

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Řídicí systém polohy pro CNC zařízení založený na
jednočipovém mikropočítači**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš ŠTEFÁNEK**
Osobní číslo: **E12B0242P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Řídicí systém polohy pro CNC zařízení založený na jednočipovém mikročítači**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Navrhněte vhodný druh motoru pro pohon.
2. Navrhněte vhodný způsob snímání polohy.
3. Navrhněte hardware pro řízení vybraného pohonu. Způsob ovládání motoru, vyčítání polohy, vhodný typ mikrokontroleru.
4. Navrhněte vhodný způsob zadání cílových souřadnic a vhodné algoritmy pro řízení cílové polohy.
5. Navržené řešení realizujte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

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

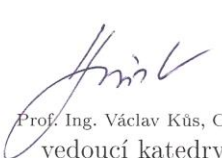
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


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




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na vývoj řídicí jednotky motoru pro polohové řízení. Cílem práce bylo vybrat vhodný pohon pro tuto aplikaci a navrhnout zařízení ovládající daný pohon. Byl realizován prototyp řídicího a výkonového modulu pro řízení stejnosměrného motoru s inkrementálním snímačem. Výsledkem je zařízení schopné řídit stejnosměrný motor a popis jednotlivých částí navrženého zařízení.

Klíčová slova

Regulace polohy, krokový motor, stejnosměrný motor, mikrokrokování, inkrementální snímač, mikrokontrolér, PWM, CNC, H-můstek.

Abstract

This bachelor thesis is about developing a remote motor units for position control. As main deal is choosing a best actuator for this application and develop device controlling this actuator. It was constructed as a prototype of controlling and power unit for control dc motor with incremental sensor. As result is a device that is able to control dc motor and description of parts of this device.

Key words

Position control, stepper motor, DC motor, microstepping, incremental sensor, microcontroller, PWM, CNC, H-bridge.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Lukáš Štefánek

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 DRUH POHONU	10
1.1 KROKOVÝ MOTOR.....	11
1.1.1 Ztráta kroku	12
1.1.2 Mikrokování.....	12
1.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR.....	13
1.3 VÝSLEDEK VÝBĚRU	14
2 SNÍMÁNÍ POLOHY	15
3 MIKROKONTROLÉR	16
4 ZADÁVÁNÍ POLOHY	18
5 ŘÍZENÍ POLOHY	19
6 NÁVRH ZAŘÍZENÍ	20
6.1 VSTUPY A VÝSTUPY	20
6.2 ŘÍZENÍ MOTORU.....	22
6.3 MĚŘENÍ PROUDU.....	25
6.4 SNÍMÁNÍ POLOHY.....	27
6.5 REALIZACE	27
ZÁVĚR	29
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	30
PŘÍLOHY	31

Seznam obrázků

Obr. 1: Krokový motor	11
Obr. 2: Graf průběhu při přejezdu krokového motoru do nové polohy [2]	12
Obr. 3: Průběh proudů tekoucích do 2 fází krokového motoru při mikrokrokování	13
Obr. 4: Stejnoseměrný motor [1]	13
Obr. 5: Náhradní schéma stejnosměrného motoru.....	14
Obr. 6: Průběh signálů z inkrementálního snímače	15
Obr. 7: Ilustrace inkrementálního snímače s fázově posunutými signály	16
Obr. 8: Blokové schéma mikrokontroléru MC9S08MP16VLF [5]	17
Obr. 9: Časový diagram závislosti požadované polohy na signálech STEP a DIR.....	18
Obr. 10: Blokové regulační schéma regulátoru polohy	19
Obr. 11: Schématické zapojení vstupních signálů STEP, DIR a ENABLE	20
Obr. 12: Schématické zapojení vstupního signálu STOP	20
Obr. 13: Schématické zapojení výstupního signálu STOP	21
Obr. 14: Schématické zapojení převodníku MAX232.....	22
Obr. 15: Schématické zapojení budiče MOSFET tranzistorů IR2181 [6].....	23
Obr. 16: Blokové zapojení kanálu periferního obvodu PWM kontroléru [5].....	24
Obr. 17: Schématické zapojení H-můstku	24
Obr. 18: Schématické zapojení zesilovače pro snímání proudu	25
Obr. 19: Schématické zapojení antialiasingového filtru.....	26
Obr. 20: Schématické zapojení komparátoru pro deaktivaci periferního obvodu PWM v případě nadproudu	26
Obr. 21: Schématické zapojení dekodéru signálu z inkrementálního snímače.....	27
Obr. 22: Výsledek realizace řídicí části zařízení.....	28
Obr. 23: Výsledek realizace výkonové části zařízení	28

Seznam symbolů a zkratk

CNC	Computer Numerical Control
BLDC.....	Brushless Direct Current
ECM.....	Electronically Commutated Motor
U_i	Indukované napětí
PWM.....	Pulse Width Modulation
UART.....	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
TTL	Transistor Transistor Logic
I ² C	Inter-Integrated Circuit
SPI.....	Serial Peripheral Interface
SCI.....	Serial Communication Interface
A/D.....	Analog to Digital converter
CAM	Computer Aided Manufacturing

Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá realizací řídicího systému pro pohon os CNC zařízení. Toto zařízení je řízeno softwarem LinuxCNC z osobního počítače. Řídící software je primárně určen pro přímé řízení budičů krokových motorů, které je velmi jednoduché. Tohoto systému řízení bylo využito pro tuto bakalářskou práci.

Prvním cílem byla volba pohonu, která je hlavním rozhodnutím, od kterého se bude odvíjet celý návrh zařízení. Bylo nutné zvolit pohon s vhodnými vlastnostmi s ohledem na složitost řízení.

Dalším cílem bylo zvolit vhodný způsob vyčítání polohy a popis principu snímače. Snímač bylo nutné zvolit tak, aby byl dostatečně přesný pro CNC zařízení.

Bylo také nutné vybrat vhodný řídicí mikrokontrolér pro obsluhu zařízení. Mikrokontroléru je na trhu velké množství, za vhodné lze považovat mikrokontroléry, které jsou pro řízení motorů přímo navrženy.

Pro řízení je nutné znát informaci o požadované poloze, tím se zabývá další část práce. V této části je popsán princip zadávání polohy pro jednoduché řízení polohy krokových motorů z osobního počítače, který lze použít i pro navrhované zařízení.

Další částí práce je popis principu snímače aktuální polohy pro zpětnou vazbu. Využito bylo inkrementálního snímače, který je dostatečně přesný a velmi rozšířený.

Poslední část práce je věnována samotnému obvodovému návrhu řídicího systému polohy. Celkový obvod je rozdělen na jednotlivé části a ty jsou popsány.

1 Druh pohonu

Základem bakalářské práce je rozhodnutí, od kterého se bude odvíjet celá práce, jaký pohon zvolit. To určuje, jak složitý bude hardware a software ovládající daný pohon. Pro pohon profesionálních CNC strojů se používají výhradně servopohony, jako motor zde slouží převážně střídavé synchronní motory. Nevýhodou takového pohonu je složitost řízení a cena tohoto řešení.

Proto konstruktéři z řad amatérů volí odlišný a levnější typ motoru, krokový motor. Ten je velice jednoduchý, levný a jeho řízení je velice jednoduché. Tuto jednoduchost však bohužel kompenzují nevýhody krokových motorů. Problémy jsou především v nežádoucích oscilacích motoru, další problém je malá dynamika pohonu a kvůli absenci zpětné vazby může dojít při přetížení ke ztrátě polohy. Existují řešení servopohonu s krokovým motorem,

kteřé obsahují zpětnou vazbu, to je částečné zlepšení, které ale nekompensuje vibrace motoru a jeho malou dynamiku. Pokud má pohon zpětnou vazbu, je vhodné nahradit krokový motor jiným, s lepšími vlastnostmi.

Jako vhodný motor s jednoduchým řízením otáček je stejnosměrný motor. Tento motor má výhodu v téměř ideální zatěžovací charakteristice, v nízkých otáčkách má vysoký zatěžovací moment a ve vysokých úměrně nižší. Motor musí být osazen enkodérem pro zajištění zpětné vazby. Nevýhodou tohoto motoru je komutátor, ten je v dnešní době nahrazován systémem BLDC. Posledním typem pohonu jsou střídavé motory. Používají se bezkartáčové synchronní motory s permanentními magnety na rotoru a třífázovým vinutím ve statoru.

1.1 Krokový motor

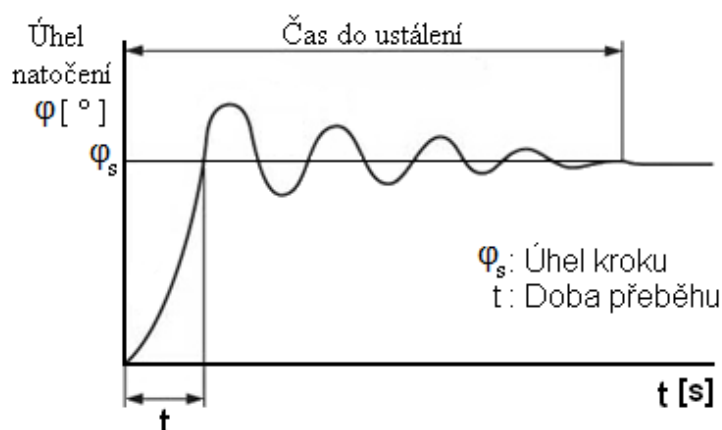


Obr. 1: Krokový motor

Krokový motor je pohon, založený na magnetické vodivosti, který má určitý počet stabilních poloh. Klasický vzhled krokových motorů je na obr. 1. Dnešní motory jsou běžně vyráběny s rozsahem 200 poloh na jednu otáčku motoru, což umožňuje dobrou polohovatelnost, lze však dosáhnout i více poloh a to použitím motoru s více polohami a nebo elektronickým zvýšením počtu diskretních poloh.

Krokový motor lze řídit plně digitálně a to sekvencí spínání jednotlivých cívek. Takový způsob řízení má však jednu hlavní nevýhodu, diskretní polohy motoru působí tak, že dochází k zákmitům polohy na motoru. Zákmity vznikají tak, že se motor začne při přesunu pohybovat rychlostí danou proudem motoru, rychlost motoru se začne zvyšovat dokud se nedostane do své nové polohy. Motor nemůže zastavit okamžitě kvůli setrvačné hmotě, proto svoji novou polohu částečně přejede. Jakmile se poloha motoru začne vracet zpět, stejný jev nastane ještě několikrát, dokud se poloha neustálí. Tento jev je vidět v grafu na obr. 2. Tyto

zákmity způsobují hluk, konstrukce lineárního posuvu se kvůli tomuto jevu může dostat při určitých rychlostech do rezonance a hrozí tzv. ztráta kroku. [2]



Obr. 2: Graf průběhu při přejezdu krokového motoru do nové polohy [2]

1.1.1 Ztráta kroku

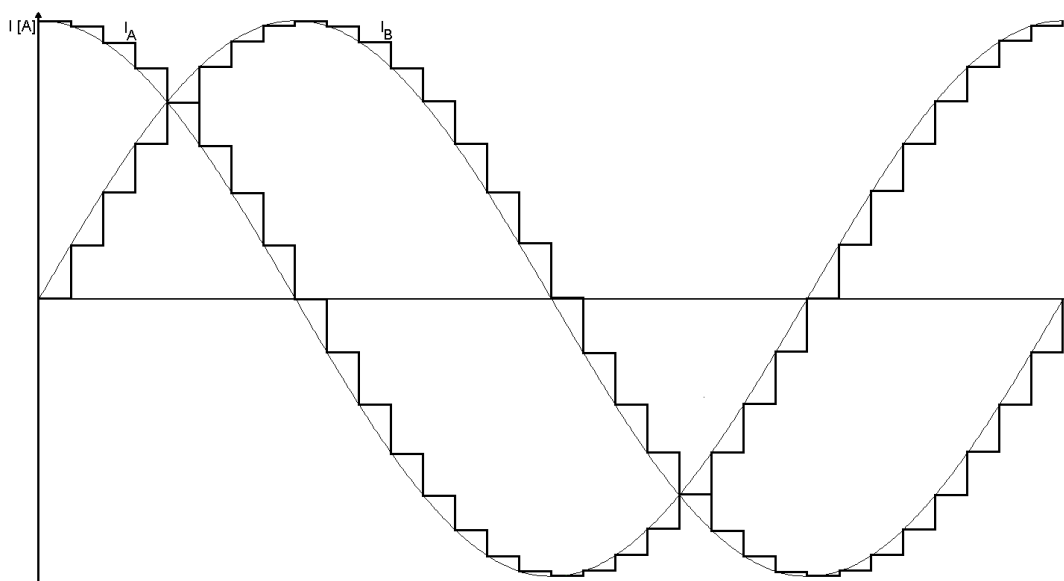
Ztráta kroku je jev, který vzniká při překročení zatížení motoru, motor již není schopen překonat sílu, kterou potřebuje pro přejezd do nové polohy. Tomuto jevu také přispívá rezonance celého posuvu. Pro eliminaci tohoto jevu je potřeba zvolit motor s dostatečným momentem a omezit rezonance lineárního posuvu. Pro omezení rezonancí je potřeba udělat posuv dostatečně mechanicky tuhý, dalším způsobem jak tyto rezonance snížit je využití technologie zvané mikrokrokování.

Dalším způsobem jak zabránit ztrátě kroku je využít zpětné vazby pomocí enkodéru, takové budiče a motory se také vyrábí, ale poté jsou již výhody jednoduchosti krokového motoru vykoupěny složitostí řízení. Krokový motor nemá ideální zatěžovací křivku, při přebuzení motor již svůj moment zvyšuje málo a budič proto nemá takovou možnost jak překonat zatěžovací moment, takový pohon díky zpětné vazbě nezíská příliš mnoho na dynamických vlastnostech.

1.1.2 Mikrokrokování

Mikrokrokování je způsob jak zvýšit počet stabilních poloh krokového motoru, mikrokrokování ale nezvyšuje přesnost pohonu. Díky menší vzdálenosti kterou motor musí překonat, aby se dostal do další stabilní polohy motor nezíská tolik setrvačné energie, která způsobuje zákmity při zastavování, proto jsou zákmity sníženy. Dosáhnout více stabilních

poloh krokového motoru lze pomocí regulace proudu jednotlivými fázemi, cívky jsou buzeny proudem se sinusovým průběhem s fázovým posuvem 90° . Počet vzorků sinusového signálu určuje počet mikrokroků. Dnešní budiče krokových motorů mají možnost 2, 4, 8, 16, 32 a více mikrokroků. Toto číslo určuje kolikrát více bude mít krokový motor stabilních poloh, například motor který má 200 kroků na otáčku, bude řízen budičem s nastavením na 16 mikrokroků, bude mít 3200 stabilních poloh, průběhy proudů jednotlivými fázemi s 16 mikrokroky jsou na obr. 3. Tato technologie zvyšuje složitost zařízení, které bude krokový motor budit a zvyšuje i náročnost řízení takového budiče.



Obr. 3: Průběh proudů tekoucích do 2 fází krokového motoru při mikrokrokování

1.2 Stejnsměrný motor

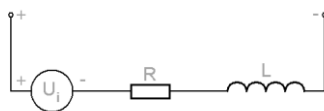


Obr. 4: Stejnsměrný motor [1]

Velice rozšířený typ motoru pro pohon elektrických spotřebičů. Příklad konstrukce stejnsměrného motoru je na obr. 4. Základní konstrukce jednoduchého stejnsměrného motoru má stator složený ze dvou magnetů případně budících cívek. Na rotoru má dvě cívky,

na které se přivádí za pomoci komutátoru napětí. Pokud by na rotoru nebyl komutátor, motor by se natočil do jedné z poloh a tam by se zastavil. Komutátor přepíná napětí na cívkách tak, aby vždy působila síla mezi rotorem a státorem. Komutátor funguje na principu mechanického přepínače, na kontaktech dochází k tření a jiskření, kontakty se obušují, proto tyto motory mají nízkou životnost a je nutné vyměňovat kartáče případně i komutátor. Z důvodu jiskření kontaktů nesmí být tyto motory použity v místech, kde hrozí riziko výbuchu.

Moderní stejnosměrné pohony jsou vybaveny elektronickým komutátorem, tyto pohony se označují jako BLDC nebo ECM. Motory s elektronickým komutátorem snímají polohu motoru pomocí hallových sond a podle této informace spínají jednotlivé cívky statoru. Tento motor má odlišnou konstrukci od klasického stejnosměrného motoru, stator je osazen cívkami a rotor bývá osazen permanentními magnety. Výhodou tohoto systému je životnost pohonu a absence jiskření kontaktů. Další výhodou je, pokud je nutno u motoru regulovat otáčky, integrovaná zpětná vazba, která vyplývá již z principu motoru. Není nutnost přidávat další snímač otáček. Nevýhodou je nutnost jednotky přidružené k BLDC motoru, která obstarává přepínání jednotlivých cívek. Tato jednotka může reagovat například na přetížení, přehřátí motoru, lze ji integrovat přímo do motoru.



Obr. 5: Náhradní schéma stejnosměrného motoru

Na obr. 5 je náhradní schéma stejnosměrného motoru s cizím buzením. Zdroj U_i působí proti napětí z napájecího zdroje, protinapětí je přímo úměrné otáčkám motoru. Čím vyšší otáčky motoru, tím je větší protinapětí a tím klesá odebíraný proud. Proud je omezován rezistorem, rezistor představuje odpor vinutí. Pokud jsou otáčky ustáleny a motor běží bez zátěže, příkon motoru je spotřebováván na mechanické ztráty motoru (ztráty v ložiscích, ztráty na komutátoru aj.). Indukčnost v náhradním schématu popisuje indukčnost vinutí. Ta určuje dynamické vlastnosti motoru. [3]

1.3 Výsledek výběru

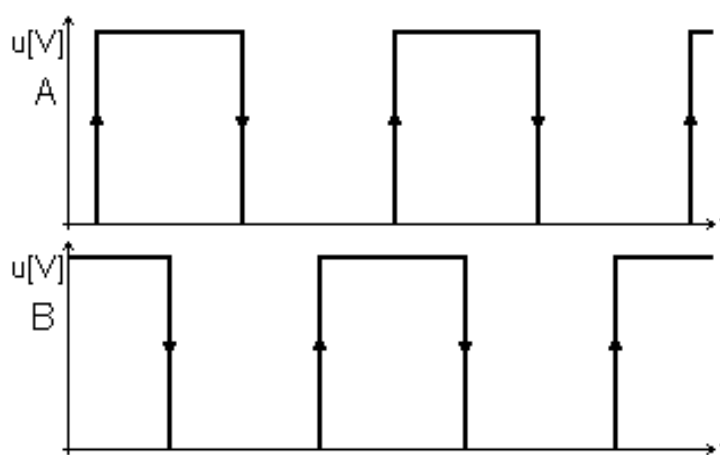
Krokový motor je jednoduchý na řízení, ale jeho vlastnosti, zvláště nežádoucí rezonance a možná ztráta kroku nejsou tolik vhodné pro CNC zařízení. Proto byl vybrán motor

stejnsměrný, zvláště kvůli jeho dynamickým vlastnostem. Jako pohon lze uvažovat i střídavý motor, ale z důvodu složitosti řízení střídavého motoru byl zvolen motor stejnsměrný.

2 Snímání polohy

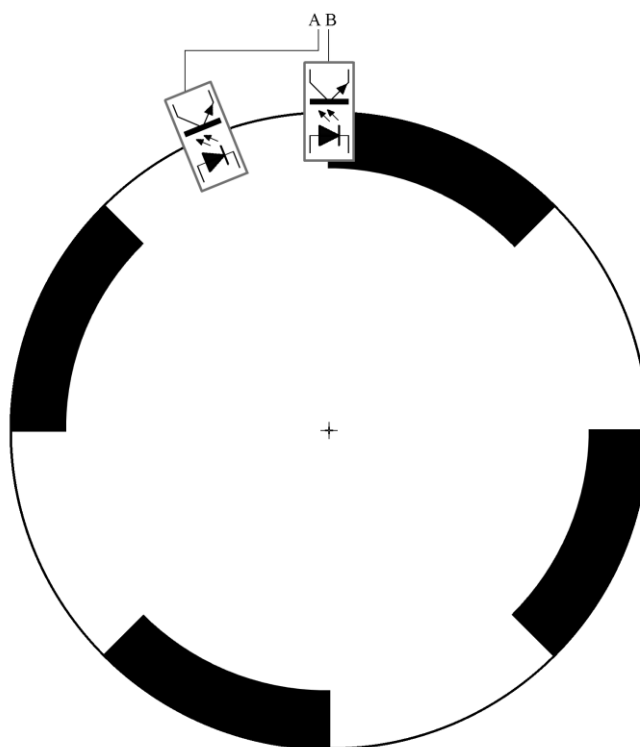
Pro servopohon je nutné mít informaci o poloze pohonu pro zpětnou vazbu, pro snímání polohy se využívá několika způsobů snímání. Pro jednoduchá modelářská serva se používají potenciometry, kde je poloha dána napětím na potenciometru, výhodou je především cena a jednoduchost. Nevýhodou potenciometrů je jejich malá životnost a nepřesnost.

Pro přesné servopohony převažují diskrétní inkrementální snímače. Princip těchto snímačů je založen na snímání počtu impulsů na otáčku motoru. Snímač je kolečko, na kterém jsou reflexní a matné plošky ve shodném rozestupu. Snímač bývá fototranzistor, který detekuje sílu optického záření, zda se světlo od povrchu odráží či nikoli. Výstupem jsou obdelníkové pulzy, rozlišení inkrementálního snímače je dáno hustotou matných a reflexních plošek. Kromě reflexního snímače existuje také tzv. transmisivní snímač, kde jsou místo reflexních plošek otvory, světlo buď prochází nebo nikoli. Inkrementální snímač má stejné rozestupy mezi impulzy, tím každý pulz znamená posun o určitý úhel. Aby se dalo zjistit na jakou stranu se motor otáčí, potřebujeme signál o směru. Ten lze získat jedním snímačem navíc, který bude vytvářet obdelníkový signál posunutý fázově o 90°, viz obr. 6. [4]



Obr. 6: Průběh signálů z inkrementálního snímače

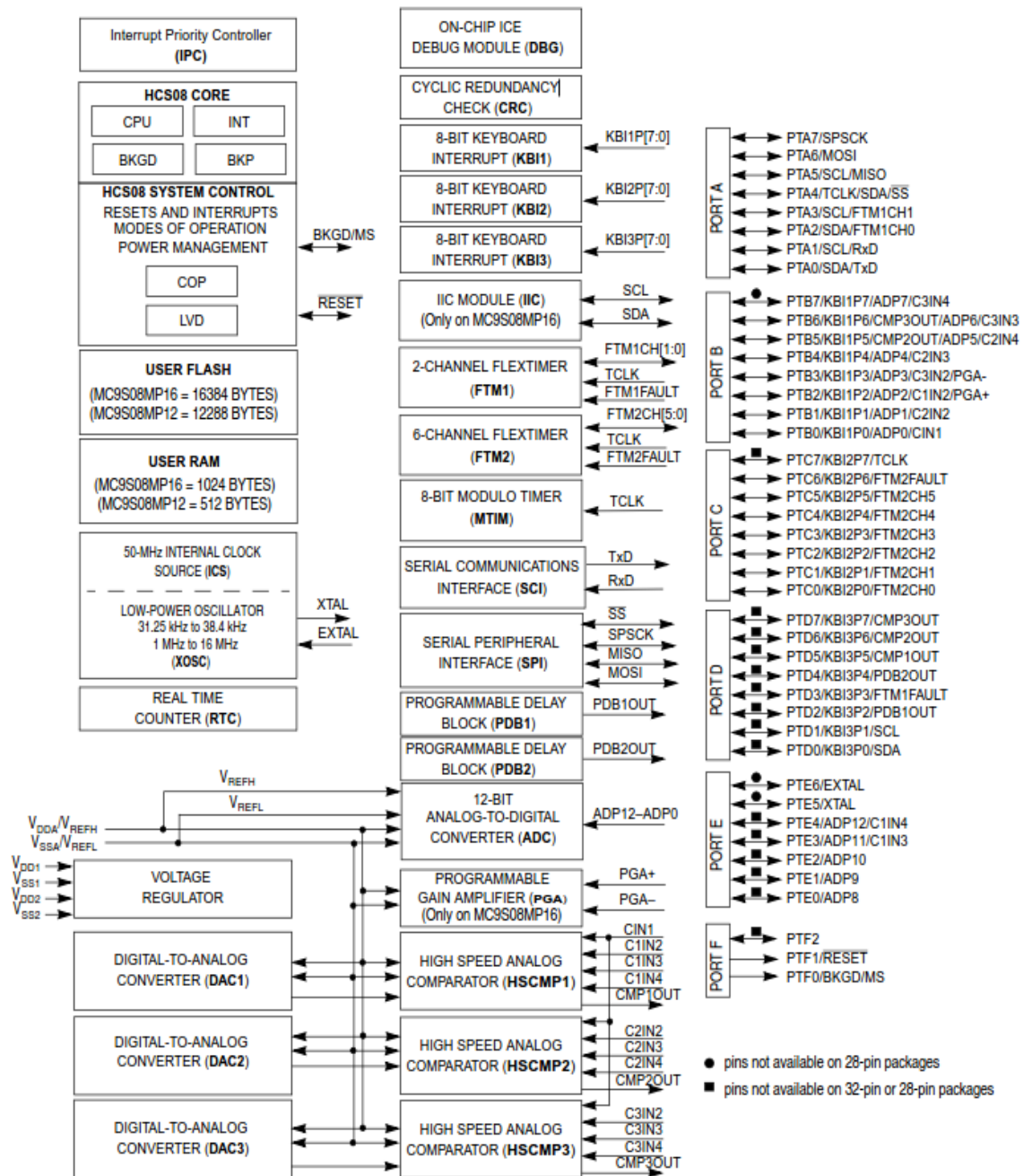
To bývá zajištěno pomocí dvou snímačů, které mají odlišnou polohu a tím snímají fázově posunutý signál, ukázkový obrázek viz obr. 7. Přidatně dvěma drahami plošek. Pomocí sekvenční logiky lze dekódovat směr a počet impulsů, případně oba signály zpracovávat přímo v mikroprocesoru.



Obr. 7: Ilustrace inkrementálního snímače s fázově posunutými signály

3 Mikrokontrolér

Pro výběr mikrokontroléru bylo nutné zvolit důležité parametry dle kterých mikrokontrolér vybírat. Hlavním parametrem bylo, zda mikrokontrolér obsahuje periferní obvody využitelné pro řízení pohonů. Dalšími parametrem byl obsah periferních obvodů pro komunikaci s PC pro nastavování parametrů servořízení, rychlost mikrokontroléru, periferní obvod A/D převodníku a možnost externího přerušení od více zdrojů.



Obr. 8: Blokové schéma mikrokontroléru MC9S08MP16VLF [5]

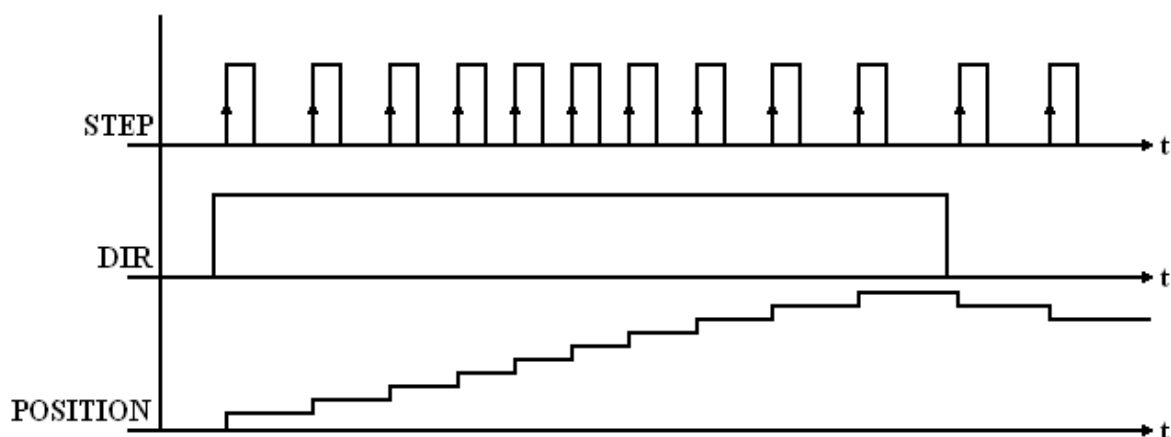
Byl vybrán 8-bitový mikrokontrolér MC9S08MP16VLF od společnosti FREESCALE, tento mikrokontrolér je přímo určen na řízení pohonů. Blokové schéma vybraného mikrokontroléru je na obr. 8. Pro řízení pohonů obsahuje především 6-kanálové PWM s možností řídit komplementární dvojice tranzistorů zvlášť, možnost nastavení tzv. deadtime (mrtvá doba, prodleva mezi sepnutími komplementární dvojice tranzistorů), periférie obsahuje také chybový vstup, kterým lze periférii deaktivovat. Tento vstup bude využit pro deaktivování při příliš velkém proudu tekoucím H-můstkem.

Pro komunikaci s vnějšími obvody a PC má mikrokontrolér několik periférií. První periférií je I²C, která má sloužit ke komunikaci s jinými obvody na krátké vzdálenosti. Další periférií je SCI, tato periférie slouží jako sériové synchronní nebo asynchronní rozhraní. Poslední periférií pro komunikaci je další sériové rozhraní označované jako SPI, používané především pro komunikaci s ostatními integrovanými obvody (EEPROM, displeje, A/D převodníky atd.). [5]

4 Zadávání polohy

Pro zadávání polohy bude využit osobní počítač se softwarem linuxCNC, který podporuje přímé řízení budičů krokových motorů. Tento druh řízení je nejjednodušším možným způsobem řízení. Software linuxCNC pracuje na operačním systému linux, je zdarma a je možné jej rozšiřovat vlastním kódem. Software linuxCNC narozdíl od dalšího běžně využívaného komerčního softwaru MACH3 pro operační systém Windows XP neobsahuje CAM. Výhodou programu linuxCNC je, že pracuje v operačním systému upraveném pro realtime aplikace, program MACH3 pracuje v běžném operačním systému a není zaručeno spolehlivé řízení pohonů.

Existuje několik základních signálů pro řízení, hlavními jsou signály STEP a DIR. Signál STEP značí krok, kdy se při náběžné hraně signálu krokový motor pohne o jeden krok ve směru, který udává signál DIR (direction). Signál o směru musí předcházet signálu kroku, aby byl správně vyhodnocený směr. Příklad vyhodnocení těchto signálů je na obr. 9.



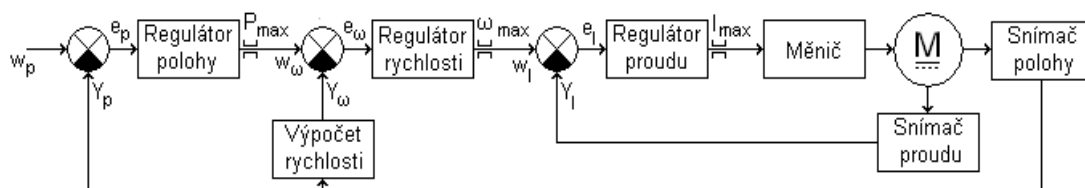
Obr. 9: Časový diagram závislosti požadované polohy na signálech STEP a DIR

Dalším signálem je signál ENABLE, tento signál slouží k zapínání jednotlivých řídicích jednotek pohonů a je ovládán řídicím programem z osobního počítače. Dalšími signály mohou být výstupy ovládající čerpadlo chladicí kapaliny, vstupy pro referenční snímače polohy, koncové snímače polohy, vstup z tlačítka pro zastavení činnosti a jiné signály.

Výstupy a vstupy jsou vyvedeny pomocí paralelního portu osobního počítače. Logické úrovně paralelního portu odpovídají standartu TTL.

5 Řízení polohy

Pro řízení polohy je nutné naprogramovat do mikrokontroléru řídicí algoritmus. Základní schéma regulace polohy je na obr. 10. Regulační schéma obsahuje několik regulátorů, které jsou zapojeny kaskádně. Základním regulátorem je regulátor proudu, ten řídí PWM měnič, který svoji střídou ovlivňuje procházející proud motorem. Před měničem se nachází omezovač proudu, ten zajišťuje aby proud nepřekročil maximální možnou mez. Proud je vyhodnocován snímačem proudu, který zajišťuje regulátoru zpětnou vazbu. Regulátoru proudu je nadřazen regulátor otáček, který dává požadavek regulátoru proudu, tak aby byly otáčky regulovány. Zpětnou vazbu mu zajišťuje výpočet rychlosti ze snímače polohy. Otáčky jsou též omezeny omezovačem. Posledním regulátorem je regulátor polohy nadřazený ostatním regulátorům. Tento regulátor je také omezen, v rozsahu polohy. Limity polohy jsou nastavovány v systému linuxCNC pro řízení, při překročení limitu již řídicí software nebude posílat požadavek na přejezd na polohu za limitem. Tento limit může být přenesen i přímo do zařízení, které řídí motor, kde limit polohy zajišťuje vyšší bezpečnost v případě selhání nadřazeného softwaru. Zařízení má i vstup pro snímač koncové polohy, který lze připojit do zařízení ovládající motor i do nadřazeného počítače ovládající toto zařízení. To je další příspěvek do bezpečnosti celku.



Obr. 10: Blokové regulační schéma regulátoru polohy

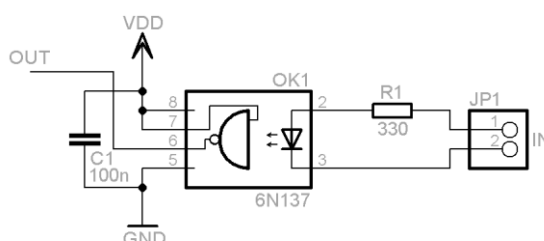
6 Návrh zařízení

V návrhu zařízení jsou bloky rozděleny na dílčí části. Celé schéma zapojení spolu s návrhem desek plošných spojů se nachází na příloženém CD.

6.1 Vstupy a výstupy

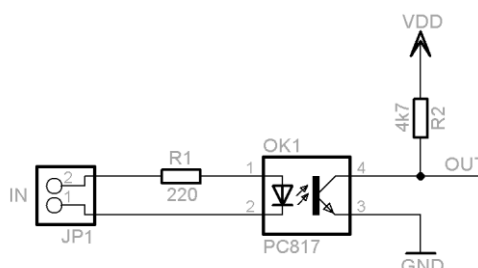
Pro činnost servořízení je nutná komunikace s přidruženými zařízeními. Z důvodu řízení pomocí softwaru linuxCNC z osobního počítače byl zvolen způsob řízení takový, jaký se využívá pro řízení krokových motorů přímo z paralelního portu počítače. Vstupy pro řízení polohy jsou signály STEP, DIR a signál ENABLE povoluje činnost.

Dále je řídicí deska osazena vstupy pro snímače koncové polohy, zapnutí jednotky a signál STOP. Jednotka dále obsahuje výstupní signál STOP.



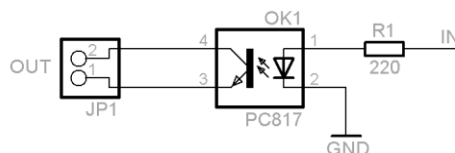
Obr. 11: Schématické zapojení vstupních signálů STEP, DIR a ENABLE

Hardwarové řešení vstupních signálů STEP, DIR a ENABLE bylo realizováno rychlými optočleny 6N137 s rychlostí 10Mbit/s. Schématické zapojení těchto vstupů je na obr. 11. Optočlen je použit z důvodu galvanického oddělení signálů z paralelního portu počítače, ochrany paralelního portu a zamezení rušení zemními smyčkami. Rychlé optočleny byly zvoleny kvůli vysoké vstupní frekvenci při požadovaných vysokých rychlostech pohonu.



Obr. 12: Schématické zapojení vstupního signálu STOP

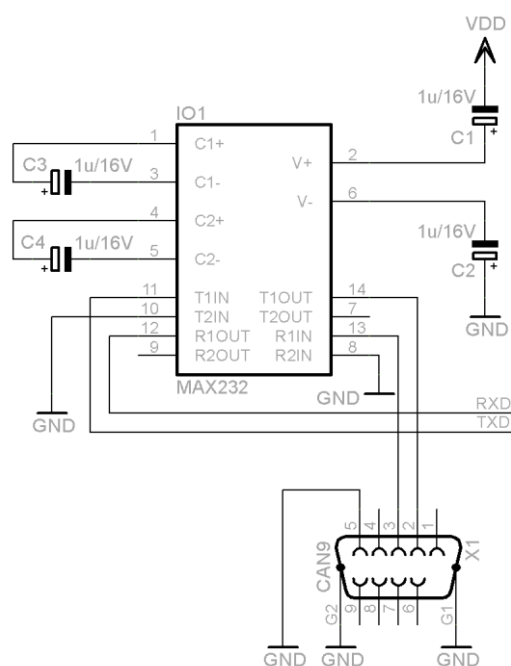
Hardwarové řešení zbývajících vstupních signálů pro snímače koncové polohy, signálu STOP a pro povolení činnosti zařízení je na obr. 12. Tyto signály jsou přivedeny přes optočleny s nižší rychlostí, než u signálů pro zadávání polohy. Signál je galvanicky oddělen, vysoká rychlost nebyla příliš důležitá. Zapojení výstupního tranzistoru je se společným emitorem, toto zapojení vstupní signál invertuje.



Obr. 13: Schématické zapojení výstupního signálu STOP

Výstup STOP je galvanicky oddělen optočlenem PC817, signál STOP bude mít v klidovém stavu vysokou úroveň, přivedenou přes pull-up rezistor. Nízká úroveň má prioritu, výstup každé jednotky může na výstup signálu STOP vnutit logickou 0 a tím deaktivovat ostatní jednotky. Schématické zapojení výstupu STOP je na obr. 13.

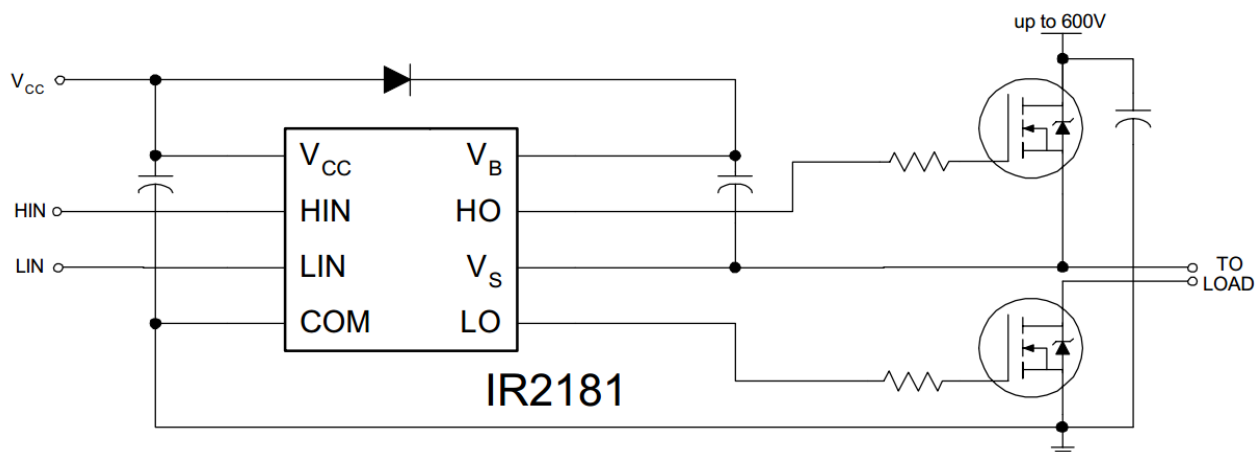
Pro komunikaci s osobním počítačem, převážně pro nastavování parametrů regulační smyčky bude použito sériové rozhraní UART. Sériový vstup může být v budoucnu použit i pro zadávání cílových souřadnic. Jedinou využitou periferií mikrokontroléru pro komunikaci byla periferie SCI, kterou bylo realizováno spojení s PC. Přímá komunikace vzájemným připojením komunikačních linek do PC není možná, jelikož osobní počítače mají jiné napěťové úrovně pro komunikaci dle standardu RS-232. Proto je nutné zapojit na desku řídicího mikrokontroléru převodník napěťových úrovní MAX232. Standard RS-232 vyhodnocuje logickou úroveň 1 jako záporné napětí od 3V do 15V, logickou úroveň 0 vyhodnocuje jako kladné napětí od 3V do 15V. Problémem je záporné napětí, protože nemáme zdroj záporného napětí. Obvod MAX232 záporné napětí a zvýšení napěťové úrovně realizuje pomocí násobiče a invertoru napětí uvnitř integrovaného obvodu a se čtyřmi externími kondenzátory. Schématické zapojení je na obr. 14.



Obr. 14: Schématické zapojení převodníku MAX232

6.2 Řízení motoru

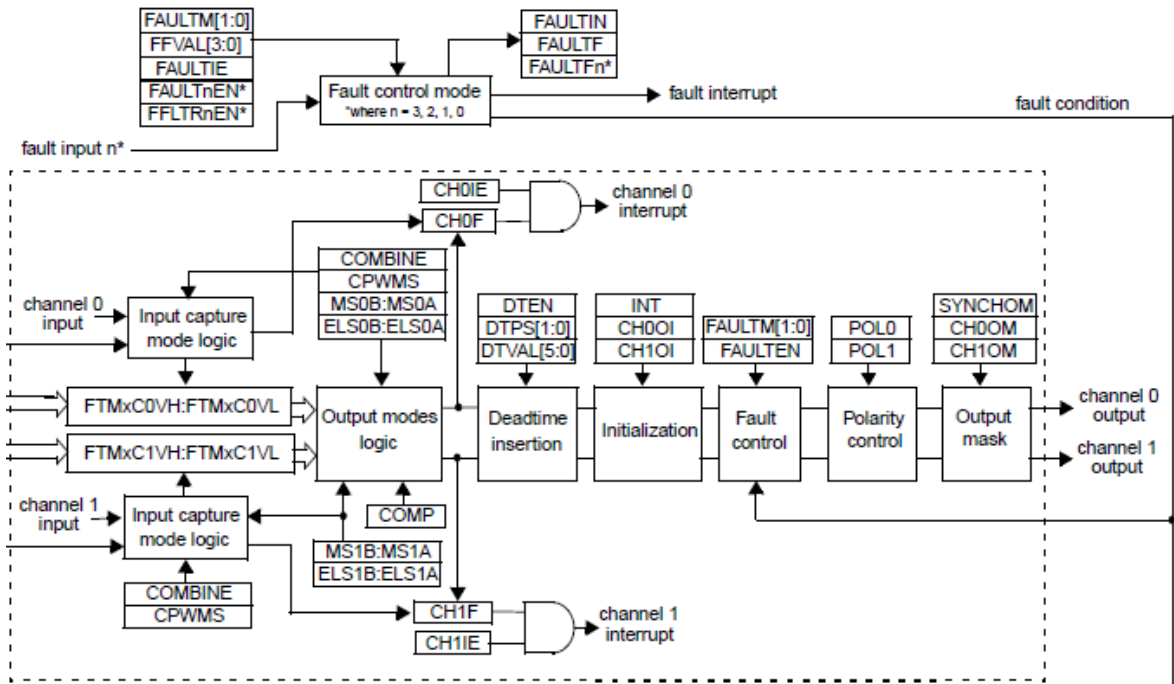
Základem pro řízení stejnosměrného motoru je H-můstek. Mikrokontrolér obsahuje periferní obvod přímo pro řízení H-můstku, proto byl zvolen H-můstek složený z diskretních výkonových tranzistorů. Periferní obvod řízení pomocí pulzně-šířkové modulace obsahuje i nastavení deadtime, obsahuje také chybový vstup, který byl využit pro vypnutí v případě nadproudu. Budící část výkonové části obsahuje integrované budiče IR2181 pro tranzistory mosfet s kanálem N, budič obsahuje i zdroj pro buzení horního tranzistoru, který je na plovoucím potenciálu. Schématické zapojení budícího integrovaného obvodu je na obr. 15. Zdrojem pro buzení horního tranzistoru je bootstrap kondenzátor, nevýhodou je jeho postupné vybíjení a proto nelze mít dlouhou dobu sepnutý horní tranzistor. Z tohoto důvodu je nutné střidu PWM omezit cca na 95%, tak aby se bootstrapový kondenzátor mohl ve zbývajících 5% času dobít ze zdroje.



Obr. 15: Schématické zapojení budiče MOSFET tranzistorů IR2181 [6]

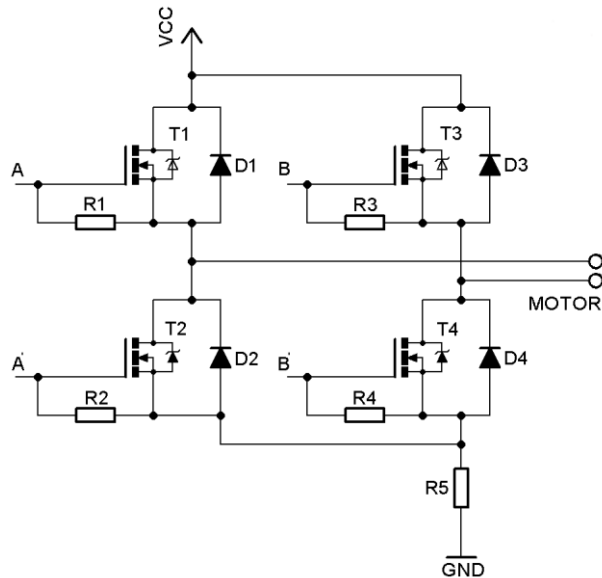
Dalším problémem H-můstku je riziko sepnutí horního a spodního tranzistoru ve stejné větvi, tím nastává tvrdý zkrat zdroje a tranzistory se přetížením zničí. Tento problém je řešen již v procesoru pomocí periferie obsluhující oba dva tranzistory v každé větvi pomocí párovaných výstupů. Kvůli přechodovému ději, kdy tranzistory přechází do zapnutého nebo vypnutého stavu postupně a mohlo by dojít ke zkratu přes horní a spodní tranzistor společné větve, je použit deatime, kdy není zapnut ani jeden z tranzistorů. Pokud by došlo ke zkratu tranzistorů nebo zkratu motoru, je v návrhu využito měření proudu k vypnutí periferního obvodu obsluhujícího spínání tranzistorů. Blokové schéma periferního obvodu obsluhujícího PWM je na obr. 16.

K měření proudu je využit SMD bezindukční měřicí rezistor. Úbytek napětí na rezistoru je zesilován operačním zesilovačem se zesílením 10, v invertujícím zapojení s referenčním napětím rovným polovině napájecího napětí. Tímto způsobem je možné měřit proud v obou směrech.



Obr. 16: Blokové zapojení kanálu periferního obvodu PWM kontroléru [5]

Zesílený signál je veden do komparátoru porovnávající napětí závislé na tekoucím proudu s hodnotou maximální, při které dojde k zapnutí chybového stavu a vypnutí periferního obvodu. Zesílený signál z měření proudu je také veden do filtru typu dolní propust, který signál filtruje pro A/D převodník mikrokontroléru.



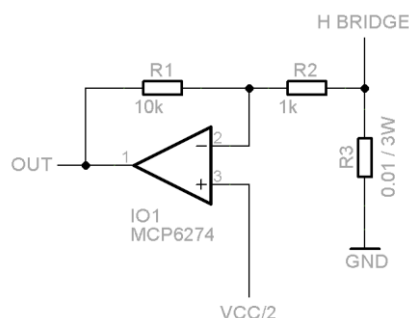
Obr. 17: Schématické zapojení H-můstku

Znázornění schématu H-můstku je na obr. 17, sepnutím tranzistoru T1 a T4 bude téct proud do motoru jedním směrem, sepnutím tranzistoru T2 a T3 dojde k reverzaci otáčení motoru. Hazardní stav nastane současným sepnutím tranzistorů T1 a T2 nebo T3 a T4. Diody antiparalelně připojené na vývody drain-source tranzistorů, jsou diody sloužící k odstranění špiček záporného vysokého napětí vznikajícího na motoru při vypnutí tranzistorů, toto napětí by způsobilo destrukci tranzistorů. Tyto diody jsou rychlé schottkyho diody, diody uvnitř struktury tranzistoru jsou pro tento účel pomalé. Rezistory připojené na elektrody gate-source tranzistorů slouží k ochraně tranzistorů před sepnutím v případě odpojení řídicí části, kdy by se mohlo objevit mezi elektrodami gate-source napětí, které by tranzistory zapnulo. Rezistory snižují vstupní impedanci tranzistorů a omezují vliv rušení. Poslední částí schématu je měřící rezistor proudu R5, na kterém je snímán úbytek napětí.

6.3 Měření proudu

Důležitým údajem pro zpětnou vazbu regulátoru je informace o hodnotě procházejícího proudu motorem. Proud je snímán přímo přes měřící rezistor, o nízké rezistivitě. Tím získáme převodník proudu na napětí, měřený je úbytek napětí na rezistoru vzhledem k nulovému potenciálu. Tento signál tedy není galvanicky oddělen. Kvůli nízké impedanci získáme nízkou napěťovou úroveň signálu, je proto nutné tento signál zesílit pomocí zesilovače.

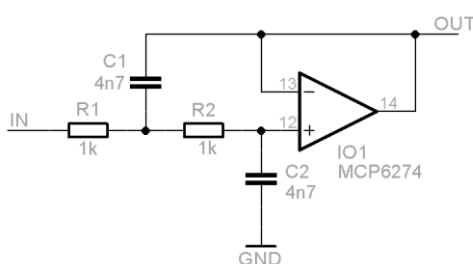
Jako vhodný byl zvolen invertující zesilovač s operačním zesilovačem. Úroveň signálu byla posunuta o polovinu napájecího napětí z důvodu možnosti měřit i záporný proud. Zesilovač má zesílení -10, snímací rezistor má hodnotu $0,01\Omega$, byl zvolen velký rozsah proudu kvůli předpokládané velké dynamice motoru a většímu rozsahu odebíraného proudu. Schématické zapojení je na obr. 18.



Obr. 18: Schématické zapojení zesilovače pro snímání proudu

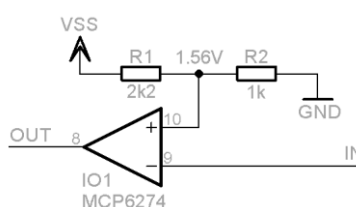
Výstup ze zesilovače je přiveden do antialiasingového filtru, který slouží k omezení vstupní frekvence do A/D převodníku. Pokud by do A/D převodníku vstupoval signál o vyšší

frekvenci, než je dle Nyquistova kritéria polovina vzorkovací frekvence, nebylo by možné výsledný signál zpětně rekonstruovat. Pokud nevzorkujeme dostatečně velkou frekvenci, dochází k tzv. podvzorkování. Frekvence vzorkování se volí obvykle vyšší než dvojnásobek vzorkované frekvence, aby byl signál dostatečně přesně zaznamenán. Pro návrh antialiasingového filtru byl zvolen aktivní filtr typu dolní propust v topologii Sallen–Key se strmostí 12dB na oktávu. Tento filtr slouží hlavně k filtrování frekvence PWM. Další operace s daty z A/D převodníku lze provádět pomocí algoritmu v mikrokontroléru. Schématické zapojení antialiasingového filtru je na obr. 19. [8]



Obr. 19: Schématické zapojení antialiasingového filtru

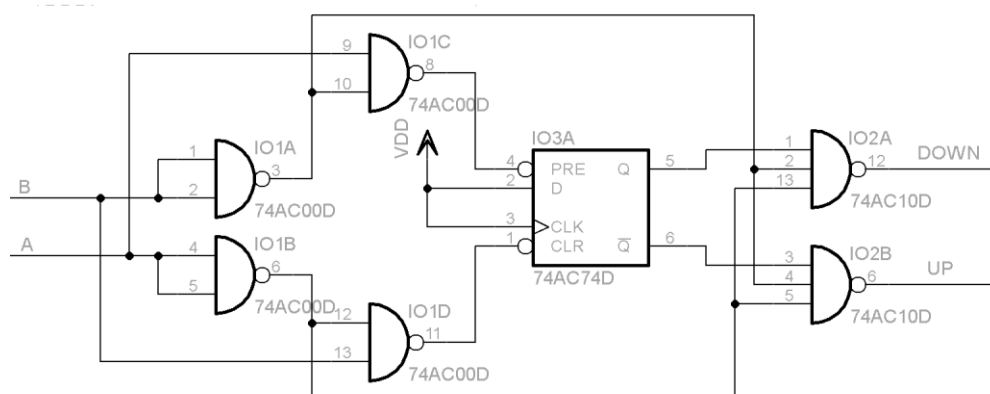
Dále je výstup z měření proudu zaveden do komparátoru, který porovnává, zda napětí na výstupu nepřesahuje maximální možnou mez. Po překročení meze proudu komparátor přeplojí výstup do vysoké úrovně. Výstup je zaveden do chybového vstupu mikroprocesoru periferie PWM. Při překročení proudu je tedy deaktivováno PWM řízení H-můstku a motor je vypnut. Komparátor má vstup připojen na invertující vstup, je to z důvodu invertujícího zesilovače pro měření proudu. Pokud proud snímacím rezistorem vzrůstá, napětí na výstupu operačního zesilovače klesá. Pokud klesne pod určitou úroveň, komparátor zareaguje přeplopením úrovně na výstupu. Schématické zapojení je na obr. 20.



Obr. 20: Schématické zapojení komparátoru pro deaktivaci periferie PWM v případě nadproudu

6.4 Snímání polohy

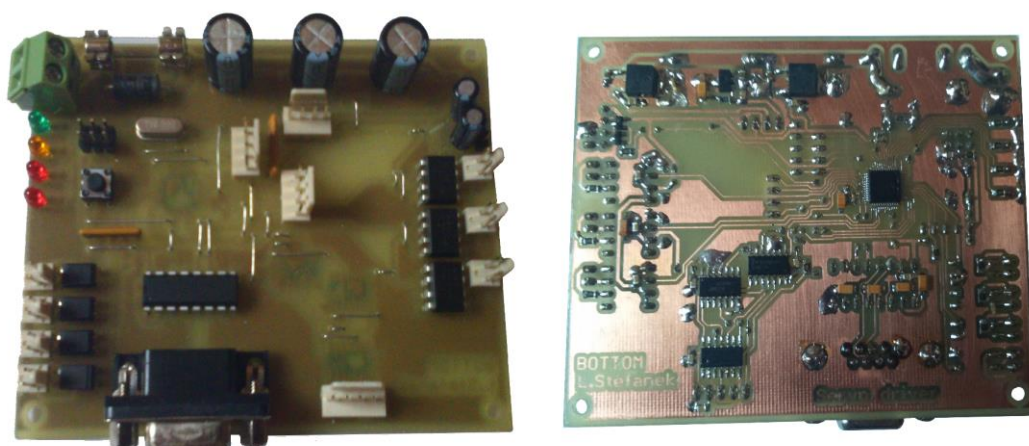
Pro účely snímání polohy byl zvolen inkrementální snímač. Pro dekódování signálu bylo zvoleno, pro zjednodušení vyhodnocovacího algoritmu, hardwarové řešení. Pro vyhodnocení bylo využito několika kombinačních a jednoho sekvenčního logického obvodu. Výstupem jsou dva vodiče, jeden vodič značí směr kupředu a druhý značí opačný směr, výstupem jsou impulzy, výstupy lze připojit do čítače s inkrementálním a dekrementálním vstupem. Tuto periférii vybraný mikrokontrolér neobsahuje, proto jsou výstupy vedeny na vstupy mikrokontroléru, které jsou nastaveny jako zdroj externího přerušení. V přerušovací rutině programu je pouze odlišení vstupu a přičtení či odečtení od proměnné polohy. To přináší rychlejší výpočet polohy, než při připojení inkrementálního snímače přímo k mikrokontroléru a softwarové dekódování signálu ze snímače. Nevýhodou hardwarového dekódování signálu je složitější návrh desky plošných spojů. Schématické zapojení s logickými obvody se nachází na obr. 21. [7]



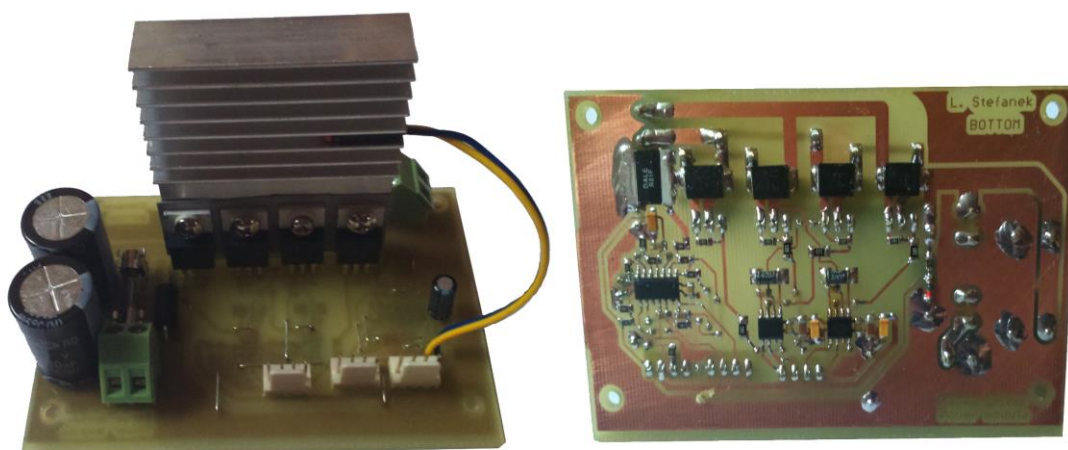
Obr. 21: Schématické zapojení dekodéru signálu z inkrementálního snímače

6.5 Realizace

Výsledná deska plošných spojů řídicí části je na obr. 22, výsledná deska plošných spojů výkonové části je na obr. 23. Desky byly otestovány, všechny části jsou funkční. Desky jsou vyrobeny metodou fotocesty.



Obr. 22: Výsledek realizace řídicí části zařízení



Obr. 23: Výsledek realizace výkonové části zařízení

Závěr

Úvod bakalářské práce byl věnován výběru motoru a jeho popsání. Popsány byly dva motory a jeden vybrán pro realizaci zařízení.

Dále byl popsán způsob vyčítání aktuální polohy a způsob zadávání polohy pro řídicí systém. Systém je řízen pomocí softwaru v osobním počítači, který řídí polohu motorů.

Hlavní pozornost byla věnována návrhu hardwaru zařízení, celý obvod byl popsán po jednotlivých částech a při návrhu plošného spoje byl rozdělen na dva moduly. Jedna část byla řídicí a druhá výkonová. Deska plošných spojů byla realizována v domácích podmínkách fotocestou, filmové předlohy pro osvit byly vyrobeny na zakázku.

Byla ověřena funkčnost jednotlivých částí zařízení a naprogramován jednoduchý algoritmus pro řízení otáček. Tato část práce bude nadále rozvíjena.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Anaheim Automation. [Online] [https://www.anaheimautomation.com/images/brush/BDPG-24-30%20\(500x500\).png](https://www.anaheimautomation.com/images/brush/BDPG-24-30%20(500x500).png).
- [2] *Oriental motor*. [Online] <http://www.orientalmotor.com/images/mainContent/11-stepping-motor-48b.jpg>. Upraveno.
- [3] Doc.Ing.Václav Vrána, CSc., Ing. Stanislav Kocman, Ph.D., Ing. Václav Kolář Ph.D. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. [Online] 2006.
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf.
- [4] Martin Dlouhý, Zbyněk Winkler. Robotika. [Online] 30. 10 2003. <http://robotika.cz/guide/encoders/cs>.
- [5] Freescale. [Online] 9 2009.
http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08MP16RM.pdf.
- [6] International Rectifier. [Online] 15. 10 2004. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2181.pdf>.
- [7] Electrical engineering. [Online] <http://electronics.stackexchange.com/questions/104909/rc-filter-infront-of-analog-port-pins-in-pic-microcontroller>.
- [8] Maxim integrated. [Online] <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/928>.

Přílohy

Příloha A – Příložené CD

Příložené CD obsahuje soubory:

SCHEME.sch – Schéma zapojení celého zařízení ve formátu SCH.

MAIN_MODULE.sch – Schéma odděleného modulu řídicí části.

MAIN_MODULE.brd – Návrh desky plošného spoje odděleného modulu řídicí části.

POWER_MODULE.sch - Schéma odděleného modulu výkonové části.

POWER_MODULE.brd - Návrh desky plošného spoje odděleného modulu výkonové části.