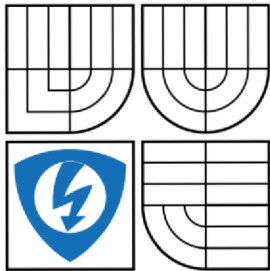


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# **ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU INJEKČNÍHO DÁVKOVAČE**

STEPPER MOTOR CONTROL OF INJECTION DOSING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

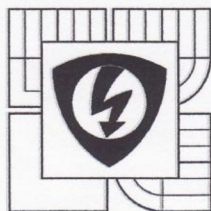
**FRANTIŠEK BÁRTA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. MILAN CHMELARŮ, CSc.**

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** František Bárta

**Ročník:** 3

**ID:** 109632

**Akademický rok:** 2010/11

**NÁZEV TÉMATU:**

## Řízení krokového motoru injekčního dávkovače

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Rozeberte vlastnosti krokových motorů a možnosti řízení jejich obrátek. Pojednejte o požadavcích, které na tyto krokové motory jsou z hlediska jejich využití v injekčních dávkovačích i z hlediska přesnosti dávky. Navrhněte jednoduchý systém pro řízení krokového motoru pro injekční dávkovač.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Ing. Pavel Rydlo: Krokové motory a jejich řízení, dostupné na:

<http://www.mti.tul.cz/files/ats/krok2.pdf>

[2] Stavební návod: Řízení krokových motorů, dostupné na:


<http://www.laserteam.cz/sct/sta/rkm/rkmna.pdf>

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
předseda oborové rady



**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřená na téma řízení krokového motorku injekčního dávkovače. Na začátku práce jsou rozebrány vlastnosti, typy, charakteristiky a možnosti řízení krokových motorů. Dále práce pojednává o infuzních dávkovačích, jejich vlastnostech a parametrech. Jsou uvedeny někteří tuzemští a zahraniční výrobci a jejich výrobky. Na závěr práce je proveden teoretický návrh řídicího obvodu pro krokový motor dle zvoleného motoru.

## **Klíčová slova**

Krokový motor, injekční dávkovač, injekční pumpa, řízení krokového motorku, mikrokontrolér

## **Abstract**

The thesis is focused on the topic of a stepper motor control of injection dosing. At the beginning of the work are discussed properties, types, characteristics and possibilities of control of stepper motors. The thesis deals with the infusion dosing, their properties and parameters. They are shown both domestic and foreign manufacturers and their products. At the conclusion of the work is described by the theoretical design control circuit for stepper motor according to the selected engine.

## **Keywords**

Stepper motor, injection dispenser, injection pump, drive a stepper motor, microcontroller

## **Bibliografická citace:**

BÁRTA, F. Řízení krokového motorku injekčního dávkovače. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 55s.  
Vedoucí bakalářské práce byl doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení krokového motoru injekčního dávkovače jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **26. května 2011**

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **26. května 2011**

.....

podpis autora

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| Seznam obrázků.....                                      | 10 |
| 1 Úvod .....   | 14 |
| 2 Funkce elektromotoru .....                             | 15 |
| 3 Krokový motor .....                                    | 16 |
| 3.1 Historie KM .....                                    | 16 |
| 3.2 Vlastnosti krokových motorků .....                   | 17 |
| 3.3 Typy krokových motorků.....                          | 18 |
| 3.3.1 Krokový motor s pasivním rotorem .....             | 18 |
| 3.3.2 Hybridní krokový motor.....                        | 19 |
| 3.3.3 Lineární krokový motor .....                       | 23 |
| 3.4 Základní charakteristiky krokových motorů .....      | 24 |
| 3.4.1 Statická momentová charakteristika KM .....        | 24 |
| 3.4.2 Momentová charakteristika KM .....                 | 25 |
| 3.4.3 Rezonance a nestabilita .....                      | 25 |
| 3.5 Způsoby řízení krokových motorů.....                 | 27 |
| 3.5.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze.....    | 27 |
| 3.5.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází.....     | 27 |
| 3.5.3 Osmitaktní řízení.....                             | 29 |
| 3.5.4 Mikrokrokování .....                               | 30 |
| 3.6 Budící obvody krokového motoru .....                 | 31 |
| 3.6.1 Buzení z napěťového zdroje .....                   | 31 |
| 3.6.2 Buzení vnuceným proudem.....                       | 31 |
| 3.6.3 Pulzní proudový zdroj (chopper) .....              | 32 |
| 3.6.4 Budící obvody KM pro režim mikrokrokování .....    | 35 |
| 4 Infúzní dávkovače .....                                | 36 |
| 4.1 Infúzní dávkovače – vlastnosti, požadavky.....       | 36 |
| 4.2 Tuzemští výrobci injekčních dávkovačů (pump) .....   | 38 |
| 4.2.1 Výrobce Polymed .....                              | 38 |
| 4.2.2 Výrobce Onyxcz .....                               | 40 |
| 4.3 Zahraniční výrobci injekčních dávkovačů (pump) ..... | 41 |
| 4.3.1 Výrobce CODAN ARGUS AG .....                       | 41 |
| 4.3.2 Výrobce Braun.....                                 | 42 |
| 4.3.3 Výrobce Aitecs .....                               | 43 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5     | Teoretický návrh řídicího obvodu pro KM ..... | 47 |
| 5.1   | Mikrokontrolér PIC16F84.....                  | 48 |
| 5.1.1 | Návrh hodnot součástek .....                  | 49 |
| 6     | Závěr.....                                    | 55 |
| 7     | Literatura.....                               | 56 |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 3.1 Stator KM [3].....  | 16 |
| Obrázek 3.2 Celkový pohled na KM [3] .....  | 16 |
| Obrázek 3.3 Rotor KM [3] .....  | 16 |
| Obrázek 3.4 Řez čtyřfázovým reakčním krokovým motorem rotorem [2] .....                           | 18 |
| Obrázek 3.5 Řez hybridním krokovým motorem s úhlem kroku $1,8^\circ$ [2].....                     | 19 |
| Obrázek 3.6 Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním zapojením fází [2]...20       |    |
| Obrázek 3.7 Čtyřtaktní řízení dvoufázového .....  | 20 |
| Obrázek 3.8 Bipolární buzení z unipolárního.....  | 21 |
| Obrázek 3.9 Bipolární buzení z bipolárního.....   | 21 |
| Obrázek 3.10 Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním ....          | 21 |
| Obrázek 3.11 Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního ..... | 22 |
| Obrázek 3.12 Momentová charakteristika motoru SX34-2740 (sériové zapojení – horní .....           | 22 |
| Obrázek 3.13 Princip Sawyerova lineárního motoru [2].....   | 23 |
| Obrázek 3.14 Statická momentová charakteristika krokového motoru, znázornění průběhů .....        | 24 |
| Obrázek 3.15 Momentová charakteristika KM [2] .....   | 25 |
| Obrázek 3.16 Poklesy momentové charakteristiky způsobené rezonancemi a nestabilitou [2] ..        | 26 |
| Obrázek 3.17 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze .....                                     | 27 |
| Obrázek 3.18 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový KM (časový průběh) ...      | 28 |
| Obrázek 3.19 První a druhý krok čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází.....                  | 28 |
| Obrázek 3.20 Statická momentová charakteristika s buzením dvou fází [2].....                      | 29 |
| Obrázek 3.21 Osmitaktní řízení s magnetizací jedné nebo dvou fází pro čtyřfázový KM [2] ....      | 29 |
| Obrázek 3.22 Mikrokrokování .....   | 30 |
| Obrázek 3.23 Základní způsoby buzení fází KM [2] .....  | 31 |
| Obrázek 3.24 Zjednodušené zapojení znázorňující princip pulzního proudového .....                 | 33 |
| Obrázek 3.25 Porovnání různých zániku proudu při vypnutí buzení fáze [2] .....                    | 34 |
| Obrázek 3.26 Princip pomalé a rychlé doby zániku proudu (slow a fast decay) a .....               | 34 |
| Obrázek 3.27 Princip spínaného buzení fáze [2] .....  | 35 |
| Obrázek 4.1 Standardní knoflíková injekční pumpa [5] .....  | 39 |
| Obrázek 4.2 Injekční pumpa IP 2050 [5] .....  | 39 |
| Obrázek 4.3 Injekční pumpa PPS 9001S [6] .....  | 40 |
| Obrázek 4.4 Lineární dávkovač ARGUS A606S [7] .....   | 41 |



|  |    |
|--|----|
| Obrázek 4.5 Injekční pumpa Perfusor Basic [9] .....                          | 42 |
| Obrázek 4.6 Injekční pumpa SEP-10S [10].....                                 | 43 |
| Obrázek 4.7 Injekční pumpa SEP-12S [10] .....                                | 44 |
| Obrázek 4.8 Injekční pumpa SEP-21S [10] .....                                | 45 |
| Obrázek 4.9 Injekční pumpa Aitecs 2015 [10].....                             | 45 |
| Obrázek 5.1 Dvoufázový hybridní krokový motor [14].....                      | 47 |
| Obrázek 5.2 Mechanické rozměry zvoleného KM [14] .....                       | 47 |
| Obrázek 5.3 Zapojení vývodů dvoufázového hybridního motoru .....             | 48 |
| Obrázek 5.4 Popis jednotlivých vývodů PIC 16F84 [11].....                    | 49 |
| Obrázek 5.5 Realizace krystalového oscilátoru .....                          | 49 |
| Obrázek 5.6 Zapojení tranzistorů k PIC16F84 .....                            | 50 |
| Obrázek 5.7 Postup výpočtu hodnoty odporu R1 .....                           | 51 |
| Obrázek 5.8 Výpočet odporu k led diodě .....                                 | 51 |
| Obrázek 5.9 Výpočet odporu R9 .....  | 52 |
| Obrázek 5.10 Schéma obvodu pro řízení KM pomocí PIC16F84 .....               | 53 |
| Obrázek 5.11 Schéma plošného spoje.....                                      | 54 |
| Obrázek 5.12 Rozmístění součástek na desce - řídicí jednotka s PIC16F84..... | 54 |

## **SEZNAM TABULEK**

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 3.1 Mikrokrokování.....   | 30 |
| Tabulka 5.1 Parametry zvoleného krokového motorku (Údaje byly převzaty z [14])..... | 47 |
| Tabulka 5.2 Parametry procesoru PIC16F84 [13].....                                  | 50 |
| Tabulka 5.3 Seznam součástek .....  | 53 |

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Značka    | Jednotka | Název                       |
|-----------|----------|-----------------------------|
| R         | $\Omega$ | Elektrický odpor            |
| L         | H        | Indukčnost                  |
| I         | A        | Elektrický proud            |
| U         | V        | Napětí                      |
| $\tau$    | s        | Časová konstanta            |
| f         | Hz       | frekvence                   |
| $h_{21e}$ | -        | Proudový zesilovací činitel |
| KM        | -        | Krokový motor               |

# 1 ÚVOD

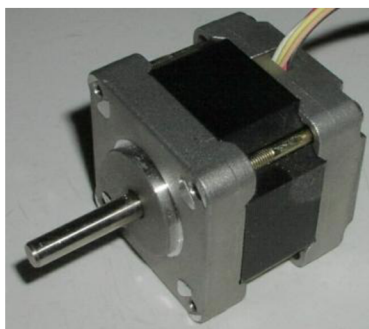
Cílem této bakalářské práce je rozebrat vlastnosti krokových motorů a možnosti řízení jejich obrátek. Způsob řízení obrátek krokového motorku je dán tím, v jaké aplikaci je krokový motorek použit. Jiné požadavky jsou na řízení krokového motorku, je-li použit např. v tiskárně a ty se velmi liší od požadavků, je-li krokový motorek použit např. v injekčním dávkovači. Základem činnosti injekčního dávkovače je přesné dávkování léčiv, které jsou dodávána ve speciálních plastových injekčních stříkačkách. Ty jsou v injekčních dávkovačích součástí čerpacího mechanismu. Na přesném dávkování léčiv se podílí i krokový motorek. Navíc je nutno řešit i problém hlídání dalších veličin, které s činností dávkovače souvisejí. Z toho pak plynou reakce celého systému na jejich výskyt. Samotný řídicí obvod může být řešen jako dílčí část celkového systému řízení dávkovače a v tomto případě pak dostává informace z řídicího mikroprocesoru celého systému. Systém řízení bývá obvykle zdvojen a to z důvodu zvýšení celkové spolehlivosti. Ve své bakalářské práci se zabývám návrhem jednoduchého systému pro řízení krokového motoru pro injekční dávkovač, který má být součástí celkového systému řízení injekčního dávkovače.

## **2 FUNKCE ELEKTROMOTORU**

Elektromotor je zařízení, které mění jiný druh energie na práci mechanickou. Motor lze rozdělit na dvě hlavní části: rotující část (rotor) a pevná část (stator). Rotační motor je zkonstruován tak, aby na sebe působila pole rotoru a pole statoru vytvářela krouticí moment přenášený na rotor stroje. Z hlediska principu a činnosti lze elektromotory rozdělit na řadu variant. Patří sem motory sériové, derivační (mohou být jak pro stejnosměrný tak pro střídavý proud), dále pak motory určené výhradně pro proud střídavý (např. motory s kotvou na krátko apod.). Výše uvedené druhy se od sebe liší svými vlastnostmi a to jak průběhem krouticího momentu, tak i možnostmi regulace otáček. Další variantou jsou pak motory krokové. Vzhledem k tomu, že tématem mé bakalářské práce je řízení otáček krokového motoru, budu se dále věnovat této problematice.

## 3 KROKOVÝ MOTOR

Krokový motor je motor, který koná nespojitý pohyb po jednotlivých krocích, úsecích. Velikost tohoto kroku souvisí s počtem pólů krokového motoru. Je to speciální druh synchronního motoru. K vykonání kroku dochází vlivem působení vnějšího impulsového řídicího systému. Krokový motor je tedy impulsně napájený motor. K řízení tohoto typu motoru slouží ovladač krokového motoru, který musí splňovat základní podmínky pro jeho správnou funkci [1].



Obrázek 3.2 Celkový pohled na KM [3]



Obrázek 3.1 Stator KM [3]



Obrázek 3.3 Rotor KM [3]

### 3.1 Historie KM

První informace o krokových motorech jsou spojeny s udělováním patentů v roce 1919 ve Velké Británii a v roce 1920 ve spojených státech. V roce 1927 Autor McClelland, W. ve svém článku *The Application of Electricity in Warships* publikovaném v *JIEE* 65 popisuje použití třífázového reakčního motoru. Tento druh motoru použili jako součást dálkového navádění torpéd v britském válečném námořnictvu. Největší uplatnění v 60 let nacházejí krokové motorky v přesných polohovacích mechanismech (frézky), velkokapacitních diskových pamětích, plotřů a pohonech tiskáren. Firma Sanyo začala roku 1970 velkosériovou výrobu krokových

motorů řady hybridních motorů s velikostí kroku  $1,8^\circ$  a tím masově vzrostlo nasazení a rozvoj těchto motorků [2]. S krokovými motorky se setkáme i v přístrojích pro zdravotnictví.

## 3.2 Vlastnosti krokových motorků

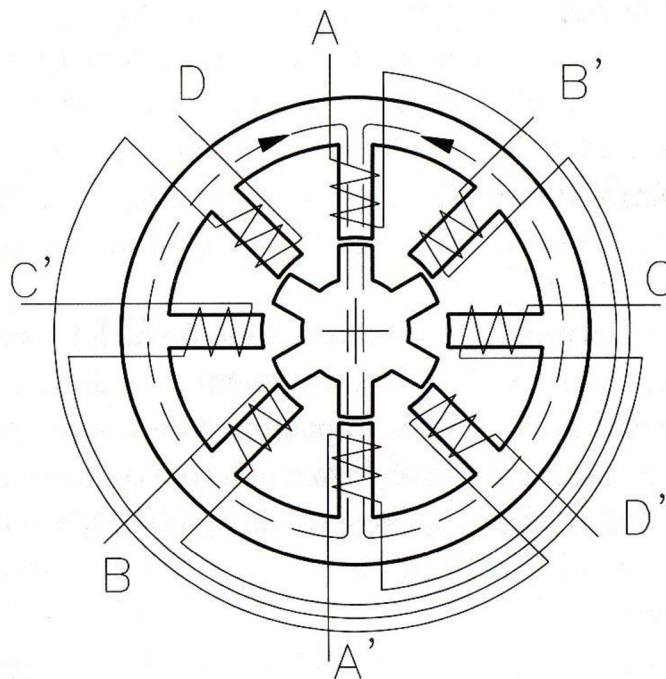
KM mají následující vlastnosti:

- Bezkartáčové provedení – nedochází ke vzniku jisker, jenž může být nežádoucí v určitých oblastech jeho použití. Navíc odpadají problémy s mechanickým opotřebením kartáčů a kolektorů. Mohou se tedy užít i v rizikových prostředích.
- Udržení točivého momentu – Využívají se právě kvůli schopnosti si udržovat krouticí moment a to i při nulových otáček, když motor stojí.
- Nezávislost od zátěže – Za předpokladu, že motor má dostatečný moment (aby nedošlo ke ztrátě kroku) platí, že rotační rychlost KM nezávisí na zátěži. Proklouznutí, neboli ztráta kroku, se stává zejména při vysokých rychlostech. V tu chvíli nedokážeme určit jeho pozici. Kvůli tomuto faktu se musí dodržovat rychlost v rámci předepsaného intervalu.
- Otevřený systém – Asi nejcennější a nejzajímavější vlastností KM je to, že ho lze použít v otevřených systémech bez zpětné vazby. Tato skutečnost platí jen pro dostatečně nadimenzovaný motor [3].

## 3.3 Typy krokových motorků

### 3.3.1 Krokový motor s pasivním rotorem

Tento typ krokového motorku je označován také jako reakční, reluktanční či s proměnnou reluktancí. Obrázek 3.4 zobrazuje řez čtyřfázového reakčního krokového motorku s velikostí kroků  $15^\circ$  buzeného fázi A. Rotor může být tvořen jedním kusem ocele, nebo obdobně jako stator svazkem plechů. Má šest vyniklých pólových nástavců o stejné šířce jako statorové. Stator je tvořen svazkem ocelových plechů s osmi vyniklými pólovými nástavci nesoucimi jednoduchá vinutí jednotlivých fází. Mezi pólovými nástavci rotoru a statoru je malá vzduchová mezera (0,02 – 0,2 mm). Protilehlé páry statorových vinutí jsou zapojeny v sérii a tak tvoří po připojení napájení severní a jižní pól [2].

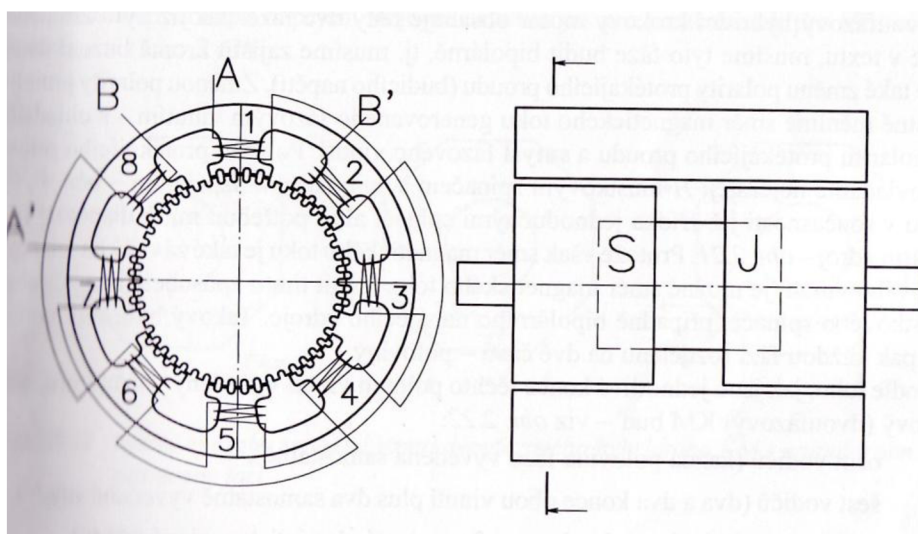


Obrázek 3.4 Řez čtyřfázovým reakčním krokovým motorem rotorem [2]



### 3.3.2 Hybridní krokový motor

Hybridní KM v současné době představuje nejužívanější typ KM. Stator tvoří osm hlavních pólových nástavců, z nichž každý je dále rozdělen na 5 zubů. Každý hlavní pólový nástavec má svoje vinutí cívky. Rotor hybridního KM je vyroben z hřídele z magnetické oceli, na které jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechu. Na obrázku 3.5 je mezi těmito pólovými nástavci vidět uložení permanentního magnetu. Tyto motory jsou nazývány krokové motory s aktivním rotorem s axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Pólové nástavce jsou rozděleny na 50 zubů o stejné šířce jako rotorové [2].

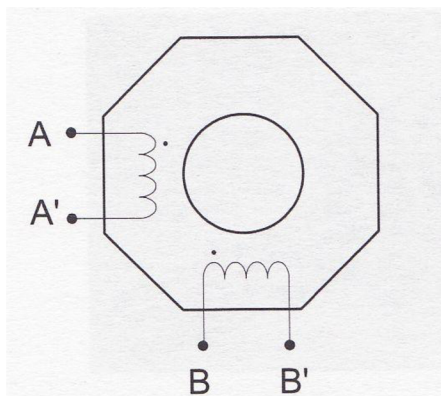


Obrázek 3.5 Řez hybridním krokovým motorem s úhlem kroku  $1,8^\circ$  [2]

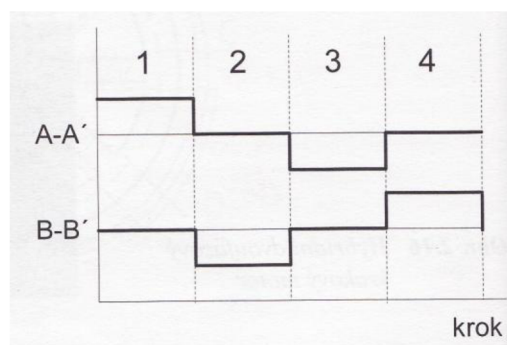
#### 3.3.2.1 Princip Hybridního KM

Pokud neprotéká žádným fázovým vinutím statoru proud, je magnetický tok tvořen jen permanentním magnetem a rotor je tímto magnetickým polem aretován do určité klidové polohy. Do dvoufázového vinutí je zapojeno celkem 8 cívek. Fázi A tvoří cívky pólových nástavců číslo 1,3,5 a 7 a zbývající 2,4,6 a 8 tvoří fázi B. Když fázi B protéká kladný proud jsou statorové nástavce 2 a 6 magnetizovány jižně a póly 4a 8 severně. Zuby na jižním konci rotoru jsou přitaženy zuby na pólech 4 a 8, zatímco posunutá zuby na severním konci rotoru jsou přitaženy póly 2 a 6. Aby se rotor pootočil o krok, fázové vinutí B se přestane napájet a začne se napájet fáze A s proudem kladnou nebo zápornou polaritou, podle smyslu otáčení statoru. Hřídel se tedy otáčí důsledkem

spínání (buzení) fází v sekvenci  $+A,-B,-A,+B,+A$  (ve smyslu hodinových ručiček, obrázek 3.7) nebo  $+A,+B,-A,-B,+A$  v opačném smyslu. Způsob tohoto řízení se nazývá **dvoufázové s bipolárním napájením**. Mimo dvoufázových hybridních motorů existují také vícefázové hybridní KM. Jejich výhodou je, že mají větší počet kroků na otáčku a tudíž i větší přesnost. Nevýhodou je složitost jeho budicího obvodu, tím související vysoká cena.



**Obrázek 3.6** Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním zapojením fází [2]



**Obrázek 3.7** Čtyřtaktní řízení dvoufázového hybridního KM [2]

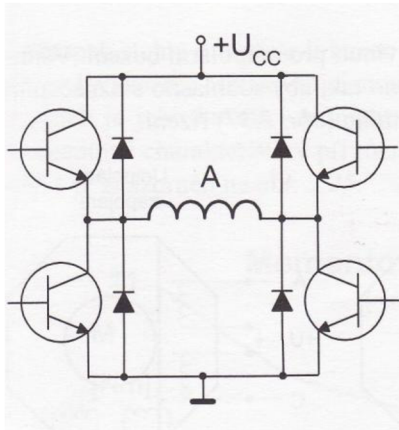
Dvoufázový hybridní motor obsahuje dvě fáze, a proto musí být jeho fáze buzeny bipolárně. Kromě buzení dané fáze musíme také zajistit změnu polaritu protékajícího proudu (budicího napětí). Při změně polarizace proudu dochází ke změně směru magnetického toku generovaného fázovým vinutím. Polaritu protékajícího proudu ovládáme nejčastěji H-můstkovým spínačem s unipolárním napájením (obrázek 3.8) nebo v současnosti již zřídka jednoduchými spínači s potřebou mít k dispozici bipolární zdroj (obrázek 3.9). Směr magnetického toku je také závislý na smyslu fázového vinutí a proto je možné měnit směr magnetického toku tímto způsobem bez použití můstkového spínače, bipolárního napájecího zdroje. Takový hybridní motor má tedy každou fázi rozdělenou na dvě části, poloviny.

KM se dělíme podle toho, jak jsou jednotlivé konce těchto polovin vinutí vyvedeny vně motoru, na (obrázek 3.10):

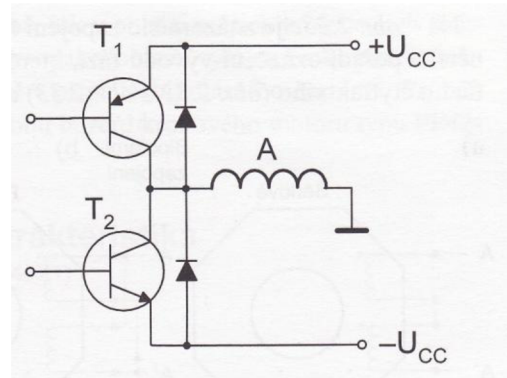
S osmi vodiči – každá polovina fáze vyvedena samostatně

Se šesti vodiči – dva a dva konce obou vinutí a dva samostatně vyvedené středy

S pěti vodiči – dva a dva konce obou vinutí a jejich spojené středy



**Obrázek 3.8 Bipolární buzení z unipolárního zdroje napětí – pomocí H-můstku [2]**

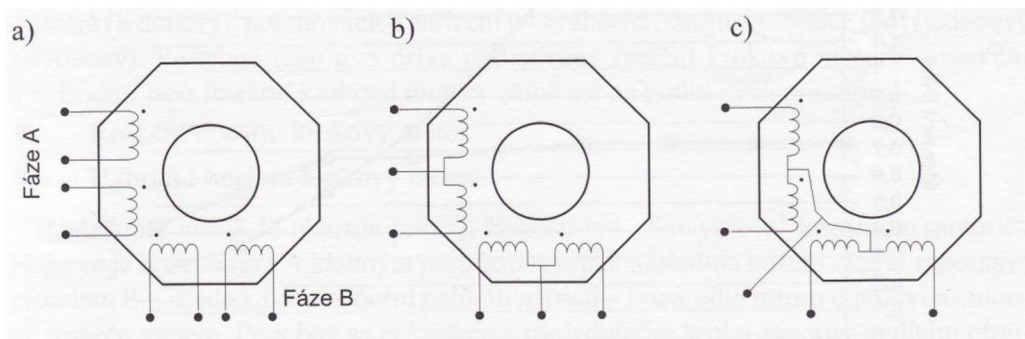


**Obrázek 3.9 Bipolární buzení z bipolárního zdroje napětí [2]**

Diody v obrázku 3.9 a 3.8 slouží jako ochrana spínacích tranzistorů před vlivem indukční zátěže.

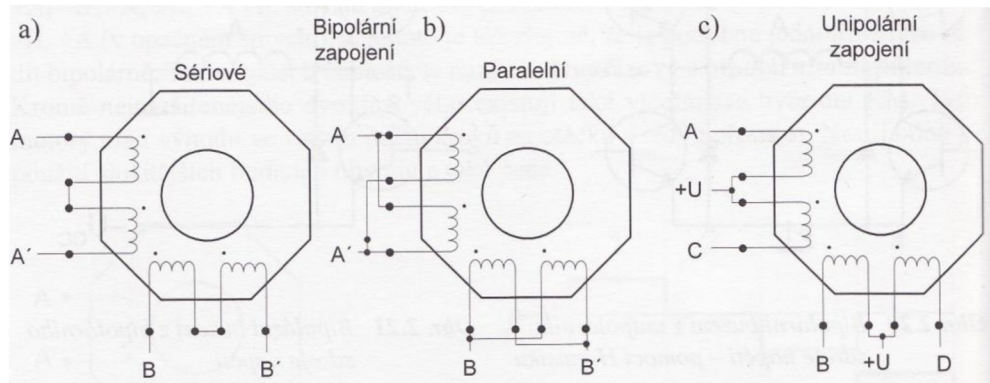
Nejuniverzálnější možné zapojení fázového vinutí je v případě vyvedení všech jeho částí. Při buzení KM bipolárně můžeme zapojit jednotlivé fáze sériově nebo paralelně. Na obrázku 3.10b je sériové spojení, kde výsledný odpor vinutí a indukčnost jsou čtyřnásobné oproti paralelnímu zapojení. Obrázek 3.12 znázorňuje momentovou charakteristiku sériového zapojení a paralelního zapojení.

U sériového zapojení je velikost momentu vyšší v oblastech nižších krokovacích frekvencí momentové charakteristiky. Paralelního zapojení - obrázek 3.10c, je vhodné použít v oblastech vyšších krokovacích frekvencích. Pokles momentu u sériového zapojení způsobuje jeho zvýšený odpor v obvodu chopperu.



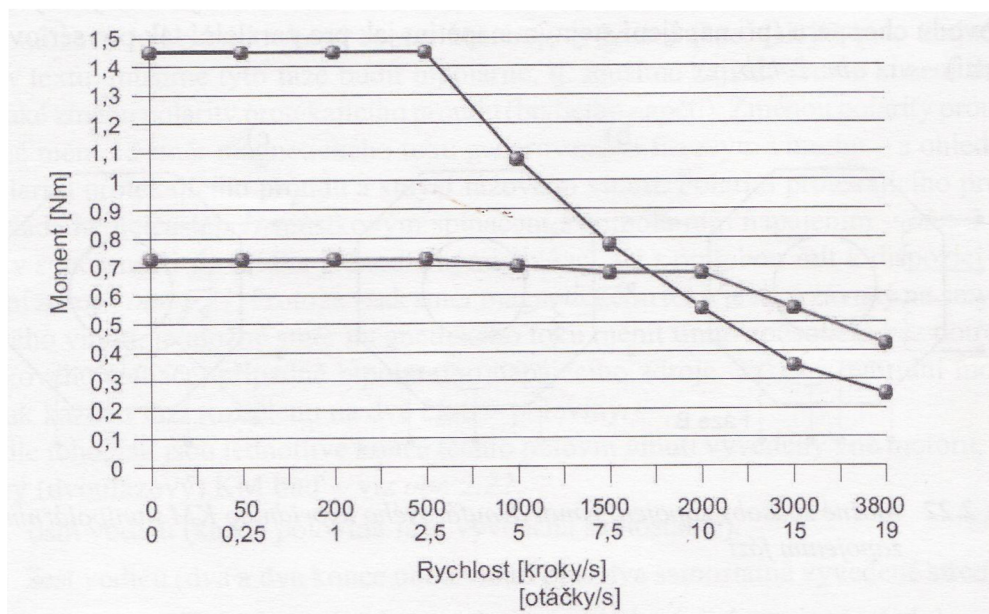
**Obrázek 3.10 Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází [2]**

Na obrázku 3.11C je znázorněno zapojení fázových vinutí pro unipolární buzení.



**Obrázek 3.11** Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení [2]

Krokové motory s unipolárním vinutím se mohou také budít unipolárně, jednotlivé poloviny fázových vinutí. Tyto motory můžeme ovládat obvodem popsaným u čtyřfázového reakčního motoru. Můžeme použít dva způsoby buzení KM a to bipolární či unipolární. Bipolární buzení poskytne lepší výsledky pro aplikace preferující vyšší krouticí moment při nižších krokovacích kmitočtech. [2]



**Obrázek 3.12** Momentová charakteristika motoru SX34-2740 (sériové zapojení – horní průběh, paralelní zapojení dolní průběh) [2]

Pokud je stejný motor buzen unipolárně, tak v oblasti nižších krokovacích frekvencí vykazuje nižší krouticí moment, ale v oblastech vyšších krokovacích frekvencích je jeho krouticí moment vyšší než v případě bipolárního buzení (unipolární buzení je jednodušší a tedy i levnější). [2]

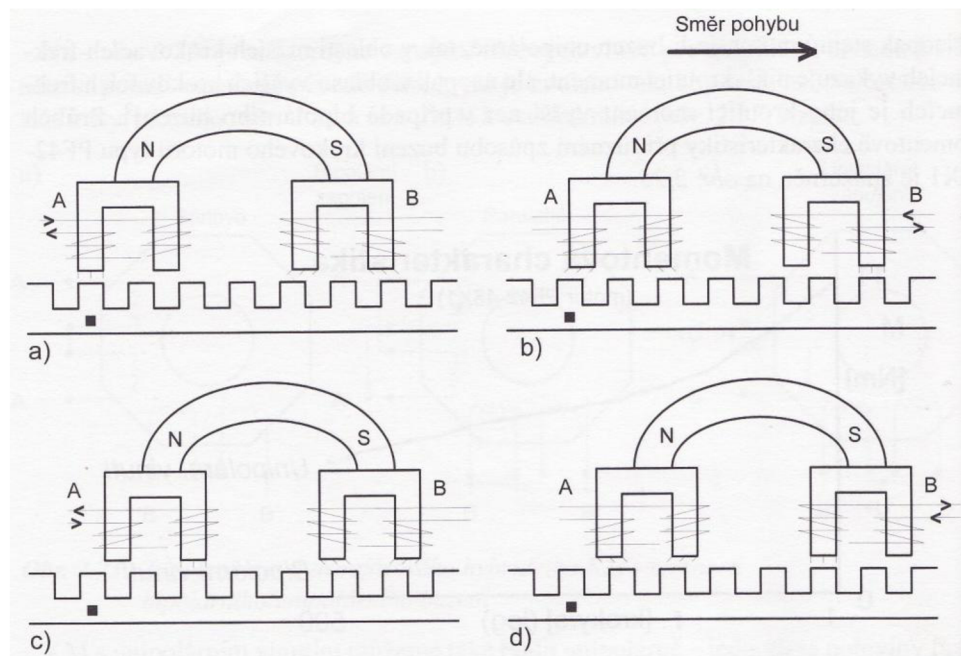
### 3.3.3 Lineární krokový motor

Je to speciální krokový motor poskytující díky své konstrukci lineární pohyb (ne rotační), který nachází uplatnění v některých typech tiskáren a plotrů, polohovacích zařízeních u obráběcích strojů a robotice. Lineární krokové motory jsou založeny na podobných principech jako rotační krokové motory – reakční a hybridní. Máme tyto lineární krokové motory:

Reakční lineární krokový motor

Hybridní lineární krokový motor

Na obrázku 3.13 je zobrazen princip tzv. „Sawyerova lineárního motoru“. Prvně je buzena fáze A kladným proudem A+, poté následuje buzení fáze B záporným proudem B-, dojde k posunu horní pohyblivé části – lineárního rotoru o polovinu zubové rozteče vpravo. Stejně se pokračuje v následujícím kroku záporným budícím proudem fáze A (A-) až poslední takt, kdy je buzena fáze B kladným proudem B+.[2]

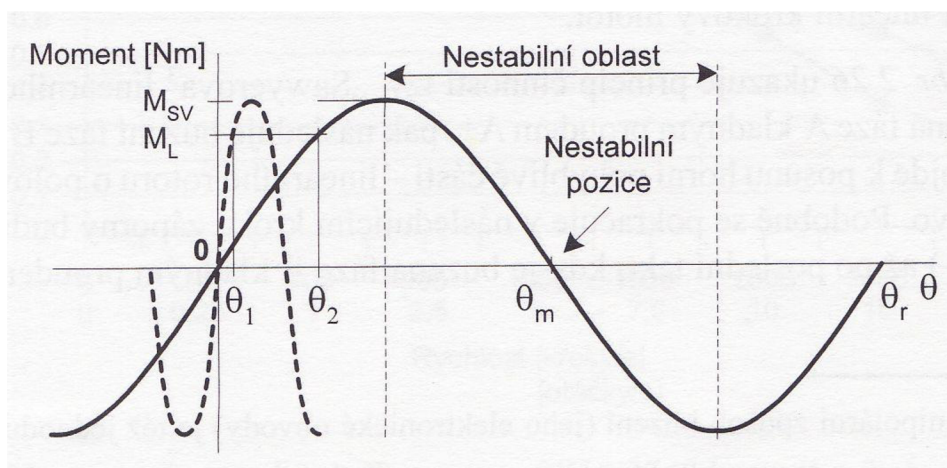


Obrázek 3.13 Princip Sawyerova lineárního motoru [2]

## 3.4 Základní charakteristiky krokových motorů

### 3.4.1 Statická momentová charakteristika KM

Statická momentová charakteristika je závislost úhlu rozladění hřídele  $\theta$  (od jeho rovnovážné polohy  $\theta = 0$ ) na krouticím momentu. Na obrázku 3.14 jsou znázorněny průběhy statických momentových charakteristik pro dva KM. Plnou čarou je znázorněn průběh pro KM s větší velikostí kroku a přerušovaně průběh KM s menší velikostí kroku. Je znázorněn i případ, kdy jsou motory zatíženy stejným momentem  $M_L$ .

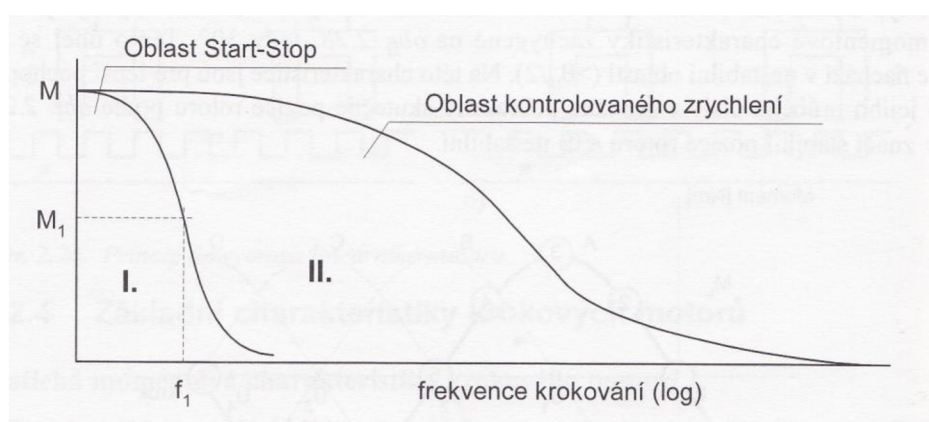


Obrázek 3.14 Statická momentová charakteristika krokového motoru, znázornění průběhů dvou KM s různou velikostí kroku

Při výběru typu motoru má smysl uvažovat velikost jeho kroku, ne jenom kvůli určení polohy ale také z důvodu velikosti úhlu rozladění. Krokové motory s menším krokem má tedy strmější průběh momentové charakteristiky. Maximální hodnota krouticího momentu je označována jako **statický vazební moment**  $M_{sv}$ , kterým lze působit na hřídel stojícího nabuzeného KM bez toho, aby došlo k roztržení magnetické vazby a přeskočení rotoru. Velikost maximálního úhlu rozladění závisí na průběhu reálné momentové charakteristiky, která nemá sinusový průběh, a je větší než velikost jednoho kroku. V případě použití krokového motoru pro pohon injekčního dávkovače souvisí minimální velikost kroku s požadovaným minimálním množstvím roztoku dodané na jeden krok. Toto množství ovlivňuje i ozubený převod použitý k pohonu pístnice injekční stříkačky s lékem.[2]

### 3.4.2 Momentová charakteristika KM

Momentová charakteristika znázorňuje závislost momentu na krokovací frekvenci, otáčkách. Bývá zobrazena pro různé zapojení vinutí a pro různá napájecí napětí, proudy. Na obrázku 3.15 je charakteristické rozdělení momentové charakteristiky na dvě části. Oblast I se nazývá START-STOP, rozběhová a obsahuje stavy, do kterých se může KM dostat z klidu po připojení řídicího obvodu beze ztráty kroku. Při  $M_1$  zatěžovacím momentu se může na KM přivést řídicí kmitočet  $f_1$ . Oblast II je nazývána jako oblast kontrolovaného zrychlení, či provozní. Této oblasti dosáhne krokový motor při plynulé zvyšující frekvenci. [2]



Obrázek 3.15 Momentová charakteristika KM [2]

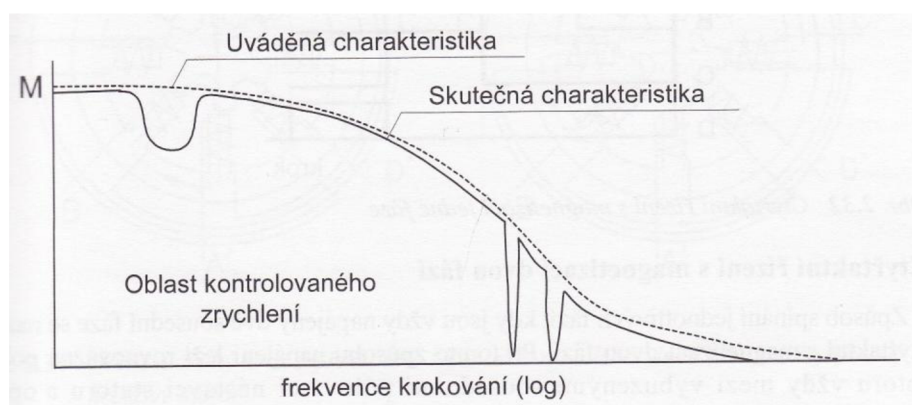
### 3.4.3 Rezonance a nestabilita

Na obrázku 3.16 je znázorněn možný průběh naměřené momentové charakteristiky. Lze vidět, že průběhy katalogové jsou odlišné od naměřených. Tyto odlišnosti se projevují jako poklesy momentové charakteristiky při určitých frekvencích. Velikost a poloha poklesů závisí na vlastnostech motorů, budiče, pracovním módu a zátěži. Existují dva hlavní důvody tohoto jevu:

Vlastní rezonance – především se projevující v nízkých oblastech krokovacích kmitočtů. Pokud se krokovací kmitočet shoduje s vlastní frekvencí oscilace rotoru, oscilace mohou narůstat a tím KM může vypadnout ze synchronu.

Druhý případ je složitější. Celý systém se může v jistých oblastech krokovacích kmitočtů dostat do nestability. Hlavní příčinou tohoto jevu je existence kladné zpětné vazby mezi motorem a budičem. Nastává většinou v oblastech vyšších kmitočtů

momentové charakteristiky. Stupeň viskózního tlumení (hlavně v ložiscích – vliv teploty) má extrémně vliv na tuto nestabilitu. Pokud není požadovaná trvalá činnost krokového motoru, není přítomnost těchto poklesů nijak důležitá. Jsou speciální zapojení budících obvodů, jež snižují vlivy rezonancí a nestabilit, ale neúčinnější metodou při otevřené zpětné vazbě je přizpůsobit tlumič hřídeli. Tlumící účinky se projevují jen tehdy, když motor mění rychlost, ale zároveň zvyšují skutečnou setrvačnost systému a tedy i snižují maximální zrychlení. Poklesy momentové charakteristiky mohou být eliminovány výběrem vhodného tlumiče. [2]



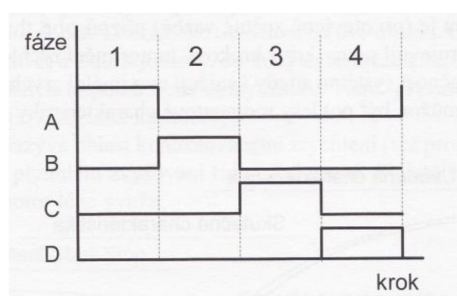
**Obrázek 3.16 Poklesy momentové charakteristiky způsobené rezonancemi a nestabilitou [2]**



## 3.5 Způsoby řízení krokových motorů

### 3.5.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

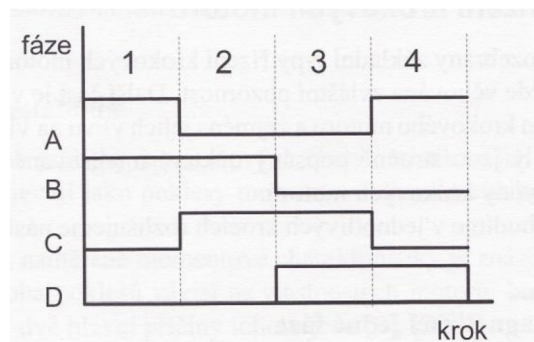
Je to nejjednodušší způsob řízení KM používaný pro čtyřfázový reakční krokový motor, případně pro dvoufázový hybridní krokový motor v zapojení fází pro unipolární buzení (viz obrázek 3.11c). Když je fáze A buzena, vytvoří se elektromagnetické pole v ose pólových nástavců nesoucích vinutí fáze A. Do místa s největší intenzitou elektromagnetického pole (vytvořeném fází A) se bude snažit dostat nejbližší pár pólových nástavců rotoru. Fáze A se vypne a začne se napájet fáze B a druhý pólový pár rotoru se pootočí o  $15^\circ$  proti směru hodinových ručiček a zaujme novou rovnovážnou polohu. Dále následuje vypnutí fáze B a zapnutí fáze C. To samé i u fáze D. Pořadí fází je A-B-C-D-A a pokud chceme změnit smysl otáčení rotoru, docílí se toho opačným spínáním jednotlivých fázových vinutí, tedy A-D-C-B-A. [2]



Obrázek 3.17 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

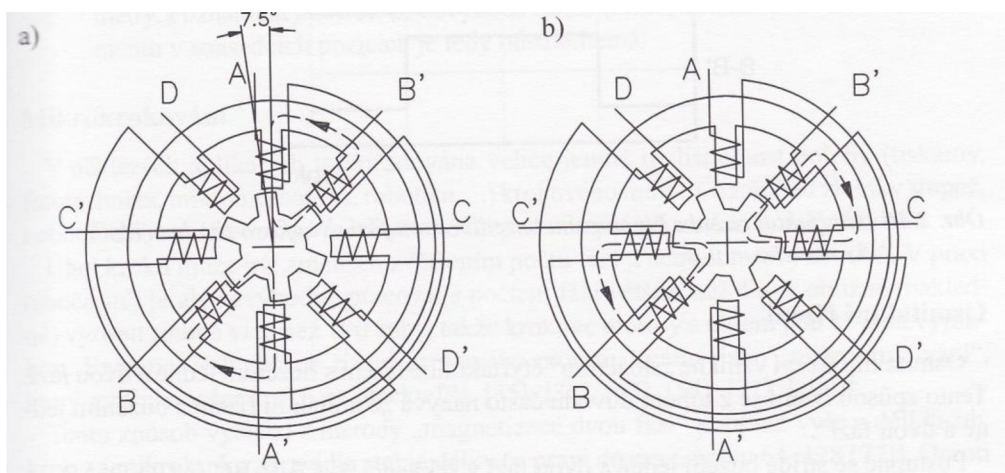
### 3.5.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Jedná se o takový způsob spínání jednotlivých fází, kdy jsou napájeny vždy dvě sousední fáze. Rovnovážná poloha rotoru leží mezi vybuzenými sousedními pólovými nástavci statoru a oproti způsobu řízení s magnetizací jedné fáze je vychýlená o polovinu kroku a to o  $7,5^\circ$ . Velikost kroku se však nemění a je  $15^\circ$ . Časový průběh spínání fází je tedy AB-BC-CD-DA pro jeden směr. Opačný směr je průběh spínání AD-CD-BC-AB. Obrázek 3.18 znázorňuje příklad posloupnosti dvou kroků AB-BC. Zde nezáleží na polaritě napájecího napětí.



**Obrázek 3.18 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový KM (časový průběh)**

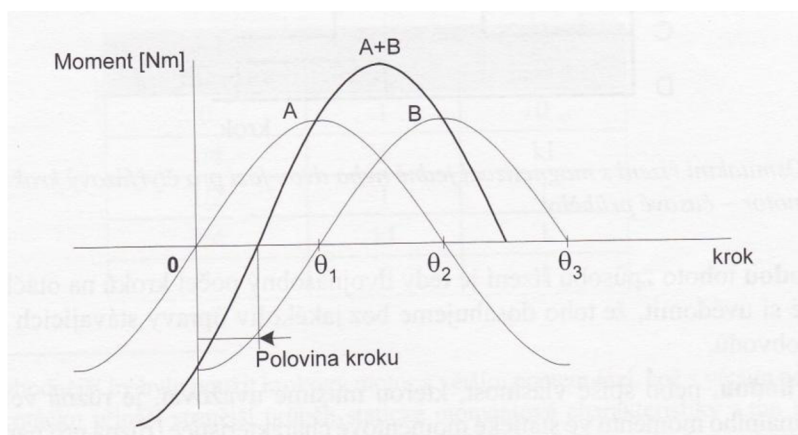
Na obrázku 3.19a je znázorněn stav, kdy jsou napájeny fáze AB. Jsou také zakresleny uzavřené magnetické toky s příslušným označením směru. Sepnutím fází BC se dostane do další rovnovážné polohy (Obrázek 3.19b). Oproti předchozímu řízení zde závisí na polaritě napájení jednotlivých fázových vinutí a tedy i na směru generovaného magnetického toku. Krokovací posloupnost je znázorněna na obrázku 3.18



**Obrázek 3.19 První a druhý krok čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový KM [2]**

Výhody tohoto řízení jsou zejména:

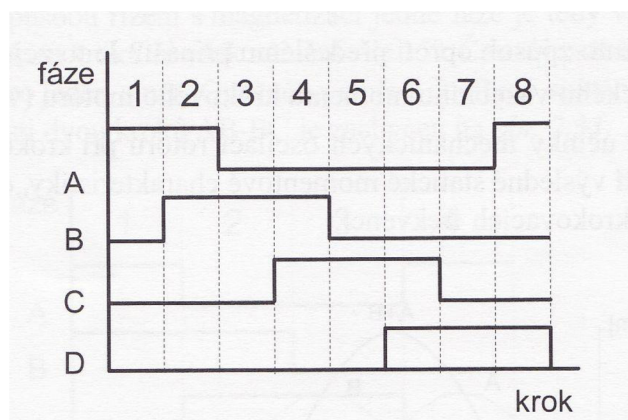
- Zvýšení statického vazebního momentu krokového motoru (obrázek 3.20)
- Tlumící účinky mechanických oscilací rotoru při krokování jsou větší; jsou způsobené vyšší strmostí výsledné statické momentové charakteristiky, což dovolí dosáhnout vyšších krokovacích frekvencí



Obrázek 3.20 Statická momentová charakteristika s buzením dvou fází [2]

### 3.5.3 Osmitaktní řízení

Složením řízení čtyřtakovního s buzením jedné a dvou fází vznikne osmitaktí řízení. Často se tento druh řízení nazývá osmitaktí řízení s buzením jedné a dvou fází. Časový průběh spínání jedné a dvou fází je A-AB-B-BC-C-CD-D-AD... Sekvence spínání je na obrázku 3.21. Rotor se pootočí o  $7,5^\circ$ .



Obrázek 3.21 Osmitaktní řízení s magnetizací jedné nebo dvou fází pro čtyřfázový KM [2]

Výhodou tohoto osmitakovního řízení je dvojnásobný počet kroků na otáčku. Na druhou stranu spatnou vlastností (nevýhodou) je různá velikost maximálního momentu ve statické momentové charakteristice (různá pro napájení jedné a pro napájení dvou fází). Tuto vlastnost se odstraní tak, že v krocích, kdy jsou napájeny dvě fáze, budeme napájet tyto dvě fáze nižším proudem. Přesná velikost proudu závisí na velikosti kroku, neboli jak jsou od sebe vzdáleny polohy statických momentových charakteristik sousedních fází. [2]

### 3.5.4 Mikrokrokování

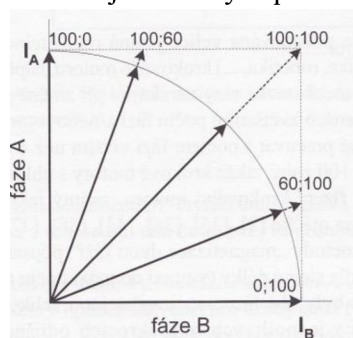
V určitých aplikacích je požadována jemná rozlišitelnost polohy krokového motoru (zlomky stupně), např. tiskárny, robotika, mikrotechnika, fytotechnika, atd.

Zvětšením počtu fází nebo rotorových zubů může být zmenšen úhel kroku. V praxi je nevýhodné používat KM s větším počtem fází než 4 a je obtížné vyrobit rotor s více než 100 zuby. Proto KM s úhlem pod  $1^\circ$  jsou výjimkou. Ovšem existuje takový způsob ovládání – mikrokrokování, jež zvyšuje počet kroků na otáčku. Toto řízení vychází z magnetizace dvou fází a dělí každý krok na mikrokroky zpravidla stejné délky. U tohoto způsobu jsou velikosti proudů záměrně v jednotlivých mikrokrocích odlišné. Vhodnou volbou a řízení vzájemných velikostí proudů se může dosáhnout libovolné klidové polohy mezi dvěma sousedními kroky. Tato rovnovážná poloha je určena poměrem proudů a také stejného případně různého momentu dané velikostí proudů. Tabulka 3.1 ukazuje rozdělení základního kroku na čtyři mikrokroky.

Tabulka 3.1 Mikrokrokování

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

Na obrázku 3.22 jsou přerušovanou čarou znázorněné vektory proudu, plnou čarou pak vektory proudu, které zajistí stejný moment ve všech mikrokrocích. Jmenovitým proudem I je nejprve buzena fáze 1. Poté následuje mikrokrok do polohy  $\frac{1}{4}$  kdy jsou buzeny fáze 1 proudem I a fáze 2 částí proudu kI. Dalšího mikrokroku do polohy  $\frac{1}{2}$  je dosaženo současným buzením fází 1 a 2 jmenovitým proudem I, třetí mikrokrok (poloha  $\frac{3}{4}$ ) je fáze 1 buzena proudem kI a fáze 2 proudem I. Celého kroku je dosaženo při vypnutí fáze 1 a plném buzení fáze 2 jmenovitým proudem I. [2]

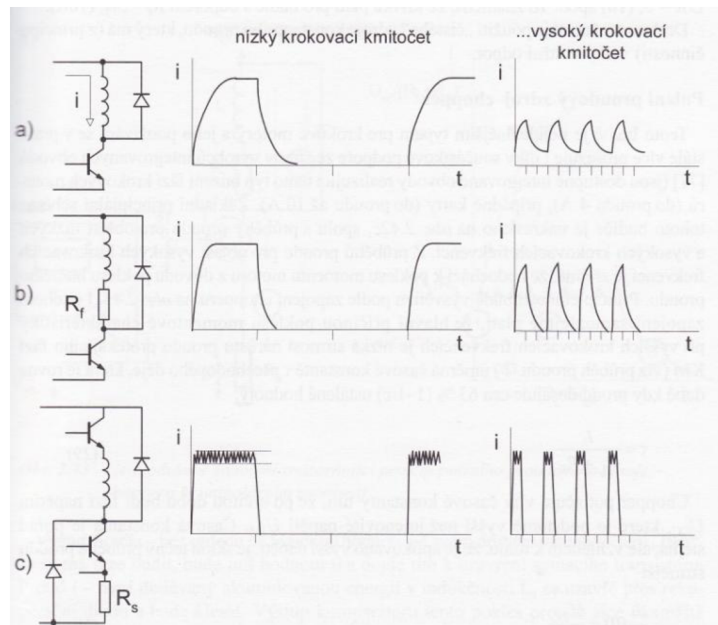


Obrázek 3.22 Mikrokrokování

## 3.6 Budící obvody krokového motoru

### 3.6.1 Buzení z napěťového zdroje

Na obrázku 3.23a je znázorněné nejjednodušší buzení - buzení z napěťového zdroje. Nepříznivě ovlivňovány jsou parametry takto napájeného KM zejména časovou konstantou fázového vinutí ( $L/R$ ). Ta se projevuje jako doba trvání přechodového děje při zapínání nebo vypínání buzení vinutí. Tato časová konstanta se bude nepříznivě projevovat zejména v oblastech středních a vyšších krokovacích frekvencí. [2]



Obrázek 3.23 Základní způsoby buzení fází KM [2]

### 3.6.2 Buzení vnučeným proudem

Toto buzení zvyšuje strmost přechodového děje při zapnutí nebo vypnutí. Jedná se o zdroj konstantního proudu. Zmenšení je docíleno tím, že se napájecímu vinutí předřadí odpor  $R_f$ . Velikost časové konstanty určíme ze vztahu:

$$\tau = \frac{L}{R + R_f}$$

Buzení tohoto typu má ale své nevýhody a to vysokou energetickou náročností, protože se většina dodané energie spotřebuje na odporu  $R_f$  (hodnoty odporu  $R_f$  se pohybují v násobcích 2-10 odporu  $R$ ). Také platí, že velikost hraniční provozní frekvence je

přibližně úměrná tomuto násobku. Např. když  $R_f = 10R$ , potom momentová charakteristika bude posunutá o řád směrem k vyšším frekvencím oproti nepoužití odporu  $R_f$ . Na obrázku 3.23b je znázorněn budicí obvod spolu s časovými průběhy pulzů.[2]

### 3.6.3 Pulzní proudový zdroj (chopper)

Nejideálnějším typem budiče pro krokové motory je pulzní proudový zdroj, který je stále více v praxi prosazován díky součástkové podpoře ze strany výrobců integrovaných obvodů. Na obrázku 3.23c je znázorněno principiální schéma tohoto budiče s průběhy proudu pro oblast nízkých a vysokých krokovacích frekvencí. Z průběhu proudu pro oblast vysokých krokovacích frekvencí je vidět, že nedochází k poklesu momentu motoru z důvodu poklesu budicího proudu. Hlavní příčinou poklesu momentové charakteristiky při vyšších krokovacích frekvencích je nízká strmost nárůstu proudu protékající fází KM úměrná časové konstantě  $\tau$  přechodového děje, jež je rovna době, kdy proud dosáhne asi 63% ( $1-1/e$ ) ustálené hodnoty:

$$\tau = \frac{L}{R + R_f}$$

Pulzní proudový zdroj potlačuje vliv časové konstanty tak, že po určité době budí fázi podstatně vyšším napětím  $U_{cc}$  než jmenovitým napětím  $U_{jm}$ . Díky aplikování vyššího napětí je sklon napětí strmější ale, časová konstanta zůstává stejná.

$$\frac{di}{dt}(0) = \frac{U_{cc}}{L}$$

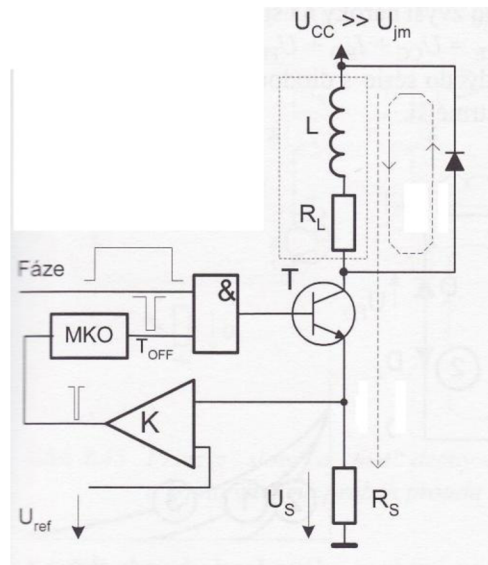
Na vstup fáze (vstup součinnového hradla) se přivede řídicí signál o logické úrovni 1, ten násoben hodnotou na druhém vstupu. Ta má v době, kdy fáze nebyla buzena, hodnotu log. 1, která odpovídá hodnotě na výstupu komparátoru, respektive na výstupu monostabilního klopného obvodu. Tudíž je na výstupu hradla AND log. 1, kterou je poté otevřen tranzistor. Nyní začne fázi protékat proud exponenciálním nárůstem v čase.

$$i(t) = \frac{U}{R+R_s} (1 - e^{-t\tau})$$

$\tau = R/L$  – elektrická časová konstanta

Proud protéká také odporem  $R_s$  a vzniká na něm úbytek napětí  $U_s$  úměrný velikosti proudu. Napětí  $U_s$  je komparátorem porovnáváno s referenčním napětím  $U_{ref}$  a odpovídá  $U_{ref} = I_{jm} \cdot R_s$ . Když napětí  $U_s > U_{ref}$ , výstup komparátoru změní úroveň na log. 0 a tento

signál je přes MKO ve formě pulzu log. 0 o pevné době  $T_{OFF}$  přiveden na vstup součinnového hradla. Hradlo AND (nezáleží na logické hodnotě na druhém vstupu – říká, kdy se má fáze budít) bude mít na výstupu hodnotu log. 0 a dojde k uzavření tranzistoru. Proud  $i$  je nyní dodáváný akumulovanou energií v indukčnosti  $L$  a uzavře se přes rekuperační diodu a bude klesat. Komparátor pokles proudů hned zaznamená a změní svůj výstup na log. 1, ale na výstupu součinnového hradla se toto projeví až po uplynutí doby  $T_{OFF}$  na MKO. Po této době je opět spínací tranzistor sepnut a následuje opětovný nárůst proudu a celý cyklus se opakuje. Pokud chceme vypnout buzení fázi, přivedeme na vstup Fáze log. 0. Bez ohledu na to v jakém stavu je komparátor, dojde k uzavření spínacího tranzistoru a k poklesu proudu.



**Obrázek 3.24 Zjednodušené zapojení znázorňující princip pulzního proudového zdroje - chopperu [2]**

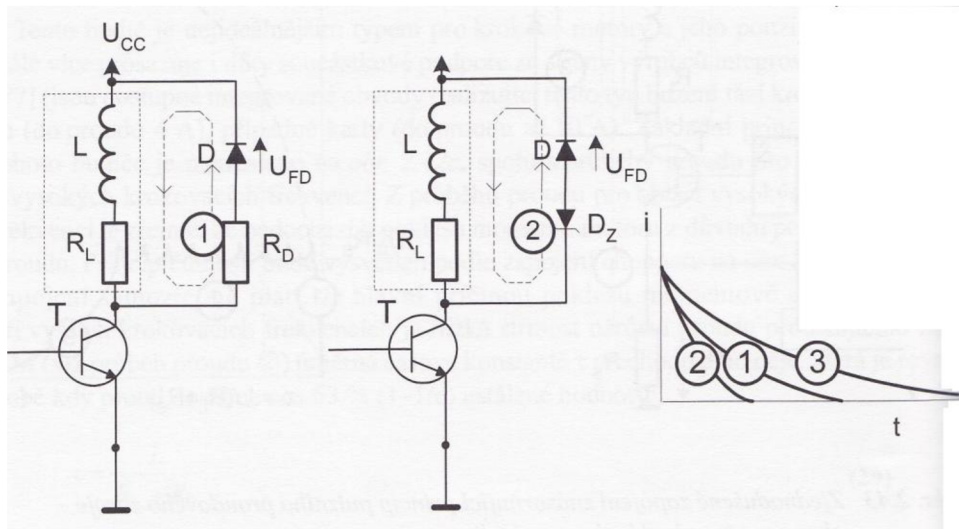
V praxi je pomalý pokles proudu při vypnutí buzení fáze odstranitelný např. zařazení do série s diodou  $D$  odpor  $R_D$ , jež zkrátí časovou konstantu - průběh 1 obrázek 3.25.

$$\tau = \frac{L}{R_L + R_D}$$

Naopak se zvýší nároky na spínací tranzistor, jeho kolektorové závěrné napětí

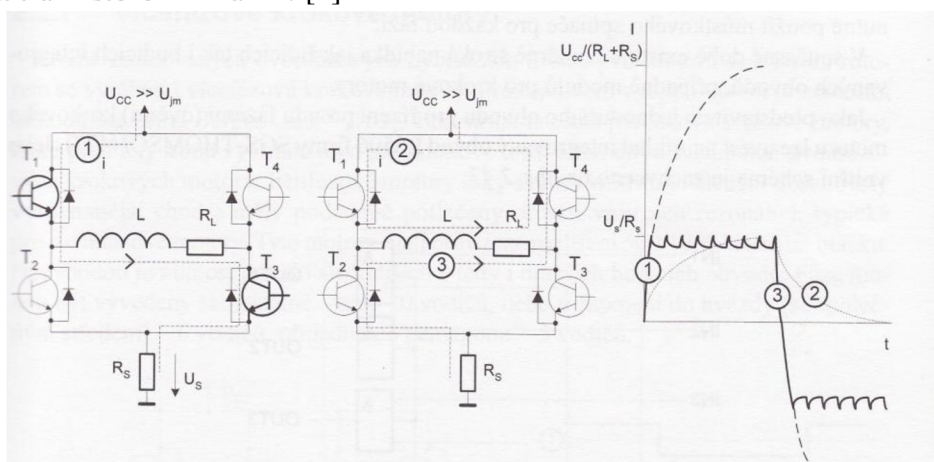
$$U_{CE} = U_{CC} + I_{RD} R_D + U_{FD}.$$

Další možnost je znázorněna na obrázku 3.25, kde je zapojena zenerova diody do série s diodou. Průběh bude strmější.



**Obrázek 3.25** Porovnání různých zániku proudu při vypnutí buzení fáze [2]

Na obrázku 3.26 je znázorněno zapojení pro bipolární buzení hybridního KM v zapojení H-můstku, který řeší problém pomalého poklesu proudu při vypnutí buzení fáze v unipolárním zapojení. Zapojení ukazuje situace, kdy je nejprve daná fáze buzena prvně proudem o jedné polaritě a následně pak opačnou. Jedná se o čtyřtaktní řízení s buzením dvou fází. U tohoto buzení jsou nejprve buzeny tranzistory T1 a T3. Proud, který prochází indukčností, narůstá až do hodnoty  $I_{jm}$ , kdy při překročení této hodnoty zapracuje komparátor a přes příslušnou logiku rozeptne tranzistor T3. Cesta 2 zobrazuje proud generovaný naakumulovanou energií v indukčnosti, který se uzavře přes rekuperační diodu u T4 (rekuperace s nízkou strmostí – slow decay). V případě změny smyslu buzení fáze (čtyřtaktní řízení s buzením dvou fází) se zvolí např. fast decay pokles proudu (cesta 3) tak, že se rozeptne T1 a T3 a sepneme T2 a T4. Indukčnost je připojena k napětí  $U_{cc}$  opačnou polaritou a proud generovaný naakumulovanou energií v indukčnosti nejprve teče přes diody D2, D4 a zdroj a pak změní polaritu (bude protékat tranzistorem T2 a T4). [2]



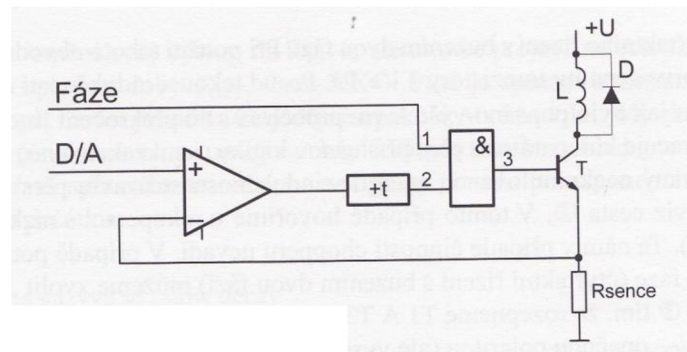
**Obrázek 3.26** Princip pomalé a rychlé doby zániku proudu (slow a fast decay) a jejího vlivu na průběh proudu [2]



### 3.6.4 Budící obvody KM pro režim mikrokrokování

V současné době je již více používáno frekvenční modulace buzení fáze (chopping) než buzení KM z napěťového či proudového zdroje.

Na obrázku 3.27 je znázorněn princip frekvenční modulace buzení fáze. Úbytek napětí úměrný proudu protékajícím vinutí je komparátorem porovnáván s požadovaným referenčním napětím. Pokud bude referenční napětí programovatelné D/A převodníkem, tak se velice snadno bude realizovat mikrokrokování. [2]



Obrázek 3.27 Princip spínaného buzení fáze [2]

Výstup komparátoru je veden na vstup monostabilního klopného obvodu s konstantní periodou řádově desetiny milisekund. K buzení dvoufázových krokových motorů je nutné použít můstkové spínače pro každou fázi. V současné době existuje široká nabídka jak řídicích, tak i budících integrovaných obvodů, popř. moduly pro krokové motory.

## 4 INFÚZNÍ DÁVKOVAČE

Infúzní dávkovače jsou nesmírně důležitými zařízeními pro jednotky intenzivní péče. Tato kapitola pojednává o některých technických problémech těchto zařízení a upozorňuje na důležité parametry.

### 4.1 Infúzní dávkovače – vlastnosti, požadavky

Tyto dávkovače jsou specifické tím, že látka, která má být dopravena do těla pacienta, je umístěna v injekční stříkačce. Množství látky, které je možno jednorázově bez výměny injekční stříkačky dodat, je omezeno. Množství látky dodané do těla pacienta za jednotku času je dána rychlostí zdvihu tlačného mechanismu dávkovače tlačícího do pístnice stříkačky a objemem stříkačky. Pokud mají platit parametry zaručované výrobcem, musí se pro dávkovač použít předepsaný typ injekční stříkačky. Nejen na pohybu tlačného mechanismu dávkovače závisí přesnost dávky, ale i na vlastním provedení injekčních stříkaček. Jestliže nebude mít injekční stříkačka po celé délce dráhy přesně stejný vnitřní průměr, množství látky vytlačené ze stříkačky nebude lineární funkcí pohybu tlačného zařízení. Pokud výrobce udává přesnost dávkování, mělo by být definováno, za jakých podmínek tento údaj platí. Z pohledu uživatele by to měl být údaj, který souvisí spolu s předepsaným typem injekční stříkačky.

Nyní nastává další technický problém. I když jsou injekční stříkačky stejného objemu, ale od jiných výrobců, mohou mít jiné geometrické rozměry z důvodu, že přesná standardizace neexistuje. Mohou zde vzniknout i další rozdíly, jež mají vliv na správnou činnost injekčního dávkovače. Z nichž je nejvýznamnější např. tření mezi pístem a stěnou stříkačky. To má za následek rozdílnost mechanických odporů u injekčních stříkaček různých výrobců.

Aby byla zaručena bezpečnost pacienta a ochrana mechanismu infuzního dávkovače, musí systém hlídat stavy, které jsou z jakýchkoliv příčin nebezpečné nebo mají vyloučit omezení pohybu pacienta. Mezi tyto stavy patří neprůchodnost trubičky, která spojuje injekční jehlu a dávkovač. Ta může nastat např. při ostrém ohybu trubičky. Pokud již bylo celé množství z injekční stříkačky dopraveno do těla pacienta, může být dávkovač odpojen a pacient již není omezován v pohybu. Z hlediska funkce dávkovače je důležité jeho napájení. Dávkovače mají většinou možnost napájení z vnějšího zdroje a k dispozici má zálohování pomocí vestavěného akumulátoru.

Proto musí infúzní dávkovač příslušné stavy (např. provoz na vnitřní vestavěný akumulátor a popř. jeho nabíjení) a případné volby činnosti signalizovat s tím, že jakékoliv přerušení funkce musí vyvolat alarm, který na tento stav obsluhu upozorní. Hlídaní okluzivního tlaku (tlak, který vzniká při tření pístu injekční stříkačky po stěně) bývá snímáno z mechanického odporu, který musí překonat posuvný mechanismus

dávkovače. Tudíž při zvětšení mechanického odporu změnou typu injekční stříkačky může dojít ke spuštění alarmu. Délka pístnice stříkačky se u různých výrobců liší. Pokud dávkovač neumožňuje záměnu stříkačky, může to znamenat, že dávka látky nemusí být pacientovi podaná celá. Proto některé typy dávkovačů připouštějí použití injekčních stříkaček od různých výrobců.

Mezi dávkovače, u kterých lze použít stříkačky od různých výrobců, patří např. injekční pumpa IPB 2050 společnosti Brno COMPACT. Tato vlastnost je velmi cenná, neboť odstraňuje závislost uživatele dávkovače na jednom dodavateli spotřebního zboží a to se může projevit i na provozních nákladech. Dávkovače jsou uzpůsobeny pro použití injekčních stříkaček s různým objemem (např. 20 a 50 ml) od téhož výrobce s tím, že objem stříkačky je určen dávkovačem automaticky bez zásahu obsluhy. Další údaje, které lze od dávkovače očekávat, souvisejí s vlastním transportem roztoku. Můžeme je rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří informace o stavu dávkovače, druhou skupinu údaje vztahující se k vlastní infúzi. U některých dávkovačů se dají naprogramovat některé důležité vlastnosti. K jedné patří možnost zvolit typ injekční stříkačky (podle výrobce) dále např. nastavení limitní hodnoty tlaku. Možnost nastavení tlaku má dobrý vliv na zkrácení doby vyhodnocení alarmu pro okluzivní tlak.

Informace o stavu dávkovače patří:

- Alarm – vnitřní porucha
- Alarm – překročení okluzivního tlaku
- Nedovolená manipulace se stříkačkou
- Vybitý akumulátor
- Nabíjení akumulátoru

Informace stahující se k vlastní infúzi patří:

- Druh použité injekční stříkačky (podle objemu)
- Typ předvolené stříkačky (podle výrobce)
- Nastavená rychlost infúze (regulace bývá ve stupních)
- Průběžné hlášení o dodaném množství infuzního roztoku
- Součet celkového množství dodaných roztoků
- Čas
- Konec dávky

Hlášení z první skupiny o stavu dávkovače lze pokládat v podstatě za standardní, ale hlášení z druhé skupiny však dávkovač nemusí obsahovat všechna. Jen některé injekční dávkovače umožňují volbu různých typů stříkaček, stejně tak všechny průběžně neměří dodané množství, případně nesčítají celkové množství infuzních roztoků podaných pacientovi bezprostředně za sebou.

K dalším důležitým vlastnostem dávkovačů patří i další veličiny:

Snadná manipulace při vkládání injekční stříkačky

Hmotnost a mechanická odolnost

Jednoduchost nastavení

Délka provozní doby na vestavěný akumulátor

Snadná čistitelnost

Odolnost popisu štítku proti oděru

Možnost vyvedení alarmu na pracoviště personálu

Rozhraní pro komunikaci s počítačem nebo se sítí nemocnice

Automatická nabíječka vestavěného akumulátoru, který jej udržuje v provozuschopném stavu bez zásahu personálu

Paralelní chod mikroprocesorů – jeden mikroprocesor hlídá činnost druhého

Uživatelé injekčního dávkovače by měli znát jaký typ akumulátoru je v daném dávkovači užitý. NiCd akumulátor má nepříjemnou vlastnost a to paměťový efekt, který má za následek zmenšování kapacity akumulátoru při dobíjení jen částečně vybitého akumulátoru. To znamená nekontrolovatelnost doby výdrže na vnitřní zdroj. Tyto nežádoucí vlastnosti nemají např. NiMh baterie. Správné zacházení s baterií by měl zajistit vestavěný automatický nabíječ. Někteří uživatelé uvádějí pouze kapacitu a ne však jeho typ a vliv paměťového efektu na výslednou kapacitu. Z pohledu uživatele a nemocničního personálu je důležité uspořádání ovládacích prvků, jejich označení, typ použitého displeje, velikost znaků na displeji a označení všech veličin na ovládacím panelu. Čísla s údaji by měla být čitelná i z většího úhlu a z větší vzdálenosti.

Další velmi důležitou věcí je, jak se injekční dávkovač zachová v případě poruchy elektroniky. Rozhodně nesmí nastat stav, kdy by pacient dostal celou dávku ve velmi krátké době. V některých situacích by to mohlo ohrozit život pacienta. Z hlediska uživatele je také důležité, v jakých intervalech je požadovaná servisní kontrola a údržba dávkovače a jaké jsou provozní náklady s ohledem na používaný spotřební materiál.[4]

## **4.2 Tuzemští výrobci injekčních dávkovačů (pump)**

### **4.2.1 Výrobce Polymed**

Tato firma se zabývá vývojem a výrobou zdravotnických prostředků, importem a exportem přístrojů a spotřebního materiálu pro zdravotnictví a servisem pro veškerý sortiment dodaný touto firmou.

Vyráběné injekční pumpy:

Typ ID 20/50 – Tato pumpa je vybavena standardním knoflíkovým panelem (obrázek 4.1)



ID

Obrázek 4.1 Standardní knoflíková injekční pumpa [5]

Typ IP 2050 – injekční pumpa tohoto typu je svou konstrukcí a vybavením určena pro přesné a bezpečné dávkování farmak pacientům (obrázek 4.2).



Obrázek 4.2 Injekční pumpa IP 2050 [5]

IP

Technické parametry:

Komunikace obsluhy u injekčního dávkovače typu IP probíhá pomocí dvou numerických displejů a tlačítkového panelu. U injekčních dávkovačů typu ID probíhá vzájemná komunikace pomocí knoflíkového panelu a světelné signalizace. Rychlost dávkování pro typ IPC 2050 se pohybuje v rozmezí 0,1-999,9 ml/h, pro injekční dávkovač typu IPA 2050 0,1-150 ml/h a 0,1-99,9 pro injekční dávkovač typu ID 20/50. Velikost kroku pro tyto typy je 0,1 ml. Celkový čas až 100 hodin s rozlišením po 1 minutě. Lze nastavit maximální tlak v rozmezí 30-150 kPa u typu IP a 60-120 kPa u typu ID. Velikost kroku pro nastavení tlaku je 1 kPa. Injekční pumpa se napájí ze sítě 230V/50Hz, externího 12V akumulátoru a je také vybaven záložním NiCd akumulátorem. Provoz na vnitřní akumulátor je do 6 hodin. Rozměry injekční pumpy jsou 235x150x105 mm. Hmotnosti kompletu jsou 2,5-2,7 kg.

Cena:

ID 20/50 20064 Kč (včetně DPH)

IP 2050 23936 Kč (včetně DPH)

## 4.2.2 Výrobce Onyxcz

Společnost Onyxcz, s.r.o. byla založena roku 1996. Navrhuje a vyrábí zdravotnické elektronické přístroje zejména infúzní pumpy pro ambulantní použití. Dále navrhování a realizace strojů a přístrojů pro oblast průmyslu a prodej pulsních oxymetrů.

Vyráběné injekční pumpy:

Typ PPS 9001S – tato injekční pumpa je určena především pro dlouhodobé podávání léčiv nebo jako náhrada pro stacionárního dávkovače. Injekční pumpa je konstruována tak, aby pacientovi co nejméně narušovala jeho styl života, mohl jí nosit u sebe a současně umožňovala použití široké škály podávání léčiv. Její využití umožňuje poskytovat léčbu i v domácím prostředí (Obrázek 4.3).



Obrázek 4.3 Injekční pumpa PPS 9001S [6]

Technické parametry:

Pro komunikaci používá pumpa LCD displej a tlačítkový panel. Maximální rychlost dávkování je 25 ml/h, ale na požádání zákazníka je možno dávkování upravit až na 100 ml/h. Injekční pumpa je konstruována pro injekční stříkačky 2, 5, 10 a 20 ml. Injekční pumpa je napájena 2 x 1,5V baterie velikosti AA. Rozměry pumpy jsou 170x57x25 mm a hmotnost kompletu je 180g.

Cena:

Typ PPS 9001S 32890Kč (včetně DPH)

### 4.3 Zahraniční výrobci injekčních dávkovačů (pump)

#### 4.3.1 Výrobce CODAN ARGUS AG

Tato firma byla zaregistrována v roce 1968 v Heimbergu. V květnu 2006 byla firma Argus přejmenována na CODAN ARGUS AG. Firma je tradiční švýcarský výrobce infúzních pump a lineárních dávkovačů. Přístroje splňují nejvyšší jakostní a bezpečnostní požadavky, vynikají dlouhodobou životností bez zvláštní údržby.

Vyráběné injekční pumpy:

Argus A606S – lineární dávkovač pracují se všemi běžnými injekčními stříkačkami od 10 do 50/60 ml. Je určena do nejnáročnějších podmínek jako např. zapojení do procedur intenzivní péče (Obrázek 4.4).



Obrázek 4.4 Lineární dávkovač ARGUS A606S [7]

Technické parametry:

Komunikace probíhá mezi obsluhou a přístrojem pomocí ovládacího panelu a LCD displeje. Rychlost dávkování je v rozmezí 0,1-1100 ml/h. Regulace probíhá po kroku 0,1 ml/h. Celkový čas 99 h 59 min s rozlišením po 1 minutě. Dávkovač se napájí ze sítě 230V/50-60Hz a je také vybaven záložním NiMh akumulátorem. Výdrž na nabití je 9h

při dávkování 5 ml/h. Rozměry lineárního dávkovače jsou 320x100x180 mm a hmotnost kompletu je 2,2 kg.

Cena:

35000 Kč (včetně DPH)

### 4.3.2 Výrobce Braun

Tato firma sídlí ve Spojených státech amerických se zabývá vývojem a výrobou potřeb pro medicínu. Byla založena roku 1839. Firma Braun patří mezi jedny největší výrobce přístrojů pro medicínu.[8]

Vyráběné injekční pumpy:

Typ Perfusor Basic – Tato injekční pumpa byla vyvíjena s předpokladem nízké ceny a vysoké efektivity. Pumpa má intuitivní ovládání a jednoduchý vzhled (Obrázek 4.5).[9]



Obrázek 4.5 Injekční pumpa Perfusor Basic [9]



Technické parametry:

Komunikace mezi obsluhou a injekční pumpou probíhá intuitivně pomocí ovládacího panelu a LCD displeje. Rychlost dávkování lze regulovat v rozmezí 1,5-360 ml/h v závislosti na velikosti použité injekční stříkačky. Celkový čas je až 60 minut po kroku 2,5 min. Napájení je injekční pumpy je 4-mi alkalickými bateriemi velikosti C. Provozní doba je přibližně 400 hodin při rychlosti infuze 25ml/h. Rozměry injekční pumpy jsou 146x248x76 mm a hmotnost kompletu je 0,9 kg.[9]

### 4.3.3 Výrobce Aitecs

Jedná se o zahraniční firmu zabývající se především výrobou injekčních pump a sídlí v Litvě. V roce 2000 se firma přestěhovala do centra města Vilnius. V červnu 2008 společnost rozšířila svoji pracovní plochu a jsou schopni vyrobit až 12 000 čerpadel ročně. [10]

Vyráběné injekční pumpy:

Typ SEP-10S – tato injekční pumpa je určena pro přesnou kontinuální infuzi léků a svým vybavením patří k pumpám pro univerzální použití např. v nemocnicích a pečovatelských službách. Je dodáváno ve dvou provedeních. První typ je základní verze s označením SEP-10S. Při výrobě této pumpy bylo zohledněno hledisko nízké ceny a vysoké efektivity. Druhé provedení pumpy nese označení SEP-10S Plus a značí rozšířenou verzi. U této injekční pumpy bylo přihlédnuto na zvýšení přesnosti dávkování a zvýšení rychlosti dávkování (Obrázek 4.6).



Obrázek 4.6 Injekční pumpa SEP-10S [10]

Technické parametry:

Pro komunikaci mezi obsluhou a pumpou se stará ovládací panel a LCD displej. Rychlost dávkování lze regulovat v rozmezí 0,1-99,9 ml/h po kroku 0,1 ml/h a 100-400 ml/h po kroku 1 ml/h pro typ SEP-10S. U injekční pumpy typu SEP-10S Plus lze rychlost dávkování regulovat v rozmezí 0,1-99,9 ml/h po kroku 0,1 ml/h a 100-1500 ml/h po kroku 1 ml/h. Celkový infúzní objem je až 9999,9ml. Injekční pumpa je napájena ze sítě 230V/50 Hz a je také vybaven vnitřním NiMh akumulátorem s provozní dobou 8 h při dávkování 5 ml/h. Rozměry injekčního dávkovače jsou 135x305x195 mm a hmotnost je 2,6 kg.[10]

Typ SEP-12S – Tato injekční pumpa svým vybavením patří k pumpám určeným na operační sál a k podávání anestetik. Dodává se v provedení SEP-12S Pro a SEP-12S Plus.



**Obrázek 4.7 Injekční pumpa SEP-12S [10]**

Technické parametry:

Komunikace mezi obsluhou a pumpou probíhá pomocí ovládacího panelu a LCD displeje. Rychlost dávkování lze regulovat v rozmezí 0,1-99,9 ml/h po kroku 0,1 ml/h a 100-1500 ml/h po kroku 1 ml/h. Celkový infúzní objem je 99999 ml. Injekční pumpa je napájena ze sítě 230V/50Hz a je také vybaven vnitřním NiMh akumulátorem s výdrží 8 h při dávkování 5 ml/h. Rozměry injekčního dávkovače je 135x305x195 mm. Hmotnost kompletu typu SEP-12S je 2,6 kg pro oba dva typy.[10]

Typ SEP-21S – tento typ injekční pumpy se od předchozích typů liší tím, že dávkování může probíhat ze dvou na sobě nezávislých dávkovacích systémů. Tento systém tedy umožňuje dávkování více léčiv v tutéž dobu.



**Obrázek 4.8 Injekční pumpa SEP-21S [10]**

Technické parametry:

Komunikace mezi obsluhou a injekční pumpou probíhá pomocí ovládacího panelu a dvou LCD displejů. Rychlost dávkování lze upravovat v rozmezí 0,1-99,9 ml/h po kroku 0,1 ml/h a 100-1500 ml/h po kroku 1 ml/h. Celkový infuzní objem je až 99999 ml. V dávkovači mohou být použity injekční stříkačky velikostí 10, 20, 30, 50/60 a 100 ml. Injekční pumpa se napájí ze sítě 230V/50Hz a je vybavena vnitřním NiMh akumulátorem s výdrží 8 h při dávkování 5 ml/h. Rozměry pumpy jsou 135x306x272 mm a hmotnost kompletu je 4,2 kg.

Typ Aitecs 2015 – jedná se o pokrokovou injekční pumpu vybavenou grafickým displejem a vysoce čitelnými indikátory. Je konstruována tak, aby vyhovovala všem věkovým generacím.



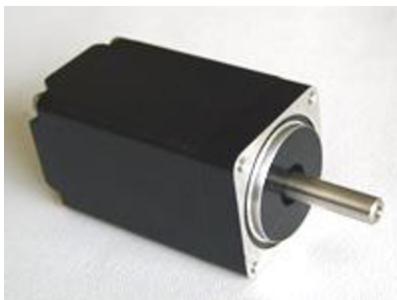
**Obrázek 4.9 Injekční pumpa Aitecs 2015 [10]**

Technické parametry:

Komunikace se mezi obsluhou a dávkovačem uskutečňuje pomocí ovládacího panelu a grafického displeje. Pumpa umožňuje užití injekčních stříkaček velikostí 5, 10, 20, 30, 50, 60 a 140 ml. Rychlost dávkování lze regulovat v rozmezí 0,1-1200 ml/h po kroku 0,1 ml/h. Celkový infuzní objem je 9999 ml. Injekční pumpa je napájena ze sítě 110-240V/50-60Hz a je také vybaven záložním NiMh akumulátorem. Provozní doba na akumulátor je 10 hodin při dávkování 5 ml/h. Rozměry injekční pumpy jsou 140x340x186 mm s hmotností kompletu 2,9 kg.

## 5 TEORETICKÝ NÁVRH ŘÍDÍCÍHO OBVODU PRO KM

Jako krokový motor jsem zvolil dvoufázový hybridní krokový motor NEMA size 11 (28mm) typ 11H51H-0956A od společnosti [MS MOTOR](#) (obrázek 5.1).

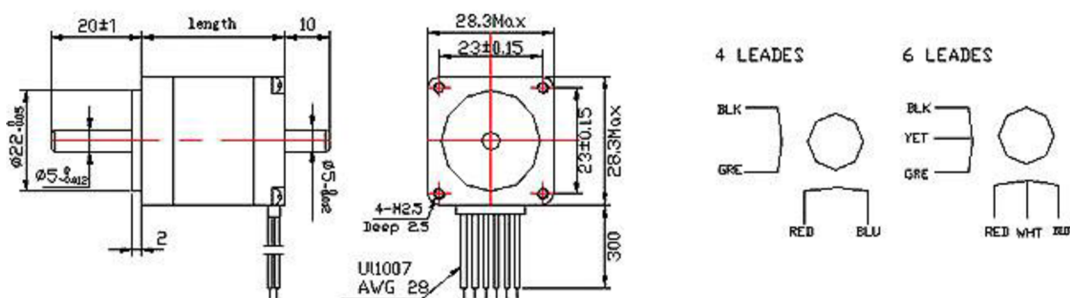


Obrázek 5.1 Dvoufázový hybridní krokový motor [14]

Jeho základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Pod touto tabulkou jsou pak uvedeny jeho mechanické rozměry. Moment motorku jsem volil odhadem vzhledem k tomu, že nebyly zadány mechanické vlastnosti převodového mechanismu ani parametry stříkačky s léčivou látkou. Předpokládám však, že je zde dostatečná rezerva výkonu.

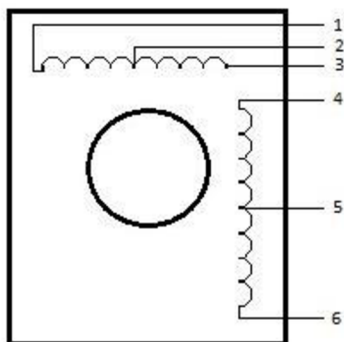
Tabulka 5.1 Parametry zvoleného krokového motorku (Údaje byly převzaty z [14])

| Series Model | Step Angle (°) | Motor Length (mm) | Holding Torque (g.cm) | Lead Wire (NO.) | Rated Current (A) | Phase Resistance (ohm) | Phase Inductance (mH) | Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> ) | Motor Weight (Kg) |
|--------------|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|
| 11H51H-0956A | 1.8            | 50.5              | 900                   | 6               | 0.95              | 4.6                    | 1.4                   | 18                                 | 0.2               |



Obrázek 5.2 Mechanické rozměry zvoleného KM [14]

Na obrázku 5.3 jsou znázorněny vývody vinutí zvoleného motorku. Vývody 2 a 5 spojíme a vznikne společný vodič motoru. Vodiče 1, 3, 4 a 6 jsou pak začátky nebo konce vinutí jednotlivých fází hybridního krokového motoru.

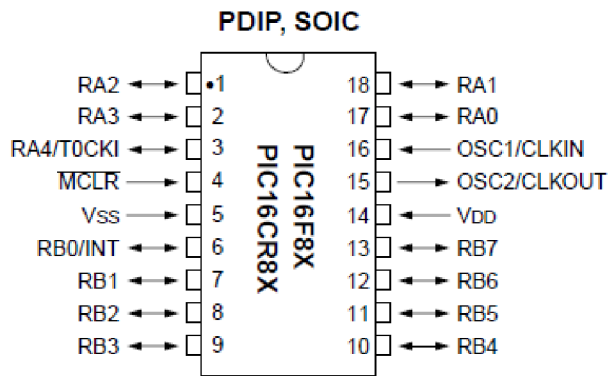


**Obrázek 5.3** Zapojení vývodů dvoufázového hybridního motoru

Pro řízení krokového motorku injekčního dávkovače bude nejvhodnější použít řízení pomocí mikrokontroléru pro naprogramování dalších užitečných/potřebných funkcí, jako je např. alarm (vnitřní porucha, překročení okluzního tlaku), vybitý akumulátor, nabíjení akumulátoru, druh použité stříkačky, nastavení rychlosti infúze, průběžné hlášení o dodaném množství infuzního roztoku, čas atd. Výhodou je, že činnost zařízení lze snadno zdokonalovat nebo měnit bez nutnosti zásahu do konstrukce zařízení.

## 5.1 Mikrokontrolér PIC16F84

Procesor PIC16F84 patří do skupiny programovatelných logických obvodů. Je to procesor typu RISC, tedy procesor s omezenou instrukční sadou. Jedná se o velice složitý integrovaný obvod – obvod řízený hodinami. Je tedy potřeba oscilátor – generátor hodin, který synchronizuje celou jeho činnost. Pro aplikace, jež potřebují přesný a stabilní chod mikrokontroléru, se používá nejčastěji krystalový oscilátor. Ale pokud není kladen důraz na stabilitu a přesnost kmitočtu generátoru hodin, lze použít jednoduchý RC oscilátor. V případě řízení KM injekčních dávkovačů je vhodné použít krystalový oscilátor pro přesné dávkování léčiv.

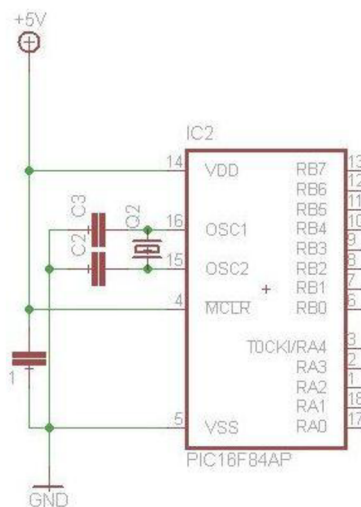


**Obrázek 5.4** Popis jednotlivých vývodů PIC 16F84 [11]

Procesory PIC používají Hardwarovou 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.

### 5.1.1 Návrh hodnot součástek

Vývody OSC1 a OSC2 slouží pro připojení oscilátoru (obrázek 5.5). Hodnoty součástek jsou navrženy tak, aby kmitočet generátoru hodin mikrokontroléru byl s krystalovým oscilátorem 3,2768 MHz. Keramický kondenzátor C1 slouží k odfiltrování rušení, které by mohlo přijít po napájecích vodičích. Tento kondenzátor se připojuje co nejbližší k vývodům V<sub>SS</sub> a V<sub>DD</sub>. Vývody (obrázek 5.4) 1 až 3, 6 až 13 a 17 až 18 se mohou používat jako vstupy a výstupy mikrokontroléru. Z Tabulky 5.2 můžeme vyčíst parametry procesoru PIC16F84.

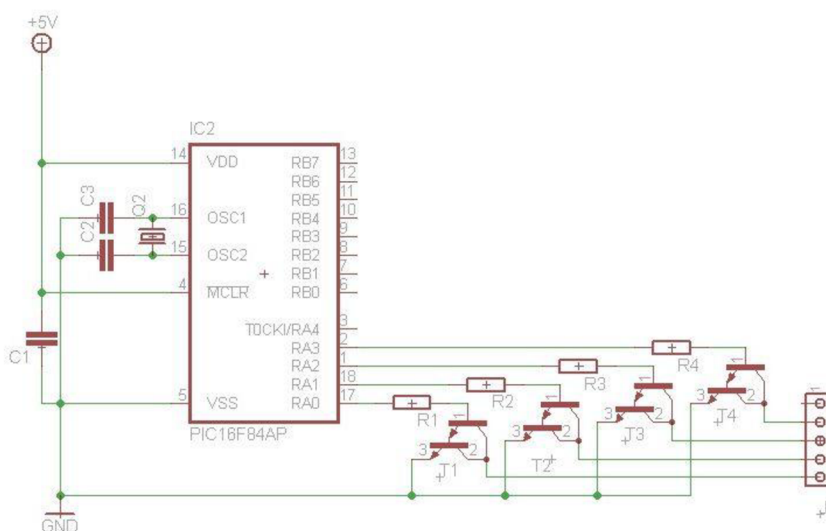


**Obrázek 5.5** Realizace krystalového oscilátoru

**Tabulka 5.2 Parametry procesoru PIC16F84 [13]**

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| 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               |

Porty RA0 až RA3 budou sloužit jako výstupy mikrokontroléru a na každém z nich bude připojen přes odpor tranzistor T1 až T4, který slouží ke spínání jednotlivých fází krokového motoru (obrázek 5.6). Na porty RB4 až RB7 se připojí led diody (obrázek 5.10), které budou signalizovat právě sepnutou fázi (tranzistor). Za tranzistory T1 až T4 jsou voleny výkonové tranzistory darlington typu TIP122 (s ohledem na parametry motorku byly voleny takovéto spínací stupně s dostačující rezervou). Tranzistor darlington je elektronická součástka složená ze dvou bipolárních tranzistorů takovým způsobem, že první tranzistor zesiluje druhý. Takovéto zapojení poskytuje větší proudové zatížení.



**Obrázek 5.6 Zapojení tranzistorů k PIC16F84**



Z katalogového listu vyčteme proudový zesilovací činitel  $h_{21e} = 1000$  pro tranzistor TIP122. Úbytek na jednom tranzistoru je  $U_{BE} = 0,65V$ . Darlingtonův tranzistor obsahuje dva bipolární tranzistory tudíž  $U_{BE\text{darl.}} = 2 * U_{BE} = 2 * 0,65 = 1,3V$ .

Platí:

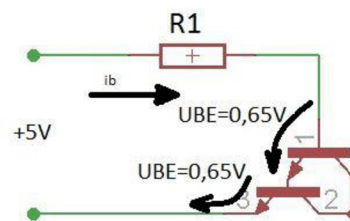
$$h_{21e} = i_c / i_b \rightarrow i_b = i_c / h_{21e}$$

Maximální proud procházející tranzistorem (viz katalogový list) je  $i_c = 5A$ . Zvolil jsem 3A pro dostatečnou rezervu při odběru proudu KM.

$$i_b = 3/1000 = 0,003A = 3mA$$

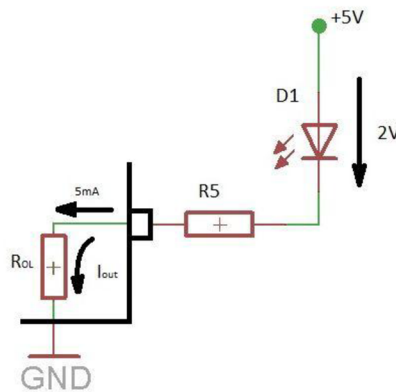
$$R1 = U/i = (5 - 0,6 - 0,6) / 0,003$$

$$R1 = 1266,7 \Omega \rightarrow \text{z řady R1} = 1,2 \text{ k}\Omega$$



Obrázek 5.7 Postup výpočtu hodnoty odporu R1

Totéž bude platit pro rezistory R2, R3, R4. Jejich hodnota bude tedy 1k2. Předřadné odpory k led diodám připojené na porty RB4 až RB7 bude mít hodnotu při použití diody, která má napájecí napětí  $U_f = 2V$ ,  $I_f = 10mA$ , (obrázek 5.8) následující:



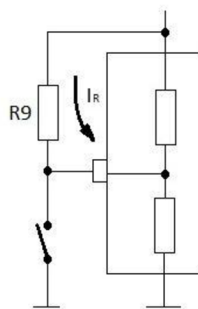
Obrázek 5.8 Výpočet odporu k led diodě

Odpor  $R_{OL}$  v mikrokontroléru je tak malý ( $26 \Omega$ ) a tak proud je omezen pouze odporem R5. Proud diodou zvolíme 5 mA.

Výpočet velikosti odporu R5:

$$R5 = U / i = (5 - 2) / 0,005 = 600\Omega$$

Z řady zvolíme nejbližší hodnotu a to je  $R5 = 580 \Omega$ . Tato hodnota platí i pro odpory R6, R7 a R8.



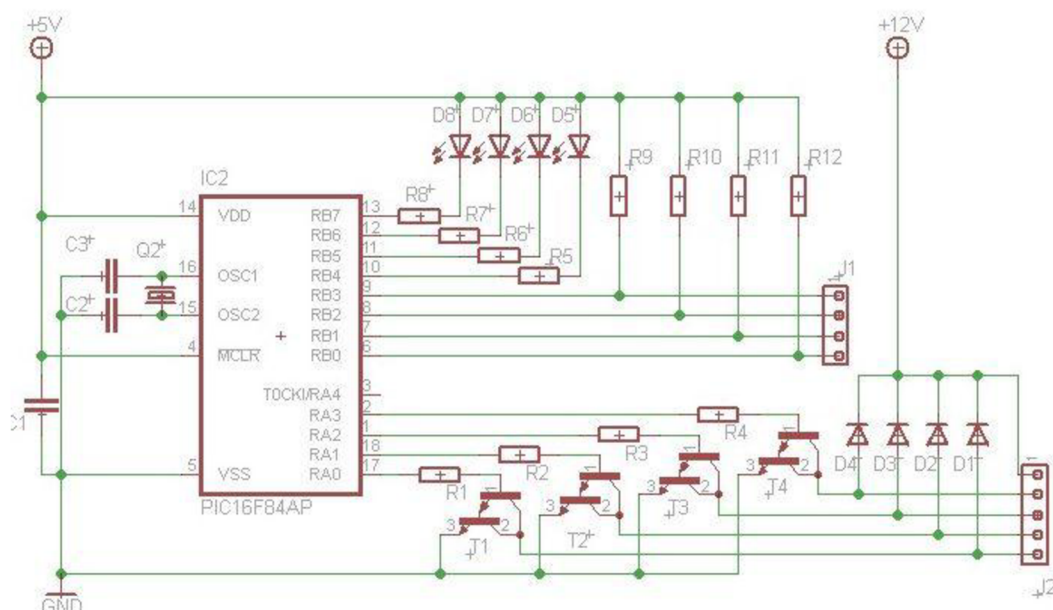
**Obrázek 5.9 Výpočet odporu R9**

Pokud je spínač rozepnutý (obrázek 5.9), odporem R9 teče proud  $I_R = 1 \mu A$ . Při úrovni H na vstupu může být úbytek na napětí na odporu R9 1,6V. Maximální velikost odporu je tedy:

$$R9 = 1,6 / 0,000001 = 10 \text{ k}\Omega$$

Pak proud odporem R9 při sepnutém spínači bude  $I_R = 5 / 10000 = 0,5 \text{ mA}$ . Hodnota odporu R9 bude stejná i pro odpory R10, R11, R12.

Diody D1 až D4 slouží jako ochrana spínacích tranzistorů před vlivem indukční zátěže. Na port RB0 budou přiváděny impulsy, podle kterých se fáze přepínají. Port RB1 použijeme na přepínání směru smyslu otáčení krokového motorku. Na Port RB2 se může přivést signál (0 nebo 1), který bude signalizovat, že došlo k pohybu motorku. Principiálně se tento problém vyřeší např. tak, že se na hřídel přidělá děrovaný kotouček. Díry v tomto kotouči přerušovaně propouštějí paprsek ze zdroje záření (obvykle se používá infračervená dioda), který dopadá na fotoelektrický snímač umístěný naproti zdroji záření. Ten ho převádí na elektrické impulzy, které jsou přiváděny právě na port RB2. Pokud je řídicím obvodem vyslán povel pro pohyb a na port RB2 nepříjde odpověď ze snímače v podobě binárního čísla, je vyvolán alarm. Na port RB3 může být přiveden hlídací signál okluzního tlaku ze snímače. Po překročení nastavené hodnoty okluzního tlaku je také spuštěn alarm.

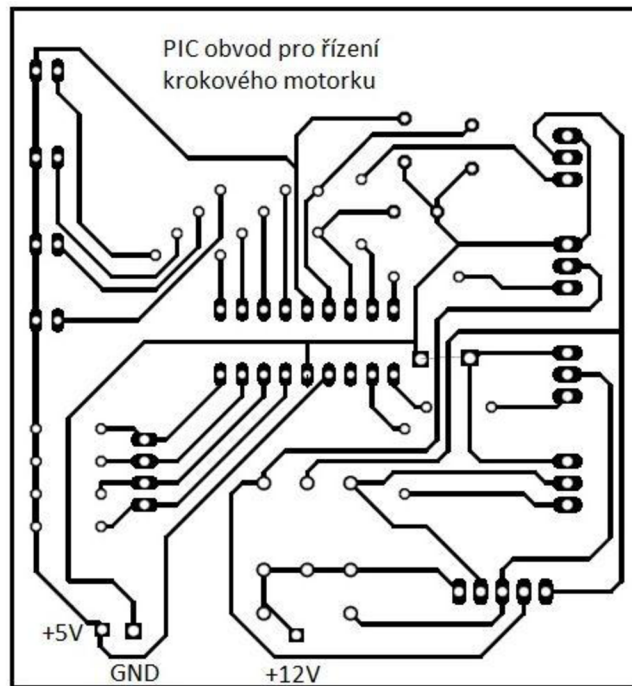


**Obrázek 5.10** Schéma obvodu pro řízení KM pomocí PIC16F84

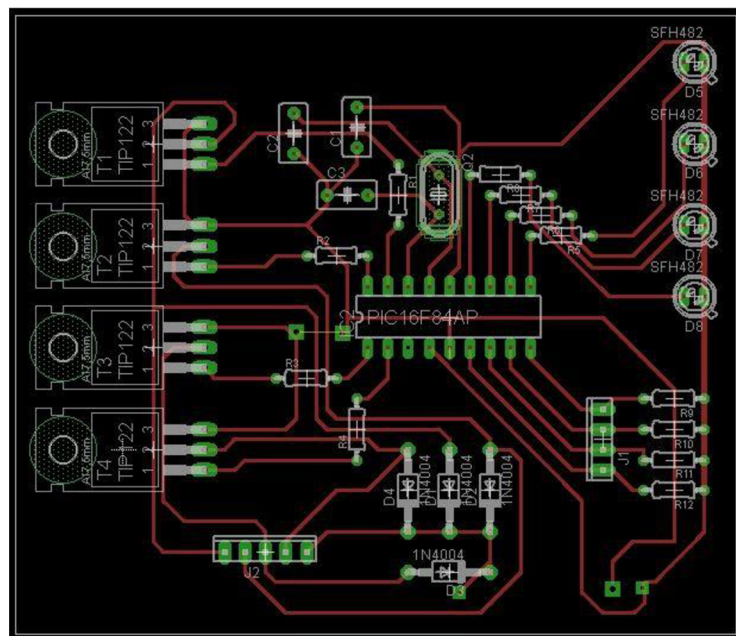
**Tabulka 5.3** Seznam součástek

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| IO2               | PIC 16F84                            |
| Q2                | 4MHz                                 |
| T1-T4             | TIP122                               |
| C1                | 100n                                 |
| C2, C3            | 22p                                  |
| D1, D2, D3, D4    | 1N4007                               |
| D5, D6, D7, D8    | Led dioda: $U_f = 2V$ , $I_f = 10mA$ |
| R1, R2, R3, R4    | 1k2                                  |
| R5, R6, R7, R8    | 580                                  |
| R9, R10, R11, R12 | 10k                                  |

Připojení krokového motoru provedeme tak, že na tranzistor T1 přivedeme fázi A (vývod KM č.1), na T2 fázi B (vývod KM č.3), na T3 fázi C (vývod KM č.4) a na T4 fázi D (vývod KM č.6). Spojené středy vinutí (vývody č.2 a č.5) se připojí na svorku +12V.



Obrázek 5.11 Schéma plošného spoje



Obrázek 5.12 Rozmístění součástek na desce - řídicí jednotka s PIC16F84

## 6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce zahrnuje obecný přehled typů krokových motorků. Jsou zde probrány nejdůležitější vlastnosti KM, dále jejich základní charakteristiky jako jsou: statická momentová charakteristika, momentová charakteristika, resonance a nestabilita. Práce pokračuje seznámením s různými možnostmi řízení chodu krokových motorků a jejich buzení.

Další kapitola seznamuje čtenáře s injekčními dávkovači, s jejich parametry a vlastnostmi nutnými pro správné dávkování léčiv pacientovi. Jsou zde uvedeny někteří tuzemští a zahraniční výrobci. U injekčních dávkovačů tuzemských výrobců jsou pro představu uvedeny tržní ceny jednotlivých přístrojů. U každého injekčního dávkovače jsou shrnuty technické parametry, jako jsou například: komunikace mezi obsluhou a samotným přístrojem, rychlost dávkování, velikost kroku, způsob napájení, délka provozu na vnitřní akumulátor, rozměry a hmotnost.

Na konec práce je proveden teoretický návrh řídicí jednotky pro krokový motorek pomocí mikrokontroléru PIC16F84. Celý návrh je ovlivněn podle typu zvoleného krokového motorku. Schéma zapojení jsem navrhnul v programu eagle spolu s rozvržením součástek na desce a návrhem plošného spoje.

Po přečtení této práce by měl mít čtenář přehled o krokových motorech (typech, způsobů řízení, vlastností) a injekčních dávkovačích (jejich požadavcích, vlastnostech a některých typech injekčních pump). Z teoretického návrhu by mělo být patrné, z jakého důvodu byly zrovna tyto součástky zvoleny a je popsán možný způsob ovládání a hlídání proti poruše, kdy nedojde ke kroku motorku, či zvětšení okluzního tlaku nad hodnotu, jež je nastavena. Pro větší bezpečnost by bylo vhodné použít paralelní chod mikroprocesorů, kdy jeden hlídá chod druhého.

## 7 LITERATURA

- [1] SMUTNÝ, Pavel. *E-automatizace.cz : Informační portál z oblasti automatizace [online]. 14.12.2009 [cit. 2011-01-010]. E-AUTOMATIZACE. Dostupné z WWW: <<http://www.e-automatizace.cz/encyklopedie.asp?Hledat=vse%3E>>.*
- [2] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty : pohony, senzory, řízení*. vyd.1. Praha : BEN-technická literatura, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [3] ŘEZÁČ, Kamil. *Poster.us.sk [online]. 2009 [cit. 2011-05-24]. Krokové motory. Dostupné z WWW: <[poster.us.sk/?p=2840](http://poster.us.sk/?p=2840)>.*
- [4] FRANTOVÁ, J., et al. *Scripta Medica [online]. [s.l.] : [s.n.], 1997 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW:<http://www.med.muni.cz/biomedjournal/pdf/supplementa/1998/supplementa-98.pdf>>.*
- [5] *INFÚZNÍ TECHNIKA [online]. [s.l.] : [s.n.], 2003? [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.polymed.sk/cms/pdfs/KatalogV.pdf>>.*
- [6] *Injekční pumpy [online]. 2005? [cit. 2011-05-24]. ONYX CZ. Dostupné z WWW: <<http://www.onyxcz.com/index.php?act=products.inc&id=42&lng=cz>>.*
- [7] *Prodej a servis lékařské techniky [online]. 2008 [cit. 2011-05-24]. MEDITECH. Dostupné z WWW: <<http://www.meditech.cz/default.asp?nDepartmentID=1&nLanguageID=1>>.*
- [8] *Sharing expertise [online]. 2009? [cit. 2011-05-24]. B BRAUN. Dostupné z WWW: <<http://bbraunusa.com/index.html?uuid=4614EC6FD0B759A1E301CA22A8A39DB7>>.*
- [9] *Egeneralmedical.com [online]. 2000 [cit. 2011-05-24]. EGeneralMedical+com. Dostupné z WWW: <<http://www.egeneralmedical.com/mme-80905.html>>.*
- [10] *Aitecs.com [online]. 1993 [cit. 2011-05-24]. Aitecs. Dostupné z WWW: <<http://www.aitecs.com/index.php?page=about>>.*
- [11] *Gme.cz [online]. 2000?, 2011 [cit. 2011-05-24]. GM electronic. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/pic16f84a-20i-p-p434-192.html>>.*
- [12] HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování PIC*. vyd.1. Praha : BEN-technická literatura, 2004. 96 s. ISBN 80-7300-136-5.
- [13] *Poli.cs.vsb.cz [online]. 2009 [cit. 2011-05-24]. Procesor PIC16F84. Dostupné z WWW: <<http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/pic16f84a.html>>.*
- [14] *Ms-motor.com [online]. 2008 [cit. 2011-05-24]. MS MOTOR CO. Dostupné z WWW: <<http://www.ms-motor.com/>>.*

# Seznam příloh

Příloha 1:

CD/DVD - Bakalářská práce v elektronické podobě:

Řízení krokového motoru injekčního dávkovače