

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

Bakalářská práce

**Ovládání krokových motorů – didaktická pomůcka**

*Vladimír NEKVASIL*

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík

Studijní program: Elektrotechnika a informatika

Obor: Kybernetika a měření

Červenec 2008

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Vladimír Nekvasil**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný  
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Ovládání krokových motorů - didaktická pomůcka**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou řízení krokových motorů.
2. Navrhněte a realizujte výukový přípravek pro demonstraci funkce krokových motorů.

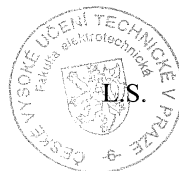
Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Jan Havlík

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



*B. Šimák*  
doc. Ing. Boris Šimák, CSc.  
děkan

V Praze dne 25. 2. 2008



## **Poděkování:**

Na tomto místě musím poděkovat vedoucímu mé práce, panu Ing. Janu Havlíkovi, za čas, který mi věnoval během přípravy mé práce, a za ochotu, se kterou mi pomáhal při řešení nejednoho problému, na který jsem narazil. Dále také musím poděkovat svým rodičům, bez jejichž dlouhodobé podpory by tato práce nikdy nemohla vzniknout.



---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze, dne 20. 7. 2008

*Jiří Kachin*

podpis



## **Anotace**

Hlavní myšlenkou této práce je demonstrovat základní principy práce krokových motorů. Jejím účelem je ukázat, jak přesně tyto motory mohou pracovat bez potřeby složitých zpětnovazebních systémů na zjištění momentální polohy a rychlosti otáček. Práce seznamuje s nejdůležitějšími typy těchto motorů, jejich výhodami a nevýhodami.

Důležitou částí mé práce je výroba funkčního modelu, který bude moci být použit na demonstraci funkce krokových motorů, například pro návštěvníky naší školy v rámci dnů otevřených dveří.

## **Annotation**

The main idea of this work is to demonstrate basic principles of stepper motors. Its purpose is to show how this motors can accurately work without the need of difficult feedback systems to locate the current position of motor and to introduce the most important types of these motors, theirs advantages and disadvantages.

Important part of my work is to create working model, which would be used to demonstrate stepper motors, for example to visitors who are interested to enter our school and came for look over.





# 1. Obsah

<b>1. Obsah.....</b>	<b>viii</b>
1.1 Seznam obrázků, vztahů a tabulek .....	ix
<b>2. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>3. Teoretická část .....</b>	<b>2</b>
3.1 Krokový motor obecně .....	2
3.2 Princip funkce krokového motoru .....	2
3.3 Řízení krokového motoru .....	6
3.3.1 Zapojení unipolárně řízeného krokového motoru.....	7
3.3.2 Řídící sekvence unipolárně řízeného motoru.....	8
3.3.3 Zapojení bipolárně řízeného krokového motoru.....	9
3.3.4 Sekvence bipolárně řízeného krokového motoru.....	10
3.3.5 Jednofázové a dvoufázové řízení .....	11
3.3.6 Vícefázové řízení .....	11
3.3.7 Řízení s polovičním krokem, mikrokrokování .....	12
3.4 Řada programovatelných procesorů Atmel AVR.....	13
3.4.1 tinyAVR.....	13
3.4.2 megaAVR .....	14
3.4.3 XMEGA.....	14
3.4.4 AS AVR (Application Specific) .....	14
<b>4. Praktická část.....</b>	<b>15</b>
4.1 Rozbor.....	15
4.2 Řídící část .....	17
4.2.1 Rychlost otáčení.....	17
4.2.2 Směr otáčení .....	19
4.2.3 Inicializace .....	19
4.2.4 Zapojení řídicí části .....	20
4.2.5 Popis konektorů řídicí desky.....	20
4.2.6 Popis jumperových přepínačů.....	21
4.2.7 Deska řídicí části.....	21
4.4 Výkonová část.....	22
4.4.1 Řídící sekvence .....	22
4.4.2 Čidlo výchozí polohy motoru .....	22
4.4.3 Zapojení výkonové části .....	23
4.4.4 Popis konektorů desky výkonové části .....	24
4.4.5 Deska výkonové části .....	25
<b>5. Závěr .....</b>	<b>26</b>
<b>6. Použité programy.....</b>	<b>27</b>
<b>7. Literatura.....</b>	<b>28</b>
<b>8. Přílohy .....</b>	<b>29</b>
8.1 Použité prvky na modelu .....	29
8.1.1 Unipolární krokový motor řady KH 42 .....	29

8.1.2 Programovatelný procesor Atmel AtMega8L z řady AVR .....	30
8.2 Obsah příloženého CD .....	31

## 1.1 Seznam obrázků, vztahů a tabulek

<i>Obrázek číslo 3.1 – Stator a rotor, rozmístění pólů [6] .....</i>	<i>3</i>
<i>Vztah číslo 3.1 – výpočet velikosti kroku .....</i>	<i>3</i>
<i>Obrázek číslo 3.2 – Princip funkce krokového motoru [3].....</i>	<i>4</i>
<i>Obrázek číslo 3.3 – Příklad zapojení unipolárně řízeného krokového motoru [7] .....</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka číslo 3.1 – Řídicí sekvence unipolárního KM pro dvoufázové řízení .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka číslo 3.2 – Řídicí sekvence unipolárního KM pro jednofázové řízení .....</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek číslo 3.4 – Příklad zapojení bipolárně řízeného krokového motoru [7] .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka číslo 3.3 – Řídicí sekvence bipolárního KM pro dvoufázové řízení .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka číslo 3.4 – Řídicí sekvence bipolárního KM pro jednofázové řízení .....</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek číslo 3.5 – Jednofázové / Dvoufázové řízení [2] .....</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek číslo 3.6 – Řízení s polovičním krokem [2] .....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek číslo 4.1 – Komunikační schéma modelu .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek číslo 4.2 – Řídicí impuls .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka číslo 4.1 – Nastavení rychlosti otáčení .....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek číslo 4.3 – Schéma zapojení řídicí části [p1] .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka číslo 4.2 – Popis konektorů na řídicí desce .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka číslo 4.3 – Popis jumperových přepínačů na řídicí desce .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek číslo 4.4 – Deska řídicí části dle zapojení na obrázku číslo 4.3 [p1] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek číslo 4.5 – Schéma zapojení výkonové části [p1].....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek číslo 4.6 – Deska výkonové části dle zapojení na obrázku číslo 4.5 [p1]... </i>	<i>25</i>
<i>Tabulka číslo 8.1 – Charakteristika použitých krokových motorů .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek číslo 8.1 – Krokový motor řady KH42 .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek číslo 8.2 – Programovatelný procesor Atmel AtMega8L.....</i>	<i>30</i>

## 2. Úvod

Tématem mé bakalářské práce je vytvoření didaktické pomůcky pro pochopení principu a funkčnosti krokového motoru. Základní myšlenkou je vystavení této pomůcky např. v rámci Dne otevřených dveří na fakultě a demonstrace krokových motorů potencionálním uchazečům o studium na naší škole. Práce by měla vyzdvihnout hlavní výhodu krokového motoru, kterou je přesnost nastavení pozice motoru bez nutnosti složitých čidel polohy a otáček.

Princip modelu jsem nakonec po konzultaci s vedoucím mé práce zvolil následující: na několik krokových motorů (nejméně na dva) umístíme upravený disk CD (možno jakýkoliv disk stejného formátu – DVD, BR, HD...) tak, že tyto disky budou mít na každé čtvrtině svého obvodu vyřízlý otvor. Motory potom umístíme k sobě tak, aby se disky vzájemně protínaly právě pomocí těchto otvorů. Vždy se tak jeden disk bude moci točit v otvoru druhého disku a druhý motor se bude moci točit teprve, až se první motor zastaví, a to právě tak, aby byly otvory na discích u sebe a druhý motor se tak mohl volně otáčet.

## **3. Teoretická část**

### **3.1 Krokový motor obecně**

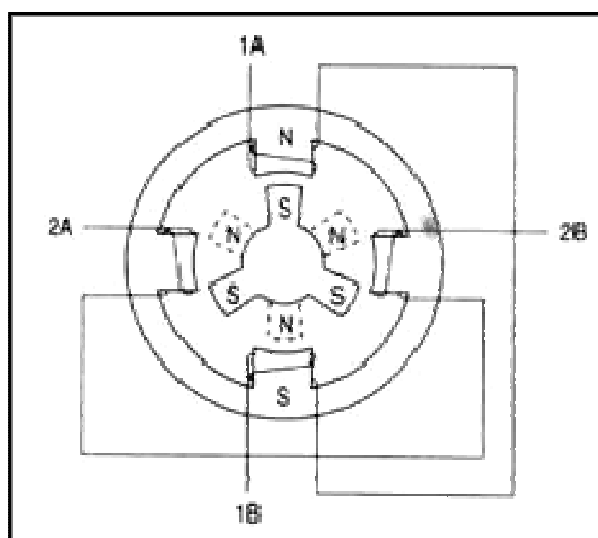
Na rozdíl od klasického DC motoru umí krokový motor přesně nastavit svoji polohu a tuto polohu silou držet. To se hodí v mnoha aplikacích, jako jsou počítačem řízené obráběcí stroje, elektronické zapisovače apod. Výhodou je i to, že není nutno programovat složitý regulátor a pokud se dodrží předepsané namáhání motoru, tak ani nepotřebujeme zpětnou vazbu pro zjištění polohy motoru – stačí nám počítat počet kroků. Není proto nutné mít u motoru instalované složité zařízení pro počítání otáček a zjišťování polohy. Nevýhodou těchto motorů může být trvalý odběr proudu (i když motor stojí a silou drží svou pozici), nepříznivý poměr krouticího momentu a hmotnosti motoru a také cena, která je o něco vyšší než u klasického DC motoru.

V motoru dochází k přechodovým magnetickým jevům, kvůli kterým je omezena rychlost otáčení (řádově několik stovek kroků za vteřinu) v závislosti na typu motoru a zatížení. Při překročení této rychlosti může dojít k přeskokování kroků, nebo se motor ani neroztočí, protože vzhledem k setrvačným hmotnostem rotor nebude schopen reagovat tak rychle na rotující magnetické pole.

### **3.2 Princip funkce krokového motoru**

Krokový motor funguje díky statoru složenému z několika cívek a rotoru, který je permanentním magnetem. Při použití klasického provedení statoru a rotoru má stator 4 póly, rotor má pólů 6. Tři póly sever a tři póly jih. Umístění rotoru a rozmístění pólů je názorně vidět na obrázku číslo 3.1, kde je znázorněno společně pro zapojení cívek pro bipolární (vice o rozdílu bipolárního a unipolárního motoru viz dále) motor. Vnitřní konstrukce pro motor unipolární se neliší, pouze jsou jinak zapojeny

cívky, viz oddíl 3.3. Zapojením některé z cívek do napětí se docílí toho, že cívkou protéká proud a indukuje v ní magnetické pole, jehož siločáry se uzavírají přes opačný pól rotoru, rotor se snaží minimalizovat statický moment vytvořený magnetickou silou a díky tomu se dostane do stabilního ekvilibría – přitáhnou se opačné póly cívky a rotoru. Pokud se vhodným postupným zapojováním a odpojováním cívek vytvoří rotujícího magnetického pole, rotor bude díky působení magnetické síly toto pole kopírovat a bude se tedy točit s ním.



Obrázek číslo 3.1 – Stator a rotor, rozmístění pólů [6]

Pro výpočet velikosti kroku platí vztah 3.1,

$$\alpha = \frac{360}{m * N_r} \quad [^\circ] \quad \text{Vztah číslo 3.1 – výpočet velikosti kroku}$$

kde:

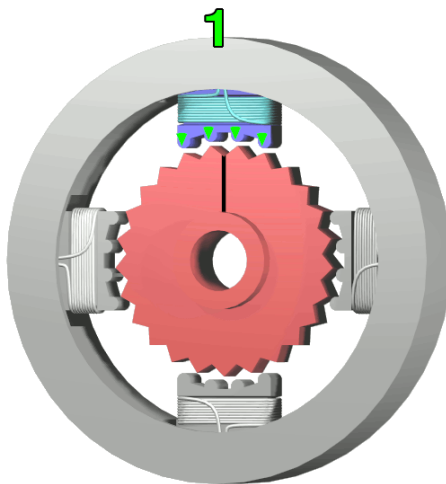
$m$  – počet fází statoru

$N_r$  – počet zubů rotoru

Při výše zmíněné konfiguraci dle obrázku číslo 3.1, kde byl znázorněn dvoufázový bipolární motor s rotorem o 6 zubech, by tak krok měl dle vztahu 3.1 velikost  $30^\circ$  a na otáčku by stačilo pouze 12 kroků, což není pro krokový motor příliš žádoucí, naopak, je žádoucí, aby kroků na otáčku bylo co nejvíc a díky tomu šla přesněji nastavit poloha motoru. Proto se používají speciální „ozubené“ tvary cívkky statoru a rotoru. Při průchodu proudem cívkou tak dojde k mírnému pootočení rotoru a tím se zuby statoru a rotoru proti sobě vyrovnají, jelikož v této poloze má motor nulový statický moment. Vzhledem ke vhodnému umístění těchto zubů se při přepnutí situace opakuje a rotor se musí opět pootočit, aby se zuby proti sobě vyrovnaly. Jak vyplývá z výše uvedeného, počet kroků na otáčku a citlivost motoru tak závisí na počtu těchto zubů. Dobře to demonstrují následující obrázky.

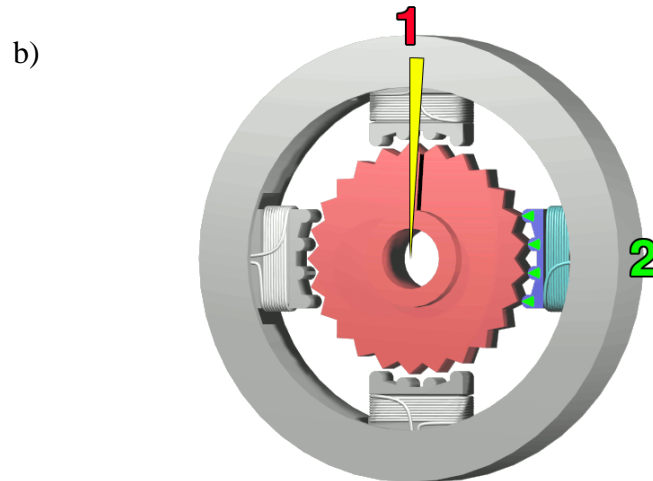
- a) V první fázi prochází proud cívkou 1 a zuby rotoru jsou srovnány se zuby statoru.

a)



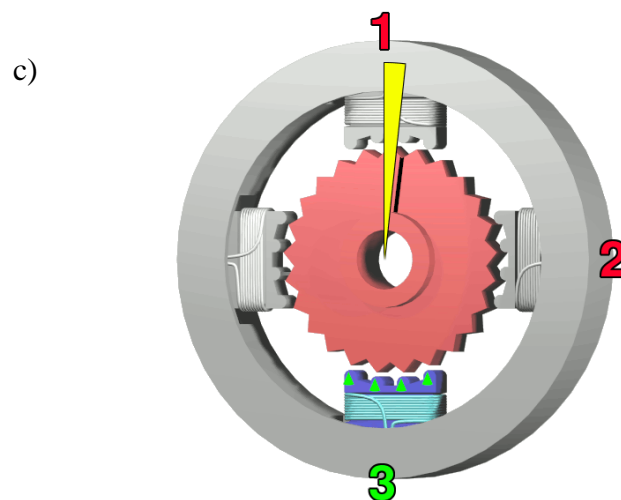
Obrázek číslo 3.2 – Princip funkce krokového motoru [3]

- b) Po přepnutí proudu do cívky 2 se rotor musí hnout o několik stupňů (v tomto případě, kdy je rotor osazen 25 zuby, to je  $3,6^\circ$ ), aby se zuby rotoru opět vyrovnaly se zuby statoru u cívky 2.



Obrázek číslo 3.2 b – Princip funkce krokového motoru [3]

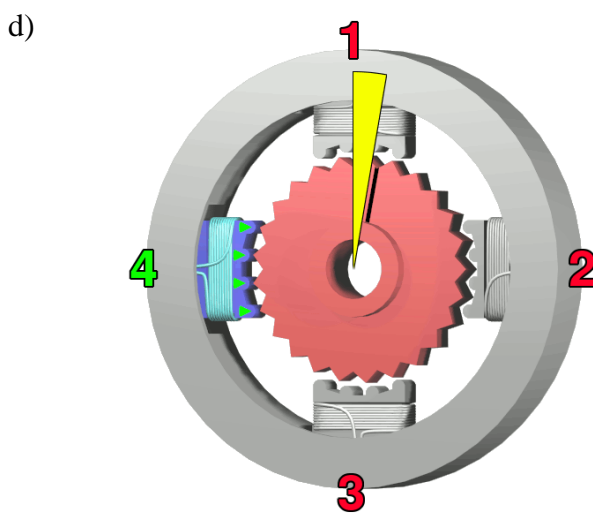
- c) Obdobně tomu je i při přepnutí na cívku 3, rotor se opět natáčí o daný počet stupňů.



Obrázek číslo 3.2 c – Princip funkce krokového motoru [3]



- d) Nyní je pod proudem cívka číslo 4 a v dalším kroku přijde na řadu opět cívka číslo 1. Po dorovnání zubů si všimněme, že se rotor otočil přesně o jeden zub. Z toho vyplývá, že na posunutí o jeden zub potřebujeme čtyři kroky přepnutí cívek. lze tedy říct, že se nám celý rotor otočí za  $4 \times n$  kroků, kde  $n$  je počet zubů rotoru. Zvětšit citlivost lze ještě střídavým zapojováním více cívek (viz dále).



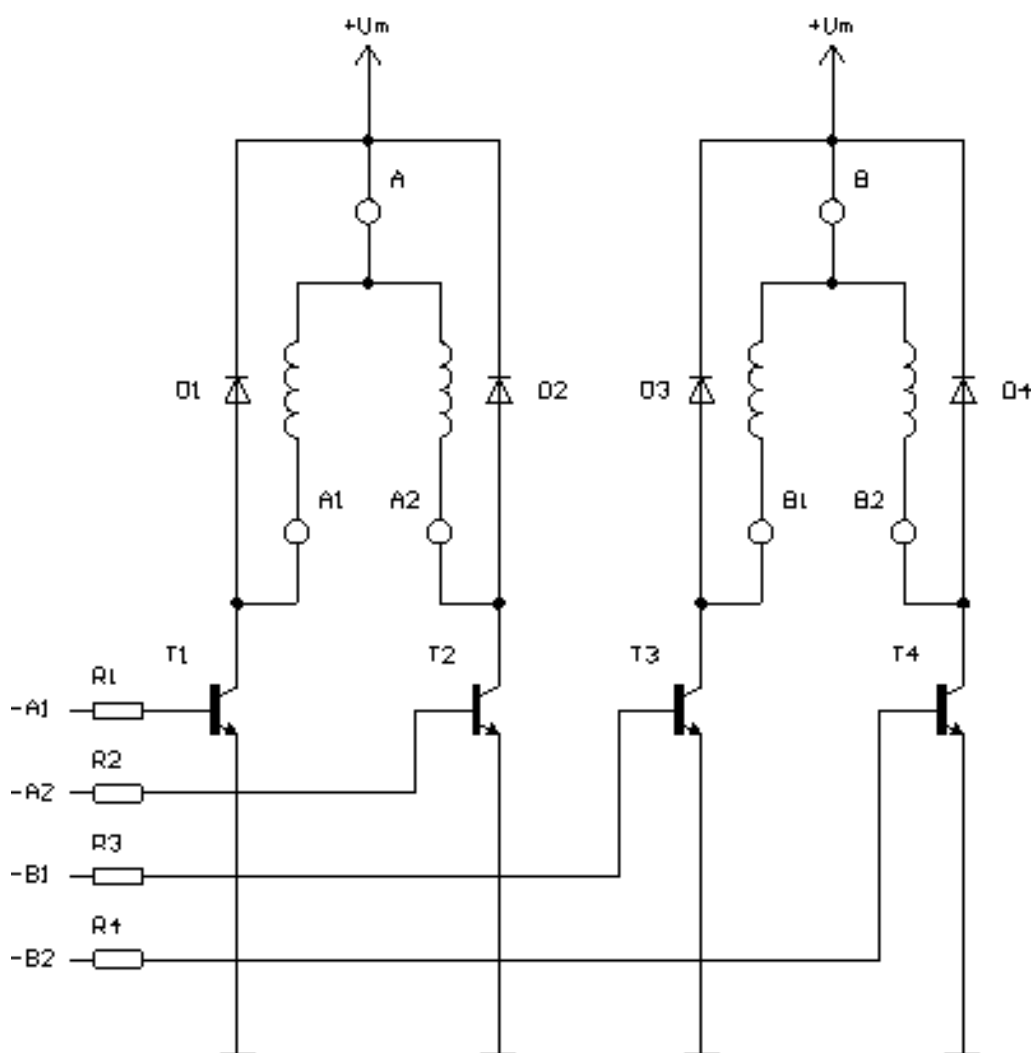
Obrázek číslo 3.2 d – Princip funkce krokového motoru [3]

### 3.3 Řízení krokového motoru

Z fyzikálního hlediska jsou dva hlavní typy krokových motorů – bipolární a unipolární. Unipolární motory mají klasicky dvě cívky na fázi a každá fáze má jeden společný vývod (typicky napětí, v našem modelu však zem), motor má vývod buď 6 kabelů (každá fáze má společný vodič zvlášť), nebo 5 (jeden společný vodič pro obě fáze). Cívky jedné fáze se rozprostírají nad a pod rotorem, cívky druhé fáze po stranách rotoru. Bipolární motory mají jednu cívku na fázi, a proto stačí 4 kabely, nemají žádný společný vodič. Je však nutností mít dva zdroje, nebo zdroj s přepínatelnou polaritou. Využívá se u něj totiž rozdílné polarizace protilehlých cívek a proto je nutno indukovat protilehlé cívky opačnou polaritou. Výhodou je vyšší krouticí moment. Nevýhodou je složitější řízení (typicky se používá zapojení H-můstku pro každou fázi).

### 3.3.1 Zapojení unipolárně řízeného krokového motoru

Na obrázku číslo 3.3 je jedno z možných zapojení unipolárně řízeného krokového motoru. Společným vodičem u obou fází je napětí  $+U_m$ . Pomocí NPN tranzistorů se spíná cívka se zemí a tím se do ní pouští proud.



Obrázek číslo 3.3 – Příklad zapojení unipolárně řízeného krokového motoru [7]

### 3.3.2 Řídící sekvence unipolárně řízeného motoru

Jelikož cívky fáze A, dle obrázku číslo 3.3, leží proti sobě stejně jako cívky fáze B z téhož zapojení, je vždy sepnuta pouze jedna cívka z fáze.

Cílem je vytvořit rotující magnetické pole, proto se musí postupně zapojovat sousední cívky. Cívka A1 sousedí s cívkami B1 a B2, cívka B1 sousedí s oběma cívkami fáze A, a tak obdobně pro všechny cívky. V tabulkách 3.1 a 3.2 je vidět řídící sekvence pro unipolární krokové motory pro případ jednofázového a dvoufázového řízení. O rozdílu mezi jedno, dvou a více fázovým řízením viz dále v této kapitole. Pro zpětný chod krokových motorů stačí zadávat sekvence v opačném pořadí.

	1. Krok	2. Krok	3. Krok	4. Krok
<b>A1</b>	+	0	0	+
<b>A2</b>	0	+	+	0
<b>B1</b>	+	+	0	0
<b>B2</b>	0	0	+	+

*Tabulka číslo 3.1 – Řídící sekvence unipolárního KM pro dvoufázové řízení*

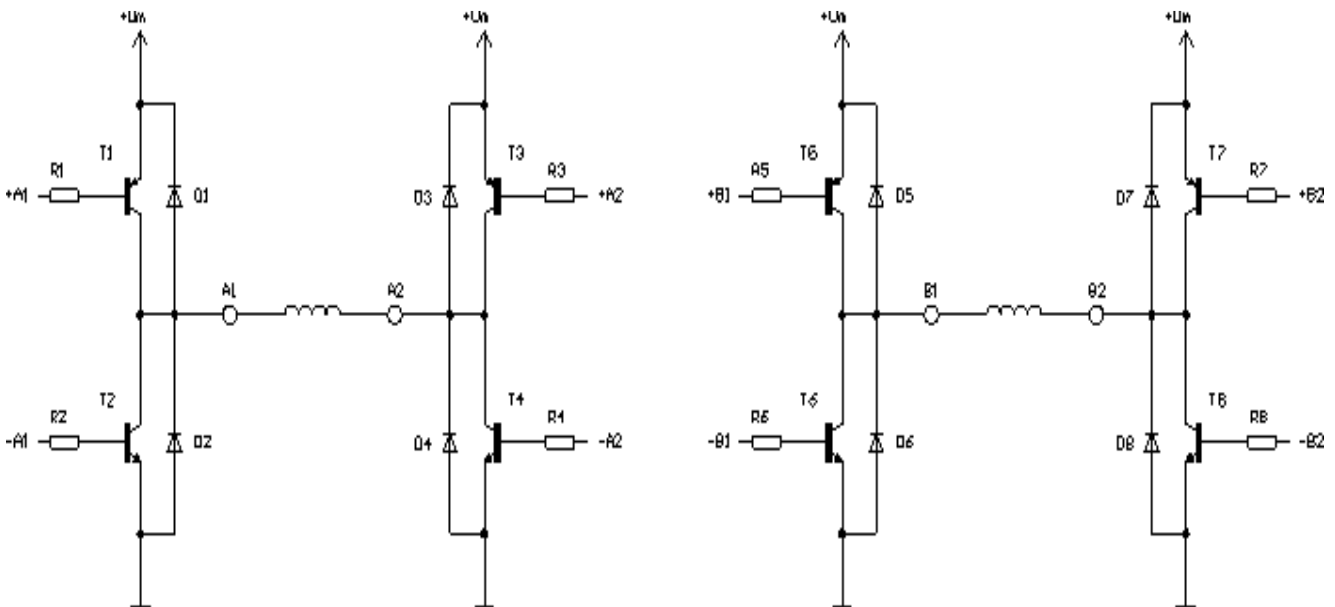
	1. Krok	2. Krok	3. Krok	4. Krok
<b>A1</b>	+	0	0	0
<b>A2</b>	0	0	+	0
<b>B1</b>	0	+	0	0
<b>B2</b>	0	0	0	+

*Tabulka číslo 3.2 – Řídící sekvence unipolárního KM pro jednofázové řízení*

### 3.3.3 Zapojení bipolárně řízeného krokového motoru

Na obrázku číslo 3.4 je jedno z možných zapojení bipolárního krokového motoru. Na rozdíl od unipolárního krokového motoru, kde byly čtyři cívky, a motor měl 6 vývodů, jsou zde u bipolárního dvě cívky s dohromady čtyřmi vývody ( $A1, A2$  a  $B1, B2$ ). Není zde žádný společný vodič. Vzhledem k použití dvou výše zmíněných H-můstků najdeme v zapojení jak PNP tranzistory, tak i NPN tranzistory. Jsou zde z nutnosti, aby protilehlé části cívky byly indukovány opačným napětím a tudíž měly obě opačný pól. Díky tomu se docílí vyššího krouticího momentu, za cenu dvojnásobného odběru proudu.

*„Označení  $+A1, +A2, +B1, +B2$  a  $-A1, -A2, -B1, -B2$  u bází tranzistorů znázorňuje, jaká polarita napětí bude na daném vývodu vinutí motoru po sepnutí příslušného tranzistoru. Pozor, neznamená to, jaké ovládací napětí resp. proud je třeba přivést na daný tranzistor! Jde pouze o schematické znázornění obvodového principu.“ [7]*



Obrázek číslo 3.4 – Příklad zapojení bipolárně řízeného krokového motoru [7]

### 3.3.4 Sekvence bipolárně řízeného krokového motoru

Řídicí sekvence bipolárně řízeného krokového motoru vychází z řídicí sekvence motoru unipolárního. Jediným rozdílem je, že s každou cívkou, která se indukuje, se indukuje i cívka protilehlá a to tak, aby výsledný pól cívky byl opačný.

	1. Krok	2. Krok	3. Krok	4. Krok
<b>A1</b>	+	-	-	+
<b>A2</b>	-	+	+	-
<b>B1</b>	+	+	-	-
<b>B2</b>	-	-	+	+

Tabulka číslo 3.3 – Řídicí sekvence bipolárního KM pro dvoufázové řízení

	4. Krok	5. Krok	3. Krok	4. Krok
<b>A1</b>	+	0	-	0
<b>A2</b>	-	0	+	0
<b>B1</b>	0	+	0	-
<b>B2</b>	0	-	0	+

Tabulka číslo 3.4 – Řídicí sekvence bipolárního KM pro jednofázové řízení

Následující typy řízení krokových motorů jsou použitelné jak při unipolárním řízení, tak i při bipolárním řízení.

### 3.3.5 Jednofázové a dvoufázové řízení

U jednofázového řízení magnetické pole generuje jedna cívka (u bipolárního řízení dvě). U dvoufázového vždy dvě sousední. Dosáhne se tím většího krouticího momentu (asi 1,4 krát větší než při použití jednofázového řízení). Zároveň však dvojnásobně stoupá odběr proudu.



Obrázek číslo 3.5 – Jednofázové / Dvoufázové řízení [2]

### 3.3.6 Vícefázové řízení

Hlavně vlivem rezonancí a vibrací během kroku motoru se poslední dobou stává nutností použití vícefázových krokových motorů. Dříve se zaběhlo užití pětifázových motorů, kde byly cívky zapojeny do pětiúhelníku. Snížily se tak rezonance, vibrace a podobné nežádoucí jevy při přechodu mezi kroky motoru, a to hlavně díky tomu, že vlivem většího počtu fází je umožněno podstatně jemnější mikrokrokování (řízení s polovičním krokem – u mikrokrokování může jít i o menší krok, než je polovina základního kroku). Pětifázové motory však mají oproti klasickým dvoufázovým motorům neúměrně menší účinnost. I proto byl před pár lety vyvinut třífázový krokový motor, který kombinuje výhody dvoufázových a pětifázových motorů. Díky jemnějšímu kroku vykazuje mnohem menší vibrace a rezonance než motor dvoufázový a má až o 50% větší účinnost než motor pětifázový. Při vysokých otáčkách má dokonce mnohem lepší účinnost i než dvoufázový krokový motor (30 – 50%).

### 3.3.7 Řízení s polovičním krokem, mikrokrokování

Jak je patrné z obrázku číslo 3.5, motor umí nastavit rotor jak do polohy, při které rotor míří na cívkou, tak i do polohy, kdy rotor míří mezi cívkami. Toho využívá právě řízení s polovičním krokem, které kombinuje jednofázový a dvoufázový režim. K jednotlivým cívkám připojává i cívkou sousední a tím dostane rotor do polohy mezi polohami, které jsou sousedními při řízení s plným krokem. Výhodou je dvojnásobný počet kroků na jednu otáčku (u řízení s plným krokem má motor tolik kroků na jednu otáčku, kolik má zubů rotor) a tím i větší citlivost. Nevýhodou může být to, že nemáme konstantní statický moment motoru.



Obrázek číslo 3.6 – Řízení s polovičním krokem [2]

Poslední dobou se rozmáhají pěti a trojfázové motorčky, jejichž hlavní výhodou je možnost jemnějšího mikrokrokování, to posunuje dělení kroku ještě dál než na polovinu a s momentálně nejmodernějšími třífázovými motory se můžeme dostat na hodnoty až několika desítek tisíc kroků na otáčku. Je to díky použití sinusové komutace proudu a regulátorů proudu zvlášť pro každou fázi.

## 3.4 Řada programovatelných procesorů Atmel AVR

Je tomu již deset let, kdy kalifornská firma Atmel představila řadu 8-bitových mikroprocesorů s RISC-architekturou, které mají lepší výpočetní výkon, než mnohé 16-bitové mikroprocesory. S řadou AVR dokázala firma Atmel, že RISC (redukovaná instrukční sada) technologie nenalézá uplatnění pouze ve výkonových procesorech pro pracovní stanice nebo pro 32-bitové procesory pro náročné výpočetní úlohy. Mikroprocesory řady AVR tak nabízí klasické vlastnosti RISC procesorů: jednocyklové instrukce, vyšší taktovací frekvenci a efektivní optimalizaci překladu [1].

8-bitový mikroprocesor s RISC technologií byl původně vyvinut v norském vývojové centru Nordic VLSI v Trondheimu. Tuto společnost ale později koupila právě firma Atmel, která je známá vývojem pamětí typu EEPROM, EPROM a FLASH. Především je ale známá svou produkcí FLASH-mikroprocesorů, které jsou založeny na Intelovské rodině procesorů 8051. AVR rodina mikroprocesorů je na trhu jako konkurent právě této rodině mikroprocesorů od Intelu, stejně tak, jako například rodinám 6805 a 68HC11 od Motoroly. Čipy těchto řad vyrábí licenčně několik výrobců, mezi nimiž je i Atmel [1].

AVR se dělí do čtyř základních skupin

### 3.4.1 tinyAVR

1-8 kB programové paměti

8-32 pinů v pouzdře

Omezená periferní sada



### **3.4.2 megaAVR**

4-256 kB programové paměti

28-100-pinů v pouzdře

Rozšířená instruktážní sada (obsluha větší paměti)

Rozšířená periferní sada

### **3.4.3 XMEGA**

16-256 kB programové paměti

44-100-pinů v pouzdře

Rozšířené technologické možnosti, jako DMA, "Event System", podpora kryptografie atd.

Rozšířená periferní sada s DAC (DA převodník)

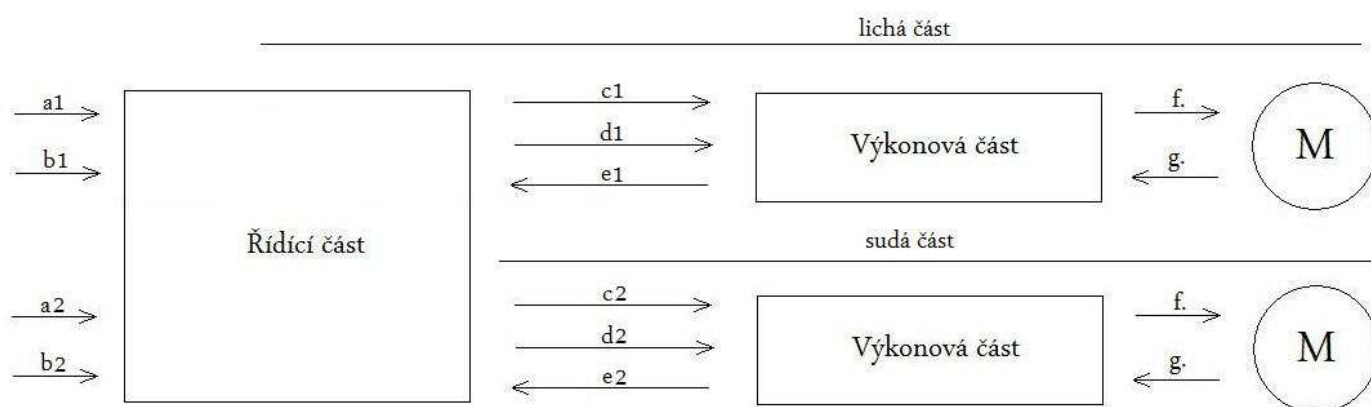
### **3.4.4 AS AVR (Application Specific)**

Speciální mikrokontrolery s vlastnostmi přizpůsobenými konkrétní aplikaci

## 4. Praktická část

### 4.1 Rozbor

Práci rozdělíme na dvě hlavní části – část, která má za úkol řídit pomocí jednoduchých signálů pozici a otáčení motorů (nazvěme ji částí řídicí) a část, která dle těchto jednoduchých signálů vytvoří správné sekvence, aby došlo k požadovanému natočení motorů (nazvěme ji částí výkonovou). Část řídicí bude představovat jeden centrální naprogramovaný procesor. Každý z motorů pak bude potřebovat vlastní výkonovou část. Výkonová část je deska osazená mikroprocesorem, který zpracovává požadavky řídicí části a pomocí těchto informací vhodnými sekvencemi spíná tranzistory, které ovládají motor. Řídicí část rozhoduje o směru a rychlosti otáčení a dostává od výkonové části informaci o momentální poloze motoru – z důvodu inicializace modelu se na desce výkonové části nachází fototranzistor a LED dioda, které určují, zda je motor v pozici, kdy je možno volně otáčet druhým motorem. Tuto informaci dostane přímo procesor výkonové části a předá ji dál části řídicí. V naší aplikaci to použijeme právě pro úvodní inicializaci, kdy oba motorky dostaneme do výchozího stavu. Schéma práce je na obrázku č. 4.1.



Obrázek číslo 4.1 – Komunikační schéma modelu

Na obrázku číslo 4.1 jsou označeny jednotlivé signály, pomocí kterých probíhá komunikace mezi moduly.

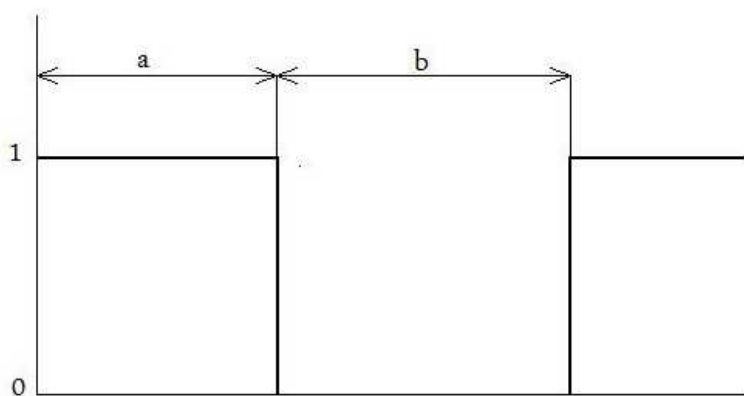
- a1 – vstup řídicí části, uživatel volí směr otáčení lichých motorů
- a2 – vstup řídicí části, uživatel volí směr otáčení sudých motorů
- b1 – vstup řídicí části, uživatel volí rychlost otáčení lichých motorů
- b2 – vstup řídicí části, uživatel volí rychlost otáčení sudých motorů
- c1 – řídicí část posílá impuls, kterým říká lichým výkonovým částem, aby pootočily motorem právě o jeden krok
- c2 – řídicí část posílá impuls, kterým říká sudým výkonovým částem, aby pootočily motorem právě o jeden krok
- d1 – řídicí část udává lichým výkonovým částem informaci o požadovaném směru otáčení
- d2 – řídicí část udává sudým výkonovým částem informaci o požadovaném směru otáčení
- e1 – čidlo liché výkonové části informuje část řídicí o poloze motoru
- e2 – čidlo sudé výkonové části informuje část řídicí o poloze motoru
- f – řídicí sekvence motoru.
- g – signál z fototranzistoru, že je motor ve výchozí poloze

Dle obrázku číslo 4.1 je patrné zapojení dvou výkonových částí s motory. V praxi lze motorů použít víc a všechny půjdou ovládat signály, které jsou znázorněny na schématu. Liché motory se napojí na řídicí signály pro první motor, sudé motory se napojí na signály pro druhý motor. Důležitá věc však je, všechny sudé motory a všechny liché motory před spuštěním nastavit do stejné pozice, protože procesor řídicí části zpracuje pouze informaci o poloze prvního a druhého motoru. Jinak není zaručen optimální chod ve středu vymezené výseče. Proto se také nedoporučuje v případě rozšíření modelu ze stávajících dvou motorů na víc zasahovat do signálů e1 a e2 a příslušné výstupy z přidaných výkonových částí nezapojovat do řídicí části.

## 4.2 Řídicí část

Řídicí část má za úkol zpracovat požadavky uživatele a podat informace výkonové části o tom, jak má točit s motorem. Uživatel může zadat směr a rychlost motorů (zvlášť lichých a sudých). Procesor řídicí části se pak postará o to, aby se oba motory dostaly do výchozích pozic (nemůže nastat situace, kdy by byly oba motory mimo výchozí pozici – viz sekce Inicializace), a zadává střídavě sudým a lichým motorům, aby se o čtvrtinu otočily.

Žádost o pootočení o krok se provádí posláním krátkého impulsu (konkrétní podobu impulsu viz dále). Motor se bude otáčet tak rychle, jak rychle se mu posílají impulsy z řídicí části. Motor má omezenou rychlost, jak již bylo psáno v teoretické části, a proto musí být impulsy dostatečně daleko od sebe, aby motor stačil reagovat. V našem případě je použit motor s 200 kroky na otáčku. To znamená, že každý krok otočí motor o  $1,8^\circ$ . Pro otočení o čtvrtinu obvodu proto musíme poslat sérii 50 impulzů. Podoba impulsu je znázorněna na obrázku č. 4.2.



Obrázek číslo 4.2 – Řídicí impuls

### 4.2.1 Rychlost otáčení

Procesor výkonové části reaguje na náběžnou hranu signálu dle obrázku číslo 4.2. Model dovoluje uživateli volit ze dvou rychlostí otáčení jak pro liché, tak i pro

sudé motory (viz jumperové přepínače). Rychlost točení motoru je omezena fyzikálními vlastnostmi motoru. Experimentálně bylo zjištěno, že nejvyšší rychlost, kterou se použité motory mohou točit, je jeden krok za 7 ms. Při nastavení rychlého režimu je nastavena jistá rezerva od maximální rychlosti a výkonové části se posílá jeden impuls za 8 ms. Při nastavení pomalého režimu se posílá jeden impuls za 15 ms. Délka intervalu „a“ je pevně zvolena na 2 ms (při volbě tohoto času jsme omezeni pouze rozlišovací schopností procesoru, která je daná jeho frekvencí - procesor musí být schopen rozlišit náběžnou hranu). Při přepínání se mění pouze délka intervalu „b“ (7 ms při rychlém režimu, 15 ms při pomalém).

	Rychlý režim	Pomalý režim
Interval „a“ [ms]	2	2
Interval „b“ [ms]	6	13

*Tabulka číslo 4.1 – Nastavení rychlosti otáčení*

## 4.2.2 Směr otáčení

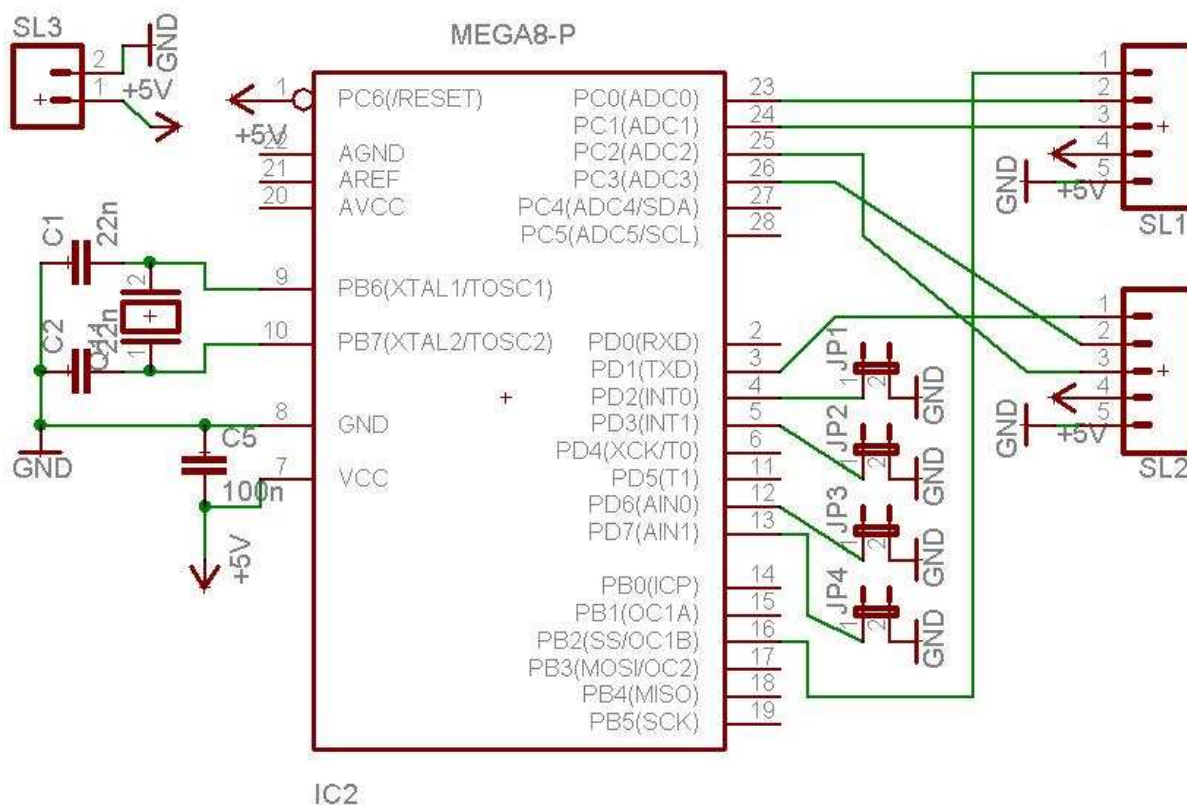
Směr otáčení může volit uživatel zvlášť pro sudé i liché motory (viz sekce „jumperové přepínače“). Procesor řídicí části vyhodnotí požadavek a ten pře pošle dál do výkonové části modelu.

## 4.2.3 Inicializace

Po spuštění modelu mohou být samozřejmě motory v libovolné pozici. Jasně je jen to, že pokud mají být do sebe disky zasunuty, tak jeden z nich musí být v počáteční pozici (pozice, že druhý disk se může volně otáčet). Úkolem procesoru je tedy zjistit, který to je a dostat do výchozího postavení i disk druhý. Aby bylo zaručeno, že jsou oba disky v nejlepší pozici pro otáčení (druhý disk se pohybuje ve středu výseče), tak po nalezení této pozice u prvního disku posune i první disk do dalšího volného okna a nastaví prostředek.

Čidlo pro zjištění vhodné pozice je fototranzistor, který ovšem informuje o mezeře v disku hned, jak se výseč objeví a LED dioda fototranzistor osvítí. Pro dosažení středu výseče je nutno disk ještě o pár kroků potočit. Počet kroků pro otočení do středu výseče je závislý na šířce výseče a typu použitých prvků pro čidlo, pro náš model bylo experimentálně zjištěno, že je nutno posunout motor sudé části o 2 kroky, motor liché části o kroky 3, vzhledem k použití jiné LED diody. Po ukončení kalibrace se spustí hlavní cyklus a řídicí procesor střídavě otáčí motory o čtvrt otáčky.

#### 4.2.4 Zapojení řídicí části



Obrázek číslo 4.3 – Schéma zapojení řídicí části [p1]

#### 4.3.5 Popis konektorů řídicí desky

SL3	Konektor přívodu napájení
1	+5 V
2	GND
SL1 - SL2	Konektory výkonových částí
1	získání informace o pozici motoru
2	odeslání impulsu k otočení motoru
3	odeslání informace o směru otáčení
4	+5 V
5	GND

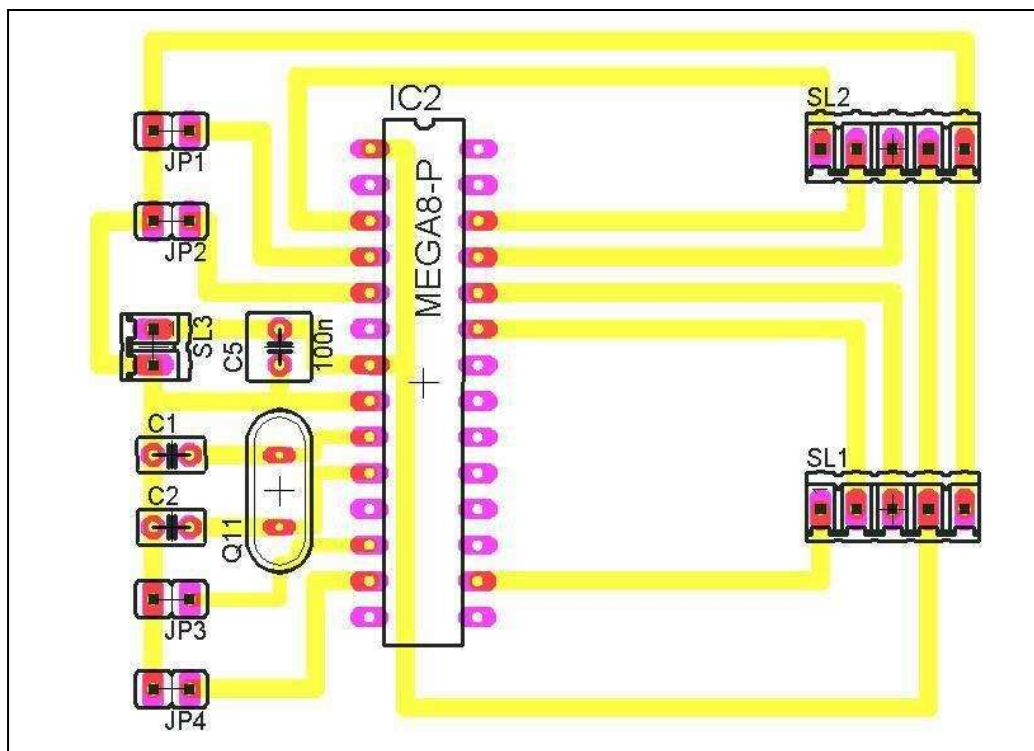
Tabulka číslo 4.2 – Popis konektorů na řídicí desce

## 4.2.6 Popis jumperových přepínačů

jumper	funkce
JP1	Rychlost otáčení lichých motorů 1 – pomalu 0 – rychle
JP2	Směr otáčení lichých motorů 1 – podle směru hodinových ručiček 0 – proti směru hodinových ručiček
JP3	Rychlost otáčení sudých motorů 1 – pomalu 0 – rychle
JP4	Směr otáčení sudých motorů 1 – podle směru hodinových ručiček 0 – proti směru hodinových ručiček

Tabulka číslo 4.3 – Popis jumperových přepínačů na řídicí desce

## 4.2.7 Deska řídicí části



Obrázek číslo 4.4 – Deska řídicí části dle zapojení na obrázku číslo 4.3 [p1]



## 4.4 Výkonová část

Výkonová část modelu má za úkol správně interpretovat signály z řídicí části a patřičně pohnout motorem. Signál přicházející z řídicí části má podobu impulsu dle obrázku číslo 4.2. Procesor si pamatuje stav ze 4 možných, ve kterém se motor nachází, a pokud dojde ke změně řídicího vstupu z hodnoty 0 na 1, tak dle momentálního stavu motoru a požadovaného směru zvolí následující sekvenci a tu pošle na výstup ke krokovému motoru.

### 4.4.1 Řídicí sekvence

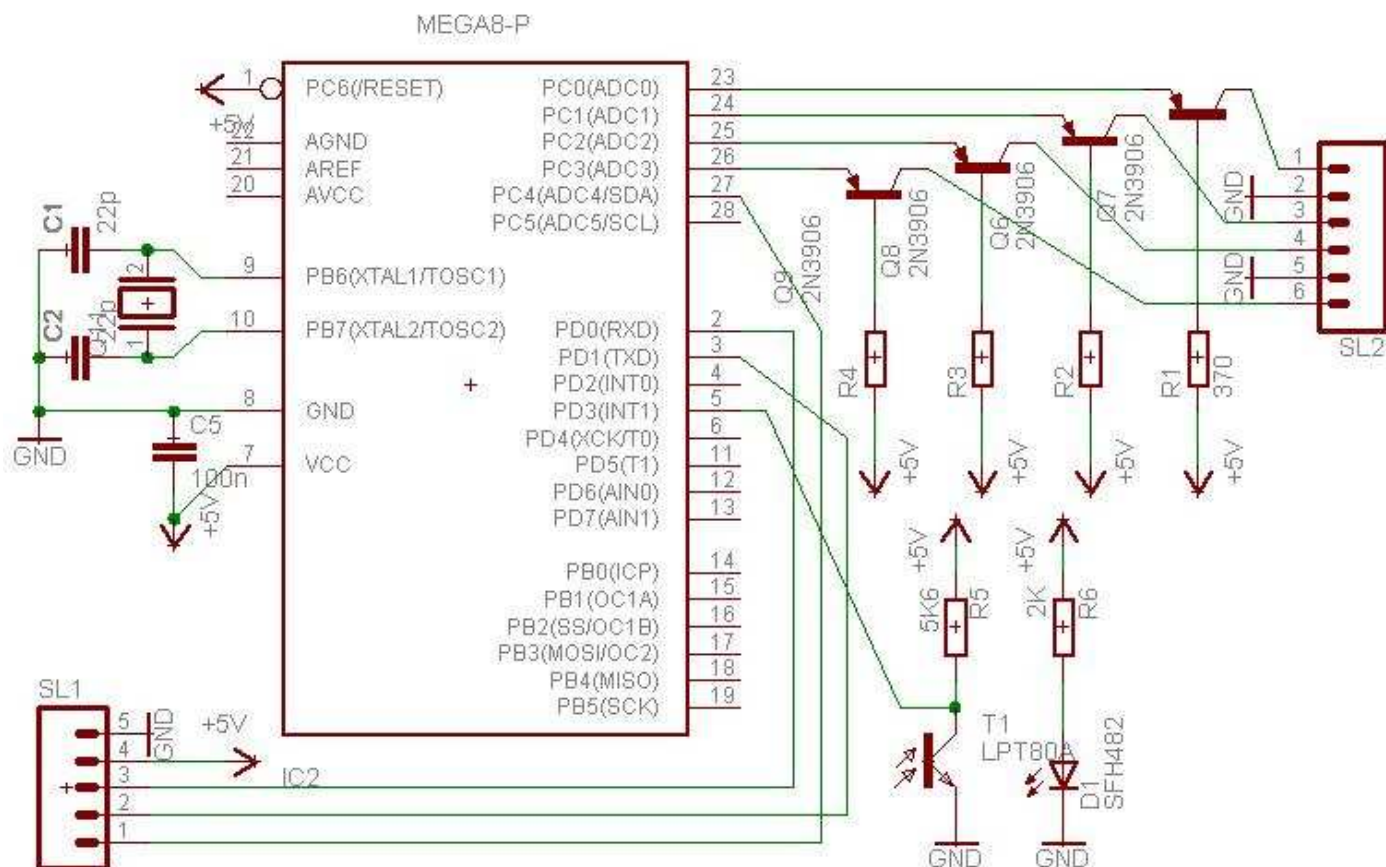
Jelikož jsou použité motory unipolární dvoufázové, tak řídicí sekvence je dle tabulky číslo 3.1. Výkonová část reaguje na přijatý impuls přepnutím sekvence na další krok, pokud je přijmut požadavek na točení proti směru hodinových ručiček, přepne sekvenci na krok předchozí.

### 4.4.2 Čidlo výchozí polohy motoru

Každá výkonová část modelu obsahuje také čidlo pro zjištění výchozí polohy motoru. Je složeno z fototranzistoru LPT80A a LED diody vyzařující na vlnové délce 870 nm, na kterou je použitý fototranzistor nejcitlivější. Pokud se motor nachází ve výchozí poloze, tak se otvor v CD (nebo v jiném použitém médiu) nachází právě v takovém místě, aby se druhý motor mohl volně točit. Vzhledem k umístění otvorů proti sobě je také otvor na druhé straně, kde je CD v kontaktu s deskou výkonové části. Právě na tomto místě je umístěno čidlo tak, aby CD procházelo mezi fototranzistorem a LED diodou. Díky tomuto umístění prvků je vždy mezera v místě čidla, právě když je motor ve výchozí pozici. Pokud se dostane mezera k čidlu, LED dioda osvítí fototranzistor, ten sepne a na kolektoru se objeví napětí 0 V, které procesor na výkonové desce rozliší jako logickou nulu. Pokud u čidla není mezera, fototranzistor není osvětlen, je rozepnut, na kolektoru je napětí 5 V

a procesor vidí logickou jedničku. S touto informací procesor nakládá tak, že ji posílá přímo procesoru řídicí části a ten podle ní řídí inicializaci spuštění modelu.

#### 4.4.3 Zapojení výkonové části



Obrázek číslo 4.5 – Schéma zapojení výkonové části [p1]

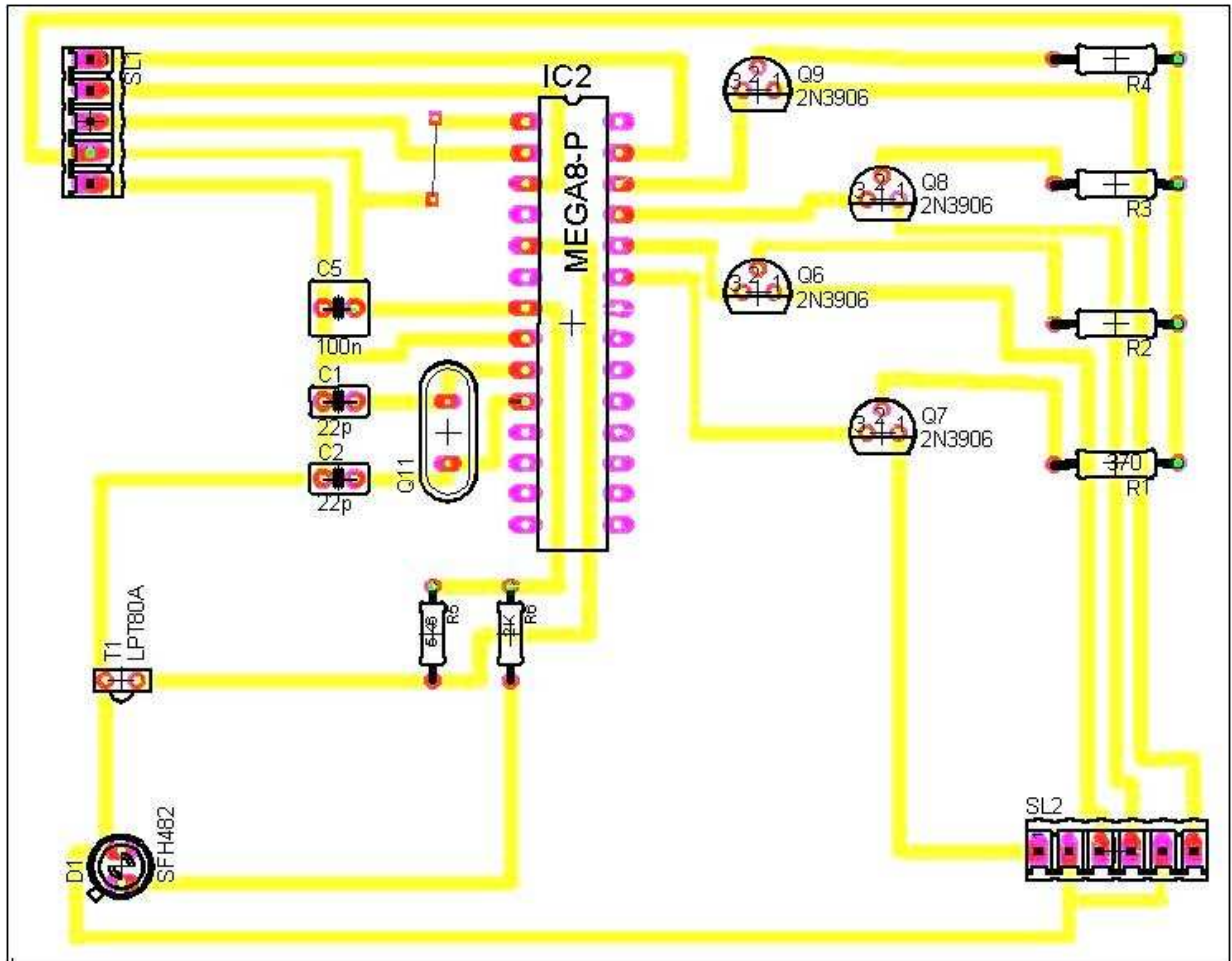
#### 4.4.4 Popis konektorů desky výkonové části

SL1	Konektor komunikace s řídicí částí
1	odeslání informace o pozice motoru
2	získání impulzu k otočení motoru
3	Získání informace o směru otáčení
4	+5 V
5	GND

SL2	Konektor motoru
1	vodič 1 cívky fáze 1
2	GND fáze 1
3	vodič 2 cívky fáze 1
4	vodič 1 cívky fáze 2
5	GND fáze 2
6	vodič 2 cívky fáze 2

Konektor SL1 je opačným koncem vodiče konektoru SL1 (respektive SL2) z desky řídicí části.

#### 4.4.5 Deska výkonové části



Obrázek číslo 4.6 – Deska výkonové části dle zapojení na obrázku číslo 4.5 [p1]

## 5. Závěr

Dle této práce byly navrženy desky plošných spojů, byly osazeny součástkami a byly naprogramovány procesory, které poté byly zasazeny do patič na deskách. K deskám byly připojeny krokové motory, a ty pak společně s deskami výkonových částí byly umístěny na pevnou konstrukci tak, aby vzájemná poloha motorů odpovídala postavení, o kterém pojednává práce. Model je funkční a správně fungují i všechny ovládací prvky.

Díky této práci jsem se seznámil s možnostmi, jaké nabízí použití krokových motorů. Poznal jsem několik typů těchto motorů a několik možností, jak tyto motory řídit. Při výrobě funkčního modelu jsem vyzkoušel jinou, praktickou, část elektrotechniky, na kterou jsem zatím bohužel během studia nenarazil.

## **6. Použité programy**

[p1] – *Eagle Version 4.16r2, Copyright (c) 1988-2006 CadSoft*

[p2] – *CodeVisionAVR Version 2.03.3, Copyright (c) 1998-2008 HP Info Tech s.r.l.*

[p3] – *AVR Studio 4.13 SP2 (build 571) (updated 12/07), Atmel*

[p4] - *PG4UW, BeeProg, Elnec*

## 7. Literatura

- [1] DŘÍMEK, Milan. Architektura AVR. *AVR.HW.cz* [online]. 2000 [cit. 2008-06-27]. Dostupný z WWW: <<http://avr.hw.cz/>>.
- [2] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory : princip funkce, metody řízení. *Robotika.cz* [online]. 2002 [cit. 2008-06-27]. Dostupný z WWW: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>.
- [3] *Wikipedia, the free encyclopedia : Stepper Motor* [online]. 16:10, 17 January 2003 , 15 June 2008, at 22:30 [cit. 2008-06-27]. Anglická verze. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor)>.
- [4] KARAS, Ondřej. *Programujte.com : Elektrotechnika » AVR* [online]. Červen 15, 2006 , Srpen 2, 2007 [cit. 2008-06-27]. Dostupný z WWW: <<http://programujte.com/index.php?rubrika=70&sekce=179>>.
- [5] *Unipolar Stepper Motor Controls* [online]. [Http://queribus.free.fr](http://queribus.free.fr), April 6, 2007 [cit. 2008-06-02]. Dostupný z WWW: <<http://queribus.free.fr/Astronomie/emoteur.php>>.
- [6] KISSELL , Thomas E. *Industrial Electronics : Stepper Motor Theory of Operation* [online]. National Instruments, Sep 6, 2006 [cit. 2008-07-03]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/248>>. ISBN 0-13-012697-7.
- [7] ZAJAČIK, Michal. *Elektronické konstrukce : Krokové motory* [online]. 7/2007 [cit. 2008-07-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.zajacikm.wz.cz/KMotory/kmotory.html>>.

## 8. Přílohy

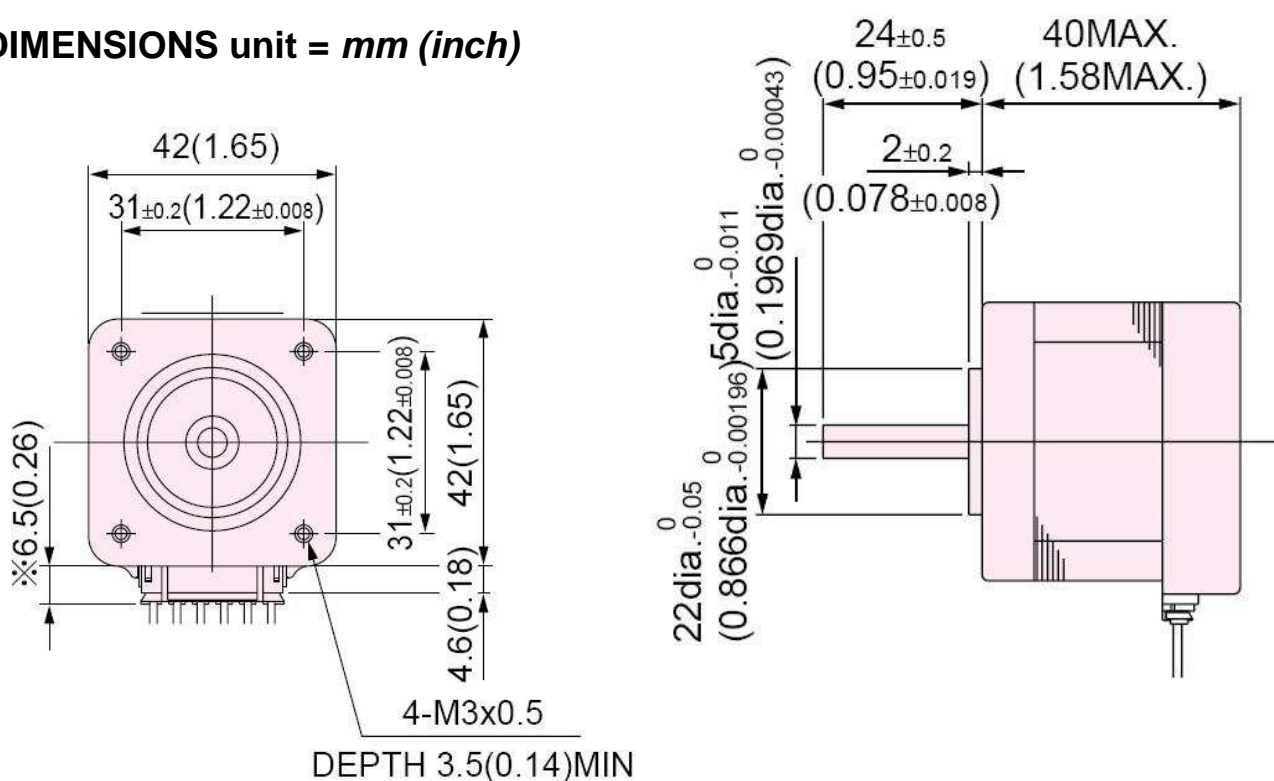
### 8.1 Použité prvky na modelu

#### 8.1.1 Unipolární krokový motor řady KH 42

Napětí na 1 fázi	4,2 V
Odpor vinutí na 1 fázi	3,8 $\Omega$
Proud na 1 fázi	1,2 A
Krok	1,8 °
Počet kroků na 1 otáčku	200
Krouticí moment	236 mN . m
Počet fází	2

Tabulka číslo 8.1 – Charakteristika použitých krokových motorů

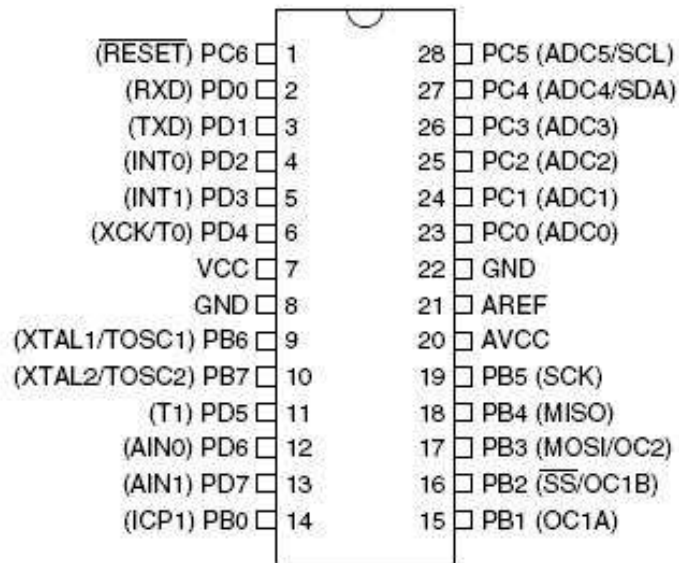
#### DIMENSIONS unit = mm (inch)



Obrázek číslo 8.1 – Krokový motor řady KH42



## 8.1.2 Programovatelný procesor Atmel AtMega8L z řady AVR



Obrázek číslo 8.2 – Programovatelný procesor Atmel AtMega8L

## 8.2 Obsah příloženého CD

- Soubory pro naprogramování procesorů ve formátu HEX [p4] a C [p2]
- Textová část práce ve formátu PDF
- Všechny obrázky z výše zmíněné práce ve formátu JPG
- Video zachycující běžící funkční model ve formátu AVI
- Fotografie modelu ve formátu JPG
- Soubory programu Eagle [p1]
  - o deska řídicí části ve formátu BRD, schéma ve formátu SCH
  - o deska výkonové části ve formátu BRD, schéma ve formátu SCH