

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

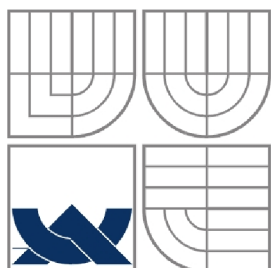
MĚNIČ PRO MALÝ 3F ASYNCHRONNÍ MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ PAVLÍK

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

MĚNIČ PRO MALÝ 3F ASYNCHRONNÍ MOTOR

DC/AC INVERTER FOR SMALL ASYNCHRONOUS MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

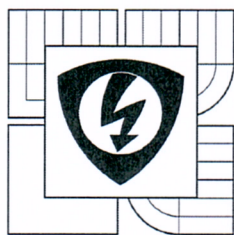
Ondřej Pavlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

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 Pavlík

Ročník: 3

ID: 119567

Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Měnič pro malý 3f asynchronní motor

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Pokusně zrealizujte měnič pro malý asynchronní motor o výkonu 100W
2. Navrhněte finální desku plošných spojů
3. Desku osadte a oživte

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 23.9.2010

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

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

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout třífázový frekvenční měnič malého výkonu 100 W pro napájení asynchronního motoru. Zařízení je vhodné pro konstrukci s ventilátory. Návrh byl optimalizován z hlediska nízké ceny a technické proveditelnosti. Zařízení je možné použít v méně náročných aplikacích, kde tomu doposud bránila vysoká cena běžných frekvenčních měničů.

Abstract

The aim of this Bachelor thesis is to propose three-phase converter of low power 100W for driving the asynchronous motor. The device is suitable for construction with fans. This proposal was optimized in light of close price and of technical practicability. The arrangement is possible to use in less exacting applications where it was guarded high price of common converters so far. For allocation catalogue scheme were chosen acceptable components and designed the board of printed circuits.

Klíčová slova

Asynchronní motor; frekvenční měnič; střídač; výkonový modul; výkonový MOS-FET tranzistor.

Keywords

Asynchronous motor; frequency converter; chopper; Smart Power Module; power MOS-FET transistor

Bibliografická citace

PAVLÍK, O. *Měnič pro malý 3f asynchronní motor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měnič pro malý 3f asynchronní motor jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální 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. Daliborovi Červinkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

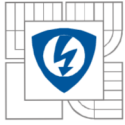
V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

1 ÚVOD	11
2 ASYNCHRONNÍ MOTOR A JEHO REGULACE	12
2.1 PRINCIP ASYNCHRONNÍHO MOTORU	12
2.2 CHOVÁNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	13
2.3 ŘÍZENÍ OTÁČEK ASYNCHRONNÍHO MOTORU	14
2.3.1 DRUHY FREKVENČNÍCH MĚNIČŮ	14
3 ROZBOR MOŽNOSTÍ ŘEŠENÍ	16
3.1 SILOVÁ ČÁST	16
3.1.1 Z DISKRÉTNÍCH PRVKŮ	16
3.1.2 BEZPOTENCIÁLOVÝ MODUL.....	16
3.2 ŘÍDÍCÍ ČÁST	16
3.2.1 PROCESOR	17
3.2.2 ZÁKAZNICKÝ OBVOD	17
4 NÁVRH MĚNIČE	18
4.1 POŽADOVANÉ PARAMETRY	18
4.2 DIMENZOVÁNÍ SOUČÁSTEK	18
4.2.1 ZADANÉ PARAMETRY	18
4.2.2 NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ DIMENZOVÁNÍ TRANZISTORŮ A NULOVÝCH DIOD	18
4.2.3 TABULKA S PARAMETRY FSB50450.....	21
5 VÝPOČET ZTRÁT NA MĚNIČI	22
5.1 ZTRÁTY VEDENÍM	22
5.1.1 PŘEPÍNACÍ ZTRÁTY	23
5.1.2 CELKOVÉ ZTRÁTY A ÚČINNOST MĚNIČE	23
6 OBVODOVÉ USPOŘÁDÁNÍ MĚNIČE	24
6.1 PARAMETRY MĚNIČE, CELKOVÉ BLOKOVÉ SCHÉMA	24
6.2 NAPÁJECÍ ČÁST MĚNIČE	24
6.3 ŘÍDÍCÍ ČÁST MĚNIČE (PWM), OVLÁDÁNÍ	25
6.4 VÝKONOVÁ ČÁST MĚNIČE, BUDIČ	28
6.4.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI, OBVODOVÉ ZAPOJENÍ FSB50450	28
6.4.2 NÁVRH SOUČÁSTEK SE ZAPOJENÍM FSB50450.....	30
7 POKUSNÁ REALIZACE MĚNIČE	31
7.1 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ VÝKONOVÉ ČÁSTI	31
7.2 MĚŘENÍ NA PRACOVÍŠTI	32
8 ZÁVĚR	35
LITERATURA	36



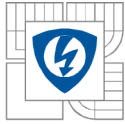
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2.1 Průběh proudu ve třífázové síti [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2.2 Momentová charakteristika [1]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 2.3 Cyklokonvertor a maticový měnič [2]</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2.4 Měnič s napět'ovým meziobvodem</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 2.1 Integrovaný obvod MC3PHAC</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6.1 Blokové schéma celého zařízení</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 6.2 Schéma napájecího obvodu</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 6.3 Schéma zapojení řídicího obvodu [4].....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 6.4 Závislost off-set napětí na velikosti odporu R2 [4].....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 6.5 Dead-time v závislosti na velikosti odporu [4]</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 6.6 Doba blokování PWM v závislosti na R4 [4].....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 6.7 Definice přepínacích časů [5]</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 6.8 Schéma zapojení výkonové části [5]</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 6.9 Parametry součástek [5].....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 7.1 DPS ze strany spojů výkonové části.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 7.2 Umístění součástek na DPS výkonové části.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 7.3 Zapojení desky pokusného měniče s řídicím obvodem</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 7.4 Pracoviště při testování měniče</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 7.5 Detail přepínacího děje - nástupná hrana</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 7.6 Detail přepínacího děje - sestupná hrana.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 7.7 Detail Dead-Time</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 7.8 Detail sinusové pulsní modulace napětí.....</i>	<i>34</i>



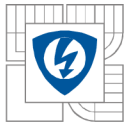
SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 4-1 Vypočet požadovaných hodnot na tranzistory a nulové diody.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 4-2 Parametry každého tranzistoru v modulu.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 4-3 Parametry každé nulové diody v modulu.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 6-1 Nastavení PWM polarity a základní frekvence.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 6-2 Závislost spínací frekvence PWM na napětí děliče R_5, R_7.....</i>	<i>28</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

η	Účinnost	[-]
$\cos\varphi$	Účinitk motoru	[-]
B	Magnetická indukce	[T]
f	Frekvence napětí	[Hz]
f_s	Frekvence spínání tranzistorů	[Hz]
C_F	Vstupní filtrační kondenzátor	[F]
n	Jmenovité otáčky	[ot/min]
n_s	Synchronní otáčky	[ot/min]
I_c	Spínací proud	[A]
I_{Cmax}	Maximální proud tranzistorem	[A]
I_{Cef}	Efektivní hodnota proudu tranzistorem	[A]
$I_{Cstř}$	Střední hodnota proudu tranzistorem	[A]
I_{d0max}	Maximální proud nulovou diodou	[A]
I_{d0ef}	Efektivní hodnota proudu nulovou diodou	[A]
$I_{d0stř}$	Střední hodnota proudu nulovou diodou	[A]
I_{U1ef}	Efektivní hodnota 1. harm. fázového proudu	[A]
I_{U1}	Amplitudy 1. harm. fázového proudu	[A]
K	Činitel proudového využití tranzistoru	[-]
M	Modulační činitel	[-]
p	Počet pólových dvojic	[-]
P	Maximální výkon měniče	[W]
P_c	Ztráty vedením na tranzistoru	[W]
P_{D0}	Ztráty vedením na nulové diodě	[W]
$P_{př}$	Přepínací ztráty tranzistorů	[W]
$P_{př1}$	Přepínací ztráty jednoho tranzistoru	[W]
P_{ved}	Ztráty vedením na celém modulu	[W]
Pz	Celkové ztráty na měniči	[W]
R_{dT}	Dynamický odpor tranzistoru	[Ω]
R_{dD0}	Dynamický odpor nulové diody	[Ω]
s	Střída měniče	[-]
T_{vj}	Teplota stykové plochy pouzdr	[$^{\circ}$ C]
U_{IN}	Stejnoseměrné vstupní napětí	[V]
U_{PT}	Prahové napětí tranzistoru	[V]
U_{PD0}	Prahové napětí nulové diody	[V]
U_{UV1ef}	Efektivní hodnota 1. harmonické sdruženého napětí	[V]
W_{OFF}	Energie potřebná pro vypnutí tranzistoru	[J]
W_{ON}	Energie potřebná pro sepnutí tranzistoru	[J]



1 ÚVOD

Z historie vývoje pohonů s asynchronními motory je patrné, že snahou konstruktérů bylo zvyšování účinnosti, regulačních možností, spolehlivosti a životnosti. Současné snižování rozměrů, hmotnosti a investičních i provozních nákladů je mnohdy v protikladu s ostatními výchozími podmínkami a vlastnostmi pohonu. Významnou změnou v použití asynchronních motorů bylo použití měničů frekvence pro jejich napájení. Takto koncipované pohony v posledním desetiletí minulého století doznaly značného rozšíření v levných aplikacích, kde se požaduje plynulá regulace otáček standardních asynchronních motorů s kotvou nakrátko, případně i motorů s kroužkovou kotvou nebo se s nimi řeší speciální regulace servopohonů. Příkladem jednoduchých pohonů jsou nejen ventilátory, ale i dmychadla, čerpadla, dopravníky atd. Složitější pohony se vyskytují u obráběcích strojů nebo u papírenských strojů. Měniče s příslušným SW umožňují řešit pohony mechanismu s polohovou regulací a lze s nimi realizovat pohony navíječek, vícemotorové pohony, úhlovou synchronizaci (elektrický hřídel) atd.

Smyslem této konstrukce bylo vytvořit měnič pro malý asynchronní motor. Měnič je konstruován pro ventilátory do 100W.

První polovina práce se zabývá návrhem silové části měniče, ale také rozborem možných řešení. Měnič bude koncipován jako třífázový střídač pracující v režimu pulsně-šířkové modulace (PWM). Bude klasické koncepce, složen ze tří větví představujících tři fáze, které jsou integrovány přímo do bezpotenciálového modulu. Návrh obsahuje dimenzování spínacích výkonových součástek (výkonových tranzistorů) pro vhodný výběr modulu a výpočet ztrát měniče. V druhé polovině práce jsou informace o řídicí části, silové části a napájecím obvodu.

Součástí práce dále bylo osazení a oživení pokusné desky výkonové části a vyrobení napájecí desky. V poslední fázi byl měnič pokusně zrealizován a odzkoušen v zapojení s asynchronním motorem.

2 ASYNCHRONNÍ MOTOR A JEHO REGULACE

Asynchronní motory jsou elektrické stroje, které vynikají konstrukční jednoduchostí, velkou účinností (90 až 96%) a bezporuchovým chodem i v těžkých provozních podmínkách. Jsou to stroje přeměňující elektrickou energii dodanou ze střídavé sítě na energii mechanickou. Skládají se z pevné části (statoru) a z otočné části (rotoru). Stator i rotor jsou sestaveny z transformátorových plechů, které mají po obvodě drážky, v nichž jsou uloženy statorové, případně rotorové cívky. Rotor tvoří nejčastěji aktivní vodiče spojené nakrátko. Protože se v čelech závitů neindukují proudy, mohou se vynechat a aktivní strany vodičů se spojí čelnými kruhy, takže vytvoří tzv. klecové vinutí, zhotovené z hliníku.

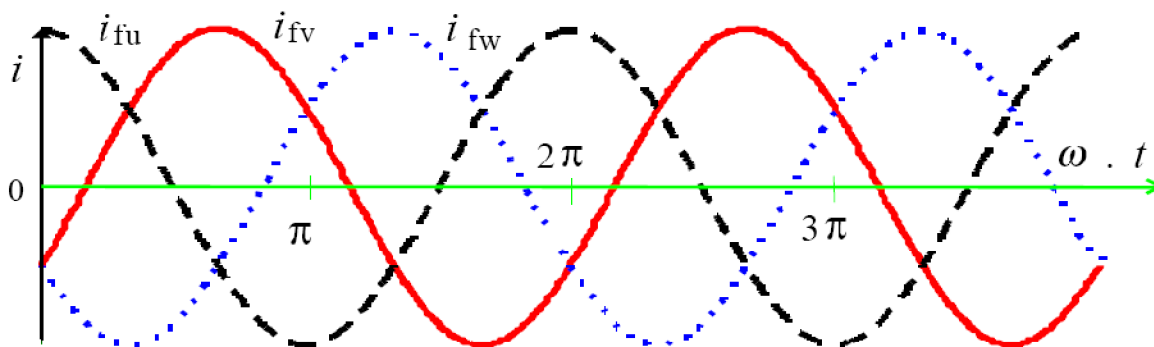
2.1 Princip asynchronního motoru

Princip motoru je založen na silovém působení točivého magnetického pole statoru a rotoru. Jednotlivé cívky ve statoru jsou prostorově posunuty o 120° a napájeny ze symetrické třífázové sítě. Průběhy proudů v této síti zobrazuje obrázek 2.1. Tyto proudy vytvářejí v každé cívkce magnetické pole o magnetické indukci $B(t)$, jejíž časový průběh je obdobný průběhu proudu. Kdybychom v každém okamžiku provedli vektorový součet okamžitých hodnot magnetických indukcí od všech cívek, získali bychom výsledný vektor magnetické indukce. Jeho velikost je stálá a vektor se otáčí rovnoměrně, v rovině kolmé na osu rotoru. Tímto způsobem vzniká točivé magnetické pole, otáčející se synchronními otáčkami n_s .

Jestliže do točivého pole umístíme rotor tvořený nakrátko spojenými aktivními vodiči, pak magnetické siločáry točivého pole jej budou protínat a ve vodičích rotoru se bude indukovat elektromotorické napětí, které vodiči protlačí rotorový proud. Na vodiče protékané proudem a umístěné v magnetickém poli pak začne působit silový moment, úměrný součinu magnetického toku a proudu. Pokud by se začal rotor otáčet stejnými otáčkami jako točivé magnetické pole, tj. synchronními otáčkami, neindukoval by se v jeho vinutí proud a točivý silový moment by byl nulový. Při zatížení motoru však zůstane rotor v otáčení pozadu za točivým magnetickým polem. Ve vinutí rotoru se indukuje napětí o kmitočtu, odpovídajícímu rozdílu rychlosti točivého magnetického pole a rychlosti rotoru (tzv. skluzový kmitočet).

Z rovnice 1 je zřejmé, že pro funkci tohoto motoru je tedy nezbytné, aby byla velikost otáček rotoru n vždy menší, než velikost otáček točivého pole n_s . Odtud plyne také jeho název *asynchronní*. Skluz asynchronního motoru s bývá udáván v %, n_s a n_v otáčkách za minutu.

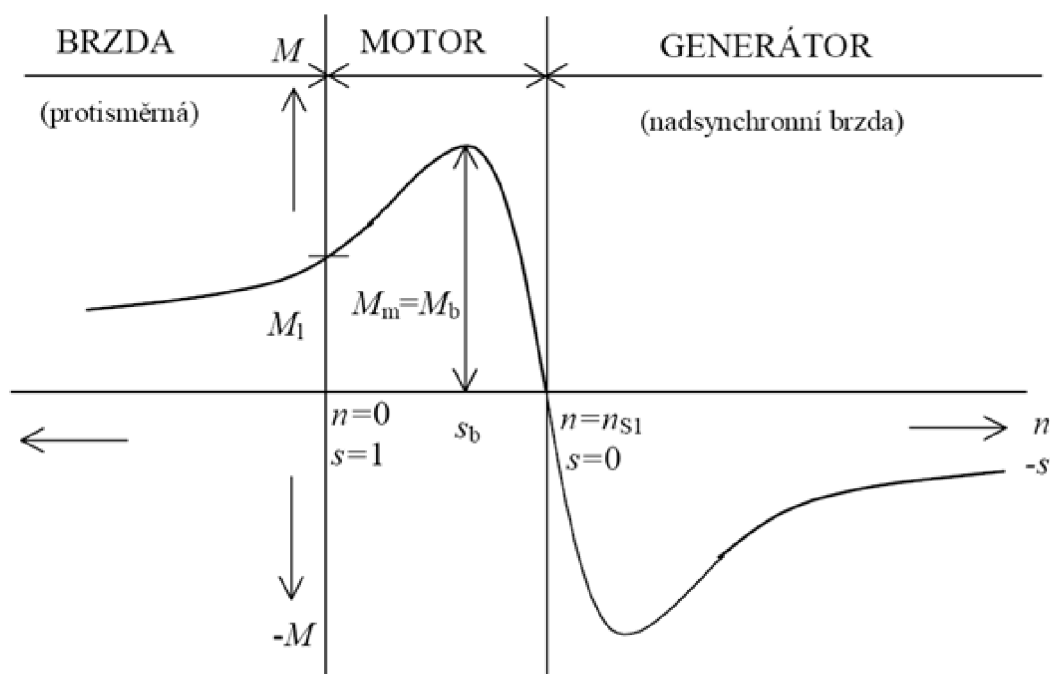
$$\frac{n_s - n}{n_s} 100 = s \quad (1)$$



Obrázek 2.1 Průběh proudu ve třífázové síti [1]

2.2 Chování asynchronního motoru

Na obrázku 2.2 je vidět závislost momentu na otáčkách, která je rozdělena na tři hlavní části. První se nazývá protisměrná brzda. Jde o stav motoru, kdy moment, kterým působí zařízení na hřídel motoru, donutí motor zpomalovat, zastavit a roztočit se v opačném směru. V tomto případě je moment kladný a otáčky záporné, moment motoru klesá s rostoucími zápornými otáčkami a proud odebíraný ze sítě roste. Za těchto podmínek motor pracuje jako brzda, což je pro některé aplikace velmi užitečné, ale zároveň se vlivem nadměrného průtoku proudu tepelně i silově přetěžuje, a proto nelze tento stav provozovat dlouhodobě. Druhá část charakteristiky vyjadřuje přirozený běh motoru. Moment motoru převyšuje zatěžovací moment hnaného zařízení, motor se rozbíhá s dynamickým momentem, který je roven rozdílu momentu motoru a zatěžovacího momentu hnaného zařízení až do chvíle, kdy se tyto momenty budou rovnat, pak se rychlost motoru ustálí. Moment motoru při nulových otáčkách se nazývá záběrový a je to moment, se kterým se motor začne rozbíhat po připojení k síti. S rostoucími otáčkami se moment motoru zvětšuje až do dosažení momentu zvratu. Tento moment je maximální a vyznačuje začátek pracovní části charakteristiky. Od tohoto bodu se moment motoru začne s rostoucími otáčkami zmenšovat až do chvíle, kdy dosáhne rotor synchronních otáček. V té chvíli je moment motoru nulový, což vyplývá z jeho principu otáčení a indukčního zákona. Proud procházející motorem klesá s rostoucími otáčkami, v okamžiku otáčení rotoru synchronními otáčkami je proud tvořen jen ztrátami. Třetí část charakteristiky odpovídá stavu, kdy je motor připojeným zařízením nucen točit se rychlostí větší než synchronními otáčkami, motor přechází do generátorického stavu, smysl napětí a proudů se obrátí a motor je schopen dodávat elektrickou energii do sítě.[1]



Obrázek 2.2 Momentová charakteristika [1]

2.3 Řízení otáček asynchronního motoru

Z rovnice 2 vyplývá, že otáčky motoru se dají měnit změnou skluzu, počtu pólů nebo změnou rychlosti otáčení statorového mag. pole. Řízení změnou skluzu většinou vede k neúsporné regulaci otáček, řízení změnou rychlosti statorového mag. pole vede k použití frekvenčního měniče.

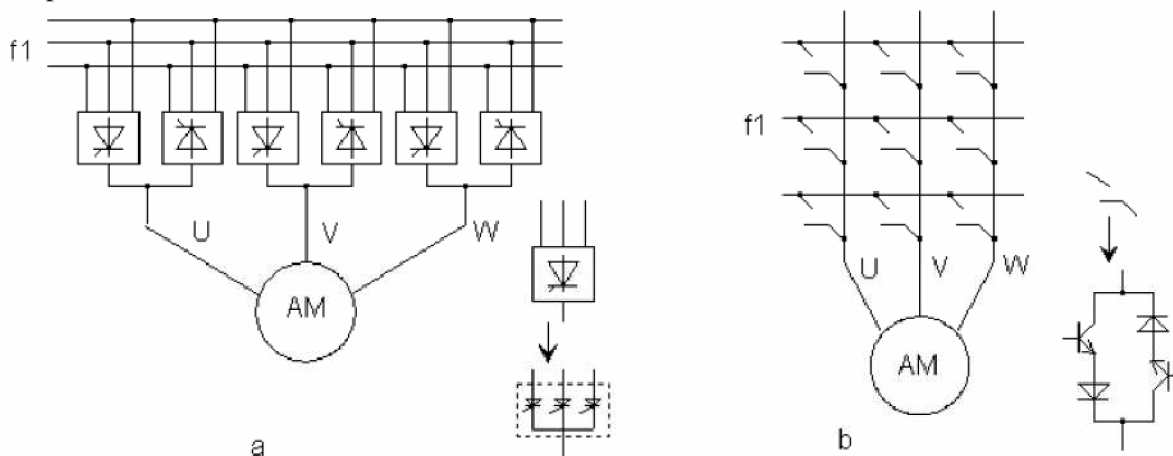
$$n = n_s(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \quad (2)$$

Motory s kotvou kroužkovou lze řídit pomocí zařazování odporů do obvodu rotoru, dochází tak ke změně zatěžovací charakteristiky a jiným ustáleným otáčkám. Tato možnost regulace otáček s sebou nese jednu velkou nevýhodu, a to v podobě kroužků a kartáčů, které se opotřebovávají a snižují tak spolehlivost a bezúdržbovost asynchronních motorů.

Motory s kotvou nakrátko nemají možnost regulace odporu kotvy, regulují se proto změnou napájecího napětí. Změnou napájecího napětí se mění moment motoru a pro určitý zatěžovací moment i ustálené otáčky, moment motoru se mění s napětím kvadraticky, což má za následek změnu otáček jen v omezeném rozsahu. Další možnost řízení otáček, vyplývající z rovnice 2, je změnou počtu pólů, tato regulace je ovšem jen skoková a požaduje speciálně vinutý obvod statoru. V poslední době se stále více mluví o řízení asynchronních motorů frekvenčními měniči, což způsobila cenová dostupnost, jednoduchost ovládání a především také fakt, že lze kombinací frekvenčního měniče a asynchronního motoru dosáhnout téměř vlastností stejnosměrných motorů, tzn. konstantního momentu při v podstatě libovolných otáčkách a jednoduché regulace otáček napětím. [2]

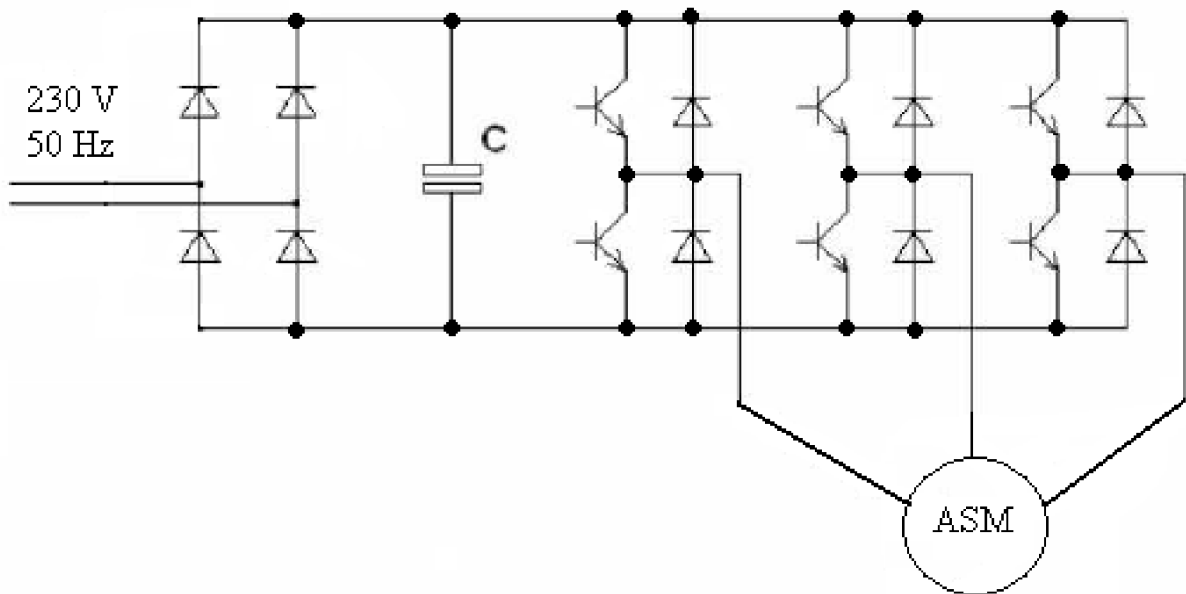
2.3.1 Druhy frekvenčních měničů

Měniče se vyrábí ve dvojím základním provedení. Jedná se o přímé měniče kmitočtu a nepřímé měniče kmitočtu. Přímé měniče kmitočtu se dělí na maticové a cyklokonvertory. Cyklokonvertory (obrázek 2.3a) se skládají ze tří reverzačních tyristorových usměrňovačů, které spínají vstupní frekvenci tak, aby vytvořily jinou výstupní frekvenci. Tímto způsobem lze vytvořit výstupní frekvenci o velikosti až 25% vstupní frekvence, proto se tyto měniče využívají pro pomaloběžné motory s velkými výkony. Maticové měniče (obrázek č. 2.3b) používají vypínatelné tranzistory nebo GTO tyristory, což umožňuje dosáhnout výstupní frekvence vyšší než vstupní. [2]



Obrázek 2.3 Cyklokonvertor a maticový měnič [2]

Nejznámější a nepoužívanější jsou nepřímé měniče kmitočtu. Tyto měniče mají tři hlavní části: usměrňovač, stejnosměrný meziobvod a střídač (obrázek 2.4). V našem případě byl použit jednofázový neřízený můstkový usměrňovač, ovšem u vyšších výkonů se standardně používá šestipulzní usměrňovač. Napěťový meziobvod je tvořen elektrolytickým a svitkovým kondenzátorem. Třífázový střídač je tvořen IGBT nebo MOS-FET tranzistory používající sinusovou pulzně šířkovou modulaci.[2]



Obrázek 2.4 Měnič s napěťovým meziobvodem

3 ROZBOR MOŽNOSTÍ ŘEŠENÍ

Měniče kmitočtu jsou polovodičová zařízení složená z napájecího usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu (kondenzátor) a výstupního střídače, který pracuje obvykle s pulzně šířkovou modulací (PWM). Vstupní usměrňovač je nutné připojit obvykle na jednofázovou napájecí síť (měniče malého výkonu) nebo třífázovou napájecí síť. Na výstupu měniče je proměnné napětí a kmitočet, které umožňují regulaci otáček připojeného třífázového asynchronního motoru, ovšem za podmínky dodržení konstantního poměru mezi napětím a kmitočtem ($U/f = \text{konst.}$). Kdybychom tento poměr nedodrželi, v motoru by mohlo dojít k přesycení magnetizačními proudy a následně ke spálení motoru, což by bylo nevyhovující pro uživatele.

3.1 Silová část

3.1.1 Z diskrétních prvků

Výkonové (silové) součástky se podílejí na ceně průmyslového elektrického pohonu zhruba z jedné třetiny. Tento poměr se samozřejmě může měnit s výkonem pohonu. Cenově nejnáročnější jsou výkonové plně říditelné spínací součástky.

V současnosti se nejvíce užívá tranzistorů. Výkonové MOS-FET tranzistory lze spínat velmi vysokou frekvencí (až 100kHz), používají se však pouze pro aplikace nízkých výkonů, neboť nejsou vhodné pro vysoké napětí a nejsou schopny spínat příliš velké proudy. Proto se dnes s oblibou používají IGBT (*Insulated Gate Bi-polar Transistor*) tranzistory, které v sobě spojují dobré vlastnosti MOS-FET tranzistorů na vstupu (snadné řízení, vysoká spínací frekvence) a bipolárních tranzistorů na výstupu (nízké spínací ztráty, možnost přenosu vysokých výkonů). IGBT tranzistory ovšem pro svou správnou funkci vyžadují antiparalelně připojenou diodu, a to kvůli zpětným proudům, které střídačem protékají během komutací. V oblasti vysokých výkonů jsou stále požívány GTO (*Gate-Turn-Off*) tyristory. Na trhu se objevují i další druhy výkonových polovodičových součástek, které obsahují vlastnosti různých typů spínacích součástek. Např. MCT (*MOS-Contolled Thyristor*), IGCT (*Insulated Gate Controlled Thyristor*) nebo IEGT (*Injection Enhanced Gate Transistor*).

Nejdůležitější výkonovou částí celého pohonu je střídač. Kvalitu spínání a tepelné poměry ovlivňuje hlavně výběr spínacích součástek a příslušných budících obvodů. Velmi důležitý je i návrh plošného spoje a celkové uspořádání součástek kvůli minimalizaci parazitních indukčností, které mohou mít negativní vliv na řídicí součástky a signály.

3.1.2 Bezpotenciálový modul

Použitím moderních modulů dosáhneme výrazné jednoduchosti a přehlednosti, deska plošných spojů je menší, ovšem nevýhodou je cena samotného modulu. Modul FSB50450, který byl použit v tomto projektu, má integrované budiče, což je jeho velkou výhodou. Navíc je za přijatelnou cenu.

3.2 Řídící část

Ať již používáme jakýkoliv princip řízení, požadavek na pohon je stále stejný – přesné a rychlé řízení momentu v co nejširším regulačním rozsahu, včetně nulových otáček. Řídící

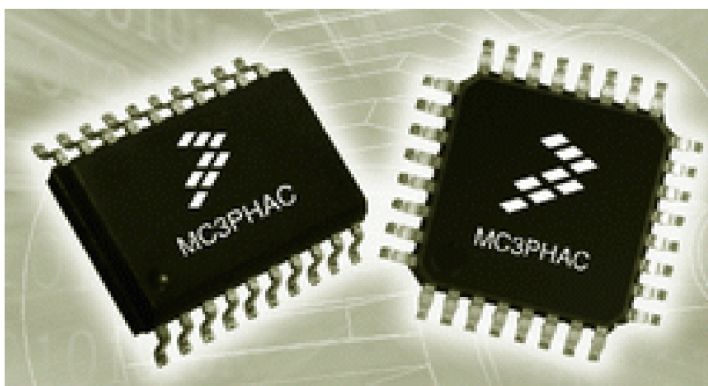
algoritmy jsou realizovány mikropočítačovými obvody či DSP (*Digital Signal Processor*) s vhodnými periferiemi nebo zákaznickými obvody.

3.2.1 Procesor

Jedná se o standardní řešení, procesor nabízí určité funkce využití podle technologie výroby. Programátor musí sestavit program, který ovládá dané funkce procesoru pro jeho využití v praxi, aby mohl fungovat jako řídicí prvek v obvodu.

3.2.2 Zákaznický obvod

Zákaznický obvod je předem naprogramovaný výrobcem, nejedná se o zařízení univerzální, využití má pro specializovanou aplikaci. Pro naši aplikaci je však zcela vyhovující. Jako řídicí prvek byl využit MC3PHAC, který splňuje podmínky pro silovou část měniče.



Obrázek 3.1 Integrovaný obvod MC3PHAC

4 NÁVRH MĚNIČE

Požadovaný měnič bude navrhován pro napájení malého třífázového 100W asynchronního motoru. Měnič bude koncipován jako třífázový střídač, pracující v režimu pulzně-šířkové modulace (PWM). Na vstupní svorky měniče bude přiváděno usměrněné napětí 311V a na výstupních svorkách, kde bude přímo připojen asynchronní motor, je požadováno napětí 3 x 230V, frekvence výstupního střídavého napětí měniče $f = 50\text{Hz}$ a výkon 100W.

4.1 Požadované parametry

Měnič je navržen jako třífázový střídač. Na vstupu střídače je osazen kondenzátor C_F , který filtruje stejnosměrné vstupní napětí U_{IN} ($U_{IN} = 311\text{V DC}$). Z důvodu, že se na tranzistorech bude objevovat závěrné napětí, řádově napětí vstupního meziobvodu, musíme pro zachování napěťové bezpečnosti volit tranzistory se závěrným napětím alespoň 500-600V.

4.2 Dimenzování součástek

Celý návrh tohoto měniče spočívá v dimenzování tranzistorů a nulových diod tak, aby nebyly při kterémkoliv režimu měniče překročeny jmenovité hodnoty udávané výrobcem těchto tranzistorů a nulových diod. Dimenzování tranzistorů spočívá ve zvolení tak velkých tranzistorů, aby nebyl překročen jejich maximální dovolený proud a maximální závěrné napětí, neboť tranzistor má prakticky nulovou proudovou přetížitelnost. Samozřejmě tranzistor musí být dimenzován i výkonově. Výhodou měniče je, že všech šest prvků měniče (tranzistorů a nulových diod) má identické provozní podmínky, a tudíž lze navrhovat pouze jeden z nich a ostatní pak budou identické.

4.2.1 Zadané parametry

Vstupní parametry měniče:

$U_{IN} = 311\text{ V DC}$ – napětí vstupního napěťového meziobvodu

Výstupní parametry měniče:

$U_{UV1ef} = 230\text{ V AC}$ – je efektivní hodnota 1. harmonické sdruženého napětí (mezi větvemi U – V)

$f = 50\text{Hz}$ – frekvence výstupního střídavého napětí měniče

$\cos\varphi = 0,7$ – hodnota účinníku motoru (zátěž měniče)

$P = 100\text{W}$ – maximální výkon motoru

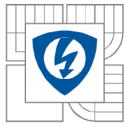
Spínací kmitočet tranzistorů:

$f_s = 15\text{kHz}$ – frekvence spínání tranzistorů

4.2.2 Napěťové a proudové dimenzování tranzistorů a nulových diod

Protože nelze tranzistory krátkodobě přetěžovat, je nutné začít s výpočtem maximálního špičkového proudu tranzistoru. Pro výpočet maximálního proudu tranzistoru měniče lze užít vztah:

$$P = \sqrt{3}U_{UV1ef}I_{U1ef}\cos\varphi \quad (3)$$



Kde U_{UV1ef} je efektivní hodnota 1. harmonického sdruženého napětí (mezi větvemi U – V), I_{U1ef} je ef. hodnota 1. harm. fázového proudu (ve fázi U) a $\cos\varphi$ je typická hodnota účinníku motoru. Ze vztahu (3) vyjádříme proud I_{U1ef} :

$$I_{U1ef} = \frac{P}{\sqrt{3}U_{U1ef} \cos\varphi} \quad (4)$$

Číselně pak:

$$I_{U1ef} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,7}$$

$$I_{U1ef} = 0,358 \text{ A}$$

Výpočet amplitudy 1. harm. fázového proudu (ve fázi U):

$$I_{U1} = I_{U1ef} \sqrt{2} \quad (5)$$

Číselně pak:

$$I_{U1} = 0,358 \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{U1} = 0,507 \text{ A}$$

Tato vypočtená hodnota amplitudy 1. harm. fázového proudu je hledaná hodnota amplitudy maximálního proudu, na kterou musí být dimenzovány tranzistory i nulové diody střídače. Proto můžeme napsat vztah:

$$I_{Cmax} = I_{D0max} = I_{U1} \quad (6)$$

Číselně pak:

$$I_{Cmax} = I_{D0max} = 0,507 \text{ A}$$

Dále vypočteme modulační činitel M , který budeme potřebovat pro další výpočty středních a efektivních proudů protékajících tranzistory a nulovými diodami. Pro výpočet modulačního činitele je nutný nejdříve výpočet amplitudy 1. harmonického sdruženého napětí U_{UV1} .

$$U_{UV1} = U_{UV1ef} \sqrt{2} \quad (7)$$

Modulační činitel M vypočteme podle následujícího vztahu:

$$M = \frac{U_{UV1}}{U_{IN}} = \frac{U_{UV1ef} \sqrt{2}}{U_{IN}} \quad (8)$$

Číselně pak:

$$M = \frac{230 \cdot \sqrt{2}}{311}$$

$$M = 1$$

Maximální proud tranzistorem a nulovou diodou, když zanedbáme zvlnění proudu, pak bude podle vztahu (6):

$$I_{Cmax} = I_{d0max} = I_{U1} \quad (9)$$

$$I_{Cmax} = I_{d0max} = 0,507 \text{ A}$$

Pro vyjádření jednotlivých druhů ztrát musíme vypočítat střední a efektivní proudy na tranzistoru a nulové diodě.

Pro výpočet efektivní hodnoty proudu tranzistoru z jeho amplitudy lze užít vztah:

$$I_{cef} = I_{U1} \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{2M}{3\pi\sqrt{3}} \cos\varphi} \quad (10)$$

Číselně pak:

$$I_{cef} = 0,507 \cdot \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{2 \cdot 1}{3\pi\sqrt{3}} \cdot 0,7}$$
$$I_{cef} = 0,233 \text{ A}$$

Obdobně lze určit střední hodnotu proudu tranzistorem:

$$I_{Cstř} = I_{U1} \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{M}{4\sqrt{3}} \cos\varphi \right) \quad (11)$$

Číselně pak:

$$I_{Cstř} = 0,507 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{1}{4\sqrt{3}} \cdot 0,7 \right)$$
$$I_{Cstř} = 0,132 \text{ A}$$

Pro výpočet efektivní hodnoty proudu nulovou diodou z jeho amplitudové velikosti lze užít vztah:

$$I_{D0ef} = I_{U1} \sqrt{\frac{1}{8} - \frac{2M}{3\pi\sqrt{3}} \cos\varphi} \quad (12)$$

Číselně pak:

$$I_{D0ef} = 0,507 \cdot \sqrt{\frac{1}{8} - \frac{2 \cdot 1}{3\pi\sqrt{3}} \cdot 0,7}$$
$$I_{D0ef} = 0,100 \text{ A}$$

Obdobně lze určit střední hodnotu proudu nulovou diodou:

$$I_{D0stř} = I_{U1} \left(\frac{1}{2\pi} - \frac{M}{4\sqrt{3}} \cos\varphi \right) \quad (13)$$

Číselně pak:

$$I_{D0stř} = 0,507 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} - \frac{1}{4\sqrt{3}} \cdot 0,7 \right)$$
$$I_{D0stř} = 0,029 \text{ A}$$

Tabulka 4-1 Výpočet požadovaných hodnot na tranzistorech a nulových diodách.

Tranzistor			Nulová dioda		
U_{ce}	500	V	U_{RRM}	500	V
I_{cmax}	0,507	A	I_{D0max}	0,507	A
I_{cef}	0,224	A	I_{D0ef}	0,119	A
$I_{cstř}$	0,123	A	$I_{D0stř}$	0,039	A

Tranzistory střídače budou namáhány napětím 500-600V a proudem 0,507 A. Pro realizaci silové části bylo zvoleno moderní řešení využívající tranzistoru MOS-FET s novou technologií FRFET. Konkrétně byl vybrán modul FSB50450, který má tyto parametry:

- Maximální napětí $U_{ces} = 500V$
- Maximální proud při 25°C $I_c = 3A$

Modul je vyhovující, má rezervu na přechodné děje.

4.2.3 Tabulka s parametry FSB50450

Tabulka 4-2 Parametry každého tranzistoru v modulu.

Tranzistor				
U_{CEE}	$T_{vj}=25^{\circ}C$	500	V	
I_{Chom}	$T_c=100^{\circ}C$	1	A	
I_c	$T_c=25^{\circ}C$	1,5	A	
I_{CRM}	$T_c = 25^{\circ}C, P_w < 100\mu s$	3	A	
W_{ON}		85	μJ	
W_{OFF}		11	μJ	
V_{GES}		± 20	V	

Tabulka 4-3 Parametry každé nulové diody v modulu.

Nulová dioda				
U_{RRM}	$T_{vj}=25^{\circ}C$	500	V	
I_{D0}		1	A	
I_{D0RM}	$T_c = 25^{\circ}C, P_w < 100\mu s$	3	A	

5 VÝPOČET ZTRÁT NA MĚNIČI

Celkové ztráty na měniči se vypočítají jako součet přepínacích ztrát na tranzistorech a ztrát vedením na tranzistorech a nulových diodách. Přepínací ztráty na diodách jsou tak malé, že je lze zanedbat. Vypočítané ztráty na měniči jsou pro teplotu stykové plochy pouzdra $T_{vj} = 100^\circ\text{C}$.

5.1 Ztráty vedením

Pro výpočet ztrát vedením na jednom tranzistoru P_C lze užít vztah:

$$P_C = U_{PT}I_{Cstř} + R_{dT}I_{Cef}^2 \quad (14)$$

Kde I_{Cef} a $I_{Cstř}$ jsou střední a efektivní hodnota proudů tranzistoru, které jsme spočítali v předchozí kapitole pomocí vztahu (10) a (11). Dále pak U_{PT} je prahové napětí tranzistoru a R_{dT} je dynamický odpor tranzistoru, tyto hodnoty se odečtou z katalogového listu výrobce.

Odečtené hodnoty tranzistoru z katalogového listu výrobce:

$$U_{PT} = 0\text{V}^1$$
$$R_{dT} = 1,9 \Omega$$

Číselně pak, když dosadíme do vztahu (11):

$$P_C = 0 \cdot 0,123 + 1,9 \cdot 0,224^2$$

$$P_C = 0,095 \text{ W}$$

Ztráty vedením na nulové diodě spočítáme podle vztahu:

$$P_{D0} = U_{PDO}I_{D0stř} + R_{dD0}I_{D0ef}^2 \quad (15)$$

Kde I_{D0ef} a $I_{D0stř}$ jsou střední a efektivní hodnota nulové diody, které byly spočítány v předchozí kapitole pomocí vztahu (12) a (13). Dále pak U_{PDO} je prahové napětí nulové diody a R_{dD0} je dynamický odpor nulové diody, tyto hodnoty se odečtou z katalogového listu výrobce.

Odečtené hodnoty nulové diody z katalogového listu výrobce:

$$U_{PDO} = 1\text{V}$$
$$R_{dD0} = 3 \text{ m}\Omega$$

Číselně dosadíme do vztahu (15):

$$P_{D0} = 0 \cdot 0,039 + 1,9 \cdot 0,119^2$$

$$P_{D0} = 0,039 \text{ W}$$

Ztráty vedením na celém modulu pak budou:

$$P_{ved} = 6(P_C + P_{D0}) \quad (16)$$

Číselně pak:

$$P_{ved} = 6(0,095 + 0,039)$$

$$P_{ved} = 0,804\text{W}$$

¹ $U_{PT}=0$, protože tranzistory MOSFET nemají prahové napětí

5.1.1 Přepínací ztráty

Přepínací ztráty jednoho tranzistoru vypočteme podle vztahu:

$$P_{př1} = \frac{1}{\pi} f_s K (W_{ON} + W_{OFF}) \quad (17)$$

Kde W_{ON} je katalogová hodnota ztrátové energie při spínání proudu I_c , W_{OFF} je katalogová hodnota ztrátové energie při vypínání proudu I_c , K je činitel proudového využití tranzistoru a f_s je kmitočet spínání tranzistoru. Musíme tedy znát proudové využití tranzistoru K , které spočítáme podle následujícího vztahu:

$$K = \frac{I_{U1}}{I_c} \quad (18)$$

Číselně pak:

$$K = \frac{0,507}{1}$$
$$K = 0,507$$

Poté dosadíme číselně do vztahu (17):

$$P_{př1} = \frac{1}{\pi} \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0,507 (85 \cdot 10^{-6} + 11 \cdot 10^{-6})$$

$$P_{př1} = 0,232 \text{ W}$$

Přepínací ztráty tranzistorů na celém modulu:

$$P_{př} = 6P_{př1} \quad (19)$$

Číselně pak:

$$P_{př} = 6 \cdot 0,232$$

$$P_{př} = 1,39 \text{ W}$$

5.1.2 Celkové ztráty a účinnost měniče

Celkové ztráty na měniči určíme ze vztahu:

$$P_Z = P_{ved} + P_{př} \quad (20)$$

Číselně pak:

$$P_Z = 0,804 + 1,39$$

$$P_Z = 2,198 \text{ W}$$

Celková účinnost měniče pak bude:

$$\eta = \frac{P - P_Z}{P} \quad (21)$$

Číselně pak:

$$\eta = \frac{100 - 2,198}{100}$$

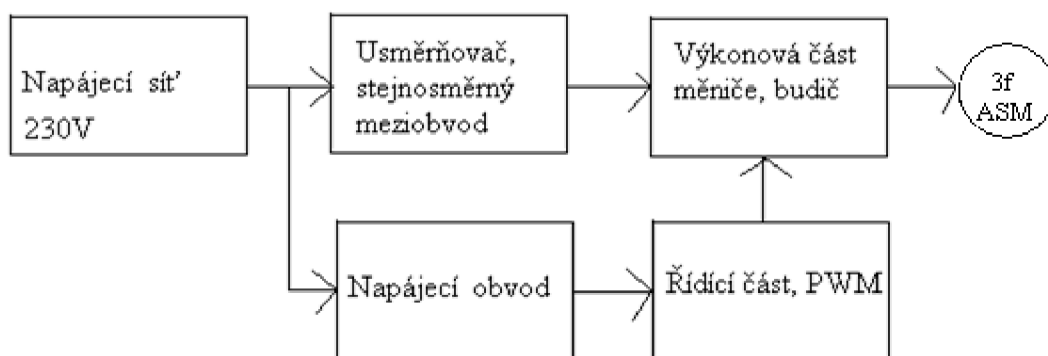
$$\eta = 0,978$$

Střídač bude mít tedy maximální ztráty 2,198W, což odpovídá při přenášení maximálního výkonu 100W a účinnosti 97,8%. Při nižším přenášeném výkonu budou ztráty menší.

6 OBVODOVÉ USPOŘÁDÁNÍ MĚNIČE

6.1 Parametry měniče, celkové blokové schéma

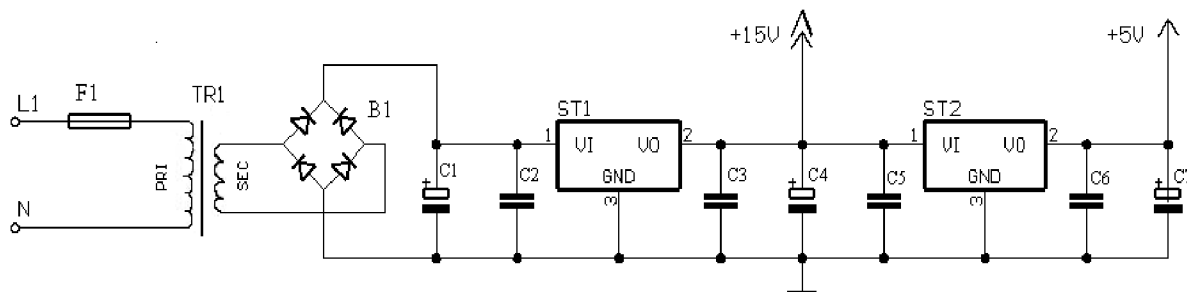
Pro výkonovou část měniče byl vybrán modul FSB50450 vyráběný firmou Fairchild, který obsahuje šest tranzistorů MOS-FET zapojených do tří větví. K řízení měniče je použit integrovaný obvod MC3PHAC od firmy Motorola, který je schopný generovat šest signálů PWM a je přímo určen k řízení pohonů s třífázovými asynchronními motory. Katalogové zapojení obvodu MC3PHAC umožňuje řídit otáčky motoru a velikost počátečního napětí při nulových otáčkách, volný doběh motoru při detekci nadproudu.



Obrázek 6.1 Blokové schéma celého zařízení

6.2 Napájecí část měniče

Přímo na desku plošného spoje je přivedeno síťové napětí, které je transformátorem transformováno na 15,5V střídavého napětí. Pomocí Graetzova můstku a kondenzátorů je střídavé napětí převedeno na stejnosměrné vyfiltrované napětí o velikosti zhruba 16V, které je stabilizátory převedeno na požadované napětí. Stabilizátorem 7815 je napětí stabilizováno na 15V a vyhlazeno kondenzátory pro napájení výkonového modulu. Stabilizátorem 7805 je napětí stabilizováno na 5V pro napájení řídicího obvodu MC3PHAC.



Obrázek 6.2 Schéma napájecího obvodu

6.3 Řídící část měniče (PWM), ovládání

Jako řídicí část měniče byl použit integrovaný obvod MC3PHAC, který vyhovuje základním požadavkům pro použití v třífázovém střídači a je cenově výhodný. Bývá ovládán pomocí počítače přes sériové rozhraní, v našem případě je vhodný samostatný operační mód s využitím jako zákaznický obvod.

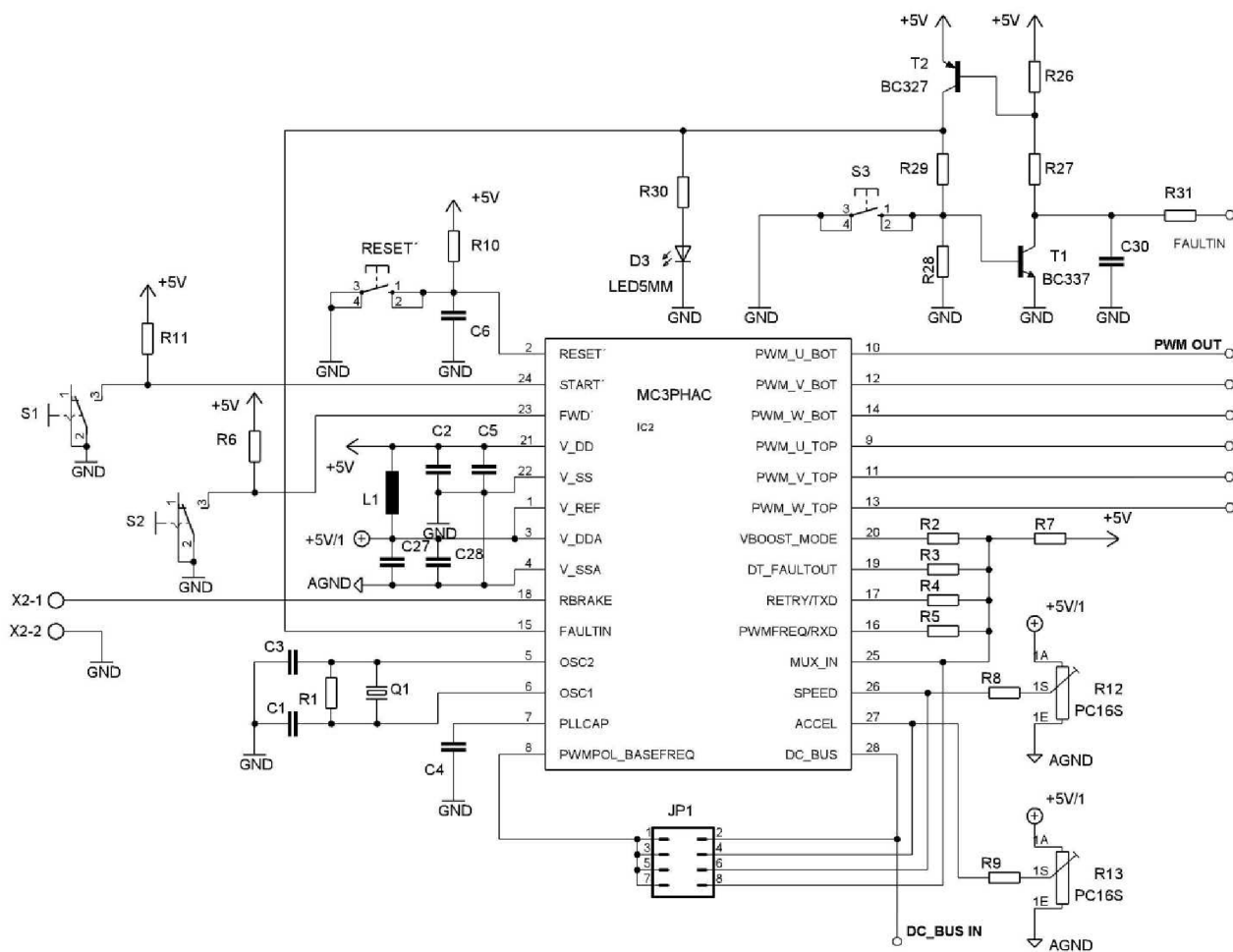
Při startu (resetu) dojde k inicializaci obvodu pomocí pasivních součástek, nastaví se samostatný mód, základní frekvence (50, 60 Hz), polarita PWM, dead-time mezi sepnutím horního a dolního tranzistoru, doba po kterou je blokována PWM při výskytu chyby, off-set napětí při nulové frekvenci, frekvence PWM. Zapojení na obrázku 6.3 je zapojení doporučené výrobcem. [3]

Výstupy PWM_U_TOP, PWM_U_BOT jsou přivedeny na dolní nebo horní tranzistor pro řízení motorové fáze U. Výstupy PWM_V_TOP, PWM_V_BOT jsou přivedeny na dolní nebo horní tranzistor pro řízení motorové fáze V. Výstupy PWM_W_TOP, PWM_W_BOT jsou přivedeny na dolní nebo horní tranzistor pro řízení motorové fáze W. [3]

Na vstup FAULTIN řídicího obvodu je přiveden chybový signál z výkonového modulu. Výkonový modul má výstup V_FO typu otevřený kolektor, proto ho nelze přímo připojit k řídicímu obvodu. Zapojení tranzistorů T_1 , T_2 tvoří tyristor, který se při chybě sepne a drží na výstupu log. 1 do té doby, než je chyba (nadproud) odstraněna a stisknut spínač S_3 , zároveň dojde k zablokování PWM. Když napětí na vstupu FAULIN klesne na log. 0, začne se odpočítávat nastavený čas k opětovnému spuštění PWM. Dioda D_3 signalizuje vzniklou poruchu od výkonového modulu. [3]

Kondenzátor C_4 je připojený na PLLCAP, který určuje rychlost odezvy a stabilitu vnitřního časovacího obvodu. Na vstupy OSC1 a OSC2 je připojen krystalový oscilátor $f = 4\text{MHz}$.

Na vstup V_DD je přivedeno kladné (digitální) napájecí napětí 5 V, zem tohoto napájení je V_SS. Digitální a analogové (V_DDA) napájení je odděleno tlumivkou L_1 , analogová zem je přivedena na V_SSA. Digitální i analogové napájecí napětí je blokováno a vyhlazeno kondenzátory (C_2 , C_5 , C_{27} , C_{28}).



Obrázek 6.3 Schéma zapojení řídicího obvodu [4]

Při sepnutí spínače S_1 dojde ke spuštění PWM. Aby při připojení napájecího napětí nedošlo ke spuštění, musí být na vstupu START (pin 24) nejdříve log. 1. Za chodu měniče se při stisku tlačítka RESET přivede log. 0 na pin 2, dojde k zablokování PWM a nové inicializaci řídicího obvodu.

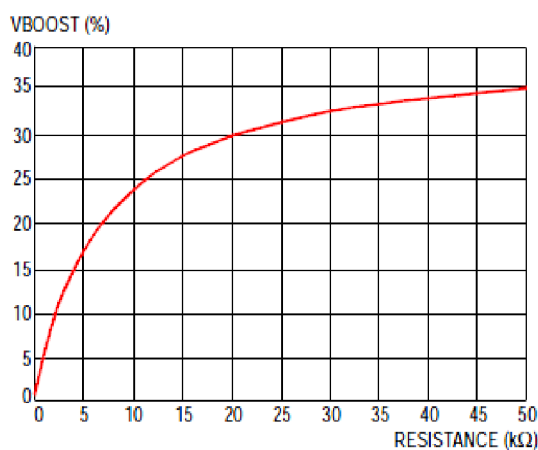
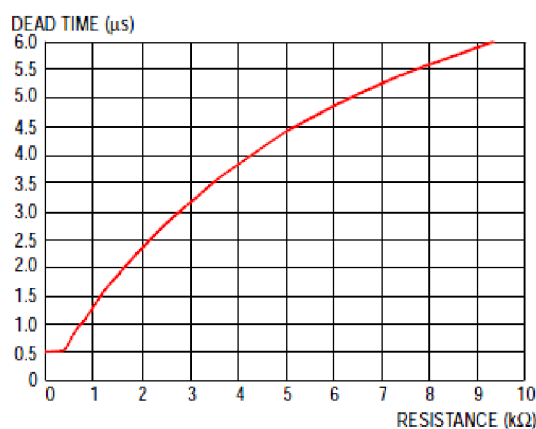
Pomocí spínače S_2 lze měnit směr otáčení motoru. Potenciometrem R_{12} je nastavována frekvence měniče v rozsahu 1 Hz – 128 Hz s poměrem 25,6 Hz/1V. Potenciometrem R_{13} se nastavuje zrychlení motoru v rozsahu 0,5 Hz/s až 125 Hz/s s poměrem (25,6 Hz/s)/1 V.

Jumper JP_1 slouží při inicializaci k nastavení základní frekvence a polarity PWM, jednotlivé kombinace jsou popsány v tabulce 6-1.

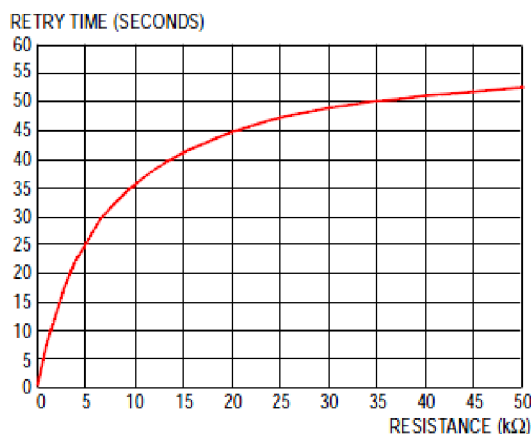
Tabulka 6-1 Nastavení PWM polarity a základní frekvence.

Pin připojený na PWMPOL_BASEFREQ pin	Polarita PWM	Základní frekvence
DC_BUS (JP1-2)	Log. 1 = on	60 Hz
ACCEL (JP3-4)	Log. 0 = on	60 Hz
SPEED (JP5-6)	Log. 1 = on	50 Hz
MUX_IN (JP7-8)	Log. 0 = on	50 Hz

Off-set napětí při nulové frekvenci závisí na R_2 , viz obrázek 6.4. Dead-time mezi sepnutím horního a dolního tranzistoru, závislosti na R_3 , viz obrázek 6.5. Doba, po kterou je blokována PWM při výskytu chyby, závisí na R_4 , viz obrázek 6.6. Frekvence spínání PWM závisí na napětí přivedeném děličem R_5 , R_7 na pin 25 (MUX_IN), viz tabulka 6-2.


 Obrázek 6.4 Závislost off-set napětí na velikosti odporu R_2 [4]


Obrázek 6.5 Dead-time v závislosti na velikosti odporu [4]



Obrázek 6.6 Doba blokování PWM v závislost na R_4 [4]

Tabulka 6-2 Závislost spínací frekvence PWM na napětí děliče R_5, R_7

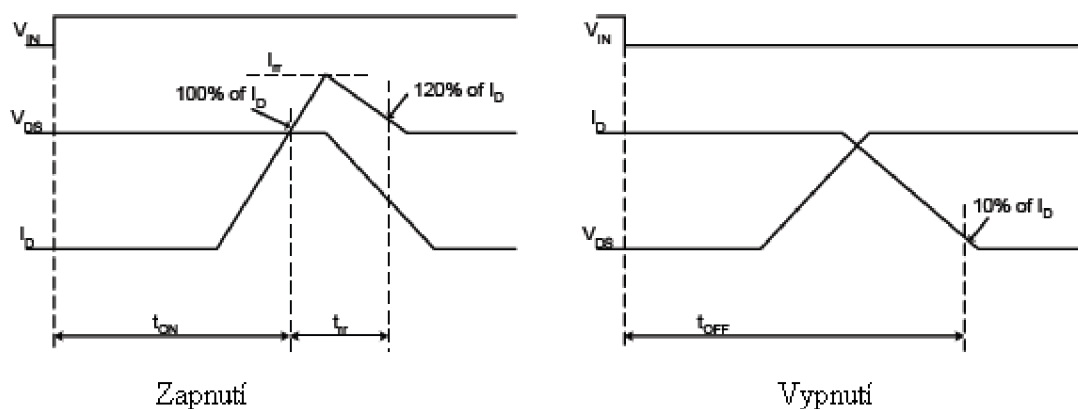
Vstupní napětí	Frekvence PWM
0 to 1 V	5.291 kHz
1.5 to 2.25 V	10.582 kHz
2.75 to 3.5 V	15.873 kHz
4 to 5 V	21.164 kHz

6.4 Výkonová část měniče, budič

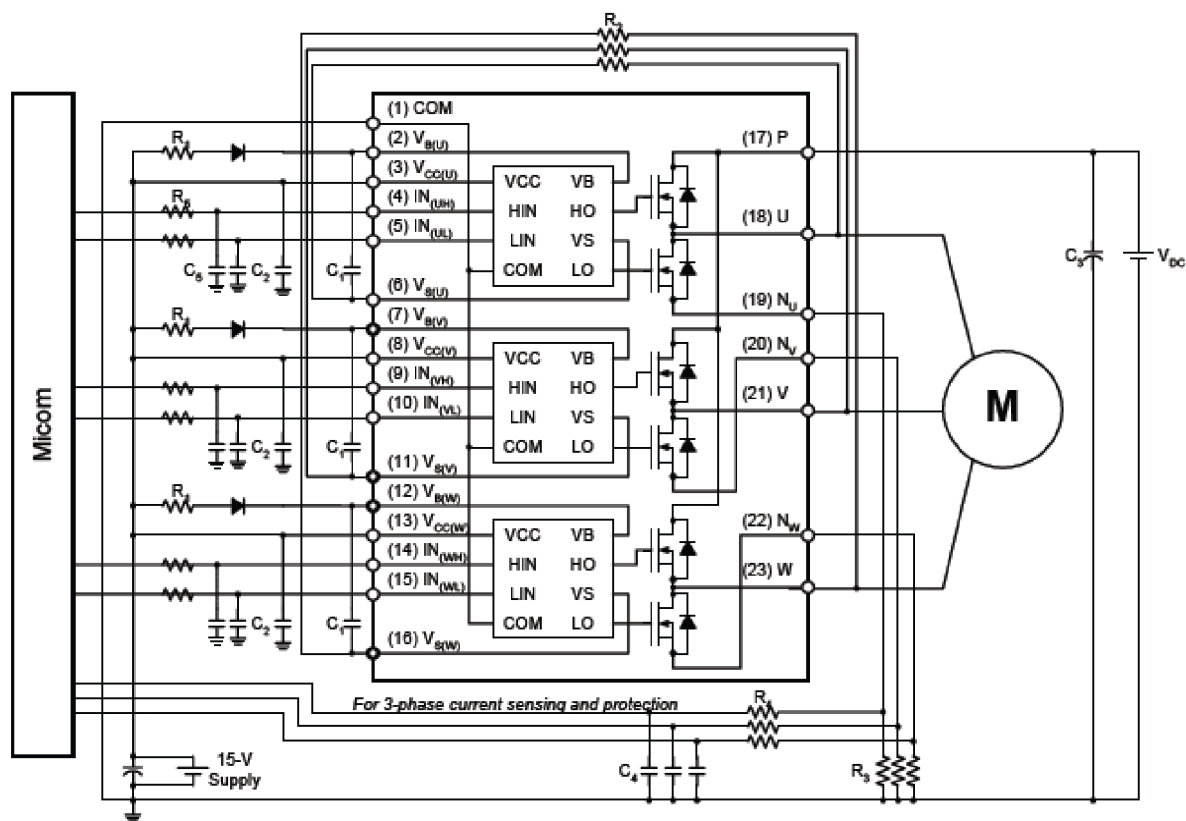
6.4.1 Základní vlastnosti, obvodové zapojení FSB50450

Výkonová část měniče je realizována pomocí obvodu FSB50450 založeného na FRFET technologii, kde dioda má lepší zotavovací vlastnosti, což má za následek nižší ztráty energie systému a vyšší pracovní frekvenci. Tento obvod obsahuje šest tranzistorů MOS-FET, tedy každá dvojice (horní a dolní tranzistor) je spojena do série a tvoří jednu větev třífázového střídače. Signály z řídicího obvodu jsou přivedeny na vstupy budičů PWM (H) a PWM (L) pro horní a dolní tranzistory, viz obrázek 6.8. FSB50450S nabízí nízké elektromagnetické rušení a charakteristiku s optimalizovanou spínací rychlostí. Přepínací časy jsou blíže specifikovány na obrázku 6.7.

- 500V; 3A; 3-fázový invertor FRFET včetně vysokého napětí; integrovaný obvod
- 3 dc-link vývody pro snímání proudu měniče zařízení
- 3/5V CMOS/TTL kompatibilní, aktivní logická 1
- optimalizované pro nízké elektromagnetické rušení



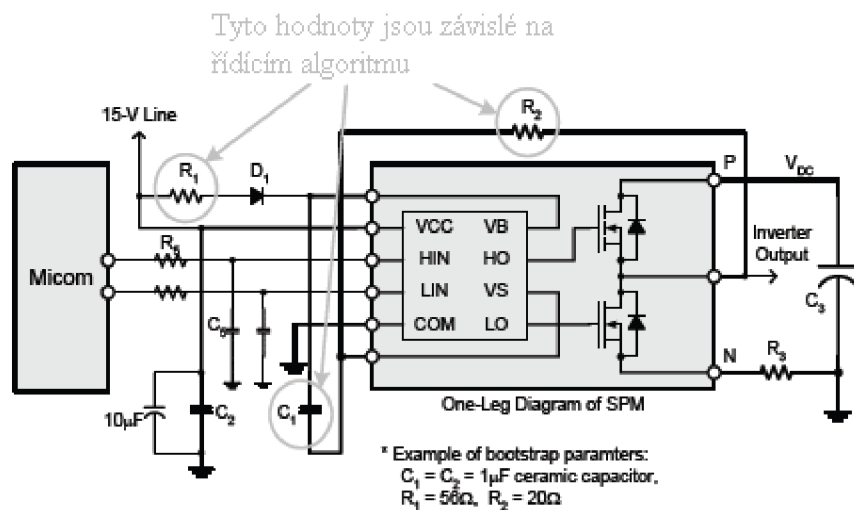
Obrázek 6.7 Definice přepínacích časů [5]



Obrázek 6.8 Schéma zapojení výkonové části [5]

6.4.2 Návrh součástek se zapojením FSB50450

Součástky byly použity podle katalogového návrhu, pouze kondenzátory byly použity impulzní (malý sériový odpor a indukčnost). Součástky R_4 , R_5 , C_4 v bakalářské práci nemáme zapojené, protože se nám jedná pouze o vyzkoušení funkce FSB50450 jako výkonového prvku tohoto zařízení a zda navržené zařízení doopravdy funguje.

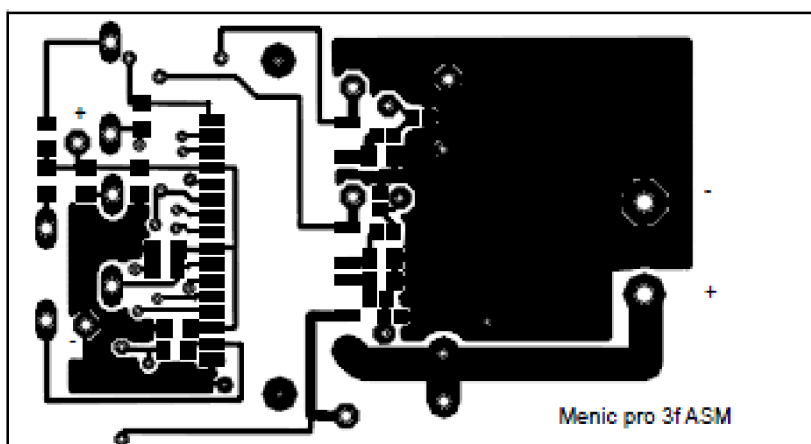


Obrázek 6.9 Parametry součástek [5]

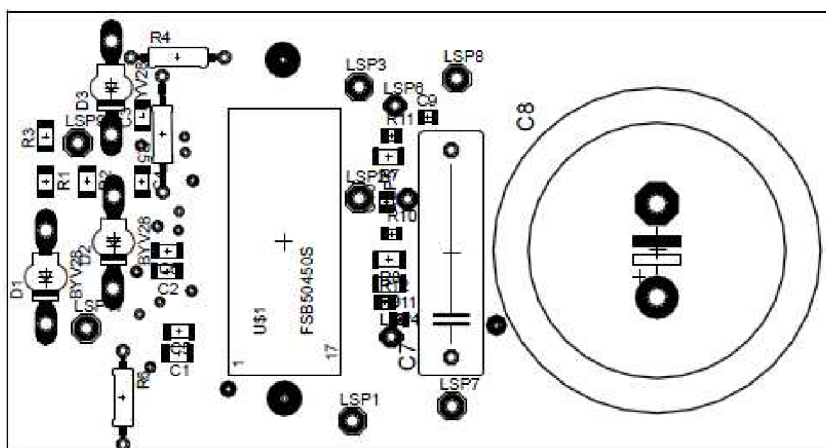
7 POKUSNÁ REALIZACE MĚNIČE

7.1 Deska plošných spojů výkonové části

Deska plošných spojů (DPS) výkonové části měniče byla navržena za pomocí softwaru EAGLE-5.10.0 podle katalogového zapojení. Součástky R₄, R₅, C₄ nejsou momentálně zapojeny, protože zatím není dořešena proudová regulace. Piny z modulu připojené k těmto součástkám jsou prozatím připojeny na zem, zařízení pracuje bez proudové regulace. DPS najdeme zobrazenou na obrázku 7.1 a návrh s osazením součástek na obrázku 7.2. Rozměry desky plošných spojů jsou 90x50 mm, finální zařízení bude mít úplně jinou velikost.

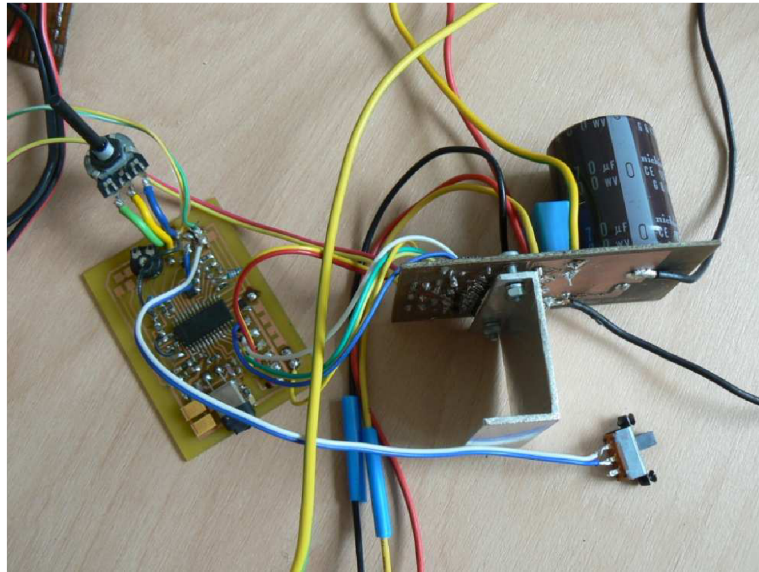


Obrázek 7.1 DPS ze strany spojů výkonové části



Obrázek 7.2 Umístění součástek na DPS výkonové části

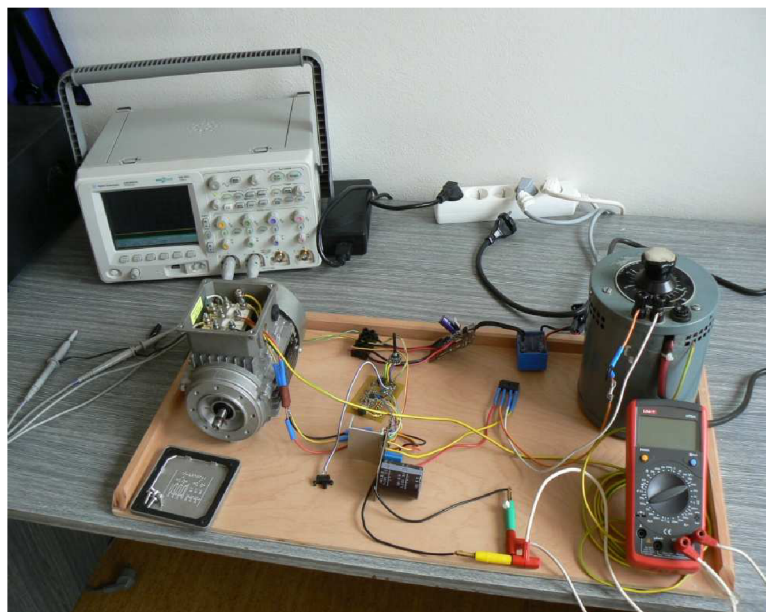
DPS byla vyleptána a osazena součástkami, výkonový modul byl opatřen provizorním chladičem. Finální zařízení bude mít chladič tovární výroby podle spočítaných parametrů. Výkonová část byla nejprve ozkoušena, stejně jako řídicí část, než byly vzájemně propojeny vodiči.



Obrázek 7.3 Zapojení desky pokusného měniče s řídicím obvodem

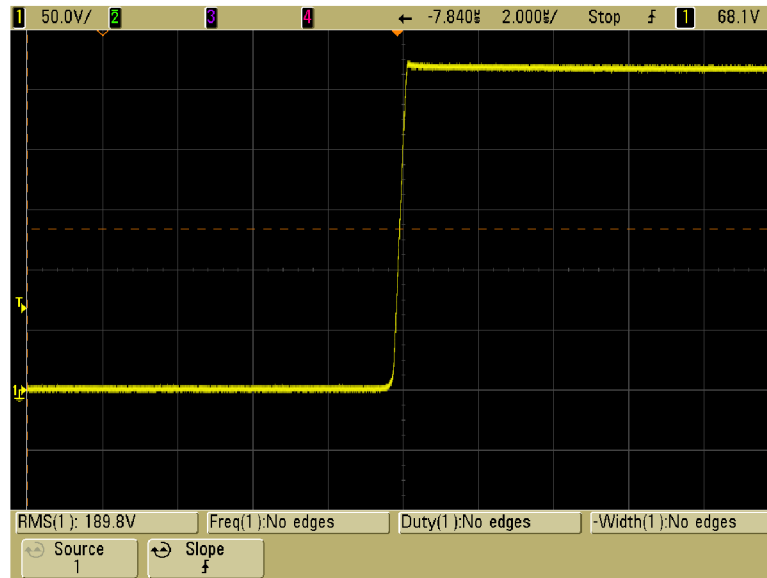
7.2 Měření na pracovišti

Zařízení bylo připojeno přes autotransfornátor k síti. Na autotransfornátoru se postupně zvyšovala hodnota napětí až na požadovanou hodnotu, aby nedošlo k proudové špičce a následnému spálení usměrňovače nabíjecím proudem kondenzátoru. V pokusné konstrukci není dořešeno proudové omezení. Byly proměřeny hodnoty napětí na nábojové pumpě, pro ověření správnosti spínání tranzistorů. Naměřená hodnota 15V odpovídala našemu teoretickému předpokladu. Na osciloskopu byly pro kontrolu zobrazeny důležité průběhy.

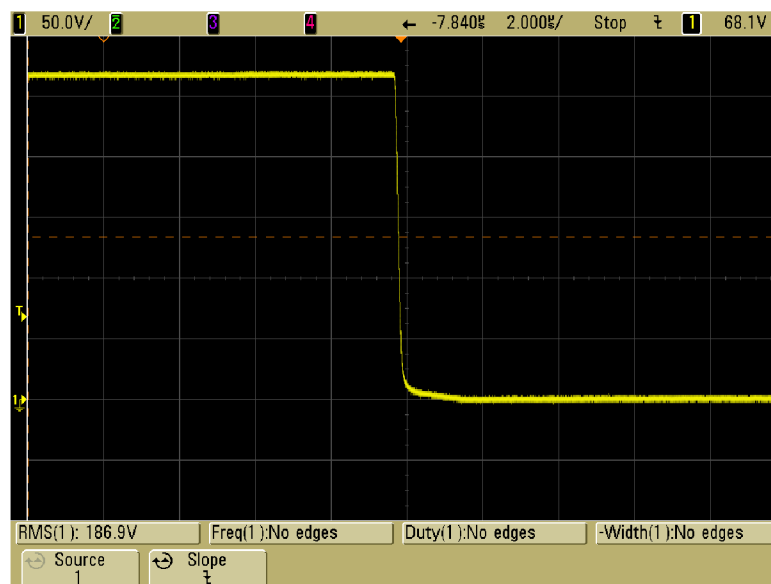


Obrázek 7.4 Pracoviště při testování měniče

Pro ověření funkčnosti byly zobrazeny přepínací děje. Jak je vidět na obrázcích 7.5 a 7.6, časová osa má měřítko $2 \mu\text{s}/\text{dílek}$, tudíž můžeme říci, že přepínací děje jsou v pořádku a vyhovují našemu předpokladu.

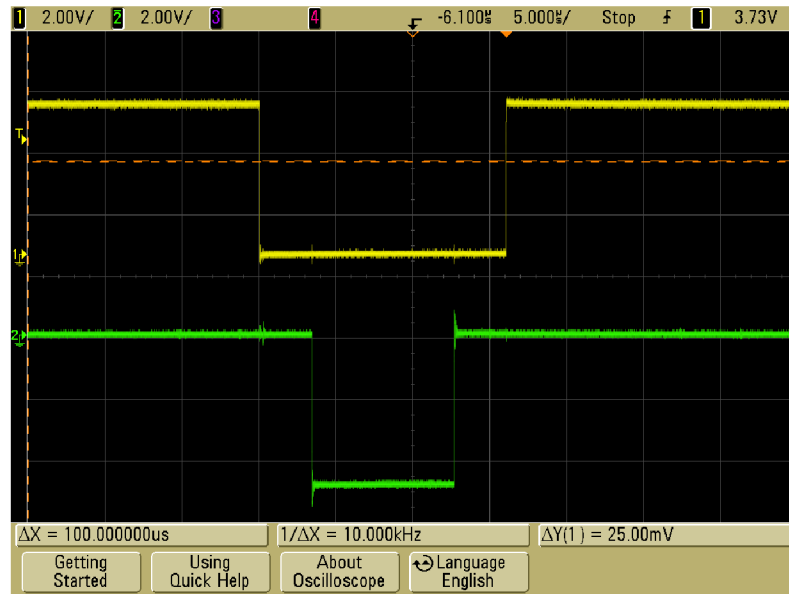


Obrázek 7.5 Detail přepínacího děje – nástupná hrana

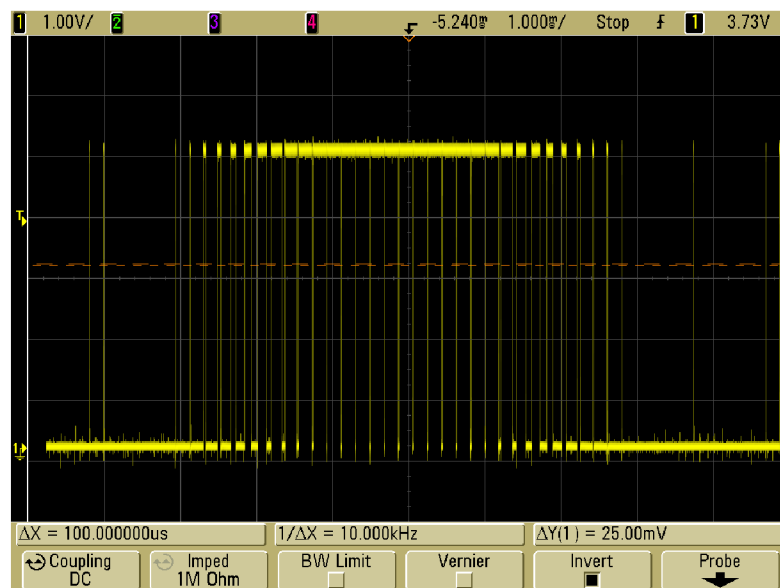


Obrázek 7.6 Detail přepínacího děje – sestupná hrana

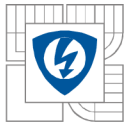
U řídicího obvodu bylo prověřeno spínání pro horní a dolní tranzistor. Jak je vidět na obrázku 7.7, zařízení funguje správně. Doba DEAD-TIME odpovídá katalogovým hodnotám integrovaného obvodu MC3PHAC. Na obrázku 7.8 je vidět detail sinusové pulzní modulace.



Obrázek 7.7 Detail Dead-Time



Obrázek 7.8 Detail sinusové pulzní modulace napětí



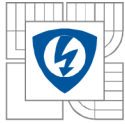
8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu a možnostech řešení třífázového frekvenčního měniče malého výkonu pro asynchronní motor. Navržené zařízení je bez galvanického oddělení řídicí a výkonové části, je koncipováno pro asynchronní motor do 100W. Díky použití integrovaných obvodů je zařízení přehledné a má jednoduché obvodové zapojení. U měniče byl zhotoven návrh silové části, dimenzování spínacích prvků (tranzistorů a nulových diod) a poté byl proveden výpočet ztrát na měniči pro zvolené součástky.

Pro test řídicí části měniče byl vyroben modul s integrovaným obvodem MC3PHAC, pracující v samostatném módu. Základní funkcí řídicího obvodu je generování signálu PWM pro šest tranzistorů výkonového obvodu s možností regulace $U/f = \text{konst.}$

Výkonovou část měniče tvoří integrovaný obvod FSB50450S, který obsahuje šest tranzistorů MOS-FET. Každá dvojice (horní a dolní tranzistor) je spojena do série a tvoří jednu větev třífázového měniče. Zařízení s obvodem FSB50450S bylo zapojeno podle katalogového schématu a navrženo v programu EAGLE-5.10.0. Zařízení bylo prototypně zkonstruováno a ozkoušeno.

V diplomové práci bude realizována finální verze měniče včetně proudového omezení i kompletního napájení. Lze předpokládat, že zařízení bude úspěšně realizováno a bude mít komerční úspěch pro určité aplikace.



LITERATURA

- [1] KOCMAN, S. *Synchronní stroje*. Ostrava: VŠB-TUP, Katedra obecné elektrotechniky, 2000, 10s. [online] [cit. 2011-05-12] Dostupný z www: URL: <http://fei.vsb.cz/kat452/Vsb.cz/elektrotechnika/sylaby/synchronni%20stroje.pdf>
- [2] KOVÁŘ, P. *Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno 2010. 64s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D.
- [3] MOŠTĚK, P. *Frekvenční měnič malého výkonu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.
- [4] Dokumentace firmy Fairchild Semiconductor k integrovanému obvodu MC3PHAC/D 3-Phase AC Motor Controller <http://www.freescale.com>
- [5] Dokumentace firmy Fairchild Semiconductor k integrovanému obvodu FSB50450S Smart Power Module - <http://www.fairchildsemi.com>
- [6] PATOČKA, M. *Vybrané stati z výkonové elektroniky, Svazek I - Tepelné jevy, činný výkon*. Skriptum VUT Brno, FEKT, Brno 2002, vydání druhé.
- [7] PATOČKA, M. *Vybrané stati z výkonové elektroniky, Svazek II - Pulzní měniče bez VF. impulzního transformátoru*. Skriptum VUT Brno, FEKT, Brno 2002, vydání druhé.
- [8] PATOČKA, M. *Matematický nástroj pro analýzu PWM signálů, jeho užití ve střídavých pohonech* [online]. BRNO : VUTIUM, 2000. 26 s. Habilitační práce. VUT BRNO. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz>. ISBN 80-214-1646-7.