

Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů: krokový motor

Educational module for microcontrollers programming course:
stepper motor

Jan Přikryl



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan PŘIKRYL**
Osobní číslo: **A08297**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Výukový modul pro předmět Programování
mikropočítačů: krokový motor**

Zásady pro vypracování:

- 1. Prostudujte hardwarové vlastnosti vývojového kitu M68EVB908GB60 a navrhnete způsob připojení modulu krokového motoru.**
- 2. Provedte hardwarový návrh řídicího modulu pro krokový motor.**
- 3. Realizujte prototyp modulu a ověřte jeho funkci na vývojovém kitu.**
- 4. Vytvořte podpůrné programové vybavení pro obsluhu modulu ve formě knihovny podprogramů v jazyce symbolických adres a v C jazyce.**
- 5. Vytvořte ukázkovou aplikaci s využitím realizované knihovny podprogramů, která bude demonstrovat funkci modulu.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. FREESCALE SEMICONDUCTOR. CPU08 Central Processor Unit Reference Manual [online]. 2001. Dostupné z: www.freescale.com
2. FREESCALE SEMICONDUCTOR. HCS08 Family Reference Manual, Rev.1. [online]. 2003. Dostupné z: www.freescale.com
3. FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08GB/GT Data Sheet, Rev.2.3. [online]. 2004. Dostupné z: www.freescale.com
4. JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka :. 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2.
5. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
6. MICROCON. Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX [online]. 2005. Dostupné z: www.microcon.cz
7. NOVÁK, Petr a Miroslav HRABOVSKÝ. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Vyd. 1. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 191 s. ISBN 80-730-0141-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Dostálek, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

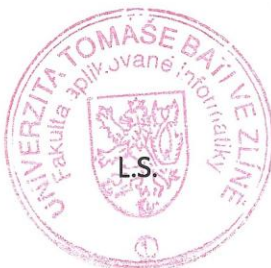
24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

8. června 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření modulu krokového motoru řízeného pomocí mikropočítače HCS08, který bude sloužit jako výuková pomůcka pro předmět Programování mikropočítačů. V teoretické části je uveden popis mikropočítače, vývojového kitu, konstrukce a řízení krokových motorů a princip optických senzorů natočení. V praktické části je popsáno zapojení a realizace hardwaru modulu a princip jednotlivých funkcí knihovny pro ovládání krokového motoru, včetně popisu ukázkového programu, který tuto knihovnu využívá.

Klíčová slova: mikropočítač, HCS08, krokový motor, optické senzory natočení

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was create a stepper motor module controlled by microcontroller HCS08 which will serve as a teaching tool for microcontrollers programming course. The theoretical section provides a description of the microcontroller, the development kit, constructions and control of stepper motors and the principle of optical rotation sensors. The practical section describes wiring and implementation of hardware of module and the principle of individual library functions for controlling a stepper motor, including a description of the example program that uses this library.

Keywords: microcontrollers, HSC08, stepper motor, optical rotation sensors

Zde bych rád poděkoval především vedoucímu práce Ing. Petru Dostálkovi Ph. D. za cenné rady a odbornou pomoc, které mi pomohli při zpracovávání této práce. Také bych chtěl poděkovat spolužákům a kamarádům za technickou i psychickou podporu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MIKROPOČÍTAČ A VÝVOJOVÝ KIT	11
1.1 MIKROPOČÍTAČ MC9S08GB60	11
1.1.1 Specifikace mikropočítače	11
1.1.2 Struktura mikropočítače	12
1.1.3 Registry centrální procesorové jednotky	13
1.1.4 Paměťová mapa	13
1.2 VÝVOJOVÝ KIT M68EVB908GB60	14
1.2.1 Specifikace kitu	15
1.2.2 Integrované periférie kitu	15
2 KROKOVÉ MOTORY	17
2.1 POPIS KROKOVÉHO MOTORU	18
2.1.1 Krokový motor s pasivním rotorem	18
2.1.2 Krokový motor s aktivním rotorem	19
2.1.3 Hybridní krokový motor	20
2.1.4 Lineární krokový motor	21
2.2 ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	22
2.2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze	22
2.2.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází	22
2.2.3 Osmiaktní řízení	23
2.2.4 Mikrokrokování	24
3 OPTICKÉ SENZORY NATOČENÍ	25
3.1 INKREMENTÁLNÍ SENZOR	25
3.2 ABSOLUTNÍ SENZOR	26
4 EAGLE	28
5 CODEWARRIOR	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
6 HARDWAROVÁ ČÁST	31
6.1 PROPOJENÍ S KITEM	32
6.2 BUZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	33
6.3 SNÍMANÍ OTÁČEK KROKOVÉHO MOTORU	34
6.4 NAPÁJENÍ MODULU	35
6.5 VÝROBA MODULU	35
7 SOFTWAREOVÁ ČÁST	37

7.1	KNIHOVNA FUNKCÍ	37
7.2	UKÁZKOVÝ PŘÍKLAD	40
ZÁVĚR		42
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....		43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		46
SEZNAM OBRÁZKŮ		47
SEZNAM TABULEK		48
SEZNAM PŘÍLOH.....		49

ÚVOD

V dnešní době se s mikropočítači setkáváme na každém kroku. Obklopují nás v našich domovech, kde řídí téměř veškerou elektroniku, jako televizory, audio soustavy, mobilní telefony, ale i pračky, myčky, mikrovlnné trouby a spoustu dalších zařízení. Mimo naše obydlí se starají například o pohodlné cestování v automobilech, v silničních semaforech řídí dopravu a také nám sdělí cenu zboží ve čtečce čárových kódů a dovolí použít platební kartu na pokladnách obchodů.

Jejich využití je obrovské, z toho důvodu je na naší univerzitě předmět Programování mikropočítačů. V něm jsou studenti seznámeni s tím, jak takový mikropočítač funguje a z čeho se skládá. V seminářích si vyzkouší také jejich programování na vývojových kitech. Od jednoduché sčítání dvou čísel až k ovládání integrovaných periférií kitu nebo přídavných modulů.

Právě přídavný modul je předmětem této práce. Konkrétně jde o modul s bipolárním krokovým modulem. Na rozdíl od klasických stejnosměrných motorů jej nestačí připojit na zdroj. Jeho pohyb není spojitý, otáčí se v krátkých úsecích, krocích. Aby se docílilo plynulé rotace, je třeba rychle spínat určitou kombinaci vinutí motoru. A k tomu je mikropočítač ideální.

V teoretické části práce je popsán mikropočítač a vývojový kit používaný ve výuce, typy krokových motorů a způsoby jejich řízení a také optické senzory natočení využívané jako zpětná vazba o pohybu motoru. Praktická část se zabývá návrhem zapojení modulu a softwarem pro jeho obsluhu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MIKROPOČÍTAČ A VÝVOJOVÝ KIT

Mikropočítač je integrovaný obvod, který obsahuje procesor, programovou paměť (ROM, EPROM, EEPROM nebo FLASH), operační paměť RAM, vstupní/výstupní porty a jiné periferie (časovače, čítače, řadiče, A/D převodníky, PWM, atd.). Z toho vyplývá, že vhodným výběrem mikropočítače se lze vyhnout složitým podpůrným obvodům potřebným k dané úloze.

Taktovací frekvence procesoru bývá jednotky až stovky MHz, šířka slova procesoru 4 až 64 bitů. Operační paměť RAM má standardně velikost v řádu bytů až desítek kB. Programová paměť bývá desítky až stovky kB.

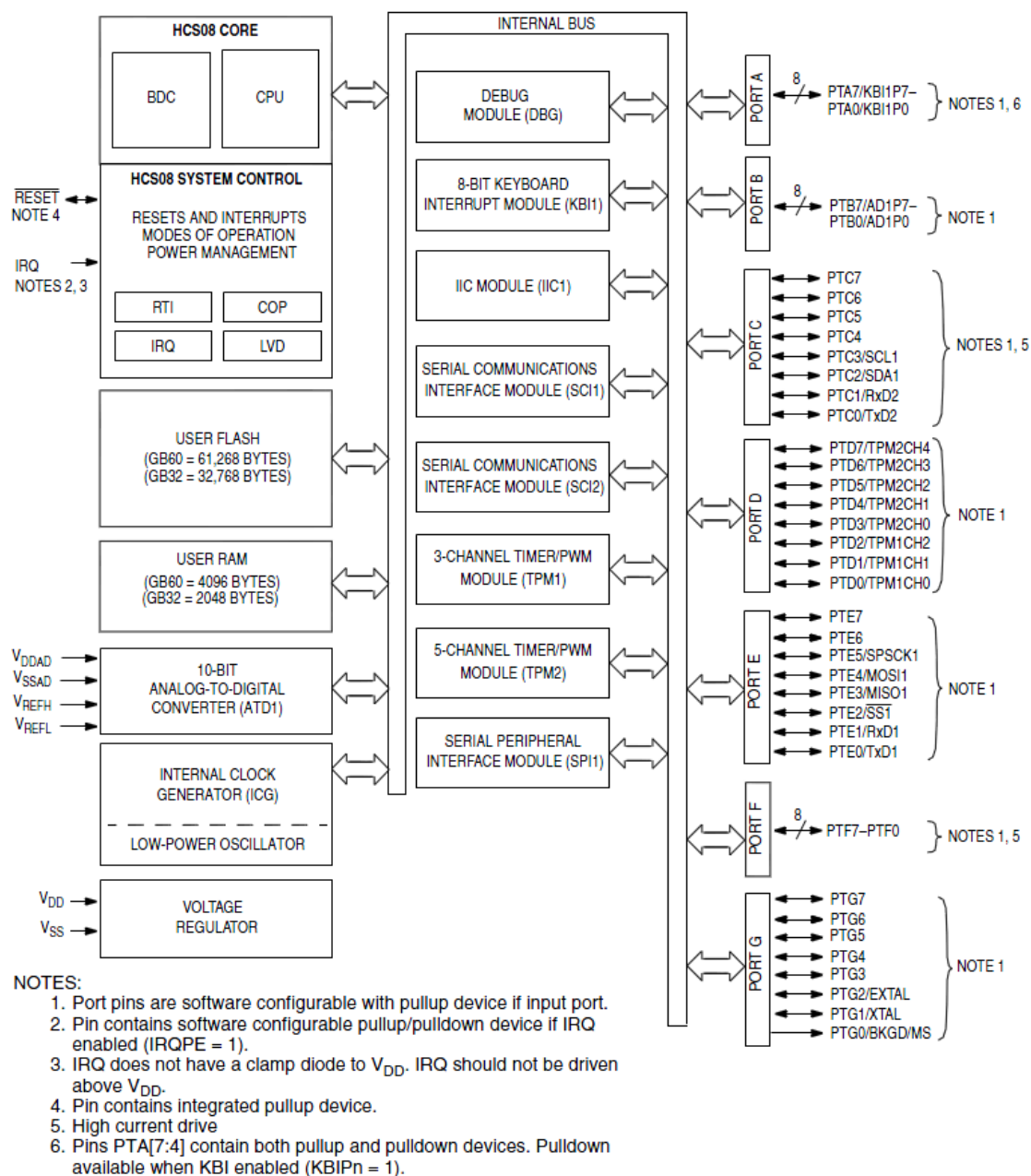
1.1 Mikropočítač MC9S08GB60

Mikropočítač MC9S08GB60 od firmy Freescale vychází z procesoru Motorola 6800. Patří k nejvybavenějším modelům z rodiny výkonných osmibitových mikropočítačů HCS08. [2]

1.1.1 Specifikace mikropočítače

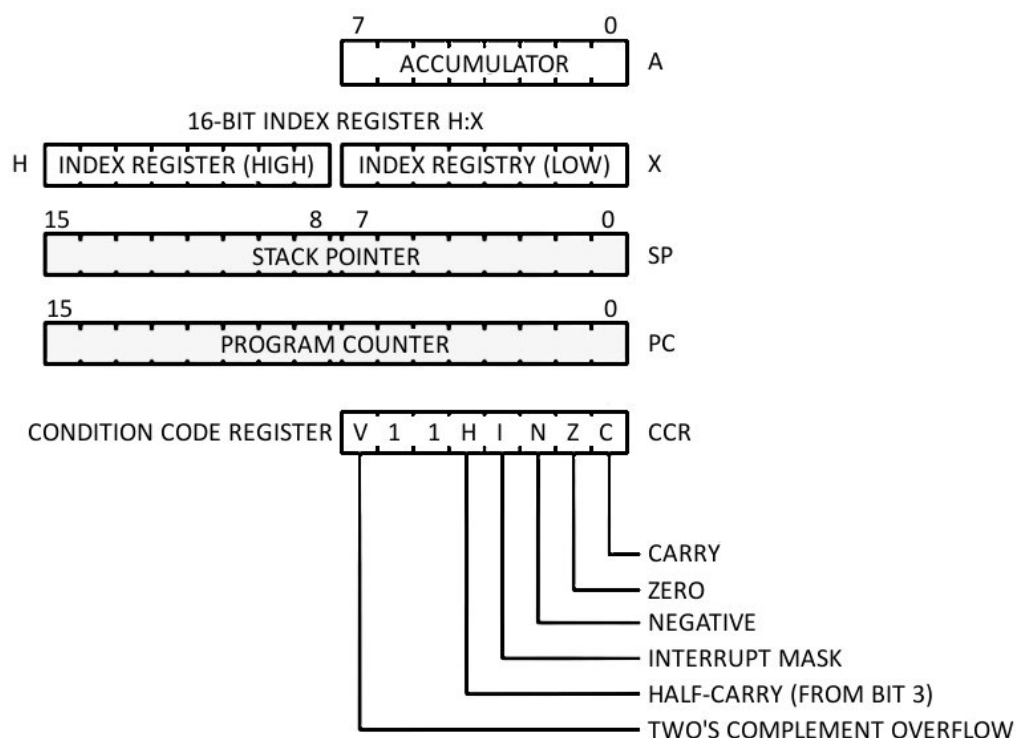
- 8bitová centrální procesní jednotka HCS08
- Taktovací frekvence až 40 MHz
- 60 KB FLASH paměti
- 4 KB RAM paměti
- 56 vstupně/výstupních linek na 7 portech (port A až G)
- 3 kanálový TPM1 časovač a 5 kanálový TPM2 časovač
- 1x Synchronní sériové periferní rozhraní (SPI)
- 1x I2C rozhraní
- 2x Asynchronní sériové komunikační rozhraní (SCI)
- Interní generátor hodinového kmitočtu s FLL obvodem (32 kHz – 20 MHz frekvence sběrnice)
- 8 kanálový, 10 bitový A/D převodník
- BDM rozhraní pro pokročilé ladění a programování aplikací přímo v aplikaci [2]

1.1.2 Struktura mikropočítače



Obrázek 1: Struktura mikropočítače MC9S08GB60. [2]

1.1.3 Registry centrální procesorové jednotky



Obrázek 2: Registry CPU mikropočítače HCS08. [1]

Registr je malá, ale velmi rychlá paměť, která je přímo v mikroprocesoru. Ve většině případů slouží pro dočasné uchování operandů k provádění aritmetických nebo logických operací.

Mikropočítače HCS08 obsahují 8bitový akumulátor (A), 16bitový indexový registr (H:X) rozdělený na vyšší byte H a nižší byte X, ke kterým je možné přistupovat odděleně. 8bitový příznakový registr (CCR), 16bitový ukazatel zásobníku (SP) a 16bitový programový čítač (PC). [1]

1.1.4 Paměťová mapa

Rozdělení paměti je naznačeno v tabulce 1. Paměť RAM i FLASH jsou ve stejném paměťovém prostoru společně také s registry periferních obvodů. Registry jsou rozděleny do tří skupin:

- direct-page registry (\$0000 až \$007F)
- high-page registry (\$1800 až \$182B)
- nevolatilní registry (\$FFB0 \$FFBF).

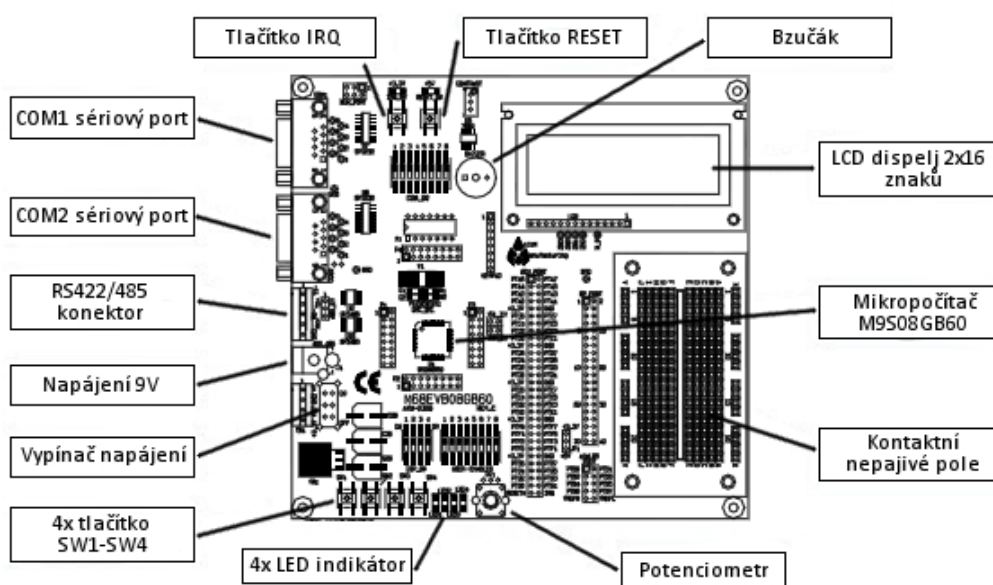
Tabulka 1: Rozdělení paměti mikropočítače MC9S08GB60. [2]

Paměť	Počáteční adresa	Konečná adresa	Velikost
Direct-page registry	\$0000	\$007F	128B
RAM	\$0080	\$107F	4096B
FLASH	\$1080	\$17FF	1920B
High-page registry	\$1800	\$182B	44B
FLASH	\$182C	\$FFFF	59348B

Na adresách \$FFCA až \$FFCB je volné místo pro uživatelský program. Vektory přerušení a resetů začínají na adrese \$FFCC a končí adresou \$FFFF. Podrobněji na [2].

1.2 Vývojový kit M68EVB908GB60

Vývojový kit M68EVB908GB60, byl navržen k snadnému vývoji a ladění aplikací pro mikropočítače MC9S08GB60 firmy Freescale. Tento kit obsahuje kromě integrovaných periférií, jako například dvouřádkový displej, LED indikátory, potenciometr, tlačítka, atd., také kontaktní nepájivé pole, kam je možné připojit další I/O zařízení podle potřeby dané úlohy. Také zde najdeme zdroj napájení 3,3 V a 5 V využitelný pro přídatné moduly. [3]



Obrázek 3: Vývojový kit M68EVB908GB60. [3]

1.2.1 Specifikace kitu

- Mikropočítač M9S08GB60
- 32 kHz nebo 4 MHz krystalový oscilátor
- Generátor hodinového signálu
- Napájecí zdroj 3,3 V a 5 V
- COM1 sériový port, rozhraní RS232, konektor DB9-S (SCI0)
- COM2 CAN sériový port, rozhraní RS232, konektor DB9-S nebo RS422/485 (SCI1)
- ON/OFF vypínač se signalizací
- Uživatelské komponenty
 - 4x LED indikátory (PTF0-3)
 - 4x DIP přepínač (PTB4-7)
 - 4x tlačítka (PTA4-7)
 - Dvouřádkový 16 znakový display (PTG3-7, PTE6-7)
 - Potenciometr (A/D převodník)
 - Bzučák (PTD0)
- Konektor MCU portu (přístup ke všem digitálním I/O)
- Konektor analogového portu
- Nepájivé kontaktní pole
- Napájecí napětí: 6 – 20 V DC, běžně 9 V
- Spotřeba proudu: 50 mA při 9 V
- Rozměr desky: 6“ x 6,2“ [3]

1.2.2 Integrované periferie kitu

Veškeré periferie kitu lze povolit či zakázat pomocí přepínače USER ENABLE. Zakázáním integrovaných periférií kitu lze využít příslušné porty pro vlastní účely bez rizika kolizí.

Displej

Pro aplikace vyžadující textový výstup lze využít 32 znakový (2 řádky pod 16 znacích) LCD displej. Operace s displejem lze povolit přepnutím pozice 4 na USER ENABLE přepínači do stavu ON. Pod displejem je umístěn LCD port pro připojení jiného displeje dle potřeb uživatele. Datové a ovládací signály jsou přivedeny z portů PTG3 – PTG7 a PTE6 – PTE7.

Potenciometr

Potenciometr umožňuje uživateli lineárně měnit napětí od 0 V do 3,3 V. Tato hodnota napětí je přivedena na port PTB0 nebo na analogový vstup AD0. Povolení potenciometru je možné provést na pozici 3 USER ENABLE přepínače. Za pomoci A/D převodníku lze hodnotu napětí z potenciometru měřit a dále s ní pracovat.

Přepínač DIP

Umožňuje uživateli nastavení až 4 logických hodnot pro jeho aplikaci. Při přepnutí do stavu ON přivádí logickou úroveň 0 na příslušný port PTB4 – PTB7. Pozicí 1 na USER ENABLE přepínači může být aktivován nebo deaktivován.

Tlačítka SW1 – SW4

Stisknutá tlačítka přivádějí do mikropočítače logickou úroveň 0 na port PTA4 – PTA7. Aktivace či deaktivace tlačítek se provede přepnutím pozice 2 na USER ENABLE přepínači. Vstupní port PTA4 – PTA7 také zajišťují přerušení z klávesnice KBD4 – 7.

LED indikátory

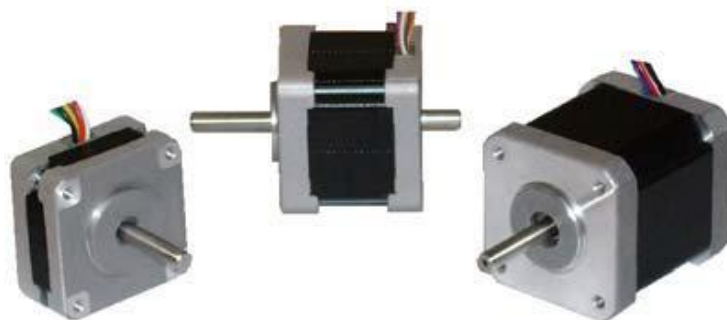
Svítivé diody jsou aktivovány přivedením logické úrovně 0 na příslušný port. Jsou připojeny na porty PTF0 – PTF3. Jejich povolení respektive zakázání lze nastavit na pozicích 5 – 8 na USER ENABLE přepínači. [3]

2 KROKOVÉ MOTORY

Krokové motory mají hlavní využití tam, kde je potřeba pohonu s přesně nastavitelnou polohou natočení a schopnosti setrvat v ní i při působení vnějších sil (např. počítačem řízené obráběcí stroje, průmyslové roboty, tiskárny).

První udělení patentů spojených s krokovými motory bylo v roce 1919 ve Velké Británii. Tento krokový motor použilo britské námořnictvo v torpédách jako součást dálkového navádění. Pro podobné účely ho použilo o několik let později také americké námořnictvo.

Větší uplatnění tyto motory našly až v 60. letech s rozvojem polovodičové a výpočetní techniky. Velkovýroba hybridních krokových motorů byla spuštěna kolem roku 1970, kdy byl také vyvinut první 4bitový mikrokontroler (firma Intel, rok 1971).



Obrázek 4: Krokové motory Microcon řady SX. [6]

Hlavní výhody krokových motorů:

- přesné polohování a řízení otáček bez nutnosti zpětné vazby
- maximální moment v nejnižších otáčkách
- dlouhá životnost s minimální údržbou
- mechanický kontakt rotoru se statorem pouze v ložiscích
- snadná realizace – relativní nezávislost na zatížení
- nízká cena.

Jejich největší nevýhody jsou trvalý odběr proudu i v případě, že se motor netočí, ztráta kroku při překročení mezního zatížení a náchylnost k mechanickému zakmitání vedoucímu až k nestabilitě při pohybu. [4] [7]

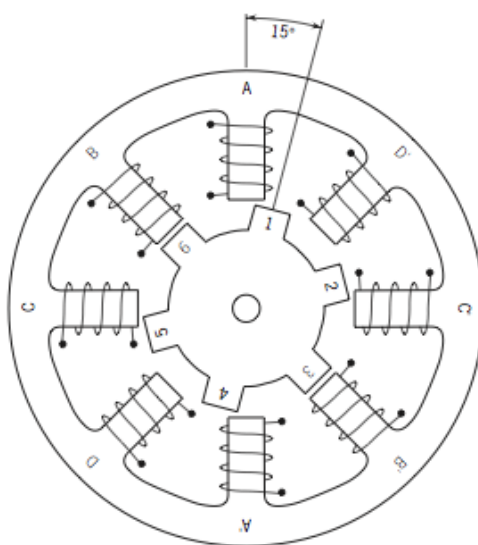
2.1 Popis krokového motoru

Krokový motor je impulzně napájený motor. Jeho pohyb je nespojitý, děje se v určitých úsecích (krocích). Pokud prochází cívkou proud, vytváří magnetické pole, které přitahuje opačný pól rotoru. Vhodným spínáním cívek lze dosáhnout rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem. Podle konstrukce je lze rozdělit na:

- krokové motory s pasivním rotorem
- krokové motory s aktivním rotorem
- hybridní krokové motory
- lineární krokové motory.

2.1.1 Krokový motor s pasivním rotorem

Krokový motor s pasivním rotorem se označuje také jako reakční nebo reluktanční (s proměnnou reluktancí). Na obrázku 5 je zobrazen řez reakčního krokového motoru s velikostí kroku 15° . Stator tvoří svazek ocelových plechů s osmi pólovými nástavci, na kterých jsou vinutí jednotlivých fází (v tomto případě čtyři fáze). Rotor má šest vyniklých pólových nástavců a může být tvořen podobně jako stator svazkem ocelových plechů nebo jedním ocelovým celkem. Pólové nástavce rotoru i statoru mají stejnou šířku.

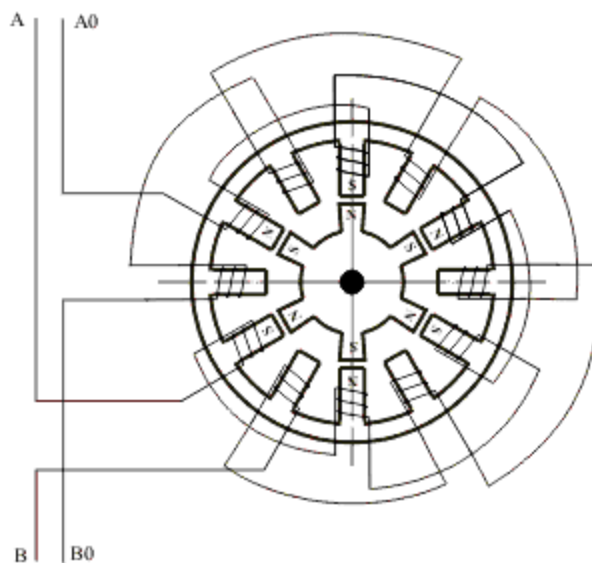


Obrázek 5: Řez krokovým motorem s pasivním rotorem. [9]

Mezi pólovými nástavci rotoru a statoru je velmi malá mezera (obvykle 0,02 – 0,2 mm). Protilehlé páry vinutí statoru jsou zapojeny sériově a při napájení vytváří severní a jižní póly, které přitahují nejbližší pólové nástavce rotoru. Na obrázku 5 je buzena fáze B. Jestliže bude v dalším kroku buzena fáze A, rotor se pootočí o jeden krok proti směru hodinových ručiček, v případě vybuzení fáze C vykoná rotor krok opačným směrem. [4]

2.1.2 Krokový motor s aktivním rotorem

Krokový motor s aktivním rotorem má rotorovou část tvořenou permanentním magnetem, který je radiálně polarizován, to znamená, že na obvodu rotoru se střídají severní a jižní póly. Proto bývá také nazýván jako krokový motor s radiálně polarizovaným permanentním magnetem. Statorové vinutí je navinuto dvoufázově a při krokování motoru je potřeba měnit směr proudu ve vinutích. Stator má dvojnásobný počet pólových nástavců oproti počtu pólů na permanentním magnetu rotoru. Dále je počet pólů statoru dělitelný čtyřmi.

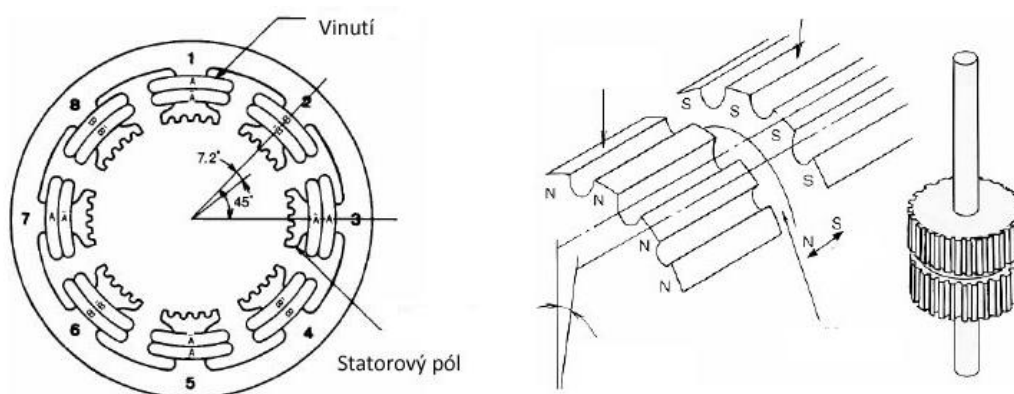


Obrázek 6: Řez krokovým motorem s aktivním rotorem. [10]

Tyto krokové motory jsou náročnější na výrobu, z toho vyplývá vyšší cena. Velikost kroku bývá velká (15° a více), mají malý moment, pouze v jednotkách Nm. Ale díky malé časové konstantě vinutí, která je způsobena permanentním magnetem v rotoru, dosahují vyšších provozních kmitočtů než krokové motory s pasivním rotorem (v řádu jednotek až desítek kHz). [5]

2.1.3 Hybridní krokový motor

Hybridní krokový motor je v současné době nejpoužívanějším typem. Kombinuje předchozí dva typy motorů. Stator tohoto motoru tvoří osm hlavních pólových nástavců s vinutími. Každý z nich je dále rozdělený na 5 zubů. Hřídel rotoru je vyrobena z nemagnetické oceli, na níž jsou dva pólové nástavce. Mezi nimi je uložen axiálně polarizovaný permanentní magnet, z toho vyplývá, že tyto pólové nástavce mají každý jinou magnetickou polaritu. Oba jsou rozděleny obvykle na 50 zubů, které mají stejnou šířku jako zuby pólových nástavců statoru. Pólové nástavce rotoru jsou mezi sebou ve směru osy pootočené, proti zubům jednoho pólového nástavce jsou drážky druhého (viz obrázek 7).

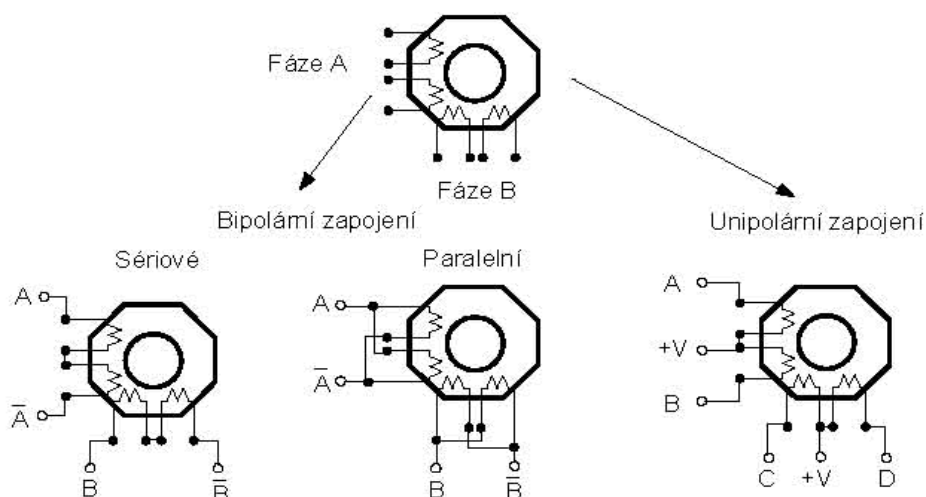


Obrázek 7: Konstrukce hybridního krokového motoru. [5]

Nejčastější zapojení osmice cívek je dvoufázové, kde cívky na pólových nástavcích 1, 3, 5 a 7 představují první fázi a zbývající cívky tvoří fázi druhou. Pokud neprotéká žádným vinutím proud, je magnetický tok tvořený pouze permanentním magnetem a rotor je aretován v klidové poloze. Pokud protéká kladný proud první fází, póly statoru 1 a 5 jsou magnetizovány jižně a póly 3 a 7 severně. Zuby na severním pólovém nástavci rotoru jsou přitahovány jižně zmagnetizovanými póly 1 a 5 statoru a zuby jižního pólu rotoru ke statorovým zubům na pólech 3 a 7.

Pro pootočení o další krok je třeba přestat napájet první fázi a začít napájet druhou fázi kladnou nebo zápornou hodnotou proudu podle žádaného směru otočení. Jedná se o bipolární řízení.

Existují také vícefázové hybridní krokové motory. Jejich výhodou je větší počet kroků na otáčku, tedy větší přesnost. Nevýhodou jsou složitější budicí obvody a vyšší cena.

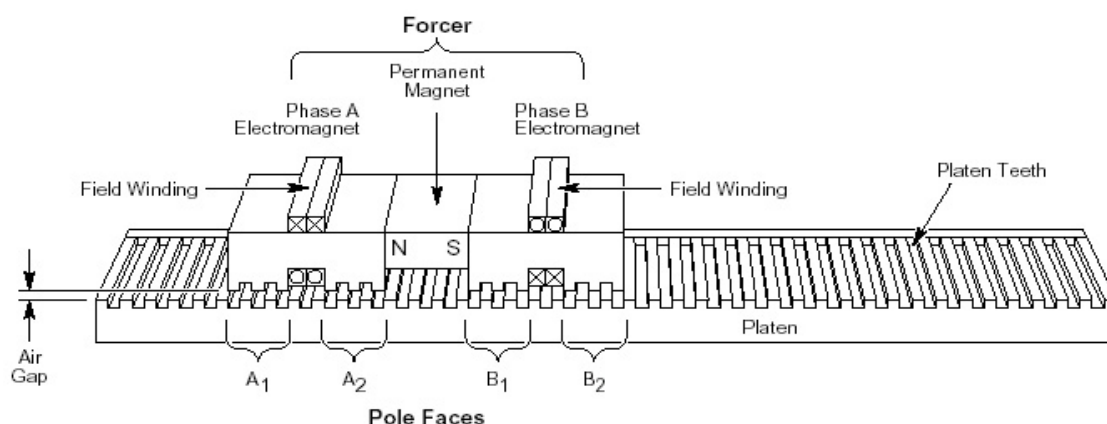


Obrázek 8: Možnosti zapojení dvoufázového hybridního krokového motoru. [6]

Možné způsoby zapojení krokových motorů znázorňuje obrázek 8. Bipolární zapojení cívek motoru je vhodné, pokud je preferován vyšší krouticí moment v nižších krokovacích frekvencích. Naopak unipolární buzení oproti bipolárnímu nabídne větší krouticí moment v oblasti vyšších krokovacích kmitočtů. [4] [5]

2.1.4 Lineární krokový motor

Tento motor je speciální typ krokového motoru, který poskytuje lineární pohyb (ne rotační). Jeho využití je v některých typech plotrů a tiskáren, polohovacích zařízeních u obráběcích strojů a v robotice. Lineární krokové motory fungují na podobných principech jako rotační krokové motory a obdobně dělí se na reakční a hybridní lineární krokové motory. [4]



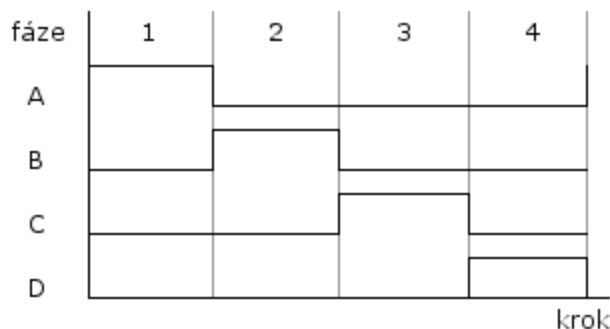
Obrázek 9: Řez hybridním lineárním krokovým motorem. [8]

2.2 Řízení krokového motoru

Volba způsobu řízení krokového motoru výrazně ovlivňuje vlastnosti tohoto pohonu. Používají se následující čtyři způsoby buzení jednotlivých fází krokových motorů.

2.2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

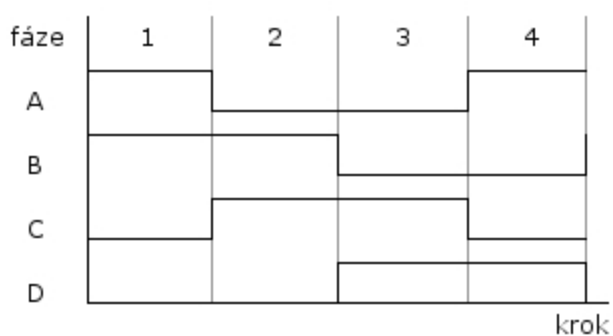
Jde o nejjednodušší způsob ovládání čtyřfázového reakčního krokového motoru nebo případně dvoufázového hybridního krokového motoru v unipolárním zapojení. Při buzení fáze A se vytvoří elektromagnetické pole v ose pólových nástavců vinutí fáze A. Pólový nástavec rotoru, který je nejbližší, se pootočí do místa největší intenzity elektromagnetického pole (zarovná se do osy pólových nástavců fáze A). Pro další krok se vypne buzení fáze A, začne se napájet fáze B a nejbližší pólový pár rotoru se pootočí do rovnovážné polohy s pólovými nástavci fáze B. Následující kroky jsou obdobné, odpojením fáze B a připojením fáze C dojde k dalšímu kroku, poté i odpojením fáze C a buzením fáze D. Další kroky se vykonají opakováním od fáze A. Spínáním fází v opačném pořadí dosáhneme otáčení rotoru v opačném směru. [4]



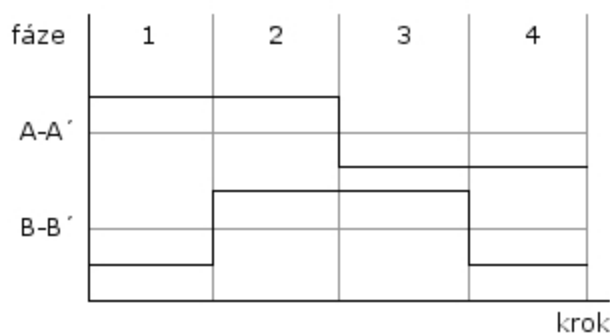
Obrázek 10: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze.

2.2.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Při tomto způsobu jsou napájeny vždy dvě sousední fáze zároveň, rovnovážná poloha tedy leží v ose těchto vybuzených pólových nástavců statoru. Jelikož se také jedná o čtyřtaktní řízení, vystřídají se čtyři kombinace napájení fází a to AB, BC, CD, DA pro jeden směr a v opačném pořadí pro druhý smysl otáčení. [4]



Obrázek 11: Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový krokový motor.

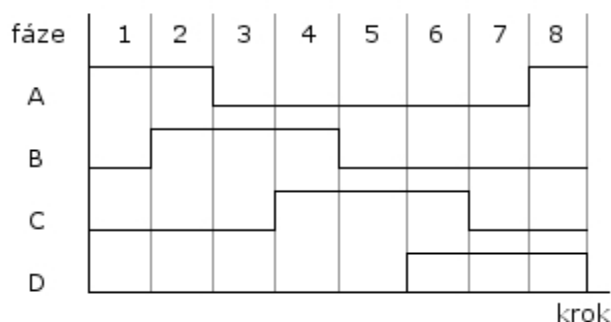


Obrázek 12: Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro bipolární dvoufázový hybridní krokový motor.

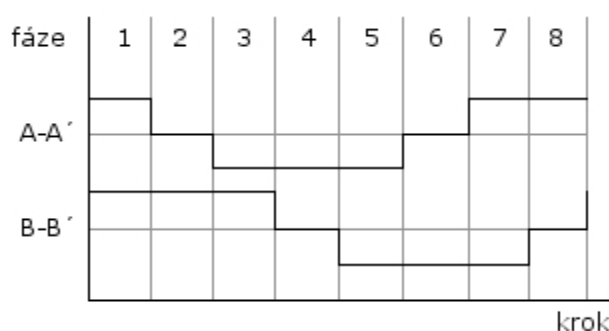
Výhodou oproti řízení s magnetizací jedné fáze je zvýšení statického vazebního momentu krokového motoru, nevýhodou je dvojnásobná spotřeba energie. [4]

2.2.3 Osmitaktní řízení

Osmitaktní řízení, neboli řízení s polovičním krokem, vzniká složením předchozích dvou způsobů řízení a to tak, že se mezi kombinace jednofázové vloží dvoufázové kombinace. Konkrétně jde posloupnost buzení fází v sekvenci A, AB, B, BC, C, CD, D, DA pro jeden směr a v pro druhý směr jde sekvence opačně. Tímto způsobem řízení dosáhneme u krokového motoru polovičního kroku otáčení (například u motoru s krokem $1,8^\circ$ bude při osmitaktím řízení krok $0,9^\circ$).



Obrázek 13: Časové průběhy osmitaktního řízení pro čtyřfázový krokový motor.



Obrázek 14: Časové průběhy osmitaktního řízení pro dvoufázový hybridní krokový motor.

Výhodou tohoto řízení je dvojnásobný počet kroků na otáčku nevyžadující žádnou úpravu budících obvodů. Nevýhoda je různá velikost momentu díky střídání napájení jedné fáze (nižší moment) a dvou fází (vyšší moment). [4]

2.2.4 Mikrokrokování

Mikrokrokování umožňuje zmenšit konstrukčně danou velikost kroku na několik mikrokroků (v praxi je možné rozdělit jeden krok na maximálně 64 až 128 mikrokroků). Tato metoda vychází z dvoufázového řízení. Oproti magnetizaci dvou fází, kde jsou napájeny obě fáze proudem o stejné velikosti, zde jsou velikosti proudů v každém mikrokroku záměrně jiné. Pokud jsou vhodně voleny a řízeny poměry velikostí proudů mezi sousedními kroky, je možné dosahovat libovolných rovnovážných poloh mikrokroků. Aby bylo možné realizovat řízení mikrokrokováním je potřeba vícehladinový napájecí zdroj. Čím více mikrokroků požadujeme, tím vyšší budou nároky na napájecí a spínací obvody. Pro tento účel se vyrábí speciální integrované obvody k buzení krokových motorů schopné zajistit až 128 mikrokroků. [4]

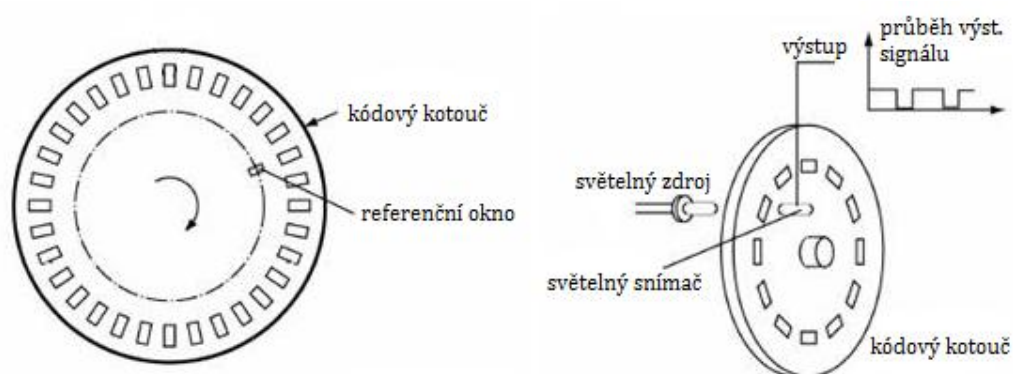
3 OPTICKÉ SENZORY NATOČENÍ

Optické senzory natočení patří mezi digitální senzory. Jejich hlavní předností je neomezený rozsah měřeného natočení a bezdotykové měření. Podle metody měření se dělí na inkrementální (přírůstkové) a absolutní.

3.1 Inkrementální senzor

Typické použití inkrementálních senzorů je ve zpětnovazebních systémech řízení rychlosti a polohy. Charakteristické vlastnosti jsou vysoké rozlišovací schopnosti, nízká hmotnost a malé rozměry.

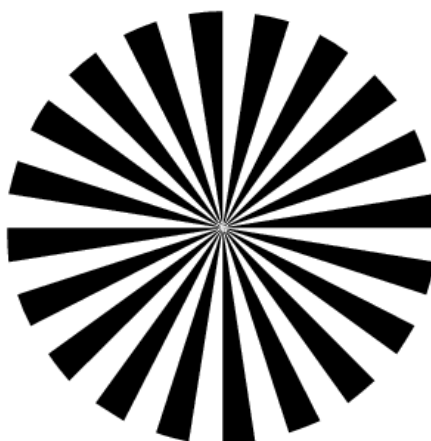
Princip činnosti vychází z jeho názvu, inkrementální neboli přírůstkový senzor je založen na otáčení kotouče, který má v mezikruží pravidelně rozmístěné průhledy. Při otáčení neprůhledné části mezikruží přerušují světlo emitované z LED diody, která je umístěna na jedné straně mezikruží. Z opačné strany naproti LED diodě je umístěn fototranzistor, který toto světlo zachycuje. Jedná se tedy o transparentní princip snímání. Výstupem z fototranzistoru je signál, který má periodu nepřímo úměrnou počtu otvorů na otáčku a rychlosti otáčení kotouče. Tento signál se často převádí komparátorem na obdélníkový průběh pro zřetelnější následovné zpracování.



Obrázek 15: Princip inkrementálního senzoru.

Kódový kotouč bývá někdy doplněn referenčním oknem, detekující výchozí (referenční) pozici. Generuje jeden pulz na otáčku, ten lze využít k najetí do referenčního bodu nebo také ke kontrole případné akumulované chyby polohy vlivem rušivých signálů.

Mimo transparentního snímání se využívá také reflexní princip. Kódový kotouč je pokrytý střídavě černými a bílými plochami. Kotouč je osvětlován LED diodou emitující světlo v infračervené spektru (IR – infrared), které se od kotouče odráží zpět na IR tranzistor. Tento princip využívá rozdílné pohltivosti a odrazivosti různých barev. Pro správnou funkci snímače by neměla být jeho vzdálenost od reflexního kotouče větší jak 2mm. [4]

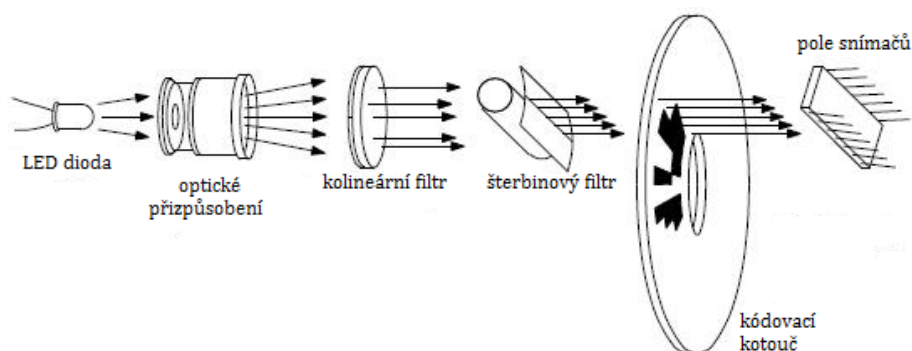


Obrázek 16: Kódový kotouč pro reflexní typ inkrementálního senzoru.

3.2 Absolutní senzor

Absolutní senzor používá komplikovanější typ kódování než senzor inkrementální. Jeho hlavní předností je absolutní údaj o pozici kotouče v rozsahu 0 až 360°, který získáme přímo ze senzoru. K tomu vyžaduje větší počet snímacích prvků a složitější kódovací kotouč. Senzor je vybaven také čítačem, který inkrementuje počet celých otáček. Obsah tohoto čítače a kód o úhlu natočení dává absolutní údaj o natočení.

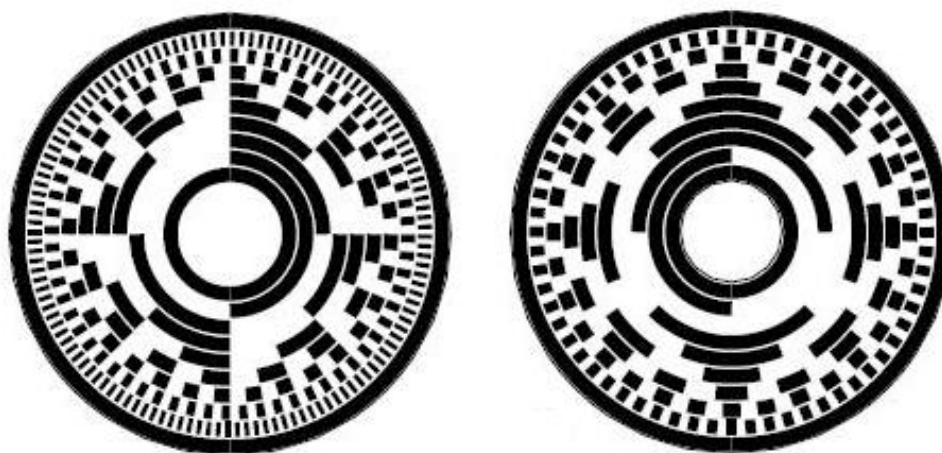
Světlo z LED diody je filtry upraveno na svazek optických paprsků, který je průchodem přes kotouč zakódován, prošlé paprsky zaznamenávají senzory, které sou rozmístěné tak, že jejich výstup je přímo binární informace o poloze kotouče.



Obrázek 17: Princip absolutního senzoru. [11]

Kódovací kotouče jsou nejčastěji používány ve dvou provedeních. Jejich funkce je stejná, ale zatím co první typ využívá klasické binární kódování, druhý používá Grayův kód (zrcadlový), ten je odolnější vůči chybám, jelikož sousední kombinace čísel se liší vždy maximálně v jenom bitu.

[4] [11]



Obrázek 18: Kódové kotouče absolutního senzoru (vlevo klasické binární kódování, vpravo využívající Grayův kód). [11]

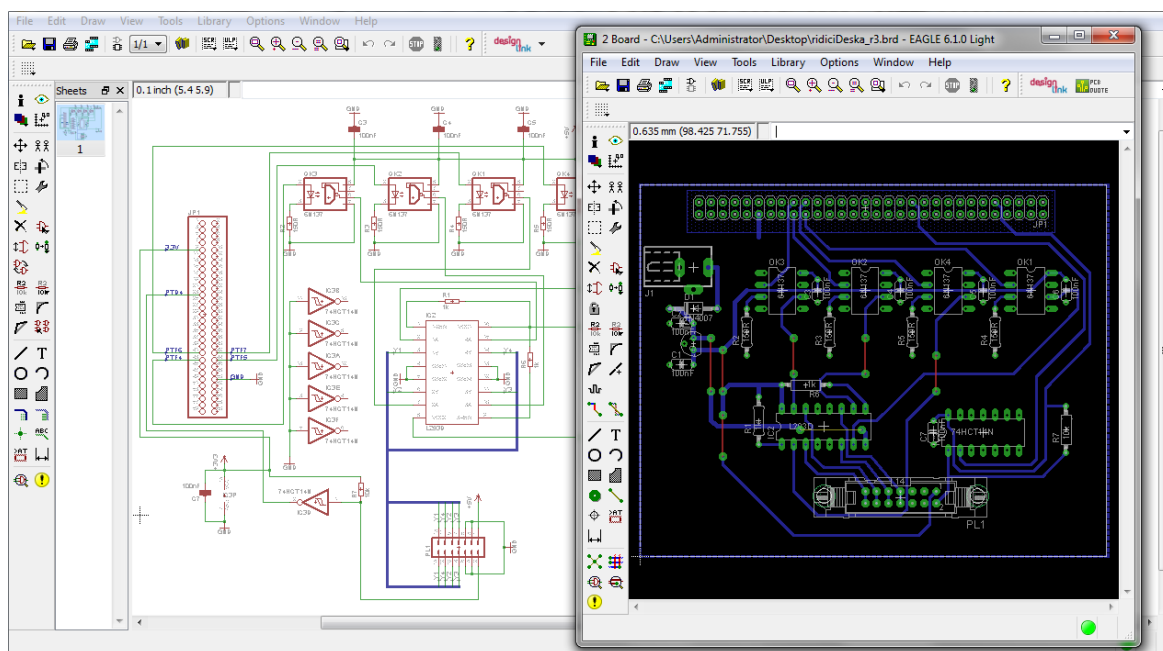
4 EAGLE

Program EAGLE (Easy Applicable Graphical Layout Editor) od firmy CadSoft je uživatelsky přívětivý a výkonný editor pro návrhy desek plošných spojů.

Program se skládá ze tří částí: editoru spojů, editoru schémat a autorouteru.

Hlavní přednosti programu jsou:

- dopředná a zpětná anotace v reálném čase
- výkonný uživatelský jazyk
- rozlišení 0,1 mikronu
- až 16 signálových vrstev
- až 99 listů jednoho schématu
- obsáhlá knihovna součástek

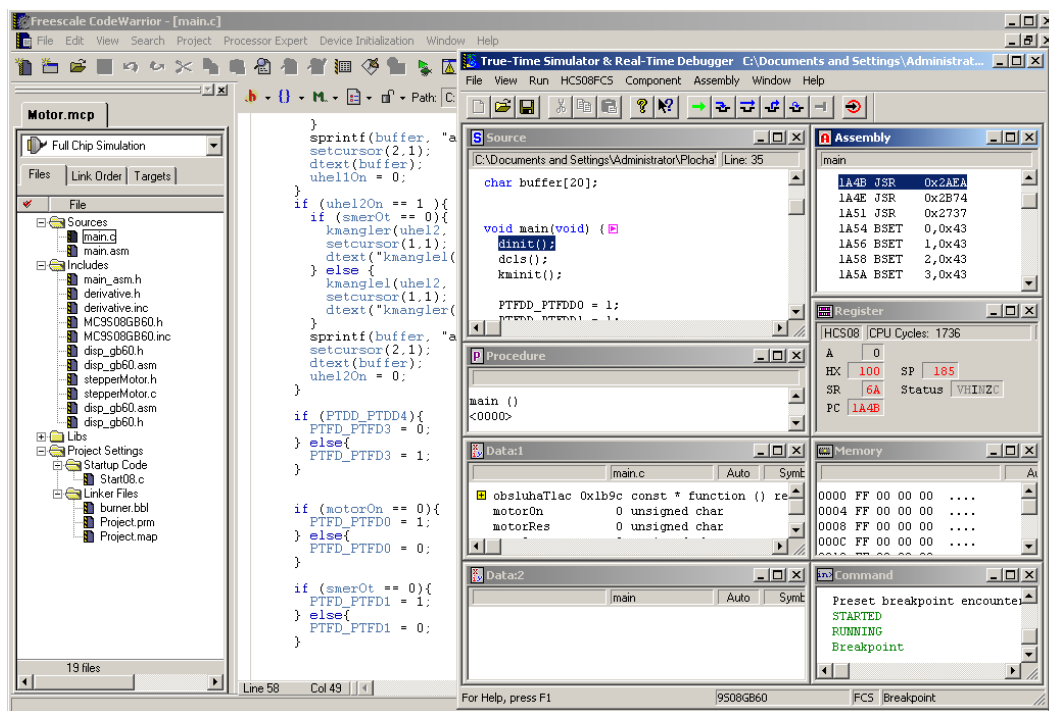


Obrázek 19: Editor plošných spojů CadSoft EAGLE.

5 CODEWARRIOR

CodeWarrior od firmy Freescale je komplexní vývojové prostředí, které umožňuje rychle vyvíjet i velmi náročné aplikace pro produkty firmy Freescale. Programovat je možné jak v jazyce symbolických adres (Assembler), tak i ve vyšších programovacích jazycích, konkrétně v jazyce C a C++.

Tento vývojářský balík obsahuje také výkonný simulátor/debugger True-Time Simulator & Real-Time Debugger pro odladění aplikací.



Obrázek 20: Vývojové prostředí Freescale CodeWarrior.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 HARDWAROVÁ ČÁST

Cílem práce bylo navrhnout a zrealizovat výukový modul krokového motoru pro vývojový kit Freescale M68VB908GB60, jež je popsán v teoretické části práce.

Vzhledem k velikosti a váze krokového motoru je modul rozdělen na dvě části. První část modulu, na které jsou umístěny obvody pro buzení vinutí krokového motoru, komunikaci s vývojovým kitem a úpravu signálu z optozávory, je usazena přímo na vývojovém kitu. Druhá část modulu je samostatná deska s krokovým motorem a otozávorou. Jejich propojení je realizováno plochým 14 žilovým kabelem.

Použitý krokový motor je od českého výrobce Microcon a jeho modelové označení je SX17-0402-09. Jedná se o dvoufázový hybridní krokový motor s bipolárním sériovým zapojením cívek. Zvláštností motoru je délka kroku pouze $0,9^\circ$ (u toho typu standardně $1,8^\circ$). Výrobce udávané parametry jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Technické parametry krokového motoru Microcon SX17-0402-09. [6]

Délka kroku	$0,9^\circ$	Odpor vinutí	$20\ \Omega$
Statický moment	$0,22\ \text{Nm}$	Zbytkový moment	$0,02$
Jmenovitý proud	$0,42\ \text{A}$	Moment setrvačnosti rotoru	$35\ \text{gcm}^2$
Indukčnost	$38,4\ \text{mH}$	Hmotnost	$0,22\ \text{kg}$

Na následujících stranách budou popsány problémy, které bylo nutno při návrhu hardwaru modulu vyřešit. Jedná se o:

- připojení modulu k vývojovému kitu
- buzení vinutí krokového motoru
- snímání otáček krokového motoru
- a napájení modulu.

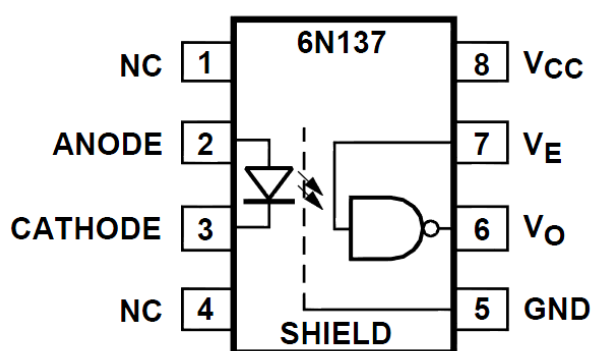
6.1 Propojení s kitem

Modul je k vývojovému kitu připojen přes MCU konektor. Výstupní signály z vývojového kitu jsou čtyři a slouží k řízení budiče vinutí krokového motoru. Vstup do kitu je jeden a to signál z optozávory. Zapojení jednotlivých vstupů a výstupů je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3: Zapojení vstupů a výstupů modulu.

Název	Port	Pin MCU konektoru
Řízení vinutí A	PTF7	42
Řízení vinutí A'	PTF6	41
Řízení vinutí B	PTF4	43
Řízení vinutí B'	PTF5	44
Signál z optozávory	PTD4	23
Napájení +3,3 V	--	9
Zem GND	--	50

Vzhledem k tomu, že na piny mikropočítače se nesmí dostat napětí vyšší jak 3,3 V, jsou pro větší bezpečí výstupy řízení budícího obvodu galvanicky odděleny. O to se starají čtyři optočleny s hradlem 6N137 (technické parametry na [12]) zařazené mezi MCU konektor a budící obvod motoru.

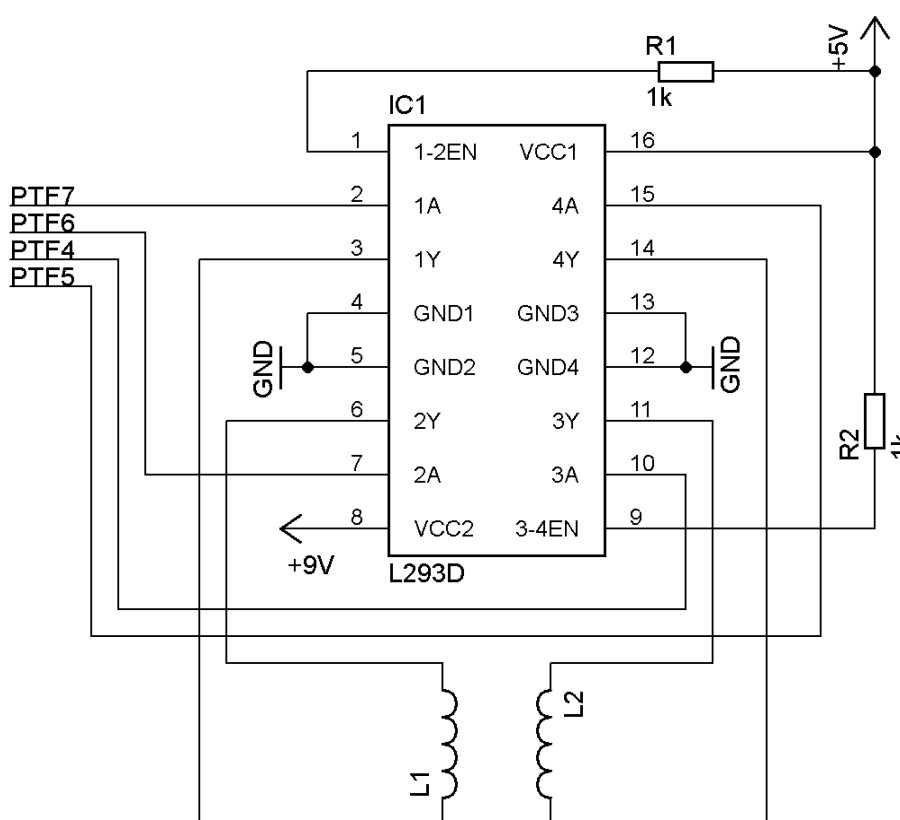


Obrázek 21: Vnitřní zapojení optočlenu s hradlem 6N137. [12]

Výstup MCU konektoru je vyveden na anodu optočlenu, katoda je přes odpor ($150\ \Omega$) připojena k zemi. Napájení V_{CC} je připojeno na +5 V a přes pull-up rezistor propojeno s výstupem optočlenu V_O . Pin GND je přiveden na zem. Výstup optočlenu je oproti vstupu invertovaný.

6.2 Buzení krokového motoru

Spínání cívek krokového motoru je realizováno přes výkonový integrovaný obvod L293D. Jedná se o dvojitý bipolární H-můstek s integrovanými ochrannými diodami a řídicí logikou (technické parametry na [13]).



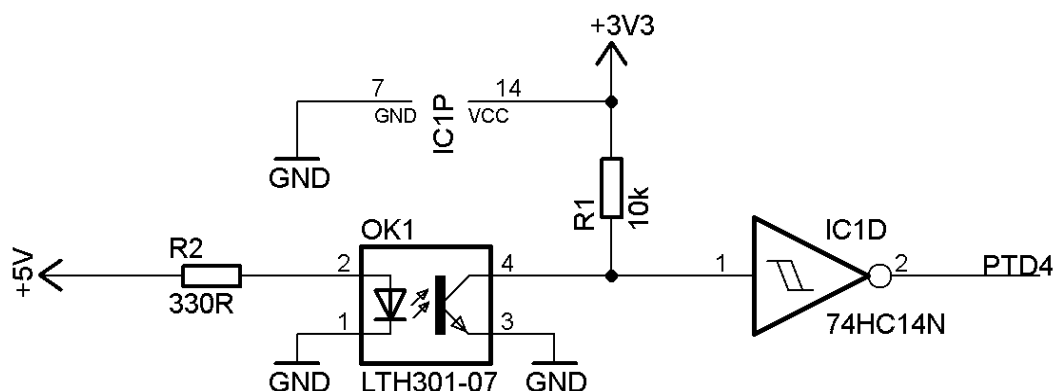
Obrázek 22: Obvod buzení motoru integrovaným obvodem L293D.

Vnitřní logické obvody můstku jsou napájeny napětím +5 V, toto napětí je přes rezistory R1 a R2 přivedeno také na vstupy 1-2EN a 3-4EN, které při logické hodnotě 1 povolují výstupy Y (rezistory jsou zde, jelikož pro povolení stačí nižší hodnota jak +5 V). Řídicí signály z mikropočítače jsou zapojeny na vstupy A, konkrétně výstupní signál řízení vinutí A na vstup budiče 1A, vinutí A' na 2A, vinutí B na 3A a konečně vinutí B' na vstup 4A.

Je-li na vstupu A a zároveň na vstupu EN logická úroveň 1 objeví se na příslušném výstupu Y napětí VCC2.

6.3 Snímání otáček krokového motoru

Zpětnou vazbu natočení motoru obstarává optozávora LTH301-07 (technické parametry na [14]) společně s kódovým kotoučem upevněný na hřídeli motoru. Rozlišení kotouče je 24 impulzů na otáčku. Pro vytváření hran signálu z optozávory byl použit integrovaný obvod 74HC14N (technické parametry na [15]), který obsahuje 6x Schmittův klopný obvod.



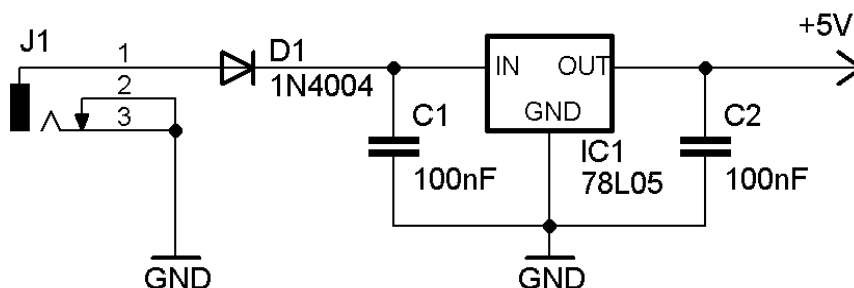
Obrázek 23: Obvod pro snímání pulzů od kódového kotouče.

Napájení +5 V je přes odpor R2 přivedeno na anodu LED optozávory, katoda je připojena na zem stejně jako emitor fototranzistoru. Kolektor je připojen přes pull-up rezistor R1 ke vstupu Schmittova obvodu. Napětí +3,3 V je vyvedeno z vývojového kitu a je použito jako napájení obvodu 74HC14N.

Pokud je kotouč zarovnaný s optozávorou tak, že světlo emitované z LED diody dopadá na fototranzistor, tak se otevře a začne jím procházet proud, tím pádem se na vstupu Schmittova obvodu objeví logická hodnota 0. Výstup je invertovaným vstup, tudíž do mikropočítače jde signál s logickou hodnotou 1. Pokud je fototranzistor zastíněný kotoučem, je uzavřený a neprochází jím proud, to znamená, že proud začne procházet Schmittovým obvodem a jeho výstup bude logická 0.

6.4 Napájení modulu

Modul je napájen zdrojem s napětím 9 V, který je připojený přes jack konektor. Jelikož vyžaduje i jiné úrovně napětí je z vývojového kitu vyvedeno napětí 3,3 V na napájení integrovaného obvodu 74HC14N. Dále je potřeba napájet optočleny a logické obvody budiče L293D napětím 5 V, toho bylo docíleno upravením devíti voltového zdroje stabilizátorem 78L05.



Obrázek 24: Zapojení stabilizátoru 78L05.

6.5 Výroba modulu

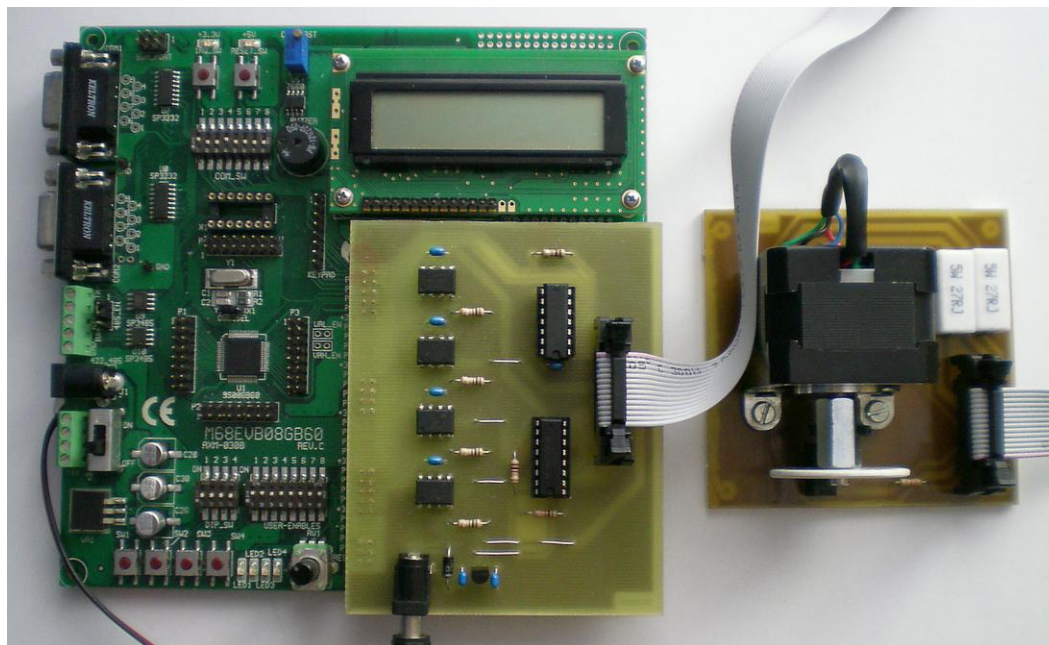
Nejprve je potřeba navrhnout desky plošných spojů, k tomu ideálně poslouží editor EAGLE popsany v teoretické části. Vytvořené motivy desek se vytisknou nejčastěji na průhlednou fólii nebo pauzovací papír. Takto natištěné fólie nebo papíry se přitisknou na cuprexit s fotocitlivou vrstvou a osvítlí se zdrojem UV světla. Doba osvětlení závisí na síle zdroje UV světla.

Dalším krokem je vyvolání desek ponořením do zředěného hydroxidu sodného (NaOH). Tím se dosáhne smytí osvětlené fotocitlivé vrstvy, pod kterou zůstane měděná vrstva určená k odleptání.

K leptání v domácích podmínkách se používá chlorid železitý (FeCl_3). Desky se položí na hladinu tohoto roztoku měděnou vrstvou dolů, tím se odleptá měď, na které nezůstala fotocitlivá vrstva. Doba leptání závisí na teplotě leptacího roztoku, při pokojové teplotě může tento proces trvat i několik hodin, proto se doporučuje roztok ohřát na teplotu kolem 50 °C, poté se doba leptání pohybuje v řádu desítek minut. Po skončení je třeba desky očistit od zbytků roztoku a fotocitlivé vrstvy a natřít pájivým lakem aby měď nezoxidovala.

Následujícím krokem je vrtání otvorů pro vývody součástek. Nejlepším způsobem je vrtání modelářskou vrtačkou upevněnou ve stojanu. Pro většinu součástek je vhodná velikost vrtáku 0,8 mm, pro konektory 1 mm. po vyvrtání se deska osadí součástkami a zapájí.

Jakmile jsou všechny součástky připájené, zkontrolují se případné zkratky a desky se ožíví. Po kontrole napětí na vstupech a výstupech do mikropočítače je modul připraven na připojení k vývojovému kitu.



Obrázek 25: Modul krokového motoru připojený k vývojovému kitu.

7 SOFTWAREVÁ ČÁST

Softwarová část práce měla za úkol vytvořit k modulu podpůrnou knihovnu podprogramů a demonstrovat jejich funkci na ukázkovém programu. Knihovna byla podle zadání vytvořena v jazyce C a následně také v jazyce symbolických adres (Assembleru). Funkce obou knihoven se neliší, proto popis jednotlivých podprogramů bude společný pro obě knihovny.

7.1 Knihovna funkcí

Knihovna obsahuje jak základní nízkourovňové funkce, jako je vykonat jeden celý krok nebo poloviční krok, tak i pokročilé funkce, které umožňují konstantní otáčení motoru se zadanou rychlostí a směrem nebo natočení o žádaný uhel či počet kroků. Zpětnou vazbu tvoří podprogramy, jejichž výstupem je rychlost otáček a počet vykonaných kroků.

Jelikož smysl otáčení je relativní podle směru, ze kterého motor pozorujeme, bude uvažováno, že při pohledu na kódový kotouč je směr otáčení vpravo ve směru hodinových ručiček.

sminit

Deklarace funkce: *void sminit(void)*

Je to inicializační funkce modulu a je potřeba ji volat jako první. Jde o bezparametrovou funkci. Jejím úkolem je nastavení pinů 4 až 7 portu PTF jako výstupní (slouží k řízení krokového motoru), aktivace časovače TPM2 a nastavit kanál 1 tohoto časovače do režimu input capture (zachycení impulzů ze optozávory).

smclr

Deklarace: *void smclr(void)*

Jedná se také o bezparametrovou funkci, která po zavolání odpojí vinutí krokového motoru od napájení. Děje se tak vysláním logické 1 na 4 až 7 pin portu PTF (úroveň signálu je na optočlenech invertována, takže na vstupy budiče je přivedena logická hodnota 0).

smstepr a smstepl

Deklarace: *void smstepr(void)*, *void smstepl(void)*

Obě funkce plní podobný úkol, po zavolání sepnou určitou kombinaci cívek motoru tak, aby vykonal jeden celý krok (čtyřtaktní řízení s buzením dvou fází, viz teoretická část). Zavoláním

smstepr motor vykoná krok vpravo, **smstepl** krok vlevo. Funkce je opět bezparametrová a sama si drží informaci o minulém kroku. Sepnuté vinutí zůstává napájeno po celou dobu, dokud uživatel nepřikáže jinak. Proto je vhodné, pokud není třeba, aby byly vinutí dále napájeny, použít funkci **smclr** pro jejich uvolnění.

smhstepr a smhstepl

Deklarace: *void smhstepr(void), void smhstepl(void)*

Pro tyto dvě funkce platí stejné jako pro předchozí, zavoláním vybudí určitou kombinaci vinutí, ale s rozdílem, že zde jde o řízení osmitaktní, to znamená, že motor se pootočí o polovinu kroku, princip toho řízení je také probírán v teoretické části. Analogicky s předchozími, funkce **smhstepr** otáčí hřídel doprava, **smhstepl** doleva. Opět je vhodné po skončení krokování uvolnit vinutí motoru funkcí **smclr**.

smstepsr a smstepsl

Deklarace: *void smstepsr(int steps, char speed), void smstepsl(int steps, char speed)*

Účel funkcí je vykonání zadaného počtu kroků se zvolenou rychlostí. Z toho vyplývá, že vstupní parametry jsou dva. První je typu *integer* a předává se jím počet kroků, které má krokový motor vykonat, druhý, typu *char*, určuje rychlost otáčení. Požaduje-li uživatel otáčet hřídeli v pravém smyslu, použije **smstepsr**, v opačném případě **smstepsl**.

Po zavolání funkce je vynulována proměnná pro počítání provedených kroků, následuje zavolání vnitřní funkce **setSpeed**, která z předané rychlosti vypočítá příslušné MODULO. Poté se zapíše počet kroků, který se má vykonat a je povoleno volání vnitřní funkce **doSteps** v obsluze přerušení od časovače. Úkolem funkce **doSteps** je po zavolání z přerušení zkontrolovat, zda již nebyl vykonán žádaný počet kroků a pokud tomu tak není zavolat funkci **smstepr** nebo **smstepl** podle směru otáčení a také inkrementovat proměnnou udávající počet vykonaných kroků. Pokud je počet vykonaných kroků roven počtu žádaných funkce zakáže její další volání z obsluhy přerušení a následně je zavolána funkce **smclr** pro uvolnění vinutí motoru.

Jelikož je krokování řešeno pomocí časovače, hlavní program během vykonávání pokračuje dál v činnosti. Předávání parametrů pro knihovnu v Assembleru je přes registry H:X a A, kde v H:X se předává počet kroků a v registru A rychlost otáčení.

smangler a smanglel

Deklarace: *void **smangler**(int angle, char speed), void **smanglel**(int angle, char speed)*

Jsou velice podobné předchozím dvěma, jen s jedním rozdílem a to že vstupní parametr není počet kroků, ale úhel ve stupních, o který se má hřídel otočit. Pro otáčení doprava je funkce **smangler**, doleva **smanglel**. Princip je obdobný jako u předchozích funkcí, jen byl přidán přepočít ze stupňů na počet kroků. Také do Assembleru jsou parametry předávány stejným způsobem, v registru H:X úhel natočení a v registru A rychlost otáčení.

smrot

Deklarace: *void **smrot**(char dir, char speed)*

Po zavolání této funkce se motor bude otáčet zadanou rychlostí a směrem. Z toho vyplývá, že vstupní parametry jsou opět dva. Prvním je směr otáčení, je typu *char* a jsou očekávány hodnoty 0 nebo 1, nula pro rotaci vpravo, jedna pro rotaci vlevo. Druhý parametr je také typu *char* a uživatel jeho pomocí zadává rychlost otáčení.

Princip je takový, že po zavolání si funkce uloží požadovaný směr otáčení a zavolá vnitřní funkci **setSpeed**, která vypočítá a nataví MODULO časovače. Dále je povoleno obsluhu časovače volat funkci **smstepr** nebo **smstepl** v závislosti na zadaném směru otáčení.

Motor se zastaví při zavolání funkce s nulovou rychlostí, zakáže se volání krokovacích funkcí z obsluhy přerušení časovače. Ovšem vinutí motoru zůstávají napájeny, proto je opět vhodné použít funkci **smclr**.

Předání parametrů v Assembleru je následující, směr otáčení je předán v registru X a rychlost v registru A.

smrpm

Deklarace: *char **smrpm**(void)*

Je funkcí bez vstupních parametrů a s jednou návratovou hodnotou. Tou je rychlost otáčení v otáčkách za minutu. Je získána z času, který uplyne mezi dvěma otvory v kódovém kotouči na hřídeli motoru. K zachycení těchto pulzů je využit input capture mód časovače. Ten podle nastavení vyvolá přerušení při vzestupné nebo sestupné hraně nebo při obou změnách signálu. V tomto případě byla zvolena vzestupná hrana. V obsluze přerušení je zapsán stav čítače a počet přetečení časovače. Z důvodu větší rozmanitosti zadání při výuce je použit jeden časovač

(TPM2) jak pro otáčení motoru, tak pro zpětné snímání otáček. Úhel mezi dvěma otvory kotouče je 15° , to při kroku motoru $0,9^\circ$ znamená minimálně 16 přetečení (záleží na výchozím stavu čítače při prvním pulzu), proto je velmi důležité tento počet přetečení zaznamenávat a následně použít při výpočtu.

Výsledná rychlost je předána jako typ *char*, v Assembleru přes registr A.

smstepcnt a smstepcntr

Deklarace: *int smstepcnt(void), void smstepcntr(void)*

Funkce **smstepcnt** má za úkol sdělit počet kroků motoru. Jedná se o jednoducho funkci, co předává hodnotu proměnné, která se inkrementuje při každém kroku motoru. Návrátová hodnota je typu *int*, v Assembleru je předána registrem H:X.

Naopak funkce **smstepcntr** počet provedených kroků nuluje. Volá se bez parametrů.

7.2 Ukázkový příklad

Za účelem demonstrace funkčnosti modulu byl vytvořen ukázkový program. Pro ovládání je využit potenciometr a čtveřice tlačítek integrovaných na vývojovém kitu a k zobrazení informací o průběhu programu slouží dvouřádkový displej, který taktéž patří mezi integrované periferie kitu.

Po spuštění programu se povolí přerušení od tlačítek, provede se inicializace krokového motoru, displeje a A/D převodníku.

V hlavním menu je na tlačítko SW1 přiřazená funkce **smrot**, prvním stiskem tlačítka je motor aktivován, druhým stiskem se vypíná. Rychlost otáčení se volí potenciometrem a směr rotace v nastavení (viz dále).

Tlačítko SW2 slouží pro funkci **smangler**, respektive **smanglel**. Jeho stiskem se jako první funkce resetuje (zavolá s nulovými parametry) a následně volá s parametry, které požadujeme. Při spuštění je nastaven úhel 360° a směr otáčení vpravo (volání **smangler**). Rychlost otáčení závisí na hodnotě z A/D převodníku (nastavení potenciometru).

Funkce **smstepsr**, respektive **smstepsl**, je na tlačítku SW3. Funkce je obdobná jako předchozí. Inicializační počet kroků je 400 a směr rotace doprava.

Stiskem tlačítka SW4 se dostáváme do menu „Nastavení“, kde je možné měnit směr otáčení, úhel nebo počet kroků natočení. V pořadí v jakém jsou volby vypsány, jsou přiřazeny tlačítkům SW1, SW2 a SW3. Tlačítko SW4 slouží pro návrat zpět.

Pro změnu směru otáčení tedy stiskneme tlačítko SW1, tím přejdeme do menu „Smer otaceni“. Dalším stiskem SW1 provedeme změnu směru. Tlačítko SW4 má opět funkci návratu o úroveň níž v menu, případně delším stiskem přímo do hlavní nabídky (platí kdekoliv v nastavení).

Změna úhlu je pod tlačítkem SW2, po jeho stisku se zpřístupní nabídka „Uhel natoceni“. Zde SW3 nastavuje hodnotu, kterou budeme přičítat nebo odečítat od stávajícího úhlu (jde o čísla 1, 10 a 100). Tlačítko SW1 je zmenšení uhlu o hodnotu nastavenou tlačítkem SW3, tlačítko SW2 tuto hodnotu přičítá.

V nabídce „Nastavení“ zbývá poslední nepopsaná položka a tou je počet kroků. Do tohoto menu se dostaneme tlačítkem SW3. Funkce je obdobná jako při změně úhlu.

Na displeji jsou zobrazovány informace o stavu programu. V nastavení je na prvním řádku zobrazován název aktuálního menu a na druhém řádku měněná hodnota.

V hlavní nabídce displej zobrazuje na horním řádku název funkce, která se vykonává a také směr otáčení u funkce **smrot**, zadaný úhle pro funkci **smangler**, resp. **smanglel** nebo počet kroků při **smstepsr** (**smsteps1**). Druhý řádek informuje o aktuálních otáčkách v případě **smrot**, zde je využita funkce **smrpm**, nebo o počtu provedených kroků u ostatních funkcí. Tato informace je získána voláním funkce **smstepcnt**.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat výukový modul krokového motoru pro vývojový kit Freescale M68VB908GB60 do předmětu Programování mikropočítačů a vytvořit podpůrnou knihovnu funkcí pro jeho řízení.

V teoretické části je popsán použitý mikropočítač a vývojový kit a dále je čtenář seznámen s problematikou krokových motorů, kde jsou popsány nejpoužívanější typy krokových motorů, principy jejich činnosti a způsoby řízení. Je zde také kapitola věnovaná způsobu funkce optických senzorů natočení a v závěru teoretické části je popsán software použitý při návrhu modulu, jde o editor plošných spojů CadSoft EAGLE a vývojové prostředí Freescale CodeWarrior.

Praktická část je rozdělena na dvě hlavní kapitoly, první je věnována hardwarovému řešení modulu krokového motoru. Ta obsahuje čtyři podkapitoly popisující jednotlivé celky modulu, které se starají o komunikaci s vývojovým kitem, buzení vinutí krokového motoru, snímání rychlosti otáček a napájení modulu. V páté podkapitole je uveden popis výroby modulu.

Druhá polovina praktické části se zabývá softwarem pro řízení modulu. Podle zadání práce byla vytvořena podpůrná knihovna funkcí jak v jazyce symbolických adres, Assembleru, tak v jazyce C. Jednotlivé funkce této knihovny jsou zde popsány z hlediska účelu, principu funkce a jakým způsobem je očekáváno jejich volání. Jde o základní funkce, jako je inicializace motoru, vykonání jednoho celého nebo polovičního kroku, uvolnění vinutí, získání počtu provedených kroků, ale i o funkce pokročilé, které dovolují konstantní točení motoru nebo natočení o žádaný úhel či počet kroků.

Na popis funkcí navazuje část věnovaná ukázkovému příkladu, kde je demonstrována funkčnost hardwaru modulu i softwarové knihovny funkcí. Zároveň může sloužit jako námět pro zadání úkolů v seminářích předmětu Programování mikropočítačů.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this bachelor thesis was to design and implement training stepper motor module for Freescale M68VB908GB60 development kit for microcontrollers programming course and create a support library of functions for its management.

In the theoretical part is described used microcontroller and development kit and the reader is familiar with the issue of stepper motors, where are described the most common types of stepper motors, principles of the function and methods of their management. There is also a chapter devoted to the function of optical rotation sensors and the end of the theoretical section describes the software used to design the module, the CadSoft EAGLE printed circuit boards editor and the Freescale CodeWarrior development environment.

The practical part is divided into two main chapters. The first is dedicated to stepper motor module hardware solution. It contains four subsections describing the module units that are responsible for communication with the development kit, excitation stepper motor winding, scanning speed and power module. In the fifth subsection is a description of the module production.

The second half of the practical part deals with module management software. By the work entering was created support library of functions in assembler and in C language. The functions of this library are described in terms of purpose, the function principle and how are expected their calls. There are basic functions such as initialization of the motor, make one full or half step, release the winding, obtaining the number of performed steps. But there are also advanced functions that allowing constant motor rotation or rotation for requested angle or number of steps.

The description of the functions is followed by section devoted to illustrative example where there is demonstrated functionality of the module hardware and software functions library. It can also serve as theme for the award tasks in microcontrollers programming workshops.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FREESCALE SEMICONDUCTOR. HCS08 Family Reference Manual, Rev.1. [online]. 2003. Dostupné z: www.freescale.com
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08GB/GT Data Sheet, Rev.2.3. [online]. 2004. Dostupné z: www.freescale.com
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. M68EVB908GB60 User's Manual [online]. 2004. Dostupné z: www.freescale.com
- [4] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [5] Krokový motor. *PohonnaTechnika.cz* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [6] MICROCON. Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX [online]. 2005. Dostupné z: www.microcon.cz
- [7] Krokové motory. *Robotika.cz* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [8] Linear motors. *Intellidrives.com* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://intellidrives.com/AppNotes_linear_actuator_linear_stepper.htm
- [9] Stepper motor basics. Three Phase Electric Motor Site [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://threephaseelectricmotor.com/stepper-motor-basics/>
- [10] Elektrické pohony. *e-Automatizace.cz* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_el.html
- [11] Absolute Optical Encoders (Rotary Encoders). *Electricly.com* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://electricly.com/absolute-optical-encoders-rotary-encoders/>
- [12] 6N137 Data Sheet [online]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/optocleny-s-hradlem/6n137-p523-009/#dokumentace>
- [13] L293D Data Sheet [online]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/obvody-pro-rizeni-motoru-mustkove-budice/l293d-p399-017/#dokumentace>

- [14] LTH301-07 Data Sheet [online]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/optozavory-reflexni-optocleny/lth301-07-p521-040/#dokumentace>
- [15] 74HC14 Data Sheet [online]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/cmos-74hc00/74hc-14-p425-009/#dokumentace>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	Analog-Digital.
BDM	Background Debug Mode.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory.
FLL	Frequency Locked Loop.
IR	Infra Red.
I/O	Input/Output.
LCD	Liquid Crystal Display.
LED	Light-Emitting Diode.
PWM	Pulse Width Modulation.
RAM	Random Access Memory.
ROM	Read-Only Memory.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura mikropočítače MC9S08GB60. [2]	12
Obrázek 2: Registry CPU mikropočítače HCS08. [1]	13
Obrázek 3: Vývojový kit M68EVB908GB60. [3]	14
Obrázek 4: Krokové motory Microcon řady SX. [6]	17
Obrázek 5: Řez krokovým motorem s pasivním rotorem. [9]	18
Obrázek 6: Řez krokovým motorem s aktivním rotorem. [10]	19
Obrázek 7: Konstrukce hybridního krokového motoru. [5]	20
Obrázek 8: Možnosti zapojení dvoufázového hybridního krokového motoru. [6]	21
Obrázek 9: Řez hybridním lineárním krokovým motorem. [8]	21
Obrázek 10: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze.	22
Obrázek 11: Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový krokový motor.	23
Obrázek 12: Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro bipolární dvoufázový hybridní krokový motor.	23
Obrázek 13: Časové průběhy osmitaktního řízení pro čtyřfázový krokový motor	24
Obrázek 14: Časové průběhy osmitaktního řízení pro dvoufázový hybridní krokový motor.	24
Obrázek 15: Princip inkrementálního senzoru.	25
Obrázek 16: Kódový kotouč pro reflexní typ inkrementálního senzoru.	26
Obrázek 17: Princip absolutního senzoru. [11]	27
Obrázek 18: Kódové kotouče absolutního senzoru (vlevo klasické binární kódování, vpravo využívající Grayův kód). [11]	27
Obrázek 19: Editor plošných spojů CadSoft EAGLE.	28
Obrázek 20: Vývojové prostředí Freescale CodeWarrior.	29
Obrázek 21: Vnitřní zapojení optočlenu s hradlem 6N137. [12]	32
Obrázek 22: Obvod buzení motoru integrovaným obvodem L293D.	33
Obrázek 23: Obvod pro snímání pulzů od kódového kotouče.	34
Obrázek 24: Zapojení stabilizátoru 78L05.	35
Obrázek 25: Modul krokového motoru připojený k vývojovému kitu.	36

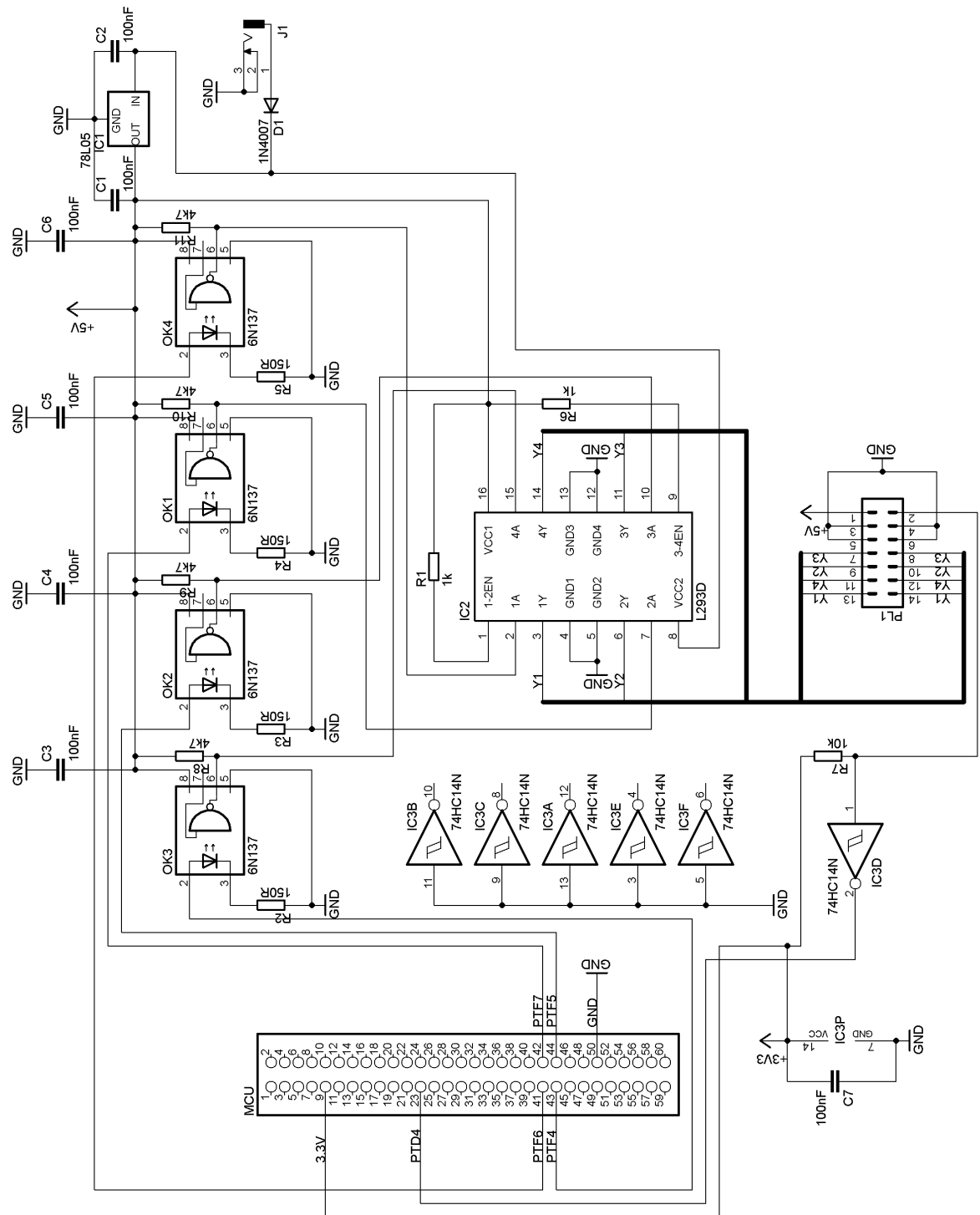
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdělení paměti mikropočítače MC9S08GB60. [2]	14
Tabulka 2: Technické parametry krokového motoru Microcon SX17-0402-09. [6]	31
Tabulka 3: Zapojení vstupů a výstupů modulu.	32

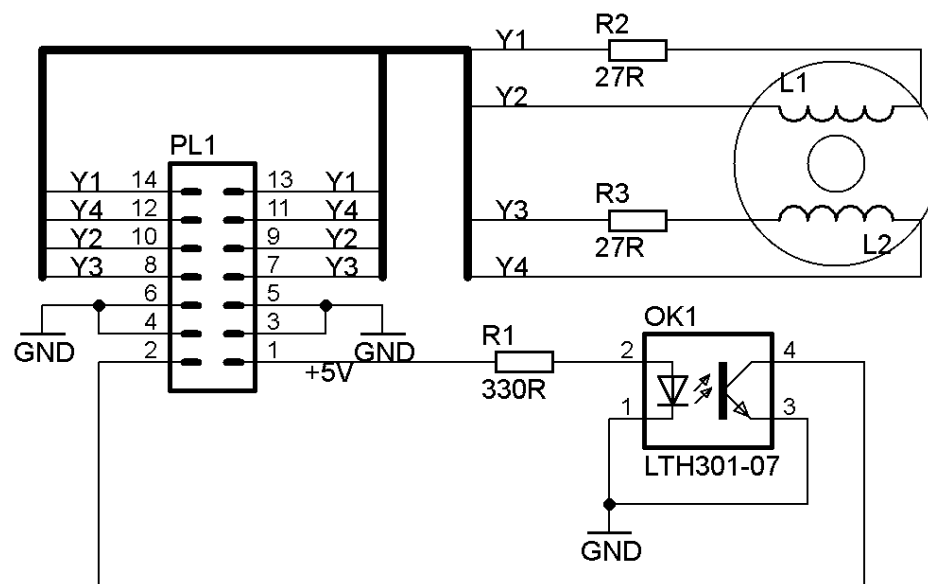
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Schéma zapojení řídicí části
- P II Schéma zapojení motorové části
- P III Motiv plošného spoje a osazovací plán řídicí části
- PIV Motiv plošného spoje a osazovací plán motorové části

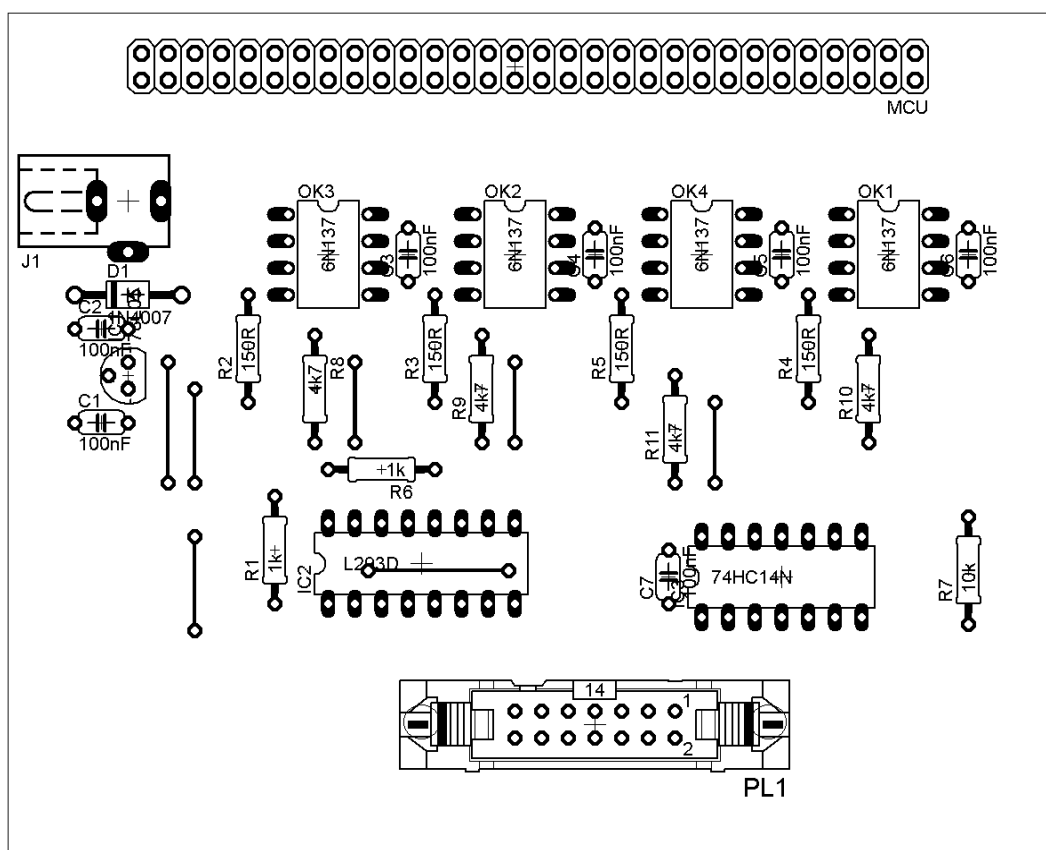
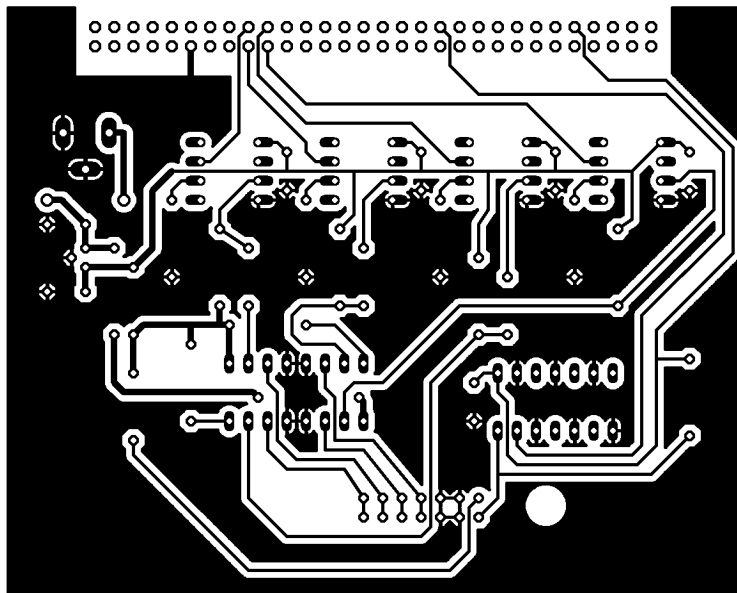
PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDICÍ ČÁSTI



PŘÍLOHA P II: SCHÉME ZAPOJENÍ MOTOROVÉ ČÁSTI



PŘÍLOHA P III: MOTIV PLOŠNÉHO SPOJE A OSAZOVACÍ PLÁN ŘÍDICÍ ČÁSTI



PŘÍLOHA P IV: MOTIV PLOŠNÉHO SPOJE A OSAZOVACÍ PLÁN MOTOROVÉ ČÁSTI

