čidlo polohy/otáček motoru je použit optický, inkrementální enkodér s těmito parametry:

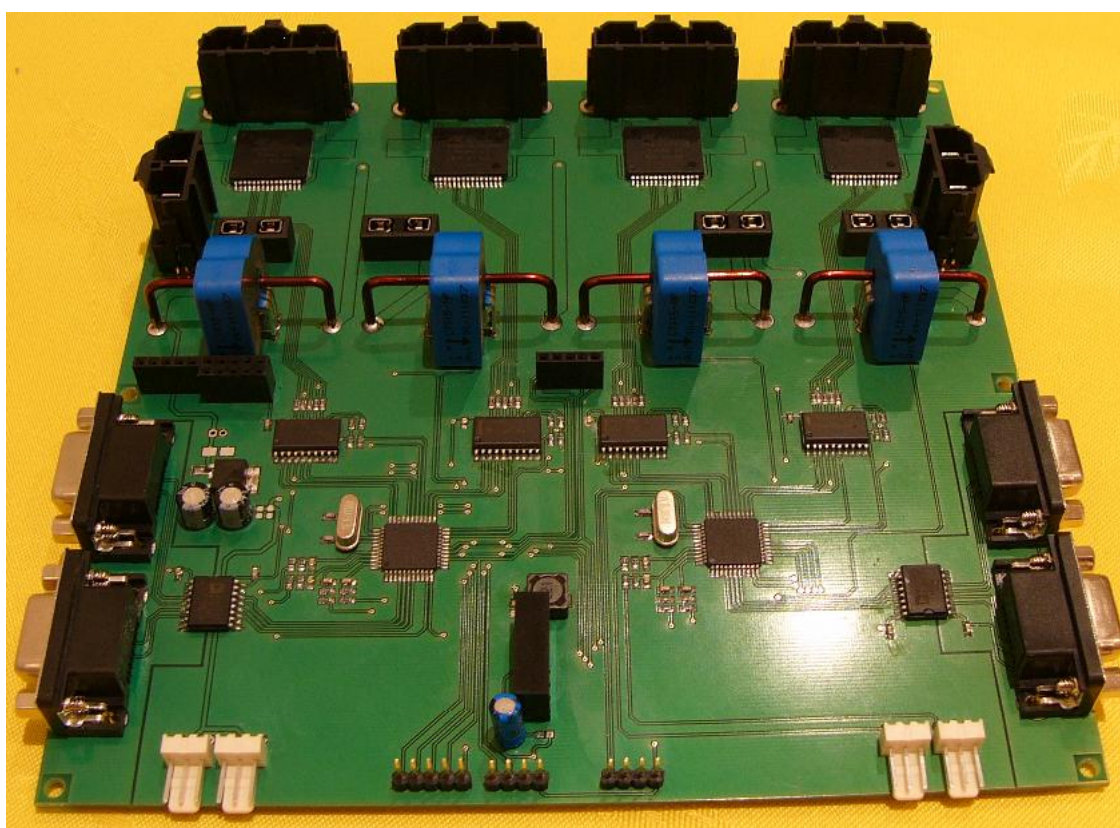
Technický parametr	Hodnota
Typ enkodéru	optický
Počet kanálů	2
Rozlišení	512 pulzů/otáčku
Napájení	5 V
Max. proudový odběr	50 mA

Tab. 1.2: Technické parametry enkodéru[6]

2 ŘÍDICÍ MODUL

Pro návrh řídicího systému byl použit řídicí modul, který byl navržen na VUT v Brně v roce 2011. Toto zařízení umožňuje řízení až čtyř stejnosměrných motorů s maximální napájením 40V a nominálním proudem až 30A. Dále umí zpracovávat digitální signály z enkodérů a analogové signály ze snímačů proudu. Pro potřeby komunikace s nadřazenou jednotkou lze využít standardních seriových rozhraní USART, SPI nebo TWI. Modul má taktéž čtyři analogové vstupy, které lze požit pro připojení čidel signalizující základní polohu motorů.

Tento modul nebyl prozatím nasazen v žádném reálném zařízení a neobsahuje žádnou funkční verzi řídicího programu.



Obr. 2.1: Řídicí modul

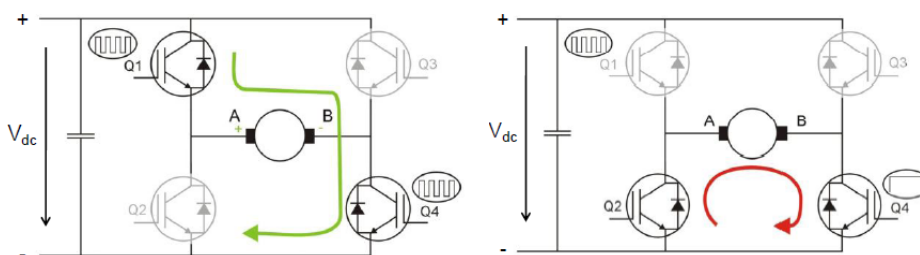
2.1 Výkonová část

Pro řízení stejnosměrných motorů se nejčasteji používá čtyřkvadrantový tranzistorový pulzní měnič neboli H-můstek. Měnič je schopen dodávat na výstupu oba směry proudu a obě polaritu napětí. Je tedy vhodný pro napájení stejnosměrných servopohonů pro polohové řízení, případně i pro dynamicky náročné pohony v otáčkové vazbě[3]. Podle časové posloupnosti spínání jednotlivých tranzistorů lze způsoby řízení rozdělit na unipolární řízení a bipolární řízení.

Při unipolárním řízení je na zátěži v průběhu jedné periody opakovacího kmitočtu pouze jedna polarita napětí nebo nulové napětí. Pro jeden směr otáčení dochází k následnému postupnému spínání tranzistorů $Q_{1on}Q_{4on}(Q_{2off}Q_{3off})$ a poté $Q_{2on}Q_{4on}(Q_{1off}Q_{3off})$. [16] Tyto situace jsou znázorněny na obr. 2.2.

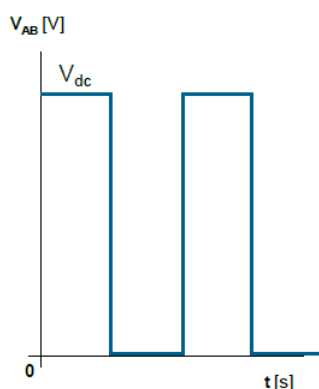
Stav 1: $Q_{1on}Q_{4on}(Q_{2off}Q_{3off})$ - v tomto případě je na svorkách motoru přímo připojeno napětí V_{dc} .

Stav 2: $Q_{2on}Q_{4on}(Q_{1off}Q_{3off})$ - zde dochází ke zkratování svorek motoru A, B a ve skutečnosti k připojení nulového napětí.



Obr. 2.2: Unipolární spínání-stavy[16]

Na následujícím obrázku můžeme vidět průběh napětí na svorkách motoru.

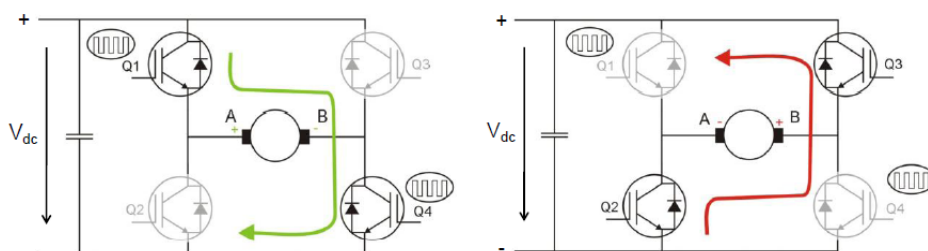


Obr. 2.3: Unipolární spínání-průběh napětí[16]

Při bipolárním řízení je na zátěži v průběhu jedné periody řízení střídavě napětí obou polarit. V případě bipolárního spínání dochází k následnému postupnému spínání tranzistorů $Q1_{on} Q4_{on} (Q2_{off} Q3_{off})$ a poté $Q2_{on} Q3_{on} (Q1_{off} Q4_{off})$. Tyto situace jsou znázorněny na obr. 2.4.

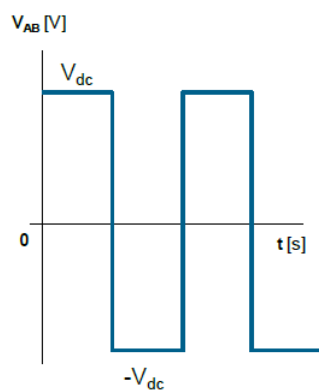
Stav 1: $Q1_{on} Q4_{on} (Q2_{off} Q3_{off})$ - v tomto případě je na svorkách motoru napětí V_{DC} .

Stav 2: $Q2_{on} Q3_{on} (Q1_{off} Q4_{off})$ - v tomto případě je na svorkách motoru napětí $-V_{DC}$.



Obr. 2.4: Unipolární spínání-stavy[16]

Na následujícím obrázku je vidět průběh napětí na svorkách motoru.

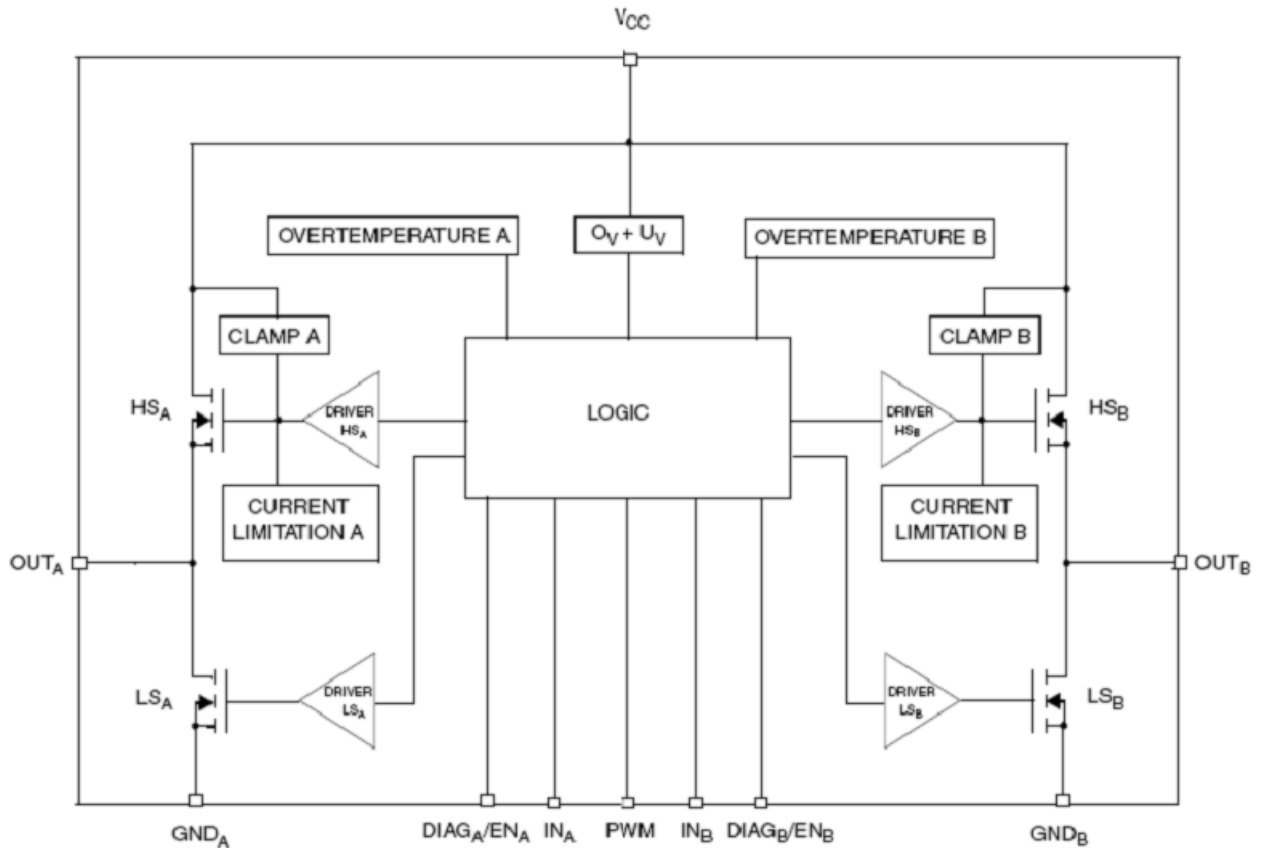


Obr. 2.5: Bipolární spínání-průběh napětí[16]

Základním prvkem řídicí části je integrovaný obvod VNH3ASP30 firmy STMicroelectronics, určený převážně pro automobilový průmysl. Tento obvod obsahuje H-můstek a umožňuje unipolární řízení stejnosměrných motorů s pracovním napětím až 40V a proudem až 30A. Maximální spínací frekvence tranzistorů je 20KHz. Obvod má taktéž řadu ochranných funkcí před destrukcí.[7]

- Ochrana proti předpětí a podpětí s napájecího zdroje.
- Ochrana proti přepětovým špičkám na tranzistorech.
- Integrovaná teplotní ochrana.
- Ochrana proti proudovým špičkám.

Na obrázku 2.6 je zobrazeno blokové schéma řídicího obvodu VNH3SP30.



Obr. 2.6: Blokové schéma obvodu VNH3SP30[7]

Komunikace mezi řídicím procesorem a VNH3SP30 je založena na pěti signálových vodičích, přičemž signály **EN A** a **EN B** pracují na principu tranzistoru s otevřeným kolektorem a jsou obousměrné. Pokud nastane porucha nebo zapůsobí některá z ochran, obvod vnutí logickou nulu na tyto vodiče. V následující tabulce jsou kombinace možných stavů.

EN A	EN B	IN A	IN B	OUT A	OUT B	Stav modulu
1	1	1	1	H	H	Brzdění pomocí V_{CC}
1	1	1	0	H	L	Otáčení hřídele - kladný směr
1	1	0	1	L	H	Otáčení hřídele - záporný směr
1	1	0	0	L	L	Brzdění pomocí GND

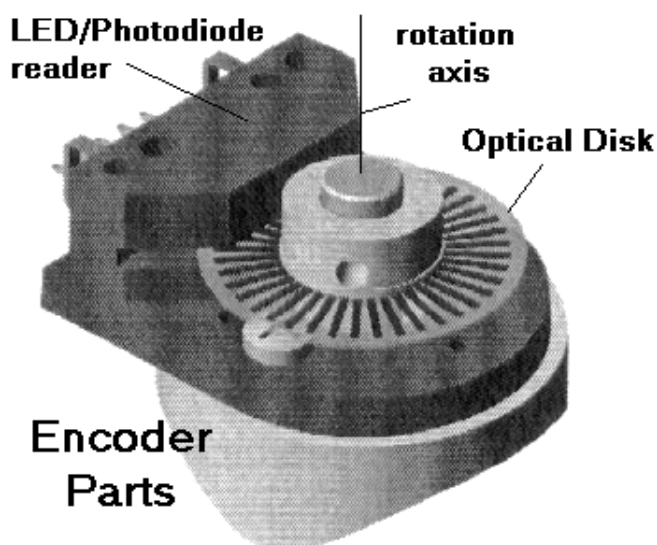
Tab. 2.1: Tabulka stavů modulu VNH3ASP30[7]

Posledním signálovým vodičem je vodič s označením **PWM**, ten slouží k přivedení modulovaného signálu, generovaného řídicím procesorem.

2.2 Senzorická část

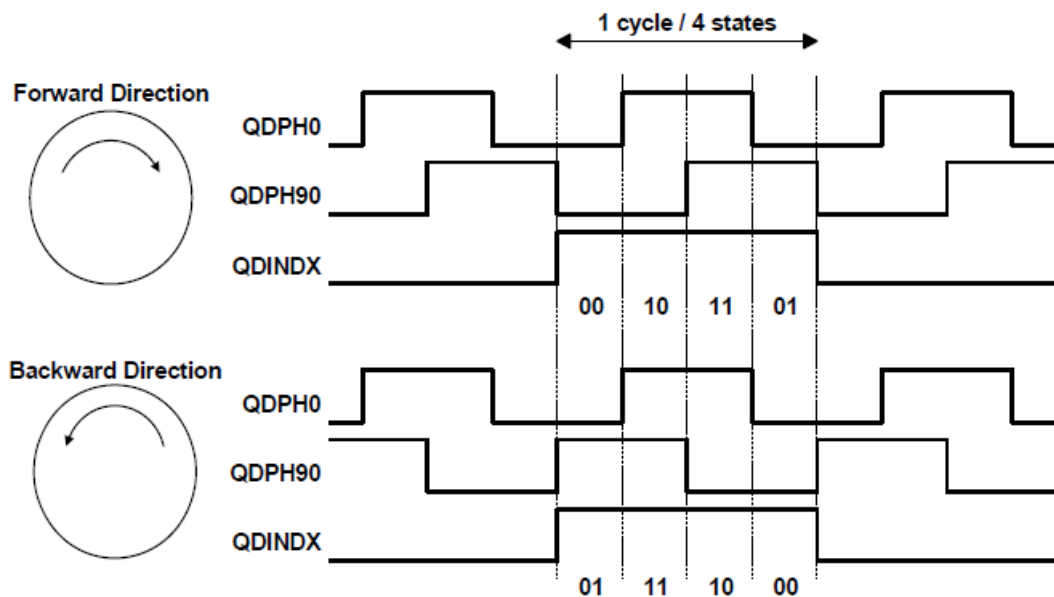
2.2.1 Meření polohy

Pro regulaci servomechanizmu je zapotřebí znát aktuální rychlost a polohu rotoru. Jednou z nejčastěji používaných metod bývá použití optického inkrementálního enkodéru. Toto zařízení se skládá z perforovaného plíšku umístěného kolmo na rotoru a optočlenu upevněném na nerotující části motoru tak, aby perforovaný plíšek procházel skrz. Řez tímto zařízením znázorňuje obrázek 2.7.



Obr. 2.7: Optický inkrementální enkodér[13]

Při točení rotoru generuje optočlen pulzy a čítáním těchto pulzů můžeme získat informaci o poloze. Pro informaci o směru otáčení je potřeba použít druhý optočlen, mechanicky posunutý o čtvrt periody výstupního signálu. Tímto způsobem se generuje tzv. kvadraturní signál. Jeho výhodou je nejen možné rozpoznání směru otáčení, ale i možnost až čtyřnásobného zvětšení rozlišení enkodéru. Tento signál je zobrazen na obr.2.8. Řídicí modul je vybaven konektory CANON9 pro připojení enkodérů. Tyto konektory jsou galvanicky odděleny od mikrokontroléru z důvod možného rušení a bezpečnosti. Napájecí přívody k enkodérům jsou galvanicky odděleny za pomoci DC/DC měniče. Oddělení signálových vodičů je realizováno za pomoci obvodů iCoupler[11] od firmy Analog Devices. Tato technologie spočívá v použití mikro-transformátorů integrovaných přímo na čipu. Výhodou použití těchto obvodů oproti optickému oddělení za pomoci optočlenů je větší rychlost (výrobce udává datový tok až 90Mb/s). Další výhodou je jednodušší montáž, tento obvod nepotřebuje tolik přídavných prvků jako optočleny.



Obr. 2.8: Kvadrurní signál[9]

2.2.2 Meření proudu

Pro bezpečný chod zařízení je potřeba znát aktuální proud tekoucí kotvou motoru. V praxi se používá hned několik možných metod jak měřit proud. Nejjednodušší řešení je za pomoci snímacího rezistoru. Jsou dvě možná zapojení. Pokud zapojíme rezistor do záporné větve zátěže, tak je měřené napětí vztaženo k zemi a dá se použít levný operační zesilovač pro zesílení napětí. Tímto zásahem však přerušíme zemnicí smyčku a může nastat problém s EMC. Druhým řešením je zapojit rezistor do kladné větve, toto řešení je sice odolné vůči EMC, ale je potřeba použít rail-to-rail operační zesilovač s vysokým činitelem potlačení souhlasného rušení (CMRR). V obou případech však dochází k úbytku napětí na rezistoru, a tím pádem tepelným ztrátám, které mohou být u větších pohonů nepřijatelné. Další z možných zařízení pro měření proudu je měřicí transformátor, to však dokáže měřit pouze střídavé proudy, proto je bezpředmětné je dále rozebírat. Posledním možným řešením pro měření proudu je použití obvodu fungujícího na principu Hallova jevu. Výhodou těchto obvodů je dobrá přesnost, galvanické oddělení měřicí části a nízká spotřeba.

Použitý modul pro účely měření proudu obsahuje čtyři obvody LTS 15-NP od firmy LEM, založené na principu Hallova jevu. Tyto obvody umožňují měření proudu v rozsahu -15 A až +15 A, s chybou měření $\pm 0,2\%$ a odchylkou od linearity menší než $\pm 0,1\%$. [12]

2.3 Řídicí část

Nejdůležitější částí modulu jsou dva mikrokontroléry ATxmega16A4 od firmy Atmel, které jsou určeny ke zpracování dat z čidel polohy a proudu, a následnému řízení a regulaci otáček, popřípadě i polohy rotoru. Tyto mikrokontroléry umožňují tři druhy sériové komunikace:

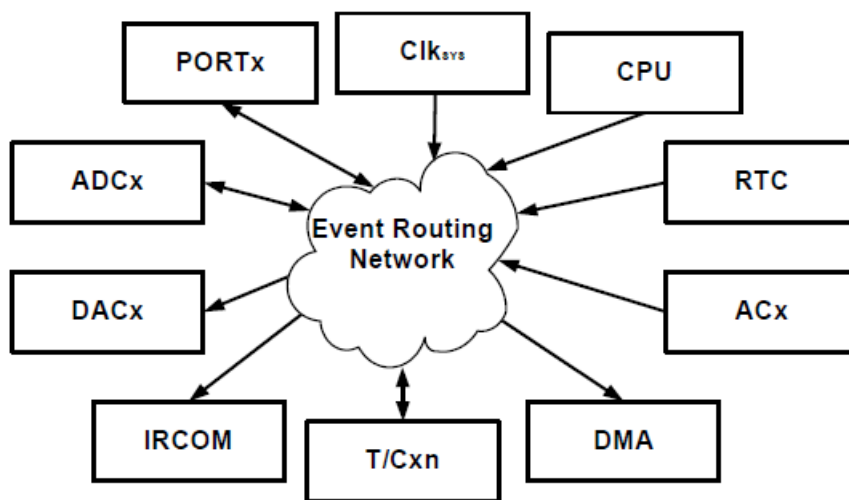
- TWI - Two Wire Serial Interface
- SPI - Serial Peripheral Interface
- USART - Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter

Pro připojení k PC je ideální USART. K tomu, abychom mohli propojit mikrokontroler a PC, je potřeba upravit napěťové úrovně z TTL logiky na RS232. K této úpravě poslouží jednoduchý převodník s obvodem MAX232N[10].

Soupis dalších důležitých vlastností mikrokontroléru ATxmega16A4[8]:

- 8 bitové AVR jádro založené na RISC architektuře
- 16 KB FLASH paměti
- 2 KB datové paměti SRAM
- 1 KB paměti EEPROM
- Pracovní frekvence až 32MHz
- DMA - čtyř kanálový řadič pro přímý přístup do paměti
- Event systém
- Pětkrát 16 bitový čítač s možností PWM a kvadraturního zpracování signálů
- Dvakrát analogový komparátor
- Dvanácti kanálový 12 bitový A/D převodník (2 Msps)
- Dvou kanálový 12 bitový D/A převodník (1 Msps)
- 32 bitové hodiny reálného času
- AWeX – pokročilé waveform rozšíření
- Watchdog časovač
- Pracovní napětí 1,6 V až 3,6 V
- Interní a externí přerušení s nastavitelnou prioritou

Jednou ze zajímavých vlastností, kterou rodina XMega disponuje, je tzv. Event systém[8], který umožňuje meziperiferijní komunikaci bez zatěžování CPU nebo DMA. Tento mechanismus zajišťuje velmi krátkou dobu odezvy dané akce. Paralelně může nastat až 8 událostí nebo podmínek na přerušení, které jsou spouští pro provedení požadované akce.



Obr. 2.10: Blokové schéma Event systému[8]

3 NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Tato kapitola se podrobněji zabývá vlastním návrhem a realizací programového vybavení pro řídicí modul a popisuje použití a konfiguraci vybraných periférií mikrokontroléru ATxmega16A[8].

3.1 Konfigurace vstupů a výstupů

Pro správnou komunikaci mikrokontroléru s okolními obvody je potřeba nakonfigurovat jednotlivé piny, jestli se jedná o vstup nebo výstup, určit počáteční stav výstupních pinů a nastavit úroveň nebo hranu, na kterou mají reagovat vstupní piny. K této konfiguraci slouží funkce **IO_init()**. Tato funkce nakonfiguruje patřičné piny pro komunikaci s řídicím obvodem VNH3ASP30[7] jako výstupy a uvede obvod do neaktivního stavu. Dále nastaví piny pro zpracování signálů z enkodérů a čidel proudu jako vstupní. A nakonfiguruje piny pro komunikaci přes sériovou linku UART. Pro zpřehlednění kódu a snadnější orientaci jsou v knihovně **conf_board.h** všem použitým pinům přiřazeny názvy popisující jejich funkci.

3.2 Zpracování kvadraturního signálu z enkodérů

Pro zpracování dat z inkrementálních enkodérů byly použity moduly 16-ti bitového časovače. Tyto časovače umožňují režim kvadraturního čítání, které umožňuje zvětšit rozlišení enkodéru až čtyřnásobně a rozpoznat směr otáčení. Pokud se rotor točí ve směru hodinových ručiček, registr pro čítání se inkrementuje, při změně směru se registr začne dekrementovat. Tímto způsobem získáme relativní informaci o poloze rotoru. Porovnáním dvou rozdílných hodnot polohy za známý časový interval je možné určit aktuální rychlost. Této problematice se blíže věnuje kapitola 3.4. K inicializaci těchto modulů slouží funkce `QDEC_init()`. Tato funkce nastaví vybraný port a vstupní piny, specifikuje Event kanál, který bude odposlouchávat, nastaví dvou-signálový mód (bez použití indexového signálu). Dále je potřeba určit, který časovač bude použit a rozlišení enkodéru. Rozlišení enkodérů, potažmo počet pulzů byl vztažen na jednu otáčku kola a ne na jednu otáčku motoru. Počet pulzů na jednu otáčku kola lze vypočítat podle následného vztahu:

$$P_{Max} = 4 \cdot R_{CH} \cdot R_G \cdot Enc_{Res} \quad (3.1)$$

Kde:

- P_{Max} - Počet pulzů za otáčku
- R_{CH} - Převod řetězu
- R_G - Převod převodovky
- Enc_{Res} - Rozlišení enkodéru

Pro pohon určený pro valení kola je tato hodnota rovna:

$$P_{Max} = 4 \cdot \frac{62}{17} \cdot 20 \cdot 512Res \approx 149383 \quad (3.2)$$

Pro pohon určený pro rejď kola je tato hodnota rovna:

$$P_{Max} = 4 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 512Res = 81920 \quad (3.3)$$

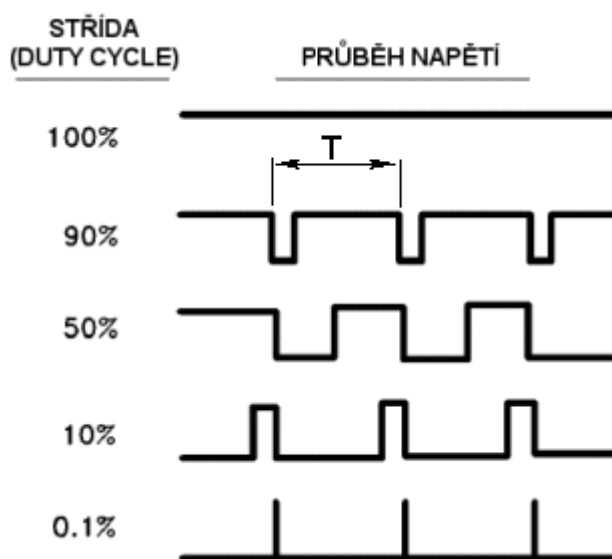
V obou případech je patrné že tato hodnota přesahuje rozsah 16-ti bitového registru, který je roven:

$$2^{16} = 65536 \quad (3.4)$$

Z tohoto důvodu je patrné, že pro určení skutečné polohy kola je potřeba ošetřit přetečení registrů. Jedno z možných řešení je počítat počet přetečení a podle směru otáčení určit polohu. Jelikož podvozek není vybaven absolutními čidly určující polohu, popřípadě přídatným čidlem detekující výchozí pozici, se tato práce prozatím nezabývá návrhem polohových regulátorů. A proto bylo použito jednodušší řešení popsané v kapitole 3.4.

3.3 Pulzně šířková modulace

Pro potřebu řízení otáček motoru je potřeba generovat signál za pomoci pulzně šířkové modulace (PWM). PWM signál spočívá v generování obdelníkového signálu se stálou frekvencí a rozdílnou střídou pulzu. Obr. 3.1 zobrazuje ukázkou PWM signálů s rozdílnou střídou. Tato modulace je diskrétní, to znamená, že má pouze dva stavy: logickou 0 a 1. PWM Signál je přiveden na stejnojmenný pin řídicího obvodu VNH3ASP30. Změnou střídy, tj. poměr mezi logickými stavy 0 a 1, se mění velikost střední hodnoty napájecího napětí motorů v rozahu 0-100 %, a tím pádem i otáčky motoru, které jsou přímo úměrné tomuto napětí, jak bylo odvozeno v kapitole 1.3.



Obr. 3.1: PWM signál [14]

Mikrokontrolér ATxmega16A4 obsahuje pět 16-ti bitových modulů časovače, které umožňují generování PWM signálu. V tomto případě byla zvolena single slope PWM[8], jejíž princip je zobrazen na obr. 3.2. U tohoto druhu PWM je perioda T rovna registru **PER** a střída komparačnímu registru **CCx**. Další z důležitých registrů je registr **CNT**, který se inkrementuje při dané trigovací události. V tomto případě je to hodinový signál procesoru, který může být podělený jednou z hodnot: 1,2,4,8,64,256,1024. Jelikož moduly časovačů obsahují dva, nebo čtyři komparační registry (**CCA**, **CCB**, **CCC**, **CCD**). Tak lze jedním časovačem ovládat až čtyři nezávislé PWM výstupy.

Pro výpočet frekvence PWM signálu slouží následující vzorec:

$$f_{PWM} = \frac{f_{PER}}{N \cdot (PER + 1)} \quad (3.5)$$

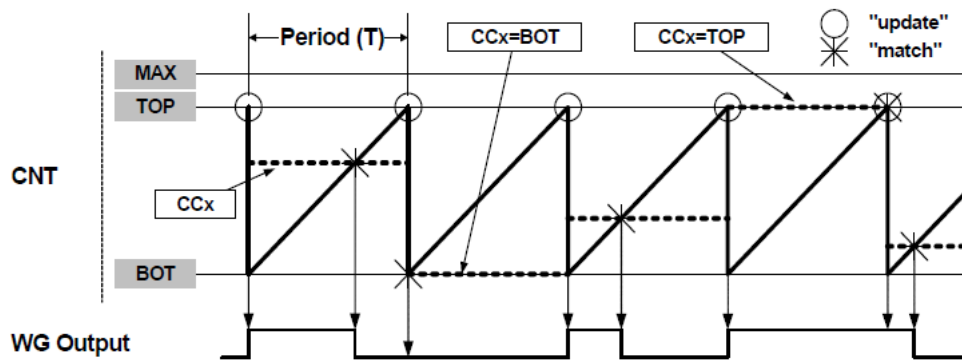
Kde:

- f_{PER} -frekvence hodinového signálu periferie.
- N-Předělička(1,2,4,8,64,256,1024).
- PER-hodnota registru udávající periodu.

Pro dostatečný rozsah pro periodu byla zvolena frekvence 16 kHz

$$f_{PWM} = \frac{f_{PER}}{N \cdot (PER + 1)} = \frac{16000000}{1 \cdot (1000 + 1)} = 15984.02 \text{ Hz} \approx 16 \text{ kHz} \quad (3.6)$$

Pro inicializaci PWM časovače slouží funkce **PWM_init()**. Tato funkce nastaví časovač **TCC0** do režimu single slope PWM [8]. Povolí komparační kanály **CCA** a **CCB**. Nastaví registr **PER** na hodnotu 1000 a zvolí zdroj hodin roven frekvenci 16 MHz. Pro změnu střídy PWM signálu v hlavním programu už stačí jediný zápis do jednoho z komparačních registrů **CCx**.



Obr. 3.2: Generování PWM signálu [8]

3.4 Měření a regulace rychlosti

Jednou z nejdůležitějších částí řídicího programu je zpracování dat pro výpočet rychlosti a následnou regulaci otáček. Princip diskrétní zpětnovazební regulace s PI regulátorem je znázorněn na obr. 3.4. Pro správnou regulaci potřebujeme znát aktuální hodnotu otáček rotoru. Tato rychlost je určena za pomoci kvadraturního signálu z inkrementálních enkodérů. Principu zpracování těchto signálů se blíže věnuje kapitola 3.2. Jelikož mikrokontrolér pracuje v diskrétní rovině, je nejprve třeba zvolit periodu vzorkování se kterou bude mikrokontrolér počítat aktuální rychlost, a podle ní kalkulovat patřičný akční zásah. Perioda vzorkování byla určena experimentálně jako 100 ms.

Ohled byl brán především na dva základní faktory:

- Rozsah registru pro čítání pulzů z enkodérů - Pro co nejjednodušší určení rychlosti se v každém vzorkovacím kroku přečte aktuální hodnota načítaných pulzů z enkodéru a po jejím zpracování se tento registr vynuluje. Pokud by byla vzorkovací perioda příliš dlouhá, mohlo by dojít k přetečení registru. V opačném případě, kdy by byla vzorkovací perioda příliš malá, by došlo zase k rapidnímu snížení rozsahu mezi minimální a maximální rychlostí. A tím pádem i k zhoršení přesnosti regulace.
- Druhým podstatným faktorem je co nejmenší perioda vzorkování. A to z důvodů co nejplynulejší regulace a rychlosti za kterou regulátor dokáže eliminovat regulační odchylku.

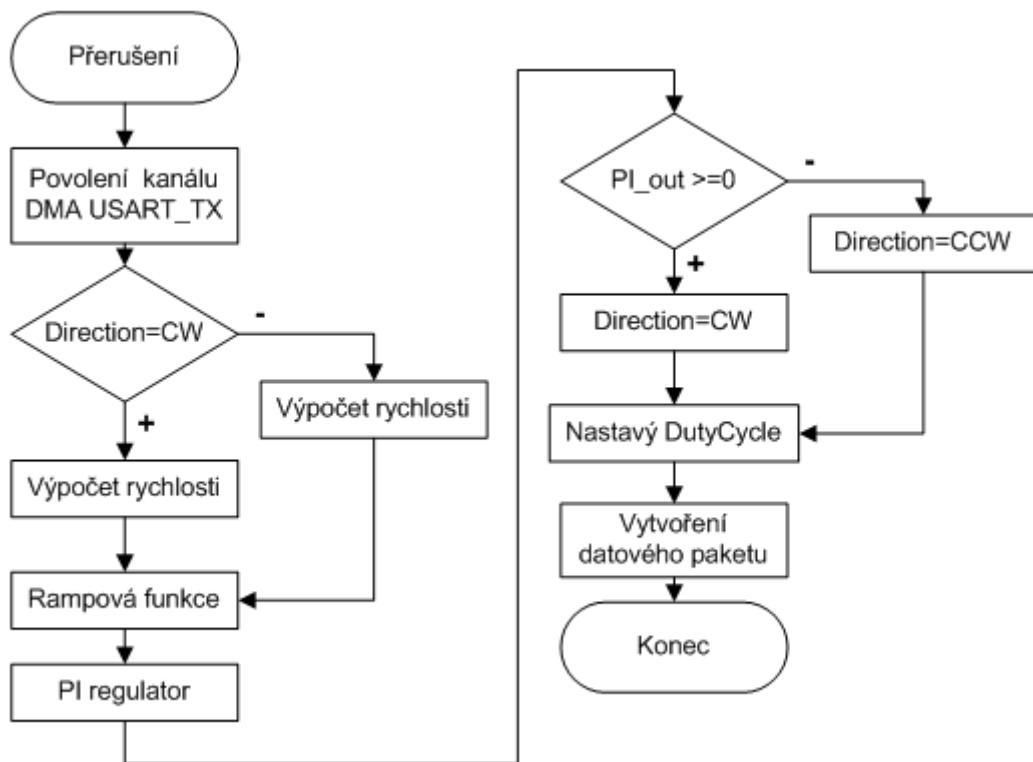
Vzorkování je zajištěno pomocí časovače, který každých 100 ms vyvolá přerušovací rutinu. V tomto přerušování jsou vykonány následující akce:

- Povolení DMA kanálu pro odeslání dat přes USART a tím pádem odeslání hodnot z předchozího regulačního kroku.
- Zjištění směru otáčení a kalkulace aktuální rychlosti.
- Vynulování registru pro čítání pulzů z enkodérů.
- Rampová funkce pro žádané hodnoty otáček.
- Regulační krok diskrétního PI regulátoru.
- Tvorba datového packetu pro odeslání přes USART.

Sled těchto funkcí je blokově znázorněn na obr. 3.3.

Požadovaná rychlost není vedena na vstup regulátoru přímo, ale používá tzv. rampovou funkci pro postupnou změnu stavu s definovanou strmostí. Tato funkce zabraňuje skokové změně požadovaných otáček a tím pádem eliminuje možné velké proudové nárazy.

Samotný diskrétní PI regulátor je definován v knihovně **PID.h**. Z důvodů redundance pro tento regulační jev nebyla použita derivační (diferenční) složka. A tím se zjednodušil a urychlil výpočet.



Obr. 3.3: Vývojový diagram vzorkovací rutiny

Následující rovnice popisuje činnost diskretního PI regulátoru:

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T \cdot \sum_{i=0}^k e(i) \quad (3.7)$$

Kde:

- K_p - Proporcionální zesílení.
- K_i - Ki integrační (potažmo sumační) zesílení.
- T - Vzorkovací perioda.
- k - Číslo regulačního kroku.
- $e(k)$ - Regulační odchylka v daném kroku.

Aby nedocházelo k nereálným akčním zásahům obsahuje regulátor saturaci této hodnoty. Dále obsahuje saturaci integrační složky, a to zdůvodu tzv. wind-up jevu, který zhoršuje kvalitu regulace.

Pro jednoduchost a rychlost nepracuje řídicí systém s exaktní hodnotou rychlosti, ale jejím relativním vyjádřením za pomoci celočíselné hodnoty, odpovídající počtu pulzů kvadrurního signálu z enkodérů za časový interval 100 ms.

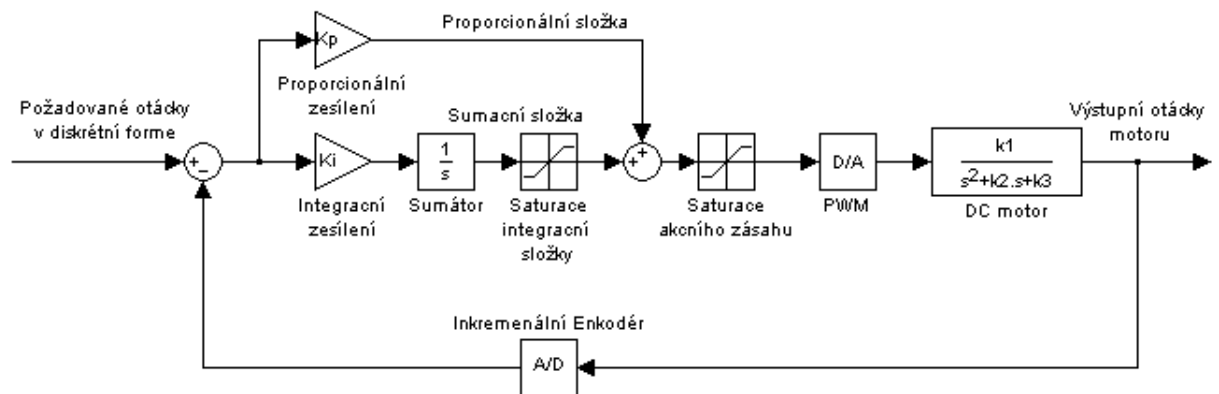
Pro vyjádření skutečné rychlosti kola v otáčkách za minutu je potřeba tento údaj přepočítat za pomoci vzorce 3.8.

$$RPM = \frac{60 \cdot P_{Act} \cdot \frac{1}{T_v}}{P_{Max}} \quad (3.8)$$

Kde:

- **RPM**- Počet otáček za minutu.
- P_{Act} - Počet pulzů za čas T_v .
- T_v - Vzorkovací perioda.
- P_{Max} - Maximální počet pulzů na jednu otáčku.

Hodnoty P_{Max} pro motor určený pro valení a rejď kola lze vypočítat pomocí rovnic 3.2 a 3.3.



Obr. 3.4: Diskrétní regulace DC motoru

3.5 Měření proudu

Řídicí modul je vybaven senzory pro měření proudu fungující na principu Hallova jevu. Měření proudu může být použito pro návrh proudové regulační smyčky. Tato smyčka reguluje proud kotvou motoru na konstantní hodnotu a tím pádem i moment motoru zůstává konstantní. Proudová smyčka se používá především pro aplikace, kde je potřeba hladký moment motoru nebo jsou použity výkonné motory (řádově stovky watů), kde může docházet k velkým proudovým nárazům. Pro použité motory MCCRA12MP a MCCRA12MP3N, jejichž nominální příkon je 115 W a jsou určeny pro pohon podvozku, není tato regulace nutná. Proto tyto čidla slouží prozatím jako bezpečnostní prvek proti trvalému přetížení motoru. A kontrolují limitní hranici proudu, při jejímž překročení vypnou motory.

Pro toto měření jsou použity 12-ti bitové AD převodníky, které pracují paralelně s hlavním programem a při dokončení převodu vyvolají přerušení, ve kterém se uloží naměřená hodnota do zásobníku. V hlavní smyčce se vypočte aritmetický průměr z těchto hodnot a pokud přesahuje limitní hodnotu, dojde k zastavení motoru.

K inicializaci AD převodníku slouží funkce **ADC_init()**. Tato funkce nastaví 12-ti bitové rozlišení, periodický převod, interní 1 V referenci a zdroj hodin.

3.6 DMA řadič

Tato periferie slouží k přenosu dat mezi perifériemi a pamětí mikrokontroléru bez přičinění procesoru. Velkou výhodou tudíž je, že se procesor může věnovat jiným činnostem a nemusí obsluhovat časově náročný přenos dat. ATxmega16A4 obsahuje čtyřkanálový DMA řadič, což znamená, že v jeden okamžik může vykonávat až čtyři nezávislé přenosy. DMA řadič se dá použít pro širokou škálu datových přenosů. V tomto případě byl použit pro obsluhu sériové komunikace. Jeden kanál pro příjem a druhý pro odesílání dat. K inicializaci obou kanálů slouží funkce **DMA_init()**. Tato funkce je bez parametrů a nevrací žádnou hodnotu.

Nastavení kanálu pro odesílání dat:

- Data k odeslání jsou blok dat s názvem TX_buffer.
- Velikost tohoto pole je rovna makru USART_PACKET_SIZE_TX.
- Ukazatel na tyto data se po odeslání jednoho Bytu inkrementuje.
- Velikost přenesených dat na jeden trigrovací pulz je rovna jednomu Bytu.
- Cílová destinace těchto dat je registr pro odesílání dat přes USART.
- Adresa této destinace je konstantní a nemění se.
- Trigrovací zdroj pro přenos dalšího Bytu je Event, který nastane při vyprázdnění registru pro odeslání dat.

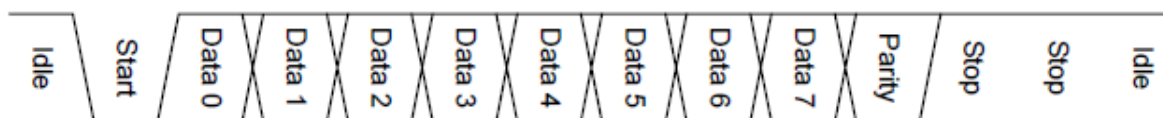
Podobným způsobem je nakonfigurován i kanál pro příjem dat jen s tím rozdílem, že zdroj dat je datový registr pro příjem dat přes USART a cílová destinace je pole s názvem RX_buffer s velikostí USART_PACKET_SIZE_RX. Zdroj hodin je Event, který nastane pokud je zaplněn registr pro příjem dat.

Touto inicializací je nastaven DMA řadič. V samotném programu už jen stačí v požadovaný okamžik povolit daný kanál řadiče (to obnáší jeden zápis do registru) a řadič už provede celý přenos dat sám bez dalšího přičinění procesoru.

3.7 Sériová komunikace

Pro komunikaci mikrokontroléru a PC terminálu bylo zvoleno seriové rozhraní USART. Přenos informací probíhá asynchronně pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu. Datový rámeček pro přenos přes USART je zobrazen na obr. 3.5. Mikrokontrolér umožňuje nastavit tyto parametry komunikace:

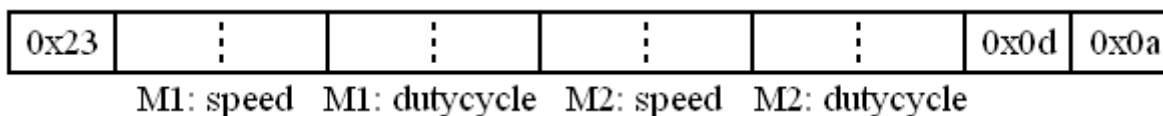
- **Baudrate**-Rychlost přenosu.
- **Datové bity**-Počet datových bitů.
- **Paritu**-Slouží k zabezpečení dat a detekce možné chyby.
- **Stop bit**-Počet stop bitů, u pomalých datových toků se používal zdvojený stop bit.



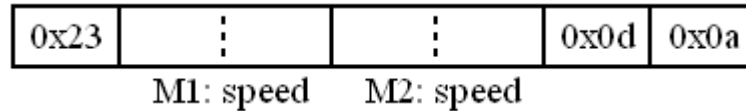
Obr. 3.5: USART-datový rámeček [15]

Pro inicializaci a nastavení parametrů přenosu slouží funkce `USART_init()`. Tato funkce nastaví USART na asynchronní mód, počet datových bytů je 8, žádnou paritu, jeden stop bit a baudrate = 9600. Na konci inicializace povolí odesílání a příjem dat. Takto nastavený USART je schopen přijímat a odesílat data. Pokud by komunikace probíhala standardním způsobem, to znamená obsluhu každého přijatého/odeslaného bytu zvlášť pomocí přerušovací rutiny, tak by došlo k podstatnému zpomalení procesoru. Z tohoto důvodu je komunikace zajištěna za pomoci DMA řadiče viz. kapitola 3.6

Komunikační protokol je prozatímni a pro jednoduchost je tvořený pouze hlavičkovým bytem značícím začátek packetu, dále následují přímo data aktuálních nebo požadovaných hodnot. Packet je ukončen znakem pro ukončení řádku a návratu na první znak.



Obr. 3.6: Datový packet odesílaných dat z mikrokontroléru



Obr. 3.7: Datový packet odesílaných dat z PC

3.8 PC terminál

Pro potřeby testování regulátorů a získávání aktuálních dat z mikrokontroléru byl naprogramován řídicí terminál. Tento program byl napsán v jazyce C#/.NET a slouží ke komunikaci řídicí desky s PC přes sériovou linku.

Program umožňuje:

- Připojení k libovolnému sériovému portu a výběr rychlosti, parity, počtu datových a stop bitů.
- Nastavení požadované rychlosti a odeslání těchto dat.
- Příjem dat (Aktuální rychlost a střída PWM) a jejich zobrazení, případné vykreslení do grafu.
- Ukládání dat do textového souboru.

Popis tlačítek:

Connect/Disconnect - Připojení/odpojení k vybranému portu.

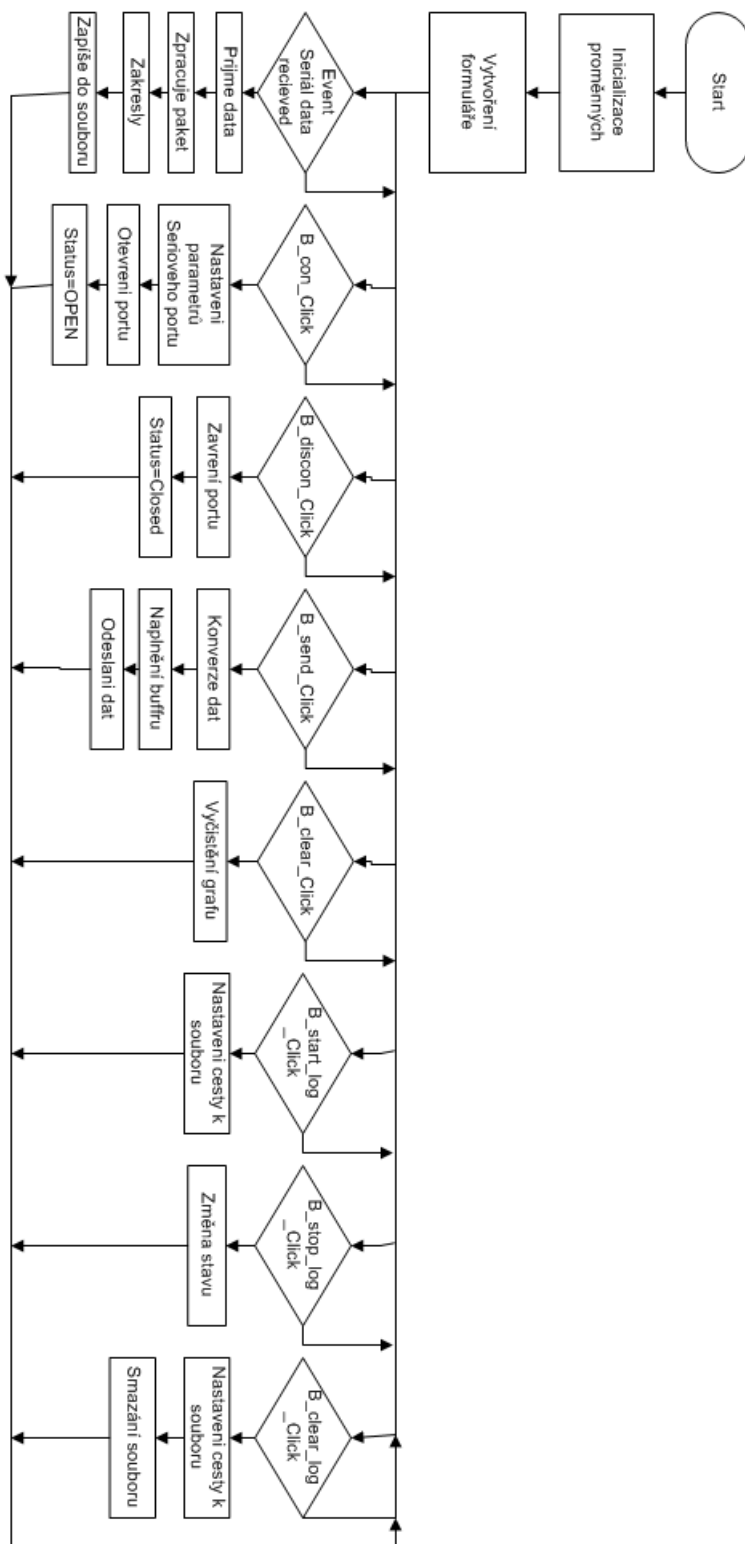
Send - Odešle data o požadované rychlosti.

Start/Stop logging – Zahájí/ukončí zapisování do textového souboru.

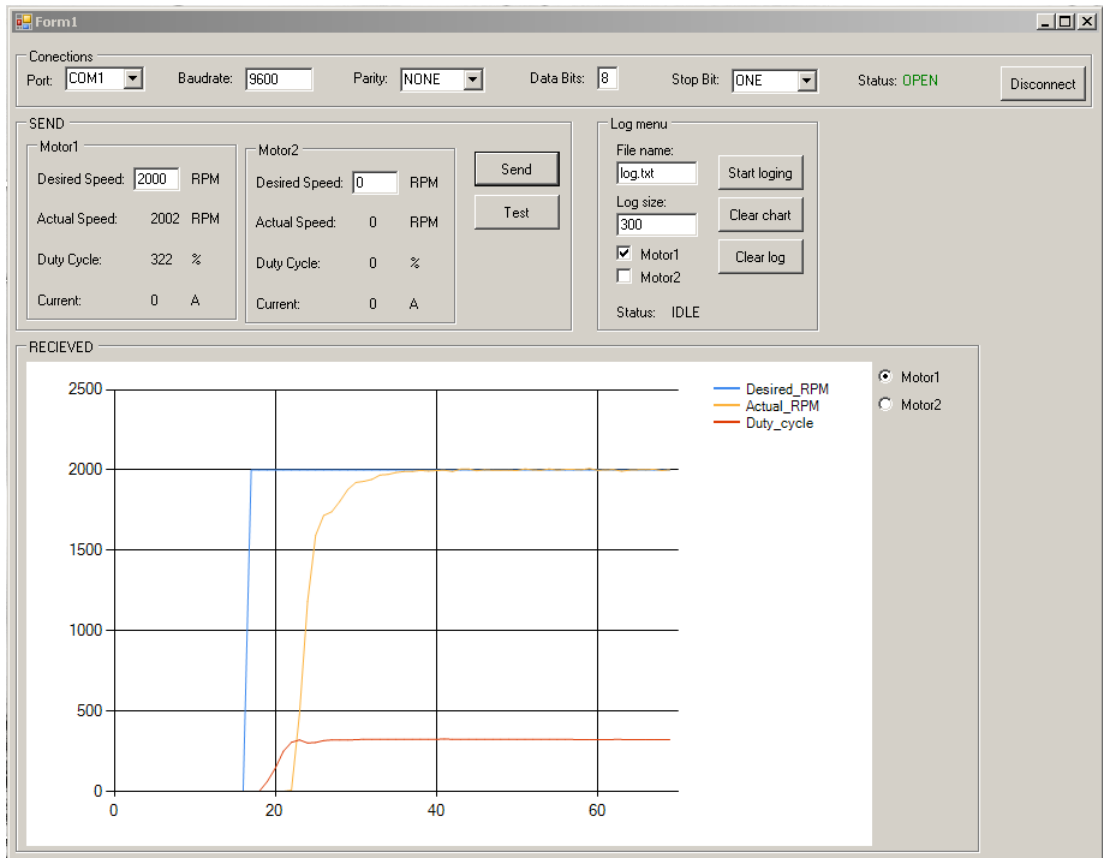
Clear chart – Vyčistí graf.

Clear log – Vyčistí textový soubor.

Zápis dat se provádí do souboru, jehož jméno se uvede v okně **Log name**. Počet záznamů je možný limitovat zadáním hodnoty do okna **Log size**. Program dokáže zaznamenat hodnoty obou motorů, uživatel má možnost výběru zaškrtnutím oken **Motor1** nebo **Motor2**. Vývojový diagram tohoto programu je zobrazen na obrázku 3.8.



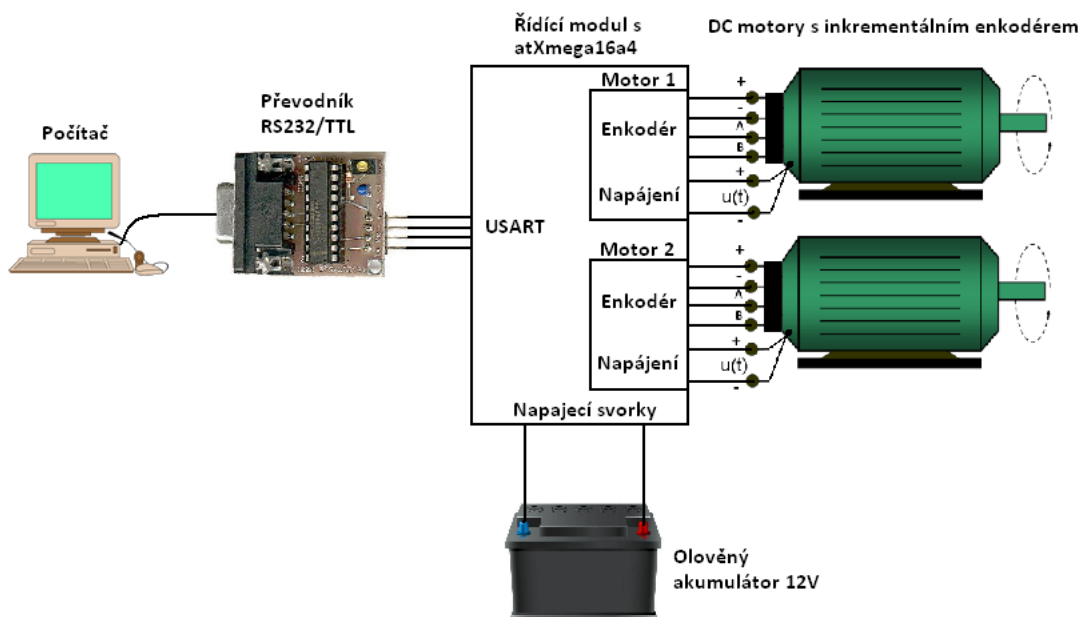
Obr. 3.8: Vývojový diagram PC terminálu



Obr. 3.9: Řídicí terminál pro PC

3.9 Ladění a ověření funkčnosti

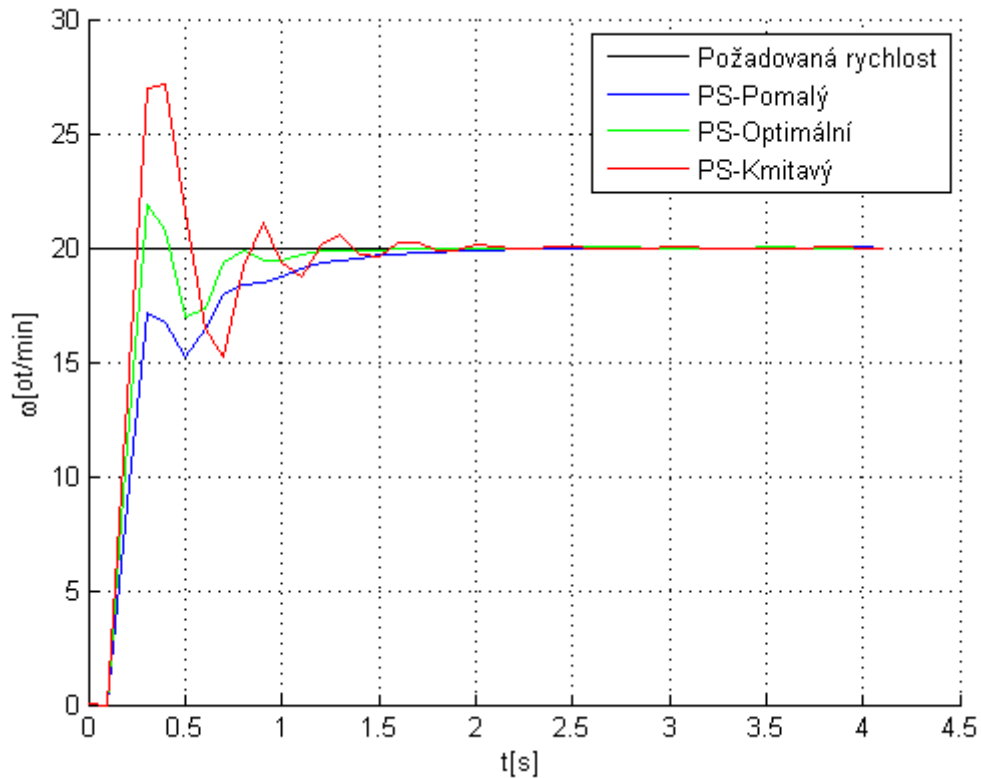
Řídicí systém byl otestován na reálném mnohsměrovém podvozku s motory MCCRA12MP a MCCRA12MP3N. Na jedno hnané kolo připadají právě tyto dva motory. Výkonnější 75W motor MCCRA12MP3N slouží k valení, slabší 37W motor MCCRA12MP k rejdu. Blokové schéma použitého zapojení je znázorněno na obr. 3.10



Obr. 3.10: Blokové schéma zapojení

Prvním a nejdůležitějším krokem bylo odladění konstant diskrétního PI regulátoru otáček. Proporcionální složka se chová jako zesilovač a regulační odchylka je přímo úměrná akční veličině. Samotný P regulátor je tudíž velmi jednoduchý a jeho velkou nevýhodou je, že nedokáže odstranit poruchu, tím pádem vzniká trvalá regulační odchylka od požadované hodnoty. Z tohoto důvodu je potřeba použít PI regulátor, který obsahuje jak proporcionální, tak integrální složku, která zajistí nulovou ustálenou regulační odchylku. Nevýhodou je, že integrální složka zpomaluje regulační děj a může vést k nestabilitě regulované soustavy.

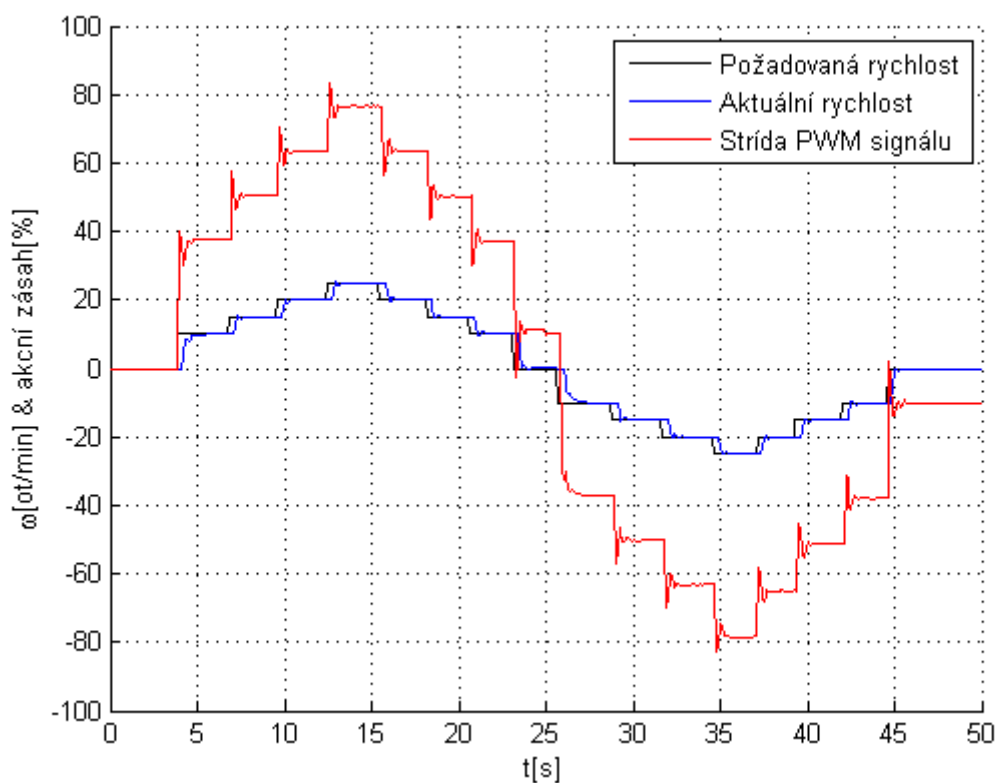
V následujícím grafu jsou zobrazeny tři průběhy odpovídající rozdílným konfiguracím diskrétního PI regulátoru.



Obr. 3.11: Rozdílná konfigurace diskrétního PI regulátoru

Jak je patrné z grafu, regulátor s větší integrační konstantou dosáhne požadované hodnoty sice nejdříve, ale s překmitem 35 % a dlouhou dobou ustálení přechodného děje. Kmity tohoto regulátoru vytvářejí na soustavě motoru s převody akustický hluk a trhavé pohyby kola. Na druhé straně snížením integrační složky dojde k eliminaci překmitu, ale následnému nárůstu doby potřebné k dosažení požadované hodnoty. Jako výsledný regulátor byl zvolen kompromis mezi těmito konfiguracemi. Tak aby při skokové změně nedošlo k napohled trhavým pohybům a akustickému hluku, ale na druhou stranu, aby zůstala dynamičnost a regulátor reguloval co nejrychleji.

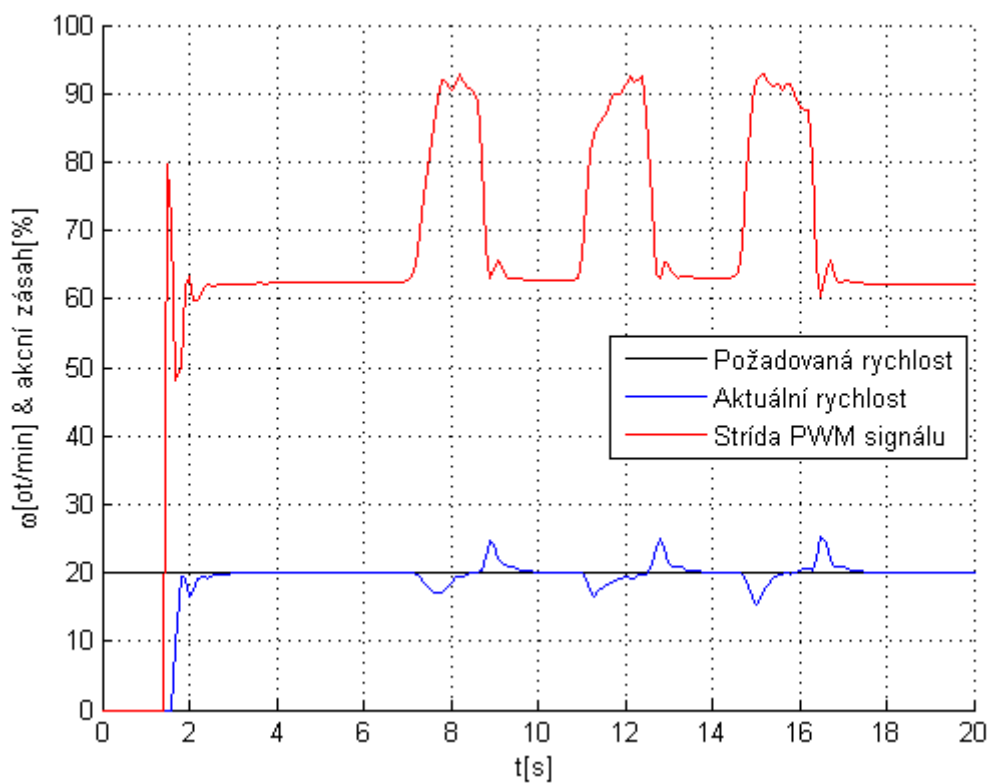
Dalším krokem testování bylo ověření funkčnosti zvoleného regulátoru v širším rozsahu zadaných rychlostí pro oba směry otáčení viz. obr.3.12. Záporné hodnoty v grafu znamenají opačný směr otáčení. Pro názornost je zaznamenán i akční zásah v podobě procentuálního vyjádření střídání PWM signálu budícího motor. Z grafu je patrné, že se regulátor chová symetricky pro oba směry otáčení.



Obr. 3.12: Regulace rychlosti v obou směrech

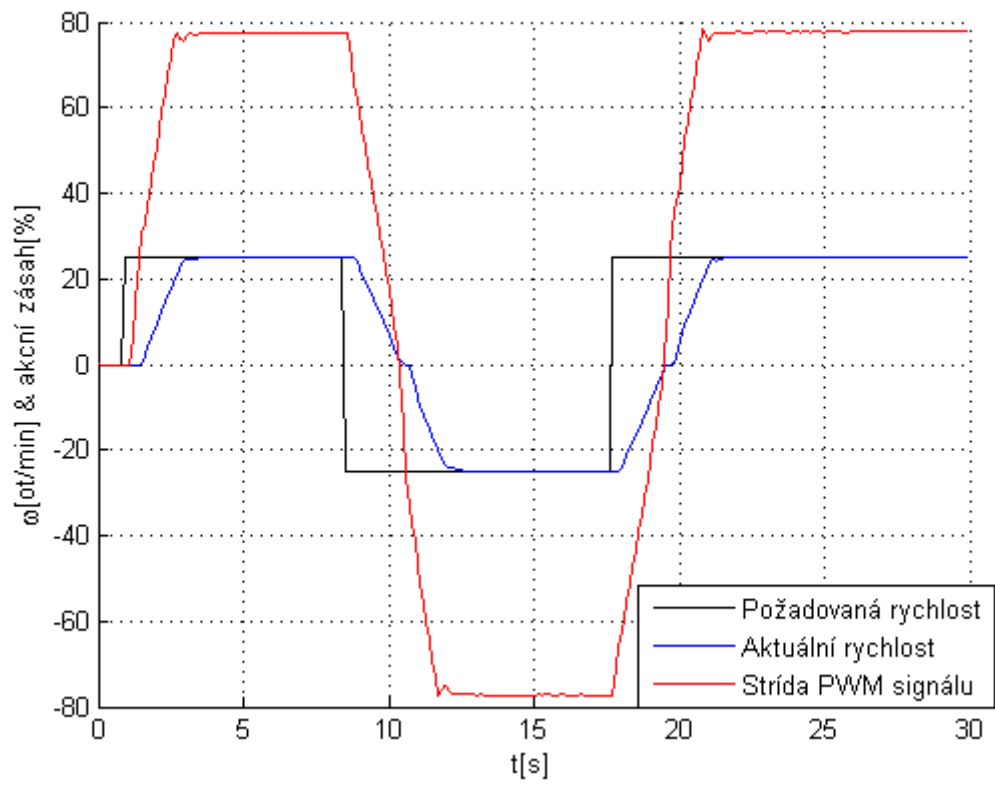
Obrázek 3.13 zobrazuje graf, na kterém je patrná činnost regulátoru při zatížení motoru a následném odlehčení. Pokud je zatěžovací moment opačný oproti kroutícímu momentu motoru, tak se regulátor snaží eliminovat regulační odchylku větším akčním zásahem ve formě větší střídání PWM signálu. Při této situaci může nastat okamžik, kdy regulátor vyžaduje větší akční zásah než je fyzikálně možné (mimo rozsah 0-100 % střídání PWM signálu). Tehdy dojde k takzvanému wind-up jevu [4], kdy integrátor v regulátoru zpomaluje klesání regulační odchylky, její integrací dojde k růstu (respektive udržení) akčního zásahu na hranici maximálních možností motoru. Při změně požadovaných otáček nenastane okamžitá změna, ale dojde ke zpoždění způsobené "odintegrací" velké regulační odchylky.

Z tohoto důvodu byla do regulátoru přidána saturace integrační složky, která omezí růst této složky přes určitou mez. Tato mez byla určena experimentálně tak, aby měl regulátor dostatek času na vyregulování největší možné regulační odchylky a wind-up jev byl co nejvíce potlačen.



Obr. 3.13: Odezva regulátoru na rozdílný zatěžovací moment

Aby nedocházelo ke skokovým změnám požadovaných hodnot řízení, a tedy k proudovým nárazům a ničení motoru, byl regulační cyklus doplněn o rampovou funkci. Tato funkce zajišťuje plynulou změnu požadované hodnoty otáček po rampě s nastavitelnou strmostí. Obrázek 3.14 zachycuje regulaci otáček v obou směrech s implementací rampové funkce.



Obr. 3.14: Regulace s rampovou funkcí

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout funkční verzi řídicího systému určeného pro řízení a regulaci otáček stejnosměrných motorů MCCRA12MP a MCCRA12MP3N. Tyto motory budou použity jako pohon pro mnohosměrový podvozek vyvinutý na VUT v Brně. První část práce se teoreticky zabývá funkcí, mechanickou konstrukcí a matematickým popisem stejnosměrných motorů s permanentními magnety, které je třeba znát pro efektivní řízení těchto motorů. Druhá část popisuje řídicí modul co do HW vybavení a návrh samotného řídicího systému. Předpokladem pro zadání této práce bylo, že řídicí modul obsahuje základní řídicí algoritmy pro řízení motorů a zpracování signálu z enkodérů. A tudíž se měla práce zabývat pouze návrhem regulátorů a synchronizací pohonů pro rejď a valení kola. Jelikož byl tento předpoklad špatný, bylo potřeba tyto základní algoritmy naprogramovat, proto se převážná část této práce zabývá právě nastavením jednotlivých periférií mikrokontroléru a regulací otáček. Dalším problémem je chyba v návrhu řídicí desky, která má za úkol řízení a synchronizaci kol podvozku. Z těchto důvodů není součástí této práce synchronizace pohonů, jak je uvedeno v zadání práce. Navržený systém je schopen řídit a regulovat otáčky dvou stejnosměrných motorů v obou směrech otáčení. Dále je schopen monitorovat aktuální proud tekoucí kotvou motoru, tím pádem také detekovat přetížení motorů. Řídicí modul je schopen komunikace s okolím za pomoci standardního sériového rozhraní USART. Pomocí tohoto rozhraní je možná komunikace s PC. Pro potřebu odladění regulátorů a ověření komunikace byl navržen řídicí terminál pro PC umožňující duplexní komunikaci s řídicím modulem. Pomocí tohoto terminálu je možné řídit rychlost motorů a číst aktuální data z mikrokontroléru ATxmega16A4 určené pro regulaci. Tyto data je možné zpracovávat v reálném čase za pomoci grafické vizualizace do grafu, případně monitorovat a ukládat do textového souboru. Funkčnost řídicího systému byla ověřena na mnohosměrovém podvozku s požadovaným typem motorů.

LITERATURA

- [1] BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2* [online]. 2001, poslední aktualizace 11. 11. 2004 [cit. 2. 4. 2012]. Dostupné z URL: <<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>>.
- [2] SKALICKÝ, J. *Elektrické regulované pohony*. Brno, 2007. 123 s. Kapitola 5, Pohony se stejnosměrnými motory, s. 24-26.
- [3] SKALICKÝ, J. *Elektrické regulované pohony*. Brno, 2007. 123 s. Kapitola 5.7, Tranzistorové stejnosměrné pohony , s. 71-75.
- [4] ŠOLC, F.; VÁCLAVEK, P.; VAVŘÍN P. *Řízení a regulace 2*. Brno, 2011. 230 s. Kapitola 5.1.3, Anti wind-up , s. 156-158.
- [5] *MCC WORM GEAR MOTOR*, [online] poslední aktualizace 1. 04. 2011 [cit. 1. 05. 2012].
Dostupné z URL:
<<http://www.minimotor.com/eng/products/8/10/21.aspx>>
jako soubor *MCC.pdf*.
- [6] *ENCODER*, [online] poslední aktualizace 1. 04. 2011 [cit. 1. 05. 2012].
Dostupné z URL:
<<http://www.minimotor.com/eng/products/8/10/21.aspx>>
jako soubor *Encoder.pdf*.
- [7] *VNH3ASP30-E Automotive fully integrated H-bridge motor driver*, [online]. poslední aktualizace 6. 02. 2008 [cit. 20. 04. 2012].
Dostupné z URL:
<<http://www.st.com/internet/com/.../CD00043712.pdf>>.
- [8] *XMEGA A4 Microcontroller*, [online]. poslední aktualizace 1. 12. 2010 [cit. 28. 04. 2012].
Dostupné z URL:
<<http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf>>.
- [9] *Using the XMEGA Quadrature Decoder*, [online]. poslední aktualizace 1. 08. 2008 [cit. 28. 04. 2012].
Dostupné z URL:
<<http://www.atmel.com/Images/doc8109.pdf>>.
- [10] *MAX 232 dual drivers/receivers*, [online]. poslední aktualizace 15. 03. 2004 [cit. 25. 04. 2012].

Dostupné z URL:

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>>.

- [11] *ADUM 1400 Quad channel digital isolators*, [online]. poslední aktualizace 1. 03. 2012 [cit. 20. 04. 2012].

Dostupné z URL:

<http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADuM1400_1401_1402.pdf>.

- [12] *Current Transducer LTS 15-NP*, [online]. poslední aktualizace 18. 02. 2011 [cit. 22. 04. 2012].

Dostupné z URL:

<<http://www.lem.com/docs/products/lts%2015-np.pdf>>.

- [13] *Encoders as angular position indicators*, [online]. poslední aktualizace 1. 11. 2000 [cit. 12. 04. 2012].

Dostupné z URL:

<<http://www.bogan.ca/astro/telescopes/digtcrcl.html>>.

- [14] *Pulzně šířková modulace*, [online]. 2012, [cit. 12. 05. 2012].

Dostupné z URL:

<<http://www.dhservis.cz/psm.htm>>.

- [15] *Using the XMEGA USART*, [online]. poslední aktualizace 1. 02. 2008 [cit. 28. 04. 2012].

Dostupné z URL:

<<http://www.atmel.com/Images/doc8049.pdf>>.

- [16] LEPKA, J.; GRASBLUM, P. *Mikroprocesorová technika v aplikacích řízení elektrických pohonů* [online]. 2011, [cit. 2011-12-14] Dostupné z URL:

<http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_09_1106.pdf>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

- BLDC Bezkartáčový stejnosměrný motor – Brushless direct current
- CMRR Činitel potlačení souhlasného rušení – Common-mode rejection ratio
- CPU Procesor – Central Processing Unit
- DC Stejnosměrný proud – Direct current
- DMA Přímý přístup k paměti – Direct memory access
- EEPROM Elektricky mazatelná paměť – Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
- EMC Elektromagnetická kompatibilita – Electromagnetic compatibility
- HW Fyzické vybavení – Hardware
- PC Osobní počítač – Personal computer
- PI Proporcionálně integrační – Proportional integral
- PS Proporcionálně sumační – Proportional sum
- PWM Pulzně šířková modulace – Pulse width modulation
- RISC Typ architektury mikroprocesorů – Reduced Instruction Set Computer
- RPM Otáčky za minutu – Revolutions per minute
- RS232 Doporučený standard 232 – Recommended Standard 232
- SPI Sériové periferní rozhraní – Serial Peripheral Interface
- SRAM Typ paměti RAM – Static RAM
- SS Stejnosměrný
- SW Programové vybavení – Software
- TTL Tranzistorově-tranzistorová logika – Transistor-transistor logic
- TWI Dvou vodičové rozhraní – Two Wire Interface
- USART Universální synchronní a asynchronní sériové rozhraní – Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: CD, které obsahuje:

- Bakalářskou práci v elektronické podobě.
- Zdrojový kód programu řídicího systému pro řízení a regulaci otáček SS motorů napsaný v prostředí AVR Studio 5.1.
- Program PC terminálu + zdrojový kód v jazyce C#.