

# 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

JEDNODUCHÝ MĚNIČ PRO MALÝ 3F ASYNCHRONNÍ MOTOR 100 W

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ PILCH

BRNO 2015



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

## JEDNODUCHÝ MĚNIČ PRO MALÝ 3F ASYNCHRONNÍ MOTOR 100 W

SIMPLE CONVERTER FOR THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR 100 W

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ PILCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DALIBOR ČERVINKA, Ph.D.

BRNO 2015



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:** Tomáš Pilch

**ID:** 154834

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

**Jednoduchý měnič pro malý 3f asynchronní motor 100 W**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Oživte měnič navržený v rámci SP.
2. Proveďte zkoušky a zatěžovací testy měniče.
3. Vypracujte zjednodušené výrobní podklady pro výrobu měniče dle pokynů vedoucího.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] PATOCKA, Miroslav. Vybrané state z výkonové elektroniky - svazek II: Pulsní menice bez transformátoru. Brno, 2005.

[2] Vorel P., Patocka M., Prumyslová elektronika, Vydání 1., skriptum FEKT VUT Brno, 2007 [3] Petrov G. N., Elektrické stroje. Academia Praha 1983 ISBN: 509-21-857 [4] SKALICKÝ, J. Navrhování elektrických pohonu. Navrhování elektrických pohonu. Brno: VUT FEKT, 2002.

**Termín zadání:** 22.9.2014

**Termín odevzdání:** 2.6.2015

**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 optimalizaci stávajícího třífázového měniče pro asynchronní motor na větší výkon s použitím jiného obvodu střídače. Teoreticky by teď mělo být možné řídit motor o výkonu až 2 kW.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Frekvenční měnič; střídač; IGBT tranzistor; asynchronní motor.

## **ABSTRACT**

The aim of this Bachelor thesis is to propose a optimization of an already implemented three-phase frequency converter to the higher electric output, using a different chopper circuit. Teoretically is possible to drive an asynchronous motor with power up to 2 kW.

## **KEYWORDS**

Frequency converter; chopper; IGBT transistor; asynchronous motor.

PILCH, Tomáš *Jednoduchý měnič pro 3f asynchronní motor*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2014/2015. 44 s. Vedoucí práce byl Ing. Dalibor Červinka, PhD.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Jednoduchý měnič pro 3f asynchronní motor“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Daliboru Červinkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>11</b>
<b>Úvod</b>	<b>13</b>
<b>1 Asynchronní motor</b>	<b>14</b>
1.1 Provedení asynchronního motoru . . . . .	14
1.2 Princip činnosti asynchronního motoru . . . . .	15
1.3 Práce asynchronního motoru . . . . .	15
1.3.1 Brzdňý režim . . . . .	16
1.3.2 Motorický režim . . . . .	16
1.3.3 Generátorický režim . . . . .	16
1.4 Brždění asynchronního motoru . . . . .	17
1.4.1 Brždění protiproudem . . . . .	17
1.4.2 Brždění generátorické . . . . .	17
1.4.3 Dynamické brždění . . . . .	17
1.5 Spouštění asynchronního motoru . . . . .	17
1.6 Řízení rychlosti 3f asynchronního motoru . . . . .	18
1.6.1 Přepínáním počtu pólů . . . . .	18
1.6.2 Změnou skluzu a napájecího napětí . . . . .	18
1.6.3 Změnou napětí a frekvence . . . . .	18
<b>2 Frekvenční měnič</b>	<b>19</b>
2.1 Princip funkce frekvenčního měniče . . . . .	19
2.2 Typy frekvenčních měničů . . . . .	19
<b>3 Možnosti řešení</b>	<b>21</b>
3.1 Silová část měniče . . . . .	21
3.1.1 Použití diskretních prvků . . . . .	21
3.1.2 Použití bezpotenciálového modulu . . . . .	21
3.2 Řídící část měniče . . . . .	22
3.2.1 Řízení mikroprocesorem . . . . .	22
3.2.2 Řízení zákaznickým obvodem . . . . .	22
<b>4 Výběr zákaznického obvodu střídače</b>	<b>23</b>
4.1 Původní střídač Fairchild FSB50450 . . . . .	23
4.2 Sanyo STK621-041A-E . . . . .	24
4.3 International Rectifier IRAMY20UP60B . . . . .	25
4.4 Fairchild FSAM15SH60A . . . . .	26

4.5	Srovnání obvodů . . . . .	27
4.6	Princip funkce nadproudové ochrany . . . . .	27
4.6.1	Konkrétní řešení u jednotlivých výrobců . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Návrh měniče</b>	<b>29</b>
5.1	Parametry měniče . . . . .	29
5.2	Řešení řídicí části . . . . .	29
5.3	Řešení silové části . . . . .	31
5.3.1	Usměrňovač . . . . .	31
5.3.2	Dimenzování usměrňovače . . . . .	32
5.3.3	Dimenzování tranzistorů střídače . . . . .	33
5.3.4	Modul IRAMY20UP60B . . . . .	35
5.3.5	Výpočet ztrát frekvenčního měniče . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Realizace a měření</b>	<b>38</b>
6.1	Realizace DPS . . . . .	38
6.2	Měření . . . . .	40
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>42</b>
	<b>Literatura</b>	<b>43</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Uspořádání hlavních částí asynchronního motoru . . . . .	14
1.2	Momentová charakteristika asynchronního stroje . . . . .	16
2.1	Cyklonkonvertorový a maticový měnič . . . . .	20
2.2	Nepřímý měnič kmitočtu . . . . .	20
4.1	Schéma zapojení střídače Fairchild FSB50450 . . . . .	23
4.2	Schéma zapojení střídače Sanyo STK621-041A-E . . . . .	24
4.3	Schéma zapojení střídače International Rectifier IRAMY20UP60B . . . . .	25
4.4	Schéma zapojení střídače Fairchild FSAM15SH60 . . . . .	26
5.1	Schéma zapojení řídicího obvodu MC3PHAC . . . . .	31
5.2	Schéma dvojcestného usměrňovače se sběracím kondenzátorem . . . . .	32
5.3	Vnitřní schéma střídače IRAMY20UP60B . . . . .	35
5.4	Závislost celkových ztrát měniče na výstupním fázovém proudu a různých frekvencích . . . . .	37
6.1	Návrh DPS silové části měniče ze strany spojů . . . . .	38
6.2	Umístění součástek na DPS silové části měniče . . . . .	39
6.3	Pracoviště pro testování . . . . .	40
6.4	Štítek měřeného asynchronního motoru . . . . .	40
6.5	Závislost velikosti statorového napětí na jeho frekvenci . . . . .	41
6.6	Zatěžovací charakteristika pohonu . . . . .	41

## SEZNAM TABULEK

4.1	Srovnání parametrů jednotlivých obvodů střídače . . . . .	27
6.1	BoM - seznam použitých součástek . . . . .	39



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Značka	Popis	Jednotka
$n_s$	Otáčky magnetického pole statoru	$[min^{-1}]$
$n$	Otáčky rotoru	$[min^{-1}]$
$s$	Skruz asynchronního motoru	$[-]$
$s\%$	Procentuální skruz asynchronního motoru	$[\%]$
$U_1$	Napájecí napětí	$[V]$
$f_1$	Frekvence napájecího napětí	$[Hz]$
$p$	Počet pólových dvojic	$[-]$
$V_{CE}$	Závěrné napětí tranzistoru	$[V]$
$I_c$	Kolektorový proud	$[A]$
$f_{PWM}$	Frekvence pulsně šířkové modulace	$[Hz]$
$U_{IN}$	Usměrněné a vyfiltrované napětí na výstupu z meziobvodu	$[V]$
$U_{UVef}$	Efektivní hodnota sdruženého napětí mezi fázemi	$[V]$
$P$	Výkon motoru	$[W]$
$I_d$	Střední hodnota proudu na výstupu usměrňovače	$[A]$
$I_z$	Střední hodnota proudu zátěže, na vstupu do střídače	$[A]$
$I_{Davg}$	Střední hodnota proudu tekoucí diodou usměrňovače	$[A]$
$I_{Uef}$	Efektivní hodnota fázového proudu	$[A]$
$\cos\varphi$	Účinitel	$[-]$
$I_U$	Amplituda fázového proudu	$[A]$
$I_{Tmax}$	Amplituda proudu tekoucí tranzistorem střídače	$[A]$
$I_{D0max}$	Amplituda proudu tekoucí nulovou diodou střídače	$[A]$
$U_{UV}$	Amplituda sdruženého napětí	$[V]$
$M$	Modulační činitel	$[-]$



$I_{Tef}$	Efektivní hodnota proudu tekoucí tranzistorem	[A]
$I_{Tavg}$	Střední hodnota proudu tekoucí tranzistorem	[A]
$I_{D0ef}$	Efektivní hodnota proudu tekoucí nulovou diodou	[A]
$I_{D0avg}$	Střední hodnota proudu tekoucí nulovou diodou	[A]
$P_{condT}$	Ztráty vedení na tranzistoru	[W]
$V_{CE(on)}$	Saturační napětí tranzistoru	[V]
$D$	Střída	[-]
$P_{cond}$	Celkové ztráty vedením	[W]
$P_{swT}$	Přepínací ztráty tranzistoru	[W]
$E_{On}$	Ztráty energie při zapínacím ději	[J]
$E_{Off}$	Ztráty energie při vypínacím ději	[J]
$P_{sw}$	Celkové přepínací ztráty	[W]
$P_d$	Celkové ztráty měniče	[W]



## ÚVOD

Hlavními požadavky zákazníků na pohon s asynchronním motorem je vysoká účinnost, regulace, životnost a spolehlivost. Zároveň ale vyžadují co nejmenší rozměry, společně s co nejmenšími náklady na zařízení. Tyto aspekty se však mnohdy vylučují.

Se vznikem frekvenčního měniče vzrostl význam a škála použití asynchronního motoru. Frekvenční měnič přinesl plynulou regulaci otáček asynchronního motoru, který se využívá zejména u jednoduchých aplikací jako jsou čerpadla, výtahy, kompresory, ventilátory, dmychadla, atd.

Úkolem této práce je optimalizovat již vytvořený frekvenční měnič pro malý asynchronní motor o výkonu 100 W. Optimalizace spočívá v použití lepšího obvodu střídače frekvenčního měniče a návrhu nové desky plošného spoje. Jiný obvod střídače umožní připojit motor většího výkonu, ochránit tento motor proti elektrickým zkratům, tepelnému poškození a vlivům podpětí.

V první polovině práce se řeší návrh silové části měniče, spolu s rozбором možných řešení. Koncepte frekvenčního měniče je zvolena jako třífázový střídač v režimu PWM. Jako střídač frekvenčního měniče je použit bezpotenciálový modul, namísto realizace pomocí diskrétních součástek. Práce dále obsahuje dimenzování výkonových tranzistorů, pro výběr vhodného modulu střídače, dimenzování potřebného obvodu usměrňovače a výpočet ztrát frekvenčního měniče, pro již zvolený modul.

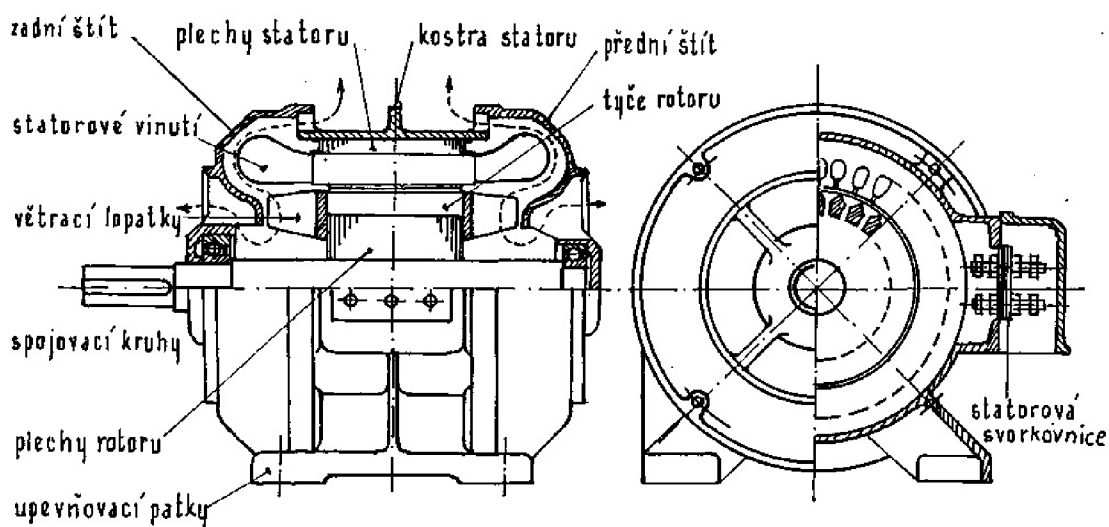
V druhé polovině došlo k výrobě desky plošného spoje měniče, osazení součástkami a oživení. Dále byly provedeny zkoušky měniče připojeného k asynchronnímu motoru.

# 1 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Asynchronní stroje patří do velké skupiny elektrických strojů, které přeměňují elektrickou energii na mechanickou a naopak. Elektrické stroje dělíme na motory, které mění elektrickou energii na mechanickou a generátory, které naopak mění mechanickou energii na elektrickou. Asynchronní stroje se ovšem používají výhradně jako motory s lineárním nebo otáčivým pohybem. Největší výhodou asynchronního stroje je jeho jednoduchost, bezúdržbovost nízká cena.

## 1.1 Provedení asynchronního motoru

Stejně jako ostatní elektrické stroje, se asynchronní motor skládá z pevné části (statoru) a pohyblivé části (rotoru). Stator je složen z litinové, svařované nebo hliníkové konstrukce a dvou ložiskových štítů. V kostře statoru jsou nalisovány plechy, které jsou navzájem odizolovány a tvoří magnetickou část obvodu stroje. Rotorové plechy jsou nalisovány na otáčející se hřídeli. Pohyb rotoru umožňuje vzduchová mezera mezi rotorem a státorem, kterou vymezují ložiska v již zmíněných ložiskových štítech. Uspořádání asynchronního stroje je na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Uspořádání hlavních částí asynchronního motoru [1]

Statorové vinutí, uložené v drážkách, bývá obvykle trojfázové, ale může být i jedno či dvoufázové, jehož začátky i konce jsou vyvedeny na statorovou svorkovnici. Rotorovému vinutí, které je rovněž uloženo v drážkách rotoru, se říká kotva. U motorů větších výkonů, jsou měděné, popřípadě mosazné neizolované vodiče v drážkách

spojeny spojovacími kroužky. Menším motorům se vinutí odlévá spolu s větracími lopatkami z hliníku, a tomuto vinutí říkáme klecové. Motory s vinutým rotorem a kroužky je v drážkách uloženo trojfázové vinutí z izolovaných vodičů. Začátky fází jsou spojeny do uzlu a jejich konce připojeny ke třem sběracím kroužkům a ty přilehají ke kartáčům. Tímto způsobem se k motoru připojují zařízení pro regulaci otáček a rozběhu. [1]

## 1.2 Princip činnosti asynchronního motoru

Princip spočívá ve vzájemném působení elektromagnetického točivého pole statoru a rotoru. Jednotlivé statorové cívky jsou prostorově posunuty o  $120^\circ$ , vytvářejí magnetické pole protínající vodiče rotoru, ve kterých se indukuje napětí. Toto napětí vzniká pouze za předpokladu relativního pohybu magnetického pole statoru, vůči pohybu rotoru. Tedy jiné otáčky magnetického pole statoru  $n_s$ , vůči otáčkám rotoru  $n$ . Tento rozdíl otáček nazýváme skluz a je dán vztahem (1.1) a (1.2).

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad [-] \quad (1.1)$$

$$s\% = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.2)$$

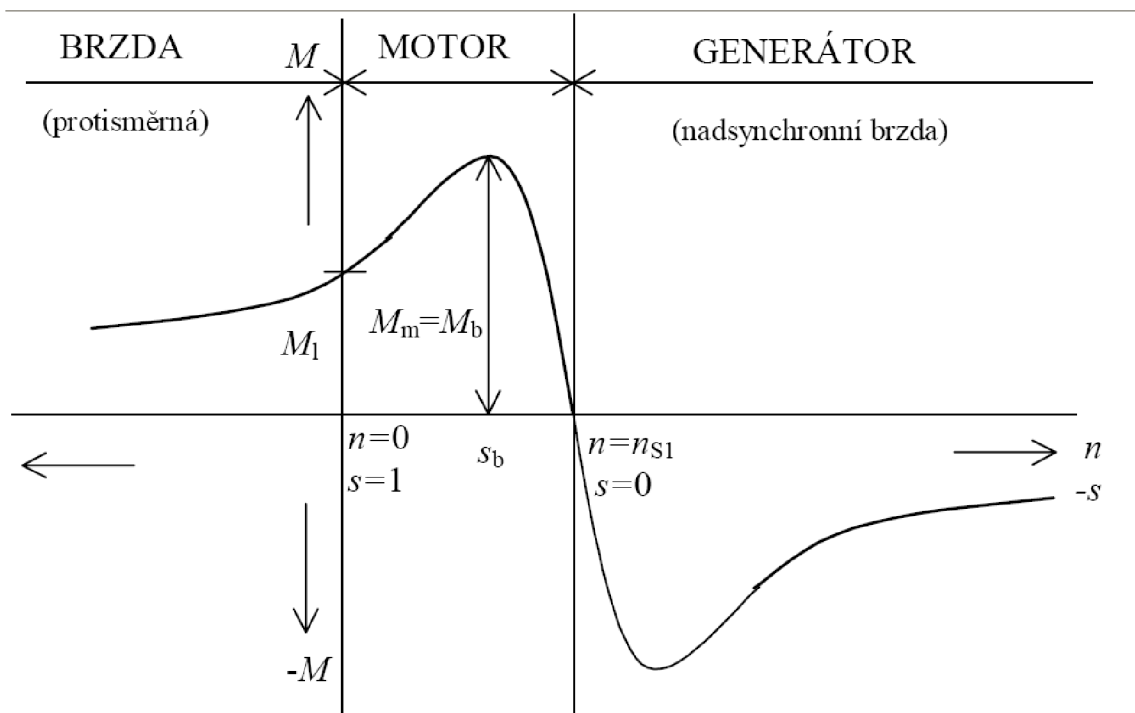
Otáčky magnetického pole statoru, nebo také synchronní otáčky vypočítáme podle vztahu 1.3.

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad [min^{-1}] \quad (1.3)$$

Skluz se mění se zatížením stroje, tedy velikostí momentu působící na rotor. Jmenovitý skluz se pohybuje od 1% u velkých motorů, do 10% u malých. Otáčky statoru závisí na kmitočtu napájecího napětí a počtu pólů stroje.[1],[2].

## 1.3 Práce asynchronního motoru

Jak již bylo řečeno na začátku, asynchronní stroj provozujeme převážně v motorickém režimu. Další režimy, tedy brzdňý a generátorický popíší níže. Na obrázku 1.2 je znázorněna momentová charakteristika asynchronního stroje rozdělená do 3 částí.



Obr. 1.2: Momentová charakteristika asynchronního stroje [3]

### 1.3.1 Brzdný režim

V brzdném režimu se rotor otáčí proti směru točivého magnetického pole statoru, vzniká brzdný moment působící proti směru otáčení, skluz je větší než 1, odebírání nadměrně proud ze sítě, čímž se tepelně a mechanicky zatěžuje. Z tohoto důvodu nelze stroj v tomto režimu používat příliš dlouho.

### 1.3.2 Motorický režim

Motor v tomto režimu má vyšší moment než je moment zatěžovací. Moment, při kterém se začne motor rozbíhat, se nazývá záběrný. S rostoucími otáčkami se moment motoru zvyšuje až do maxima, kterému se říká moment zvratu. Dále se moment rychle zmenšuje až do bodu, kdy do motoru dosáhne synchronních otáček. Moment je v tuto chvíli nulový, skluz je roven 0 a motor přechází do dalšího režimu.

### 1.3.3 Generátorický režim

Dalším režimem je režim generátorický, ve kterém má rotor stroje vyšší otáčky než jsou otáčky magnetického pole statoru. Smysl napětí a proudu se otočí a stroj dodává elektrickou energii do elektrické sítě. [1],[3],[4]



## 1.4 Brždění asynchronního motoru

Vlivem kinetické energie rotujících částí, dobíhá stroj ještě dlouho po odpojení od sítě. Popřípadě strojem brzdíme stroj jiný. Brždění provádíme třemi způsoby.

### 1.4.1 Brždění protiproudem

Brždění protiproudem realizujeme prostým přepojením dvou fází na svorkovnici statoru. To má za následek změnu směru točení magnetického pole statoru. Jedná se o velmi nevhodné brždění, protože veškerá energie motoru se mění na teplo v odporech rotoru. Tento způsob brždění lze navíc použít jen krátkodobě, z důvodu velkého protékajícího proudu motorem.

### 1.4.2 Brždění generátorické

Generátorické brždění nastává, pokud jsou otáčky rotoru vyšší než synchronní. Stroj se tedy chová jako generátor, dodává do sítě činný výkon. Do tohoto brzdícího režimu lze motor dostat změnou počtu pólů, popřípadě frekvenčním měničem. Tímto způsobem nelze stroj úplně zastavit.

### 1.4.3 Dynamické brždění

Dynamické brždění spočívá v odpojení statoru od střídavé sítě a buzením stejnosměrným proudem. Ve vinutí statoru se vytvoří stálý magnetický tok. Proud indukovaný v rotoru spolu se stálým tokem statoru vytvoří moment, působící proti otáčejícímu se rotoru. Moment lze vytvořit i při nulových otáčkách a udržet tak motor zabržděný. [1] [4]

## 1.5 Spouštění asynchronního motoru

Z důvodu velkého proudového nárazu, je možné na veřejnou elektrickou síť připojovat napřímo jen ty motory, jejichž spouštěcí příkon je menší než 22 kVA. To odpovídá přibližně 3 kW. Proto je třeba při spouštění motoru o větším výkonu než již zmíněné 3 kW nutné zmírnit, popřípadě odstranit proudový náraz jedním z následujícím opatřením: [1]

- Spouštění motorů s kotvou nakrátko:
  - Statorovým spouštěčem
  - Přepínačem hvězda - trojúhelník (Y/D)
  - Autotransfornátorem
  - Polovodičovým regulátorem napětí

- Speciální úpravou klece
- Odporovou klecí
- Dvojitou klecí
- Vírovou kotvou
- Spouštění motorů s vinutým rotorem:
  - Změnou celkového činného odporu rotoru

## 1.6 Řízení rychlosti 3f asynchronního motoru

Řízení otáček motoru lze realizovat několika způsoby a vychází z rovnice (1.4). Změnou skluzu, což je velmi neekonomické nebo změnou počtu pólů, což vede ke skokové regulaci a konečně změnou rychlosti magnetického pole statoru. Poslední zmíněná regulace se realizuje právě frekvenčním měničem.

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} (1 - s) \quad [min^{-1}] \quad (1.4)$$

### 1.6.1 Přepínáním počtu pólů

Změna počtu pólů umožňuje řízení otáček pouze po krocích a počet kroků nebývá velký, bývají obvykle dva stupně. Více pólů by vyžadovalo složité přepínání a prodražilo by to navrhovaný stroj. Typickými příklady asynchronního motoru se dvěma stupni jsou staré výtahy, které těsně před zastavením v cíli zpomalí, nebo staré pračky, u kterých se dvou stupňů využívalo pro změnu režimu (praní a máchání).

### 1.6.2 Změnou skluzu a napájecího napětí

Řízení rychlosti změnou skluzu u kroužkových motorů, zařazováním odporu do obvodu rotoru, je velmi neekonomické, jelikož dochází k opotřebovávání kroužků a kartáčů.

U motorů s klecí, se změnou kvadrátu napájecího napětí, měníme moment motoru a spolu s tím i otáčky. Toto řízení se používá zejména pro rozběh tzv. Soft start.

### 1.6.3 Změnou napětí a frekvence

Tento typ řízení se používá relativně krátkou dobu, začal se používat s vyvinutím IGBT tranzistorů, které jsou schopné spínat velké výkony a zachovat přijatelnou rychlost spínání. Více popíše v další kapitole ... [1] [4]

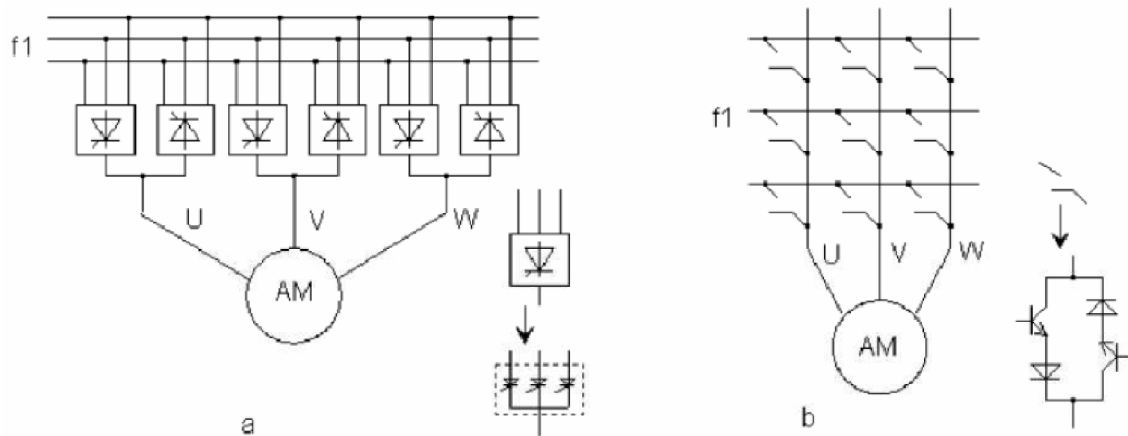
## 2 FREKVENČNÍ MĚNIČ

### 2.1 Princip funkce frekvenčního měniče

Jedná se o bezztrátové řízení, kde energie přiváděná do statoru předpokládá zdroj proměnného kmitočtu. Pro řízení otáček je nutné dodržet konstatní poměr napájecího napětí a kmitočtu ( $U_1/f_1 = \text{konst}$ ). Pokud dodržíme tento poměr konstantní, bude po celou dobu konstatní i magnetický tok a mechanický moment motoru. Toho se využívá například u tramvají, kde je výhodné do určité rychlosti (tedy i velikosti otáček) mít maximální moment a tím zajistit co největší akceleraci. Po dosažení určité velikosti frekvence se růst napětí zastaví (dáno konstrukcí měniče) a roste jen frekvence. Motor se začne odbuzovat, moment klesá hyperbolicky a výkon, který do té doby rostl lineárně, se ustálí. Toto chování připomíná sériový stejnosměrný motor. Z tohoto důvodu se tento pohon hojně využívá v elektrické trakci. Nedodržovat tento poměr po delší dobu ovšem nese riziko přesycení magnetizačními proudy a spálení motoru.

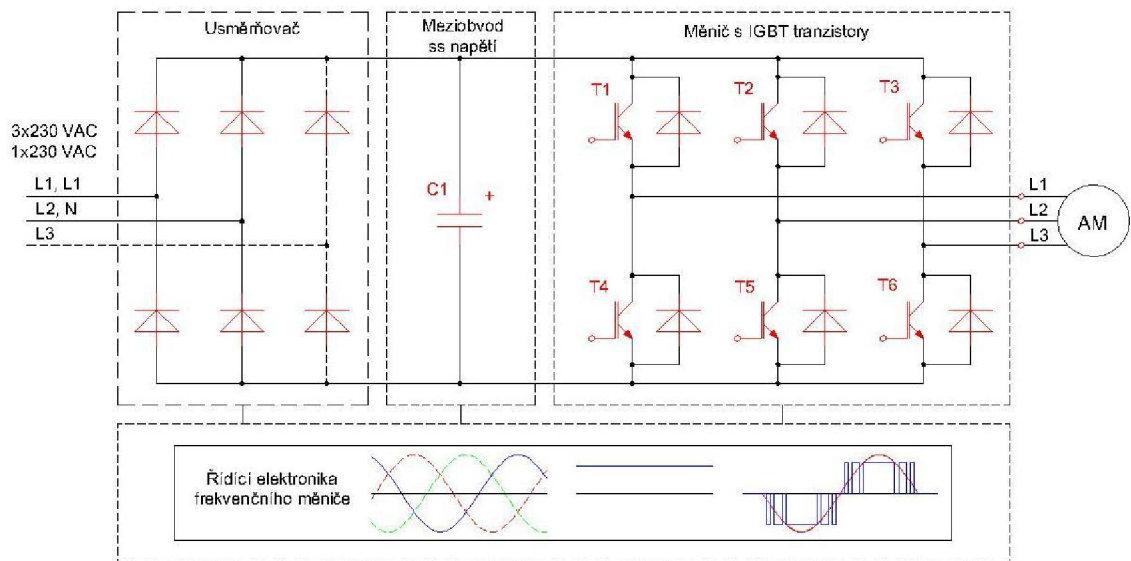
### 2.2 Typy frekvenčních měničů

V průmyslu se řízení rychlosti frekvenčním měničem stalo nepostradatelným. Využívá se jak u asynchronních tak i synchronních motorů s permanentními magnety. Rozlišujeme dva základní provedení měničů kmitočtu. Přímé a nepřímé. Přímé měniče kmitočtu dále dělíme na maticové (obrázek 2.1b) a cyklokonvertory (obrázek 2.1a). Cyklokonvertor obsahuje 3 tyristorové usměrňovače, spínající vstupní frekvenci tak, aby na výstupu vytvořili frekvenci jinou. Výstupní frekvence bude u tohoto způsobu vždy nižší než frekvence vstupní. Maticové měniče využívají tranzistory nebo GTO tyristory. To umožňuje dosáhnout vyšší výstupní frekvence než je ta vstupní.



Obr. 2.1: Cyklonkonvertorový a maticový měnič [3]

Nejpoužívanější jsou ale měniče nepřímé a skládají se ze tří částí: usměrňovač, jako filtr se používá kondenzátor a třífázový střídač je tvořen IGBT nebo MOS-FET tranzistory. [1][3][5]



Obr. 2.2: Nepřímý měnič kmitočtu [5]

## 3 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

Frekvenční měnič je tedy polovodičové zařízení skládající se ze silové části (usměrňovač, filtr, střídač) a řídicí části. Střídač je obvykle řízen pulzní šířkovou modulací (PWM), na jeho výstupu je řídicí napětí a frekvence pro asynchronní motor. Pro střídač je nutné vyřešit také řízení spínání tranzistorů, tedy řídicí část.

### 3.1 Silová část měniče

Výkonovou (silovou) část je možné vytvořit buďto z diskretních prvků nebo můžeme použít bezpotenciálový modul.

#### 3.1.1 Použití diskretních prvků

Základním kamenem silové části je střídač. Střídač je tvořen řídicími spínacími součástkami. Nejčastěji se používají:

- Porovnání MOS-FET a IGBT tranzistorů:
  - MOS-FET tranzistory:
    - \* Spínací frekvence až  $10MHz$
    - \* Maximální napětí do  $250V$
    - \* Kladný teplotní koeficient
    - \* Výstupní výkon v jednotkách kW
    - \* Tepelné ztráty se odvíjí od  $R_{DSon}$
  - IGBT tranzistory:
    - \* Spínací frekvence do  $20kHz$
    - \* Maximální teplota čipu tranzistoru  $100^{\circ}$
    - \* Výstupní výkon v jednotkách MW
    - \* Záporný teplotní koeficient
    - \* Tepelné ztráty se odvíjí od  $U_{CEsat}$  a spínací frekvence

#### 3.1.2 Použití bezpotenciálového modulu

Použitím bezpotenciálového modulu dosáhneme větší jednoduchosti a přehlednosti návrhu DPS. Navíc částečně odpadá problém parazitních indukčností vlivem nevhodného návrhu DPS, ale za cenu vyšší pořizovací ceny. Pro úpravu stávajícího frekvenčního měniče byl navržen jeden z bezpotenciálové moduly: International Rectifier IRAMY20UP60B, Fairchild FSAM15SH60A a Sanyo STK621-041A-E.



## 3.2 Řídící část měniče

Hlavní úlohou řídicí části je rychle měnit řídicí signál pro celou silovou část měniče v co největším rozsahu. Řízení je řešeno buďto opět zákaznickým obvodem nebo programovatelným mikroprocesorem.

### 3.2.1 Řízení mikroprocesorem

Řídící část s mikroprocesorem by byla nejvhodnějším řešením, jelikož bychom si mohli sestavit univerzální program, to však sebou nese úskalí velké časové náročnosti pro odladění programu.

### 3.2.2 Řízení zákaznickým obvodem

Řízení zákaznickým obvodem není tak univerzální jako u řízení mikroprocesorem, jelikož už je předprogramován výrobcem. Naši aplikaci ovšem vyhovuje použití řídicího prvku MC3PHAC.

## 4 VÝBĚR ZÁKAZNICKÉHO OBVODU STŘÍDAČE

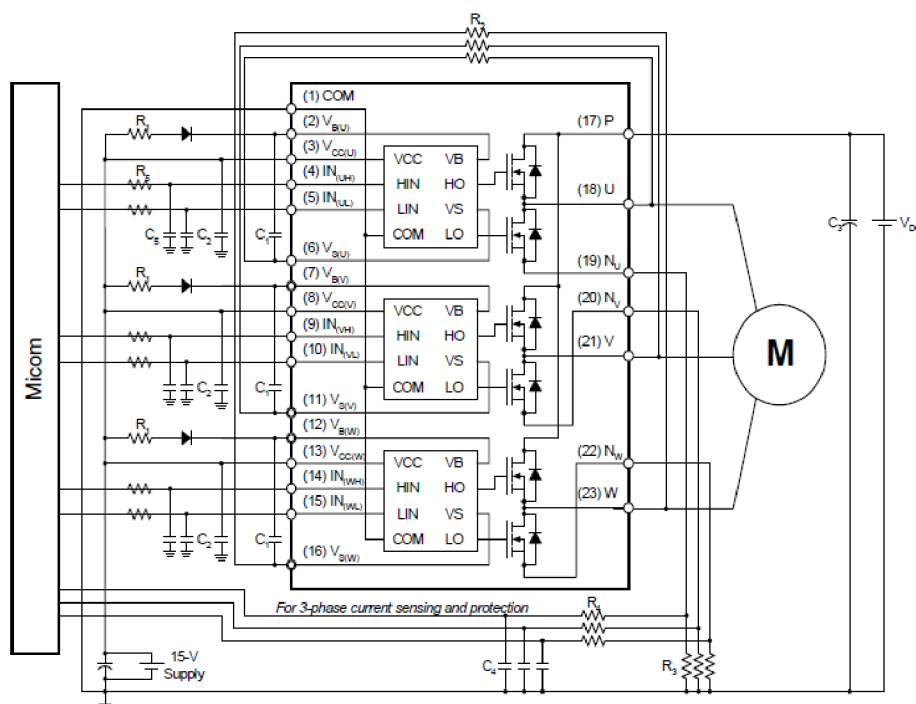
Na původní DPS je použit střídač firmy Fairchild FSB50450, má však jisté nedostatky, které si popíšeme níže, navrhne možnost použití jiného obvodu, spolu s jejich vzájemným srovnáním.

### 4.1 Původní střídač Fairchild FSB50450

Základní parametry:

- MOS-FET tranzistory
- Závěrné napětí tranzistoru 500V
- Kolektorový proud 3A
- Nízké elektromagnetické rušení

Střídač FSB50450 byl použit v původním návrhu. Veškerými parametry vyhovuje, ovšem neobsahuje vlastní měření proudu. Tento nedostatek neumožňuje jednoduché řešení nadproudové ochrany, která se řešila jejím měřením přes bočník na další desce plošného spoje. Změřený proud se porovnává komparátorem s referenčním proudem, výstupem je signál do řídicího obvodu MC3HAC a do hradla NAND, které vypne všech 6 vstupů střídače. [3]



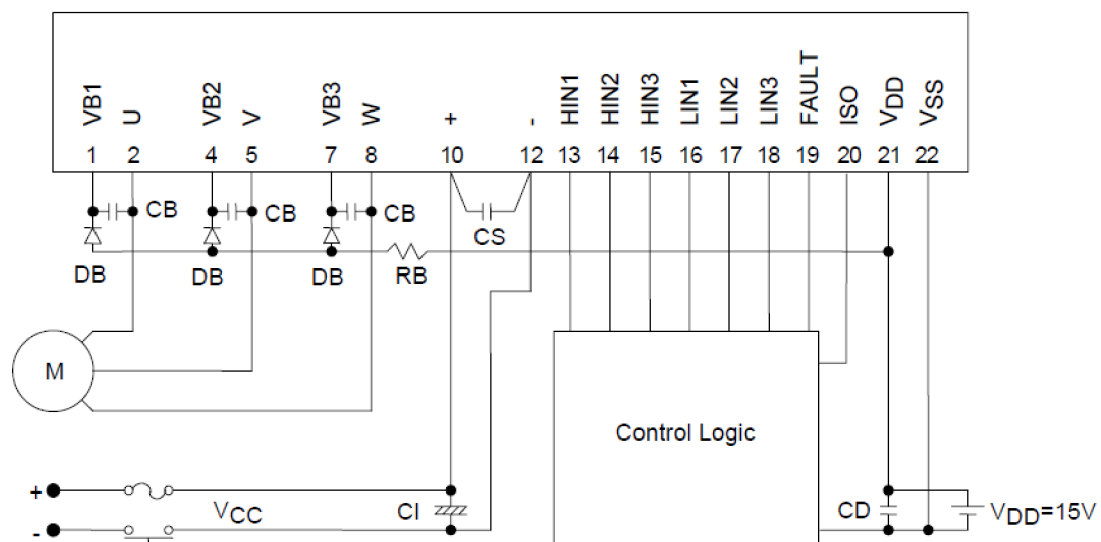
Obr. 4.1: Schéma zapojení střídače FSB50450 [6]

## 4.2 Sanyo STK621-041A-E

Základní parametry:

- IGBT tranzistory
- Závěrné napětí tranzistoru 600V
- Kolektorový proud 20A
- Tepelná, podpětová a nadproudová ochrana s vyvedeným signálem pro řídicí část
- SIP(Single inline package)

Největší předností tohoto obvodu střídače je, že má všechny ochrany již integrované v sobě, výstupem je pouze signál FAULT do řídicí části a vypnutí všech vstupů. Jedinou nevýhodou může být spínací frekvence IGBT tranzistorů pouze 10kHz.



Obr. 4.2: Schéma zapojení střídače STK621-041A-E [8]

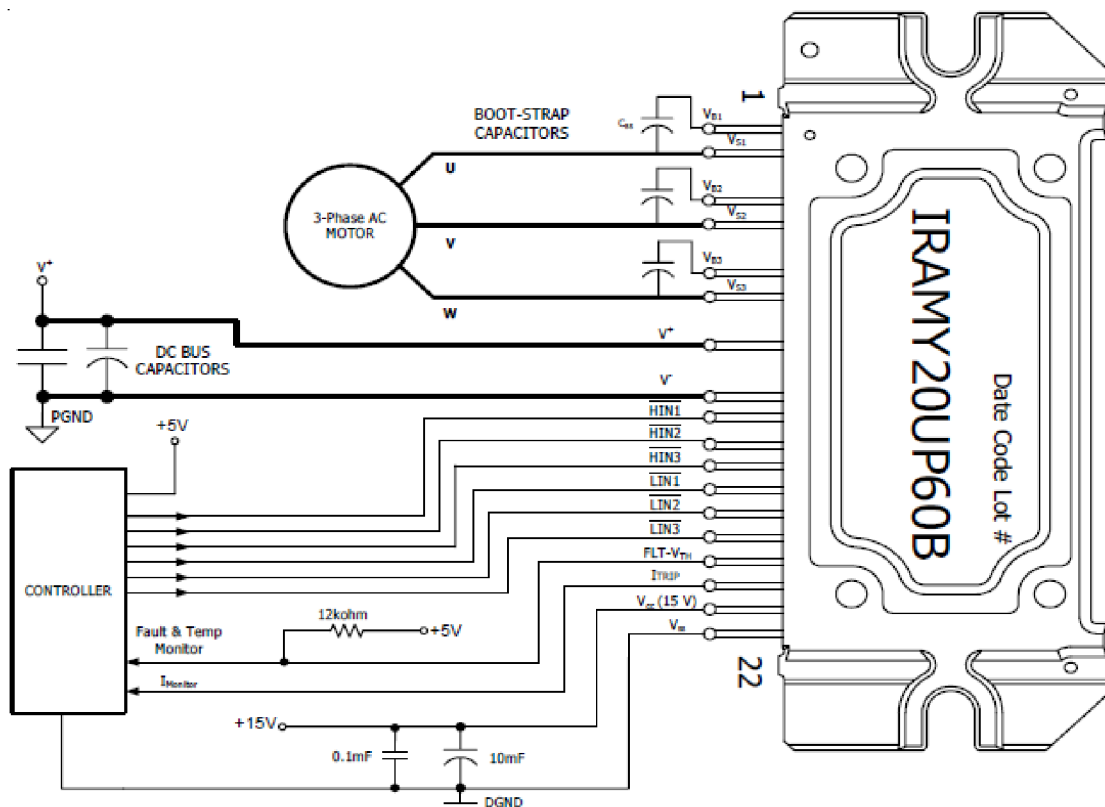


## 4.3 International Rectifier IRAMY20UP60B

Základní parametry:

- IGBT tranzistory
- Závěrné napětí tranzistoru 600V
- Kolektorový proud 20A
- Tepelná, podpěťová a nadproudová ochrana vyvedeným signálem pro řídicí část
- SIP(Single inline package)

Velmi podobný obvod střídače jako obvod STK621-041A-E a FSAM15SH60A. Rozdíl je ve spínací frekvenci tranzistorů, která je 2x větší než u střídače STK621-041A-E, tedy 20kHz. Tento obvod je pro naše řešení nejvhodnější.



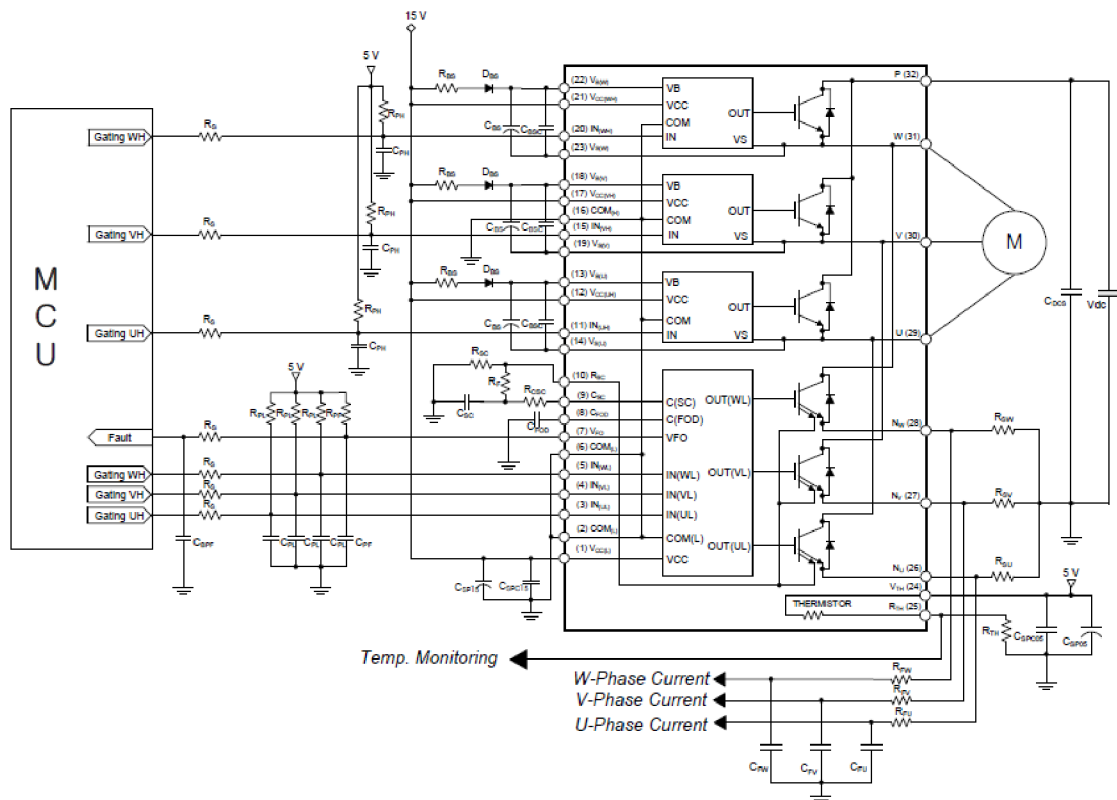
Obr. 4.3: Schéma zapojení střídače IRAMY20UP60B [9]

## 4.4 Fairchild FSAM15SH60A

Základní parametry:

- IGBT tranzistory
- Závěrné napětí tranzistoru 600V
- Kolektorový proud 15A
- Tepelná, podpětová a nadproudová ochrana s vyvedeným signálem pro řídicí část

Stejně jako předchozí dva obvody, obsahuje podpětovou a nadproudovou ochranu. Ochrana je komunikuje s řídicí částí vyvedeným FAULT signálem  $V_{FO}$ . Ale také měření proudu na jednotlivých fázích výstupu ze střídače, spolu s měřením teploty. Nevýhodou ovšem je absence shuntovacího rezistoru. Princip funkce nadproudové ochrany si vysvětlíme v další kapitole této práce.



Obr. 4.4: Schéma zapojení střídače FSAM15SH60 [7]

## 4.5 Srovnání obvodů

Tab. 4.1: Srovnání parametrů jednotlivých obvodů střídače

	FSB50450	STK621-041A-E	FSAM15SH60A	IRAMY20UP60B
$V_{CE}[V]$	500	600	600	600
$I_C[A]$	3	20	15	20
$f_{PWM}[kHz]$	15	10	15	20
Tranzistor <sup>1</sup>	MOS-FET	IGBT	IGBT	IGBT
OCP <sup>2</sup>	Ne	Ano	Ano	Ano

## 4.6 Princip funkce nadproudové ochrany

Nadproudovou ochranu je možné řešit různě. V případě původního použitého obvodu FSB50450, bylo nutné navrhnout a vyrobit další DPS, to se ovšem ukázalo jako nevhodné řešení, protože pokud se došlo k nadproudu, celý měnič přestal pracovat do doby, než došlo k resetu celé řídicí části. Chybou byla pravděpodobně chybějící zpětná vazba z řídicí části, která nadproudové ochraně nesignalizovala vypnutí měniče a signál FAULT byl nastaven stále v log. 1.

Dalším řešením je použití jednoho z již zmíněných obvodů s integrovaným měřením proudu. Měření proudu všech zmíněných obvodů, kromě obvodu Fairchild FSB50450, je realizováno pomocí shunt rezistoru. Shunt rezistor je rezistor o malé hodnotě odporu, určený k měření proudu na základě úbytku napětí. Hodnotu proudu vyhodnocuje vnitřní logika a ta generuje signál do řídicí části měniče. [6]

### 4.6.1 Konkrétní řešení u jednotlivých výrobců

#### a) Sanyo STK621-041A-E

Hodnota proudu, která je vnitřní logikou vyhodnocena jako nadproud, je nastaveno od výrobce na 28A. Jakmile vnitřní logika vyhodnotí nadproud, odpojí všech 6 výstupů a pin FAULT nastaví na hodnotu log. 1. Výstupy zůstanou odpojené, dokud všechny vstupy střídače nebudou nastaveny do log. 0. Tím se resetuje celý střídač a výstupy jsou opět zapojeny. [8]

<sup>1</sup>Použitá technologie výroby tranzistorů

<sup>2</sup>Over-current protection - Nadproudová ochrana



**b) IRF IRAMY20UP60B**

Princip je velmi podobný jako u obvodu od firmy Sanyo, rozdílná je hodnota proudu, která je v rozmezí od 26A do 34A podle teploty čipu a obvod nečeká dokud nebudou nastaveny vstupy do log. 0 ale zresetuje se sám, přibližně za 8ms. Reakční doba než zafunguje nadproudová ochrana je 6 $\mu$ s. [9]

**c) Fairchild FSAM15SH60A**

Na rozdíl oproti předchozím dvěma obvodům, tento umožňuje hodnotu nadproudu stanovit shuntovacím odporem, připojeným mezi vyhodnocovací vstupy střídače, čímž se ale celá DPS zvětšuje. Podobně jako obvod IRAMY20UP60B, obvod také nečeká na nastavení vstupů do střídače na hodnotu log. 0, ale vyresetuje se sám. Dobu, po kterou je střídač vypnut, je možné nastavit externí kapacitou  $C_{FOD}$ , připojenou mezi zem a pin 8  $C_{FOD}$ . [7]

## 5 NÁVRH MĚNIČE

Měnič budeme navrhovat pro řízení malého třífázového asynchronního motoru o výkonu  $100W$ . Měnič bude napájen z jednofázové sítě, toto napětí bude dále usměrněno a vyfiltrováno na napětí  $311V$ . Třífázový střídač bude řízen pulzně šířkově modulovaným signálem. Na vstupních svorkách motoru je požadováno napětí  $3 \times 230V$ , výstupní frekvence měniče  $f = 50Hz$  a výkon  $100W$ .

### 5.1 Parametry měniče

**Vstupní parametry měniče:**

$$U_1 = 230VAC - \text{napájecí napětí měniče}$$

**Vstupní parametry střídače:**

$$U_{IN} = 311VDC - \text{usměrněné a vyfiltrované napětí}$$

**Výstupní parametry měniče:**

$$U_{UVef} = 230VAC - \text{efektivní hodnota sdruženého napětí mezi fázemi U a V}$$

$$f = 50Hz - \text{výstupní frekvence napětí z měniče}$$

$$\cos\varphi = 0,7 - \text{účiník motoru}$$

**Parametry motoru:**

$$P = 100W - \text{výkon napájeného motoru podle zadání}$$

### 5.2 Řešení řídicí části

Zákaznický integrovaný obvod MC3PHAC byl zvolen s ohledem na jeho vyhovující parametry a cenovou výhodnost.

**Vlastnosti MC3PHAC:**

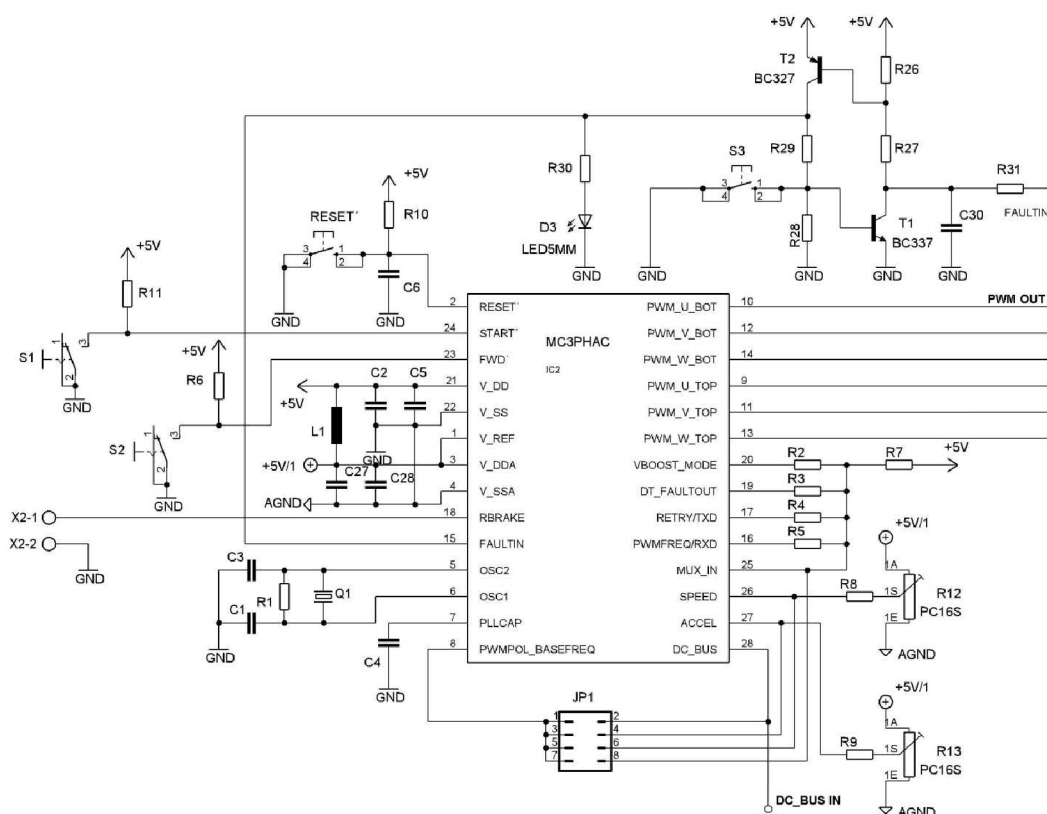
- 6 výstupních signálů PWM
- Volitelná základní frekvence (50Hz, 60Hz)
- Volitelná frekvence a polarita PWM
- 4-kanálový A/D převodník
- Volba operačního módu
- Podpěťová ochrana
- Vstup FAULTIN vypínající výstupy v případě poruchy
- Generování třífázového signálu

Startem se obvod spustí v samostatném tzv. standalone módu. Pasivními součástkami a jejich zvolenými hodnotami jsou inicializovány parametry řídicího obvodu:

- Polarita PWM
- Operační mód, již zmíněný standalone
- Off-set napětí při nulové frekvenci
- Základní frekvence, 50Hz nebo 60Hz
- Frekvence PWM, 1Hz - 128Hz
- Dead time, doba mezi sepnutím dolního a horního tranzistoru
- Zrychlení motoru
- Retry-time, doba vypnutí výstupů do silové části při chybě

Pin V<sub>DD</sub> je napájen napájecím napětím 5V, na V<sub>SS</sub> je připojena zem napájecího napětí. Oddělení analogového a digitálního napájecího napětí je realizováno tlumivkou  $L_1$ . Krystalový oscilátor s frekvencí  $f=4\text{MHz}$  je připojen na vstupy OSC1 a OSC1. Na vstup PLLCAP je připojen kondenzátor  $C_4$ , určující rychlost a stabilitu časovacího obvodu.

Výstupy PWM\_X\_TOP a PWM\_X\_BOT, kde X představuje fázi U,V nebo W, jsou vždy přivedeny na dolní nebo horní tranzistor řízení motoru. Vstup FAULTIN je spínán signálem z výkonové části měniče. Vstup je aktivní v log. 1, čímž dojde k odpojení výstupních PWM signálů. Po odeznění chyby a přepnutí vstupu do log. 0, se začne odpočítávat čas k opětovnému spuštění výstupních PWM signálů. Chyba je signalizována LED  $D_3$ . [10]



Obr. 5.1: Schéma zapojení řídicího obvodu MC3PHAC [10]

Spínačem  $S_1$  připojeným na vstup START, dostává řídicí obvod signál k zapnutí PWM výstupů. Vstup reaguje na log. 0, proto musí být před každým spuštěním na vstupu nejprve log. 1, aby nedošlo k samovolnému spuštění po připojení napětí. Tlačítkem RESET se přivede log. 0 na resetovací vstup, dojde k zastavení výstupních PWM signálů a proběhne opět inicializace obvodu.

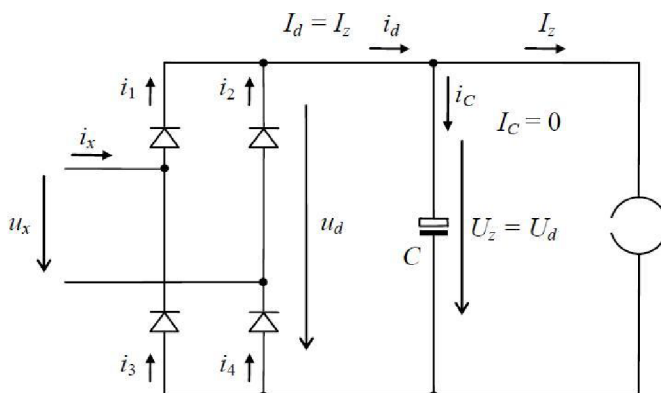
Jednu z nejdůležitějších funkcí zastává potenciometr  $R_{12}$ , tou je nastavování kmitočtu měniče s rozsahem 1Hz - 128Hz. Potenciometrem  $R_{13}$  se nastavuje zrychlení motoru v rozsahu 0,5 Hz/s až 125 Hz/s.

## 5.3 Řešení silové části

### 5.3.1 Usměrňovač

Usměrňovač připojený na 1-fázovou, popřípadě 3-fázovou síť, usměrní střídavé napětí na stejnosměrné pulzující napětí. Toto napětí dále vyfiltruje sběrací kondenzátor než je přivedeno do střídače.

Pro naše řešení je zcela dostačující dvoucestný usměrňovač, který sice nemá tak příznivý sinusový průběh vstupního fázového proudu, ale je ekonomicky výhodný.



Obr. 5.2: Schéma dvojcestného usměrňovače se sběracím kondenzátorem [11]

### 5.3.2 Dimenzování usměrňovače

Střední hodnota proudu tekoucí kondenzátorem je v ustáleném stavu rovna 0. Můžeme uvažovat, že střední hodnota proudu na výstupu z usměrňovače je rovna proudu zátěže. Proud zátěže určíme jako podíl síťového výkonu motoru k napětí na vstupu meziobvodu.

$$I_d = I_z = \frac{P_{motoru}}{U_{IN}} \quad (5.1)$$

Číselně:

$$I_z = \frac{100}{311}$$

$$I_z = 0,321A$$

Střední proud diody bude roven jedné polovině proudu zátěží:

$$I_{Davg} = \frac{I_z}{2} \quad (5.2)$$

Číselně:

$$I_{Davg} = \frac{0,321}{2}$$

$$I_{Davg} = 0,1605A$$

Vlivem přechodných dějů v obvodu střídače, je nutné usměrňovač nadimenzovat na hodnotu 4A/600V. Tomu vyhovuje například diodový můstek B250C4000.



Napětové dimenzování vychází z funkce dvoucestného diodového usměrňovače, kdy vede vždy jedna dioda ve větvi (vertikální dvojice) a napětí na diodě je rovno napětí na kondenzátoru. Z toho plyne, že by diody měly snést napětí minimálně 350V.

### 5.3.3 Dimenzování tranzistorů střídače

Výkonové tranzistory musíme zvolit tak, aby nebyl překročen maximální dovolený proud z důvodu jeho minimální proudové přetížitelnosti a také nadimenzovat nulové diody. Dále je nutné uvažovat maximální závěrné napětí.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{UVef} \cdot I_{Uef} \cdot \cos \varphi \quad (5.3)$$

Napětí  $U_{Uef}$  představuje efektivní hodnotu sdruženého napětí,  $I_{Uef}$  je efektivní hodnota fázového proudu.  $\cos \varphi$  představuje účinník motoru. Ze vztahu (5.3) vyjádříme proud  $I_{Uef}$ :

$$I_{Uef} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{UVef} \cdot \cos \varphi} \quad (5.4)$$

Číselně:

$$I_{Uef} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,7}$$
$$I_{Uef} = 0,358A$$

Dále si vyčíslíme amplitudu fázového proudu, z jeho efektivní hodnoty:

$$I_U = I_{Uef} \cdot \sqrt{2} \quad (5.5)$$

Číselně:

$$I_U = 0,358 \cdot \sqrt{2}$$
$$I_U = 0,507A$$

Na hodnotu  $I_U$ , tedy amplitudu 1. harmonické fázového proudu, musí být dimenzovány tranzistory i nulové diody střídače.

$$I_U = I_{Tmax} = I_{D0max} \quad (5.6)$$

$$I_{Tmax} = I_{D0max} = 0,507A$$

Pro další výpočty, zejména pro výpočet středních a efektivních proudů tekoucí tranzistory, je nutný tzv. modulační činitel  $M$ . Pro jeho výpočet je nutné znát amplitudu sdruženého napětí  $U_{UV}$ .

$$U_{UV} = U_{UVef} \cdot \sqrt{2} \quad (5.7)$$

Vztah pro modulační činitel  $M$ :

$$M = \frac{U_{UV}}{U_{IN}} = \frac{U_{UVef} \cdot \sqrt{2}}{U_{IN}} \quad (5.8)$$

Číselně:

$$M = \frac{230 \cdot \sqrt{2}}{311} = 1$$

Výpočet efektivní hodnoty proudu tranzistorem:

$$I_{Tef} = I_U \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{2 \cdot M}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi} \quad (5.9)$$

Číselně:

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

Určení střední hodnoty proudu tranzistorem:

$$I_{Tavg} = I_U \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot \pi} + \frac{M}{4 \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \right) \quad (5.10)$$

Číselně:

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

Výpočet efektivní hodnoty proudu nulovou diodou:

$$I_{D0ef} = I_U \sqrt{\frac{1}{8} - \frac{2 \cdot M}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi} \quad (5.11)$$

Číselně:

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

Určení střední hodnoty proudu nulové diody:

$$I_{D0avg} = I_U \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot \pi} - \frac{M}{4 \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \right) \quad (5.12)$$

Číselně:

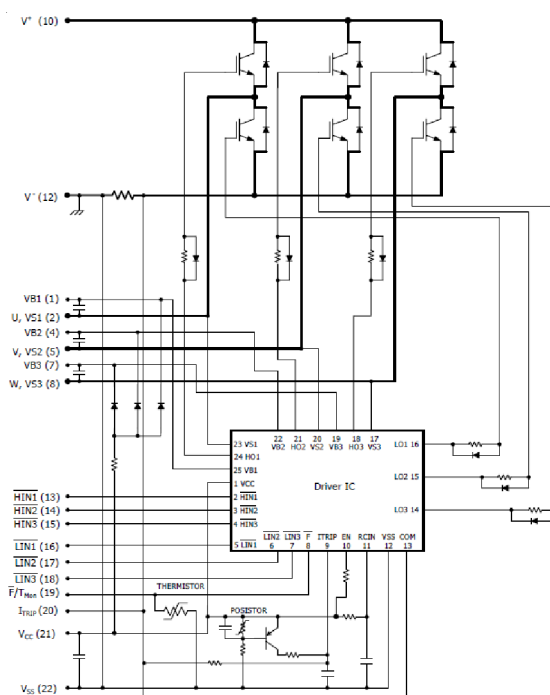
$$I_{D0avg} = 0,507 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot \pi} - \frac{1}{4 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0,7 \right)$$
$$I_{D0avg} = 0,029A$$

### 5.3.4 Modul IRAMY20UP60B

Všechny obvody uvedené v kapitole 4 mají bezpečně vyšší amplitudu 1. harmonické fázového proudu která je rovna  $I_U = 0,507A$ . Po dohodě s vedoucím práce, byl zvolen bezpotenciálový modul s několikrát větším maximálním proudem než vyšel výpočtem. Důvodem je větší výkonový rozsah a lepší vybavenost obvodu ochranami. Pro naše řešení je nejvhodnější obvod **IRAMY20UP60B** od firmy **International Rectifier**.

#### Základní parametry:

- 600V, 20A, 3-fázový vysokonapěťový střídač
- Integrovaný shuntovací resistor
- Nadproudová, podpěťová a tepelná ochrana
- Výstupní pin měření proudu  $I_{TRIP}$
- Podpora logiky CMOS a TTL



Obr. 5.3: Vnitřní schéma střídače IRAMY20UP60B

### 5.3.5 Výpočet ztrát frekvenčního měniče

#### a) Ztráty vedením

Ztráty vedením na tranzistoru se vypočítají jako součin napětí mezi kolektorem a emitorem v sepnutém stavu  $V_{CE(on)}$ , proudu tekoucí kolektorem  $I_C$  a střídě kolekto-

rového proudu  $D$ . Jelikož se jedná o IGBT tranzistory vyrobené technologií NPT, je napětí  $V_{CE(on)}$  přímo závislé na teplotě.

$$P_{condT} = V_{CE(on)} \cdot I_C \cdot D \quad (5.13)$$

Maximální ztráty na frekvenčním měniči při kolektorovém proudu  $I_C = 10A$  a teplotě pouzdra  $125^\circ C$ . Hodnoty napětí  $V_{CE(on)}$  a střídý  $D$  nalezneme v katalogovém listě.

Číselně:

$$P_{condT} = 2 \cdot 10 \cdot 0,2$$

$$P_{condT} = 4W$$

Celkové ztráty vedením, tedy všech šesti tranzistorů:

$$P_{cond} = 6 \cdot P_{condT} \quad (5.14)$$

Číselně:

$$P_{cond} = 6 \cdot 4$$

$$P_{cond} = 24W$$

## b) Přepínací ztráty

Přepínací ztráty jsou závislé na frekvenci spínání tranzistoru a součtu ztrát energie při zapínacím a vypínacím ději.

$$P_{swT} = (E_{On} + E_{Off}) \cdot f_{PWM} \quad (5.15)$$

Zjednodušeně:

$$P_{swT} = E_{TOT} \cdot f_{PWM} \quad (5.16)$$

Hodnotu součtu celkových ztrát energie, při zapínacím a vypínacím ději nalezneme opět v katalogovém listu výrobce obvodu střídače. Frekvenci spínání jsme zvolili  $20kHz$ .

Číselně:

$$P_{swM} = 825 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$P_{swM} = 16,5W$$

Celkové přepínací ztráty, pro 6 tranzistorů:

$$P_{sw} = 3 \cdot P_{swM} \quad (5.17)$$

Číselně:

$$P_{sw} = 6 \cdot 16,5$$

$$P_{sw} = 99W$$

### c) Celkové ztráty měniče

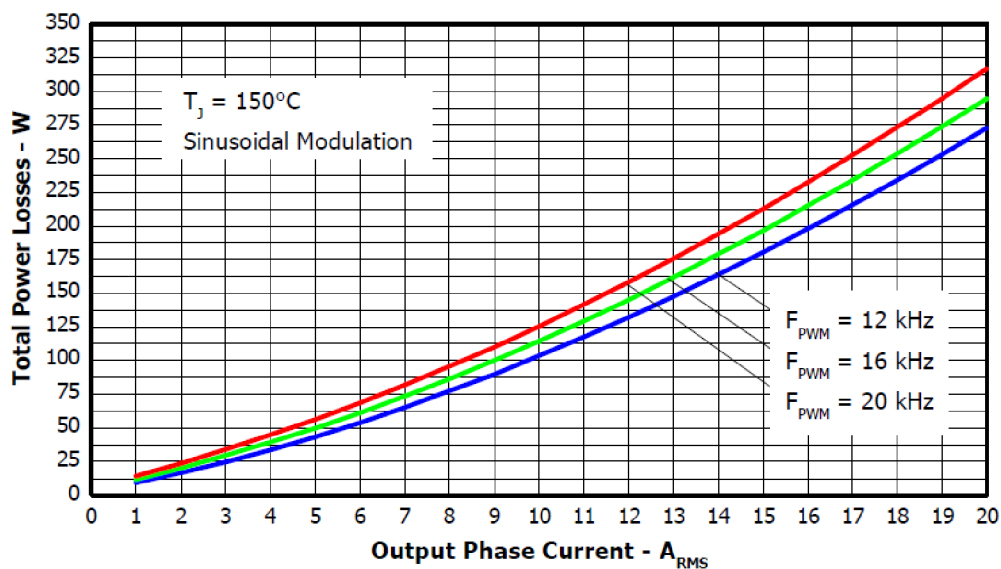
Celkové ztráty měniče jsou dány součtem ztrát vedením a ztrát přepínacích.

$$P_d = P_{sw} + P_{cond} \quad (5.18)$$

Číselně

$$P_d = 99 + 24$$

$$P_d = 123W$$



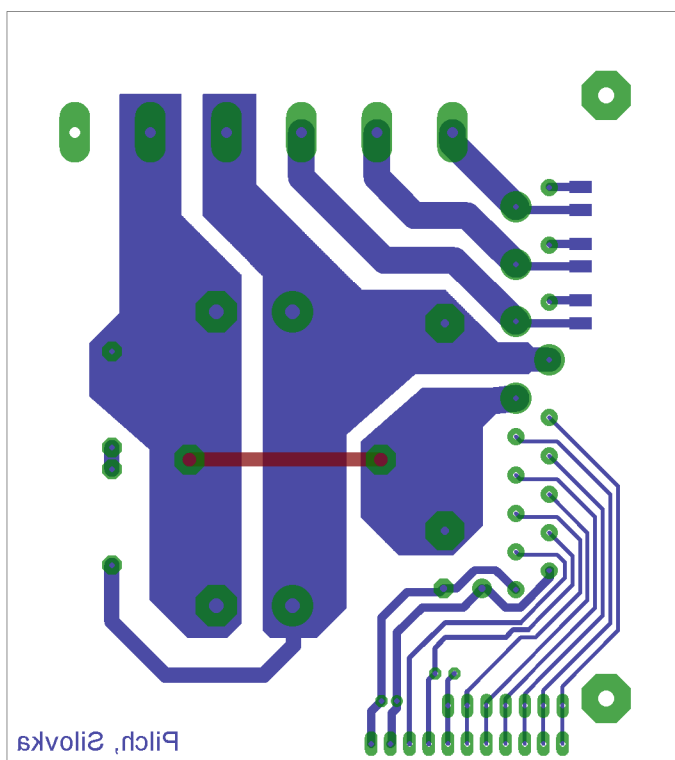
Obr. 5.4: Závislost celkových ztrát měniče na výstupním fázovém proudu a různých frekvencích [9]

Z obrázku 5.4 je patrné, že celkové ztráty měniče při výstupním (kolektorovém proudu)  $10A$  a frekvenci  $20kHz$ , odpovídají přibližně  $125W$ . To odpovídá našemu výpočtu.

## 6 REALIZACE A MĚŘENÍ

### 6.1 Realizace DPS

Deska plošných spojů (DPS), silové části frekvenčního měniče, se zákaznickým obvodem IRAMY20UP60B, byla navržena v programu EAGLE-7.2.0. Jedná se o katalogové zapojení, které bylo doplněno o řadu šesti pull-up rezistorů, které v případě poruchy udržují na vstupech obvodu střídače logickou 1 a nedojde v tomto případě k hazardu na vstupech střídače. Finální podobu návrhu můžete vidět na obrázku 6.1 a rozmístění součástek na obrázku 6.2. Deska má rozměry 90 x 100 mm. K zákaznickému modulu byl přimontován pouze provizorní chladič, který ovšem zcela dostačuje našemu měření. Pro testování na motoru s větším výkonem, bude nutné chladič zvětšit, nebo opatřit stávající pasivní chlazení ventilátorem.

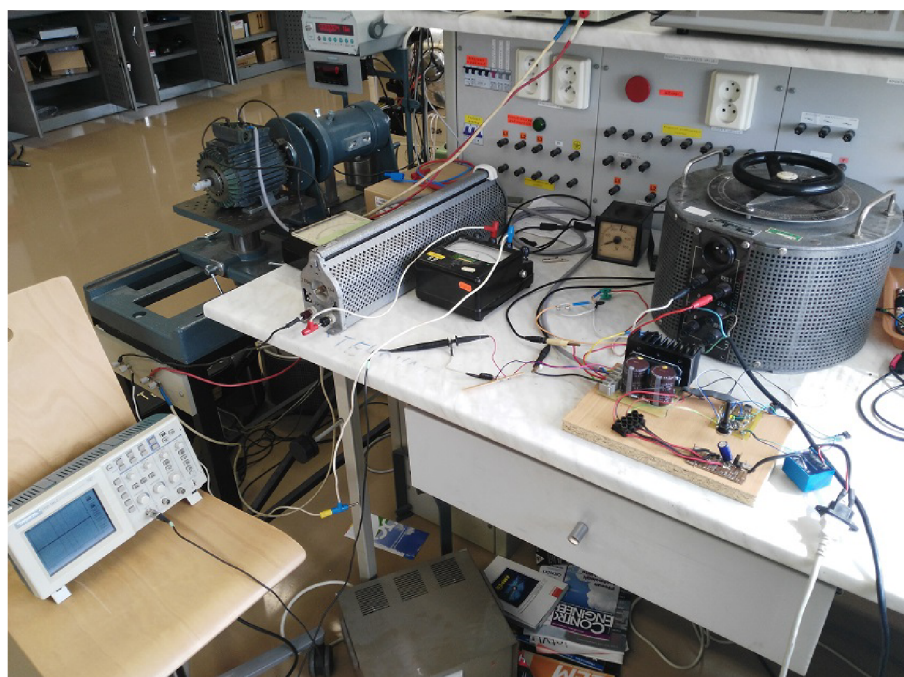


Obr. 6.1: Návrh desky plošného spoje silové části měniče ze strany spojů

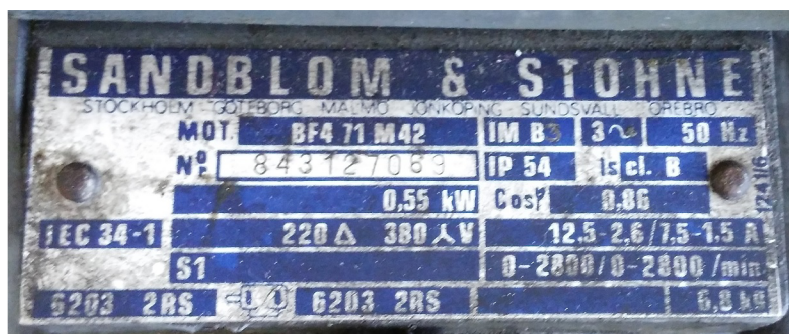


## 6.2 Měření

Měření probíhalo na 3-fázovém asynchronním motoru o výkonu  $550W$ , jmenovitých otáčkách  $2800min^{-1}$  a účinníku  $\cos \varphi = 0,86$ . Střídač byl připojen přes autotransformátor k síti. Na autotransformátoru byla postupně zvyšována hodnota napětí tak, aby bylo na vstupu meziobvodu  $311V$  a nedošlo tak k proudové špičce a spálení usměrňovače. Motor byl zatěžován dynamometrem Atas K4UX260M s maximálním momentem  $1,8Nm$ .



Obr. 6.3: Pracoviště pro testování

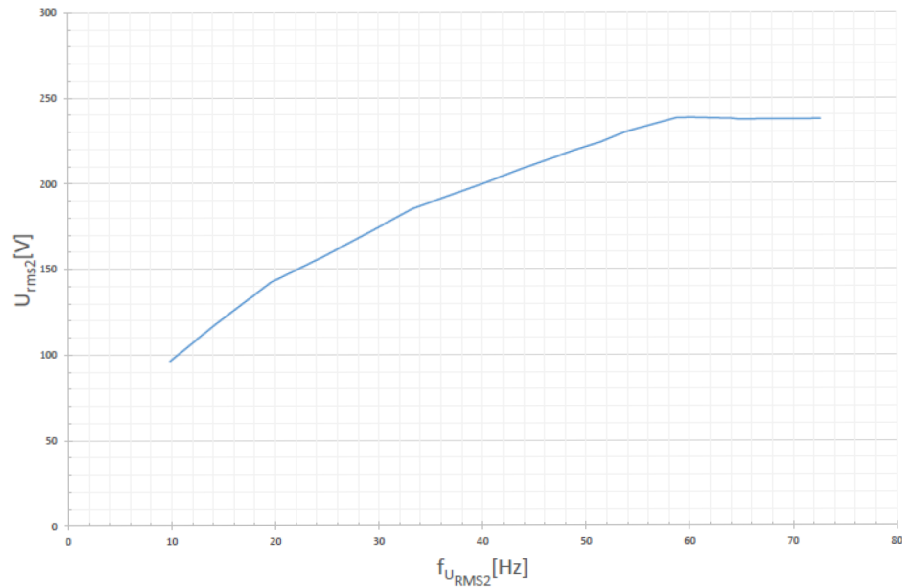


Obr. 6.4: Štítek měřeného asynchronního motoru

Jako první byla změřená závislost velikosti satorového napětí  $U_{RMS2}$  na velikosti jeho kmitočtu  $f_{URMS2}$  zobrazená na obrázku 6.5. Na této charakteristice by mělo být

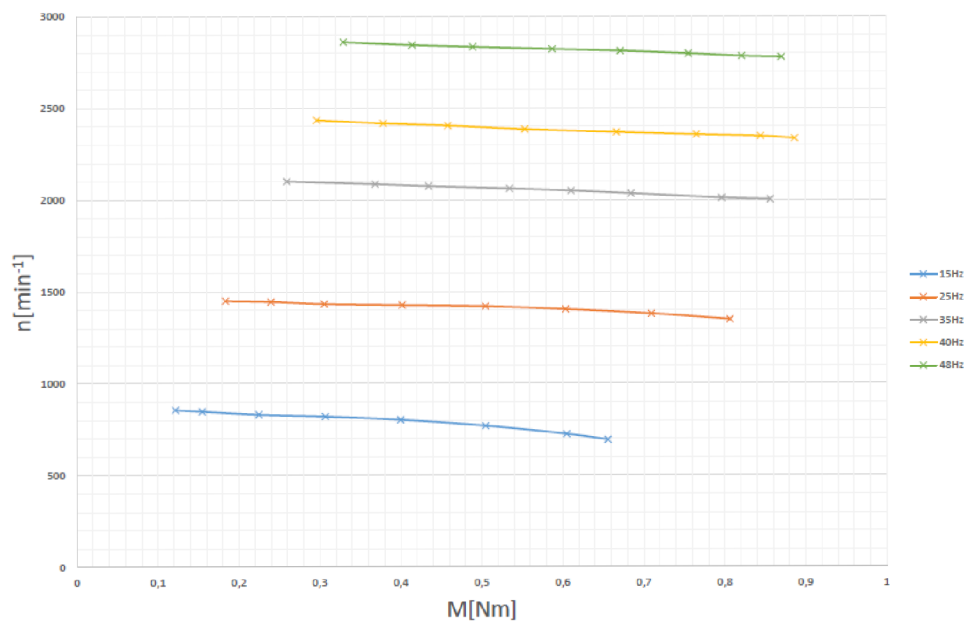


vidět, při jaké frekvenci se satorové napětí ustálí a dál bude růst pouze frekvence. Za touto hranicí se začíná asynchronní stroj odbuzovat. V našem případě se jedná o frekvenci  $58\text{Hz}$ , ze čehož vyplývá, že řídicí část byla nastavena na základní frekvenci  $60\text{Hz}$ .



Obr. 6.5: Závislost velikosti satorového napětí na jeho frekvenci

Cílem druhého měření bylo zjištění zatěžovací charakteristiky pohonu. Jedná se o závislost otáček motoru na jeho momentu při konstantním kmitočtu.



Obr. 6.6: Zatěžovací charakteristika pohonu

## 7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem optimalizace frekvenčního měniče malého výkonu pro třífázový asynchronní motor. Původně byl měnič navržen pro motor o výkonu do 100 W. Díky použití obvodů střídače s lepšími parametry, je teoreticky možné připojit až 2 kW motor. Řídící část měniče, využívající integrovaný obvod MC3PHAC, zůstala nezměněna, jelikož zcela dostačuje našim potřebám.

Výsledkem bakalářské práce je tedy návrh desky plošného spoje silové části měniče, s novým obvodem střídače IRAMY20UP60B, zapojeného podle katalogového schématu a navrženého v programu EAGLE 7.2.0. Navržená deska plošného spoje byla následně vyrobena, osazena součástkami a úspěšně oživena. Dále byly vypočteny maximální ztráty měniče, které odpovídají hodnotě udávané výrobcem a byl nadimenzován usměrňovač.

Na finálním výrobku proběhly testy správné funkce frekvenčního měniče. Zmínit je třeba zejména charakteristiku vyjadřující závislost velikosti statorového proudu na jeho frekvenci, kterou můžete vidět na obrázku 6.5. Tento průběh odpovídá správné funkčnosti řízení otáček asynchronního motoru, přesně podle teoretického předpokladu.

## LITERATURA

- [1] ONDRŮŠEK, CSC., Doc. Ing. Čestmír. *Asynchronní stroje. Brno. [cit. 2014-11-11] Elektronické skriptum. Vysoké učení technické Brno - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.*
- [2] KOČMAN, Ing. Stanislav. *Asynchronní stroje [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://goo.gl/Z5dSQN> Elektronické skriptum. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.*
- [3] PAVLÍK, Ing. Ondřej. *Měnič pro malý 3F asynchronní motor [online]. Brno, 2013 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://goo.gl/oD3zXV> Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.*
- [4] KOVÁŘ, Ing. Pavel. *Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://goo.gl/Kcjh3l> Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radek Štohl, Ph.D.*
- [5] ELKNER, Ing. Pavel. *Řízení motorů pomocí frekvenčních měničů [online]. Praha, 2010 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://goo.gl/rcFUcg> Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Jindřich Fuka.*
- [6] *Dokumentace firmy Fairchild Semiconductor k integrovanému obvodu FSB50450 - <http://www.fairchildsemi.com>*
- [7] *Dokumentace firmy Fairchild Semiconductor k integrovanému obvodu FSAM15SH60A - <http://www.fairchildsemi.com>*
- [8] *Dokumentace firmy Sanyo Semiconductor k integrovanému obvodu STK621-041A-E - <http://www.mouser.com/ds/2/308/ENA0483-1742.pdf>*
- [9] *Dokumentace firmy International Rectifier k integrovanému obvodu IRAMY20UP60B - <http://www.irf.com/>*
- [10] *Dokumentace firmy Freescale Semiconductor k integrovanému obvodu MC3PHAC - <http://www.freescale.com/>*
- [11] PATOČKA, Miroslav. *Výkonová elektronika: usměrňovače, střídavé měniče napětí [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: [www.vutbr.cz](http://www.vutbr.cz) Skriptum. VUT BRNO.*



- [12] *Calculation of major IGBT operating parameters: ANIP9931E. IGBT.cn [online]. 1999 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://goo.gl/3qANJb>*