

Řízení otáček krokového motoru

Speed control stepper

František Friedl

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František FRIEDL**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Řízení otáček krokového motoru**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši zaměřenou na krokové motory.**
- 2. V rešerši se zaměřte na jejich konstrukci, způsoby řízení a jejich využití v praxi.**
- 3. Provedte způsob řízení krokového motoru pomocí změny frekvence pulsů.**
- 4. Provedte praktickou realizaci včetně programového vybavení.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BASTIAN, P.:** Praktická elektrotechnika. Europa – Sobotáles, Brno, 2004.
2. **KLAUS, T.:** Příručka pro elektrotechnika. Europa – Sobotáles, 2005.
3. **HORST, J.:** Informační a telekomunikační technika. Praha, BEN, 2004.
4. **Novák, P.:** Mobilní roboty–pohony, senzory, řízení. Praha, BEN, 2005.
5. <http://www.regulacni-pohony.cz>
6. <http://www.robotika.cz>

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

Ústav elektrotechniky a měření

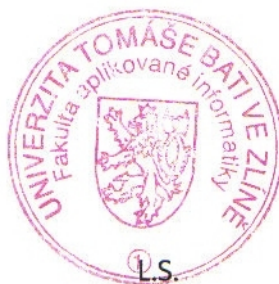
Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

5. května 2008

Ve Zlíně dne 20. února 2008




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan


doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Úkolem bakalářské práce bylo provést způsob řízení krokového motoru pomocí změny frekvence pulzů. V práci je uvedeno několik variant způsobů řízení pro jednotlivé druhy krokových motorů. Tyto druhy krokových motorů jsou v práci podrobně vysvětleny.

Klíčová slova:

Krokový motor, Programátor JMD, Mikrokontrolér PIC 16F84A

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was implement method of stepper's speed control by the help of changes counting rate. In work is mentioned several variants methods drive for individual sorts stepper. These sorts stepper are in work in detail explained.

Keywords:

Stepper, Programmer JMD, Microcontroller PIC 16F84A

Chtěl bych touto formou poděkovat panu Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za poskytování odborných rad, korektur a doporučení. Dále také panu Ing. Aloisu Minaříkovi za výrobu desek plošných spojů a Bc. Petrovi Jurčičkovi za odborné rady týkajících se oživení desek plošných spojů.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve

.....

Zlíně

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 KROKOVÝ MOTOR	10
1.1 HISTORIE KROKOVÉHO MOTORU	10
1.2 ZÁKLADNÍ DEFINICE POJMŮ KROKOVÉHO MOTORU	11
1.3 OBECNÝ PRINCIP KROKOVÉHO MOTORU	13
1.4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY KROKOVÉHO MOTORU	14
1.4.1 Statická momentová charakteristika	14
1.4.2 Momentová charakteristika	15
1.4.3 Rezonance a nestabilita	16
1.4.3.1 Rezonance	16
1.4.3.2 Nestabilita	16
1.5 DRUHY KROKOVÝCH MOTORŮ	17
1.5.1 Krokový motor rotační	18
1.5.1.1 Krokový motor s pasivním rotorem	18
1.5.1.2 Krokový motor s aktivním rotorem	20
1.5.1.3 Hybridní krokový motor	22
1.5.2 Krokový motor lineární	25
2 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	28
2.1 UNIPOLÁRNÍ ŘÍZENÍ	28
2.1.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze	28
2.1.2 Řízení krokového motoru se sníženou energetickou náročností	29
2.2 BIPOLÁRNÍ ŘÍZENÍ	30
2.2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází	30
2.2.2 Osmitaktní řízení	32
2.2.3 Mikrokrokování	33
2.2.4 Řízení krokového motoru pomocí integrovaných obvodů	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
3 IDENTIFIKACE POUŽITÉHO HARDWARU	39
3.1 IDENTIFIKACE KROKOVÉHO MOTORU	39
3.2 IDENTIFIKACE PROGRAMOVANÉHO PROCESORU PIC16F84A	41
4 JDM PIC PROGRAMÁTOR	43
4.1 PROGRAMÁTOR JDM	43
4.2 OVLÁDACÍ PROGRAM	45
5 ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU PROCESOREM PIC16F84	48
ZÁVĚR	51
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	52

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ	56
SEZNAM TABULEK	58
SEZNAM PŘÍLOH	59

ÚVOD

Krokový motor se vyznačuje nespojitým pohybem rotoru, který se děje po krocích. Hlavním úkolem krokového motoru je tedy posun/otočení rotoru o požadovaný úsek. Tohoto se využívá především v odvětvích, kde je požadována velice přesná polohovatelnost. Své uplatnění nachází ve výpočetní technice, jakožto v perifériích počítačů pro polohování hlaviček pevných i pružných disků, tiskáren, čteček a děrovaček děrných pásek. Také u nejrůznějších obráběcích strojů, v leteckém a automobilovém průmyslu, v regulační technice, v pohonech průmyslových robotů a dalších odvětví.

Ke krokovému motoru je zapotřebí řídicí obvod, který zaručí jeho správnou funkci. Tento obvod mu poskytuje správné elektrické napájení po předem definovanou dobu. Tyto obvody jednoznačně definují způsob řízení krokového motoru. Jelikož krokových motorů existuje více druhů a jejich dělení je důležité pro řízení, zabývá se teoretická část bakalářské práce jejich dělením a možnými způsoby řízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KROKOVÝ MOTOR

Krokový motor je speciální druh synchronního motoru. Od synchronních motorů se liší tím, že rotor krokového motoru může zaujímat určitý počet definovaných poloh, tzn. jeho funkční pohyb je nespojitý. K přechodu z jedné polohy do druhé (k takzvanému kroku) dochází působením vnějšího impulsového řídicího systému. Z tohoto plyne, že krokový motor je napájen impulsně. K řízení krokového motoru slouží ovladač krokového motoru. [3]

1.1 Historie krokového motoru

Historicky první zmínky o krokových motorech jsou zaznamenány v roce 1919 s udělením patentů ve Velké Británii a následně roku 1920 ve Spojených státech. Jedno z prvních využití krokového motoru (konkrétně třífázového reakčního) bylo napsáno v roce 1927 McClellandem v článku „The Application of Elektriccity in Warships“ vydaného v JIEE 65. Jednalo se o použití krokových motorů ve vojenské sféře, přesněji jako součást navádění torpéd u britského válečného námořnictva.

Ke komerčnímu využití krokových motorů došlo až v 60. letech 20. století v souvislosti s nástupem polovodičové techniky. Uplatnění pro motory se nachází v přesných polohovacích mechanismech a to konkrétně u velkokapacitních diskových pamětí, pohonech tiskáren, plotterů.

Největší nasazení a rozvoj krokových motorů nastal kolem roku 1970 kdy byla zahájena velkosériová výroba hybridních krokových motorů (1967 firma Sonyo) a vyvinut první čtyřbitový procesor (1971 firma Intel). [1]

Konkrétní aplikace krokových motorů je tedy ve výpočetní technice, přesněji v perifériích počítačů a to pro polohování hlaviček pevných i pružných disků, tiskáren, čteček a děrovaček děrných pásek. Dále u NC strojů, v leteckém a automobilovém průmyslu, v regulační technice, v pohonech průmyslových robotů a manipulátorů. Jeho uplatnění v technice a průmyslu neustále roste.

1.2 Základní definice pojmů krokového motoru

Krokový motor (KM)

je impulsně napájený motor, jehož funkční pohyb je nespojitý a děje se po jednotlivých úsecích - krocích.

Krok

je mechanická odezva rotoru krokového motoru na jeden řídicí impuls, při němž rotor vykoná pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší magnetické polohy.

Ovladač krokového motoru

řídí funkční pohyb a režimy chodu krokového motoru. Řídí jej tak, že budí fáze vinutí krokového motoru v určité časové posloupnosti. Ovladač musí splňovat dva požadavky. Musí zajistit výkonové buzení fází krokového motoru a vytvořit předdefinovanou časovou posloupnost buzení fází krokového motoru. Ovladač se skládá z výkonové části a komutátoru. Výkonová část je obvykle tvořena výkonovými spínacími prvky jejichž počet odpovídá počtu fází KM. Komutátor je elektronické zařízení, které na základě vstupních informací řídí spínání výkonových spínacích prvků tak, aby každému řídicímu impulsu odpovídalo natočení KM o jeden krok.

Velikost kroku α

je úhel, daný konstrukcí a způsobem ovládání motoru, který odpovídá změně polohy rotoru po zpracování jednoho řídicího impulsu. [6]

Magnetická klidová poloha

je poloha, kterou zaujme rotor nabuzeného krokového motoru, jestliže je statický úhel zátěže rovný nule.

Statický úhel zátěže β

je úhel o který se vychýlí rotor nabuzeného krokového motoru z magnetické klidové polohy při dané zátěži na hřídeli krokového motoru.

Statický moment M_s

je moment, který je v rovnováze s kroutícím momentem působícím na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru a vychylujícím rotorem z magnetické klidové

polohy o statický úhel zátěže. Maximální statický moment je při vychýlení rotoru právě o velikost kroku α . [11]

Statická charakteristika

krokového motoru je závislost statického momentu M_s na statickém úhlu zátěže β .

Otáčky rotoru

jsou určeny kmitočtem kroků f_k tj. počtem kroků za sekundu, které vykoná rotor krokového motoru. Kmitočet kroků f_k je stejný jako řídicí kmitočet řídicího signálu f_s v případě, když se rotor otáčí bez ztráty kroku. Otáčky určíme pomocí následujícího vztahu:

$$n = \frac{60 \cdot f_k \cdot \alpha}{360}$$

Momentová charakteristika

krokového motoru je závislost momentu M_z na kmitočtu kroků f_k nabuzeného krokového motoru, který se otáčí a je zatěžován. Křivka b je tzv. provozní charakteristika krokového motoru. Křivka a je tzv. rozběhová charakteristika motoru pro moment setrvačnosti zátěže J_z . [6]

Vlastní přídržný moment

Je maximální moment, kterým může být staticky zatížena hřídel nevybuzeného motoru aniž by se začala plynule otáčet.

Přídržný moment

Je maximální moment, kterým může být staticky zatížena hřídel vybuzeného motoru aniž by se začala plynule otáčet.

Zatěžovací moment

Je moment charakteru pasivního tření, kterým je zatížena hřídel motoru.

Stabilizační zatěžovací moment

Je zatěžovací moment nutný pro funkci krokového motoru v nestabilní oblasti řídicího kmitočtu.

Chod na prázdno

Je provozní stav, ve kterém motor není zatížen ani vnějším zatěžovacím momentem ani vnější zatěžovací setrvačnou silou.

Maximální rozběhový kmitočet

Je největší řídicí kmitočet, při kterém se motor může rozběhnout při chodu naprázdno bez ztráty kroku.

Rozběhový kmitočet

Je největší řídicí kmitočet, při kterém se motor může rozběhnout bez ztráty kroku s určitým zatížením sestávajícím z rozběhového momentu a z vnějšího momentu setrvačnosti.

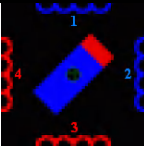
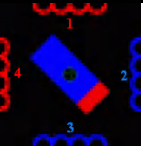
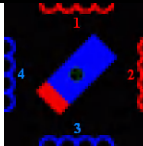
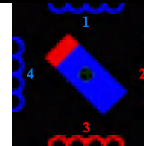
Maximální provozní kmitočet

Je největší řídicí kmitočet, při kterém může být motor provozován při plynulém zvýšení nebo snížení řídicího kmitočtu při chodu naprázdno. [11]

1.3 Obecný princip krokového motoru

Jde o jednoduchý princip. Proud procházející cívkou statoru vytváří orientované magnetické pole. Toto pole přitáhne opačný magnetický pól rotoru. Postupným vhodným napájením dalších cívek statoru se vytváří otáčivé orientované magnetické pole, které přitahuje póly rotoru a rotor se tak začne otáčet. V závislosti na rychlosti přepínání cívek měníme otáčky rotoru. Tato rychlost se pohybuje okolo několika stovek až několika tisíců otáček za vteřinu. [2]

Při překročení maximální rychlosti nebo při příliš velké zátěži krokový motor začne ztrácet kroky, tj. nelze poté zpětně určit přesný počet vykonaných kroků rotoru.

				
Cívka 1	-	+	+	-
Cívka 2	-	-	+	+
Cívka 3	+	-	+	+
Cívka 4	+	+	+	-

Tabulka 1 – Princip bipolárního dvoufázového řízení s plným krokem [12]

1.4 Základní charakteristiky krokového motoru

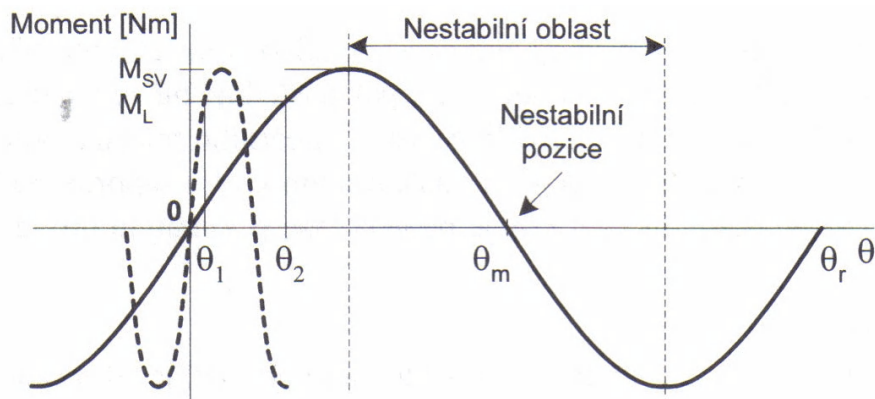
Základní charakteristiky krokového motoru jsou tři a to statická momentová charakteristika, momentová charakteristika a rezonance a nestabilita. Všechny tyto charakteristiky určují chování a vlastnosti konkrétních krokových motorů. Podle těchto charakteristik se vybírá potřebný krokový motor s ohledem na uplatnění.

1.4.1 Statická momentová charakteristika

Závislost úhlu rozladění (statického úhlu) θ (od jeho rovnovážné polohy $\theta = 0$) na kroutícím momentu zátěže se nazývá „Statická momentová charakteristika“. Její tvar je pro ideální KM sinusový viz obr.

Na obrázku 1 jsou znázorněny průběhy statických momentových charakteristik pro dva KM, kde je plnou čarou naznačen průběh krokového motoru pro větší velikost kroku a přerušovanou čarou průběh KM pro menší velikost kroku. Taktéž je na obrázku 1 zachycen případ, kdy jsou motory zatíženými stejnými momenty M_L .

Pro motor s menší velikostí kroku se hřídel vychýlí o θ_1 a pro motor s větší velikostí potom o θ_2 . Krokový motor s menším krokem má potom tedy strmější průběh statické momentové charakteristiky. Při změně natočení hřídele se její poloha mnohem rychleji ustálí oproti krokovému motoru s delším krokem. To je způsobeno díky lepším tlumícím účinkům mechanických oscilací rotoru. Maximální hodnota kroutícího momentu se nazývá přídržný moment. Je to moment, kterým lze působit na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru aniž by došlo k roztržení magnetické vazby a tak k následnému pootočení rotoru do další rovnovážné polohy dané fáze – na obrázku 1 jako θ_r . Velikost maximálního rozladění je větší než velikost jednoho kroku a závisí na počtu fází krokového motoru a průběhu reálné statické momentové charakteristiky, která obvykle není zastoupena sinusovým průběhem.



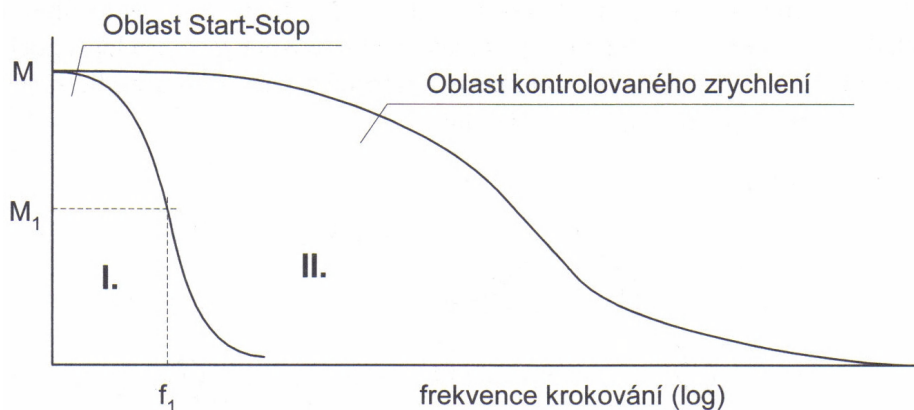
Obrázek 1 – Statická momentová charakteristika krokového motoru (ideální průběh), zakresleny průběhy momentu pro dva KM s rozdílnou velikostí kroku. [1]

1.4.2 Momentová charakteristika

Momentová charakteristika na rozdíl od statické momentové charakteristiky znázorňuje závislost momentu na otáčkách (krokovací frekvenci). Tato charakteristika krokového motoru bývá uváděna v katalogových listech. Obvykle bývá vykreslena pro různá napájecí napětí a pro odlišné zapojení vinutí. Charakteristické pro momentovou charakteristiku je její rozdělení do dvou oblastí, viz. obrázek 2.

Oblast I. nazývaná „start – stop“ nebo také „rozběhová“ zahrnuje stavy, do kterých se krokový motor může dostat z klidového stavu po připojení řídicích impulsů beze ztráty kroku. Z obrázku 2 – při zatěžovacím momentu M_1 lze přivést řídicí kmitočet f_1 .

Oblast II. se nazývá „provozní“ nebo také „oblast kontrolovaného zrychlení“. Té dosáhne krokový motor při plynulém zvyšování řídicí frekvence. Složitější způsob však umožňuje krokový motor lépe využít.



Obrázek 2 – Momentová charakteristika krokového motoru [1]

1.4.3 Rezonance a nestabilita

V praxi se zjištěné průběhy momentových charakteristik liší od katalogových. Tyto rozdíly se projevují jako poklesy momentové charakteristiky při určitých krokovacích frekvencích, jak je znázorněno na obrázku 3. Velikosti a polohy poklesů závisí na vlastnostech krokového motoru, budiče, pracovním módu a zátěži. Existují hlavní dvě příčiny tohoto jevu:

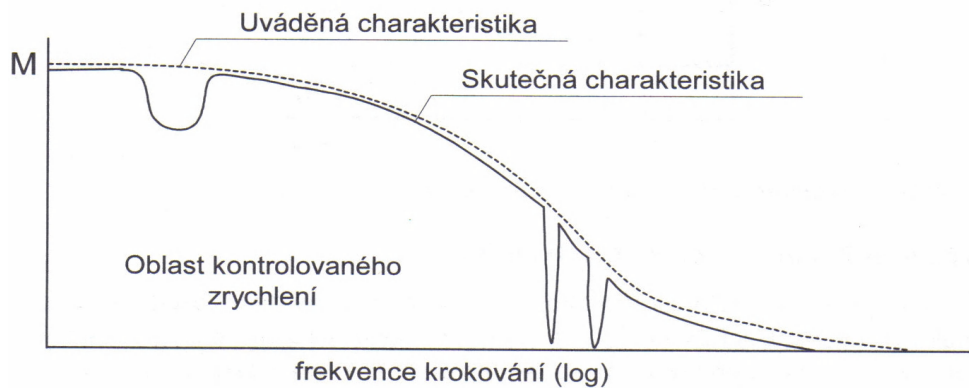
- a) Vlastní rezonance
- b) Kladná zpětná vazba mezi motorem a budičem - nestabilita

1.4.3.1 Rezonance

Jde o vlastní rezonanci, která se projevuje především v nízkých oblastech krokovacích kmitočetů. Když se krokovací kmitočet shoduje s vlastní frekvencí oscilace rotoru, oscilace mohou narůstat a krokový motor tak může vypadnout ze synchronu (ztráta synchronizace). V případě výskytu rezonance u krokového motoru v řídicím systému bez polohové zpětné vazby vede ztráta synchronizace k závažné a neodstranitelné chybě polohy.

1.4.3.2 Nestabilita

Tento jev je poněkud složitější. V určitých oblastech krokovacích kmitočetů se může dostat do nestability celý systém. Základní příčina tohoto chování je kladná zpětná vazba mezi motorem a budičem. Tento jev obvykle nastává při vyšších kmitočetů momentové charakteristiky. Tato nestabilita je extrémně citlivá na stupeň tlumení – hlavně v ložiscích (vliv teploty). Pokud není požadována činnost krokového motoru v oblastech poklesů, není jejich existence nijak důležitá. Je možné normálně krokový motor zrychlovat přes tyto oblasti aniž by to mělo negativní účinek. [1]



Obrázek 3 – Poklesy momentové charakteristiky způsobené rezonancemi a nestabilitou [1]

1.5 Druhy krokových motorů

Krokové motory lze dělit různými způsoby, a to:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. dle pohybu | – rotační |
| | – lineární (nerotační) |
| 2. dle prvků mechanické konstrukce | – reakční |
| | – hybridní |
| 3. dle počtu fází statoru | – jednofázové |
| | – dvoufázové |
| | – vícefázové |
| 4. dle polaroty napájení vinutí | – bipolární |
| | – unipolární |
| 5. dle napájecího napětí | – 5V |
| | – 12V |
| | – 24V |
| 6. dle vlastností materiálu rotoru | – s pasivním rotorem |
| | – s aktivním |
| | a) S radiálně polarizovaným permanentním magnetem |
| | b) S axiálně polarizovaným permanentním magnetem |

Aktivní = jeho rotor obsahuje magneticky aktivní část – permanentní magnet

Pasivní = jeho rotor neobsahuje magneticky aktivní část – svazek plechů, jeden kus ocele

Rotační = jeho rotor vykonává rotační pohyb

Lineární = jeho rotor vykonává lineární pohyb nikoli rotační

Reakční = obsahuje konstrukční prvky jen aktivního/pasivního krokového motoru

Hybridní = obsahuje konstrukční prvky aktivního i pasivního krokového motoru

Bipolární = polarita napájení vinutí se mění

Unipolární = polarita napájení vinutí se nemění

S radiálně polarizovaným magnetem = (ve směru poloměru) čtyřpólové a vícepólové

S axiálně polarizovaným magnetem = (ve směru osy) dvoupólové

Krokový motor v této práci bude rozdělen dle pohybu rotoru. V části rotačních krokových motorů budou zpracovány dva nejpoužívanější krokové motory a to krokové motory s pasivním rotorem a hybridní krokový motor.

1.5.1 Krokový motor rotační

Jak již název krokového motoru napovídá, jedná se o krokový motor jehož rotor vykonává rotační pohyb. Stator takového motoru tvoří sady cívek. Rotor je tvořen hřídelí usazenou na (nejčastěji) kuličkových ložiscích.

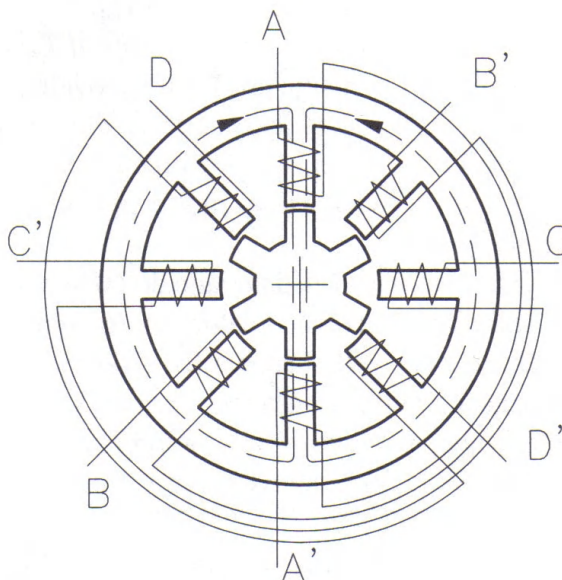
V této části práce budou zpracovány dva nejčastěji využívané typy rotačních krokových motorů.

1.5.1.1 Krokový motor s pasivním rotorem

Krokový motor s pasivním rotorem bývá velice často označován jako reakční motor. Též se užívá názvu reluktanční motor nebo také motor s proměnnou reluktancí – z anglického Variable Reluctance (VR).

Na obrázku 4 je zachycen řez čtyřfázovým reakčním motorem s úhlem kroku 15° přičemž je buzena fáze A. Stator se skládá z ocelových plechů s osmi pólovými nástavci, na kterých jsou navinuty jednotlivé fáze. Každá z fází je navinuta na dvou nástavcích umístěných proti sobě. Fáze jsou zde tedy čtyři. Rotor, který může být tvořen z jednoho kusu ocele nebo z ocelových plechů (jak je tomu u statoru), má šest pólových nástavců, které mají stejnou šířku jako statorové nástavce. Mezi statorovými a rotorovými

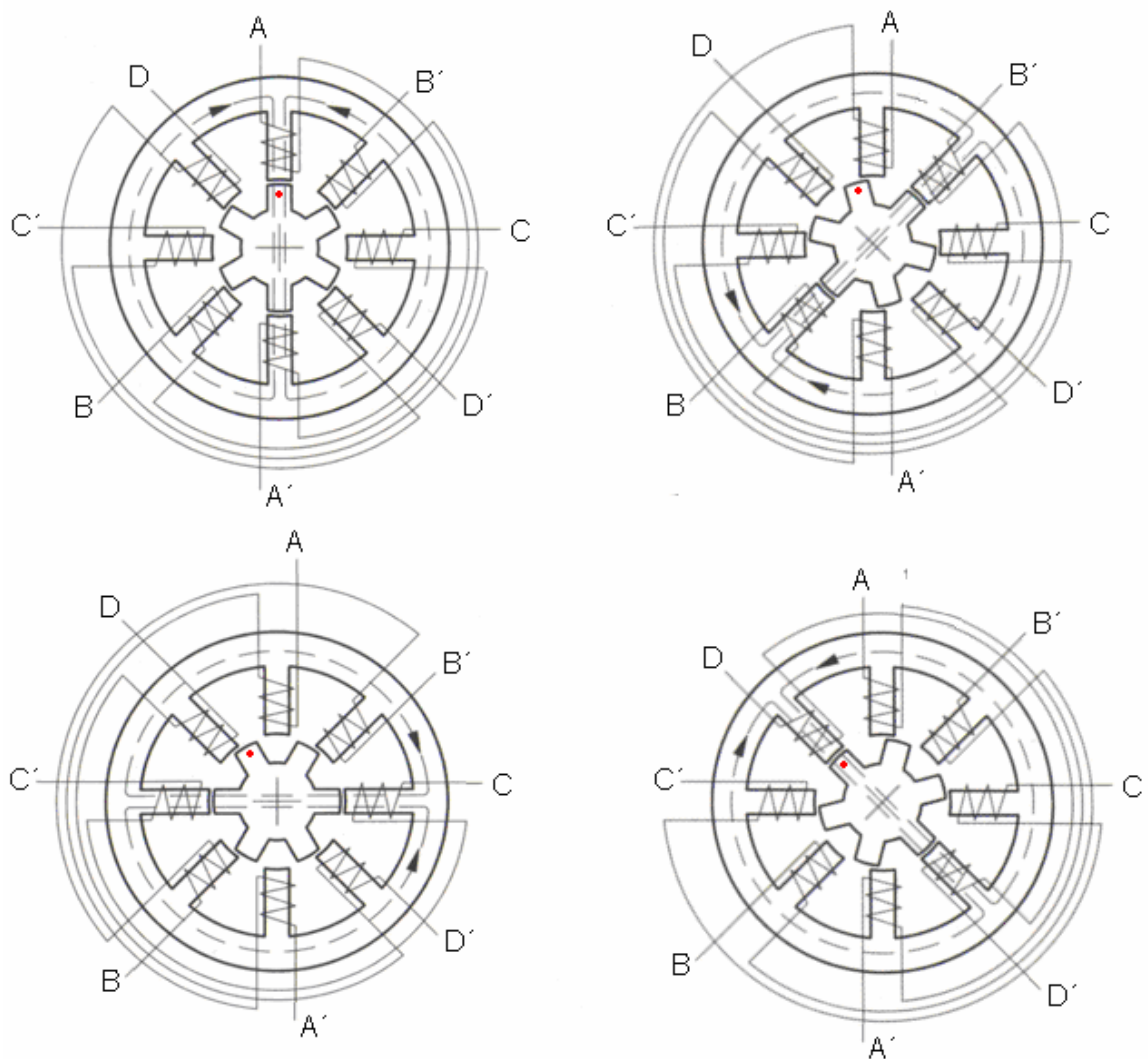
nástavci je velice malá vzduchová mezera – rozmezí 0,2 až 0,02 mm. Protilehlé páry statorových vinutí jsou zapojeny do série. To znamená, že při napájení vinutí se vytvoří severní a jižní pól. Jednotlivá fázová vinutí statoru jsou zde tvořena čtyřmi nezávislými vinutími. [1]



Obrázek 4 – Řez čtyřfázovým reakčním krokovým motorem s velikostí kroku rotoru $1,5^\circ$ (buzena fáze A). [1]

Popis činnosti krokového motoru s pasivním rotorem

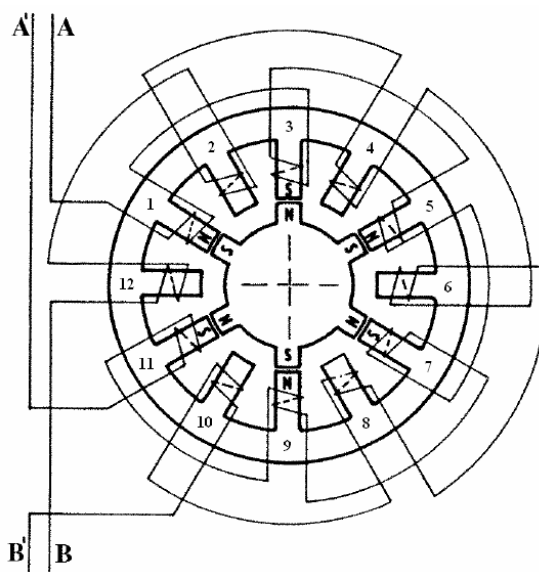
Stator je utvořen osmi cívkami navinutými na statorových nástavcích. Tyto cívky jsou zapojeny do čtyřfázového vinutí a to tak, že protilehlé cívky tvoří vždy jednu z fází. Protéká-li proud fází A, potom je nejbližší dvojice rotorových pólů přitahována severní a jižní částí fáze A. Tímto hřídel vykonala krok s úhlem 15° . Pro další kroky hřídele se přestane napájet fázové vinutí A a napájí se fázové vinutí B. Opět je přitahována vzniklým magnetickým polem nejbližší dvojice rotorových pólů. Princip činnosti je zachycen na obrázku 5.



Obrázek 5 – Princip otáčení rotoru postupným buzením cívek A – B – C – D otáčejícím se proti směru hodinových ručiček.

1.5.1.2 Krokový motor s aktivním rotorem

Na obrázku 6 je zachycen řez dvoufázovým krokovým motorem s aktivním rotorem s radiálně polarizovaným permanentním magnetem. Jeho rotor, jak již dlouhé upřesnění motoru napovídá, je tvořen permanentním magnetem, který má šest pólových nástavců na kterých se střídají severní a jižní póly. Počet pólů statoru je dvounásobný počtu pólů rotoru a zároveň dělitelný čtyřmi (na obrázku 6 rotor se šesti póly, stator s dvanácti). Statorových dvanáct navinutých cívek je zapojeno do dvoufázového vinutí a to tak, že cívky na lichých nástavcích (1, 3, 5, 7, 9 a 11) tvoří fázi A a cívky na sudých nástavcích (2, 4, 6, 8, 10 a 12) tvoří fázi B. [6]

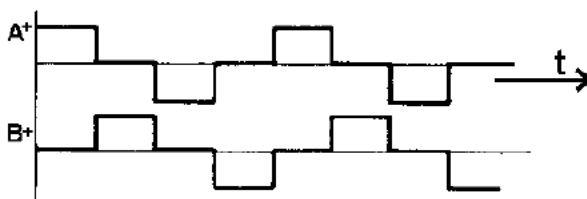


Obrázek 6 – Řez dvoufázovým krokovým motorem s aktivním rotorem. [6]

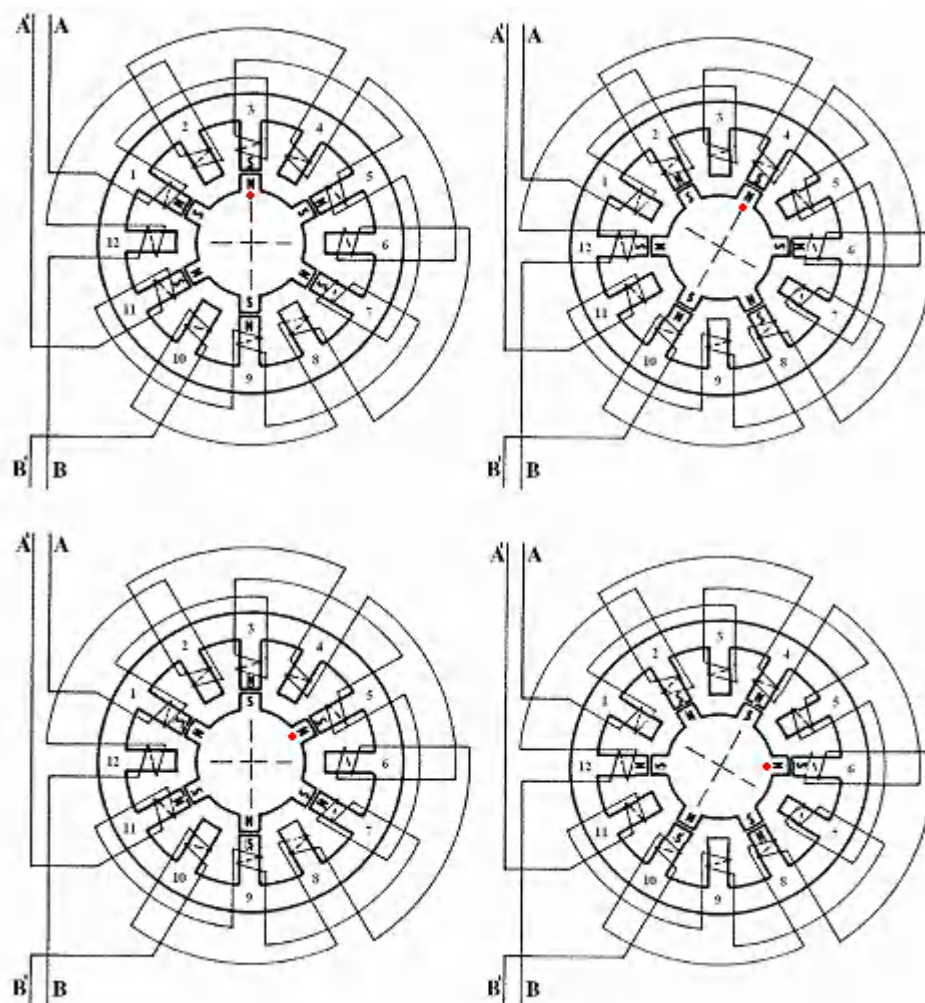
Popis činnosti krokového motoru s aktivním rotorem

Protéká-li proud fází A kladný proud $+A$, potom jsou liché nástavce této fáze magnetizovány a tvoří severní póly a sudé nástavce této fáze magnetizovány a vytvoří jižní póly. Následně se vybudí fáze B kladným proudem $+B$, kde jsou poté liché nástavce této fáze magnetizovány a tvoří severní póly a sudé nástavce této fáze magnetizovány a vytvoří jižní póly. Pro další krok je třeba otočit polaritu jednotlivých fází, přičemž postup je stejný jako výše uvedený s rozdílem vytvořených pólů - viz obrázek 8. Průběhy těchto budících proudů jsou zachyceny na obrázku 7. Z tohoto je patrné, že je nutné napájet jednotlivé fáze bipolárně.

Polarita proudu do vinutí B určí směr otáčení hřídele. Pro otáčení ve směru hodinových ručiček bude polarita proudu do B záporná, pro opačný pohyb bude polarita proudu do B kladná.



Obrázek 7 – Průběh budícího proudu v jednotlivých fázích KM. [6]

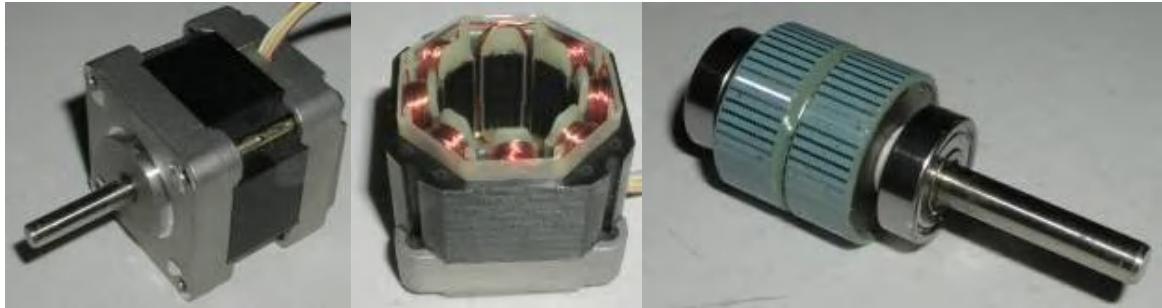


Obrázek 8 – Princip otáčení rotoru postupným buzením cívek A, B, A', B' otáčejícím se ve směru hodinových ručiček.

1.5.1.3 Hybridní krokový motor

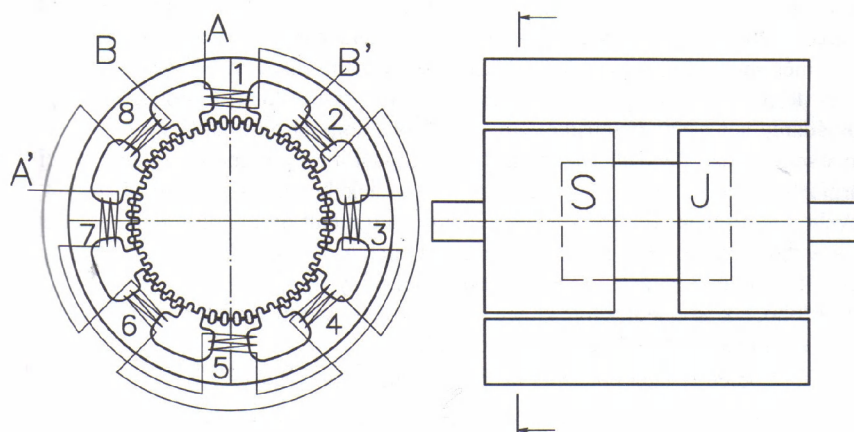
Hybridní krokový motor je v současnosti nejvíce využívaným krokovým motorem a to díky svému velice malému krokovacímu úhlu.

Mimo výše uvedeného, zachyceného na obrázku 5, dvoufázového krokového motoru jsou na stejném principu vyráběny vícefázové krokové motory. Ty mají větší počet kroků a díky tomu i podstatně vyšší přesnost, avšak jejich nevýhoda se skrývá ve složitosti budících obvodů a ceně.



Obrázek 9 – Fotografie hybridního motoru – zleva – celkový náhled, stator, rotor [12]

Na obrázku 10 je zachycen řez hybridním dvoufázovým krokovým motorem s úhlem kroku $1,8^\circ$. Jeho stator je tvořen osmi hlavními pólovými nástavci. Každý nástavec je rozdělen pěti shodnými zuby. Na každém hlavním pólovém nástavci je navinuta cívka. Rotor motoru je vyroben z nemagnetické oceli na které jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechů. Jak je patrné na obrázku, mezi těmito pólovými nástavci je uložen ve směru osy (axiálně) permanentní magnet. Z tohoto důvodu mají rotorové nástavce různou magnetickou polaritu. Tyto pólové nástavce jsou rozděleny na 50 zubů se stejnou šířkou zubu jako tomu je u statorových zubů. Nejdůležitější pro správnou činnost je, že rotorové pólové nástavce (i jejich zuby) jsou vzájemně v osově směru natočeny tak, že proti osám zubů jednoho nástavce jsou osy drážek druhého (zuby jednoho nástavce vůči druhému jsou natočeny o polovinu zubu). [1]

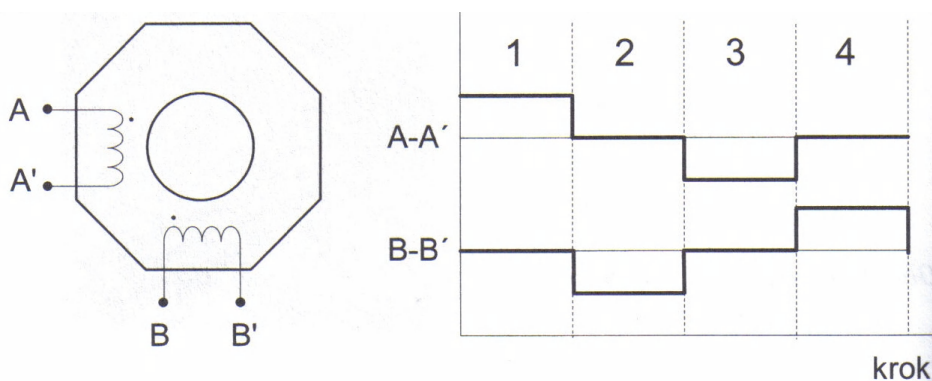


Obrázek 10 – Řez hybridním krokovým motorem s úhlem kroku $1,8^\circ$. [1]

Popis činnosti hybridního dvoufázového krokového motoru

Pokud řídicí buzení není aktivní, neboli když žádnou z fází neprochází proud, potom je magnetický tok vytvořen pouze permanentním magnetem a rotor je tak tímto magnetem chráněn a držen v určité klidové poloze. Stator je utvořen osmi cívkami zapojenými do dvoufázového vinutí a to tak, že cívky na lichých nástavcích (1, 3, 5 a 7) tvoří fázi A a cívky na sudých nástavcích (2, 4, 6 a 8) tvoří fázi B. Protéká-li kladný proud fází A, potom statorové póly 1 a 5 jsou magnetizovány a tvoří jižní pól, naproti tomu statorové póly 3 a 7 jsou magnetizovány severně. Zuby na severním konci rotoru jsou přitahovány jižními póly statoru 1 a 5. Posunutá zuby na jižním konci rotoru jsou naopak přitahovány severními statorovými póly 3 a 5. Aby rotor vykonal 1 celý krok, musí se přestat napájet fázové vinutí A a začít napájet fázové vinutí B. Polarita proudu do vinutí B určí směr otáčení hřídele. Pro otáčení ve smělu hodinových ručiček bude polarita proudu do B záporná, pro opačný pohyb bude polarita proudu do B kladná.

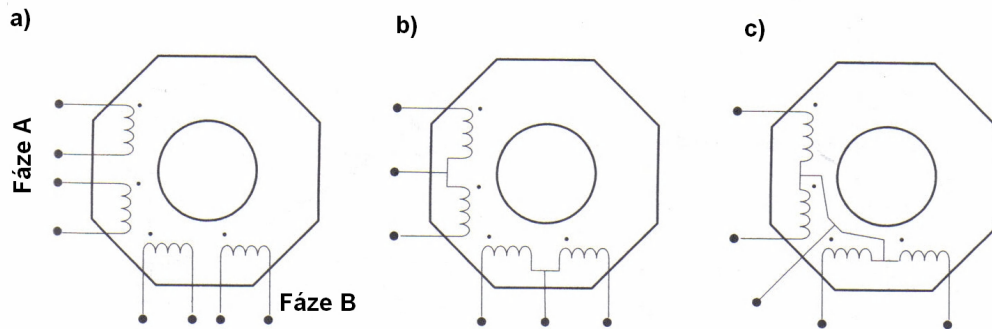
Hřídel se otáčí (krokuje) důsledkem spínání (buzení) fází v sekvencích +A, -B, -A, +B, +A nebo +A, +B, -A, +B, +A. Z těchto sekvencí je patrné, že je potřeba jednotlivé fáze budit bipolárně. Změna polarity proudu má za následek změnu magnetického toku. Pro změnu polarity je třeba u běžných bipolárních hybridních dvoufázových motorů bipolárního napájecího zdroje, případně můstkového spínače.



Obrázek 11 – Vlevo-zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním řízením
Vpravo-časové průběhy čtyřtaktního řízení dvoufázového hybridního KM
(bipolární řízení s magnetizací jedné fáze) [1]

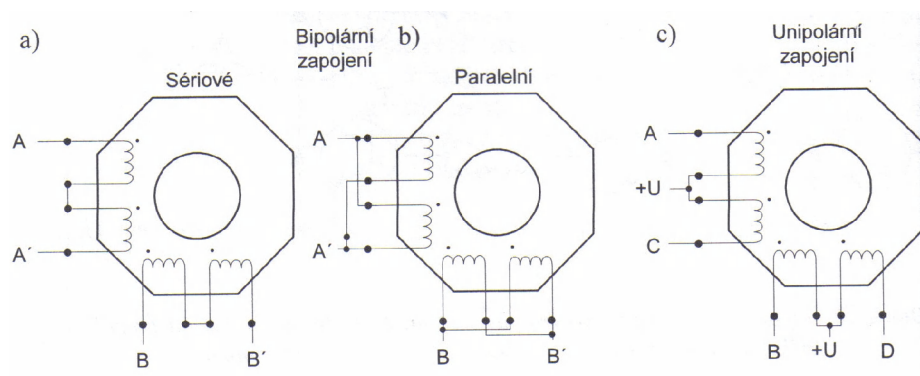
Existují však i hybridní krokové motory, které mají každou fázi rozdělenou na dvě poloviny. Podle toho, jak jsou konce těchto polovin vinutí vyvedeny ven z motoru, má dvoufázový krokový motor:

- a) osm vodičů – vyvedena každá polovina fáze samostatně
- b) šest vodičů – vyvedeny dva konce obou vinutí a středy obou vinutí
- c) pět vodičů – vyvedeny dva konce obou vinutí a společný střed obou vinutí



Obrázek 12 – Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází. [1]

Nejuniverzálnější zapojení fází je u vyvedení všech vodičů samostatně. Při bipolárním buzení krokového motoru můžeme jednotlivé poloviny fází zapojit paralelně či sériově. Při sériovém zapojení je v oblastech nižších krokovacích frekvencí vyšší rozběhový moment. U paralelního zapojení je naproti tomu vyšší v oblastech vyšších frekvencí.



Obrázek 13 – Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení. [1]

1.5.2 Krokový motor lineární

Jde o speciální typ krokového motoru. Jak již název napovídá, díky své konstrukci využívá jiný druh pohybu oproti předchozím krokovým motorům. Jde o pohyb lineární, ne o rotační. Statorové vinutí je rozloženo do roviny a je uloženo v drážkách statoru. Tímto

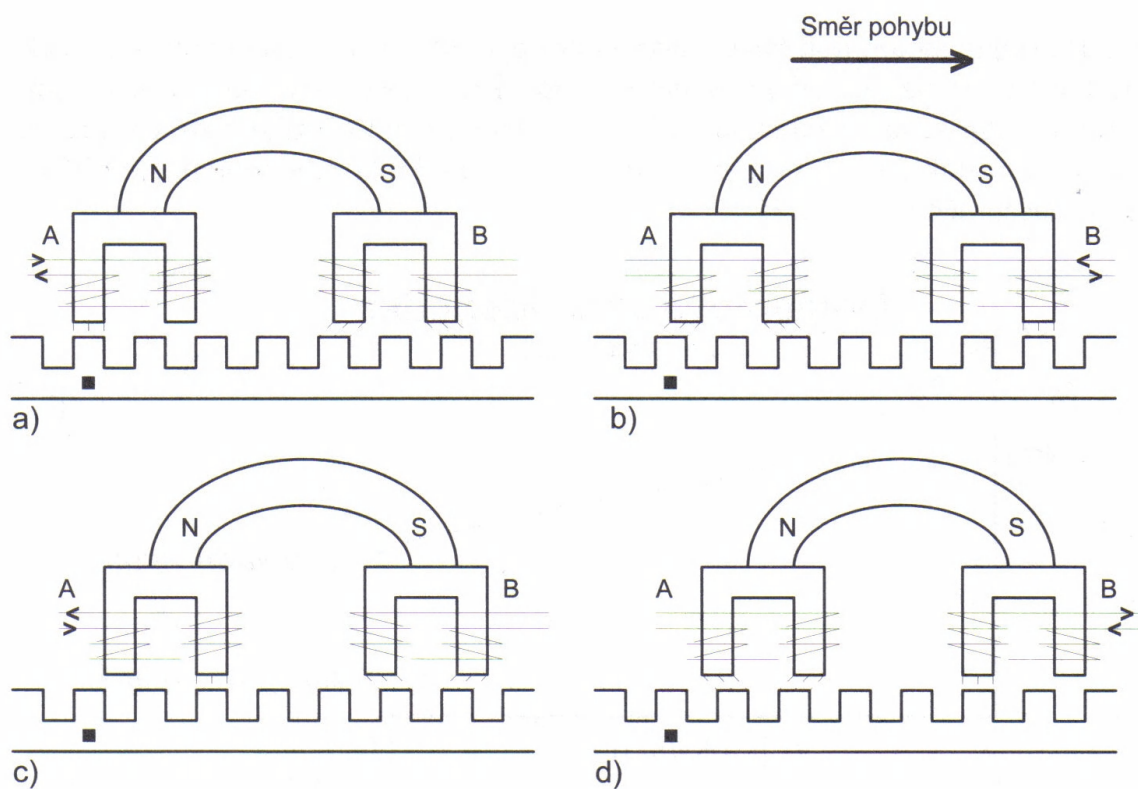
vzniká namísto otáčivého magnetického pole takzvané pole postupné. Rotor Z tohoto důvodu nachází uplatnění v některých tiskárnách, jednoosých plotterů, v robotice a polohovacích zařízeních u obráběcích strojů. Lineární krokový motor může být jednoosý či dvouosý. Jelikož je založen na stejných principech jako dva výše uvedené rotační krokové motory, lineární motor může být hybridní nebo reakční.

Lineární motor pracuje na principu takzvaného Sawyerova lineárního motoru. Ten byl dříve vyráběn jako reakční krokový motor „PM“ – v podstatě šlo o reakční krokový motor s „rotorem“ z permanentního magnetu (odtud označení „PM“). V dnešní době je vyráběn jako hybridní.

Popis činnosti lineárního krokového motoru

Obrázek 14 znázorňuje princip činnosti Sawyerova lineárního motoru. Statorové pólové nástavce tvoří určitý počet stejně velikých zubů. Na čtyřech „rotorových“ pólových nástavcích o shodné šířce zubů statoru jsou navinuty dvě fáze, a to fáze A a B. Fázi A tvoří dva levé krajnější pólové nástavce a fázi B dva zbývající pravé krajnější pólové nástavce. Pro správnou funkčnost lineárního motoru musí být pólové nástavce fáze B vůči pólovým nástavcům fáze A posunuty o šířku rozteče půl zubu.

Nejprve je buzena fáze A kladným proudem $+A$, následně je buzena fáze záporným proudem $-B$. Tímto dojde k posunu pohyblivé části – lineárního „rotoru“ – o polovinu zubové rozteče vpravo. Obdobně se pokračuje dále a to tak, že do fáze A přivedeme záporní budící proud $-A$. V následujícím taktu je buzena fáze B kladným proudem $+B$. Z tohoto opět vyplývá, že je potřeba jednotlivé fáze budit bipolárně. [1]




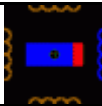


Obrázek 14 – Princip činnosti Sawyerova lineárního krokového motoru. [1]

2 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU

Způsobů řízení krokového motoru je hned několik. Pro určitý krokový motor však nelze využít všechny, tudíž je potřeba způsob řízení vybrat dle typu KM. Dále některou z variant řízení krokového motoru volíme podle požadované přesnosti polohy, požadovaného kroutícího momentu, přesnosti nastavení polohy. V praxi se rozeznávají dva základní druhy řízení krokových motorů podle napájení a to unipolární (buzena jedna fáze) a bipolární (buzeny 2 fáze současně).

2.1 Unipolární řízení

U unipolárního řízení je vždy v jednom okamžiku buzena právě jedna cívka statorového vinutí. Krokový motor s tímto buzením má menší odběr, ale také menší kroutící moment.

				
Cívka 1	-	0	0	0
Cívka 2	0	-	0	0
Cívka 3	0	0	-	0
Cívka 4	0	0	0	-

Tabulka 2 – Buzení jednotlivých cívek unipolárního jednofázového řízení s plným krokem [12]

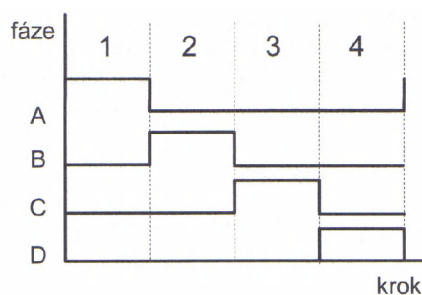
2.1.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Jedná se o nejjednodušší způsob řízení krokového motoru používaný pro čtyřfázový reakční krokový motor, případně pro dvoufázový hybridní KM v zapojení fází pro unipolární buzení – viz. obrázek 13 c).

Předpokládejme, že fáze A je buzena (obrázek 4). V ose pólových nástavců, na kterých je navinuta fáze A, se utvoří elektromagnetické pole. Nejbližší pár pólových nástavců rotoru se bude snažit dostat do místa největší intenzity elektromagnetického pole vytvořené fází A a tím tak dojde k pootočení rotoru. Po odpojení napájení fáze A se připojení buzení fáze B a jiný pólový pár rotoru se pootočí o 15° proti směru hodinových ručiček a zde zaujme novou rovnovážnou polohu. K dalšímu pootočení rotoru dochází ve chvíli, kdy se odpojí napájení fáze B a připojí se fáze C. Opět se nejbližší pár rotoru snaží dostat na místo s největší intenzitou. Posléze se odpojí fáze C a vybudí se fáze D. Další

kroky se provádí znovu od fáze A v pořadí A – B – C – D – A... Změnu smyslu otáček rotoru docílíme opačným spínáním jednotlivých fázových vinutí a to v pořadí A – D – C – B – A...

U takového způsobu řízení nezáleží na vzájemné polaritě napájecího napětí jednotlivých fází.



Obrázek 15 – Časové průběhy čtyřtaktního řízení KM s magnetizací jedné fáze. [1]

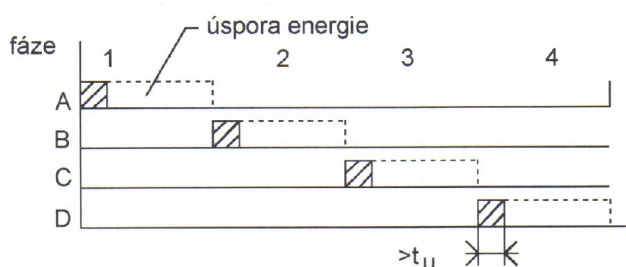
2.1.2 Řízení krokového motoru se sníženou energetickou náročností

Nejčastěji používané řízení krokových motorů předpokládá, že vždy nejméně jedno vinutí je napájené.

Po vykonání kroku pohonu je rotor udržovaný v rovnovážné poloze přídržným momentem, který vyvíjí napájený krokový motor. Odezva celého pohonu na jediný řídicí impuls představuje tlumený kmitavý děj. Poměr doby přechodu t_p , kdy pohon poprvé překmitne novým rovnovážným stavem a dobu ustálení t_u , po kterou se pohon trvale přiblíží k novému rovnovážnému stavu s odchylkou pod $\pm 5\%$, je mírou tlumení systému. Z tohoto plyne, že čas ustálení je tedy možné považovat za dobu aktivní činnosti pohonu. Pokud po době ustálení t_u mechanická zátěž nevyvolává zpětné silové působení na pohon, napájení vinutí po době ustálení zbytečně zvyšuje celkovou energetickou spotřebu pohonu proto je zbytečné v těchto případech po ustálení napájet vinutí. Dosažená poloha se tedy udržuje pouze působením vlastního přídržného momentu.

Tento způsob ovládání je možné využít pouze u čtyřtaktního řízení s buzením jedné fáze a je tedy energeticky tím výhodnější, čím je frekvence řídicích impulsů menší. V praxi toto uspořádání může vést k zjednodušení napájecího zdroje pro fázová vinutí krokového motoru a snížení tepelné zátěže spínacích prvků pro jednotlivá fázová vinutí.

Na obrázku 16 je uveden časový diagram napájení dvoufázového krokového motoru ve čtyřtaktním řízení. Přerušovanou čarou je vyznačeno buzení krokového motoru při napájení příslušného fázového vinutí během celé periody řídicích impulsů Δt . Šrafováním je vyznačen režim impulsního buzení s vypínáním. [1]



Obrázek 16 – Časový průběh buzení dvoufázového hybridního KM v čtyřtaktním řízení s magnetizací jedné fáze. [1]

2.2 Bipolární řízení

U bipolárního řízení krokového motoru je vždy buzeno nejméně jedno ze statorových vinutí. Ukázka takového řízení je znázorněna v tabulce 1.

Krokový motor při tomto buzení poskytuje větší kroutící moment ovšem za cenu vyšší spotřeby a složitosti napájecích a řídicích obvodů.

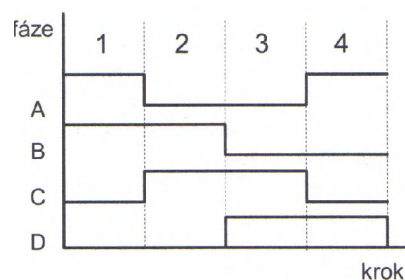
Cívka 1	-	0	+	0
Cívka 2	0	-	0	+
Cívka 3	+	0	+	0
Cívka 4	0	+	0	-

Tabulka 3 – Buzení jednotlivých cívek bipolárního jednofázového řízení s plným krokem [12]

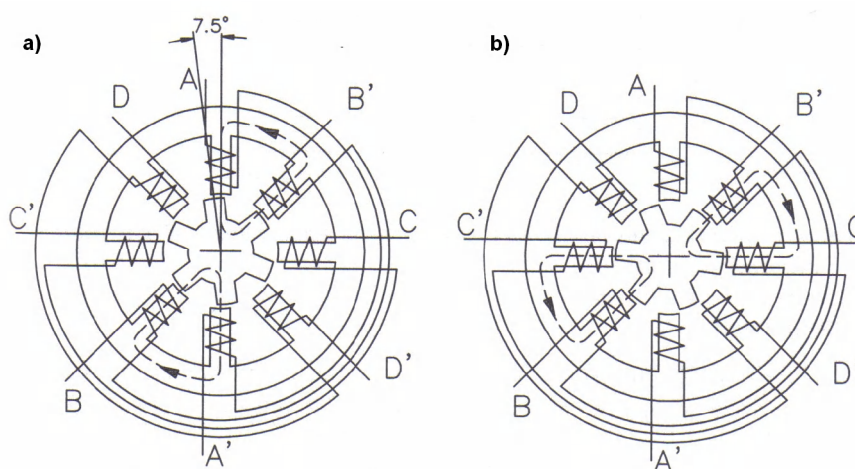
2.2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Způsob spínání jednotlivých fází, kdy jsou vždy napájeny dvě sousední fáze, se nazývá čtyřtaktní s magnetizací dvou fází. Při tomto způsobu napájení leží rovnovážná poloha rotoru vždy mezi vybuzenými, vedle sebe nacházejícími se, pólovými nástavci statoru a oproti předchozímu čtyřtaktnímu řízení s magnetizací jedné fáze je tedy vychýlena o polovinu kroku, což jest $7,5^\circ$. Velikost kroku se však nemění. Zůstává na 15° . Potom je

tedy časový průběh spínání jednotlivých fází AB – BC – CD – DA pro jeden směr a pro druhý směr při spínání fází AD – CD – BC – AB na otáčení po směru hodinových ručiček.



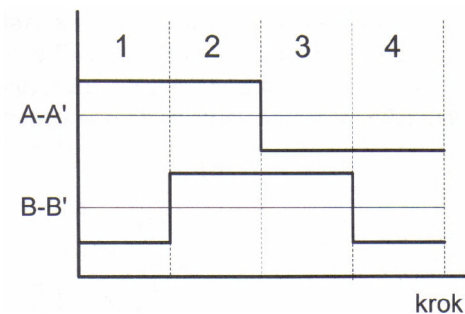
Obrázek 17 – Časové průběhy čtyřtaktního řízení KM s magnetizací dvou fází. [1]



Obrázek 18 – První a druhý krok čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový KM. [1]

Na obrázku 17 a je zachycen stav, kdy jsou současně buzeny fáze A i B. Také jsou zde zakresleny uzavřené magnetické toky s označením příslušného směru. Do následující rovnovážné polohy se takto buzený rotor dostane odpojením buzení A a připojením fáze C. V tuto chvíli jsou sepnuty fáze B a C jak je i zaznačeno na obrázku 17 b. Další kroky jsou již patrné z předchozího popisu a výše uvedeného obrázku 16.

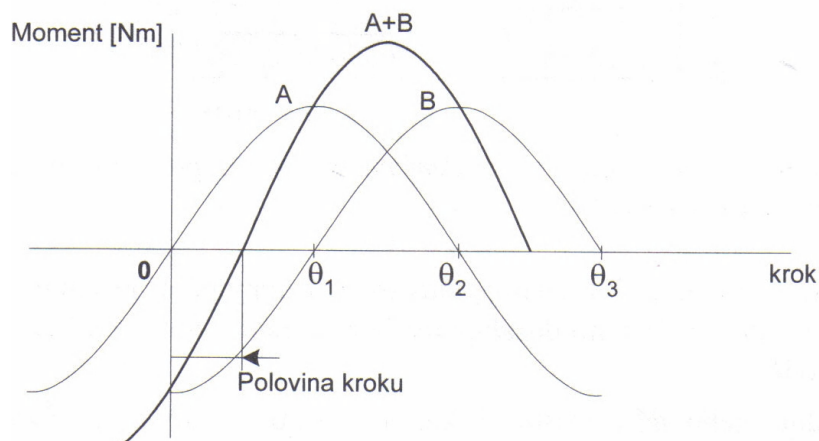
V tomto způsobu řízení krokového motoru již závisí na polaritě napájení jednotlivých fázových vinutí a tedy i na směru generovaného magnetického toku. Toto je však již konstrukčně zajištěno a to smyslem vinutí jednotlivých fází. Krokovací posloupnost pro řízení čtyřfázového reakčního krokového motoru je znázorněna na obrázku 17. Pro dvoufázový hybridní krokový motor je krokovací posloupnost zachycena na obrázku 19. U tohoto případu je kromě spínání (či rozpínání) fázových vinutí také měněna polarita protékajícího proudu.



Obrázek 19 – Časové průběhy dvoufázového hybridního KM s bipolárním buzením 2 fází. [1]

Výhoda řízení s magnetizací dvou fází oproti řízení s magnetizací jedné fáze

- Zvýšení statického momentu krokového motoru (viz obrázek 20).
- Větší tlumící účinky mechanických oscilací rotoru při krokování, způsobené vyšší strmostí výsledné statické momentové charakteristiky, což dovoluje dosáhnouti vyšších krokovacích frekvencí.



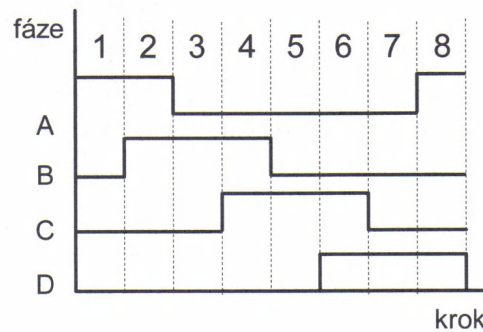
Obrázek 20 – Statická momentová charakteristika s buzením dvou fází. [1]

2.2.2 Osmitaktní řízení

Takzvané osmitaktní řízení vznikne „složením“ čtyřtaktního řízení s buzením jedné a dvou fází. Tento způsob řízení se z tohoto důvodu často nazývá také „osmitaktní řízení s buzením jedné a dvou fází“.

Při tomto způsobu se postupně střídá buzení jedné a dvou fází v sekvenci A – AB – B – BC – C – CD – D – DA –... pro jeden směr, případně pro směr druhý pro sekvenci opačnou a to A – DA – D – CD – C – BC – B – AB –...

Rotor se však pootáčí o polovinu kroku, zde tedy konkrétně o $7,5^\circ$. Sekvenci kroků můžeme vyčíst z obrázku 21.



Obrázek 21 – Časové průběhy osmitaktního řízení s magnetizací jedné nebo dvou fází čtyřfázového KM. [1]

Výhoda tohoto způsobu řízení je dvojnásobný počet kroků na otáčku. Tohoto je dosaženo bez jakékoli úpravy budicích obvodů.

Nevýhoda u tohoto způsobu řízení je různá velikost maximálního momentu ve statické momentové charakteristice, která je různá pro napájení jedné fáze a pro napájení dvou fází. Tato vlastnost je však odstranitelná, avšak na úkor jednoduchosti budicích obvodů. Lze tedy odstranit tím, že v těch krocích, kdy jsou buzeny právě dvě fáze současně, budeme napájet tyto fáze nižším proudem. Přesná velikost tohoto proudu závisí na velikosti kroku, neboli jak jsou od sebe polohy statických momentových charakteristik sousedních fází vzdáleny. Další nevýhodou jsou dva odlišné, postupně se střídající časové průběhy oscilací rotoru. [1]

2.2.3 Mikrokrokování

Tento způsob řízení krokového motoru je aplikován tam, kde je vyžadována velice jemná rozlišitelnost polohy krokového motoru jako jsou například zlomky stupně. Toto je aplikováno například u tiskáren, fototechnice, mikromechanice a robotice. Dále se mikrokrokování uplatňuje tam, kde je potřeba snížit možné mechanické rázy vznikající při změně polohy hřídele.

Úhel kroku může být zmenšen zvýšením počtu fází a/nebo rotorových zubů. V praxi je ale nevýhodné pracovat s počtem fází větším než čtyři a je obtížné a nákladné vyrobit rotor s více než sty zuby. Z tohoto důvodu jsou krokové motory s úhlem kroku

pod 1° výjimkou. Existuje však způsob řízení krokového motoru známým jako „mikrokrokování“, který zvyšuje počet kroků na otáčku.

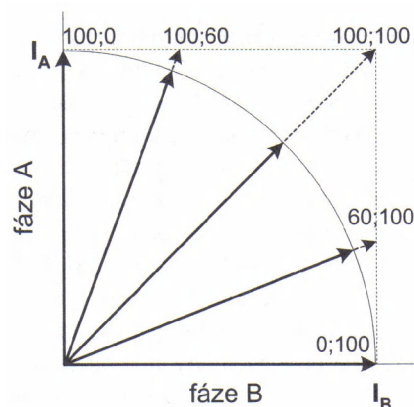
Tento způsob vychází z metody „magnetizace dvou fází“ popsaná výše v osmitaktním řízením a dělí tak každý krok na mikrokroky zpravidla stejné délky a to do maximálního počtu 64 – 128. Oproti magnetizaci dvou fází, kde byly obě fáze napájeny stejnou velikostí proudu, zde jsou záměrně velikosti proudů v jednotlivých mikrokrocích odlišné. Vhodnou volbou a řízením vzájemných velikostí proudů můžeme dosáhnout libovolné rovnovážné polohy mikrokroku mezi sousedními „základními kroky“ – určeno poměrem proudů a také stejného, případně různého momentu – dané velikostí proudů. V tabulce 1 je ukázán příklad rozdělení kroku na čtyři mikrokroky s různou velikostí momentů v jednotlivých mikrokrocích.

Poloha mikrokroku	Proud fáze 1	Proud fáze 1
0	I	0
1/4	I	kI
1/2	I	I
3/4	kI	I
1/0	0	I

Tabulka 4 – Rozdělení základního kroku na 4 mikrokroky [1]

Na obrázku 22 jsou potom plnou čarou znázorněny vektory proudu, které zajistí stejný moment ve všech mikrokrocích.

Popis je následující. Nejprve je ve výchozí poloze fáze 1 buzena jmenovitým proudem I a fáze 2 není buzena vůbec. Z tohoto důvodu je rotor vyrovnán s fází 1. Následuje mikrokrok do polohy $\frac{1}{4}$ základního kroku, které je dosaženo současným buzením fáze 1 proudem I a fáze 2 částí proudu kI. Druhého mikrokroku je dosaženo současným buzením obou fází jmenovitým proudem I. Pro třetí mikrokrok je fáze 1 buzena proudem kI a fáze 2 buzena proudem I. K tomu, aby byl krok úplný je zapotřebí vypnout buzení fáze 1 a plně vybudit fázi 2 proudem I. Koeficient k je kladný a vždy menší než 1.



Obrázek 22 – Mikrokrokování [1]

Pro takovýto jednoduchý případ čtyř výše uvedených mikrokroků na jeden mikrokrok je zapotřebí dvouhladinový napájecí zdroj s hodnotami I a kI . Z toho vyplývá, že při vyšším počtu mikrokroků vzrostou požadavky na napájecí a spínací obvody. V současné době se vyrábí speciální integrované obvody přímo určené na buzení krokových motorů a zajišťujících mikrokrokování.

Přínosem mikrokrokování je mimo jemnou rozlišitelnost polohy krokového motoru také snížení jeho mechanických rezonancí. Tyto rezonance závisí také na charakteristikách poháněné zátěže a způsobu buzení jednotlivých fází krokového motoru. Rezonance mohou způsobit ztrátu synchronizace rotoru, což v důsledku způsobí ztrátu kroku nebo více kroků. V případě, že je použit v řídicím systému bez polohové zpětné vazby toto vede k závažné a neodstranitelné chybě polohy.

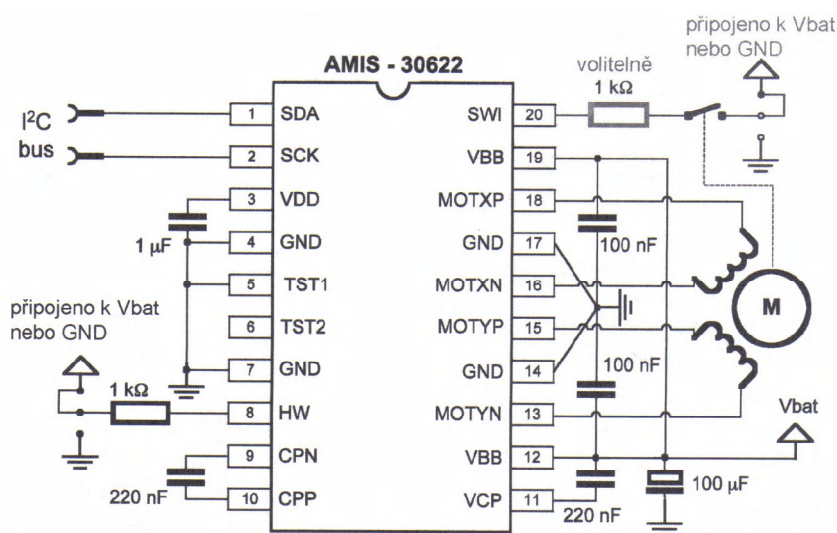
2.2.4 Řízení krokového motoru pomocí integrovaných obvodů

V současné době je dostupná celá škála integrovaných obvodů určených pro ovládání krokového motoru. Od nejjednodušších integrovaných obvodů plnící jen funkci spínačů přes regulátory proudu až po nejsložitější kontroléry s širokým instrukčním souborem. Jako příklady některých obvodů lze uvést:

- L297 rozdělovač impulsů pro jednotlivé fáze KM
- L6506 regulátor proudu KM
- ULN2001A až ULQ2805A darlingtonovy spínače
- L298, L6114 až L6204 můstkové spínače

- Moduly široké řady GS pokrývající požadavky na řízení nejjednodušších typů krokových motorů až po speciální pětifázové krokové motory s prakticky plynulým nastavením požadované polohy a ovládaná po sériové lince přímo z PC.

AMIS-30621 a AMIS-30622 jsou moderní mikrokontroléry s mikrokrokováním a instrukční sadou pro řízení polohy a rychlosti dvoufázového hybridního krokového motoru. Obvody obsahují také budící obvody. Příklad zapojení AMIS-30622 je uveden na obrázku 23, jeho základní parametry pak v tabulce 3. Podrobné informace lze nalézt na internetových stránkách výrobce.



Obrázek 23 – Typické zapojení mikrokontroléru AMIS-30622 [1]

<p>Mikrokrokování - 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 - integrovány dva 4-bitové D/A převodníky Programovatelná velikost proudu do 800mA Automatická volba "fast" & "slow decay mode" Plně integrované měření proudu - není zapotřebí externí snímací odpor Napájecí napětí v rozsahu 8 - 29 V Sériové rozhraní I²C - možnost ovládat více obvodů po jednom rozhraní 12 instrukce - řízení polohy, najetí do výchozí pozice, nastavení rychlosti, akcelerace deakcelerace, čtení parametrů a další</p>
--

Tabulka 5 – Základní parametry mikrokontroléru AMIS-30622 [1]

Jako příklad zapojení využívající výše uvedený obvod L297 lze uvést ovladač pro dvoufázový hybridní bipolární krokový motor.

Dalším představitelem mikrokontroléru jsou velice využívané obvody firmy MICROCON řady M1486. Tyto kontroléry integrují v jednom obvodu plně

programovatelné řízení krokového motoru včetně univerzálních řídicích funkcí (vstupy/výstupy) a umožňují tak realizovat kompletní řízení stroje či zařízení. Tyto obvody neobsahují výkonové stupně.

Všechny povely obvodu M1486 jsou ASCII znaky. Uživatel může použít běžný textový editor pro přípravu povelového souboru. Nové povely jsou předávány pomocí standardní sériové linky kompatibilní s RS232. Až 15 kontrolérů může být zřetězeno při zadání adresy jednotlivých kontrolérů při současné víceosé řízení.

Kontrolér má vlastní soubor 50 instrukcí pro řízení pohonu s krokovým motorem včetně instrukcí pro větvení programu dle stavu vstupních linek. Vnitřní paměť umožňuje, aby předprogramované instrukční sekvence byly prováděny samostatně i při odpojené sériové lince.

Výstupem obvodu jsou číslíkové hodnoty proudu pro obě fáze KM. Standardní výstup pulzy a směr (využitelný pro jiné KM) je také k dispozici. Přesné a plynulé řízení rychlosti i v oblastech vysokých rychlostí využívá maximálně moment motoru a kompaktnějšího výkonového zesilovače. Z tohoto plyne nižší cena krokového motoru a výkonového zesilovače.

I když trojúhelníkový průběh rychlosti v závislosti na čase (konstantní zrychlení) je u dostupných řídicích jednotek pro krokové motory nejrozšířenější, je tento průběh velice nevýhodný pro pásmo rychlostí, kde moment motoru klesá. Například instrukce „Profile“ umožňuje uživateli zadat zlom, ve kterém se lineární charakteristika mění na parabolickou a zpět při brzdění.

Tento kontrolér dále podporuje mikrokrokování, které výrazně omezuje oscilace jednotlivých kroků a rezonance při nízkých rychlostech. Počet mikrokroků na celý krok může být naprogramován od 1 do 64 a to zvláště pro oblasti nízkých a vysokých rychlostí za účelem dosažení jak maximální rychlosti, tak i vysokého rozlišení při nízkých rychlostech.

[1]

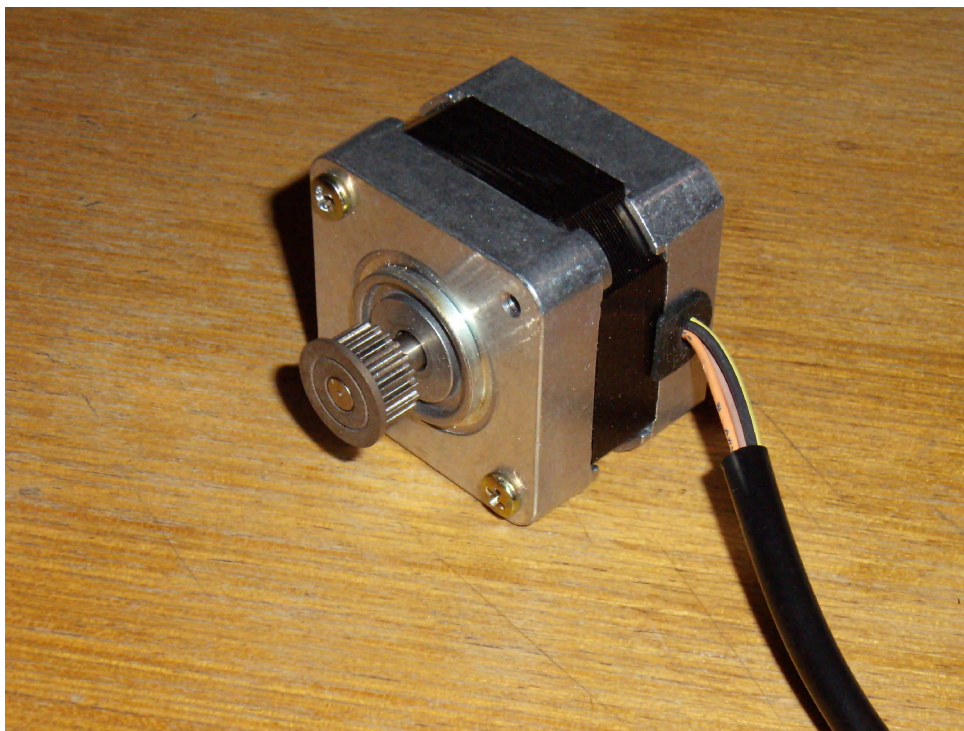
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 IDENTIFIKACE POUŽITÉHO HARDWARU

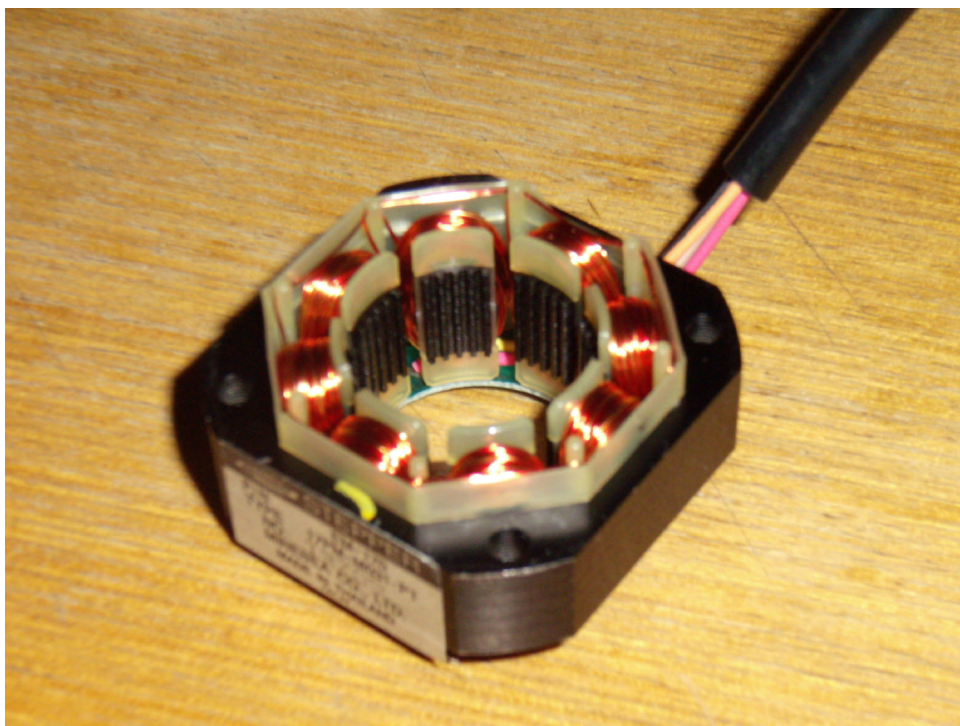
V praxi se mnohdy setkáme s krokovými motory dříve využívaných a dnes již velmi obtížně dohledatelných firem, které parametry uvádí. Chceme-li tedy řídit otáčky libovolného krokového motoru, je nezbytně nutné před návrhy řídicích obvodů znát nejlépe přesný typ užitého KM. K identifikaci KM lze s výhodou využít teoretickou část této práce.

3.1 Identifikace krokového motoru

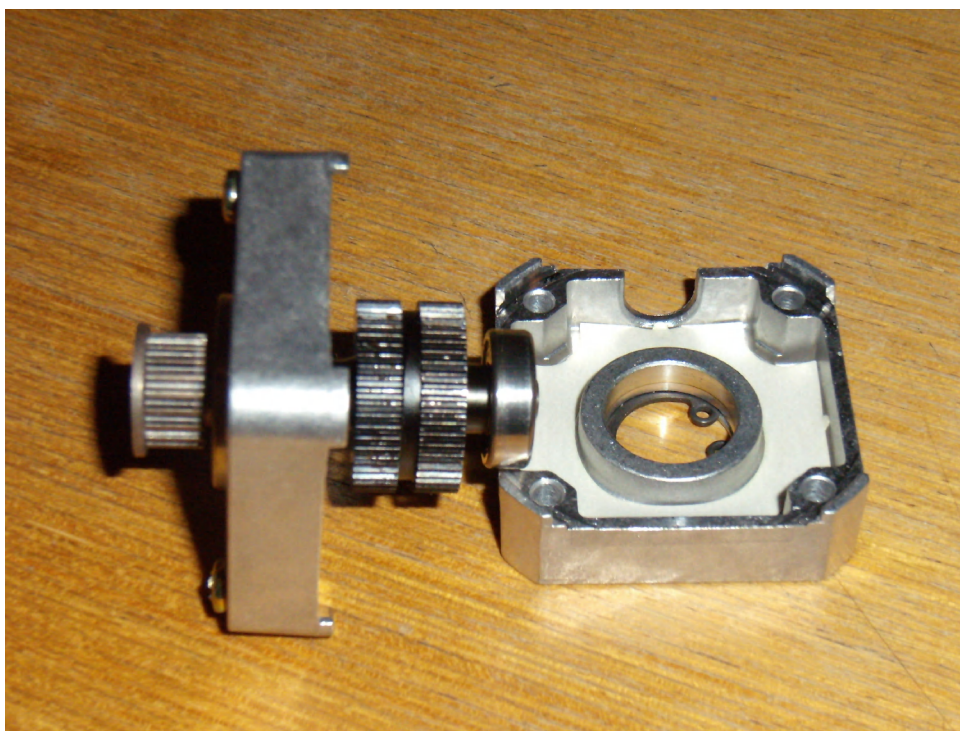
Řízený krokový motor je menších rozměrů. Jeho napájecí napětí je 12V, přičemž jde o unipolární KM – je napájen pouze jednou polaritou napájení a to kladnou. Počet fází je v tomto případě roven dvěma, avšak z KM je vyvedeno pět vodičů. To je zapříčiněno vnitřním zapojením KM – vyvedeny jsou oba konce obou vinutí a jejich společný střed vinutí. Rotor je rozdělen na 50 zubů každými stejně širokými jako 40 zubů na osmi pólových nástavcích statorového vinutí. Jedná se tedy o výše zmiňovaný krokový motor s úhlem kroku $1,8^\circ$. Jelikož je rotor tvořen kombinací permanentního magnetu a feromagnetickými plechy, jedná se o krokový motor hybridní. Dále, jak je z obrázků níže patrné, jedná se o krokový motor rotační. Tento typ krokových motorů je nejčastěji používaným.



Obrázek 24 – Celkový náhled na řízený KM



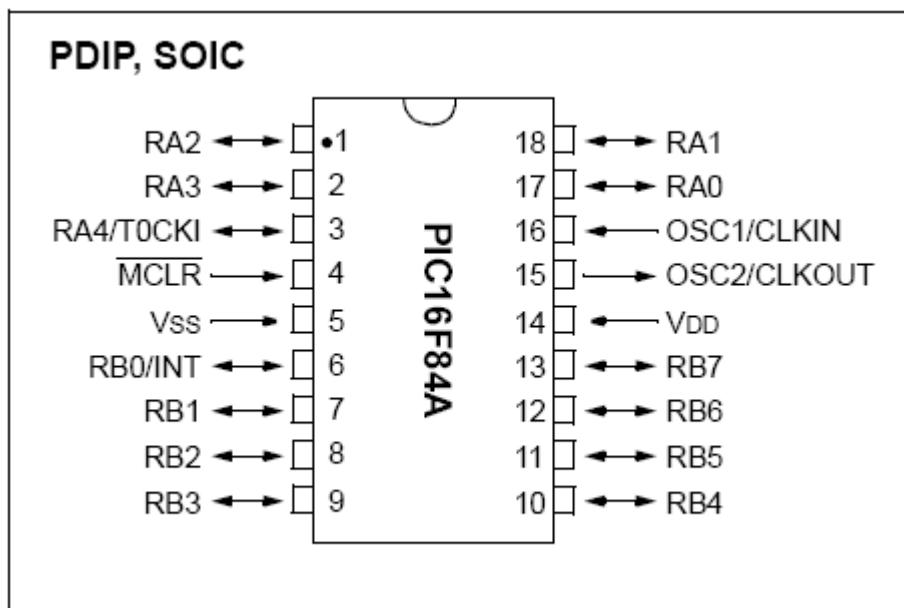
Obrázek 25 – Cívky statorových vinutí KM na jednotlivých pólových nástavcích se zuby.



Obrázek 26 – Pólové nástavce rotorového vinutí KM vzájemně pootočené o půl zubu.

3.2 Identifikace programovaného procesoru pic16F84A

Při výběru programovatelného procesoru PIC uživatel hledá obvykle nejlevnější a zároveň nejrychlejší typ procesoru, který lze na trhu volně zakoupit. Dalším z parametrů výběru PIC bývá všestranné využití, což splňuje i použitý PIC16F84A. Je to rychlejší verze svého předchůdce - procesoru **PIC16F84**, obsahuje drobná vylepšení elektrických vlastností integrovaného obvodu, kterými se zkrátila doba zpracování jedné instrukce.



Obrázek 27 – Popis jednotlivých vývodů procesoru PIC16F84A

Procesor PIC 16F84 je procesor typu **RISC**, tedy procesor s omezenou instrukční sadou. To znamená, že k dispozici je pouze několik základních instrukcí procesoru (konkrétně **35**), díky čemuž zpracování instrukcí probíhá velmi rychle (**1** popř. **2** strojové takty) a každá instrukce zabírá pouze **1** slovo programu. Během jednoho strojového taktu procesor provádí jednu instrukci a současně připravuje následující instrukci. Většina instrukcí proto trvá přesně jeden strojový takt. Pouze některé instrukce, které naruší plynulý tok provádění instrukcí (skokové instrukce, nesplněné podmínky) trvají dva takty, protože procesor nevyužije připravenou instrukci a musí načítat jinou. Jeden strojový takt trvá **4** hodinové impulsy, proto doba provádění instrukcí při použití krystalu **4 MHz** trvá **1 μs**, popř. pro instrukce narušující plynulost toku instrukcí **2 μs**.

Procesory PIC používají tzv. Harvardovu architekturu s oddělenými sběrnicemi pro program a data. To umožňuje zvýšení výkonu procesoru samostatným zpracováním

programu a dat a možností používat programovou sběrnici s více bity než má datová sběrnice. Programová sběrnice má šířku 14 bitů (datová 8), což je šířka jednoho programového slova, tj. jedné instrukce.

Jak je obvyklé u RISC, procesor má k dispozici pouze 1 pracovní registr (8-bitový), označovaný **W** (working register, u jiných procesorů známý jako **A**, čili akumulátor). Všechny ostatní registry jsou 8-bitové datové proměnné **F** (files). Registry se označují číslem, které představuje adresu registru v datové paměti. Některé registry mají speciální význam (porty, stavový registr), jiné mohou být programem obecně používány (GPR registry).

Počet instrukcí:	35
Velikost programovatelné paměti:	1024 slov(po 14 bitech)
Velikost datové paměti RAM:	68 bajtů
Velikost paměti EEPROM:	64 bajtů
Počet portů:	13 pinů
Velikost zásobníku:	8 úrovní
Pouzdro:	DIP 18
Počet časovačů:	1
Typy oscilátorů:	RC, HS, XT, LP
Další vybavení:	Power-on Reset
	Power-up Timer
	Oscilator Start-up Timer
	Watchdog Timer
	Code-protection
	SLEEP mode

Tabulka 6 – Parametry procesoru PIC 16F84

4 JDM PIC PROGRAMÁTOR

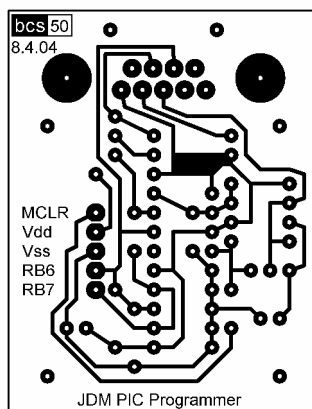
Pro naprogramování mikrokontroléru PIC je vhodné vytvořit JDM PIC programátor. Níže uvedený programátor je univerzální a umožňuje opakovatelné a jednoduché naprogramování široké škály obvodů - PIC12C5XX, 12C67X, 16C55X, 16C61, 16C62X, 16C71, 16C71X, 16C8X, 16F8X, sériové paměti EEPROM 24CXX. Dále umožňuje programovat mikrokontroléry přímo v zapojení (ICSP) a s adaptérem i další sériově programovatelné součástky, např. karty ISO.

4.1 Programátor JDM

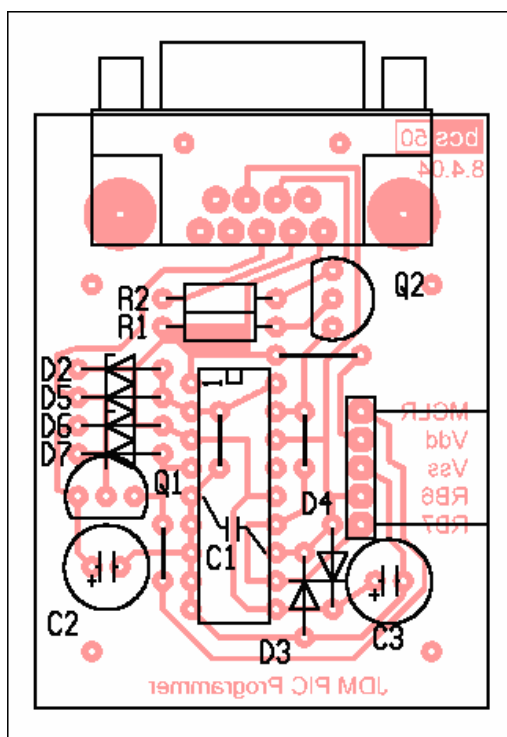
Užitý programátor není zaměřen pouze na programování mikrokontrolérů PIC pro řízení otáček krokového motoru, ale je určen pro nejširší užití. Pomocí programátoru lze programovat výše uvedené mikrokontroléry PIC pro libovolné účely (teploměry, sekvenční spínače, digitální hodiny a další).

Zapojení programátoru JDM je uvedeno na obrázku 28, seznam součástek je uveden v tabulce 6. Signál RTS slouží jako zdroj taktovacích impulsů pro programovaný IO a současně jako zdroj napájecího napětí -5 V. Napětí z tohoto vodiče je omezeno a stabilizováno diodami D2 až D4. Kondensátor C3 slouží jako zdroj napájecího napětí v době impulsu na vývodu RTS. Programovací napětí je omezeno diodou D6 na přibližně 8 V (tj. 13 V proti Vss). (Některé varianty tohoto programátoru používají Zenerovu diodu D6 s napětím pouze 6,2 V v sérii s LED, která při programování svítí.) Jako zdroj napájecího napětí je využit i signál TxD. Tranzistor Q1 pracuje jako spínač, tranzistor Q2 jako obousměrný převodník napěťových úrovní.

Pro naprogramování IO je důležitých pouze pět vodičů: napájecí napětí Vdd a Vss, programovací napětí Vpp přivedené na vývod MCLR, signál clock, přivedený na vývod RB6 a signál data přivedený na vývod RB7. Tyto signály jsou vyvedeny na konektor ICSP a umožňují naprogramovat obvod přímo v zapojení (In Circuit Serial Programming) nebo s adaptérem programovat další typy sériově programovatelných obvodů. Signály na ostatních vývodech mikrokontroléru jsou ignorovány. To umožnilo zapojit objímku pro IO tak, aby do ní bylo možno zasunout i procesory s osmi vývody a sériové paměti EEPROM.



Obrázek 29 – Klíše JDM PIC programátoru [8]



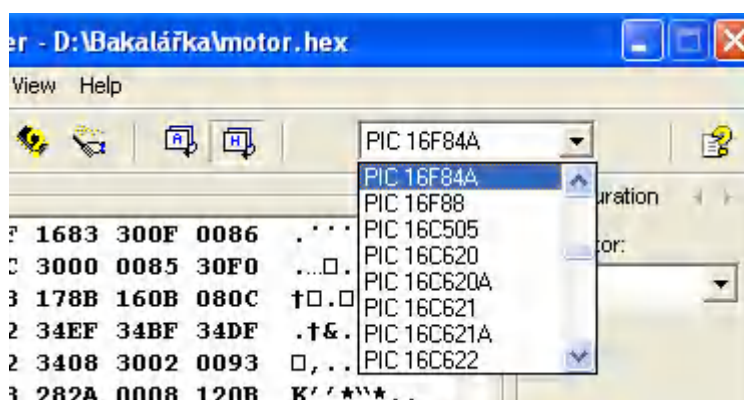
Obrázek 30 – Rozmístění součástek JDM PIC programátoru [8]

4.2 Ovládací program

Použitý ovládací program IC-Prog je volně dostupný na Internetu [<http://www.ic-prog.com>]. Umožňuje načíst data k programování ze souborů v několika formátech, číst, mazat a zapisovat program do mikrokontroléru, editovat data a nastavit typ oscilátoru a příslušné „pojistky“ (WatchDog, Power Up, Code Protection).

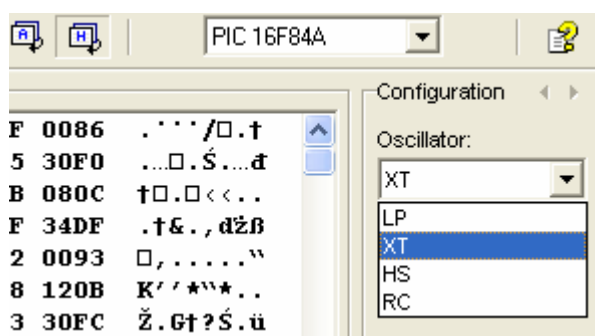
Při prvním spuštění je nutno zvolit typ programátoru (JDM, hned první položka). V operačním systému Windows XP nebude program fungovat bez dalšího nastavení. To se provede v průzkumníku pravým klikem na aplikaci icprog.exe a zvolením vlastností v položce kompatibilita „Spustit v režimu kompatibility s“ Windows 2000 nebo 98/Me. Do stejného adresáře, ve kterém se nalézá program icprog.exe musíme uložit soubor icprog.sys. Po spuštění icprog.exe v menu Settings, Option, Misc se musí potvrdit volba „Enable NT/2000/XP driver“. Programátor též funguje pod Windows XP i bez driveru a nastavení kompatibility. Po spuštění ovládacího programu v menu Settings, Hardware je nutno zvolit místo „Direct I/O“ položku „Windows API“.

Pro správné naprogramování je nezbytně nutné zvolit přesný typ mikrokontroléru.



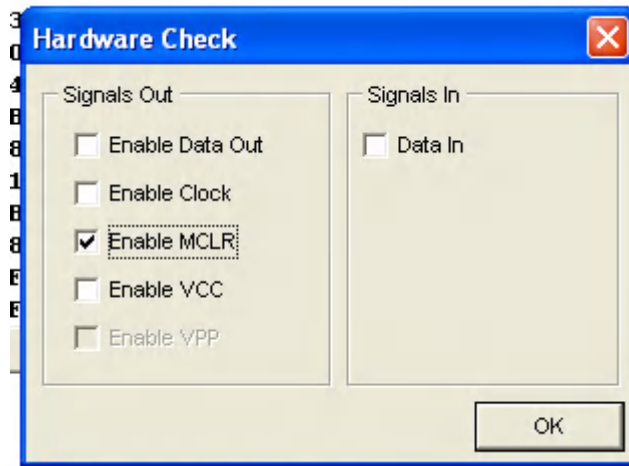
Obrázek 31 – Volba mikrokontroléru PIC16F84A v prostředí IC-Prog

Dalším důležitým krokem je nastavení správného typu oscilátoru.

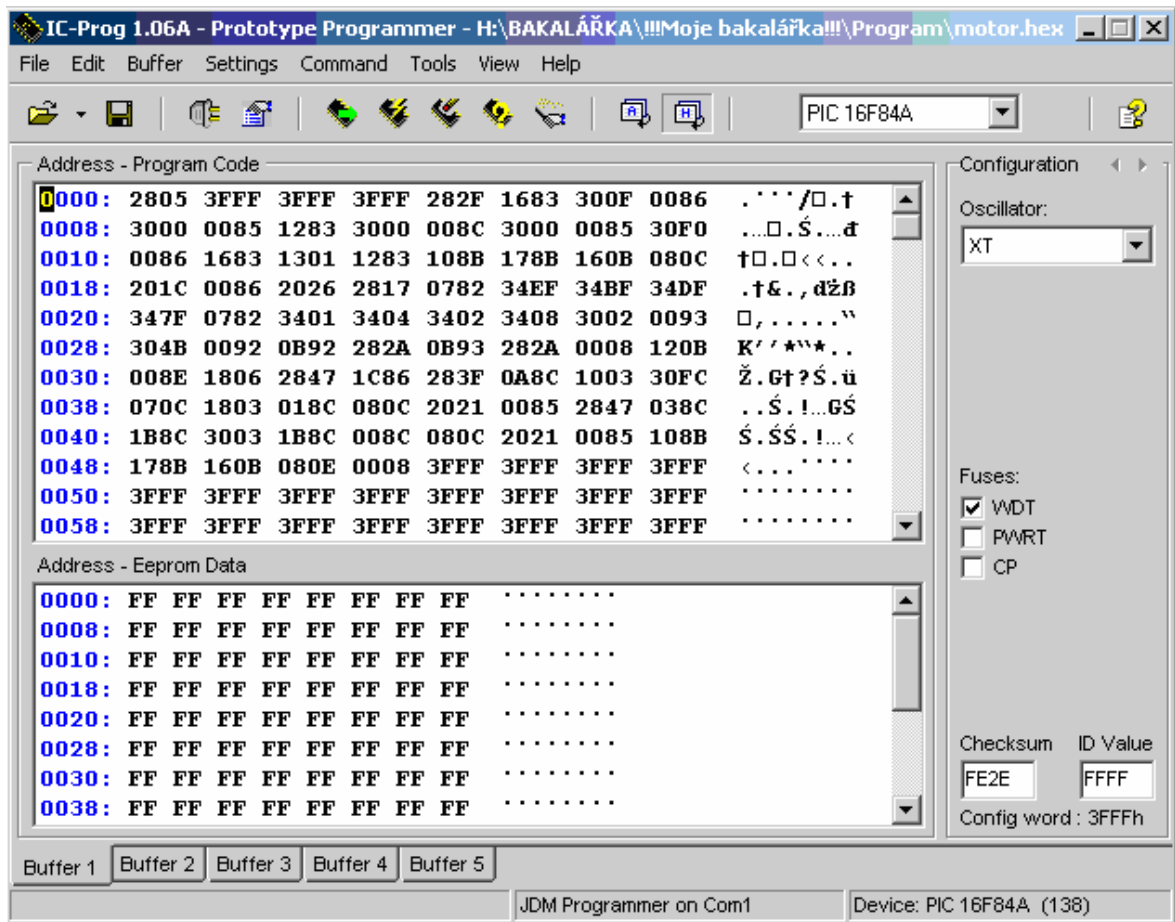


Obrázek 32 – Volba oscilátoru pro mikrokontrolér PIC16F84A v prostředí IC-Prog

Výše zmíněný IC-Prog disponuje diagnózou Hardware Check pomocí níž lze postupně aktivovat jednotlivé výstupní signály a tak i zkontrolovat správnou funkci programátoru.



Obrázek 33 – Hardware Check podporovaný IC-Progem

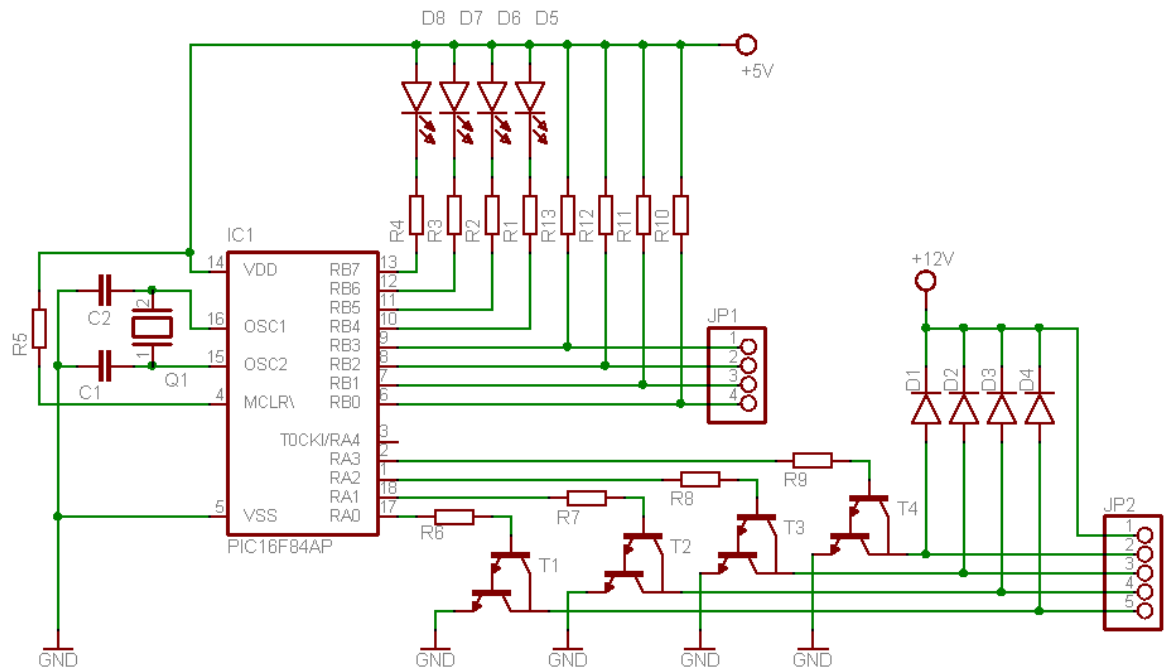


Obrázek 34 – Prostředí ovládacího programu IC-Prog – hexadecimální zobrazení.

5 ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU PROCESOREM PIC16F84

Pro naprogramovaný mikrokontrolér PIC lze s výhodou použít níže uvedený řídicí obvod krokového motoru. Tak jako programátor JDM lze využít univerzálně. Tato univerzálnost je skryta v napájecím napětí krokového motoru. Níže uvedený řídicí obvod je navrhnut tak, že lze využít pro standardní napájení krokových motorů a to jak pro 12V tak pro 24V. Rozdílem je však chlazení výkonových tranzistorů T1, T2, T3 a T4. Jedna z možností je zaměnit tranzistory za jiné – výkonnější, či jednodušší modifikací – doplnit pasivní chladič tranzistorů o aktivní. Při osazování desky plošného spoje je výhodné také mikrokontrolér neosazovat přímo na desku plošných spojů, ale využít objímku pro IO DIL18 z důvodu přeprogramování či výměny užitého PIC.

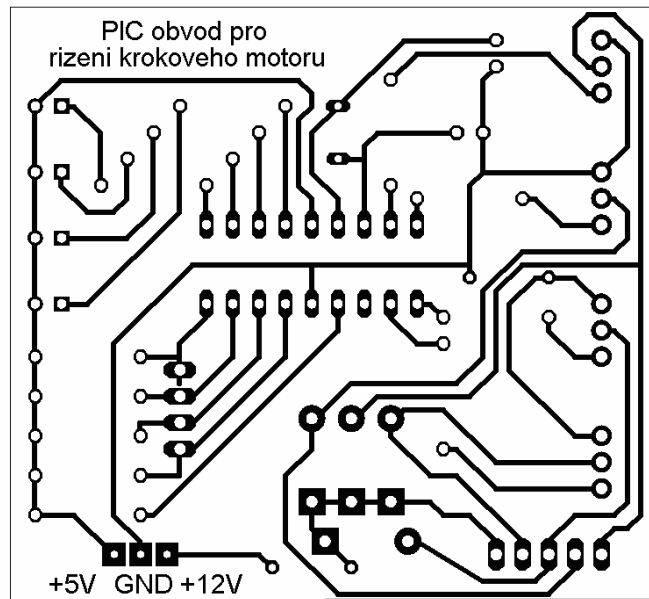
Zapojení řídicího obvodu je uvedeno na obrázku 36. „Srdcem“ je procesor PIC 16F84, který přes tranzistory T1 až T4 přepíná jednotlivé fáze. Na ovládání stačí dva vstupy. Impulsy, podle kterých se fáze přepínají, jsou přivedeny na vstup RB0, a generujeme je například v PC. Využívá se sestupné hrany impulsu. Lze ji změnit na náběžnou hranu jednoduchou úpravou a překompilováním programu. RB1 se používá na přepínání směru otáčení. Ostatní vstupy se nevyužívají. LED1 až LED4 signalizují právě sepnutou fázi a nemusíme je používat. Napájení procesoru je 5V, výkonové části dle použitého motoru resp. Tranzistorů (viz výše). Fáze motoru se připojují na tranzistory v pořadí: A na T1, B na T2, C na T3 a D na T4.



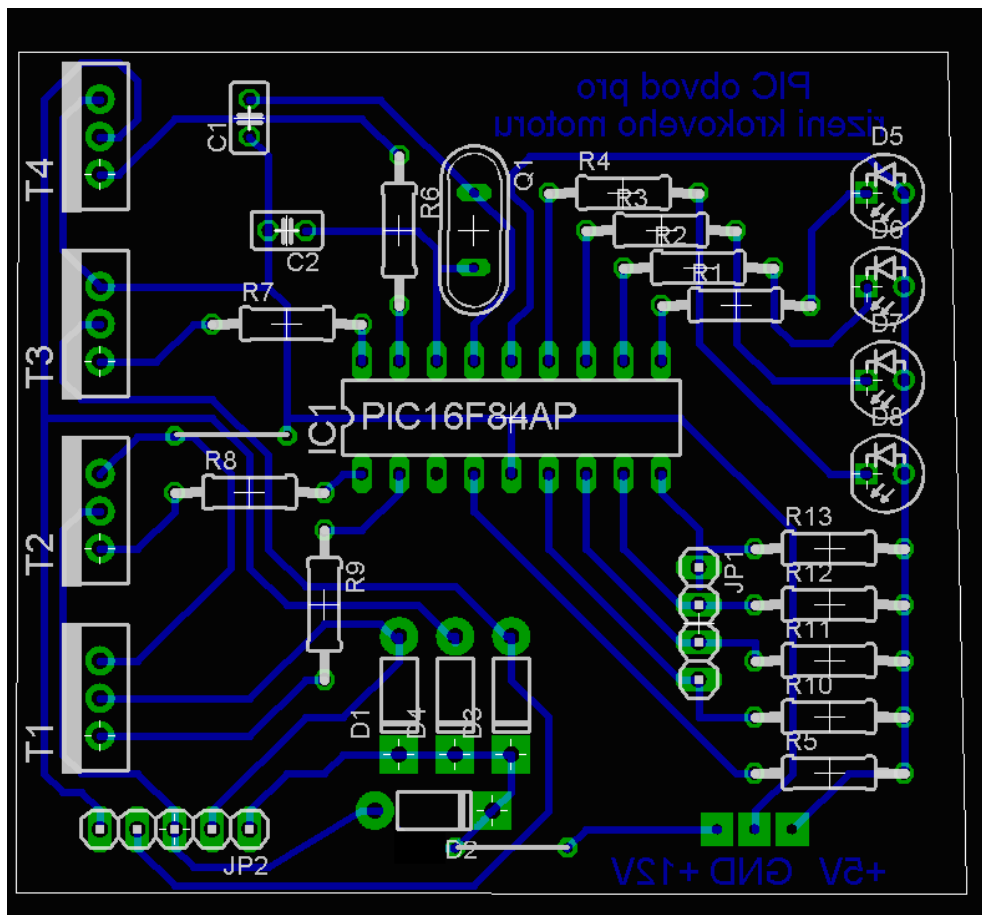
Obrázek 35 – Schéma zapojení řídicí jednotky s PIC16F84 [10]

IO1	PIC 16F84
Q1	4 MHz
T1 - T4	TIP 122
D1 – D4	1N4007
LED1 – LED4	LED dle volby
C1, C2	22 pF
R1 – R4	470 Ohm
R5, R10 – R13	4,7 kOhm
R6 – R9	2,2 kOhm

Tabulka 8 – Seznam součástek řídicí jednotky [10]



Obrázek 36 – Klišé řídicí jednotky s PIC16F84A [8]



Obrázek 37 – Rozmístění součástek řídicí jednotky s PIC16F84A

ZÁVĚR

Prvním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehlednou literární rešerši o krokových motorech a jejich způsoby řízení. Nastínění uplatnitelnosti krokového motoru, vysvětlení jednotlivých pojmů, se kterými obvykle čtenář přijde v praxi do styku, a nezákladnější možné dělení KM. Dále především jasné a jednoznačné určení funkčnosti a principu jednotlivých druhů krokového motoru a jejich následné možné způsoby řízení.

V praktické části jsem se nejprve zaměřil na identifikaci neznámého použitého krokového motoru a následně k jeho řízení pomocí integrovaného obvodu. Řízení jsem provedl pomocí JMD PIC programátoru, přes který jsem naprogramoval použitý integrovaný obvod. Pro samotné řízení jsem sestavil řídicí obvod, který krokuje KM po vložení naprogramovaného mikrokontroléru a po připojení napájecích napětí a generátoru impulsů. Frekvence tohoto generátoru určuje konečné otáčky krokového motoru.

Po přečtení této bakalářské práce by mělo být čtenáři jasné, jaké druhy krokových motorů existují, a které způsoby ovládní k nim lze využít. Také předvádí praktickou realizaci řízení otáček za pomoci mikrokontroléru. V příloze a na přiloženém CD jsou uvedeny zdrojové kódy k naprogramování a to jak pro řízení KM s plným krokem, tak i pro řízení s polovičním krokem. Prakticky lze vytvořený pohon využít na serverové místnosti a to přesněji k otevírání a přivírání klapky průduchů udržující stálou teplotu a vlhkost

Uplatnění krokových motorů v technice a v průmyslu neustále roste a pro svůj nespojitý pohyb je v současné praxi takřka nenahraditelný.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

First aim that baccalaureate work be formed well - arranged literary background research about stepper and their manners drive. Adumbration exercise stepper, explication single conceptions, which usually reader he will come practically to the intercourse, and first possible to dividing KM. Further above all catch it and unambiguous determination functionality and principle single kind's stepper and their resulting possible to manners drive.

In practical parts am first intent on identification unknown used stepper and subsequently to his drive by the help of integrated perimeter. Drive is performed by the help of JMD PIC programmer, over which am pre - set used chip. To himself drive am drew up control circuit that the pace KM after interpolation programmed microcontroller and after interface feeding tension and pulse generator. Frequency hereof generator designates final speed stepper.

After read - through that baccalaureate work would have been readers catch it, what sort's stepper exist, and which manners operating towards them it is possible use. Also demonstrates practical realization speed control with the help of microcontroller. Enclosed or on enclosed CD are mentioned source text codes to program namely how for drive KM with full pitch, so and for drive with half step. Virtually it is possible created drive use on server rooms namely rather to opening and closing lids vents sustaining continual temperature and dampness

Exercise steppers in technology and in industry all the time shoot up and for its disconnected movement be in current data practice as it were irreplaceable.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty : pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha : Ben - technické literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1. Krokový motor, s. 41-69.
- [2] MRÁZ, Přemysl. *Řízení technologického procesu pomocí PLC*. [s.l.], 2006. x, 50 s. , 1 CD-ROM, ukázka programu. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická, Katedra Řídící Techniky. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Bohuslav Kirchmann, CSc. Dostupný z WWW: <http://dce.felk.cvut.cz/dolezilkoval/diplomky/2006/dp_2006_mrAZ_premysl/dp_2006_mrAZ_premysl.pdf>.
- [3] SMUTNÝ, Pavel. *E-AUTOMATIZACE : informační portál z oblasti automatizace* [online]. 5.1.2008 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.e-automatizace.cz/encyklopedie.asp?Hledat=vse>>.
- [4] *CNC : úprava krokových motorů* [online]. 2001 [cit. 2008-04-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.c-n-c.cz/viewtopic.php?t=677&start=30>>.
- [5] *Referáty-seminárky.cz* [online]. 2005- , 23.9.2006 [cit. 2008-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://referaty-seminarky.cz/motory/>>.
- [6] RYDLO, Pavel. *KROKOVÉ MOTORY A JEJICH ŘÍZENÍ*. [s.l.], 2000. 15 s. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií, Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů. Studijní texty. Dostupný z WWW: <<http://www.fm.vslib.cz/~kel/subjects/rac/pr11.pdf>>.
- [7] *NAVAJO : otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2008-04-06]. UTF-8. Dostupný z WWW: <<http://elektromotor.navajo.cz/>>.
- [8] BELZA, Jaroslav. *JDM PIC programátor : JDM PIC programmer* [online]. 3.10.2004 , 4.1.2008 [cit. 2008-03-11]. Windows-1250. Dostupný z WWW: <<http://www.belza.cz/digital/jdm.htm>>.
- [9] *IC-Prog Prototype Programmer* [online]. 2007 , 11.1.2007 [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.ic-prog.com/index1.htm>>.

- [10] *Program pro PIC - OscPIC a PQRS* [online]. 2005 [cit. 2008-03-15]. Windows-1250. Dostupný z WWW: <<http://jirky.webz.cz/index.php?page=program-oscpic-pqrs>>.
- [11] ZEMEK, Martin. *Výrobní program > Krokové motory > Všeobecné údaje | REGULACE - AUTOMATIZACE BOR, spol. s r.o.* [online]. 2005-2008 , 4.1.2008 [cit. 2008-03-28]. Dostupný z WWW: <http://www.regulace.cz/CZ/KM/km_vu.html>.
- [12] ŘEZÁČ, Kamil. *Krokové motory (Robotika.cz > Články):* [online]. 28.10.2002 [cit. 2008-03-28]. Dostupný z WWW: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>.
- [13] NĚMEČEK, Miroslav. *Procesor PIC16F84* [online]. Gemtree Software, c2000 [cit. 2008-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.gemtree.cz/p84/Procesor/INDEX_CZ.HTM#Uvod>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

KM krokový motor

PIC jednočipový mikro počítač

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Statická momentová charakteristika krokového motoru (ideální průběh), zakresleny průběhy momentu pro dva KM s rozdílnou velikostí kroku. [1].....	15
Obrázek 2 – Momentová charakteristika krokového motoru [1].....	15
Obrázek 3 – Poklesy momentové charakteristiky způsobené rezonancemi a nestabilitou [1].....	17
Obrázek 4 – Řez čtyřfázovým reakčním krokovým motorem s velikostí kroku rotoru 1,5° (buzena fáze A). [1].....	19
Obrázek 5 – Princip otáčení rotoru postupným buzením cívek A – B – C – D otáčejícím se proti směru hodinových ručiček.....	20
Obrázek 6 – Řez dvoufázovým krokovým motorem s aktivním rotorem. [6]	21
Obrázek 7 – Průběh budícího proudu v jednotlivých fázích KM. [6]	21
Obrázek 8 – Princip otáčení rotoru postupným buzením cívek A, B, A', B' otáčejícím se ve směru hodinových ručiček.....	22
Obrázek 9 – Fotografie hybridního motoru – zleva – celkový náhled, stator, rotor [12]	23
Obrázek 10 – Řez hybridním krokovým motorem s úhlem kroku 1,8°. [1].....	23
Obrázek 11 – Vlevo-zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním řízením	24
Obrázek 12 – Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází. [1]	25
Obrázek 13 – Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení. [1].....	25
Obrázek 14 – Princip činnosti Sawyerova lineárního krokového motoru. [1]	27
Obrázek 15 – Časové průběhy čtyřtaktního řízení KM s magnetizací jedné fáze. [1]	29
Obrázek 16 – Časový průběh buzení dvoufázového hybridního KM v čtyřtaktním řízení s magnetizací jedné fáze. [1].....	30
Obrázek 17 – Časové průběhy čtyřtaktního řízení KM s magnetizací dvou fází. [1]	31
Obrázek 18 – První a druhý krok čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový KM. [1].....	31
Obrázek 19 – Časové průběhy dvoufázového hybridního KM s bipolárním buzením 2 fází. [1].....	32
Obrázek 20 – Statická momentová charakteristika s buzením dvou fází. [1]	32

Obrázek 21 – Časové průběhy osmitaktního řízení s magnetizací jedné nebo dvou fází čtyřfázového KM. [1]	33
Obrázek 22 – Mikrokrokování [1]	35
Obrázek 23 – Typické zapojení mikrokontroléru AMIS-30622 [1]	36
Obrázek 24 – Celkový náhled na řízený KM.....	39
Obrázek 25 – Cívky statorových vinutí KM na jednotlivých pólových nastavcích se zuby.	40
Obrázek 26 – Pólové nastavce rotorového vinutí KM vzájemně pootočené o půl zubu.	40
Obrázek 27 – Popis jednotlivých vývodů procesoru PIC16F84A.....	41
Obrázek 28 – Elektrické schéma JDM PIC programátoru [8]	44
Obrázek 29 – Kliše JDM PIC programátoru [8]	45
Obrázek 30 – Rozmístění součástek JDM PIC programátoru [8].....	45
Obrázek 31 – Volba mikrokontroléru PIC16F84A v prostředí IC-Prog	46
Obrázek 32 – Volba oscilátoru pro mikrokontrolér PIC16F84A v prostředí IC-Prog	46
Obrázek 33 – Hardware Check podporovaný IC-Progem.....	47
Obrázek 34 – Prostředí ovládacího programu IC-Prog – hexadecimální zobrazení.	47
Obrázek 36 – Schéma zapojení řídicí jednotky s PIC16F84 [10].....	49
Obrázek 37 – Kliše řídicí jednotky s PIC16F84A [8]	50
Obrázek 38 – Rozmístění součástek řídicí jednotky s PIC16F84A.....	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Princip bipolárního dvoufázového řízení s plným krokem [12].....	13
Tabulka 2 – Buzení jednotlivých cívek unipolárního jednofázového řízení s plným krokem [12]	28
Tabulka 3 – Buzení jednotlivých cívek bipolárního jednofázového řízení s plným krokem [12]	30
Tabulka 4 – Rozdělení základního kroku na 4 mikrokroky [1].....	34
Tabulka 5 – Základní parametry mikrokontroléru AMIS-30622 [1].....	36
Tabulka 6 – Parametry procesoru PIC 16F84.....	42
Tabulka 7 – Seznam součástek JDM PIC programátoru [8]	44
Tabulka 8 – Seznam součástek řídicí jednotky [10]	49

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1 – zdrojový kód pro řízení KM s polovičním krokem

Osazená deska plošných spojů programátoru JDM PIC.

Osazená deska plošných spojů řídicí jednotky.

Krokový motor.

CD s elektronickou verzí této práce a použitým programem a se zdrojovými kódy.

PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD PRO ŘÍZENÍ KM S ½ KROKEM

```
LIST P=16F84
;INCLUDE<P16F84.INC>
;
tam      equ    0
zpet     equ    1
krok     equ    0Ch
w_keep   equ    0Eh
cas0     equ    12h
cas1     equ    13h
;
;-----
; EEPROM - nepoužito
;
;      org    0x2100
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;      de    0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF ;
;-----
; začátek programu
;
;      org    0
;      goto   init
;
;      org    004h
;      goto   rutina
;-----
; inicializace procesoru
;
init     bsf     STATUS,5
         movlw   b'00001111' ; portb(0) vstup počítání
         movwf   TRISB      ; portb(3:1) jako vstupy a portb(4:7) jako výstup
(interrupt)
         movlw   b'00000000'
         movwf   TRISA      ; porta jako výstupy
         bcf     STATUS,5
         movlw   b'00000000'
         movwf   krok
         movlw   b'00000000' ; nulování
         movwf   PORTA
         movlw   b'11110000'
         movwf   PORTB
```

```

        bsf    STATUS,5
        bcf    OPTION_REG,INTEDG    ; 0 = sestupná hrana impulsu, 1 náběžná
(default)
        bcf    STATUS,5
        bcf    INTCON,INTF          ; nastavení přerušení
        bsf    INTCON,GIE
        bsf    INTCON,INTE
;-----; !!! hlavní program !!!
;
;
hlavni  movf   krok,tam    ; zavoláme tabulku pro port B
        call  btable      ; tabulka určí rozvícené a zhasnuté diody
        movwf PORTB      ; přesuneme na port B
        call  cekej
        goto  hlavni     ; zpět na "hlavni"
;-----
; tabulka pro port B - LED
;
btable  addwf  PCL,zpet    ; krok (1 - nesvíí, 0 - svítí)
        retlw b'01111111' ; 0
        retlw b'00111111' ; 1
        retlw b'10111111' ; 2
        retlw b'10011111' ; 3
        retlw b'11011111' ; 4
        retlw b'11001111' ; 5
        retlw b'11101111' ; 6
        retlw b'01101111' ; 7
;-----
; tabulka pro port A - motor
;
atable  addwf  PCL,zpet    ; krok (1 - nesvíí, 0 - svítí)
        retlw b'00000001' ; 0
        retlw b'00000011' ; 1
        retlw b'00000010' ; 2
        retlw b'00000110' ; 3
        retlw b'00000100' ; 4
        retlw b'00001100' ; 5
        retlw b'00001000' ; 6
        retlw b'00001001' ; 7
;-----
; čekání 1 ms
;
cekej   movlw   .2
        movwf  cas1
        movlw  .75
        movwf  cas0
        decfsz cas0,zpet
        goto   $-1
        decfsz cas1,zpet
        goto   $-3

```

```

return
-----
; obsluha přerušení
;
rutina bcf      INTCON,INTE      ; zákaz přerušení od RB0
      movwf    w_keep           ; w do zálohy
;
      btfsc   PORTB,0          ; trvá impuls?
      goto    exit
;
      btfss   PORTB,1          ; je-li PB1 v 1, pokračuje na 1.směr
      goto    smer2           ; je-li PB1 v 0, pokračuje na 2.směr
;
      incf    krok,zpet        ; 1. směr otáčení
      bcf     STATUS,C
      movlw   .248              ; je jednotek >= 8?
      addwf   krok,tam
      btfsc   STATUS,C          ; není - přeskočí nulování
      clrf    krok              ; ano - nulujeme
      movf    krok,tam          ; zavoláme tabulku pro port A
      call    atable            ; tabulka určí připojené vinutí
      movwf   PORTA            ; přesuneme na port A
      goto    exit
;
smer2  decf    krok,zpet        ; 2. směr otáčení
      btfsc   krok,7           ; je obsah registru 255
      movlw   b'00000111'      ; ano > naplníme 3
      btfsc   krok,7           ; ne > přeskakujeme
      movwf   krok
      movf    krok,tam          ; zavoláme tabulku pro port A
      call    atable            ; tabulka určí připojené vinutí
      movwf   PORTA            ; přesuneme na port A
;
;
;
exit   bcf     INTCON,INTF      ; povolení přerušení
      bsf     INTCON,GIE
      bsf     INTCON,INTE
      movf    w_keep,tam        ; záloha do w
;
      return
-----
end

```