

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Konstrukce řídicí jednotky pro jemné polohování
krokového motoru**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr CAFOUREK**
Osobní číslo: **E09B0251P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Konstrukce řídicí jednotky pro jemné polohování krokového motoru**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vhodné pohonné jednotky pro jemné polohování.
2. Navrhněte a realizujte řídicí modul pro lineární posuv krokového motoru.
3. Vytvořené technické a programové prostředky podrobně popište.

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


1. **Ďaďo, S.; Krejdl, M.: Senzory a měřicí obvody**
2. **Burkhard, M.: C pro mikrokontroléry**
3. **Firemní literatura a katalogy výrobců a dodavatelů pohonných jednotek**
4. **Elektronické informační zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce se zabývá konstrukcí řídicí jednotky pro jemné polohování krokového motoru. Teoretická část je zaměřena na krokové motory, způsoby řízení krokových motorů, mikrokrokování.

V praktické části jsou popsány jednotlivé komponenty použité v řídicí jednotce. Je podrobně rozepsán hlavní program a program pro pohyb krokového motoru. Na závěr praktické části jsou technické parametry řídicí jednotky a deska plošného spoje.

Klíčová slova

Krokový motor, ATmega32, LCD displej, L298N

Abstract

The presented bachelor theses is occupied with the design of the control unit for fine stepper motor positioning. The theoretical part is focussed on the stepper motors, means of the control of the stepper motors and microstepping.

All components which are used in the control unit are described in the practical part. There is also specified the main program in detail and the program for the movement of the stepper motor. At the end of the practical part there are specifications of the control unit and the board of the printed circuit.

Key words

Step motor, ATmega32, LCD display, L298N

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 6/6/2012

Petr Cafourek

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Čengerymu Ph.D. za výrobu desky plošného spoje.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ	8
SEZNAM ZKRATEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	11
ÚVOD	12
1.TEORETICKÁ ČÁST	13
1.1 KROKOVÝ MOTOR.....	13
1.2 ROZDĚLENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ	14
1.3 VINUTÍ KROKOVÉHO MOTORU	15
1.4 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ.....	16
1.4.1 Unipolární řízení.....	16
1.4.2 Bipolární řízení	18
1.5 PARAMETRY KROKOVÉHO MOTORU	20
1.5.1 Mikro krokování.....	21
1.6 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA KROKOVÉHO MOTORU.....	22
2.PRAKTICKÁ ČÁST	23
2.1 HARDWARE	23
2.1.1 Mikrokontrolér ATmega32-16PU	23
2.1.2 Budič L298N	26
2.1.3 LCD Displej L2432	27
2.2 SOFTWARE.....	29
2.2.1 Hlavní program.....	29
2.2.2 Program pro ovládání krokového motoru.....	31
2.3 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE	32
2.4 TECHNICKÉ PARAMETRY ŘÍDÍCI JEDNOTKY.....	32
ZÁVĚR	33
POUŽITÁ LITERATURA	34

Seznam symbolů

ϕ [°]	Úhel kroku
N [-]	Počet zubů rotoru
m [-]	Počet fází

Seznam zkratk

ISP	Programování uvnitř obvodu (I n S ystém P rogramming)
JTAG	(J oint T est A ction G roup)
KM	Krokový motor
DPS	Deska plošného spoje
H.A.L.	Povrchová úprava, při které se nanese cín s olovem na povrch vodičů pro lepší hájitelnost

Seznam obrázků

Obr. 1.	Krokový motor bipolární se čtyřmi vývody sériově	15
Obr. 2.	Schéma zapojení krokového motoru v režimu unipolárního řízení.....	16
Obr. 3.	Schéma zapojení krokového motoru v režimu bipolárního řízení.....	18
Obr. 4.	Momentová charakteristika krokového motoru	22
Obr. 5.	Zapojení krystalového oscilátoru	23
Obr. 6.	ATmega32-16PU – pouzdro PDIP.....	25
Obr. 7.	Schéma zapojení ATmega32	25
Obr. 8.	Schéma zapojení L298N	26
Obr. 9.	Schéma zapojení LCD displeje	28

Seznam tabulek

Tab. 1	<i>Unipolární jednofázové řízení s plným krokem</i>	.....17
Tab. 2	<i>Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem</i>	.....17
Tab. 3	<i>Unipolární řízení s polovičním krokem</i>	.....18
Tab. 4	<i>Bipolární jednofázové řízení s plným krokem</i>	.....19
Tab. 5	<i>Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem</i>	.....19
Tab. 6	<i>Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem</i>	.....20
Tab. 7	<i>Mikrokrokování – KM se čtvrtinovým krokem</i>	.....21
Tab. 8	<i>Tabulka funkcí pinů LCD displeje</i>	.....24
Tab. 9	<i>Zapojení jednotlivých portů na ATmega32</i>	.....24
Tab. 10	<i>Popis využitých pinů LCD displeje</i>	.....27
Tab. 11	<i>Parametry boxu a DPS</i>	.....32

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na zhotovení řídicí jednotky pro polohování krokového motoru. Začátek teoretické části je zaměřen na samotný krokový motor, kde jsou rozebrány jeho základní části, rozdělení krokových motorů dle několika základních hledisek a vinutí krokových motorů, s tím související i parametry krokového motoru.

Základní způsoby řízení krokových motorů jsou popsány v další teoretické části. Je popsáno především řízení krokových motorů podle způsobu řízení (bipolární, unipolární), podle počtu fází (jednofázové, dvoufázové) a podle kroku (s plným krokem, s polovičním krokem).

V závěru teoretické části je popsána momentová charakteristika krokového motoru, která udává schopnost motoru – bezpečný otáčivý pohyb bez vynechávání kroků, parametry krokového motoru a k závěru je popsáno mikrokrokování.

V praktické části jsou popsány komponenty použité v řídicí jednotce pro jemné polohování krokového motoru. Řídicí jednotka obsahuje mikrokontrolér ATmega32-16PU, která slouží pro řízení krokového motoru a pro komunikaci s displejem. Dalším komponentem řídicí jednotky je LCD displej (24x2 znaků), sloužící pro zobrazení informací o nastavování dorazů, aktuálních polohách motoru, atd. Pro buzení krokového motoru byl vybrán budič L298N.

V posledních úryvkách praktické části je popsán hlavní program, program pro řízení krokového motoru a na závěr jsou uvedeny technické parametry řídicí jednotky.

Teoretická část slouží k pochopení principu činnosti krokového motoru a jeho způsob řízení. Tyto znalosti byly využity k vytvoření řídicí jednotky a napsání programu pro řízení krokového motoru.

1. Teoretická část

Teoretická část je zaměřena na hlavní části krokového motoru, rozdělení krokového motoru podle několika základních hledisek, způsoby řízení krokových motorů (bipolární, unipolární). Závěr teoretické části je zaměřen na parametry krokového motoru (tj. i mikrokrokování) a momentovou charakteristiku krokového motoru, která je důležitá z pohledu bezpečného otáčení motoru bez vynechávání kroků.

1.1 Krokový motor

Krokový motor přeměňuje elektrickou energii na mechanickou (elektromechanická přeměna). Jako každý elektrický motor, tak i krokový motor rozdělujeme na 2 hlavní části:

- **Rotor**

Je pohyblivá část motoru, která se otáčí stejnou rychlostí jako magnetické pole ve statoru. Při nízkých otáčkách je pohyb rotoru krokového motoru nespojitý, pohybuje se po přesně definovaných krocích (kroky jsou dány počtem pólových dvojic statoru). Podle této vlastnosti je motor nazýván krokovým.

- **Stator**

Nepohyblivá část motoru, kterou prochází proud, tím se vytváří magnetické pole ve statoru. Magnetické pole přitahuje vždy opačný pól magnetu rotoru. Při postupném spínání cívek lze dosáhnout rotujícího magnetického pole, i otáčení rotoru. Podle způsobu řízení (unipolární či bipolární) je měněno magnetické pole statoru.

Krokový motor je speciální typ synchronního více-pólového motoru, který je většinou řízen impulsy stejnosměrného proudu. Při průchodu proudu cívkou statoru, se vytváří magnetické pole, které následně přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Natočení vznikne jako důsledek vybuzení některé cívky statoru proudovým impulsem.

Krokový motor nevykonává, jako většina motorů, spojitý pohyb, ale pohybuje se v krocích, které jsou definovány určitým úhlem natočení.

Vinutí je napájené stejnosměrnými impulsy, při vypnutí jednoho páru cívek a zapnutí dalšího páru cívek se rotor natočí do polohy s nejnižší reaktancí (magnetický odpor), při dalším kroku (vypnutím páru cívek a zapnutím dalšího páru cívek) se motor opět snaží dostat do polohy s nejmenší reaktancí → další klidová poloha.

Při pohybu krokového motoru ve vysokých rychlostech může nastat jistá nepřesnost jednotlivých kroků (obr 1.4).

1.2 Rozdělení krokových motorů

Lze se setkat s mnoha typy krokových motorů, mohou se lišit podle provedení konstrukce, podle způsobu řízení, počtem či barvou přívodních drátů, velikostí, hmotností, odporem vinutí.

Krokové motory jsou rozdělovány podle několika základních hledisek:

- ***Podle provedení konstrukce***
 - Krokový motor s pasivním rotorem
 - Krokový motor s aktivním rotorem
 - Hybridní krokové motory
 - Lineární krokové motory

- ***Podle způsobu řízení***
 - Unipolární
 - Bipolární

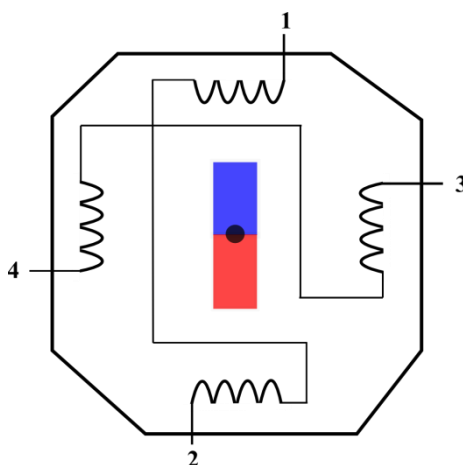
- ***Počet fází***
 - Jednofázové
 - Dvoufázové
 - Vícefázové

1.3 Vinutí krokového motoru

Existují různé způsoby vinutí. Vinutí krokového motoru může mít různý počet drátů (přívodních či napájecích). Počet přívodních drátů se liší podle počtu cívek ve vinutí, nebo jestli má vinutí napájecí drát. Níže je uveden bipolární krokový motor se čtyřmi vývody, který je též použit v této praktické části, u vinutí jsou vyvedeny konce cívek.

- **Krokový motor se 4 vývody v sérii**

Obr.1 je pouze pro ilustraci, v praxi by to znamenalo, že krokový motor by udělat na jednu celou otáčku pouze 4 kroky po 90°. V praxi se vyrábějí motory, které mají mnohem více cívek, tím lze docílit vyššího počtu kroků na jednu celou otáčku.



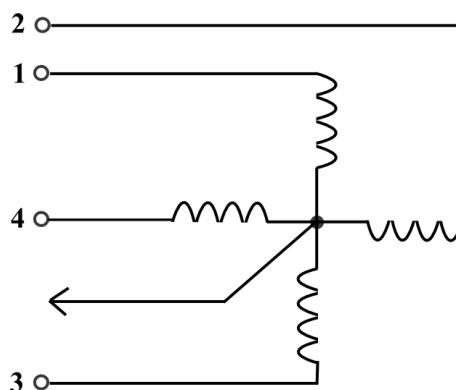
Obr. 1. Krokový motor bipolární se čtyřmi vývody sériově

1.4 Způsoby řízení krokových motorů

Řízení krokových motorů rozdělujeme na bipolárního a unipolárního, z toho plyne i způsob zapojení motoru, popřípadě zapojení vinutí krokového motoru. Dále rozdělujeme řízení na jednofázové či dvoufázové.

1.4.1 Unipolární řízení

Při unipolárním řízení prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Motor má nižší odběr, ale také nižší krouticí moment než u řízení bipolárního. Velkou výhodou unipolárního řízení je jednoduchost v zapojení a to, že k sepnutí jedné cívky je potřeba pouze jeden tranzistor nebo použití z některých integrovaných obvodů.



Obr. 2. Schéma zapojení krokového motoru v režimu unipolárního řízení

- **Unipolární jednofázové řízení s plným krokem**

Jak již bylo zmíněno, při unipolárním řízení prochází proud právě jednou cívkou. Pokud je přiveden impuls proudu na cívku 1, magnetické pole označené červeně, přitahuje modrý konec magnetu (rotoru). Dalším krokem je přiveden proudový impuls pouze na cívku 2 a rotor se pootočí.

Tab. 1. Unipolární jednofázové řízení s plným krokem

FÁZE 1	1	0	0	0
FÁZE 2	0	1	0	0
FÁZE 3	0	0	1	0
FÁZE 4	0	0	0	1

- **Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem**

Při dvoufázovém řízení se magnetické pole vytváří dvěma sousedními cívkami. Při jednom kroku jsou sepnuty dvě sousední cívky (označeny červeně), a magnetický konec rotoru se natočí mezi tyto dvě cívky. To znamená, že při prvním kroku jsou sepnuty cívky 1 a 2, při následujícím kroku se přivede impuls na cívky 2 a 3.

Tab. 2. Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem

FÁZE 1	1	0	0	1
FÁZE 2	1	1	0	0
FÁZE 3	0	1	1	0
FÁZE 4	0	0	1	1

- **Unipolární řízení s polovičním krokem**

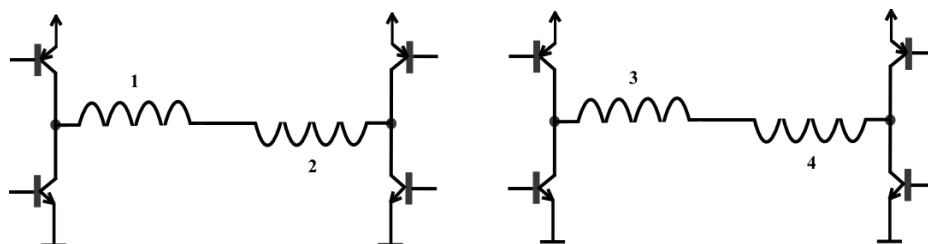
Unipolární řízení s polovičním krokem využívá jednofázového nebo dvoufázového unipolárního řízení krokového motoru. Buď je sepnuta jedna cívka, nebo dvě cívky, to nám umožňuje poloviční krok a tím i jemnější otáčení rotoru než bylo při plném kroku.

Tab. 3. Unipolární řízení s polovičním krokem

FÁZE 1	1	1	0	0	0	0	0	1	
FÁZE 2	0	1	1	1	0	0	0	0	
FÁZE 3	0	0	0	1	1	1	0	0	
FÁZE 4	0	0	0	0	0	1	1	1	

1.4.2 Bipolární řízení

Při bipolárním řízení prochází proud právě dvěma protilehlými cívkami. Cívky jsou zapojené tak, aby měli navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor se řídí dvěma H-můstky, pro každou větev jeden. Bipolární řízení má složitější zapojení, proto se nejčastěji používají některé integrované obvody (např. L298N).



Obr. 3. Schéma zapojení krokového motoru v režimu bipolárního řízení

- **Bipolární jednofázové řízení s plným krokem**

Jak již bylo zmíněno, při bipolárním řízení prochází proud právě dvěma protilehlými cívkami. Při přivedení proudového impulsu magnetické pole červeně označené přitáhne modrý konec rotoru a magnetické pole označené modře přitáhne červený konec rotoru.

Při následujícím kroku, tedy přivedení dalšího proudového impulsu, bude opět modrý konec rotoru přitáhnout červeně značeným magnetickým polem. A červený konec rotoru bude přitáhnout modře značeným magnetickým polem.

Tab. 4. Bipolární jednofázové řízení s plným krokem

FÁZE 1	1	0	+	1
FÁZE 2	0	1	0	+
FÁZE 3	+	0	1	0
FÁZE 4	0	+	0	1

- **Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem**

Při bipolárním dvoufázovém řízení s plným krokem jsou vždy sepnuty všechny cívky. Při prvním kroku jsou sepnuty dvě sousední cívky stejným proudovým impulsem a modrý konec rotoru se natočí právě mezi tyto dvě cívky. Červený konec rotoru je též natočen mezi dvě cívky označené modře. Následujícím proudovým impulsem se spínají další dvě sousední cívky a rotor se opět natočí mezi tyto cívky.

Tab. 5. Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem

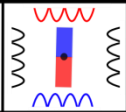
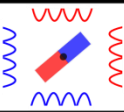
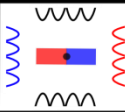
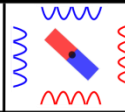
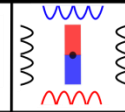
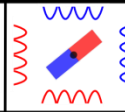
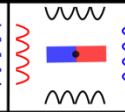
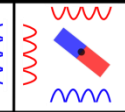
FÁZE 1	1	+	+	1
FÁZE 2	1	1	+	+
FÁZE 3	+	1	1	+
FÁZE 4	+	+	1	1

- **Bipolární řízení s polovičním krokem**

Posledním zmíněným způsobem krokování je bipolární krokování s polovičním krokem, které využívá obě předešlé metody ke zjemnění kroku a dosažení lepších přesností. Při přivedení proudového impulsu magnetické pole modře označené přitáhne červený konec rotoru a magnetické pole červeně značené přitáhne modrý konec rotoru.

Při následujícím kroku dojde k polovičnímu otočení, jelikož je sepnuta sousední cívka. Rotor s červeným koncem se natočí právě mezi tyto dvě sepnuté cívky. Modrý konec rotoru je přitáhnut mezi dvě červeně značené magnetické pole.

Tab. 6. Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem

								
FÁZE 1	1	1	0	+	+	+	0	1
FÁZE 2	0	1	1	1	0	+	+	+
FÁZE 3	+	+	0	1	1	1	0	+
FÁZE 4	0	+	+	+	0	1	1	1

1.5 Parametry krokového motoru

Krokové motory můžeme rozdělit podle několika základních parametrů:

- **Krok**

Je posun rotoru při přivedení jednoho řídicího impulsu, kdy se rotor přesune z výchozí pozice do pozice nejbližší s nejmenší reaktancí. Počet kroků je dán počtem pólových dvojic.

- **Úhel kroku**

Je jmenovitý úhel, který udává změnu polohy při průchodu jednoho impulsu, je ovlivněn konstrukcí krokového motoru.

$$\Phi = \frac{360^\circ * N}{m} \quad (1.1)$$

1.5.1 Mikrokrokování

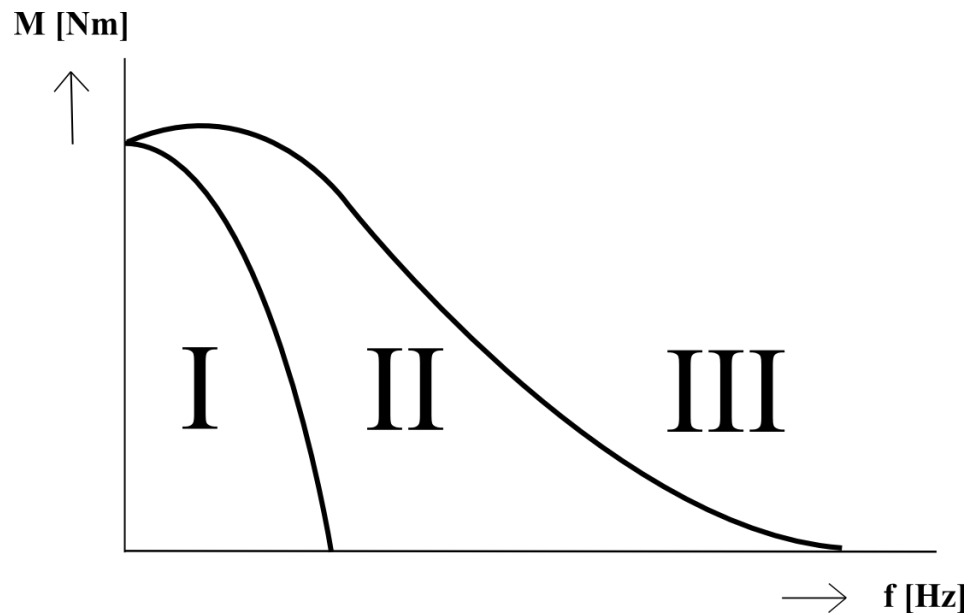
V některých případech, aplikacích, je vyžadováno jemnější otáčení krokového motoru, než je např. u řízení krokového motoru s plným nebo polovičním krokem. Jak již bylo zmíněno, úhel kroku lze ovlivnit konstrukcí krokového motoru. Lze se setkat s různými typy krokových motorů s různými úhly kroku.

Pojem mikrokrokování znamená, že lze daný krok rozdělit na libovolný počet stejně dlouhých úseků mezi dvěma kroky. Při normálním řízení s plným krokem nebo polovičním krokem je poměr proudů ve fázích vždy stejný. Při mikrokrokování mezi dvěma kroky se musí volit vhodný poměr proudů mezi dvěma sousedními cívkami.

Tab. 7. Mikrokrokování – KM se čtvrtinovým krokem

FÁZE 1	1	1	1	1/2	0	0	0	0
FÁZE 2	0	1/2	1	1	1	1	1	1/2
FÁZE 3	0	0	0	0	0	1/2	1	1
FÁZE 4	0	0	0	0	0	0	0	0

1.6 Momentová charakteristika krokového motoru



Obr. 4. Momentová charakteristika krokového motoru

- I. Oblast normálního krokování – schopnost krokového motoru se rozpohybovat, a sledovat změny kroků, při zastavení pulsů se bez přeběhu zastaví.
- II. Oblast otáčení – mez pro jeho schopnost sledovat napájecí impulsy
- III. Oblast vynechávání kroků – nesprávná činnost

2. Praktická část

2.1 Hardware

Tato část je zaměřena na použité komponenty v řídicí jednotce. Jedná se zejména o mikrokontrolér ATmega32-16PU, budič L298N a LCD displej L2432.

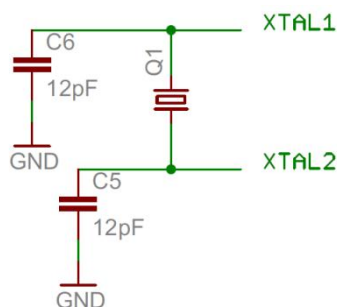
2.1.1 Mikrokontrolér ATmega32-16PU

Pro řízení krokového motoru byl vybrán 8-bitový mikrokontrolér od firmy Atmel, ATmega32-16PU. Jeho architektura je Hardwardského typu, má programovou a datovou paměť.

Základní parametry mikrokontroléru :

- 131 instrukcí
- 32 osmibitových registrů
- Propustnost až 16MIPS při 16MHz (MIPS - Million Instruction Per Second)
- 32KB Flash paměť- programová paměť
- 1024B EEPROM
- 2KB ROM – datová paměť
- 4 PWM kanály
- Operační napětí 4,5-5,5V

Je použit externí oscilátor 12MHz, který je zapojen na piny 12 a 13(XTAL1 a XTAL2). Pin XTAL1 slouží pro vstup do invertujícího zesilovače a pro vstup do vnitřního okruhu hodin. Pin XTAL2 je výstup z oscilátoru. Ke krystalovému oscilátoru jsou připojeny 2 keramické kondenzátory 12pF, doporučený rozsah pro kondenzátory C5 a C6 je 12-22pF.



Obr. 5. Zapojení krystalového oscilátoru

U každého pinu pro napájení mikrokontroléru je připojen 100nF keramický kondenzátor, který slouží k filtraci nežádoucích složek

- Na porty A jsou zapojeny piny LCD displeje

Tab. 8. Tabulka funkcí pinů LCD displeje

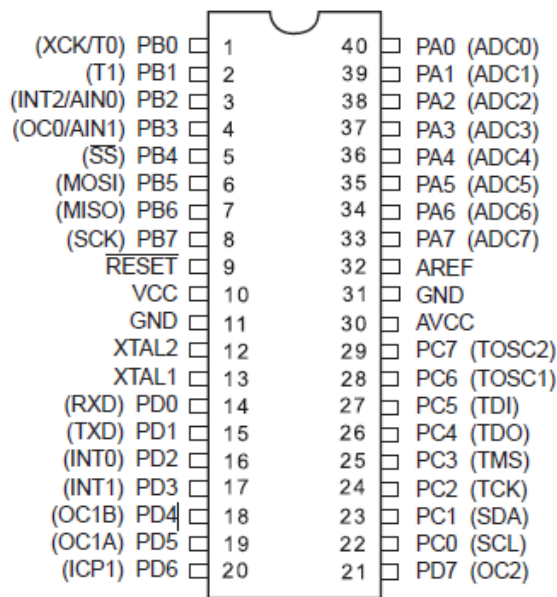
R/S	Nastavení data/příkaz pro LCD
E	Enable – potvrzení zápisu do LCD
R/W	Read/Write – zápis/čtení, pokud přivedeme log. „0“ provede se zápis nebo kontrola dat, při přivedení logické „1“ čteme data z LCD displeje
D0-D7	Datové porty

Podrobnější popis komunikace s LCD displejem v kapitole 1.7.3.

- Zapojení portů na ATmega32-16PU

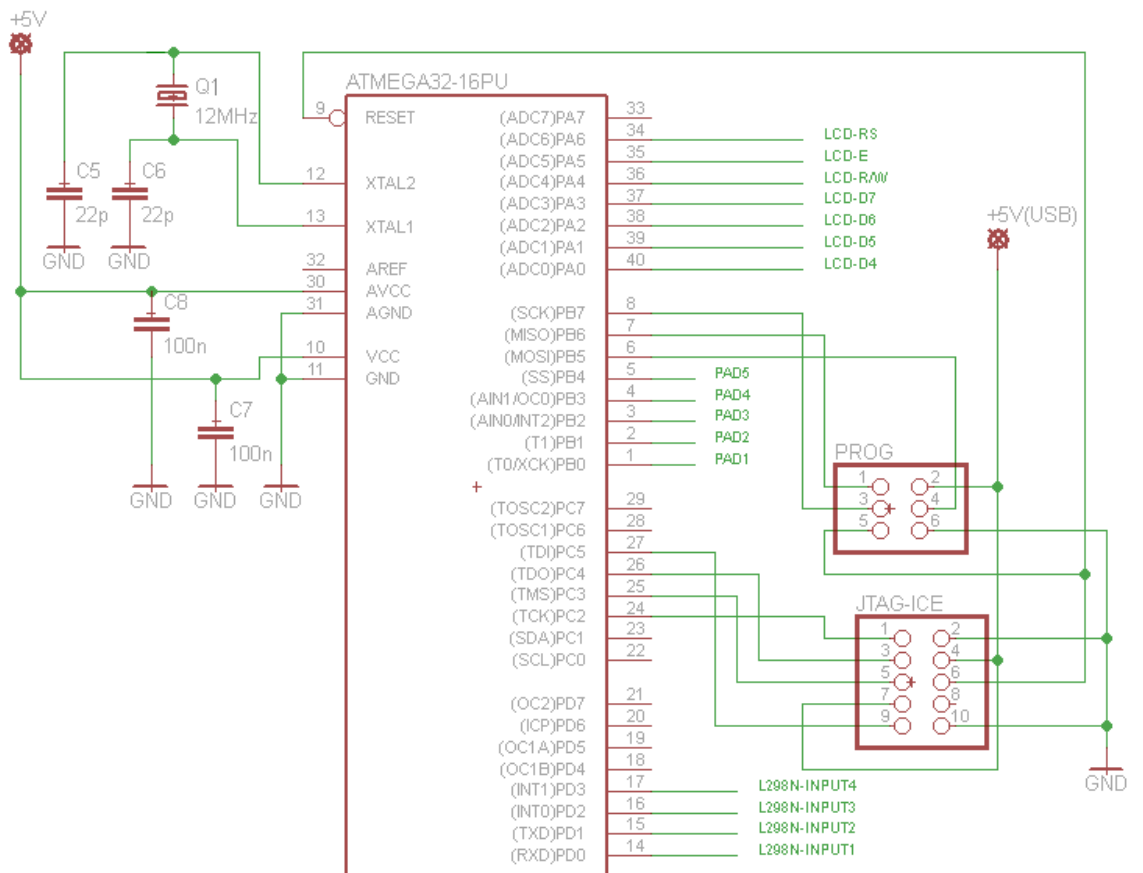
Tab. 9. Zapojení jednotlivých portů na ATmega32

Port	Připojení
A	LCD displej
B	Tlačítka, ISP, JTAG-ICE
C	ISP, JTAG-ICE
D	Řídící impulsy pro L298N



Obr. 6. ATmega32-16PU – pouzdro PDIP

• Schéma zapojení ATmega32

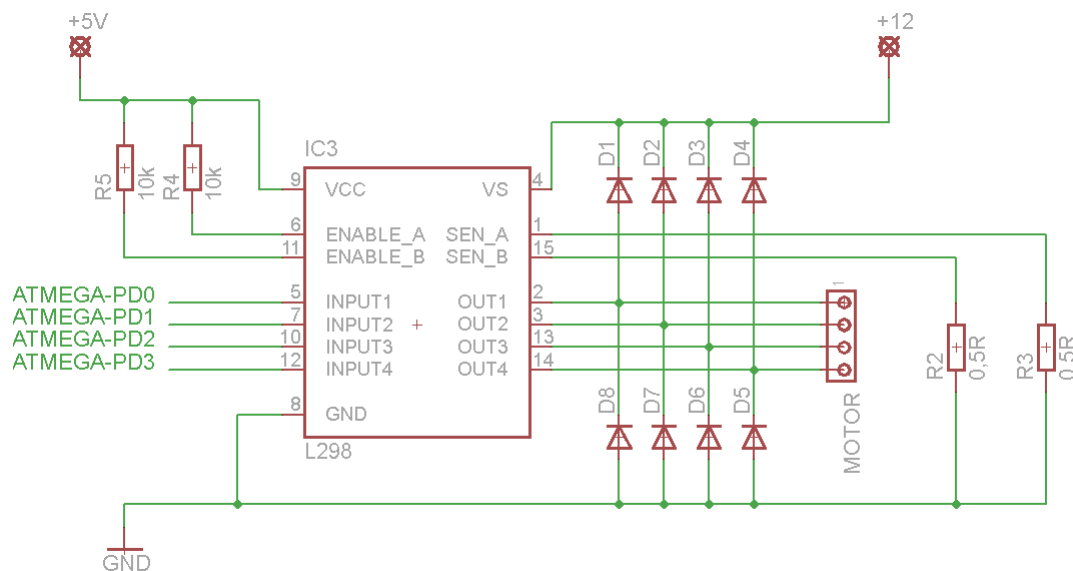


Obr. 7. Schéma zapojení ATmega32

2.1.2 Budič L298N

Integrovaný obvod L298N slouží pro buzení DC motorů, v této práci konkrétně pro buzení krokového motoru. Je tvořen dvěma H-můstky s maximálním proudem 2A.

- **Zapojení L298N**



Obr. 8. Schéma zapojení L298N

Na každém výstupu OUT1-OUT4 jsou připojeny dvě diody (celkem osm diod), které slouží k odvedení indukovaného proudu ve vinutí krokového motoru, proudy jsou o velikostech přibližně jedné ampéry. Diody musí být velmi rychlé (doba spínání $t_{rr} \leq 200\text{ns}$), a proto jsou použity diody BYW98-200, které mají doby spínání max. 35ns.

Mezi piny 1 a 15 (SEN_A, SEN_B) a zemí jsou zapojeny odpory R2,R3 (0,5 Ω), ty jsou připojeny z důvodu ovládní proudu, který protéká vinutím, do zátěže.

Proto, aby byla povolena/zakázána činnost obvodu, slouží dva odpory (10kΩ), které jsou připojeny k pinům 6 a 11 (ENABLE_A a ENABLE_B).

2.1.3 LCD Displej L2432

Pro nastavování krokového motoru, jeho polohy, rychlosti otáčení, směru otáčení, slouží zobrazovací jednotka.

Pro tuto práci, kde není potřeba vynášet žádné grafické informace, je použit znakový LCD displej L2432 (2x24 znaků) od firmy Seiko. LCD displej obsahuje řadič HD44780, který umožňuje posílání dat po čtyřech vodičích (4-bitová komunikace).

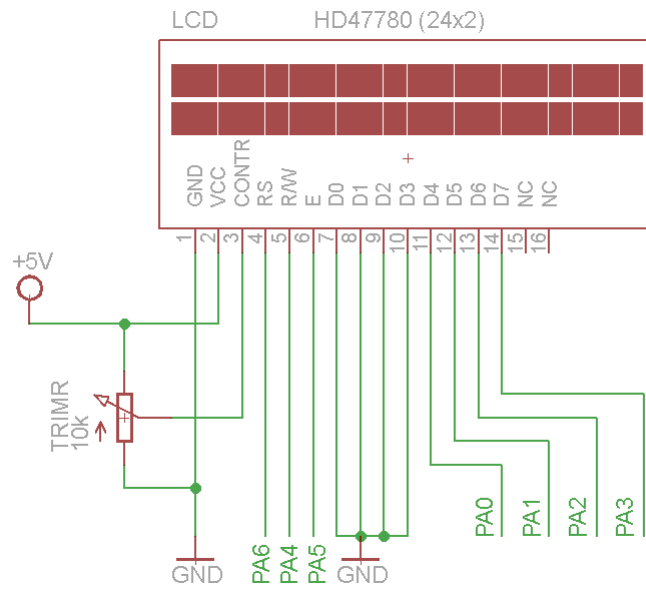
Při této volbě, 4-bitové komunikace, jsou piny D4-D7 datové, které slouží pro komunikaci. Piny D0-D3 jsou připojeny na zem. Na pinu 3(CONTR) je připojen trimr (10kΩ) pro nastavování jasu LCD displeje.

- ***Funkce jednotlivých pinů LCD displeje***

Tab. 10. Popis využitých pinů LCD displeje

R/S	Tento signál ukazuje, zda je do LCD posílán příkaz (instrukce) nebo data. Při log. „0“ je odeslán příkaz. Při log. „1“ jsou posílána data.
E	Enable – potvrzení zápisu do LCD
R/W	Read/Write – zápis/čtení, pokud je přivedena log. „0“ provede se zápis nebo kontrola dat, při přivedení log. „1“ čteme data z LCD displeje
D0-D7	Datové porty

- **Zapojení LCD displeje**



Obr. 9. Schéma zapojení LCD displeje

2.2 Software

Pro řízení, krokového motoru i zbytku celé řídicí jednotky, byl vybrán mikrokontrolér ATmega32-16PU, který je detailněji popsán v kapitole 2.1.1. Klasický ISP programátor dokáže pouze kompilovat zdrojový kód do strojového kódu, ale s použitím JTAG-ICE lze lépe odladovat chyby s použitím krokování v programu.

Jako vývojový program byl použit program AVR Studio, vyvinutý firmou ATMEL, který slouží pro převod zdrojového kódu do strojového kódu. Pro programování v jazyce C/C++ je nutno doinstalování WinAVR.

2.2.1 Hlavní program

Po hlavní inicializaci se nastaví brána PB (tj. piny PB0-PB7) jako výstupní. Poté následuje příkaz pro aktivaci interních pull-up odporů. Odpor je o velikosti 20-50k Ω .

Poté se provede inicializace samotného displeje. Po inicializaci se vypíše přivítání a poté hlavní menu. Program běží v nekonečné smyčce.

- `DDRB = 0x00;` // Všechny piny PB0-7 výstup
- `PORTB = 0xFF;` // U pinů PB0-7 pull-up odpor povolen

Následně jsou všechna data o aktuálních pozicích, vzdálenostech, rychlostech, přečtena z paměti EEPROM.

- *Příklad:* `vzdalenostPosuvu = eeprom_read_byte(&eeprombytevzdalenostPosuvu);`

Zápis do paměti EEPROM:

- *Příklad:* `eeprom_write_byte(&eeprombytevzdalenostPosuvu, vzdalenostPosuvu);`

Po přečtení dat z paměti EEPROM se vypíše úvodní menu a program se dostane do nekonečné smyčky. Program vyhodnocuje stisknutá tlačítka a uloží aktivní bity do temp1, poté program čeká na uvolnění tlačítka.

- *temp1 = PINB;* // Přečtení hodnoty portu B
- *for(i=0;i<65535;i++);* // zpoždění
- *temp2 = PINB;* // Přečtení hodnoty portu B
- *temp1 = (temp1 & temp2);* // uložení aktivních bitů při temp1 a temp2
- *while (temp1 == PINB) {};* // program čeká do uvolnění tlačítka

V programu hlavního menu je využíváno konverzní funkce pro převod čísla na řetězec. Funkce itoa převede číslo typu int na řetězec typu char. Radix určuje číselnou soustavu, tedy v programu na desítkovou soustavu.

- *itoa(int value, char *s, int radix)*

Program je tvořen několika funkcemi pro nastavení dorazů, pro nastavení posuvu krokového motoru, kontrola vzdálenosti.

- *void ControlVzdal(void);* // Před posunem krokového motoru testuje průběžnou vzdálenost vzhledem k dorazům
- *void prekresliDisplay_AktualniPozice(void);* // Vypíše na displej údaje o dorazech a aktuální pozici motoru mezi dorazy
- *void prekresliDisplay_rychlost(void);* // Pro nastavení prodlevy jednoho kroku
- *void prekresliDisplay_smer(void);* // Pro nastavení směru otáčení
- *void prekresliDisplay_vzdalenost(void);* // Nastavení vzdálenosti posunu KM
- *void prekresliDisplay_PlxPolKrok(void);* // Volba plného nebo polovičního kroku

- `void prekresliDisplay_DolniDoraz(void); // Nastavení dolního dorazu`
- `void prekresliDisplay_HorniDoraz(void); // Nastavení horního dorazu`

2.2.2 Program pro ovládání krokového motoru

Pro otáčení krokového motoru jsou definovány jednotlivé stavy motoru pro plný krok a pro poloviční krok.

- `const uint8_t polePlnyKrok[] = {5,9,10,6}; // jednotlivé stavy rotoru pro plný kroky`
- `const uint8_t polePolovicniKrok[] = {5,1,9,8,10,2,6,4}; // jednotlivé stavy rotoru pro poloviční kroky`

Je vytvořena funkce pro posun krokového motoru v závislosti na:

- *směru otáčení*
 - *vzdálenosti*
 - *prodlevy jednoho kroku*
 - *směru*
-
- `void kroky(int vzdalenost,uint8_t smer, int cas,uint8_t PlxPol_Krok)`

2.3 Deska plošného spoje

Deska plošného spoje, dále už jen DPS, má dvě vodivé vrstvy. Má to své výhody i nevýhody. V případě DPS s jednou vodivou vrstvou by se nějaké spoje musely propojit pomocí propojek. Zvětšil by se rozměr DPS, z důvodu větší hustoty propojovaných signálů na jedné straně DPS.

Oproti tomu oboustrannou DPS lze navrhnout na menším prostoru s využíváním dvou vrstev. Nevýhoda je určitě v podobě ceny, která je ovlivněná právě dvěma vrstvami, a navíc ještě s prokovením.

DPS použitá v této práci je tedy dvouvrstvá s prokovy, nepájivou maskou, H.A.L. i potiskem.

Návrh DPS je na Obr. A1 a Obr. A2 v přílohách, v příloze je také uveden seznam součástek, které jsou umístěny na DPS. DPS byla navržena pomocí programu Eagle 5.1.

2.4 Technické parametry řídicí jednotky

- *Parametry boxu a DPS*

Tab. 11. Parametry boxu a DPS

Délka	159 mm
Šířka	140 mm
Výška	60 mm
Parametry DPS	100 x 100 mm

Závěr

Bakalářská práce se zabývá teorií a aplikací krokových motorů a také realizací posuvného zařízení.

Při teoretické části bakalářské práce jsem se hlavně zaměřil na krokový motor samotný a poté jeho řízení a vlastnosti, které se zužitkovaly při konstrukci a rozběhu krokového motoru.

V praktické části jsem popsal hlavně součástky, které byly potřeba k vytvoření řídicí jednotky. Celou řídicí jednotku řídí mikrokontrolér ATmega32, informace o stavu posunu krokového motoru jsou zobrazeny na LCD displeji 2x24znaků. Procházení v menu a nastavování parametrů je možné pomocí 5 tlačítek.

Krokový motor je řízen impulsy, podobně jako s použitím L297 a L298N zároveň, ale použil jsem pouze L298N, což přineslo trochu úspory na DPS, ale také trochu komplikací s prvním rozběhem krokového motoru. Posuny krokového motoru jsem převzal z datasheetu L297.

Ve vylepšení řídicí jednotky bych do budoucna uvítal dvě čidla. Čidla by sloužila k ochraně, při nastavování dorazů, posuvného zařízení. Jelikož při nastavování dorazů je možné, že nastane kontakt běžce s ložiskem. Motor není napevno uchycen k posuvnému zařízení, takže při takovém kontaktu by došlo maximálně k přetržení bužírky.

Princip tohoto zařízení lze aplikovat například v systému nanášení tenkých vrstev různých materiálů pomocí jemného vytahování substrátu z roztoku (dip-coating).

Použitá literatura

- [1] Burkhard, M.: *C pro mikrokontroléry*, BEN - Technická literatura, 2003
- [2] Herout, P.: *Učebnice jazyka C I. – díl, 4. přeprac. vydání*, České Budějovice, 2004
- [3] Büllow, J.: *Eletrotechnické aplikace jazyky C*, Plzeň, 2010
- [4] Robotika.cz. [online]. [cit. 2012-06-05]. Webové stránky věnované krokovým motorům. Dostupné z WWW: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [5] ATmega32-16PU – Katalogový list
Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/432/432-180/dsh.432-180.1.pdf>
- [6] L297 – Katalogový list
Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/332/332-004/dsh.332-004.1.pdf>
- [7] L298N – Katalogový list
Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/332/332-005/dsh.332-005.1.pdf>
- [8] LCD displej L2432 – Katalogový list
Dostupné z WWW: <http://www.eio.com/admin/images/Downloads/SeikoChar.pdf>
- [9] Dioda BYW98/200 – Katalogový list
Dostupné z WWW: <http://www.ges.cz/sheets/b/byw98.pdf>

Přílohy

Příloha A – Deska plošného spoje

Příloha B – Seznam součástek

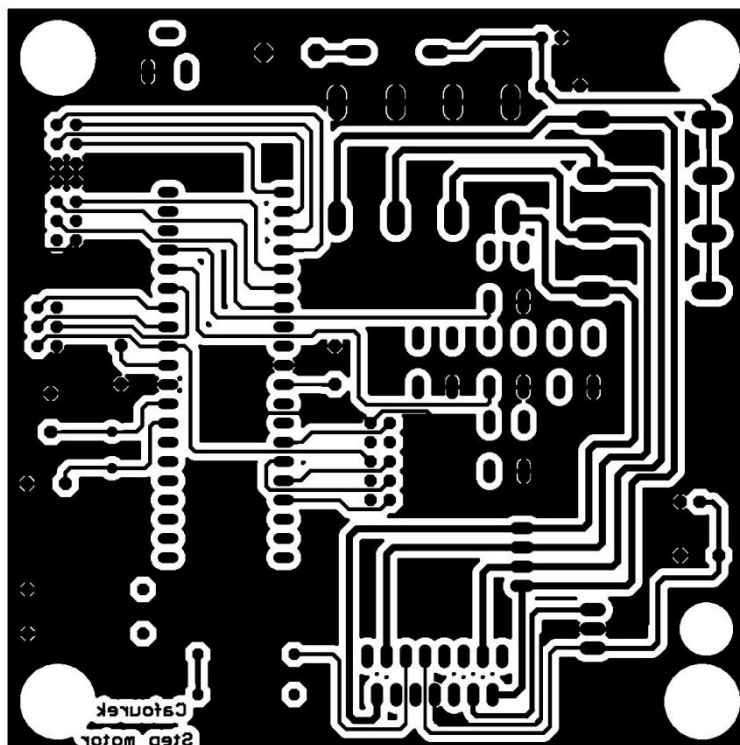
Příloha C – Manuál k řídicí jednotce

Příloha D – Vývojový diagram

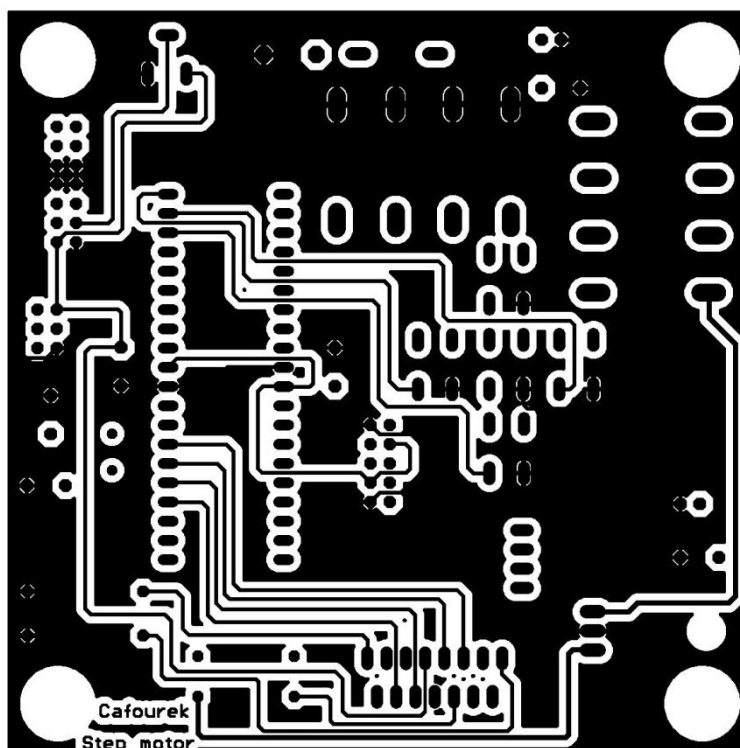
Příloha E – Fotodokumentace

Příloha F – Kompletní schéma zapojení

Příloha A – Deska plošného spoje



Obr.A1. BOTTOM – Spodní strana DPS



Obr.A2. TOP – Horní strana DPS

Příloha B – Seznam součástek

Tab.B1. Seznam součástek

Kusů	Označení ve schématu	Popis
1	IC1	ATmega32-16PU
1	IC2	Stabilizátor 7805
1	IC3	Budič L298N
1	JP1	LCD Displej L2432 (2x24 znaků)
1	JP2	ISP programátor
1	JP3	JTAG-ICE programátor
1	C1	Elektrolytický kondenzátor 100 μ F
2	C5,C6	Keramický kondenzátor 22pF
2	C2,C3,C7,C8	Keramický kondenzátor 100nF
1	C4	Elektrolytický kondenzátor 10 μ F
1	Q1	Krystalový oscilátor 12MHz
8	D1-D8	Dioda 200V/ 3A/ 35ns superrychlá
1	D9	Dioda 32V
2	R4,R5	Rezistor 10k Ω
2	R2,R3	Rezistor 0,5 Ω
1	R1	Trimr 10k Ω
5	S1-S5	Tlačítka

Příloha C – Manuál k řídicí jednotce

Po zapnutí řídicí jednotky ke krokovému motoru, se po pár vteřinách se zobrazí úvodní menu s 8 položkami:

- *Posun motoru*
- *Aktualni pozice*
- *Prodleva krok [ms]*
- *Vlevo x Vpravo*
- *Vzdal.posunu[mm]*
- *Plny x Polo krok*
- *Dolni doraz*
- *Horni doraz*

Při prvním zapnutí je nutné nastavit dolní a horní doraz, který udává rozmezí hodnot, mezi kterými se může posuvné zařízení pohybovat. Po dalším zapnutí už není potřeba znovu nastavovat dolní ani horní doraz, jelikož všechna nastavení se ukládají do paměti. Všechny předchozí hodnoty zůstávají nezměněny.

Nejdříve je potřeba nastavit dolní doraz (položka v menu č. 7) tak, že stisknutím tlačítka Enter se motor rozběhne dolů (vlevo). Tlačítka vlevo a vpravo se nastavuje směr pohybu krokového motoru. Tlačítka nahoru a dolů je volena rychlost posuvu. Při stisknutí tlačítka Enter se motor okamžitě zastaví a nastaví tuto polohu jako dolní doraz.

Další důležité nastavení, po dolním dorazu, je doraz horní. V tomto nastavení horního dorazu lze vybrat ze dvou možností:

- *Rucne*
- *Automaticky*

V prvním případě („Rucne“) se motor rozběhne nahoru (vpravo) a stejným způsobem, jako u dolního dorazu, se nastaví horní doraz, po stisknutí Enter se údaje o aktuální poloze uloží.

V druhém případě („automaticky“) je nejdříve na výběr vzdálenost v milimetrech a pomocí tlačítek nahoru a dolů se vybere vzdálenost horního dorazu od dolního dorazu. Po vybrání vzdálenosti a stisknutí tlačítka Enter se zobrazí poslední nastavení - zda posun má být vlevo či vpravo od dolního dorazu. Po vybrání směru posuvu a stisknutí tlačítka Enter, se motor neposune, ale uloží se údaje o horním dorazu. Je třeba si uvědomit, že při

nastavení horního dorazu nezáleží na směru. Tím je myšleno, že horní doraz může být nastaven vlevo i vpravo od dolního dorazu, ale v nastavování posunu v hlavním menu je vždy dolní doraz vlevo (dále od motoru). Maximální odchylka, která může nastat při automatickém nastavení horního dorazu, je $\pm 0,5\text{mm}$.

Položka „Posun motoru“ (položka v menu č. 2) zobrazuje informace o dolním a horním dorazu, aktuální pozici motoru a o vzdálenosti do dolního („Do dol.dor.“) a do horního dorazu („Do hor.dor.“).

V další položce „Prodleva kroku“ (položka v menu č. 3) se nastavuje prodleva, v milisekundách, jednoho kroku krokového motoru. Jedná se o zpoždění kroku, takže čím menší prodleva kroku, tím větší rychlost motoru.

V položce „Vlevo x Vpravo“ (položka v menu č. 4) se určuje směr posunu. Posun vlevo je realizován tak, že se posuvný systém pohybuje směrem od motoru.

Položka „Vzdal.posunu[mm]“ (položka v menu č. 5) je proměnná a závisí na nastavení vzdálenosti dolního a horního dorazu. Pokud se nastaví, že vzdálenost dolního dorazu od horního dorazu je např. 10mm, tak už nelze vybrat vzdálenost posunu 11mm, jelikož by se motor dostal mimo hranice dolního a horního dorazu. Při nastavování vyšších hodnot vzdáleností je doporučeno využít tlačítka vlevo a vpravo, které posunují vzdálenost o $\pm 10\text{mm}$, ale pouze do mezní hranice.

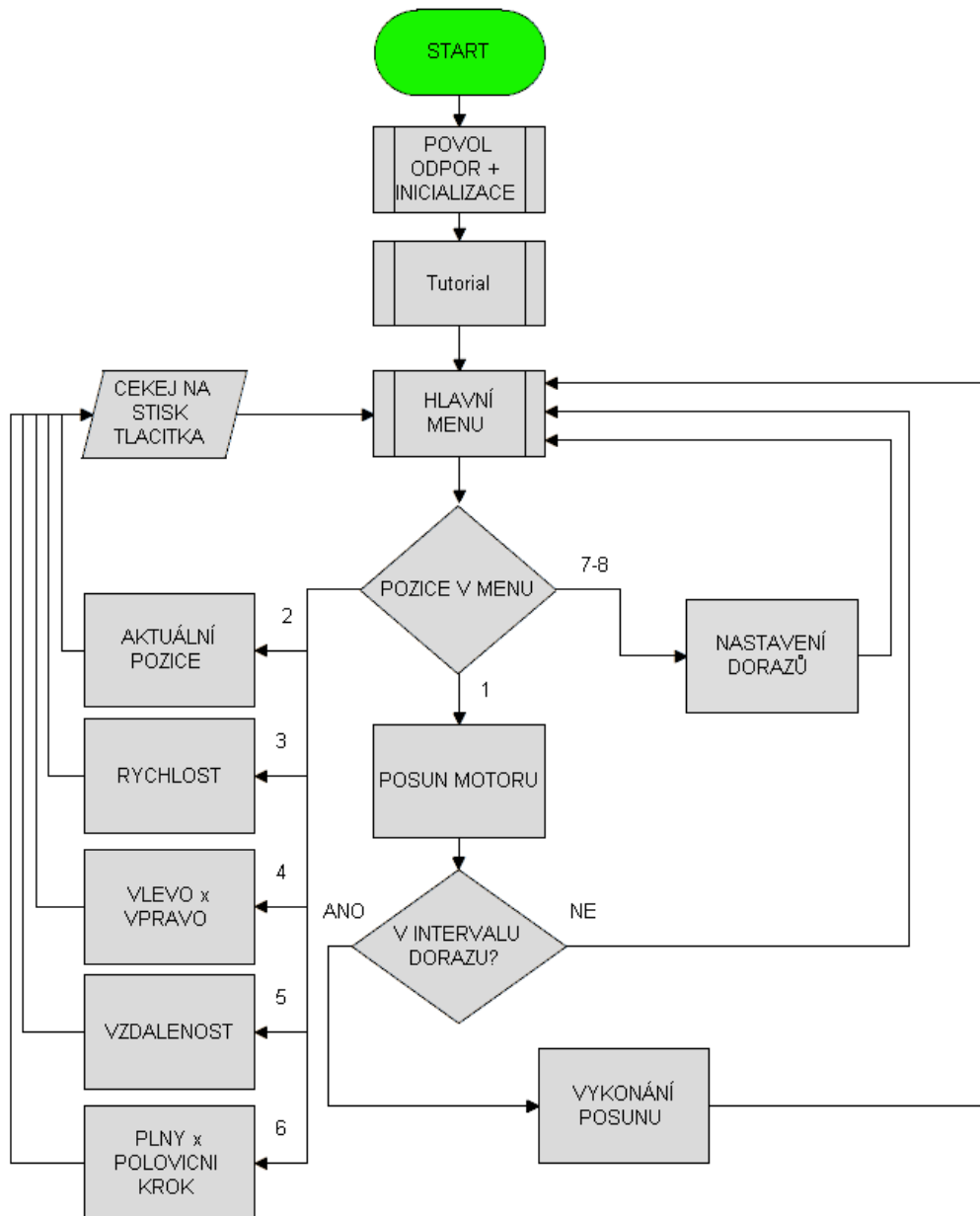
Položka „Plny x Polo krok“ (položka v menu č. 6) udává, zda se motor bude pohybovat v plných nebo v polovičních krocích. Při výběru polovičního kroku je rychlost posunu poloviční než u výběru plného kroku, jelikož motor při jedné celé otáčce udělá dvojnásobný počet kroků.

Po zadání všech těchto nastavení a stiskem na položku „Automaticky režim“ (položka v menu č. 1) se motor začne pohybovat ve zvolené rychlosti, směru a vzdálenosti. Při chybném nastavení, např. zvolením delšího posunu než je zvolený rozsah, motor nic nevykoná a LCD displej zobrazí upozornění „Jste mimo rozsah“. A proto je třeba nastavit jiný posun, který by nebyl mimo zvolený rozsah.

Nejčastější chyby, které mohou nastat, jsou ve špatném nastavení posunu vpravo a vlevo nebo nezjištění aktuální pozice motoru.

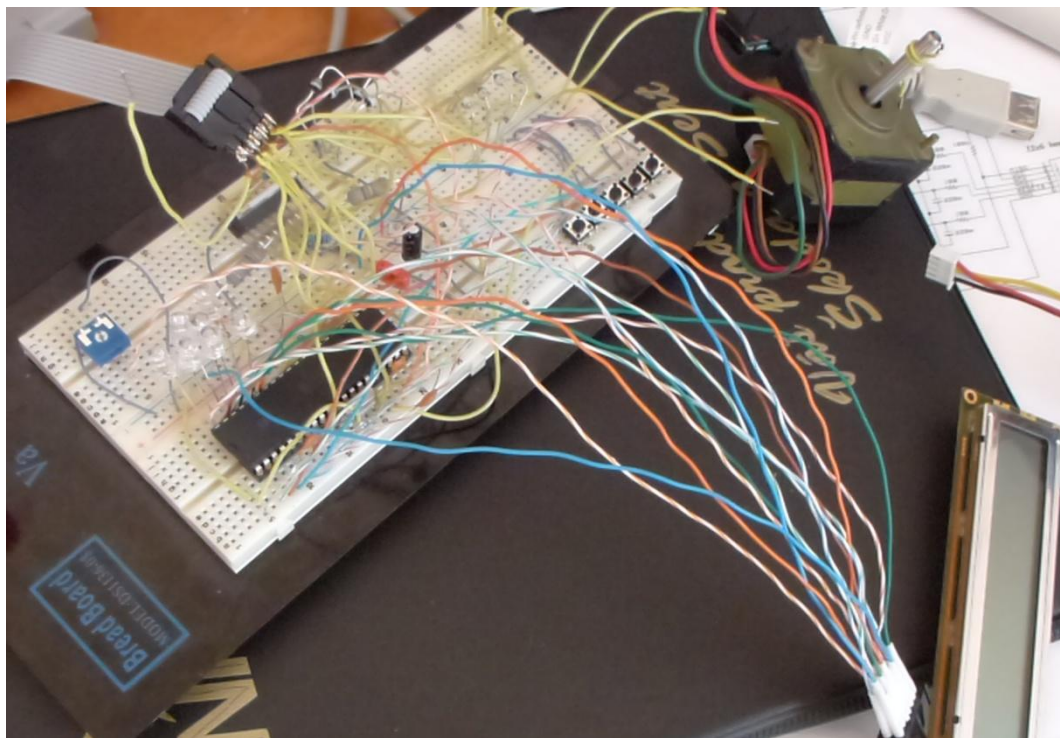
Pokud je vypnuta řídicí jednotka, není vhodné jakýmkoliv způsobem otáčet s motorem a manipulovat s posuvným zařízením! Při dalším zapnutí by nemusela odpovídat aktuální poloha skutečné poloze, ani nastavené dorazy.

Příloha D – Vývojový diagram



Obr.D1. Vývojový diagram

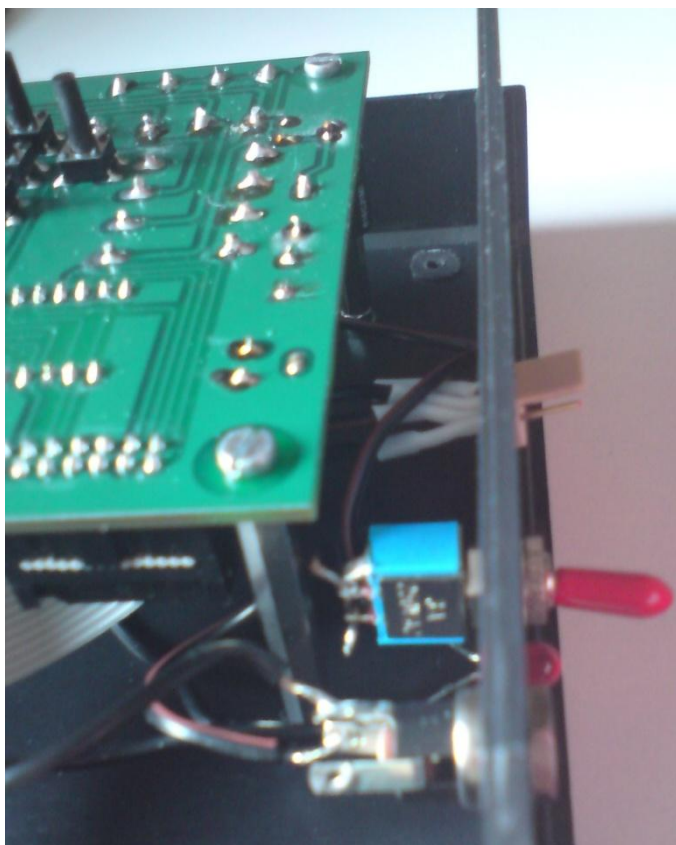
Příloha E – Fotodokumentace



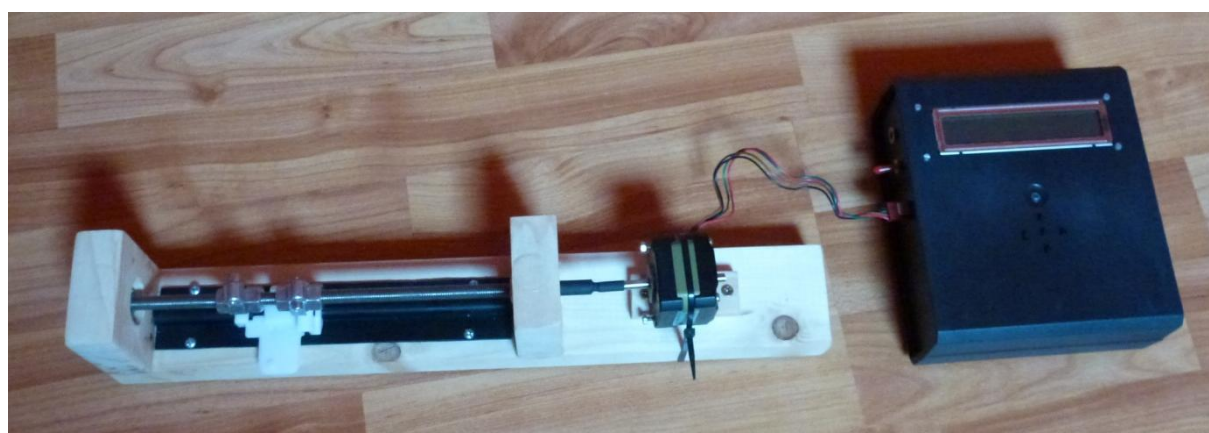
Obr.E1. Nepájivé pole – celkový rozběh



Obr.E2. Konstrukce posuvného zařízení – před finální verze



Obr.E3. Vnitřní konstrukce boxu



Obr.E4. Box a posuvné zařízení

