

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

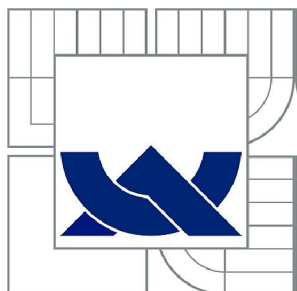
REALIZACE MALÉHO MĚNIČE PRO KROKOVÉ MOTORY ŘÍZENÉHO
MIKROPOČÍTAČEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

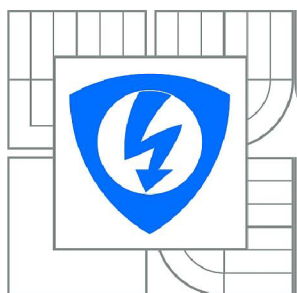
ONDŘEJ KREJČÍ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

REALIZACE MALÉHO MĚNIČE PRO KROKOVÉ MOTORY ŘÍZENÉHO MIKROPOČÍTAČEM

REALIZATION OF SMALL MICROPROCESSOR CONTROLLED CONVERTER FOR STEPPER
MOTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

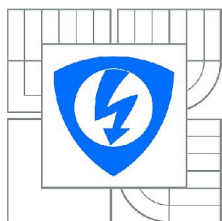
ONDŘEJ KREJČÍ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN KNOBLOCH

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Ondřej Krejčí

ID: 106561

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Realizace malého měniče pro krokové motory řízeného mikropočítačem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou řízení krokových motorů.
2. Naprogramujte řídicí algoritmus pro polohování krokového motoru.
3. Realizujte výkonové obvody měniče.
4. Proveďte měření na hotovém zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 23.9.2010

Termín odevzdání: 30.5.2011

Vedoucí projektu: Ing. Jan Knobloch

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

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 IV. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou krokových motorů. Jsou zde uvedeny principy činnosti jednotlivých typů, základní rozdělení a způsoby jejich řízení. Těchto poznatků je využito pro návrh a realizaci obvodu pro řízení krokových motorů s využitím mikropočítače Freescale MC56F8025.

Abstract

This bachelor's thesis the use of stepper motors. The following text provides an overview of different types of stepper motors and explains how these motors work and how they can be controlled. This theoretical knowledge has been used for an electronic circuit design and realization that is focused on stepper motor controlled by a microcomputer Freescale MC56F8025.

Klíčová slova

Krokový motor; řízení; mikroprocesor MC56F8025

Keywords

Stepper motor; control; microprocessor MC56F8025

Bibliografická citace

KREJČÍ, O. *Realizace malého měniče pro krokové motory řízeného mikročítačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Knobloch.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma REALIZACE MALÉHO MĚNIČE PRO KROKOVÉ MOTORY ŘÍZENÉHO MIKROPOČÍTAČEM 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

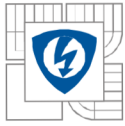
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Knoblochovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

Podpis autora

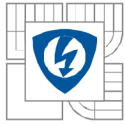


OBSAH

1 ÚVOD	10
2 KROKOVÉ MOTORY	11
2.1 HISTORIE KROKOVÝCH MOTORŮ	11
2.2 ZÁKLADNÍ POJMY	11
2.3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY KROKOVÉHO MOTORU	13
2.3.1 STATICKÁ CHARAKTERISTIKA	13
2.3.2 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA	14
2.3.3 REZONANCE A NESTABILITA	15
2.4 POPIS FUNKCE	16
2.5 ROZDĚLENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ	16
2.5.1 PODLE POČTU FÁZÍ	16
2.5.2 PODLE KONSTRUKCE	17
2.6 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ KM	22
2.6.1 ČTYŘTAKTNÍ ŘÍZENÍ S MAGNETIZACÍ JEDNÉ FÁZE	22
2.6.2 ČTYŘTAKTNÍ ŘÍZENÍ S MAGNETIZACÍ DVOU FÁZÍ	23
2.6.3 OSMITAKTNÍ ŘÍZENÍ	24
2.6.4 MIKROKROKOVÁNÍ	25
3 NÁVRH A REALIZACE MĚNIČE	26
3.1 KROKOVÝ MOTOR	26
3.2 VÝVOJOVÁ DESKA MC56F8025	27
3.3 NAPÁJECÍ ČÁST	28
3.4 BUDICÍ ČÁST	28
3.4.1 POPIS FUNKCE	29
3.4.2 VÝPOČET REZISTORŮ	30
3.5 OVLÁDACÍ ČÁST	31
3.6 NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE	32
3.7 REALIZACE MĚNIČE	33
4 ŘÍDICÍ PROGRAM	34
4.1 SOFTWARE A NÁSTROJE	34
4.1.1 CODEWARRIOR	34
4.1.2 QUICK START	34
4.2 POUŽITÉ PERIFERIE	35
4.2.1 GPIO PORT	36
4.2.2 ADC MODUL	36
4.2.3 PIT ČASOVAČ	36
4.2.4 COP DRIVER	36
4.2.5 TYPY PROMĚNNÝCH	37
4.3 POPIS PROGRAMU	37
4.3.1 NAČTENÍ HLAVIČKOVÝCH SOUBORŮ	37
4.3.2 DEKLARACE FUNKCÍ	38
4.3.3 DEFINICE PROMĚNNÝCH	38
4.3.4 HLAVNÍ PROGRAM	38
4.3.5 FUNKCE PRO A/D PŘEVOD	39
4.3.6 FUNKCE PRO PIT ČASOVAČ	39
4.3.7 ŘÍDICÍ FUNKCE	40



5 MĚŘENÍ	41
5.1 REZONANČNÍ KMITOČTY	42
5.2 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY	42
5.2.1 JEDNOFÁZOVÉ ŘÍZENÍ – ČTYŘTAKTNÍ S MAGN. JEDNÉ FÁZE	42
5.2.2 DVOUFÁZOVÉ ŘÍZENÍ – ČTYŘTAKTNÍ S MAGN. DVOU FÁZÍ	42
5.2.3 ŘÍZENÍ S POLOVIČNÍM KROKEM – OSMITAKTNÍ	43
6 ZÁVĚR	44
7 LITERATURA	45
PŘÍLOHY	46



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Statická charakteristika krokového motoru [1]	14
Obrázek 2: Momentová charakteristika krokového motoru [1]	14
Obrázek 3: Poklesy momentové charakteristiky v důsledku rezonance a nestability [3]	15
Obrázek 4: Magnetický obvod čtyřfázového KM s pasivním rotorem	17
Obrázek 5: Magnetický obvod dvoufázového KM s radiálně polarizovaným magnetem	18
Obrázek 6: Konstrukční uspořádání KM s axiálně polarizovaným magnetem v řezu	19
Obrázek 7: Možná provedení vývodů dvoufázových hybridních KM	20
Obrázek 8: Možné způsoby zapojení dvoufázového hybridního KM	21
Obrázek 9: Čtyřtaktní řízení čtyřfázového KM s magnetizací jedné fáze – 4 kroky	23
Obrázek 10: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze	23
Obrázek 11: Čtyřtaktní řízení čtyřfázového KM s magnetizací dvou fází – dva kroky	24
Obrázek 12: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází	24
Obrázek 13: Časové průběhy osmitaktního řízení	25
Obrázek 14: Časové průběhy při mikrokrokování – čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze	25
Obrázek 15: Krokový motor HY 200	26
Obrázek 16: Rozměry krokového motoru MAE řady HY 200 1713 [5]	27
Obrázek 17: Zapojení stabilizátoru LE33CD pro napětí 3,3V	28
Obrázek 18: Schéma zapojení budicího obvodu	29
Obrázek 19: Rozložení proudů a úbytků napětí v budícím obvodu – výřez schématu	30
Obrázek 20: Zapojení řídicích obvodů	31
Obrázek 20: Horní vrstva DPS měniče po realizaci	33
Obrázek 21: Spodní vrstva DPS měniče po realizaci	33
Obrázek 22: Programová struktura	35
Obrázek 23: Časová závislost výstupních signálů pro jednofázové řízení	42
Obrázek 24: Časová závislost výstupních signálů pro dvoufázové řízení	43
Obrázek 25: Časová závislost výstupních signálů pro řízení s polovičním krokem	43



1 ÚVOD

V dnešní době jsou elektrické pohony velmi žádaným a vyvíjeným odvětvím. Krokové motory se neustále zdokonalují a tím roste množství aplikací, ve kterých je výhodné jich užit namísto jiných typů motorů. Největší předností je pohyb po krocích, čehož se využívá při nastavení přesné polohy rotoru. Pro jejich provoz jsou nezbytné řídicí obvody. Složitost těchto obvodů se odvíjí od konstrukce motoru a způsobu řízení.

V kapitole 2 jsou uvedeny základní pojmy týkající se krokových motorů, jejich historie a rozdělení. U každého typu jsou popsány vlastnosti a princip funkce. Další část této kapitoly popisuje jednotlivé možnosti řízení krokových motorů a jejich výhody a nevýhody.

Třetí kapitola se zabývá návrhem a realizací měniče. Návrh schématu i desky plošného spoje byl vytvářen v programu Eagle. V podkapitolách je rozebráno jaký konkrétní motor se bude řídit, čím bude řízen a podrobně popsán návrh budicí, napájecí a ovládací části měniče. Detailně je vysvětlen způsob návrhu desky plošného spoje.

Ve čtvrté kapitole je popsán nejen software, který byl použit pro tvorbu řídicího programu, ale i periferie vývojové desky použité pro řízení. Dále je uveden detailní popis zdrojového kódu programu.

Poslední pátá kapitola se zabývá měřením. Jsou zde uvedeny časové průběhy výstupních signálů z měniče pro jednotlivé režimy řízení. Nachází se zde také zmínka o zjištěných frekvenčních pásmech, ve kterých se projevuje vlastní rezonance krokového motoru.

2 KROKOVÉ MOTORY

Krokové motory (KM) jsou druhem elektrického pohonu vyznačující se vlastnostmi, které je předurčují pro použití ve specifických aplikacích. Jedná o synchronní vícepólový motor, jehož rotor se pohybuje po tzv. krocích. Jedna otáčka je složena z přesně daného počtu kroků, který je dán konstrukcí a způsobem řízení. Toho se využívá nejen při řízení otáček, ale i při určování přesné polohy rotoru bez použití nákladných snímačů. KM se používají nejčastěji v řídicí, regulační a výpočetní technice. Konkrétně např. v tiskárnách, zapisovačích nebo u strojů pro změny mechanických poloh.

Jsou konstrukčně jednoduché, schopné pracovat po celou dobu životnosti pouze s minimální údržbou. Nejčastěji se objevují v aplikacích, u kterých nepožadujeme velký točivý moment. Běžné hodnoty momentů KM se pohybují od desetin až po jednotky Nm. Uvedení motorů do provozu je rychlé, protože není nutné provádět náročné nastavování parametrů regulátorů. Plně postačuje řídicí jednotka, která převede řídicí digitální signál na natočení rotoru. Další vlastností, které se hojně využívá, je jejich schopnost poskytnout maximální krouticí moment již od nejnižších otáček.

2.1 Historie krokových motorů

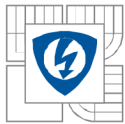
První zmínky o krokových motorech jsou zaznamenány v roce 1919. V tomto roce jsou uděleny první patenty ve Velké Británii, o rok později i ve Spojených státech. Jedno z vůbec prvních využití krokového motoru je datováno rokem 1927, kdy byly použity v armádě jako součást naváděcího zařízení torpéd britského válečného námořnictva.

S nástupem polovodičové techniky v 60. letech 20. století došlo i ke komerčnímu využití těchto pohonů. Uplatnění nacházely především v přesných polohovacích mechanismech, konkrétně u velkokapacitních diskových pamětí, pohonech tiskáren a plotterů.

Kolem roku 1970 došlo k největšímu vývoji a rozmachu krokových motorů. V roce 1967 zahájila firma Sanyo velkosériovou výrobu hybridních krokových motorů. [3]

2.2 Základní pojmy

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 další magnetické klidové polohy.

Ovladač krokového motoru řídí funkční pohyb a režimy chodu KM. Řídí jej tak, že budí fáze vinutí krokového motoru v určité časové posloupnosti. Ovladač musí splňovat dva základní požadavky. Musí zajistit výkonové buzení fází krokového motoru a vytvořit předdefinovanou časovou posloupnost buzení fází KM. Ovladač se skládá z výkonové části a komutátoru. Výkonová část je obvykle tvořena výkonovými spínacími prvky. 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.

Magnetická klidová poloha je poloha, kterou zaujme rotor nabuzeného krokového motoru, jestliže je statický úhel zátěže roven nule

Statický úhel zátěže β je úhel, o který se vychýlí rotor KM z magnetické klidové polohy při dané zátěži na hřídeli krokového motoru.

Statický moment M_s je moment, který jev rovnováze s krouticím momentem působícím na hřídel stojícího nabuzeného KM a vychylujícím rotor z magnetické klidové polohy o statický úhel zátěže. Maximální statický moment zátěže je při vychýlení rotoru právě o velikost kroku α .

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

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

$$n = \frac{60 \cdot f_k \cdot \alpha}{360} [1/\text{min}^{-1}] \quad (2.1.1)$$

kde n ...počet otáček $[1/\text{min}^{-1}]$

f_k ... frekvence krokování [Hz]

α ... úhel kroku $[^\circ]$



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 .

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 naprázdno 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. [1]

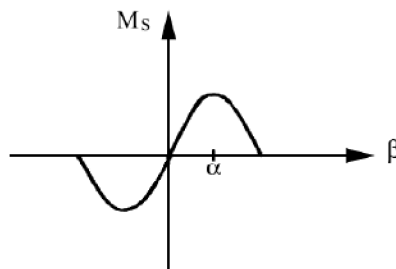
2.3 Základní charakteristiky krokového motoru

Základní charakteristiky KM jsou tři. Jedná se o statickou charakteristiku, momentovou charakteristiku a rezonanci a nestabilitu. Tyto charakteristiky předurčují chování a vlastnosti krokových motorů a jsou důležité při výběru konkrétního motoru pro konkrétní uplatnění.

2.3.1 Statická charakteristika

Jedná se o závislost statického momentu M_s na statickém úhlu zátěže β . Její tvar je pro ideální krokový motor sinusový. Krokové motory s menším krokem mají strmější tvar charakteristiky. Při změně natočení hřídele se poloha rotoru rychleji ustálí v porovnání

s krokovým motorem s větším krokem. To je zapříčiněno lepšími tlumicími účinky mechanických oscilací rotoru.

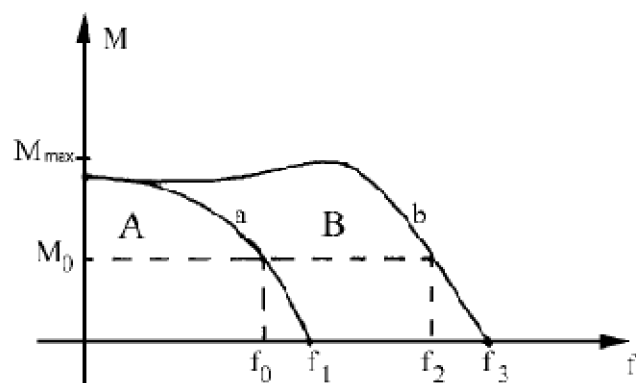


Obrázek 1: Statická charakteristika krokového motoru [1]

2.3.2 Momentová charakteristika

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

Charakteristiky se dělí na dvě oblasti. Oblast 1 označovaná jako rozběhová zahrnuje stavy, do kterých se motor může dostat z klidu bez ztráty kroku. Tedy při zatěžovacím momentu M_0 lze skokem přivést řídicí kmitočet f_0 . Řídicí kmitočet f_1 je možné přivést pouze při provozu motoru naprázdno. Oblast 2 je oblast řízeného zrychlování KM, někdy označovaná jako oblast omezené říditelnosti. V této oblasti je nutno plynule (nikoli skokově) zvyšovat řídicí kmitočet, aby nedocházelo ke ztrátě kroku. Pouze s přihlédnutím k těmto charakteristikám lze krokový motor optimálně využít. Budeme-li uvažovat zatěžovací moment M_0 , lze při plynulém zvyšování řídicího kmitočtu z hodnoty f_0 dosáhnout až hodnoty f_2 . Kmitočet f_3 je nejvyšší provozní kmitočet, při kterém je krokový motor bez zátěže schopen se otáčet jedním směrem. M_{max} je nejvyšší provozní moment, kterým může být krokový motor zatížen.



Obrázek 2: Momentová charakteristika krokového motoru [1]

2.3.3 Rezonance a nestabilita

Skutečné a katalogové momentové charakteristiky se v praxi dosti liší. Dochází poklesům momentové charakteristiky, které se projevují jen při určitých krokovacích frekvencích viz obrázek 3. Velikosti poklesů závisí na vlastnostech krokového motoru, budiče, pracovním módu a zátěži. Rozeznávají se dvě hlavní příčiny tohoto jevu:

- vlastní rezonance
- kladná zpětná vazba mezi motorem a budičem (nestabilita)

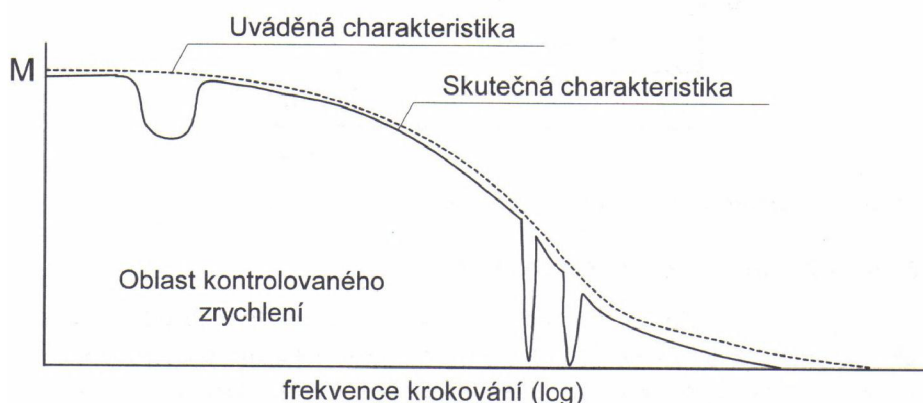
Vlastní rezonance

Projevuje se především v nízkých krokovacích kmitočtech. Pokud se krokovací kmitočet shoduje s vlastní frekvencí oscilace rotoru, oscilace mohou narůstat a dojde ke ztrátě synchronizace motoru. Pokud toto nastane v řídicím systému bez polohové zpětné vazby, dojde k neodstranitelné chybě polohy.

Nestabilita

Prvotní příčinou tohoto jevu je kladná zpětná vazba. Obvykle nastává při vyšších krokovacích kmitočtech, přičemž v určitém rozsahu kmitočetů může dojít k nestabilitě celého systému. Nestabilita je citlivá na stupeň tlumení (hlavně v ložiscích) – vliv teploty.

Pokud není požadovaná činnost krokového motoru v oblastech poklesů momentové charakteristiky, není jejich existence tolik důležitá a je možné krokový motor přes tyto problematické oblasti zrychlovat bez negativních účinků.



Obrázek 3: Poklesy momentové charakteristiky v důsledku rezonance a nestability [3]

2.4 Popis funkce

KM je napájený impulsně, proto jeho pohyb není spojitý, ale pohybuje se po krocích. Krok je mechanickou odezvou rotoru na jeden řídicí impuls od řídicí jednotky, během něhož rotor vykoná pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší další klidové polohy. V této poloze setrvává do příchodu dalšího řídicího impulsu, pokud není zatěžovací moment na hřídeli rotoru větší, než jaký je motor schopen udržet. Zřejmou nevýhodou je odběr elektrické energie i v době, kdy rotor nevykonává žádný pohyb. Během trvání řídicího impulsu protéká cívkou statoru proud, který zapříčiní vznik magnetického pole. Toto pole následně přitáhne nejbližší opačný pól rotoru. Orientaci a sílu magnetického pole určuje směr a velikost procházejícího proudu. Otáčky motoru jsou omezeny maximální možnou frekvencí krokování. Po překročení této frekvence začne motor tzv. ztrácet kroky, což je způsobeno přechodovými jevy ve vinutích. Ztrátu kroku může způsobit také nadměrný zatěžovací moment.

2.5 Rozdělení krokových motorů

Krokové motory se dají rozdělit mnoha způsoby. Dále bude rozebráno rozdělení podle počtu fází a podle konstrukce motoru.

2.5.1 Podle počtu fází

2.5.1.1 2-fázové KM

Vyznačují se nejjednodušší konstrukcí z běžně užívaných typů. Jsou naprosto bezúdržbové, kompaktní a spolehlivé. V tomto provedení se vyrábí pouze motory malých výkonů, poskytující krouticí moment v řádu desítek, méně často stovek Ncm. Vinutí mohou mít plné nebo dělené. Možné způsoby řízení jsou unipolární, bipolární-sériové nebo bipolární-paralelní. Přirozené rozlišení při celokrokovém režimu mají 200 kroků na jednu otáčku, v případě půlkrokového režimu pak 400 kroků na otáčku.

2.5.1.2 3-fázové KM

Ve srovnání s koncepčně překonanými 2-fázovými a 5-fázovými krokovými motory dosahují při vyšších otáčkách vyšší účinnosti o 30 až 50 procent. Z toho důvodu nahrazují ve většině aplikací své předchůdce. Může být u nich použita sinusová komutace proudu, což společně s výkonovými jednotkami obsahujícími přesné regulátory proudu pro každou fázi zajišťuje rovnoměrný a stabilní chod již od nulových otáček. Jejich rozlišení lze pomocí výkonových

jednotek nastavit v rozsahu od 200 do 10000 kroků na otáčku. U digitálních řídicích jednotek lze dosáhnout rozlišení až 20000 kroků na otáčku. Moderní konstrukce umožňuje těmto motorům tichý chod bez rezonancí. Krouticí moment může dosahovat hodnot výrazně přes 10 Nm.

2.5.1.3 5-fázové KM

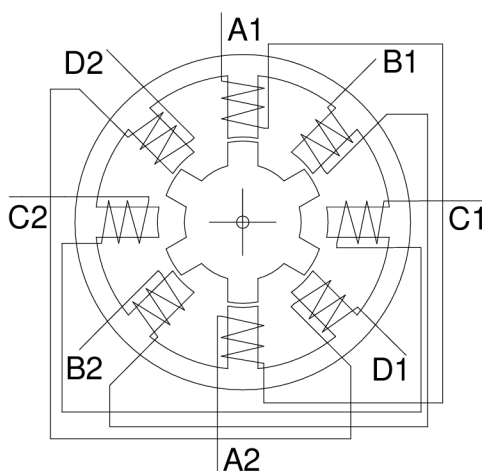
Pětifázové krokové motory jsou předchůdcem motorů třífázových. Jejich sériová výroba byla ukončena kolem roku 1994. Větší počet fází zajišťuje vyrovnaný chod bez rezonancí. Jedné otáčce odpovídá 500 kroků, v půlkrokovém řízení pak kroků 1000. V současné době jsou nahrazovány moderními třífázovými KM, které poskytují vyšší výkon při menší velikosti.

2.5.2 Podle konstrukce

2.5.2.1 Krokové motory s pasivním rotorem

Tyto motory jsou někdy nazývány jako reluktanční motory. Jejich rotor je vyroben z feromagnetického materiálu. Může být tvořen například svazkem plechů nalisovaných na hřídeli, přičemž rotor neobsahuje žádné vinutí. Vinutí jsou pouze na statoru, který je vytvořen určitým počtem pólů.

Obrázek 4 představuje řez magnetickým obvodem čtyřfázového krokového motoru s pasivním rotorem. Na každém z osmi pólů statoru je navinuta cívka. Vinutí na protilehlých pólech jsou spojena, a tvoří tak jednu fázi KM. Celkem má tento motor 4 fáze, označeny na obrázku jako A,B,C,D. Rotor je tvořen svazkem plechů, neobsahuje vinutí a na jeho povrchu je 6 pólů.



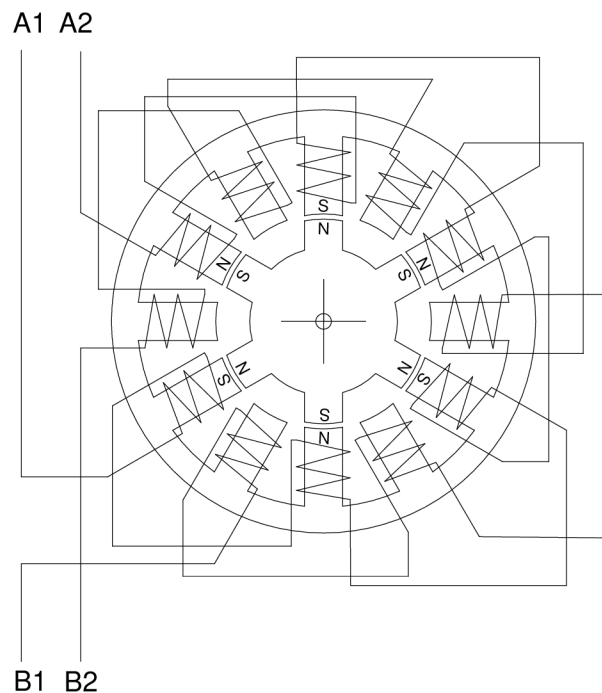
Obrázek 4: Magnetický obvod čtyřfázového KM s pasivním rotorem

2.5.2.2 Krokové motory s aktivním rotorem

Rotor tohoto typu motorů tvoří permanentní magnet. Podle uspořádání pólů magnetu se dále dělí na dvě skupiny:

a) s radiálně polarizovaným permanentním magnetem

Počet pólů rotoru je poloviční oproti počtu pólů statoru. Po obvodu rotoru jsou umístěny permanentní magnety tak, že se střídá severní a jižní pól. Na statoru, jehož počet pólů je vždy násobkem čtyř, je navinuto dvoufázové vinutí. Je třeba používat bipolární řízení, neboť je nutné měnit směr proudu ve vinutích při spínání jednotlivých fází. Tento typ krokových motorů je vyráběn pouze pro provozní momenty v jednotkách Nm. Jelikož je v magnetickém obvodu (obrázek 5) zařazen permanentní magnet, časová konstanta vinutí je malá a je možné dosáhnout vyšších provozních kmitočtů než u motorů s pasivním rotorem. Provozní kmitočty se pohybují v jednotkách až desítkách kHz.



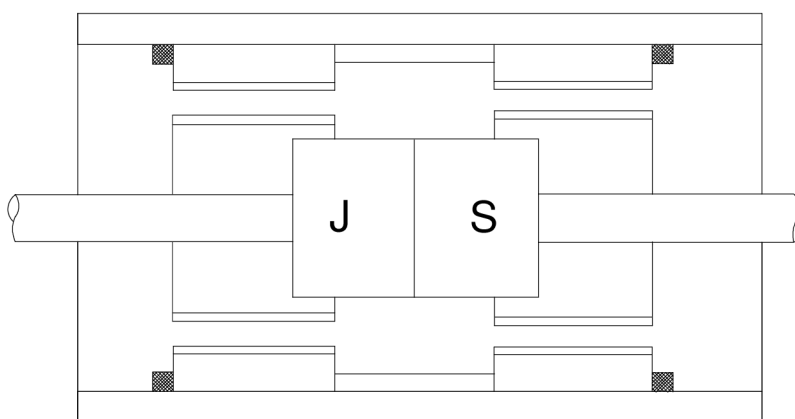
Obrázek 5: Magnetický obvod dvoufázového KM s radiálně polarizovaným magnetem

b) s axiálně polarizovaným permanentním magnetem

Axiálně polarizovaný permanentní magnet je uložen mezi pólovými nástavci, které jsou složeny z plechů a nalisovány na hřídeli rotoru z nemagnetického materiálu. Velikost kroku je dána počtem zubů nacházejících se na rotorových pólových nástavcích, které jsou vůči sobě

v osovém směru posunutý o polovinu rozteče zubů. Jak je vidět z obrázku 6, stator je tvořen osmi drážkovanými póly, na kterých je navinuto dvoufázové vinutí. Ve většině případů je počet zubů rotoru větší, než počet statorových zubů. Buzením vinutí jednotlivých fází vznikne točivé magnetické pole statoru. Rotor se potočí tak, aby se do magnetické klidové polohy dostaly nejbližší zuby.

Způsob buzení krokového motoru s axiálně polarizovaným magnetem musí umožňovat změnu směru magnetického toku v pólech statoru, čehož dosáhneme změnou směru budícího proudu v jednotlivých vinutích. Pokud má motor vyvedeno pět a více vodičů (jsou vyvedeny středy fázových vinutí) lze pro buzení použít klasické spínací prvky. V případě pouze dvoufázového vinutí se čtyřmi vyvedenými vodiči je nutné složitější zapojení, například můstkové.



Obrázek 6: Konstrukční uspořádání KM s axiálně polarizovaným magnetem v řezu

2.5.2.3 Hybridní krokové motory

Slučují principy krokových motorů s pasivním i aktivním rotorem. Konstrukce vycházející z motoru s pasivním rotorem zajišťuje malý krokový úhel a jemné rozlišení, použití permanentních magnetů zase přináší vyšší točivý moment. Při zachování malých rozměrů lze tak získat mnohem silnější motor.

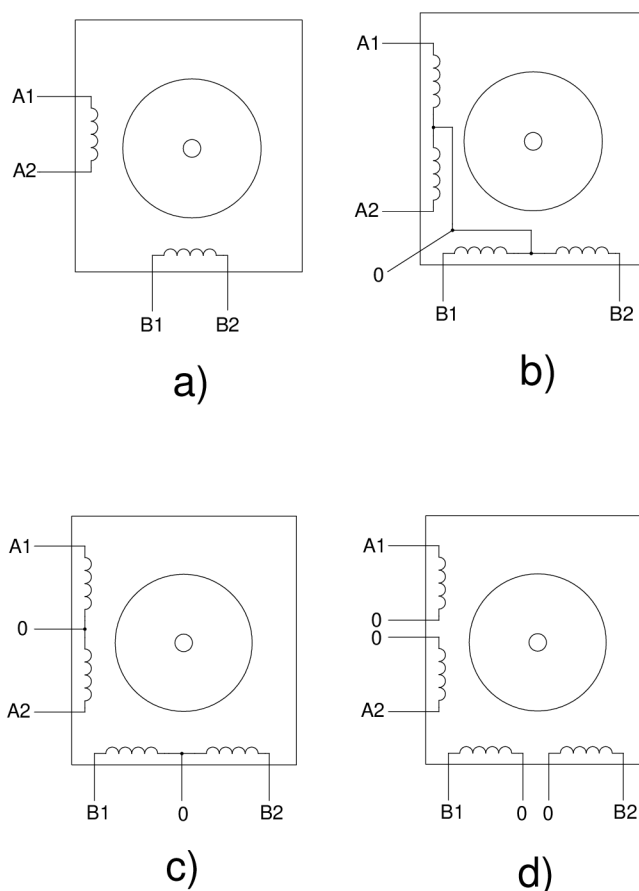
Popis činnosti dvoufázového hybridního krokového motoru:

Pokud není buzena ani jedna fáze, je motor držen v klidové poloze magnetickým tokem vytvořeným pouze působením permanentního magnetu. Stator tvoří osm pólových nástavců, na kterých jsou navinuta vinutí tak, že se vždy střídá pólový nástavec s vinutím fáze A s pólovým

návěstcem s vinutím fáze B. Protéká-li proud fází A, vznikne orientované magnetické pole. Orientace tohoto pole je dána směrem procházejícího proudu. Zuby rotoru magnetizované kladně jsou přitahovány k pólům statoru magnetizovaným záporně. Naopak zuby na opačné straně rotoru, magnetizované záporně, jsou přitahovány kladně orientovaným polem statoru. Spínáním fází A a B ve správném pořadí se správnou orientací proudu dojde k otáčení hřídele krokového motoru. Z toho je patrné, že je nutné pro řízení používat bipolární buzení, což lze realizovat například využitím souměrného napájecího zdroje nebo můstkového zapojení buzení.

U některých motorů jsou vinutí rozdělena na poloviny, čímž vznikají další možnosti řízení. Lze je rozdělit podle počtu vyvedených vodičů:

- 4 vodiče – nejjednodušší provedení, vyvedeny jsou jen začátky a konce obou vinutí
- 5 vodičů – navíc vyveden společný střed obou vinutí
- 6 vodičů – navíc vyvedeny samostatné středy vinutí
- 8 vodičů – každá polovina fáze vyvedena samostatně

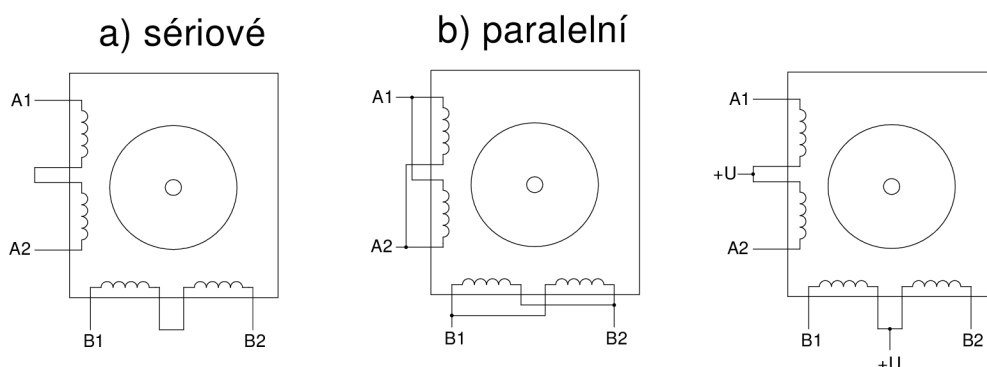


Obrázek 7: Možná provedení vývodů dvoufázových hybridních KM

Krokové motory s osmi vyvedenými vodiči viz obrázek 7d, kde je každá polovina fáze vyvedena samostatně, nám poskytují nejvíce možností. Můžeme u nich použít jak bipolární, tak i unipolární řízení. V případě bipolárního řízení lze ještě volit mezi sériovým a paralelním zapojením. Rozběhový moment KM je vyšší v případě sériového zapojení při nižších krokovacích frekvencích, naopak při vysokých frekvencích pro zapojení paralelní.

Bipolární zapojení

Unipolární zapojení



Obrázek 8: Možné způsoby zapojení dvoufázového hybridního KM

2.5.2.4 Kompaktní krokové motory

Tento typ motorů má zabudovanou řídicí jednotku přímo do pláště motoru. Výhodou je nejen snížení nároků na rozvaděčový prostor a úspora kabeláže, ale především rychlá a levná montáž. Používají se pro decentralizované pohonné systémy v mnoha průmyslových oborech.

2.5.2.5 Lineární krokové motory

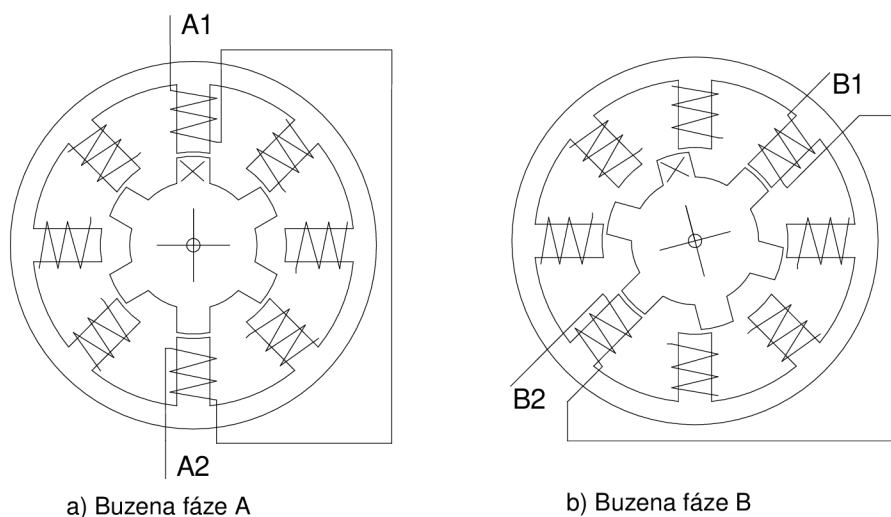
Všechny výše uvedené druhy krokových motorů vykonávají rotační pohyb. Tento typ motoru však vykonává pohyb lineární. Vinutí se nachází v drážkách lineárního statoru, čímž místo otáčivého magnetického pole vzniká pole posuvné. Rotor je reprezentován tzv. běžcem, který se pohybuje nad statorem. Tento typ motorů se vyznačuje poměrně vysokou účinností. Vzhledem ke konstrukci nedochází k téměř žádným mechanickým opotřebením, což se pozitivně projevuje na životnosti. Velkou výhodou oproti klasickým rotačním KM s polohovacími osami nebo řemenem jsou menší nároky na prostor. Uplatňují se např. v tiskárnách, plotterech nebo polohovacích zařízeních obráběcích strojů.

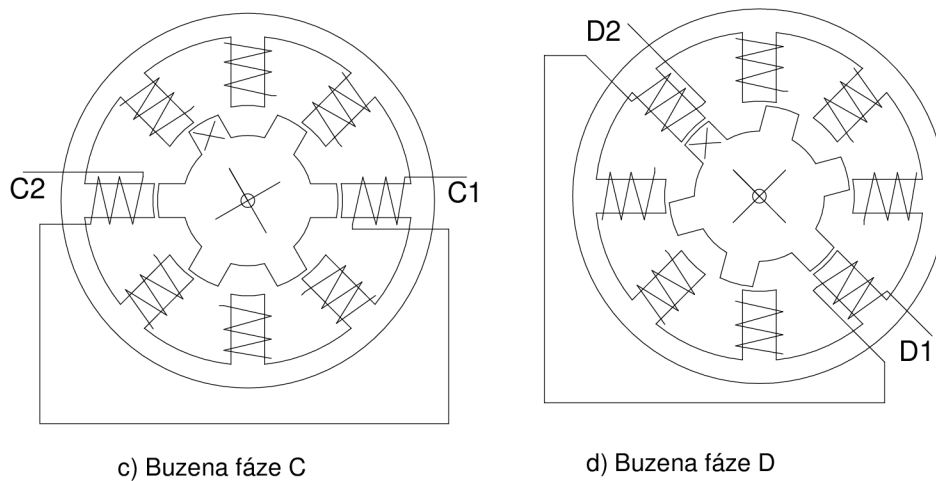
2.6 Způsoby řízení KM

Možností jak řídit krokový motor je více. Nelze však pro libovolný krokový motor zvolit jakýkoliv způsob řízení. Je potřeba vzít v potaz v první řadě typ krokového motoru, dále požadovanou přesnost krokování a velikost požadovaného krouticího momentu v závislosti na frekvenci krokování. V praxi se lze setkat s dvěma základními druhy řízení. S unipolárním řízením, kdy je buzena pouze jedna fáze a s bipolárním řízením, při kterém jsou buzeny dvě fáze zároveň.

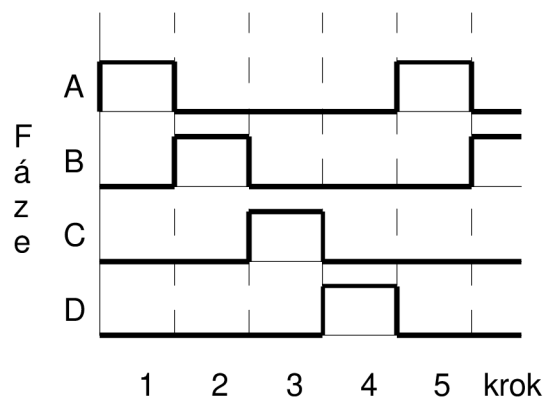
2.6.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Používá se pro čtyřfázový krokový motor s pasivním rotorem nebo dvoufázový hybridní krokový motor v unipolárním zapojení viz Obrázek 5. Pokud fází A teče proud (obrázek 9a), vznikne magnetické pole. Rotor se pootočí tak, aby magnetický odpor byl co nejmenší. Proti vybuzeným pólům statoru s vinutím fáze A se natočí nejbližší póly rotoru. Po příchodu dalšího řídicího impulsu se odpojí fáze A a připojí fáze B (obrázek 9b). Rotor se otočí o $\frac{1}{4}$ zubové rozteče statoru do nové magneticky klidové polohy. S dalším řídicím impulsem, odpojením fáze B a připojením fáze C (obrázek 9c), se motor opět pootočí do následující klidové polohy. Analogicky i při buzení fáze D (obrázek 9d). Buzením motoru sekvencí spínání fází A-B-C-D-A docílíme otáčení rotoru proti směru hodinových ručiček. Pro změnu směru točení změníme pořadí buzení jednotlivých fází na sekvenci A-D-C-B-A.





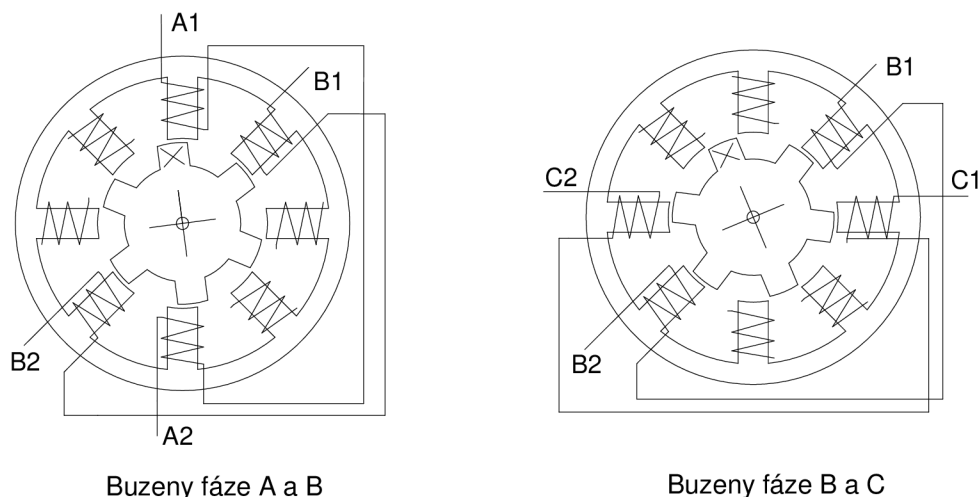
Obrázek 9: Čtyřtaktní řízení čtyřfázového KM s magnetizací jedné fáze – 4 kroky



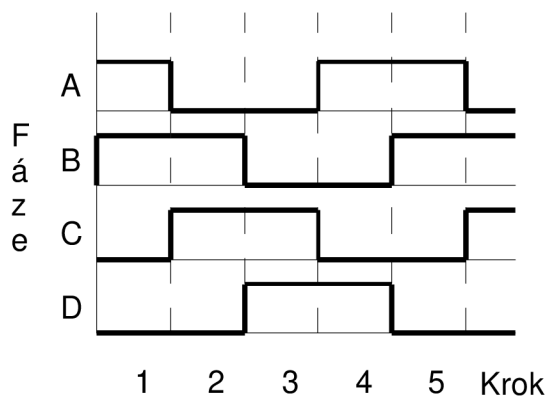
Obrázek 10: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze

2.6.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Při tomto řízení jsou vždy současně vybudeny dvě sousední fáze. Magnetická klidová poloha je oproti čtyřtaktnímu řízení s magnetizací jedné fáze posunuta o polovinu kroku a leží přesně mezi buzenými pólovými nastavci. Vazební moment motoru je větší než u předchozího způsobu. I v tomto případě se opakují čtyři různé kombinace sepnutí jednotlivých fází a to AB-BC-CD-DA nebo naopak při opačném směru otáčení. Z toho důvodu se oba dva výše popsání způsoby označují jako čtyřtaktní.



Obrázek 11: Čtyřtaktní řízení čtyřfázového KM s magnetizací dvou fází – dva kroky

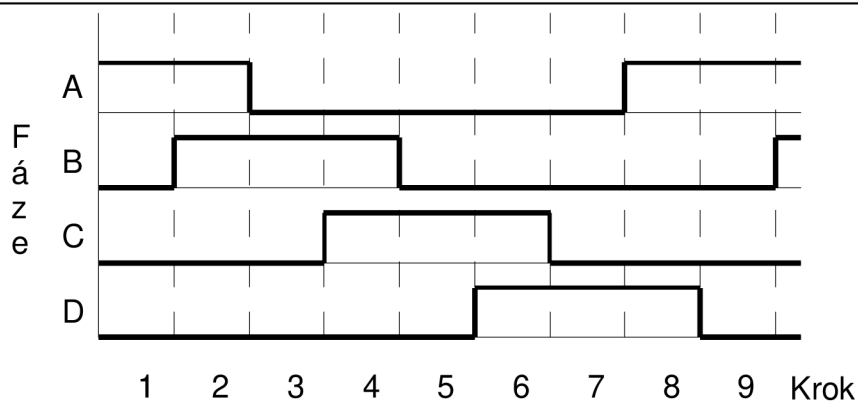


Obrázek 12: Časové průběhy čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází

Na obrázku 11 jsou naznačeny první dva kroky čtyřfázového krokového motoru s pasivním rotorem. Vlevo jsou buzeny v jednom časovém okamžiku fáze A a fáze B. Rotor se nachází v klidové poloze. Po odpojení fáze A a připojení fáze C (naznačeno vpravo) se rotor pootočí do nové klidové polohy. Analogicky se otáčí při spínání dalších dvojic fází.

2.6.3 Osmitaktní řízení

Vznikne sloučením čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze se čtyřtaktním řízením s magnetizací dvou fází. Střídá se vždy buzení jedné a dvou fází. Pro otáčení rotoru proti směru hodinových ručiček je možná sekvence A-AB-B-BC-C-CD-D-DA. Pro opačný směr otáčení pak spínáme fáze v obráceném pořadí. Velikost kroku je poloviční oproti čtyřtaktnímu řízení, proto se někdy tento způsob označuje jako řízení s polovičním krokem. Vzhledem k časovým okamžikům, kdy je vybuzena pouze jedna fáze, je provozní moment motoru menší, než při čtyřtaktním řízením s magnetizací dvou fází.

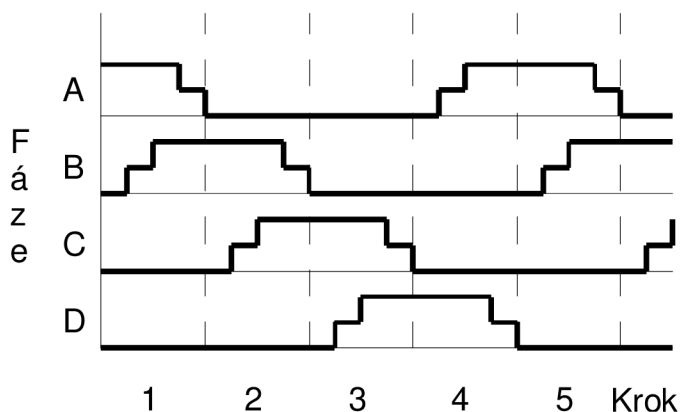


Obrázek 13: Časové průběhy osmitaktního řízení

2.6.4 Mikrokrokování

Využívá se u aplikací, ve kterých požadujeme velmi přesné nastavení polohy rotoru. Běžně vyráběné krokové motory pouze zřídka dosahují velikostí kroku pod 1° . Zmenšit krok je možné buď konstrukčně, nebo elektronicky. Lze toho dosáhnout zvýšením počtu fází nebo použitím rotoru s větším počtem zubů. Takovéto motory jsou složitější na výrobu a tudíž i jejich cena je vyšší. Proto se využívá elektronická možnost tzv. mikrokrokování, pomocí něhož lze každý krok rozdělit na více mikrokroků. V praxi je možné dosáhnout až 128 mikrokroků na jeden krok.

U standardních způsobů řízení velikost kroku nezávisí na velikosti proudu procházejícího vinutími. Nastavením různých velikostí proudů v jednotlivých fázích je možno docílit libovolné magneticky klidové polohy. To však vyžaduje použití vícehladinového napájecího zdroje a kvalitních spínacích obvodů, neboť s rostoucím počtem mikrokroků roste výrazně spínací frekvence.



Obrázek 14: Časové průběhy při mikrokrokování – čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Na obrázku 14 jsou znázorněny časové průběhy proudu fázemi při mikrokrokování pro čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze. Lze dobře vidět, že každý krok obsahuje čtyři mikrokoky, čímž docílíme čtvrtinovou velikost kroku.

3 NÁVRH A REALIZACE MĚNIČE

Tato část bakalářské práce se bude zabývat konkrétním návrhem jak silové části obvodu, tak i jeho ostatních částí. Bude zde vysvětlen princip činnosti jednotlivých zapojení, způsob výběru součástek a výpočet velikostí rezistorů. Dále bude popsán způsob, jakým byl měnič realizován. Je důležité se zmínit i o vývojové desce s mikroprocesorem použité pro řízení a o krokovém motoru, jež poslouží pro ověření správné funkce měniče a k provedení měření.

Pro tvorbu schémat a návrh plošného spoje byl použit program Eagle. Tento program je produktem společnosti CadSoft sídlící v Německu. Jeho výhodou je především poměr cena/výkon. Už základní bezplatná verze je plně funkční a pro tento konkrétní návrh plně postačující. Program obsahuje nepřehledné množství knihoven s předkreslenými součástkami, tedy jejich schematickými značkami a pouzdry.

3.1 Krokový motor

Pro ukázkou správné funkce měniče bude připojen dvoufázový krokový motor. Jedná se o hybridní dvoufázový krokový motor od firmy MAE.

Typ: HY 200-1713-095 B4

Impedance: 3Ω / fáze

Maximální proud: 950mA / fáze

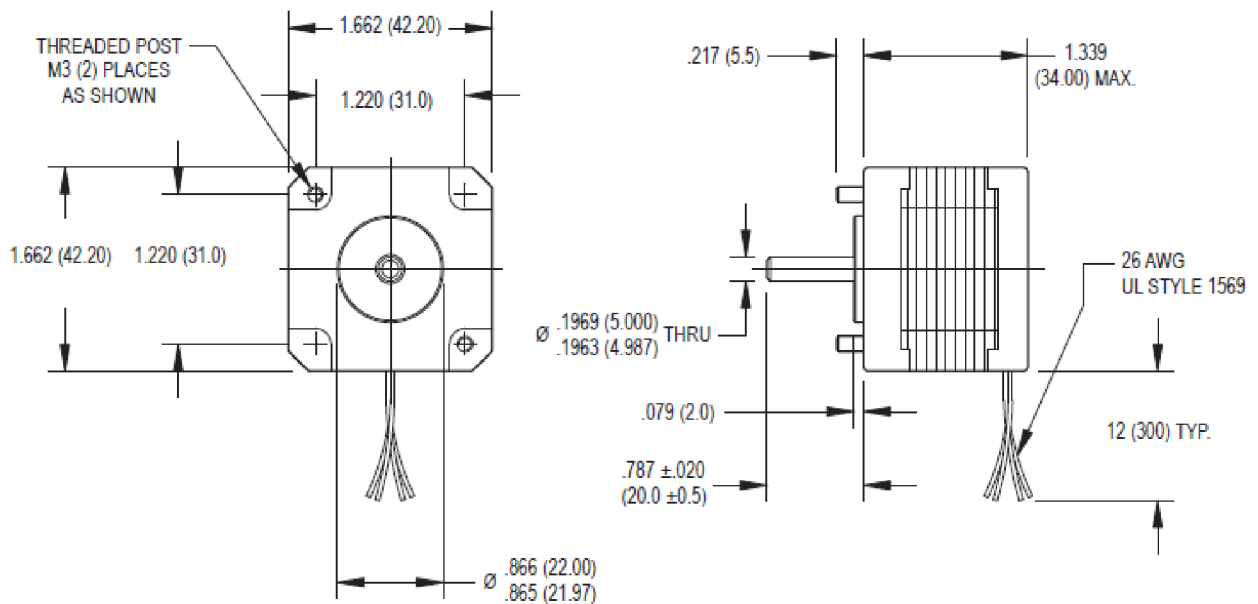
Maximální napětí: 40V

Úhel kroku: $1,8^\circ$

Počet vodičů: 4



Obrázek 15: Krokový motor HY 200



Obrázek 16: Rozměry krokového motoru MAE řady HY 200 1713 [5]

(Údaje v závorkách jsou v milimetrech)

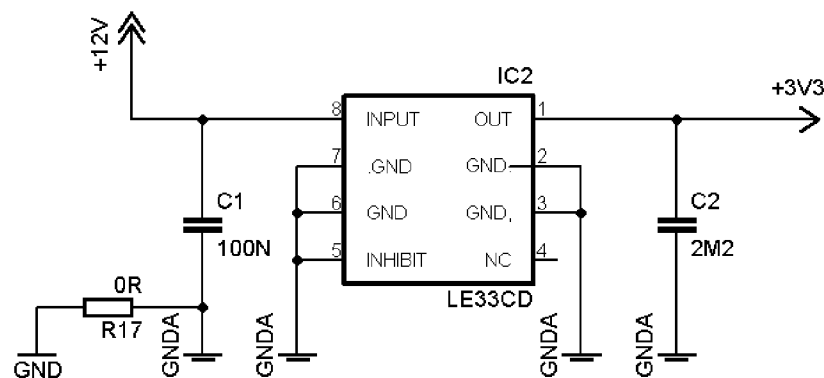
3.2 Vývojová deska MC56F8025

Pro generování řídicích impulsů a zpracování vstupních signálů je použita vývojová deska od firmy Freescale Semiconductor osazená mikroprocesorem MC56F8025. Tato deska obsahuje všechny potřebné periferie pro samostatnou funkci jako mikropočítač. Mikroprocesor je 16-bitový, postavený na harvardské architektuře. Pracuje na frekvenci 32MHz a obsahuje 32KB programové paměti.

Propojení s deskou měniče je realizováno pomocí portů vývojové desky. Přenos řídicích signálů pro spínání tranzistorů i signálů od ovládací části desky je řešen přes konektor J10: UNI - 3 Interface. Tento konektor v sobě zahrnuje všechny potřebné porty. Pro řídicí signály se využívají piny GPIO B (General Purpose Input/Output) portu, konkrétně piny 1, 3, 5, 7. Pro přenos ovládacích signálů jsou použity piny 21 a 22, které jsou přivedeny na A/D převodník procesoru. Pomocí něho je realizován převod analogových signálů od přepínače a otočného potenciometru na digitální data. Tato data se dále zpracovávají v mikroprocesoru a podle naprogramování mohou ovlivňovat různé parametry řízení krokového motoru. Například pořadí a rychlost spínání fází a tím směr a rychlost otáčení hřídele rotoru.[7]

3.3 Napájecí část

Napájení silové části obvodu je realizováno pomocí externího napájecího 12V zdroje, který musí být dostatečně výkonově dimenzován. Pro napájení ostatních částí, které vyžadují pro svou správnou funkci nižší napětí, je použito dvou integrovaných stabilizátorů. S ohledem na maximální možnou minimalizaci desky je použito u většiny součástek SMD (Surface Mount Device) provedení pouzdra. Pro napájení vstupních částí připojených na A/D převodník procesoru je nutné napětí 3,3V. To nám zajišťuje stabilizátor LE33CD v pouzdře SO – 8.



Obrázek 17: Zapojení stabilizátoru LE33CD pro napětí 3,3V

Na obrázku 17 je znázorněno zapojení stabilizátoru. Zapojení a velikosti kondenzátorů C1 (100nF) a C2 (2,2µF) jsou zvoleny podle doporučení v datasheetu [6] k obvodu LE33CD. Kondenzátory jsou keramické pro povrchovou montáž (SMD) typu 1206. Vycházelo se z doporučeného způsobu zapojení uvedeného v datasheetu. Vývod čipu č.5 – INHIBIT je spojen se zemí (logická 0). V případě připojení na logickou 1 lze obvod vyřadit z činnosti, čímž lze například snížit spotřebu energie celého obvodu. Oba obvody jsou od firmy STMicroelectronics.

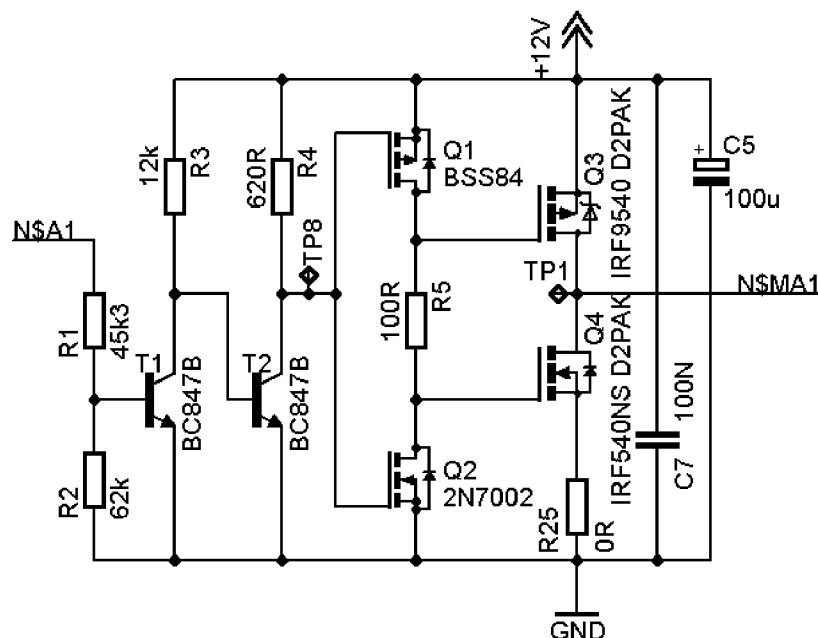
3.4 Budicí část

S ohledem na konstrukci motoru je použito bipolární zapojení, neboť je nutné měnit směr proudu tekoucího jednotlivými fázemi. To by nám v tomto případě unipolární zapojení neumožňovalo. Z výstupního portu vývojové desky používaného pro generování budících impulsů je možné získat maximální napětí 3,3V a velikost dodávaného proudu se pohybuje pouze v jednotkách mA. Proto je nutné budicí signál značně zesílit a potřebný proud odebírat z externího napájecího zdroje. Zapojení je značně předimenzované, aby bylo případně možné řídit i motory větších výkonů.

3.4.1 Popis funkce

Na obrázku 18 je znázorněno zapojení budících obvodů. Vstup označený N\$A1 je pomocí konektoru a plochého kabelu připojen na UNI – 3 port procesoru, přes který jsou posílány budící impulsy. Výstup označený N\$MA1 je vyveden na svorkovnici, ke které se připojuje krokový motor. Na výstupu se podle logické úrovně na vstupu objeví buď 12V nebo 0V (zem). Z toho je patrné, že pro ovládání dvoufázového KM se čtyřmi vyvedenými vodiči se musí použít toto zapojení pro každý vodič zvlášť.

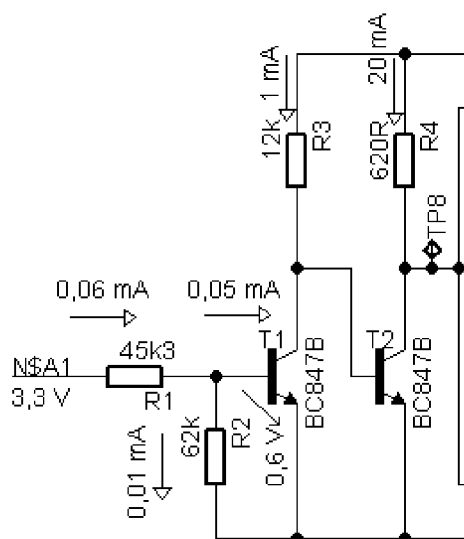
Pokud na vstup přivedeme logickou 1, tranzistor T1 se otevře a tím se báze tranzistoru T2 spojí přes otevřený T1 se zemí a znemožní se jeho otevření. Na gate tranzistorů Q1 a Q2 bude 12V. Úbytek na rezistoru R4 je zanedbatelný, neboť do gate FET (Field Effect Transistor) tranzistoru teče velmi malý proud a navíc pouze po dobu jeho otevírání. Jelikož Q1 je tranzistor s P – kanálem, zůstane uzavřený, ale Q2 s N – kanálem se otevře. Přes otevřený Q2 a odpor R5 se gate Q3 a Q4 připojí na zem. Q4 (N - kanál) zůstane uzavřený, Q3 (P - kanál) se otevře a tím se na výstup přivede 12V. Po realizaci měniče a jeho oživení byla provedena první měření, která ukázala problémy s napájením. Vlivem spínání docházelo k výrazným poklesům napájecího napětí, proto byly dodatečně na desce osazeny elektrolytické kondenzátory (obrázek 18 – C5) 100uF. Touto úpravou se problém s napájením dostatečně vyřešil.



Obrázek 18: Schéma zapojení budícího obvodu

3.4.2 Výpočet rezistorů

Pomocí rezistorů R1, R3 a R4 se nastavují pracovní body tranzistorů T1 a T2. Rezistor R2 slouží pouze k tomu, aby urychlil uzavírání tranzistoru T1. Přechod báze – emitor obsahuje i parazitní kapacitu. Náboj z této kapacity se při uzavírání tranzistoru vybíjí přes R2 a tím se urychlí uzavření daného tranzistoru.



Obrázek 19: Rozložení proudů a úbytků napětí v budícím obvodu – výřez schématu

Velikosti proudů jsme zvolili s ohledem na maximální proudové zatížení portů procesoru. Vstupní proud do báze T1 jsme zvolili 0,05mA a proud rezistorem R2 0,01mA. Z toho podle Kirchhoffova zákona vyplývá, že z portu procesoru se bude odebírat proud daný součtem proudu bází a proudu rezistorem R2 a to 0,06mA. Dále víme, že napětí na portu se pohybuje okolo 3,3V a napětí na přechodu báze – emitor tranzistoru T1 je 0,6V. Oba tranzistory zesilují bázový proud přibližně dvacetkrát (toto zesílení bylo zvoleno – provoz ve spínacím režimu), proto proud rezistorem R3 je dvacetinásobkem proudu do báze T1 a proud rezistorem R4 zase dvacetinásobkem proudu do báze T2. Rezistor R5 (na obrázku 18) zamezuje otevření tranzistorů Q3 a Q4 současně při přechodných stavech a zároveň vynucuje proud do gate těchto tranzistorů, který však protéká pouze po dobu jejich otevírání. Jeho velikost byla zvolena 100Ω. Z těchto hodnot jsme schopni spočítat hodnoty všech rezistorů budící části obvodu:

$$R1 = \frac{U_{PORT} - U_{BE}}{I_{R1}} = \frac{3,3 - 0,6}{0,06 \cdot 10^{-3}} = 45k\Omega \quad (3.4.2.1)$$

$$R2 = \frac{U_{BE}}{I_{R2}} = \frac{0,6}{0,01 \cdot 10^{-3}} = 60k\Omega \quad (3.4.2.2)$$

$$R3 = \frac{U_{cc}}{I_{R3}} = \frac{12}{1 \cdot 10^{-3}} = 12k\Omega \quad (3.4.2.3)$$

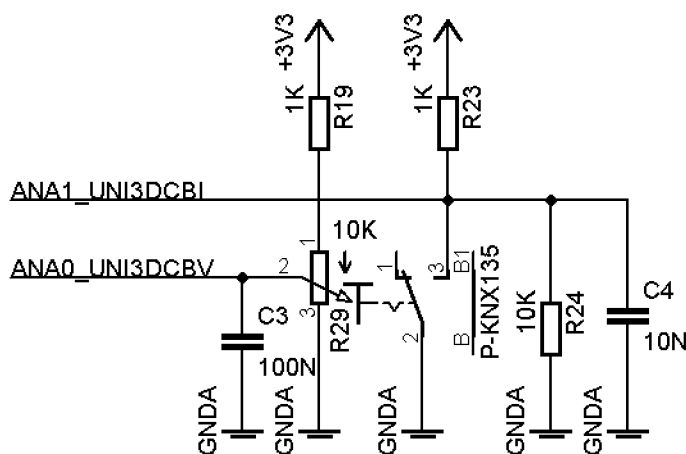
$$R4 = \frac{U_{cc}}{I_{R4}} = \frac{12}{20 \cdot 10^{-3}} = 600\Omega \quad (3.4.2.4)$$

Jelikož se rezistory vyrábějí v řadách, musíme zvolit nejbližší možnou velikost. Opět je použito SMD provedení typu 1206. Na obrázku 19 jsou již použity nejbližší běžně dostupné hodnoty. Velikosti jednotlivých proudů se změní pouze nepatrně, což na funkci nemá žádný vliv.

3.5 Ovládací část

Na desce jsou umístěny obvody pro ovládání řízení krokového motoru. Jedná se o přepínač P-KNX135, kterým je možné měnit směr otáčení motoru, a o potenciometr R29 sloužící pro regulaci otáček. Na obrázku 20 je patrné jejich zapojení. Jelikož se jedná o analogové signály, je použita oddělená analogová zem. Stejná zem musí být použita i pro napájecí část tohoto obvodu. Signály jsou vyvedeny na piny 21 (ANA0_UNI3DCBV) a 22 (ANA1_UNI3DCBI) UNI-3 portu procesoru, kde se dále zpracovávají v A/D převodníku.

Rezistory a hodnota potenciometru jsou zvoleny tak, aby se na port přivedlo napětí o velikosti maximálně 3V, neboť s napětím blížícím se napájecímu přestává A/D převodník pracovat správně. Proto jsou hodnoty rezistorů zvoleny tak, aby na R19 a R23 byl vždy úbytek napětí 0,3V. Kondenzátory C3 a C4 slouží jako filtry pro vyhlazení napětí při přepnutí přepínače nebo při otáčení potenciometrem. Vznikajícího šumu se nelze zbavit úplně, ale použitím kondenzátorů se částečně odstraní.



Obrázek 20: Zapojení řídicích obvodů

3.6 Návrh desky plošného spoje

Program Eagle obsahuje funkci autorouteru, pomocí které je možné automaticky vytvořit plošný spoj. Tato funkce se však hodí víceméně pouze pro velmi jednoduchá zapojení, neboť u složitějších nedosahuje použitelných výsledků. Pro tento návrh byl tedy plošný spoj vytvořen ručně postupným kreslením spojů mezi vývody součástek. S ohledem na složitost návrhu bylo upuštěno od tvorby desky jednostranné a byla navržena oboustranná deska.

Všechny součástky, jak SMD tak s klasickými vývody, jsou osazeny jen na jedné straně desky. Na této straně jsou též vytvořeny všechny spoje týkající se signálových částí měniče, tedy řídicí a ovládací části. Na druhé straně (vrstvě) se nachází silová část – napájení měniče. Toto napájení je na první vrstvu přiváděno pomocí drátových propojek pouze v nejnútnejších místech. Záporný pól napájení je proveden jako tzv. „rozlitá zem“, což usnadňuje výrobu, neboť není nutné odleptávat takové množství mědi, a zároveň zamezuje rušení mezi jednotlivými kanály. Na desce se nachází ještě několik dalších drátových propojek, které jsou použity pro usnadnění pájení některých konektorů. Tyto konektory není prakticky možné připájet k horní vrstvě, proto je k nim signál přiveden vrstvou spodní a pájení provedeno taktéž na spodní vrstvě.

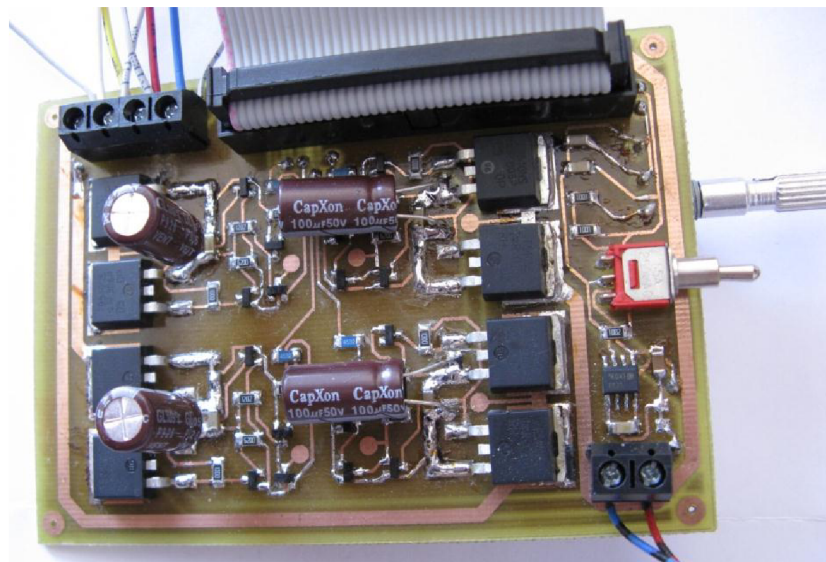
Pro správnou funkci A/D převodníku je potřeba oddělit analogové signály od digitálních. Z tohoto důvodu je pro celou ovládací i napájecí část se stabilizátorem LE33CD na 3,3V použita tzv. analogová zem (GNDA). Tato zem je se zemí GND spojena pouze v jednom místě a to co nejbližše obvodu LE33CD, aby nedocházelo k rušivým jevům. Zároveň se dbalo na to, aby součástky připojené k analogové zemi byly k sobě co nejbližše a tato zem rozváděna nejkratší cestou. Propojení GNDA a GND je realizováno pomocí odporu R17. Prakticky se jedná o drátovou propojku.

Signálové části měniče jsou propojeny spoji o tloušťce 0,4mm. Tato tloušťka je výhodná, neboť je možné využívat prostor mezi jednotlivými vývody součástek, což při silnějších spojích již není možné. Pro silové části, tedy napájení a výstupy jednotlivých částí měniče, je použita tloušťka spoje 1,9mm s ohledem na možné větší protékající proudy.

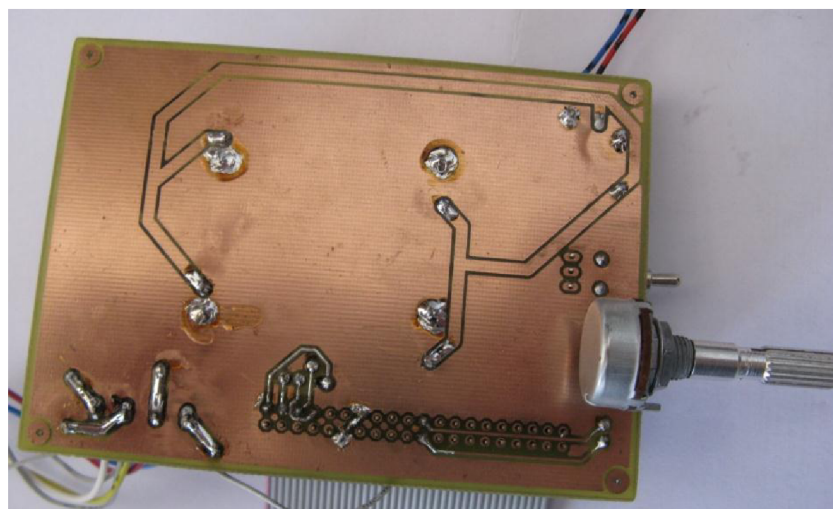
Předlohy obou vrstev, osazovací plán a seznam součástek jsou uvedeny v přílohách 3, 4, 5.

3.7 Realizace měniče

Plošný spoj byl vyroben fotocestou v laboratoři školy. Nejprve se na vhodnou desku nastříká fotocitlivý roztok. Na folii se pomocí laserové tiskárny vytiskne předloha první vrstvy. Folie se přiloží na desku a osvítlí ultrafialovým světlem. Po osvětlení je nutné tzv. vyvolání. To se provede v roztoku NaOH (louhu sodného). Po vyvolání se deska vyleptá v chloridu železitém. Obdobně se postupuje i pro druhou vrstvu, avšak je nutné velmi přesně usadit předlohu, aby byly obě vrstvy proti sobě a mohly se správně umístit drátové propojky. Na závěr se deska nastříká pájecím lakem, který brání korozi mědi a zároveň ulehčuje osazování. Při osazování bylo nutné s ohledem na velikost SMD součástek použít mikropáječku. Po zapájení byl měnič bez problémů oživen.



Obrázek 20: Horní vrstva DPS měniče po realizaci



Obrázek 21: Spodní vrstva DPS měniče po realizaci

4 ŘÍDICÍ PROGRAM

Pro řízení krokového motoru je použita vývojová deska Freescale Semiconductor s procesorem MC56F8025. Spojení s měničem je provedeno čtyřicetižilovým plochým kabelem. Programování probíhá buď přes dnes již málo používaný paralelní port nebo přes port USB pomocí vývojového softwaru CodeWarrior s implementovaným nástrojem Quick Start. Případně lze použít ladicí nástroj FreeMASTER. V této kapitole bude nejen zmínka o použitém softwaru a dalších užitečných nástrojích, ale i stručný popis periférií, funkcí, případně proměnných použitých při tvorbě řídicího programu.

4.1 Software a nástroje

4.1.1 CodeWarrior

Toto prostředí obsahuje ANSI C/C++ kompilátor a knihovny speciálně navržené pro zvýšení výkonu a redukci velikosti kódu. Kompilátor je uživatelsky přívětivý díky grafickému uživatelskému rozhraní. Pro naprogramování řízení KM postačuje bezplatná verze CodeWarrioru, kterou je po registraci možné stáhnout na stránkách společnosti Freescale. Jediným podstatným omezením oproti placeným verzím je maximální velikost programu 128KB. Výsledný program se však k této hodnotě ani zdaleka nepřibližuje.

4.1.2 Quick Start

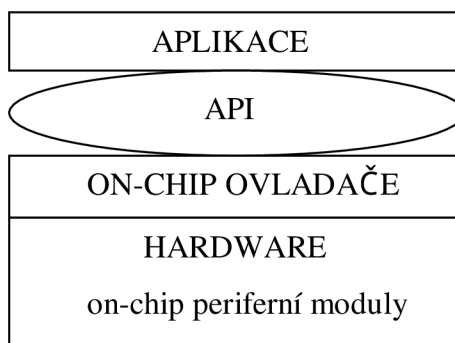
Dále je používán dodatečný software k CodeWarrioru a to DSP56800E Quick Start. Skládá se z následujících částí: z infrastruktury jádro-systém, on-chip ovladačů s definovaným API (Application Programming Interface), GCT (Graphical Configuration Tool) a FreeMASTER. Může pracovat jako samostatný nástroj, ale mnohem efektivnější je jeho použití jako integrovaného nástroje CodeWarrioru. Je založeno na grafickém konfiguračním nástroji (GCT). Umožňuje urychlení tvorby real-time aplikací při zachování kontroly nad hardwarem.

4.1.2.1 Infrastruktura jádro-systém

Jádro-systémová infrastruktura vytváří základní infrastrukturu pro zařízení 56F8025 a umožňuje pokročilejší integraci ostatních komponent, např. on-chip ovladačů. Podporováno je nastavení provozních režimů, běžně používané definice maker, mechanismus pro statické konfigurace on-chip periférií stejně jako vektory přerušení a projektové šablony.

4.1.2.2 On-chip ovladače

On-chip ovladače oddělují hardware určité funkce do příkazů definovaných API. API standardizuje rozhraní mezi softwarem a hardwarem viz obrázek 22. Tato izolace umožňuje vysoký stupeň přenositelnosti a nezávislosti hardwaru na kódu aplikace. To hlavně platí pro zařízení se shodnými periferními moduly. Opakovaně používaný kód ovladače vede k větší efektivitě a výkonnosti.



Obrázek 22: Programová struktura

4.1.2.3 Grafický konfigurační nástroj (GCT)

Jedná se o grafické rozhraní, ve kterém je možné jednoduše konfigurovat všechny periferní moduly včetně procesorového jádra a spravovat přerušení. Poskytuje přístup ke všem dostupným nastavením a režimům. Výstupem tohoto nástroje je sada konstant, které se ukládají do jednoho hlavičkového souboru. Tento hlavičkový soubor je pak zahrnut přímo do zdrojového kódu aplikace.

4.1.2.4 FreeMASTER

Jedná se o grafický vizualizační a řídicí nástroj. Používá se pro ladění programu. Umožňuje ovládání aplikace z grafického prostředí a poskytuje možnost zobrazení jakýchkoliv proměnných nebo registrů v reálném čase v textové i grafické podobě. [8]

4.2 Použité periferie

V této kapitole bude stručně uveden popis jednotlivých periférií, které byly použity pro tvorbu řídicího programu. Především se jedná o GPIO port, ADC modul (analogově-digitální převodník), časovač PIT a COP driver.



4.2.1 GPIO port

Použitá vývojová deska může mít až 6 univerzálních vstupně/výstupních GPIO portů. Označují se jako port A až port F. Pro řídicí program jsou použity pouze dva a to port A jako výstupní pro přenos řídicích signálů do měniče a port C jako vstupní pro přenos ovládacích signálů z měniče do mikroprocesoru. Piny GPIO portů jsou buď specializované, nebo sdílené s jiným modulem. Je možné je nastavit jako vstupní, výstupní, nebo piny přiřadit k jednomu z periferních modulů. Dále každý z portů může generovat přerušení.

Do programu je pro správnou funkci nutné vložit hlavičkové soubory `qs.h` a `gpio.h`. Vkládání hlavičkových souborů se provádí na úplném začátku programu pomocí příkazu `#include`. Např. `#include "gpio.h"`.

4.2.2 ADC modul

Zařízení MC56F8025 obsahuje pouze jeden ADC modul, označovaný jako ADC_A. Vyšší verze procesorů mohou mít tyto moduly dostupné dva. Modul ADC obsahuje 2x4 analogových vstupů, které jsou konfigurovatelné, a může být synchronizován s PWM a QTimerem. Lze ho vypínat automaticky nebo ručně.

Nutné vložit hlavičkové soubory `qs.h` a `adc.h`.

4.2.3 PIT časovač

PIT časovače (Periodic Interval Timer) je možno používat hned tři. Každý PIT obsahuje 16bitový čítač, modulo registr a kontrolní registr. Kontrolní a modulo registr jsou typu R/W (read/write), tedy pro čtení i zápis. Čítač je pouze pro čtení. V modulo registru je zapsána hodnota pro předděličku. Čítač počítá až do hodnoty nastavené v registru modulo a nastaví příznak, případně pokud je povoleno, vyvolá přerušení. Poté je nastaven na nulovou hodnotu a pokračuje v počítání od začátku.

Nutné vložit hlavičkové soubory `qs.h` a `pit.h`.

4.2.4 COP driver

Vývojová deska obsahuje jeden COP (Computer Operating Properly) driver. Jde o tzv. watchdog, který hlídá správný běh programu. Prakticky se jedná o volně běžící čítač, který při přetečení vyvolá přerušení a reset procesoru. K přetečení může dojít například při zacyklení programu. Je tedy nutné ho v pravidelných intervalech mazat, aby toto přerušení nevyvolával. [8]

Nutné vložit hlavičkové soubory `qs.h` a `cop.h`.



4.2.5 Typy proměnných

Nástroj Quick Start definuje některé datové typy, které podporují přenositelnost kódu mezi různé hardwarové architektury. Tyto základní typy jsou definovány v hlavičkovém souboru `types.h` a podporovány ITU (International Telecommunication Union). Jsou používány v celém rozhraní definovaném pro on-chip ovladače. Rozdělují se na standardní typy `Word`, typy `Integer`, `Fractional` a konstanty. Speciálním typem je datový typ `bool` zastupující boolean proměnné (`true/false`).

První tři uvedené typy proměnných mohou být buď znaménkové, nebo neznaménkové a jejich velikost je od 8 bitů, přes 16, až po 32 bitů. Pro návrh programu byly použity pouze typy `Word`, konkrétně typ `UWord16`. Jedná se o neznaménkovou 16bitovou proměnnou. Při čtení z A/D převodníku (ADC modul) získáváme proměnnou `Word16`, tedy proměnnou znaménkovou. Pro maximální zjednodušení programu byla tato hodnota přetypována (v konkrétním případě není nutné pracovat se znaménkem) na neznaménkovou, viz popis programu dále. [8]

Tyto procesory podporují zlomkový formát čísla, který je výhodný při použití v signálových procesorech, např. v regulaci. Pro naše účely se této vymoženosti vzdáváme.

4.3 Popis programu

Vzhledem k rozsáhlosti zdrojového kódu zde bude uvedena vždy pouze část nutná k dostatečnému vysvětlení principu. Kompletní zdrojový kód je uveden v příloze.

4.3.1 Načtení hlavičkových souborů

Nejprve je ke správné funkci periférií a některých příkazů nutné načíst potřebné hlavičkové soubory:

```
//nacteni hlavickovych souboru
#include "qs.h"
#include "pit.h"
#include "gpio.h"
#include "sys.h"
#include "adc.h"
#include "cop.h"
#include "cmp.h"
#include "dac.h"
#include "intc.h"
#include "pwm.h"
#include "qtimer.h"
#include "sci.h"
```

4.3.2 Deklarace funkcí

Dále jsou uvedeny deklarace funkcí, které jsou v programu použity. Jejich definice je uvedena až na konci zdrojového kódu, ale bez těchto hlaviček na začátku by kompilátor hlásil chybu. Jedná se o funkce, ve kterých je řešeno spínání jednotlivých fází krokového motoru, respektive generování řídicích impulsů ve správném pořadí. Pro každý režim řízení jsou napsány funkce dvě, jedna pro jeden směr otáčení, druhá pro směr opačný.

```
//deklarace funkcí
void smer1_dvoufaz(void);
void smer2_dvoufaz(void);
void smer1_jednofaz(void);
void smer2_jednofaz(void);
void smer1_pulkrok(void);
void smer2_pulkrok(void);
```

4.3.3 Definice proměnných

Pro práci s daty jsou vytvořeny proměnné. Pro zjednodušení je u všech použit stejný datový typ. U některých je uvedena počáteční hodnota, která je nutná pro správný běh funkcí přepínajících jednotlivé fáze. Jejich definice jsou následující:

```
//definice promenných
UWord16 rezim = 1; //0 .. jednofazove rizeni
//1 .. dvoufazove rizeni
//2 .. pulkrokovve rizeni
UWord16 vystup1 = 0b1010; //pocatecni stav pro rizeni 1
UWord16 vystup2 = 0b1000; //pocatecni stav pro rizeni 0 a 2
UWord16 prepinač; //promenna pro ulozeni stavu prepinače
UWord16 perioda = 100; //promenna pro nastaveni rychlosti otaceni
UWord16 pocitadlo; //promenna pro citac PIT
UWord16 ad_vstup; //promenna pro hodnoty z A/D prevodniku
```

4.3.4 Hlavní program

V hlavní funkci programu se nacházejí příkazy k inicializaci periférií jako je ADC modul, GPIO porty, PIT_0 a další. Prakticky pouze zapíná dané periferie, neboť ty, které nejsou inicializovány, jsou zakázány. K inicializaci periferních modulů a k přístupu k nim se používá příkaz `ioctl()`. Syntaxe tohoto příkazu i mnoha dalších je podrobně popsána v uživatelském manuálu ke Quick Startu. [8]

```
//hlavni funkce programu
void main (void)
{
    ioctl(COP, COP_INIT, NULL);
    ioctl(SYS, SYS_INIT, NULL);
    ioctl(GPIO_A, GPIO_INIT, NULL); //inicializace GPIO portu A
    ioctl(GPIO_B, GPIO_INIT, NULL); //inicializace GPIO portu B
    ioctl(GPIO_C, GPIO_INIT, NULL); //inicializace GPIO portu C
    ioctl(PIT_0, PIT_INIT, NULL); //inicializace PIT_0 casovace
```



```
ioctl(SCI_0, SCI_INIT, NULL);
FMSTR_Init();
ioctl(ADC, ADC_INIT, NULL);           //inicializace ADC
ioctl(INTC, INTC_INIT, NULL);        //inicializace Interrupt Controlleru
archEnableInt();

while(1)                               //nekonecna smycka
{
    ioctl(COP, COP_CLEAR_COUNTER, NULL); //nulovani citace COP
    FMSTR_Poll();
}
}
```

4.3.5 Funkce pro A/D převod

Spuštění převodu A/D převodníku proběhne vždy při vygenerování přerušení od časovače PIT_0 (pomocí příkazu ioctl). Po dokončení tohoto převodu vygeneruje ADC modul přerušení adc0isr a zavolá se následující funkce:

```
//funkce volana pri preruseni od ADC
void adc0isr(void)
{
    #pragma interrupt
    ad_vstup = (UWord16)ioctl(ADC, ADC_READ_SAMPLE, 0); /*precteni hodnoty
                                                         A/D prevodniku*/
    ioctl(ADC, ADC_CLEAR_STATUS_EOSI, NULL);           /*smazani priznaku
                                                         preruseni ADC*/
}
}
```

A/D převodník po dokončení převodu vrací znaménkovou hodnotu datového typu Word16. Tato hodnota se přetypuje na neznaménkový typ (UWord16) a uloží do proměnné ad_vstup. Poté se vymaže příznak přerušení a tím se převodník připraví na další cyklus převodu.

4.3.6 Funkce pro PIT časovač

Největší množství příkazů obsahuje funkce volaná při vygenerování přerušení od časovače PIT. Při každém přerušení se spustí převod A/D převodníku, získaná hodnota je bitově posunuta o 3 bity doprava (dělení 8) a použije se při výpočtu hodnoty proměnné perioda. Jestliže časovač PIT_0 běží na frekvenci 20kHz, pak pouhým podělením této hodnoty periodou získáváme skutečný počet kroků motoru za sekundu. Jako minimální byla zvolena rychlost 2 kroky za sekundu, což odpovídá periodě 10000. Jako maximum, při kterém motor začíná ztrácet kroky, byla zvolena rychlost 800 kroků za sekundu (perioda 25). Dále je při každém přerušení inkrementována proměnná pocitadlo, mazán příznak přerušení pro PIT_0 a přečtena hodnota na vstupu GPIO_C portu. Tato hodnota je uložena do proměnné prepinač.

Jestliže počet přerušení dosáhne hodnoty uložené v proměnné perioda, je testován zvolený režim řízení a hodnota proměnné prepinač. Režim se nastavuje hodnotou uloženou v proměnné rezim (hodnota 0 – jednofázové, 1 – dvoufázové, 2 – půlkrokové řízení). Poté se jednoduše

otestuje velikost této hodnoty a volají se odpovídající funkce. Pokud je v proměnné prepínac nenulová hodnota (přepínač rozepnut), volají se funkce pro jeden směr otáčení motoru, pokud je nulová (přepínač sepnut), volají se funkce pro reverzní směr.

Například pro jednofázový režim řízení a rozepnutý přepínač se zavolá funkce `smer1_jednofaz()`. Po provedení této funkce se zapíše data na výstup GPIO_A portu a vynuluje se proměnná pocitadlo na nulu. V následující ukázce zdrojového kódu je uvedeno testování pouze režimu 0. Další režimy jsou testovány analogicky.

```
//funkce volana pri preruseni od casovace PIT_0
void pit0ISR(void)
{
    #pragma interrupt
    perioda = 0xFFFF / (ad_vstup >> 3); //vypocet periody
    if (perioda < 25) //horni omezeni rychlosti krokovani
        perioda = 25;
    if (perioda > 10000) //dolni omezeni rychlosti krokovani
        perioda = 10000;
    //precteni vstupu
    prepinač = ioctl( GPIO_C, GPIO_READ_DATA, NULL) & BIT_1 ;
    if (pocitadlo >= perioda) //testovani podminky
    {
        if (režim == 0) //testovani režimu 0
        {
            if (prepinac) //je-li prepinač sepnut
            {
                //volani funkce pro prvni smer otaceni - jednofazove
                smer1_jednofaz();
                ioctl(GPIO_A, GPIO_WRITE_DATA, vystup2); //zapis dat
                pocitadlo = 0; //nulovani promenne pocitadlo
            }
            else //je-li prepinač rozepnut
            {
                smer2_jednofaz(); //funkce pro opacny smer otaceni
                ioctl(GPIO_A, GPIO_WRITE_DATA, vystup2); //zapis dat
                pocitadlo = 0; //nulovani promenne pocitadlo
            }
        }
    }
    //zde nasleduje testovani dalsich režimu obdobnym zpusobem
    }
    pocitadlo++; //inkrementace promenne pocitadlo
    ioctl(ADC, ADC_START, NULL); //start prevodu A/D prevodniku
    ioctl(PIT_0, PIT_CLEAR_ROLLOVER_INT, NULL); //smazani priznaku
    //preruseni pro PIT_0
    FMSTR_Recorder();
}
```

4.3.7 Řídicí funkce

Poslední částí programu jsou definice funkcí pro přepínání jednotlivých fází krokového motoru. Funkcí je celkem 6, ale pro vysvětlení postačí ta nejjednodušší pro jednofázové řízení.



Prakticky se jedná pouze o zápis příkazu `switch`, který testuje proměnnou `vystup2` a podle její hodnoty jí přiřadí následující uživatelem nadefinovanou hodnotu. Při jednofázovém řízení je současně buzena pouze jedna fáze. Při řízení dvoufázovém jsou buzeny obě fáze zároveň. Kombinací jednofázového a dvoufázového řízení vznikne řízení s polovičním krokem. Podrobně je tato problematika vysvětlena v kapitole 2.6.

```
//funkce volana pri jednofazovem rezimu rizeni
void smer1_jednofaz(void)
{
    switch (vystup2)                //testovani promenne vystup2
    {
        case 0b1000:                //jestliže vystup2 = 0b1000
            vystup2 = 0b0010; //přiradí promenne vystup2 hodnotu 0b0010
            break;
        case 0b0010:                //dale analogicky
            vystup2 = 0b0100;
            break;
        case 0b0100:
            vystup2 = 0b0001;
            break;
        case 0b0001:
            vystup2 = 0b1000;
            break;
        default: break;
    }
}
```

5 MĚŘENÍ

Po realizaci měniče a připojení motoru bylo zjištěno, že vzhledem k malému odporu fází motoru není možné zařízení provozovat na plné napětí 12V. Při malých krokovacích frekvencích totiž docházelo k proudovému přetěžování motoru. Proto bylo napájecí napětí sníženo na 5V. Tato hodnota se ukázala jako minimální, se kterou ještě měnič pracuje správně. Pod touto hodnotou již nedochází k plnému otevření tranzistorů a výstupní signál se stává značně deformovaným. Tento jev ovlivňuje tzv. prahové napětí, při kterém se tranzistor začne otevírat.

Pro samotnou funkci měniče není toto snížení napájecího napětí problémem. Naopak dojde ke zmenšení proudů protékajících budicí částí na méně než polovinu oproti původnímu návrhu popsanému v kapitole 3.4.2.

5.1 Rezonanční kmitočty

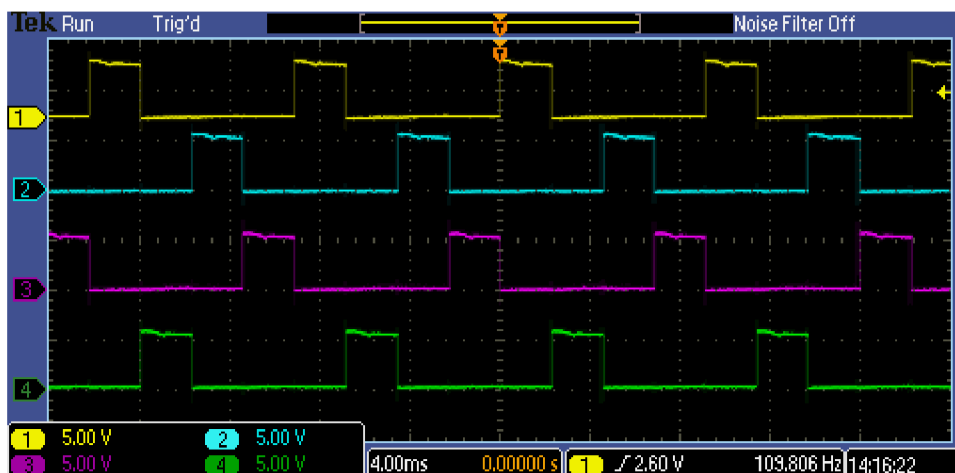
Při měření byly zjištěny dvě pásma, ve kterých se projevuje vlastní rezonance motoru. Jednalo se o pásmo kmitočtů kolem 145 a 250 kroků za sekundu. V těchto pásmech výrazně naroste intenzita vibrací a hlučnost motoru. Při konkrétní aplikaci motoru je nežádoucí motor provozovat v těchto hodnotách krokovacích frekvencí. Pokud je nutné motor provozovat v celém rozsahu, je nutné na těchto frekvencích setrvávat co nejkratší dobu, např. přes ně jen rychle akcelerovat na vyšší krokovací frekvenci. Více o problematice rezonancí v kapitole 2.3.3.

5.2 Naměřené průběhy

Zde jsou vloženy časové průběhy výstupního napětí získané pomocí čtyřkanálového osciloskopu pro každý režim řízení zvlášť. Na obrázku jsou vždy zobrazeny čtyři průběhy, tedy pro každý samostatný vodič krokového motoru. První fáze je připojena ke svorkám, kterým odpovídají průběhy označené 1 a 2, druhá fáze ke svorkám s odpovídajícími průběhy 3 a 4.

5.2.1 Jednofázové řízení – čtyřtaktní s magn. jedné fáze

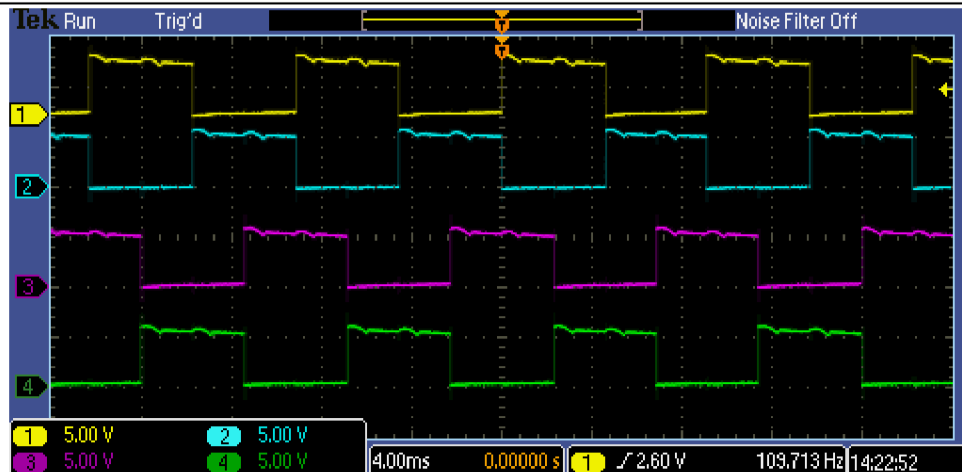
Při tomto režimu je v jednom časovém okamžiku sepnuta pouze jedna fáze krokového motoru. Výhodou je menší energetická náročnost, nevýhodou menší krouticí moment.



Obrázek 23: Časová závislost výstupních signálů pro jednofázové řízení

5.2.2 Dvoufázové řízení – čtyřtaktní s magn. dvou fází

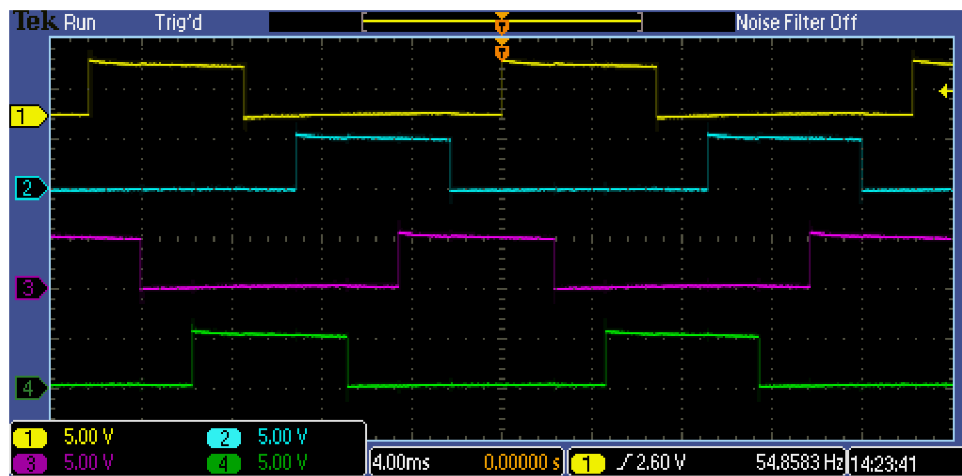
V jednom časovém okamžiku jsou zároveň buzeny dvě fáze. Výhodou je velký krouticí moment, nevýhodou značné proudové zatížení motoru.



Obrázek 24: Časová závislost výstupních signálů pro dvoufázové řízení

5.2.3 Řízení s polovičním krokem – osmitaktní

Při tomto řízení se kombinuje jednofázové a dvoufázové řízení. Motor nedosahuje tak velkého krouticího momentu jako při řízení dvoufázovým, ale zato se pohybuje po polovičních krocích, tedy namísto $1,8^\circ$ pouze po $0,9^\circ$.



Obrázek 25: Časová závislost výstupních signálů pro řízení s polovičním krokem

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se problematikou krokových motorů a s architekturou mikroprocesoru MC56F8025. Dále pak navrhnout a realizovat obvod pro řízení krokových motorů za pomoci mikropočítače a naprogramovat řídicí program. Problematika krokových motorů je popsána v kapitole 2. Návrh schématu a desky plošného spoje byl proveden v návrhovém programu Eagle. Deska byla vyrobena fotocestopem v laboratoři školy a osazena s využitím vybavení školní dílny. Touto částí se podrobně zabývá třetí kapitola práce.

Řídicí program byl vytvářen v programovací nástroji CodeWarrior s implementovaným nástrojem QuickStart. Tento nástroj mi velmi ulehčil konfiguraci periférií vývojové desky MC56F8025. Návrh řídicího programu a použitého softwaru je popsán v kapitole 4.

Při oživení měniče bylo zjištěno, že pro náš konkrétní motor ho není možno provozovat na navrhované napájecí napětí. Vlivem velmi malého odporu jednotlivých fází motoru docházelo při nízkých krokovacích frekvencích ke značnému proudovému přetížení motoru. Proto bylo napájecí napětí sníženo na hodnotu 5V. Při této hodnotě není nijak ovlivněna funkce měniče a proudy tekoucí fázemi motoru zůstávají pod maximální výrobcem definovanou hranicí. Tímto opatřením také klesly na méně než polovinu všechny proudy v nesilových částech budících modulů, což vedlo ke snížení jejich tepelného namáhání. Hodnota 5V napájecího napětí se také ukázala jako minimální pro správnou funkci měniče. Při nižších hodnotách již není stoprocentně zajištěno plné otevření tranzistorů a tím dochází ke značné deformaci výstupních signálů.

Na hotovém zařízení byla provedena měření. Byly zjištěny dvě pásma kmitočtů, ve kterých se projevují vlastní rezonance krokového motoru a to oblasti okolo 145 a 250 kroků za sekundu. V těchto pásmech by se motor neměl provozovat. Citelně totiž roste intenzita vibrací a hlučnost motoru. Dále byly naměřeny časové průběhy výstupních signálů měniče pro jednotlivé způsoby řízení. Tyto průběhy se nacházejí v kapitole 5.

Měnič je značně předimenzován a mělo by jím být možno řídit motory mnohem větších výkonů. Jeho využití je možné například pro výukové účely.



7 LITERATURA

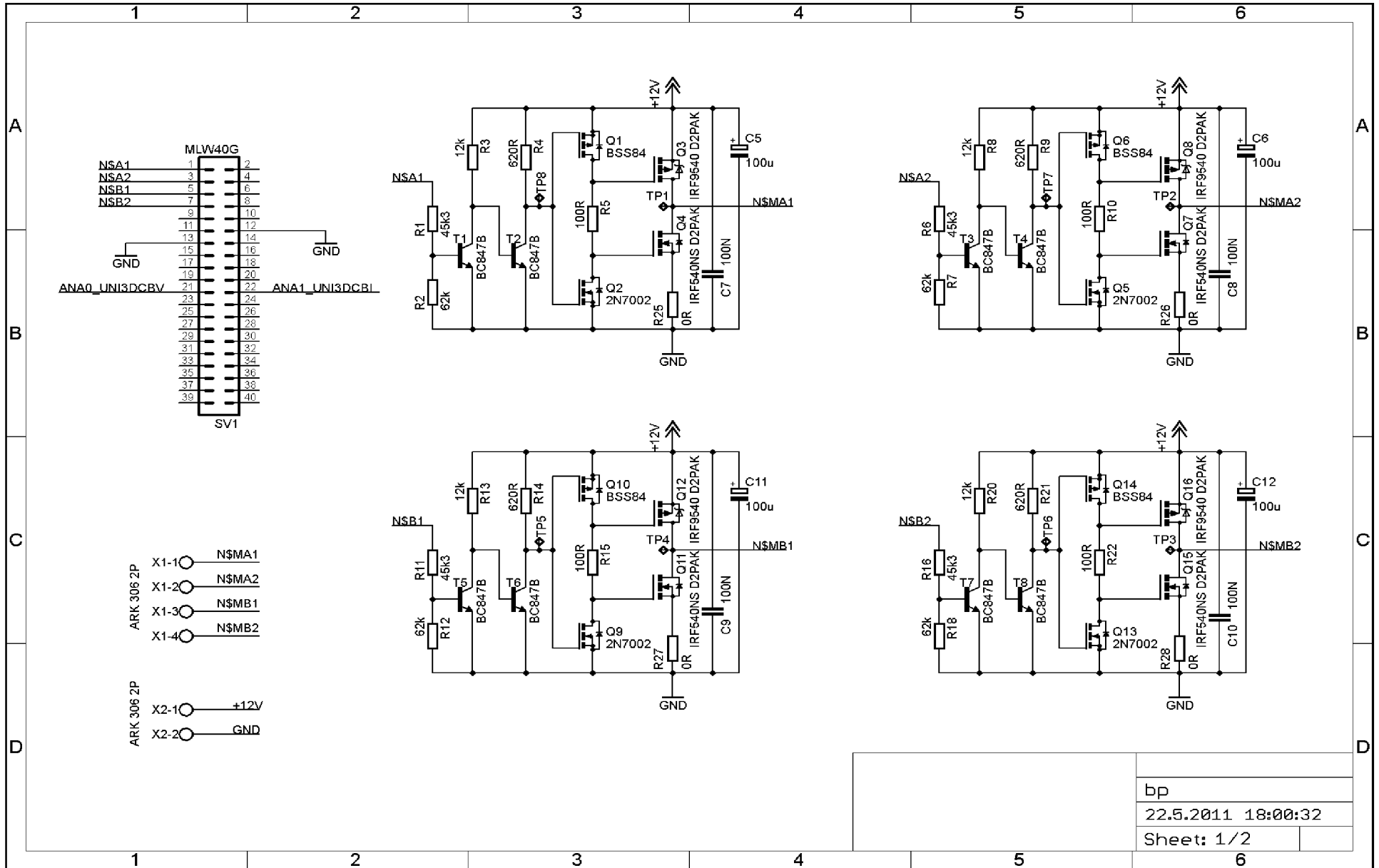
- [1] RYDLO, P.: KROKOVÉ MOTORY A JEJICH ŘÍZENÍ. 2000. 15s. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Studijní texty. Dostupný z WWW: http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/TUL_krokove_motory_a_jejich_rizeni.pdf
- [2] ŘEZÁČ, K.: KROKOVÉ MOTORY – princip funkce, metody řízení. 2002. Dostupné z WWW: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [3] NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. 1. vyd. Praha: Ben technická literatura, 2005. ISBN80-7300-141-1. Krokový motor, s. 41-69.
- [4] STEPPER MOTORS. Dostupné z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [5] MAE HY 200-1713 – katalogový list motoru. Dostupné z WWW: http://www.sodimatel.fr/image_base/Img_1637.pdf
- [6] LE33CD – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/934/934-021/dsh.934-021.1.pdf
- [7] MC56F8025 – katalogový list vývojové desky
- [8] DSP5680E Quick Start Users Manual – uživatelský manuál nástroje QuickStart
- [9] BSS84 – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/912/912-041/dsh.912-041.1.pdf
- [10] 2N7002 – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/912/912-040/dsh.912-040.1.pdf
- [11] IRF9540 D2PAK – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/915/915-004/dsh.915-004.1.pdf
- [12] IRF540NS D2PAK – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/915/915-005/dsh.915-005.1.pdf
- [13] BC847B – katalogový list. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/912/912-016/dsh.912-016.1.pdf



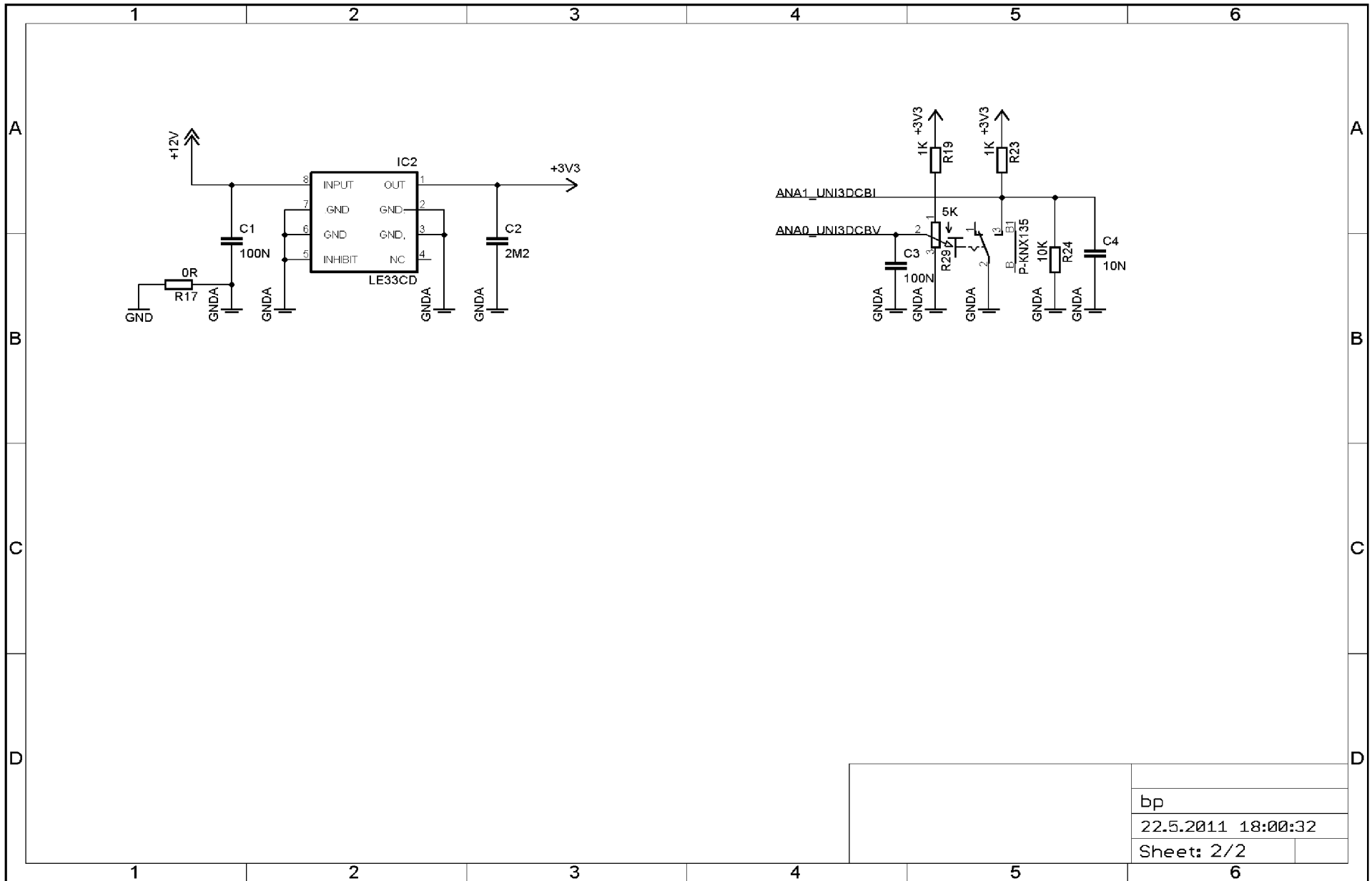
PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1: Schéma zapojení – budicí část	47
Příloha 2: Schéma zapojení – napájecí a ovládací část	48
Příloha 3: Osazovací plán desky plošného spoje	49
Příloha 4: Předlohy desky plošného spoje – horní vrstva (vlevo) a spodní vrstva	50
Příloha 5: Seznam součástek	51
Příloha 6: Zdrojový kód řídicího programu	elektronická podoba (CD)

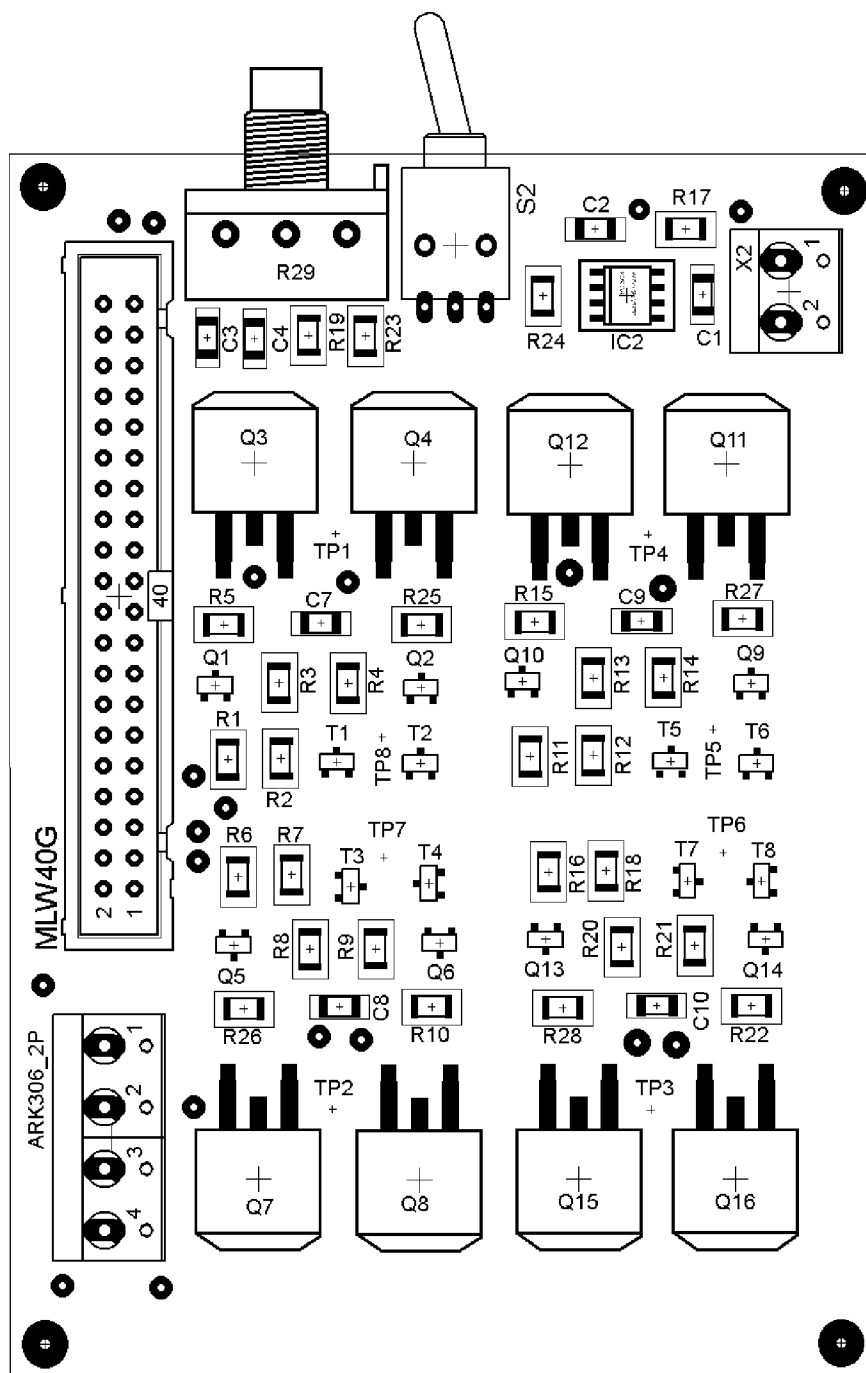


Příloha 1: Schéma zapojení – budící část

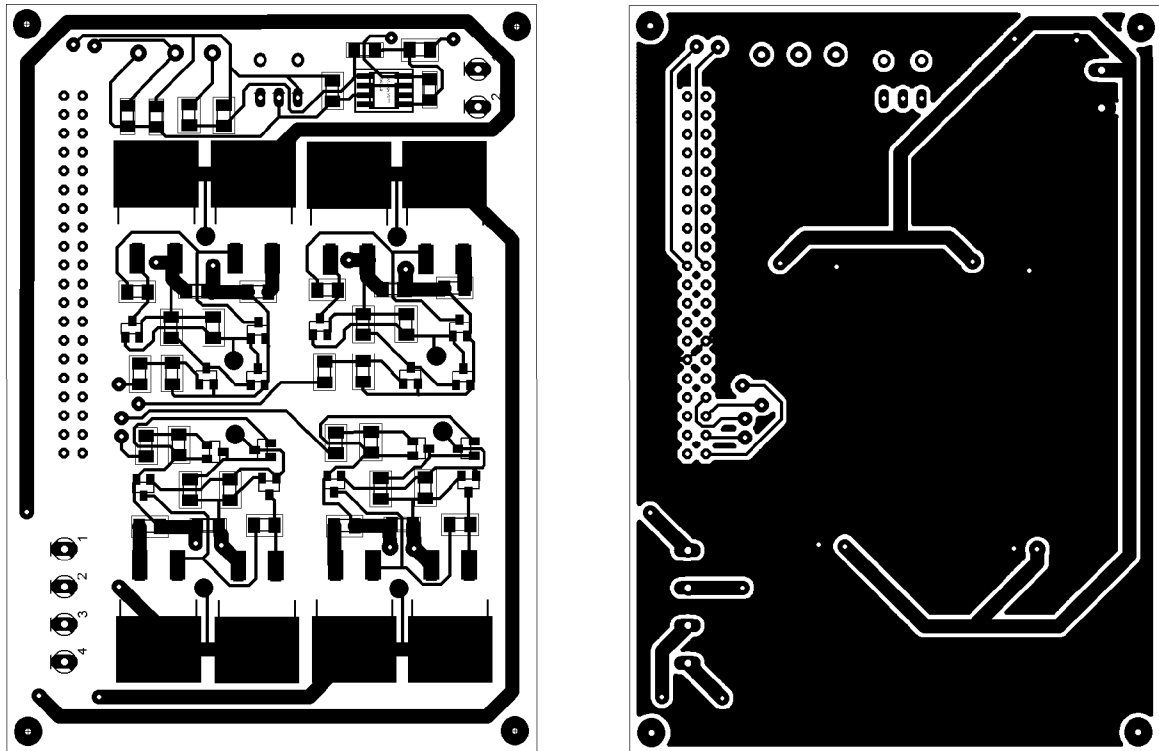


bp
22.5.2011 18:00:32
Sheet: 2/2

Příloha 2: Schéma zapojení – napájecí a ovládací část



Příloha 3: Osazovací plán desky plošného spoje



Příloha 4: Předlohy desky plošného spoje – horní vrstva (vlevo) a spodní vrstva

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet	pocet kusu	objednaci cislo	cena/kus	cena
C1	100N	C-EUC1206	C1206	rcl	2	6	905-165	2,5	15
C2	2M2	C-EUC1206	C1206	rcl	2	1	905-150	3	3
C4	10N	C-EUC1206	C1206	rcl	2	1	905-178	3,5	3,5
IC2	LE33CD	LP2951ACM-3.3	SO-08	pokus	2	1	934-021	16	16
Q1	BSS84	BSS84	SOT23	transistor-small-signal	1	4	912-041	3,2	12,8
Q2	2N7002	BSS123	SOT23	transistor-small-signal	1	4	912-040	1,6	6,4
Q3	IRF9540 D2PAK	IRF9530	D2PACK	transistor-power	1	4	915-004	22,5	90
Q4	IRF540NS SMD D2PAK	IRF3704S	D2PACK	transistor-power	1	4	915-005	24,5	98
T1	BC847B	BC847B-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC	transistor	1	8	912-016	1,1	8,8
R1	45k3	R-EU_M1206	M1206	rcl	1	4	900-304	0,8	3,2
R2	62k	R-EU_M1206	M1206	rcl	1	4	900-141	2	8
R3	12k	R-EU_M1206	M1206	rcl	1	4	900-193	2	8
R4	620R	R-EU_M1206	M1206	rcl	1	4	900-343	2	8
R5	100R	R-EU_M1206	M1206	rcl	1	4	900-192	2	8
R19	1K	R-EU_M1206	M1206	rcl	2	2	900-191	2	4
R24	10K	R-EU_M1206	M1206	rcl	2	1	900-179	2	2
R29	10K	3RP/1610N	3RP/1610N	pot	2	1	113-153	10	10
S1	P-KNX135	TL36PO	9070-1W	switch	2	1	631-253	13,9	13,9
SV1	MLW40G	ML40	ML40	con-ml	1	1	800-067	12,3	12,3
X1	ARK306 2P	ARK306 2P	con-wago-508	1	1	3	821-134	2,5	7,5
s DPH								celkem	338

Příloha 5: Seznam součástek