

# 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

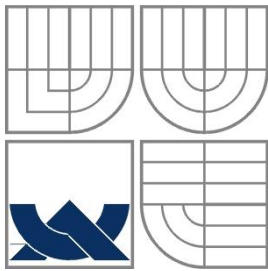
## **3F. MĚNIČ S REGULACÍ OTÁČEK PRO POHON STOJANOVÉ VRTAČKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN GROM

BRNO 2013



**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

## **3F. MĚNIČ S REGULACÍ OTÁČEK PRO POHON STOJANOVÉ VRTAČKY**

**3F. INVERTER WITH DRIVE CONTROL FOR DRILL PRESS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

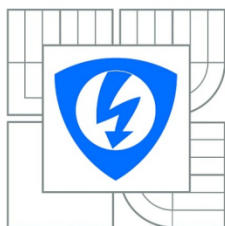
**MARTIN GROM**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. PETR PROCHÁZKA, Ph.D.**

BRNO, 2013



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:** Martin Grom

**ID:** 134307

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**3f. měnič s regulací otáček pro pohon stojanové vrtačky**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte obvodové zapojení měniče.
2. Navrhněte DPS řídicí a silové části měniče.
3. Navržené obvody realizujte a oživte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího

**Termín zadání:** 17.9.2012

**Termín odevzdání:** 4.6.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Procházka, 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**

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a realizáciou trojfázového meniča určeného pre pohon stojanovej vŕtačky s asynchrónnym motorom. Zapojenie je navrhnuté s využitím integrovaného jednouúčelového riadiaceho obvodu a výkonového modulu s tranzistormi a budičmi. Sú popísané základné teoretické aspekty riadenia asynchrónneho motora a funkcie striedača, funkcia integrovaných obvodov, návrh celkového zapojenia a návrh dosky plošných spojov. Navrhnuté zariadenie bolo zhotovené a oživené. Na vyrobenom meniči bolo vykonané skúšobné meranie.

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with the design and implementation of a three-phase converter designed for driving an electric drill with asynchronous motor. Converter is designed using a specialized integrated control circuit and transistor power module. The thesis also contains description of the induction motor control, description of the inverter internal operation, functions of integrated circuits, overall design description and design of the printed circuit board. The proposed device has been built and tested. The test measurements were done on a working sample of the converter.

**Klíčová slova**

trojfázový menič; striedač; asynchrónny motor; tranzistorový modul; nábojová pumpa

**Keywords**

three-phase converter; inverter; asynchronous motor; transistor module; bootstrap circuit

## **Bibliografická citace**

GROM, M. 3f. měnič s regulací otáček pro pohon stojanové vrtačky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Procházka, Ph.D..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma 3f. měnič s regulací otáček pro pohon stojanové vrtačky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

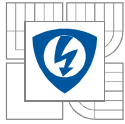
Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne ..... Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Procházkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

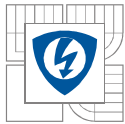
V Brně dne ..... Podpis autora .....



## Obsah

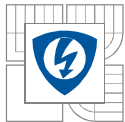
<b>ZOZNAM OBRÁZKOV.....</b>	<b>8</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2 TEORETICKÝ ZÁKLAD .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 ASYNCHRÓNNY MOTOR .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 SPÔSOBY REGULÁCIE OTÁČOK .....	13
<b>2.2 VÝKONOVÁ ČASŤ MENIČA .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 NAPÁJAČ.....	16
2.2.2 STRIEDAČ.....	17
<b>2.3 RIADENIE MENIČA.....</b>	<b>17</b>
<b>3 OBVODOVÉ RIEŠENIE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 RIADIACA ČASŤ.....</b>	<b>19</b>
3.1.1 OBVOD MC3PHAC.....	19
<b>3.2 VÝKONOVÁ ČASŤ .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 OBVOD FSBS10CH60.....	22
<b>4 NÁVRH ZAPOJENIA .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 RIADIACI OBVOD.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 VÝKONOVÝ MODUL.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 NAPÁJANIE.....</b>	<b>29</b>
4.3.1 NÁVRH KAPACITY MEDZIOBVODU .....	29
<b>4.4 MAXIMÁLNY VÝKON PRIPOJENÉHO MOTORA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.5 ORIENTAČNÝ VÝPOČET STRÁT .....</b>	<b>31</b>
<b>4.6 BRZDNÝ REZISTOR.....</b>	<b>33</b>
<b>5 NÁVRH DPS .....</b>	<b>34</b>
<b>6 REALIZÁCIA MENIČA.....</b>	<b>36</b>
<b>7 NAMERANÉ PRIEBEHY .....</b>	<b>38</b>
<b>8 ZÁVER.....</b>	<b>42</b>
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>	<b>43</b>





## ZOZNAM OBRÁZKOV

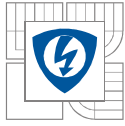
<i>Obr. 2.1- Závislosť výstupného napätia meniča na výstupnej frekvencii .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2.2-Závislosť momentu a výkonu motora na výstupnej frekvencii striedača .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2.3-Principiálna schéma výkonovej časti meniča .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2.4-Jednosmerný napájač meniča[1] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3.1-Katalógové zapojenie obvodu MC3PHAC v samostatnom móde [2] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3.2-Kontrola spomalenia[2] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 3.3-Kompenzácia úbytku napätia v statore [2].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3.4-Kompenzácia zvlnenia napätia medziobvodu[2] .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3.5-Katalógové zapojenie obvodu FSBS10CH60[5].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 3.6-Princíp nábojovej pumpy budičov horných tranzistorov [5].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4.1-Zapojenie riadiaceho obvodu.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4.2-Zapojenie spínacieho modulu .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 4.3-Zapojenie napájacej časti .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4.4- Priebeh prepínacích dejov [4] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 4.5-Zapojenie spínača brzdného odporu .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5.1- Návrh DPS - pohľad zo strany spojov .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5.2- Návrh DPS - rozmiestnenie súčiastok - pohľad zo strany vývodových súčiastok .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 6.1-Meranie na meniči.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 6.2-Menič s provizórnymi ovládacími prvkami.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6.3-DPS meniča zo strany spojov.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 7.1-Priebehy výstupných prúdov meniča .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7.2-Priebehy výstupných združených napätí.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7.3-Priebeh fázového napätia na vinutí motora zapojeného do hviezdy .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7.4-Priebeh napätia na tranzistore pri vypínaní.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7.5-Nábeh napätia nábojovej pumpy pri spustení.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7.6-Zvlnnie napätia nábojovej pumpy pri výstupnej frekvencii 5 Hz.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7.7-Zvlnenie napätia nábojovej pumpy pri výstupnej frekvencii 51 Hz .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7.8-Priebeh napätia na vstupe nadprúdovej ochrany .....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 7.9-Zobrazenie mŕtvej doby v PWM signáloch jednej vetvy.....</i>	<i>41</i>



---

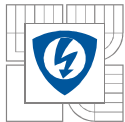
## ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 3.1- Závislost' nosnej frekvencie PWM na nastavenom napätí .....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3.2-Vybrané parametre tranzistorov .....</i>	<i>23</i>



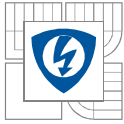
## ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

$\delta$	relatívny pokles napätia	[-]
$\omega_l$	uhlová rýchlosť sieťového napätia	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\omega_s$	synchronna uhlová rýchlosť točivého magnetického poľa statora	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\mu$	účinnosť meniča	[-]
$\mu_{mot}$	účinnosť motora	[-]
$C_{BS}$	kapacita kondenzátora nábojovej pumpy	[F]
$C_m$	kapacita kondenzátora v medziobvode	[F]
$\cos\varphi_{mot}$	účinník motora	[-]
$f_1$	frekvencia sieťového napätia	[Hz]
$f_2$	frekvencia 1. harmonickej výstupného napätia	[Hz]
$f_n$	menovitá frekvencia motora	[Hz]
$I_{2ef}$	efektívna hodnota výstupného prúdu	[A]
$I_{2m}$	amplitúda výstupného prúdu	[A]
$I_{2str}$	stredná hodnota výstupného prúdu	[A]
$I_C$	maximálny trvalý kolektorový prúd tranzistora	[A]
$I_{CP}$	maximálny špičkový kolektorový prúd tranzistora	[A]
$I_d$	stredná hodnota prúdu v medziobvode	[A]
$n$	otáčky motora	[min <sup>-1</sup> ]
$n_s$	synchronne otáčky motora	[min <sup>-1</sup> ]
$p$	počet pólových dvojíc	[-]
$P_{mot}$	výkon motora	[W]
$\Delta P_b$	straty na bočníku	[W]
$\Delta P_c$	celkové straty vedením na module	[W]
$\Delta P_{c1}$	straty vedením prúdu na jednom prvku	[W]
$\Delta P_{cv}$	straty vedením prúdu v jednej vetve	[W]
$\Delta P_{mod}$	celkové straty na module	[W]
$\Delta P_{sw}$	celkové prepínacie straty na module	[W]
$\Delta P_{sw1}$	prepínacie straty na jednom prvku	[W]
$\Delta P_{usm}$	straty na usmerňovači	[W]
$R_b$	odpor bočníka	[ $\Omega$ ]
$r_d$	dynamický odpor	[ $\Omega$ ]
$s$	sklz	[-]
$S_2$	výstupný zdanlivý výkon meniča	[VA]
$S_{mot}$	zdanlivý príkon motora	[VA]
$s_{nab}$	strieda spínania v nabíjacom intervale	[-]
$t_{nab}$	doba nabíjania nábojovej pumpy	[s]
$t_{OFF}$	doba vypnutia tranzistora	[s]
$t_{ON}$	doba zopnutia tranzistora	[s]
$U_{2Z}$	efektívna hodnota výstupného združeného napätia	[V]
$U_{2Zm}$	amplitúda výstupného združeného napätia	[V]
$U_{BSmin}$	minimálne napätie nábojovej pumpy	[V]
$U_{CC}$	napájacie napätie budičov	[V]



---

$U_{CES}$	maximálne napätie kolektor - emitor	[V]
$U_{CEsat}$	maximálne saturačné napätie kolektor - emitor	[V]
$U_d$	stredná hodnota napätia medziobvodu	[V]
$U_m$	amplitúda sieťového napätia	[V]
$U_n$	menovité napätie motora	[V]
$U_p$	prahové napätie	[V]
$\Delta U_d$	zvlnenie napätia medziobvodu	[V]
$\Delta U_{df}$	úbytok napätia na Schottkyho dióde	[V]
$\Delta U_{mod}$	úbytok napätia na jednom prvku modulu	[V]
$\Delta U_{nab}$	úbytok napätia pri nabíjaní nábojovej pumpy	[V]
$\Delta U_{usm}$	úbytok napätia na usmerňovači	[V]
$W_{OFF}$	stratová energia pri vypnutí tranzistora	[J]
$W_{ON}$	stratová energia pri zopnutí tranzistora	[J]



---

# 1 ÚVOD

Úlohou tejto bakalárskej práce je návrh, zostrojenie a oživenie trojfázového meniča pre napájanie asynchrónneho motora. Menič je určený na pohon stojanovej vŕtačky s výkonom asi do 1 kW.

Zariadenie bude konštruované s využitím integrovaných obvodov. Jednoučelové integrované obvody zjednodušujú návrh a výrobu zariadení pre nenáročné aplikácie. Aj vďaka tomu mohli pohony s asynchrónnymi motormi preniknúť do malých aplikácií s požiadavkou na plynulú reguláciu otáčok ako sú vŕtačky, klimatizácie alebo práčky.

Obvod MC3PHAC je určený na riadenie asynchrónnych motorov v otvorenej slučke. Riadenie v otvorenej slučke je pri pohone obvyčajnej vŕtačky vyhovujúce. Vo výkonovej časti je použitý tranzistorový modul FSBS10CH60 obsahujúci v jednom puzdre 6 tranzistorov a nulových diód spolu s budičmi na princípe nábojovej pumpy.

Prvú časť práce tvorí teoretický popis riadenia asynchrónneho motora a funkcie striedača. Nasleduje popis obvodového riešenia navrhovaného meniča, popis vlastností a činnosti použitého riadiaceho obvodu a výkonového modulu. Ďalej je navrhnutá celková schéma zapojenia a plošný spoj. Posledná časť je venovaná realizácii navrhnutého meniča a zhodnoteniu skúšobných meraní.

## 2 TEORETICKÝ ZÁKLAD

### 2.1 Asynchrónny motor

Asynchrónne motory sú v súčasnosti najpoužívanejším druhom motora pre pohon pracovných strojov, elektrických dopravných prostriedkov ale aj zariadení v domácnosti. Vynikajú jednoduchou konštrukciou a spoľahlivosťou hlavne v prevedení s rotorom nakrátko.

Princíp je založený na indukcii napätia v rotore prostredníctvom točivého magnetického poľa statora. V magnetickom obvode statora trojfázového motora sú umiestnené tri vinutia napájané trojfázovým harmonickým napätím. Vinutia sú usporiadané tak aby výsledný vektor magnetickej indukcie budený statorom vytváral točivé magnetické pole. Vinutie rotora je tvorené skratovanými tyčami alebo trojfázovým vinutím z izolovaných vodičov vyvedeným na zberné krúžky.

Točivé magnetické pole statora s počtom pólových dvojíc  $p$  sa otáča tzv. synchronnou rýchlosťou danou vzťahom

$$\omega_s = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2.1)$$

Pokiaľ sa rotor neotáča rovnakou mechanickou rýchlosťou, indukuje sa v ňom striedavé napätie. Prúd v rotore vyvolaný týmto napätím potom v spolupôsobení s magnetickým tokom statora vytvára silový účinok a tým točivý moment rotora. Frekvencia indukovaného napätia odpovedá rozdielu uhlovej rýchlosti točivého magnetického poľa statora a mechanickej uhlovej rýchlosti rotora. Ak sa rotor otáča rovnakou rýchlosťou ako magnetické pole, neindukuje sa v ňom žiadne napätie, nevzniká silové pôsobenie a motor nevyvodzuje moment. Pri zaťažení teda musia byť otáčky rotora  $\omega$  nižšie ako synchronne otáčky magnetického poľa statora  $\omega_s$ . Tento rozdiel je charakterizovaný sklzom

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2.2)$$

#### 2.1.1 Spôsoby regulácie otáčok

Základné možnosti regulácie otáčok vyplývajú zo vzťahu pre mechanické otáčky asynchrónneho motora

$$n = n_s(1 - s) = \frac{60 \cdot \omega_s}{2\pi \cdot p} (1 - s) = \frac{60f_1}{p} (1 - s) \quad (2.3)$$

kde  $f_1$  je napájacia frekvencia,  $p$  je počet pólových dvojíc motora a  $s$  je sklz.

Synchronne otáčky magnetického poľa statora je možné meniť skokovo zmenou počtu pólov. Regulácia je jednoduchá a bezstratová avšak regulačný rozsah je len pár diskrétnych hodnôt. Zmena sklzu umožňuje spojitú reguláciu. Môže byť realizovaná zmenou rotorového odporu alebo zmenou statorového napätia – podbudením motora. V prípade zmeny odporu kotvy je vinutie rotora vyvedené cez krúžky na svorky a regulácia prebieha zmenou pripojeného odporu alebo

meničom. Tento spôsob však vyžaduje zložitejšiu konštrukciu stroja a v prípade odporovej regulácie je principiálne stratový. Pri motoroch s rotorom nakrátko je zmena sklzu možná len v obmedzenej miere znížením statorového napätia. Zároveň dochádza ku zníženiu momentovej charakteristiky.

Technicky najvýhodnejším spôsobom regulácie je zmena frekvencie napájacieho napätia. Ako z hľadiska regulačného rozsahu a presnosti regulácie, tak z hľadiska účinnosti vďaka malým stratám. [6]

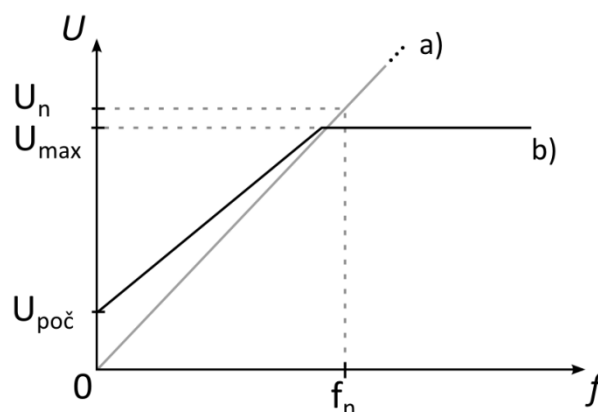
Zachovanie konštantného momentu v celom rozsahu frekvencie napájacieho napätia je podmienené zachovaním konštantných amplitúd magnetického toku vybudeneho jednotlivými fázovými vinutiami a teda konštantného magnetizačného prúdu. Keďže reaktancia vinutia s klesajúcou frekvenciou lineárne klesá, vedie táto požiadavka pri zanedbaní činného odporu vinutia k nutnosti zachovať konštantný pomer napätia a frekvencie podľa menovitého napätia motora  $U_n$  a menovitej frekvencie  $f_n$

$$\frac{U_{2z}}{f_2} = \frac{U_n}{f_n} = \text{konšt.} \quad (2.4)$$

Táto požiadavka sa týka len 1. harmonickej napájacieho napätia, ktorá je ako jediná užitočná pre tvorbu točivého momentu. Ostatné vyššie harmonické sú nežiaduce. Spôsobujú prídavné hysterézne straty, straty vírivými prúdmi a nerovnomernosť momentu.

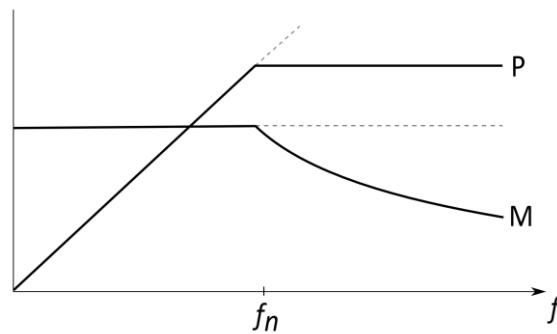
V skutočnosti však odpor vinutia môže pri znížení napájacej frekvencie a napätia spôsobovať nezanedbateľný úbytok. Preto je potrebné kompenzovať tento úbytok napätia na odpore navýšením napájacieho napätia nad hodnotu danú vzťahom (2.4). Na Obr. 2.1b) je naznačené zavedenie tzv. počiatočného napätia.

Keďže maximálna hodnota výstupného napätia meniča je obmedzená, nieje možné od určitej frekvencie zachovať konštantný pomer  $U/f$ . Dochádza ku odbudzovaniu stroja. Magnetický tok a teda aj maximálny dosiahnuteľný moment hyperbolicky klesá.



Obr. 2.1- Závislosť výstupného napätia meniča na výstupnej frekvencii

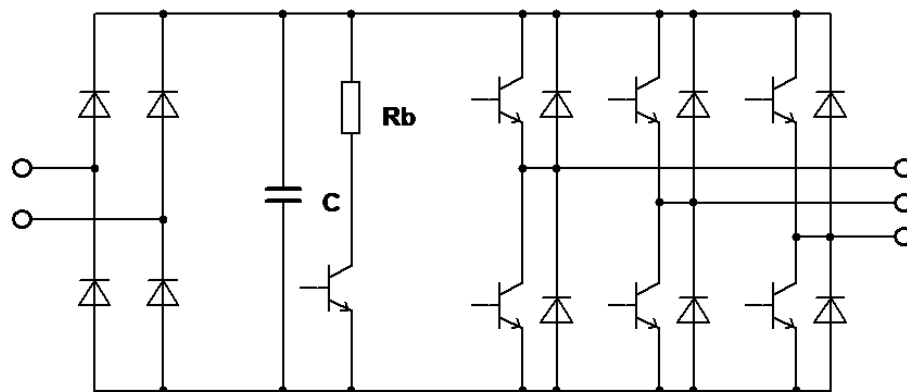
$U_n$  - menovité napätie motora,  $f_n$  - menovitá frekvencia motora,  $U_{max}$  - maximálne výstupné napätie striedača,  $U_{poc}$  - počiatočné napätie  
a) ideálny priebeh pre ideálny motor  
b) skutočný priebeh s počiatočným napätím



Obr. 2.2-Závislosť momentu a výkonu motora na výstupnej frekvencii striedača

## 2.2 Výkonová časť meniča

Na napájanie striedavých pohonov je v súčasnosti najpoužívanejší nepriamy napäťový menič frekvencie.



Obr. 2.3-Principiálna schéma výkonovej časti meniča

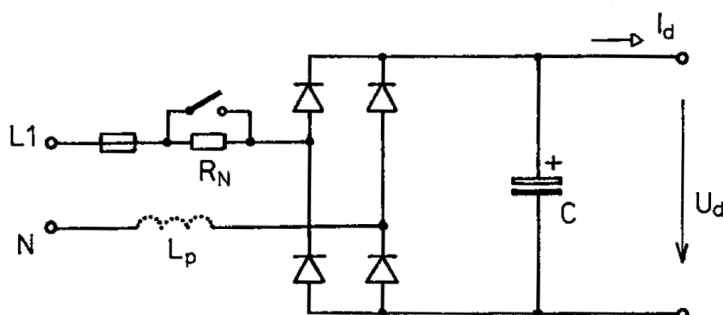
Nepriamy menič nespracováva priamo striedavé sieťové napätie ale využíva jednosmerný medziobvod. Sieťové napätie je usmernené prostredníctvom diódového usmerňovača a nabíja kondenzátor medziobvodu. Následne je pomocou striedača vytvorené požadované striedavé napätie pre napájanie motora. Princíp vytvorenia striedavého napätia je založený na periodickom pripájaní a odpájaní jednosmerného napätia ku záťaži.

Na Obr. 2.3 je schéma výkonovej časti meniča frekvencie s jednofázovým usmerňovačom, kondenzátorom jednosmerného medziobvodu a trojfázovým striedačom. Vzhľadom k tomu, že neriadený diódový usmerňovač neumožňuje rekuperáciu energie do siete, je v jednosmernom medziobvode zaradený brzdný odpor spínaný tranzistorom pri brzdení motora.



### 2.2.1 Napájač

Napät'ový medziobvod sa v ideálnom prípade chová ako ideálny zdroj konštantného napätia s nulovým vnútorným odporom. Zdroj musí byť schopný energiu vydávať aj prijímať. Funkciu medziobvodu plní vo väčšine prípadov výkonový elektrolytický kondenzátor umiestnený medzi usmerňovačom a striedačom. Kondenzátor je usmerňovačom pulzne dobíjaný na určitú strednú hodnotu napätia a zastáva funkciu napät'ového zdroja. Krátkodobo dokáže prijímať energiu späť od meniča ale dlhodobo sa musí energia dodávaná do kondenzátora rovnať energii odoberanej – stredná hodnota prúdu kondenzátorom musí byť nulová. V prípade nerovnováhy napätie na kondenzátore vzrastá alebo klesá.



Obr. 2.4-Jednosmerný napájač meniča[1]

Jednofázový neriadený usmerňovač je tvorený štyrmi diódami. V každej polperióde vedie prúd jedna dvojica diód.

Kondenzátor pracuje v súčinnosti s diódami usmerňovača ako špičkový detektor. V časti polperiódy kedy okamžitá hodnota usmerného napätia presiahne napätie na kondenzátore v medziobvode, snaží sa kondenzátor nabiť na amplitúdu sieťového napätia. Vo vybíjacom intervale sa kondenzátor vybíja prúdom záťaže. Záťaž je tvorená tranzistorovým striedačom, ktorého vysokofrekvenčne zvlnený odoberaný prúd má obvykle za čas periódy konštantnú strednú hodnotu. Napätie na kondenzátore počas vybíjacieho intervalu približne lineárne klesá. Výsledkom je zvlnené jednosmerné napätie. Veľkosť zvlnenia závisí hlavne od veľkosti kondenzátora a veľkosti strednej hodnoty odoberaného prúdu.

Zväčšovaním kapacity klesá zvlnenie napätia, avšak nabíjacia doba kondenzátora sa znižuje a špičky odoberaného prúdu sa zväčšujú. Zvyšuje sa rušenie a vzrastajú straty. Takéto úzke pulzy nie je sieť schopná dodať kôli jej parazitnej indukčnosti  $L_p$ . Preto sú impulzy dlhšie ale ich amplitúda a teda aj veľkosť napätia v medziobvode klesá. Optimálna hodnota relatívneho poklesu napätia ako pomeru poklesu ku maximálnej hodnote sa pohybuje v intervale 0,05 až 0,2. [1]

V okamžiku pripojenia na napájaciu sieť, keď je kapacita medziobvodu úplne vybitá, pretečie obvodom veľký rázový nabíjací prúd. Príliš veľký rázový prúd môže poškodiť hlavne usmerňovač a kondenzátory. Na obmedzenie nabíjacieho prúdu slúži odpor  $R_N$ . Odpor je na začiatku zaradený na vstup usmerňovača a obmedzuje nabíjací prúd kondenzátora na prípustnú hodnotu. Po uplynutí dostatočne dlhej doby alebo vzraste napätia na určitú úroveň je vhodné obmedzovací odpor premostiť. Na odpore by inak vznikali zbytočné straty a úbytok napätia. Odpor  $R_N$  a kondenzátor  $C$  tvoria RC článok s časovou konštantou  $\tau = R_N C$ , ktorého výstup sa ustáli za dobu  $3\tau$ . Pre malé výkony možno obmedzovací odpor nahradiť výkonovým termistorom

s negatívnym teplotným koeficientom, ktorého odpor po zahriatí prevádzkovým prúdom klesne na veľmi malú hodnotu. Nevýhodou je zvýšenie strát a neúčinnosť opatrenia pri opätovnom pripojení zariadenia v prípade, keď termistor ešte nestihol vychladnúť.

### 2.2.2 Striedač

Spínanie záťaže na jednosmerné napätie medziobvodu zaisťuje striedač tvorený vhodným usporiadaním spínačov. Tie sú v súčasnosti najčastejšie realizované výkonovými IGBT tranzistormi a výkonovými spínacími diódami.

Trojfázový striedač sa skladá zo šiestich spínačov ktoré spolu tvoria tri štvorkvadrantové meniče. Tak je možné vytvoriť tri nezávislé napätia a záťaž môže pracovať vo všetkých štyroch kvadrantoch.

Maximálna amplitúda výstupného združeného napätia je obmedzená maximálnym napätím aké možno pripojiť medzi dve fázy a teda odpovedá napätiu medziobvodu. Pri napájaní meniča jednofázovým napätím má napätie v medziobvode hodnotu asi 300 V. Potom najväčšie dosiahnuteľné združené napätie 1.harmonickej má hodnotu  $300/\sqrt{2} \doteq 212$  V. Bežné asynchrónne motory sú konštruované na napájanie napätím 400 V v zapojení do trojuholníka. Preto je nutné pri použití jednofázovo napájaného meniča zapojiť takýto motor do hviezdy. Maximálne združené napätie je i tak asi o 8 % menšie ako menovité. Následkom je zníženie momentu a zväčšenie sklzu už pri menovitej frekvencii.

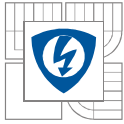
## 2.3 Riadenie meniča

Pre riadenie rýchlosti asynchrónnych motorov sú používané metódy skalárneho riadenia, vektorového riadenia a priameho riadenia momentu. Vektorové riadenie a priame riadenie momentu vyžadujú spätnú väzbu a vyznačujú sa výrazne lepšimi dynamickými vlastnosťami. Skalárne riadenie umožňuje aj riadenie bez spätnej väzby, teda v otvorenej slučke. Skalárne riadenie reguluje len amplitúdy riadených premenných. Riadiace a spätno-väzobné signály preto môžu byť predstavované jednosmerným napätím čo zjednodušuje riadiace štruktúry.[6]

Riadenie trojfázového striedača si vyžaduje generovanie troch sínusovo modulovaných PWM signálov pre spínanie horných tranzistorov a troch invertovaných signálov pre spínanie dolných tranzistorov. Jednotlivé modulačné sínusové signály sú medzi sebou posunuté o  $120^\circ$  a majú zhodnú amplitúdu aby na výstupe striedača vznikla symetrická trojfázová sústava.

V jednotlivých vetvách sú so žiadanou striedou striedavo spínané horné a dolné tranzistory. Podľa toho v ktorom kvadrante sa nachádza záťaž, tečie potom prúd príslušným tranzistorom alebo nulovou diódou. Keďže zapínacia a vypínacia doba tranzistorov nie je nekonečne krátka, je potrebné zabrániť stavu, kedy by sa oba striedavo spínané tranzistory vo vetve nachádzali naraz vo vodivom stave. To by znamenalo skrat v medziobvode a zničenie tranzistorov. Preto je do riadiaceho signálu pre budiče tranzistorov vkladaná tzv. mŕtva doba. Vypnutie tranzistorov prebieha okamžite, ale povel k zapnutiu je oneskorený o určitú dobu. Táto doba musí byť dlhšia ako celková vypínacia doba použitých tranzistorov.

Voľba nosného kmitočtu PWM signálu je ovplyvňovaná na jednej strane snahou o dosiahnutie čo najmenšieho zvlnenia výstupného prúdu a na druhej strane snahou o čo najmenšie straty a namáhanie prvkov. Aby nosná frekvencia neovplyvňovala výstupný priebeh,



mala by mať čo najväčší odstup od pracovnej frekvencie. Indukčnosť motora ako záťaž plní funkciu dolnej priepuste. Čím väčšia bude nosná frekvencia, tým viac bude potlačené zvlnenie výstupného prúdu a teda aj prídavné straty v motore od vyšších harmonických. Avšak zvýšenie frekvencie má za následok zvýšenie prepínacích strát tranzistorov a komutačných strát na diódach. Veľkosť nosného kmitočtu striedačov sa bežne pohybuje v rozmedzí 5 až 20 kHz.

Moduláciou PWM signálu čistým sínusovým priebehom môže maximálna amplitúda fázového napätia dosiahnuť polovicu napätia medziobvodu. Pre Amplitúdu združeného napätia potom platí  $U_{zsm} = \sqrt{3} \cdot U_d / 2 = 0,866 \cdot U_d$ . Ďalším zvyšovaním amplitúdy modulačného signálu by došlo ku orezaniu výstupného priebehu a vzniku vyšších harmonických. Maximálna striedačom dosiahnuteľná amplitúda združeného napätia však odpovedá  $U_d$ . Zvýšenie amplitúdy prvej harmonickej bez deformácie združeného napätia je možné dosiahnuť pričítaním tretej harmonickej ku základným modulačným frekvenciám. Tým sa vrchol výsledného PWM priebehu sploští a miernym navýšením prvej harmonickej nedôjde ku orezaniu. Výsledný priebeh vetvového napätia je deformovaný ale v združenom napätí sa tretie harmonické neobjavia pretože pôsobia súfázovo vo všetkých fázach. [1]

### 3 OBVODOVÉ RIEŠENIE

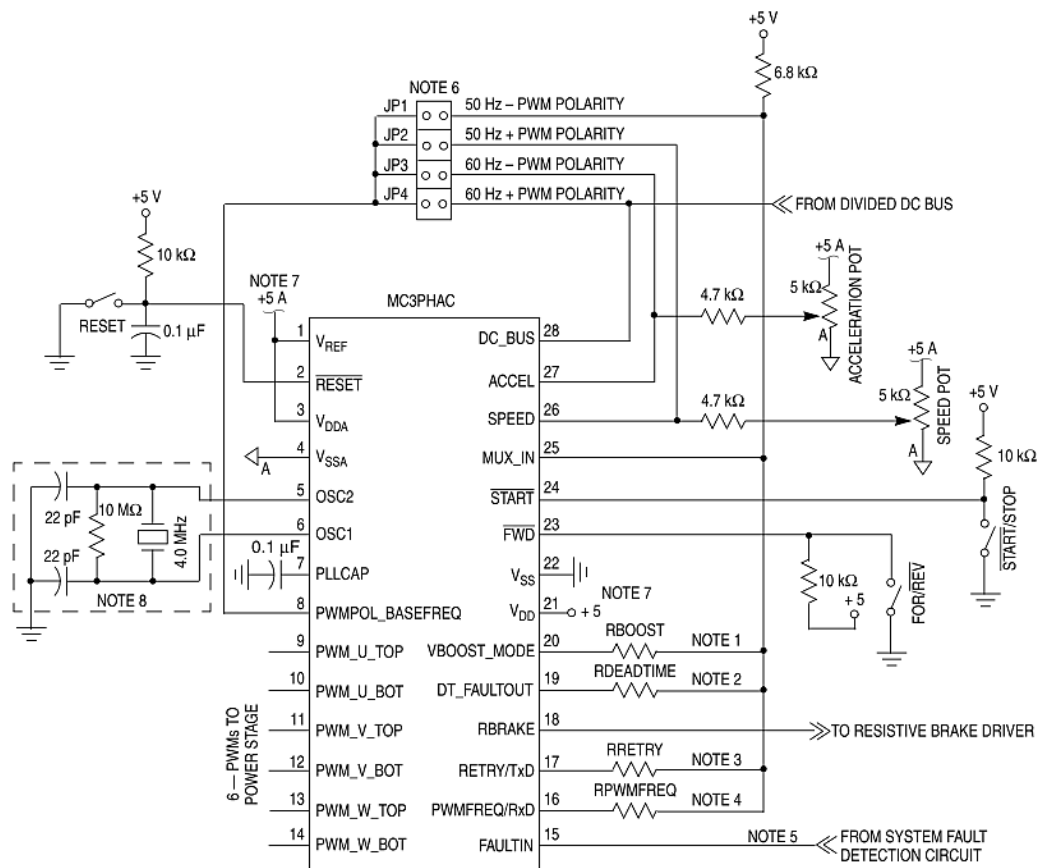
Prevažnú časť meniča tvoria jednocúčelové integrované obvody. Ich použitie značne zjednodušuje návrh zariadení pre jednoduchšie aplikácie a umožňuje zmenšiť ich veľkosť a cenu. Aj vďaka tomu mohli pohony s asynchrónnymi motormi preniknúť do malých aplikácií s požiadavkou na plynulú reguláciu otáčok ako sú vrtačky alebo domáce spotrebiče ako práčky a klimatizácie.

#### 3.1 Riadiaca časť

Pre riadenie je použitý jednocúčelový monolitický integrovaný obvod MC3PHAC od firmy Freescale Semiconductor. Zaisťuje základné funkcie potrebné na riadenie striedača pre pohony s trojfázovým asynchrónnym motorom v otvorenej slučke. Jedná sa o digitálny obvod s 32-bitovým spracovaním signálov. Môže pracovať ako samostatný obvod (tzv. Standalone mode) alebo s nadradeným riadiacim systémom prostredníctvom sériovej linky UART.

##### 3.1.1 Obvod MC3PHAC

Obvod generuje riadiace PWM signály pre vytvorenie troch fázovo posunutých napätí o požadovanej frekvencii a tomu odpovedajúcej amplitúde. Výstupom je 6 PWM signálov pre priame ovládanie jednotlivých budičov tranzistorov striedača. Signály majú TTL-kompatibilné úrovne a zahŕňajú mŕtvu dobu medzi spínaním horných a dolných tranzistorov v mostíku.



Obr. 3.1-Katalógové zapojenie obvodu MC3PHAC v samostatnom móde [2]

### 3.1.1.1 Nastavenie parametrov

Po spustení zariadenia – resete obvodu, dôjde k inicializácii parametrov pomocou prepojok a pasívnej odporovej siete tvoriacej deliče napätia so spoločným horným rezistorom a spoločným výstupom na analógový vstup obvodu. Obvod spína jednotlivé deliče a ich výstupné napätie určuje jednotlivé parametre.

Týmto spôsobom možno nastaviť:

- základnú frekvenciu pripojeného motora 50/60 Hz a polaritu výstupného PWM signálu pinom PWMPOL\_BASEFREQ
- nosnú frekvenciu PWM signálov 5.291, 10.582, 15.873 alebo 21.164 kHz pinom PWMFREQ podľa Tab. 3.1
- mŕtvu dobu v rozsahu 0,5–30  $\mu$ s pinom DT\_FAULTOUT
- dobu blokovania po poruche v rozsahu 1–60 s pinom RETRY
- počiatočné napätie v rozsahu 0–40 % pinom VBOOST\_MODE

Tab. 3.1- Závislosť nosnej frekvencie PWM na nastavenom napätí

Vstupné napätie [V]	Frekvencia PWM [kHz]
0 - 1	5,291
1,5 až 2,25	10,582
2,75 až 3,5	15,873
4 až 5	21,164

Nominálna hodnota napätia v medziobvode je určená pomerom snímacieho deliča napätia pripojeného na vstup DC\_BUS. Za nominálnu hodnotu je považované napätie 3,5 V na vstupe.

### 3.1.1.2 Ovládanie

Motor sa uvedie do chodu spínačom ŠTART – privedením logickej 0 na invertovaný vstup START. Vstup je vnútorne odrušený proti zákmitom. Pre zabránenie neúmyselnému rozbehu v prípade pripojenia zariadenia na sieť so spínačom ponechaným v zapnutej polohe, musí na vstupe existovať log.1 predtým ako privedieme log.0.

Smer otáčania určuje prepínač pripojený na vstup FWD. Log.0 znamená vpred, log. 1 vzad.

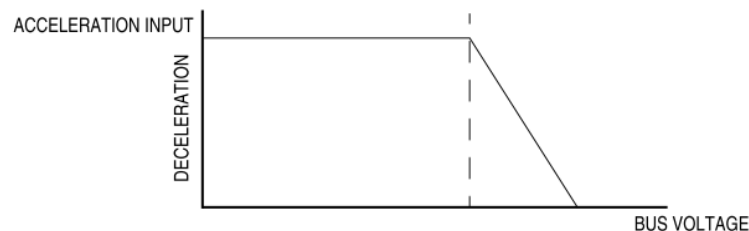
Žiadaná frekvencia v ustálenom stave a teda otáčky motora, sú určené riadiacim napätím privedeným na vstup SPEED. Na vstup je pripojený potenciometer napájaný z analógovej napájacej vetvy. Žiadaná hodnota frekvencie môže byť v rozsahu 1–128 Hz. Vstup obsahuje šumový filter.

Napätie na vstupe ACCEL určuje zrýchlenie pri zmene žiadanej frekvencie. Hodnota môže byť v rozsahu 0,5–128  $\text{Hz}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 3.1.1.3 Brzdzenie

Pri znížení žiadanej frekvencie sa motor dostane vplyvom zotrvačnosti do nadsynchrónnych otáčok a chová sa ako generátor. Prúd dodávaný motorom tečie do kondenzátora v medziobvode a jeho napätie rastie. Aby sa predišlo nárastu napätia na nebezpečnú hodnotu využíva obvod dve techniky na jeho zníženie: pripojenie brzdného odporu do medziobvodu a automatické spomalenie poklesu frekvencie.

Napätie na vstupe DC\_BUS je sledované a keď vzrastie nad nominálnu hodnotu zopne sa prostredníctvom výstupu RBRAKE tranzistor a pripojí do medziobvodu odpor, na ktorom sa prebytočná energia zmarí. Zároveň, ak napätie presahuje nominálnu hodnotu, je v závislosti na jeho veľkosti znižovaná rýchlosť poklesu frekvencie. Tým sa výkon dodávaný motorom zníži na takú hodnotu, ktorá odpovedá celkovým stratám v motore, na výkonovom module a prípadne na brzdnom odpore.



Obr. 3.2-Kontrola spomalenia[2]

### 3.1.1.4 Ochrany

Ak nastane jedna zo sledovaných porúch, obvod okamžite zablokuje všetky PWM signály. Keď porucha pominie obvod ešte zostane zablokovaný po nastavenú dobu. Spracovávané sú tieto poruchy:

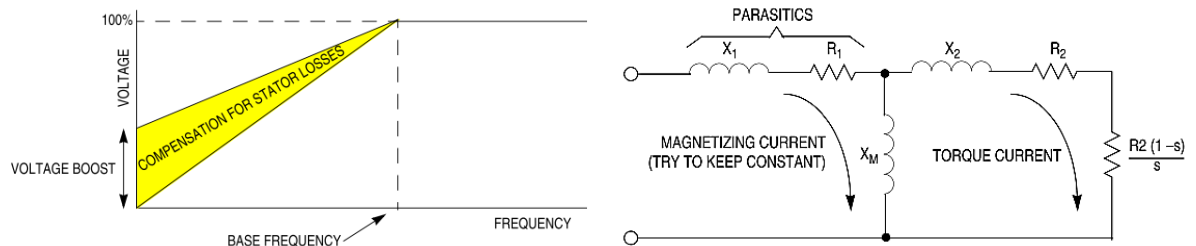
- Sledovanie externého poruchového vstupu. Môže byť použitý napríklad pre nadprúdovú ochranu.
- Strata taktovacieho signálu. Táto porucha môže spôsobovať aj reset obvodu.
- Nízke napájacie napätie – účinkuje pri poklese o 5-10 %
- Napätie v medziobvode mimo povoleného rozsahu. V samostatnom móde sú hranice pevne učené na 50 % a 128 % nominálneho napätia.

Po spustení zariadenia môže nastať situácia, kedy napájacie napätie obvodu dosiahne potrebnú hodnotu skôr ako napätie v medziobvode. Aby sa predišlo vyhodnoteniu tohto stavu ako poruchy, sú funkcie obvodu blokované pokiaľ napätie v medziobvode nedosiahne nominálnu hodnotu.

### 3.1.1.5 Ďalšie funkcie

Ku základnej modulačnej frekvencii je pričítaná tretia harmonická o malej amplitúde. To umožňuje zvýšiť amplitúdu prvej harmonickej o 15 % bez deformácie priebehu výstupného združeného napätia.

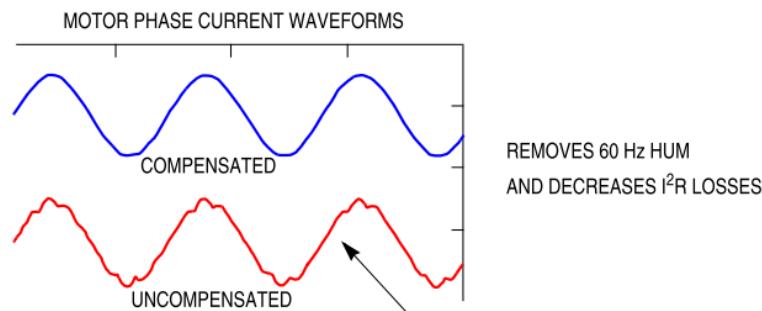
Pre zachovanie magnetizačného prúdu motora, je nutné kompenzovať úbytok napätia na odpore vinutia statora pri nízkych frekvenciách. Preto je voliteľne zavedené navýšenie napätia pri zníženej frekvencii.



Obr. 3.3-Kompenzácia úbytku napätia v statore [2]

Obvod tiež zaisťuje po každom spustení motora dobu 100 ms počas ktorej sú spínané len dolné tranzistory so striedou 50 %. Táto doba je potrebná na nabitie kondenzátorov pri použití budičov horných tranzistorov s nábojovou pumpou.

Aby sa zvlnenie napätia jednosmerného medziobvodu neprenášalo do výstupného priebehu, je napätie medziobvodu sledované prostredníctvom deliča na vstupe DC\_BUS a pri jeho odchýlke od nominálnej hodnoty je upravovaná strieda PWM signálu tak, aby bolo toto zvlnenie potlačené.



Obr. 3.4-Kompenzácia zvlnenia napätia medziobvodu[2]

Pre generovanie taktovacích hodín používa obvod fázový záves – PLL s externým referenčným oscilátorom. To obmedzuje prenikanie rušivých špičiek do taktovacieho signálu a zvyšuje stabilitu.

## 3.2 Výkonová časť

Výkonová časť pozostáva z napájajúceho tvoreného jednofázovým štvorpulzným usmerňovačom, medziobvodu, brzdného odporu a striedača.

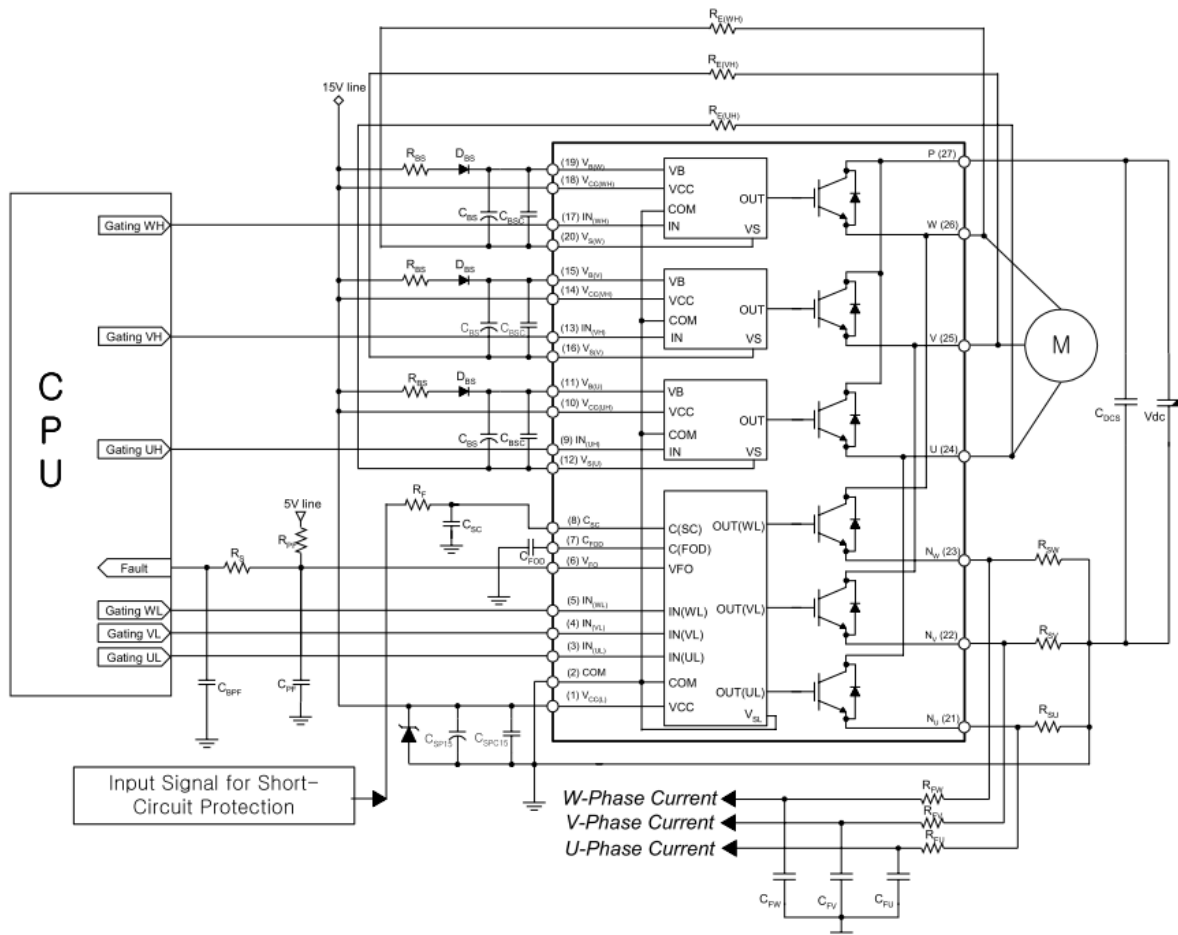
### 3.2.1 Obvod FSBS10CH60

Kompaktný modul od firmy Fairchild Semiconductor je určený pre nízko-výkonové aplikácie so striedačom. Obsahuje šesť IGBT tranzistorov s nulovými diódami a budiče pre vytvorenie striedača s 3-fázovým H-mostíkom. Dolné konce jednotlivých vetiev mostíku sú vyvedené samostatne aby bolo možné snímať prúdy pre ochranu v každej vetve zvlášť.



Tab. 3.2-Vybrané parametre tranzistorov

$U_{CES}$	Maximálne napätie kolektor - emitor	600 V
$I_C$	Kolektorový prúd každého tranzistora	10 A
$I_{CP}$	Špičkový kolektorový prúd každého tranzistora (<1 ms)	20 A
$U_{CEsat}$	Maximálne saturačné napätie kolektor - emitor	2,3 V
$t_{ON}$	Doba zopnutia (horné / dolné tranzistory)	0,27 / 0,24 $\mu$ s
$t_{OFF}$	Doba vypnutia (horné / dolné tranzistory)	0,31 / 0,33 $\mu$ s



Obr. 3.5-Katalógové zapojenie obvodu FSBS10CH60[5]

### 3.2.1.1 Ochrany

Pre správnu funkciu je potrebné aby napájacie napätie malo hodnotu  $15\text{ V} \pm 10\%$ . Pri zníženom napätí dochádza ku zníženiu rýchlosti spínania a zvýšeniu strát na tranzistoroch až ku nesprávnej funkcii budiča. Zvýšené napätie spôsobuje zväčšenie strmosti spínania a tým zvýšenie rušenia a vznik špičiek alebo až zničenie budiča.

Modul obsahuje podpäťovú ochranu ktorá účinkuje od 12,5 do 4 V. Pri vzniku poruchy sa vypne príslušný tranzistor alebo všetky dolné tranzistory v prípade dolného budiča a spínanie je zablokované. Vzrastom napätia do povoleného rozsahu sa činnosť obnoví. Poruchový signál z dolného budiča sa prenáša aj na externý poruchový výstup  $V_{FO}$ .

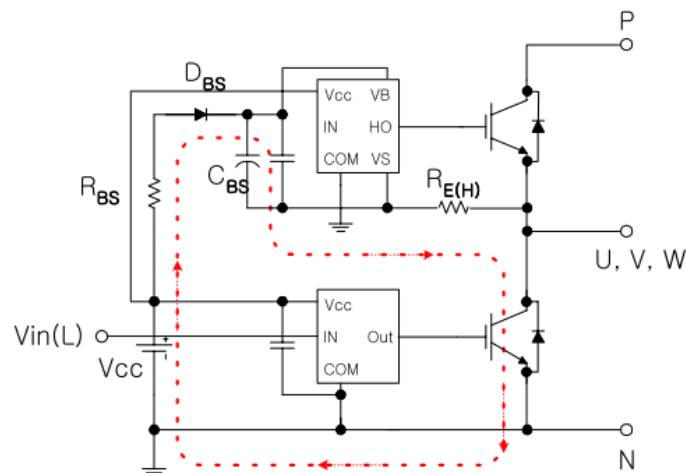


Signál zo snímacích rezistorov prúdu je privedený na vstup  $C_{SC}$ . V prípade skratu alebo výrazného preťaženia prekročí napätie na vstupe referenčnú hodnotu 0,5 V a dôjde ku zaúčinkovaniu nadprúdovej ochrany. To spôsobí vypnutie a zablokovanie dolných tranzistorov a zopnutie externého poruchového výstupu  $V_{FO}$ .

Výstup  $V_{FO}$  je typu otvorený kolektor preto je potrebné prispôbiť a prípadne invertovať úroveň pre riadiaci obvod.

### 3.2.1.2 Budenie

Všetky budiče modulu majú spoločný nulový potenciál pre riadiace vstupy a nemusia byť zvlášť galvanicky oddelené od riadiaceho obvodu. Pre budiče horných tranzistorov nie je potrebné vytvárať samostatné napájacie napätia. Používajú tzv. Bootstrap obvod, teda napäťovú pumpu, na vytvorenie napätia potrebného pre riadiace elektródy tranzistorov.



Obr. 3.6-Princíp nábojovej pumpy budičov horných tranzistorov [5]

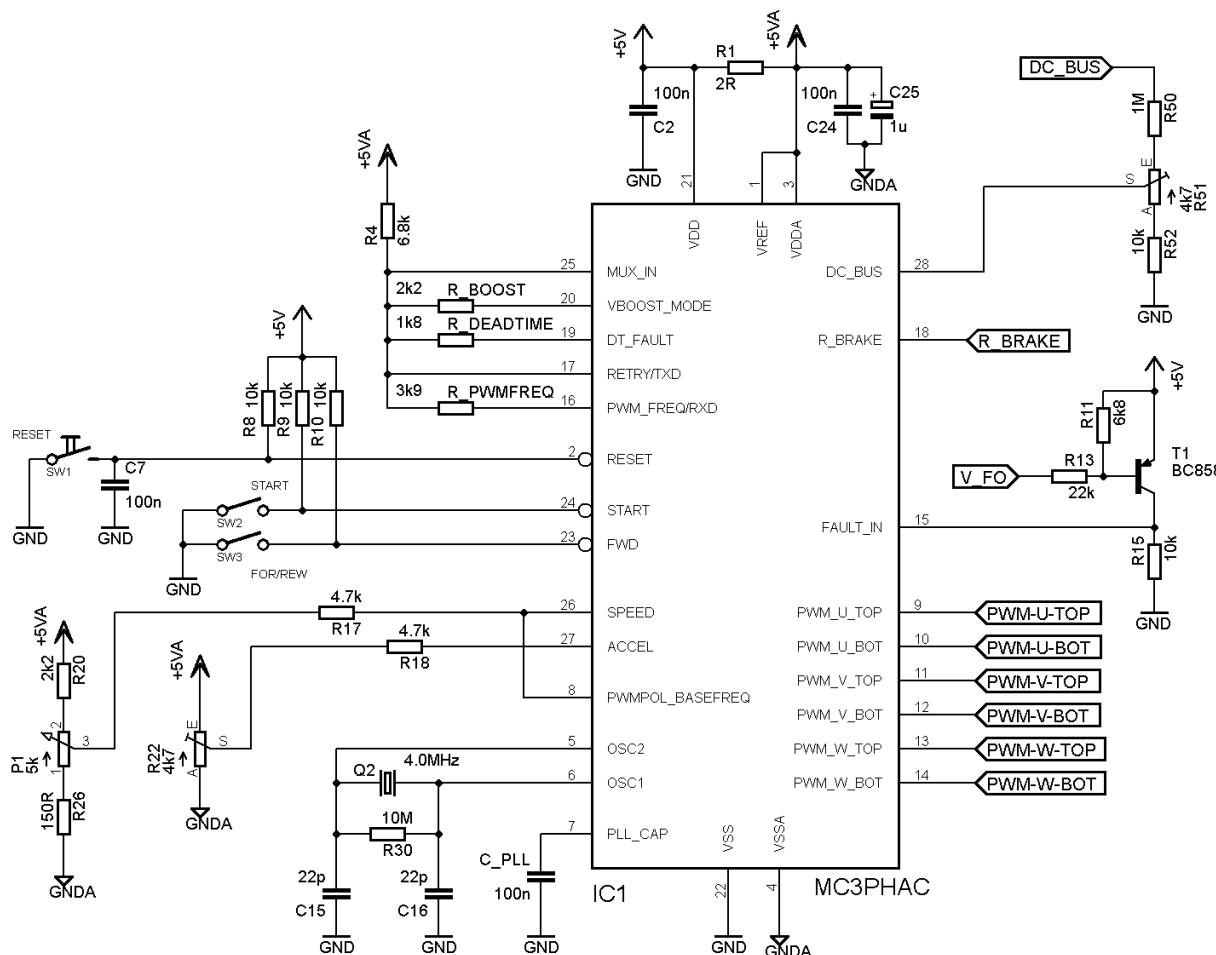
Na horné budiče je privedené spoločné napájacie napätie 15 V voči spoločnej obvodovej zemi modulu a ich zeme sú pripojené cez odpor  $R_E$  ku emitorom jednotlivých horných tranzistorov. Potenciál emitora voči spoločnej zemi sa v čase mení v závislosti od spínania tranzistorov a pripojenej záťaže. Pri zopnutom spodnom tranzistore sa potenciál emitru dostane na takmer nulové napätie, na vetve  $R_{BS} - D_{BS} - C_{BS} - R_E$  sa objaví napätie napájacieho zdroja a kondenzátor  $C_B$  sa nabíja. Po rozopnutí spodného tranzistora sa jeho emitor dostane na nový potenciál spolu s napätím na kondenzátore  $C_{BS}$ . Toto napätie je následne použité na zopnutie horného tranzistora. Emitor sa dostane takmer na potenciál kladnej svorky medziobvodu a na vetve  $R_{BS} - D_{BS} - C_{BS} - R_E$  sa objaví veľké záporné napätie. Dióda  $D_{BS}$  je však v závernom smere a zabráni nabíjaniu kondenzátora  $C_{BS}$  na opačnú polaritu.

Po uvedení do chodu sú kondenzátory nábojovej pumpy vybité a horné tranzistory nie je možné spínať. Preto je potrebné aby riadiaci obvod na začiatku zabezpečil dostatočne dlhú dobu počas ktorej budú zopnuté dolné tranzistory.

Do obvodu riadiacej elektródy tranzistora je zaradený odpor  $R_E$  pre zníženie strmosti výstupného napätia pri spínaní. Veľká strmosť výstupného napätia pri spínaní spôsobuje zvýšenie rušenia a zvýšenie namáhania izolácie káblov a vinutí.

## 4 NÁVRH ZAPOJENIA

### 4.1 Riadiaci obvod



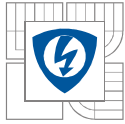
Obr. 4.1-Zapojenie riadiaceho obvodu

Rezistor R4 a jednotlivé rezistory  $R_{\text{BOOST}}$ ,  $R_{\text{DEADTIME}}$ ,  $R_{\text{PWMFREQ}}$  vytvárajú deliče, ktorých výstupné napätia privedené na vstup MUX\_IN určia pri spustení žiadané parametre obvodu.

Rezistor  $R_{\text{BOOST}}$  určuje počiatkové napätie pri nulovej frekvencii. Zvolená hodnota rezistora vytvára napätie 1,2 V čo odpovedá počiatkovému napätiu asi 10 %. Túto hodnotu je potrebné prispôbiť podľa konkrétneho použitého motora.

Mŕtva doba medzi vypnutím a zopnutím horných a dolných tranzistorov je určená s ohľadom na spínacie doby tranzistorov a s rezervou na 2  $\mu\text{s}$  rezistorom  $R_{\text{DEADTIME}}$ . Najdlhšia typická vypínacia doba 0,33  $\mu\text{s}$  nastáva pri vypínaní spodného tranzistora.

Doba oneskorenia opätovného zapnutia po poruche je nastavená na najvyššiu možnú hodnotu 60 sekúnd nepripojením výstupu RETRY/TxD.



Rezistor  $R_{\text{PWMFREQ}}$  určuje napätie deliča 1,82 V čo odpovedá nosnej frekvencii PWM signálu 10,582 kHz.

Prepojenie vstupu  $\text{PWMPOL\_BASEFREQ}$  a pinu  $\text{SPEED}$  nastavuje menovitú frekvenciu motora na 50 Hz a polaritu výstupného PWM signálu ako aktívnu v jednotke.

Potenciometrom P1 nastavuje užívateľ žiadané otáčky. Rezistory R20 a R26 obmedzujú nastaviteľnú frekvenciu na 4,8 až 51,6 Hz.

Na invertované tlačidlové vstupy sú pripojené rezistory ktoré zdvíhajú vstupný signál na úroveň 5 V a jednotlivé tlačidlá spínajúce vstupy do nuly.

Trimer R22 slúži na nastavenie zrýchlenia pri zmene žiadanej frekvencie v rozsahu 0,5 až  $128 \text{ Hz}\cdot\text{s}^{-1}$ .

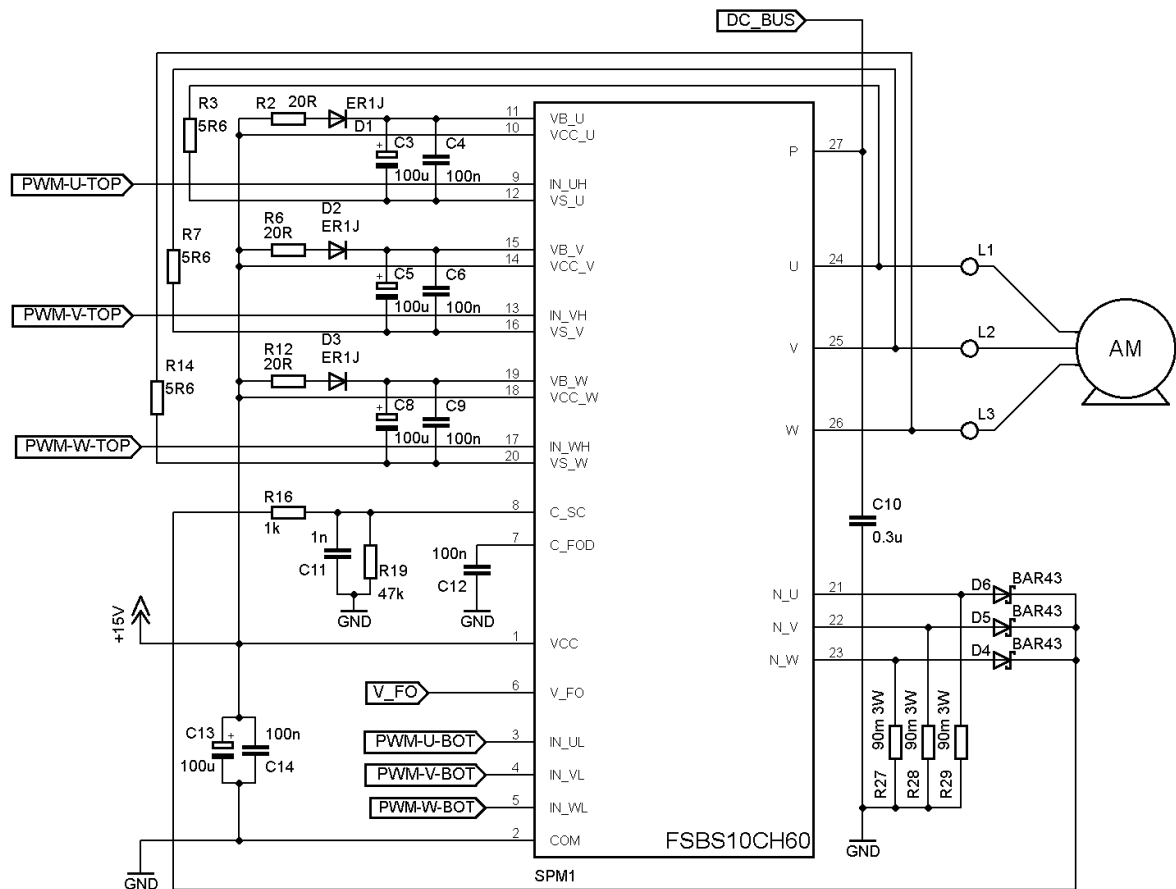
Na digitálny napájací vstup  $V_{\text{DD}}$  je privedené napätie 5V a pripojený odrušovací kondenzátor C2. Kondenzátor C2 by mal byť umiestnený tesne pri vstupe. Napájanie analógových obvodov  $V_{\text{DDA}}$  je oddelené rezistorom R1 a vedené samostatne pre potlačenie rušenia od digitálnych obvodov. Taktiež analógová zem by mala byť na plošnom spoji vedená samostatne.

Snímanie napätia v medziobvode je realizované odporovým deličom R50, R51, R52 pripojeným na vstup  $\text{DC\_BUS}$ . Trimrom R51 sa nastavuje nominálna hodnota napätia v medziobvode pri ktorej je na výstupe deliča 3,5 V. Pri zvolenej hodnote odporu R50 potečie deličom prúd  $290 \mu\text{A}$ . Táto hodnota má dostatočný odstup od maximálneho vstupného prúdu  $1 \mu\text{A}$  vstupu  $\text{DC\_BUS}$ , spôsobuje tepelné straty len 90 mW a nezaťažuje pin pri inicializácii, kedy je použitý ako výstupný. Rozsah trimrom nastaviteľného napätia je potom určený odporom trimru a rezistora R52 na asi 250-350 V.

Pre taktovacie obvody sú zvolené obvyklé hodnoty súčiastok podľa dokumentácie výrobcu. Kondenzátorom  $C_{\text{PLL}}$  je možné ovplyvniť rýchlosť odozvy na zmenu referenčnej frekvencie.

Poruchový signál z výkonového obvodu je typu otvorený kolektor. Je privedený cez bázový odpor R13 na tranzistor T1 ktorý pri aktívnom poruchovom výstupe privedie logickú 1 na poruchový vstup riadiaceho obvodu.

## 4.2 Výkonový modul



Obr. 4.2-Zapojenie spínacieho modulu

Na vstupy budičov sú privedené priamo výstupné PWM signály z riadiaceho obvodu. Bezpečné vypnutie tranzistorov pri neaktívnom riadiacom obvode zaisťujú integrované pull-down rezistory.

Jednotlivé budiče horných tranzistorov sú napájané kondenzátormi nábojovej pumpy C3, C5 a C8. Tieto kondenzátory sú nabíjané vždy pri zopnutí spodného tranzistora v príslušnej vetve. Rezistory R2, R6 a R12 obmedzujú nabíjací prúd kondenzátorov. Príliš veľká hodnota nabíjacieho prúdu môže spôsobiť, že úbytok na odpore R3, R7 alebo R14, zapojenom medzi emitorového odporu je zvolená podľa odporúčenia dokumentácie. Nabíjací odpor by mal mať minimálne trojnásobnú hodnotu. Kondenzátor musí mať dostatočne malú kapacitu aby jeho napätie dosiahlo potrebnú hodnotu pri počiatocnom nabíjacom intervale a dostatočne veľkú kapacitu aby dokázal napájať budič počas najdlhšieho zopnutia tranzistora a počas úseku s malou striedou spínania dolného tranzistora. S rezervou bola zvolená hodnota 100  $\mu$ F. Na počiatocné nabitie kondenzátora na minimálne napätie 13 V je potrebná minimálne doba daná vzťahom (4.1).

$$t_{nab} = C_{BS} \cdot (R_{BS} + R_E) \cdot \frac{1}{s_{nab}} \cdot \ln\left(\frac{U_{CC}}{U_{CC} - U_{BSmin} - \Delta U_{nab}}\right) \quad [5] \quad (4.1)$$

Kde  $C_{BS}$  je kapacita kondenzátora,  $R_{BS}$  je nabíjací odpor,  $R_E$  je emitorový odpor,  $s_{nab}$  je strieda spínania pri nabíjaní,  $U_{CC}$  je napájacie napätie,  $U_{BSmin}$  je minimálne napätie nábojovej pumpy a  $\Delta U_{nab}$  je úbytok na dióde a spodnom tranzistore pri nabíjaní.

$$t_{nab} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (20 + 5,6) \frac{1}{0,5} \cdot \ln\left(\frac{15}{15 - 13 - 0,7 - 0,5}\right) = 15 \text{ ms} \quad (4.2)$$

Riadiaci obvod zabezpečuje nabíjaciú dobu až 100 ms. Vlastnosti nábojovej pumpy so zvolenými hodnotami budú overené meraním.

Pri zopnutých horných tranzistoroch sa objaví na diódach D1, D2 a D3 v závernom smere napätie medziobvodu. Je potrebné zvoliť diódy s vhodným záverným napätím, malou zotavovacou dobou a malým zvodovým prúdom aby nedochádzalo ku vybíjaniu kondenzátorov nábojovej pumpy. Zvolená dióda ER1J má záverné napätie 600 V, dobu záverného zotavenia 35 ns a zvodový prúd 5 až 500  $\mu\text{A}$  podľa teploty.

Maximálny prúd na výstupe je zvolený podľa predpokladaného použitia meniča ako 70 % z maximálneho prúdu tranzistorov  $I_C = 10 \text{ A}$ .

Maximálna amplitúda 1.harmonickej výstupného prúdu:

$$I_{2m} = I_C \cdot 0,7 = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{ A}$$

Veľkosť prúdu pre skratovú ochranu je snímaná bočníkmi R27, R28 a R29. Signály z bočnikov sú vedené cez diódy a RC filter pre potlačenie rušenia na vstup skratovej ochrany obvodu. Ochrana reaguje pri dosiahnutí napätia 0,5 V na vstupe. Aby ochrana reagovala pri prúde maximálne 10 A, platí pre odpor bočníku

$$R_b = \frac{0,5 + \Delta U_{df}}{I_C} = \frac{0,5 + 0,3}{10} = 80 \text{ m}\Omega \quad (4.3)$$

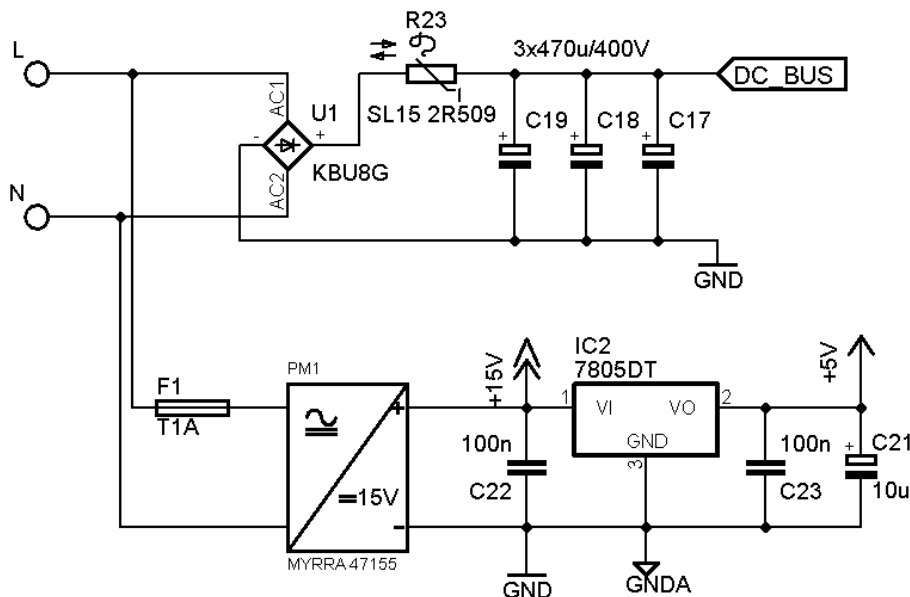
Kde  $\Delta U_{df}$  je úbytok na Schottkyho dióde v priepustnom smere a  $I_C$  je maximálna amplitúda výstupného prúdu.

Keďže každým bočníkom pretečie v súčte počas periódy jedna celá polvlna sínusového priebehu prúdu, platí pre stratový výkon na bočníku

$$\Delta P_b = R_b \cdot \left(\frac{I_{2m}}{2}\right)^2 = 0,08 \cdot \left(\frac{7}{2}\right)^2 = 1 \text{ W} \quad (4.4)$$

Časová konštanta RC článku by podľa dokumentácie mala byť v rozmedzí 1-2  $\mu\text{s}$ . Rezistor R19 pripojený paralelne ku kondenzátoru RC článku zabezpečuje vybíjanie kondenzátora.

## 4.3 Napájanie



Obr. 4.3-Zapojenie napájacej časti

Pre napájanie riadiacich obvodov je použitý modul so spínaným zdrojom typu MYRRA 47155 s výstupným napätím 15 V a maximálnym výkonom 6 W. Modul je napájaný priamo zo sieťového napätia. Integrovaným stabilizátorom typu 7805 je vytvorené napätie 5V pre obvod MC3PHAC. Na výstupe stabilizátora je pripojený vyhladzovací kondenzátor C21.

### 4.3.1 Návrh kapacity medziobvodu

Kapacita kondenzátora medziobvodu je určená podľa požadovaného výkonu na výstupe meniča  $S_2$ , napätia medziobvodu  $U_d$  a maximálneho zvlnenia napätia medziobvodu  $\Delta U_d$

Zvolené maximálne zvlnenie napätia v medziobvode  $\Delta U_d = 50 \text{ V}$

Stredná hodnota napätia v medziobvode

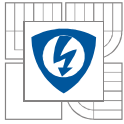
$$U_d = U_m - \frac{\Delta U_d}{2} = 325 - \frac{50}{2} = 300 \text{ V} \quad (4.5)$$

Efektívna hodnota maximálneho výstupného združeného napätia:

$$U_{2Z} = 210 \text{ V} \quad (4.6)$$

Maximálna efektívna hodnota 1.harmonickej výstupného prúdu:

$$I_{2ef} = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{7}{\sqrt{2}} = 4,95 \doteq 5 \text{ A} \quad (4.7)$$



Maximálny výstupný trojfázový zdanlivý výkon:

$$S_2 = I_{2ef} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2Z} \quad (4.8)$$

$$S_2 = 5 \cdot \sqrt{3} \cdot 210 \doteq 1,8 \text{ kVA}$$

Stredná hodnota prúdu v medziobvode:

$$I_d = \frac{S_2}{U_d} = \frac{1,8 \cdot 10^3}{300} = 6 \text{ A} \quad (4.9)$$

Kapacitu kondenzátora v medziobvode určíme podľa vzťahu:

$$C_m = \frac{T}{2} \frac{I_d}{\Delta U_d} \left[ 1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1}(1 - \delta) \right] \quad [1] \quad (4.10)$$

Kde  $T$  je perióda sieťového napätia,  $I_d$  je stredná hodnota prúdu v medziobvode,  $U_d$  je zvlínenie napätia a  $\delta$  je relatívny pokles napätia:

$$\delta = \frac{\Delta U_d}{U_m} = \frac{50}{325} = 0,154 \quad (4.11)$$

Po dosadení do (4.10) :

$$C_m = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2} \frac{6}{50} \left[ 1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1}(1 - 0,125) \right] \doteq 1 \text{ mF} \quad (4.12)$$

S ohľadom na výrobnú toleranciu veľkosti kapacity použitých elektrolytických kondenzátorov až  $\pm 20\%$  a s ohľadom na maximálny prúd jedným kondenzátorom sú použité tri kondenzátory s kapacitou 470  $\mu\text{F}$  tvoriace výslednú kapacitu medziobvodu 1,4 mF.

## 4.4 Maximálny výkon pripojeného motora

Pre zdanlivý príkon motora platí

$$S_{mot} = \frac{P_{mot}}{\cos \varphi_{mot} \cdot \eta_{mot}} \quad (4.13)$$

kde  $P_{mot}$  je mechanický výkon motora,  $\cos \varphi_{mot}$  je účinník motora a  $\eta_{mot}$  je účinnosť motora.

Maximálnemu zdanlivému výkonu striedača 1,8 kVA potom odpovedá napríklad bežný 2-pólový motor SIEMENS 1LA7 083-2AA s výkonom 1,1 kW, účinnosťou 77 % a účinníkom 0,81. Jeho zdanlivý príkon je

$$S_{mot} = \frac{1100}{0,81 \cdot 0,77} = 1,76 \text{ kVA} \quad (4.14)$$

## 4.5 Orientačný výpočet strát

Celkové straty na výkonovom module pozostávajú zo strát vedením a prepínacích strát na tranzistoroch a nulových diódach.

Straty vedením možno vypočítať samostatne pre jednotlivé prvky podľa vzťahu

$$\Delta P_{c1} = U_p \cdot I_{2str} + r_d \cdot I_{2ef} \quad (4.15)$$

kde  $U_p$  je prahové napätie,  $r_d$  je dynamický odpor v zopnutom stave,  $I_{2str}$  a  $I_{2ef}$  je stredná a efektívna hodnota prúdu prvkom.

Výrobca však udáva len maximálne saturačné napätie tranzistora 2,1 V a maximálne napätie na dióde v priepustnom smere 2,3 V pri menovitom prúde a teplote prechodu 25 °C. Preto je nutné prijať pesimistické zjednodušenie, kedy úbytok bude konštantný a straty vedením vypočítame podľa vzťahu

$$\Delta P_{c1} = \Delta U_{mod} \cdot I_{2str} \quad (4.16)$$

kde  $\Delta U_{mod}$  je maximálny úbytok na prvku.

Pre zjednodušenie určíme zhodný priemerný úbytok na tranzistore aj dióde na

$$\Delta U_{mod} = 2,2 \text{ V}$$

Stredná hodnota prúdu 1. harmonickej jednej fázy striedača je

$$I_{2str} = \frac{2 \cdot I_{2m}}{\pi} = \frac{2 \cdot 7}{\pi} = 4,45 \text{ A} \quad (4.17)$$

Ak uvážime, že celý sínusový prúd jednej fázy tečie v každom okamžiku jedným z prvkov jednej vetvy striedača, je celkový stratový výkon na jednej vetve po dosadení do (4.16)

$$\Delta P_{cv} = \Delta U_{mod} \cdot I_{2str} = 2,2 \cdot 4,45 = 9,8 \text{ W} \quad (4.18)$$

Celkové straty vedením pre tri vetvy striedača sú potom

$$\Delta P_c = 3 \cdot \Delta P_{cv} = 3 \cdot 9,8 = 29,4 \text{ W} \quad (4.19)$$

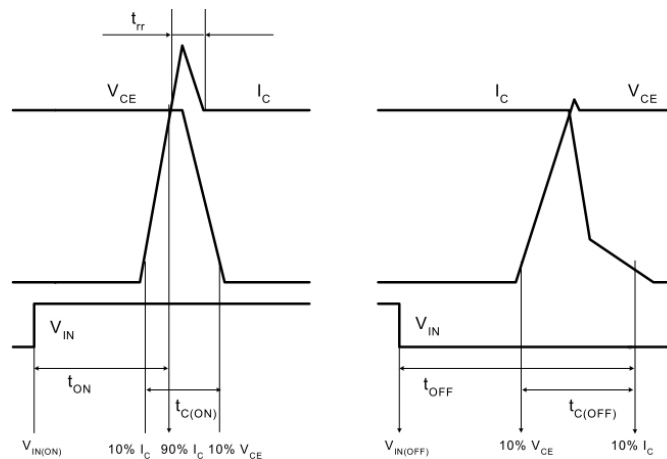
Prepínacie straty jedného spínača pri vedení jednej polvlny sínusového prúdu určíme podľa vzťahu

$$\Delta P_{sw1} = \frac{1}{\pi} f_{PWM} (W_{ON} + W_{OFF}) \quad (4.20)$$

kde  $f_{PWM}$  je frekvencia spínania,  $W_{ON}$  a  $W_{OFF}$  sú stratové energie pri zopnutí a vypnutí prúdu.

Hodnoty stratových energií nie sú v dokumentácii uvedené, preto boli určené približné hodnoty integráciou okamžitej hodnoty prepínacieho výkonu podľa udaných prepínacích priebehov (Obr. 4.4) a spínacích dôb pri napätí medziobvodu 300 V a maximálnom prúde 7 A.





Obr. 4.4- Priebeh prepínacích dejov [4]

$$W_{ON} = \int_0^{t_{C(ON)}} v_{CE}(t) \cdot i_C(t) dt = 0,6 \text{ mJ} \quad (4.21)$$

$$W_{OFF} = 0,37 \text{ mJ} \quad (4.22)$$

Po dosadení do (4.20) a vynásobení sú celkové prepínacie straty modulu

$$\Delta P_{sw} = 6 \cdot \Delta P_{sw1} = 6 \frac{1}{\pi} 10 \cdot 10^3 (0,6 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 10^{-3}) = 18,5 \text{ W} \quad (4.23)$$

Celkové straty na module pri plnom zaťažení

$$\Delta P_{mod} = \Delta P_c + \Delta P_{sw} = 29,4 + 18,5 = 47,9 \approx 48 \text{ W} \quad (4.24)$$

Pre usmerňovač je udaný maximálny úbytok na jednej dióde 1 V. Potom zjednodušene je veľkosť stratového výkonu na usmerňovači pri čisto činnej záťaži meniča

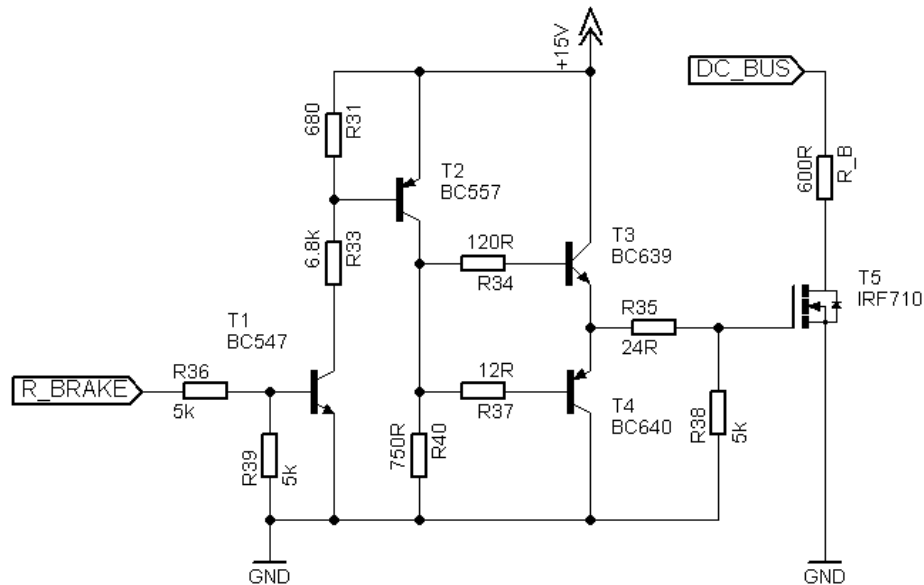
$$\Delta P_{usm} = \Delta U_{usm} \cdot I_d = 2 \cdot 6 = 12 \text{ W} \quad (4.25)$$

Pri zanedbaní strát na kondenzátoroch a ostatných strát by približná účinnosť meniča pri menovitom prúdovom zaťažení činnou záťažou bola

$$\eta = \frac{S_2}{S_2 + \Delta P_{mod} + \Delta P_{usm}} = \frac{1800}{1800 + 48 + 12} = 0,968 = 96,8 \% \quad (4.26)$$

Pri záťaži s  $\cos \varphi < 1$  bude účinnosť nižšia keďže klesne príkon aj dodávaný činný výkon avšak straty na module sa neznížia.

## 4.6 Brzdňý rezistor

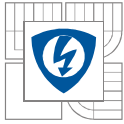


Obr. 4.5-Zapojenie spínača brzdňého odporu

Brzdňý rezistor je spínaný tranzistorom T5. Zvolený typ má medzné kolektorové napätie 400 V a prúd 2 A. Zvoleným odporom 620  $\Omega$  potečie prúd 0,5 A. To odpovedá výkonovej strate 155 W. Veľkosť potrebného brzdňého výkonu závisí od zotrvačnosti pripojenej záťaž a požadovanej rýchlosti spomalenia.

Budič brzdňého tranzistora je tvorený emitorovým sledovačom T3 a T4, ktorý spína hradlo cez rezistor 25  $\Omega$  na +15 V alebo 0 V. Špičkový prúd do hradla môže dosiahnuť hodnotu 0,6 A. Tranzistory T3 a T4 majú maximálny kolektorový prúd 1 A. Tranzistor T1 prevádza logickú napät'ovú úroveň brzdňého výstupu riadiaceho obvodu 4-5 V na úroveň 15 V, zároveň však invertuje vstupnú úroveň. Tranzistor T2 invertuje späť signál za tranzistorom T1.

Spínanie brzdňého odporu nie je v realizovanom obvode použité vzhľadom k predpokladanému určeniu meniča. Pre pohon stojanovej vrtáčky postačí ak otáčky klesnú samovoľne vplyvom mechanických strát.



## 5 NÁVRH DPS

Samotný návrh schémy a grafický návrh dosky bol vytvorený v programe Eagle 5.10. Bolo potrebné vytvoriť schematické značky pre riadiaci obvod a výkonový modul a puzdro podľa dokumentácie výrobcu.

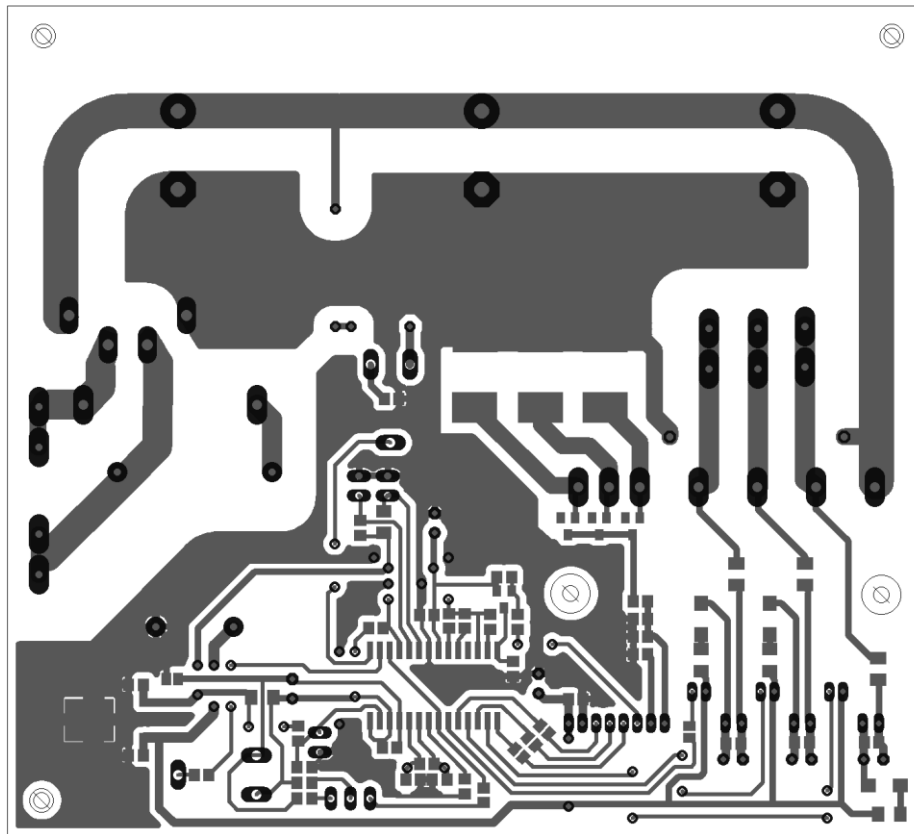
Plošný spoj je vytvorený na jednostrannej cuprexitovej doske.

Pre minimalizáciu rozmerov je čo najviac súčiastok v SMD prevedení. SMD keramické kondenzátory a rezistory sú v puzdre veľkosti 0805 alebo 1206 v prípade väčšieho stratového výkonu a v prípade keď je medzi vývodmi vedená cestička. Výkonový modul je umiestnený na strane spojov, teda na opačnej strane ako ostatné vývodové súčiastky, z dôvodu montáže na chladič. V priestore medzi výkonovým modulom a doskou sú osadené SMD súčiastky nábojovej pumpy a skratovej ochrany. Pre bočníky boli vybraté vhodné rezistory typu WSR3R0900FEA v SMD prevedení s maximálnym stratovým výkonom 3 W. Aj keď výkonová strata na jednom bočníku je iba 1 W, výkonová rezerva je vhodná s ohľadom na zvýšenú teplotu okolia v priestore medzi doskou a chladičom.

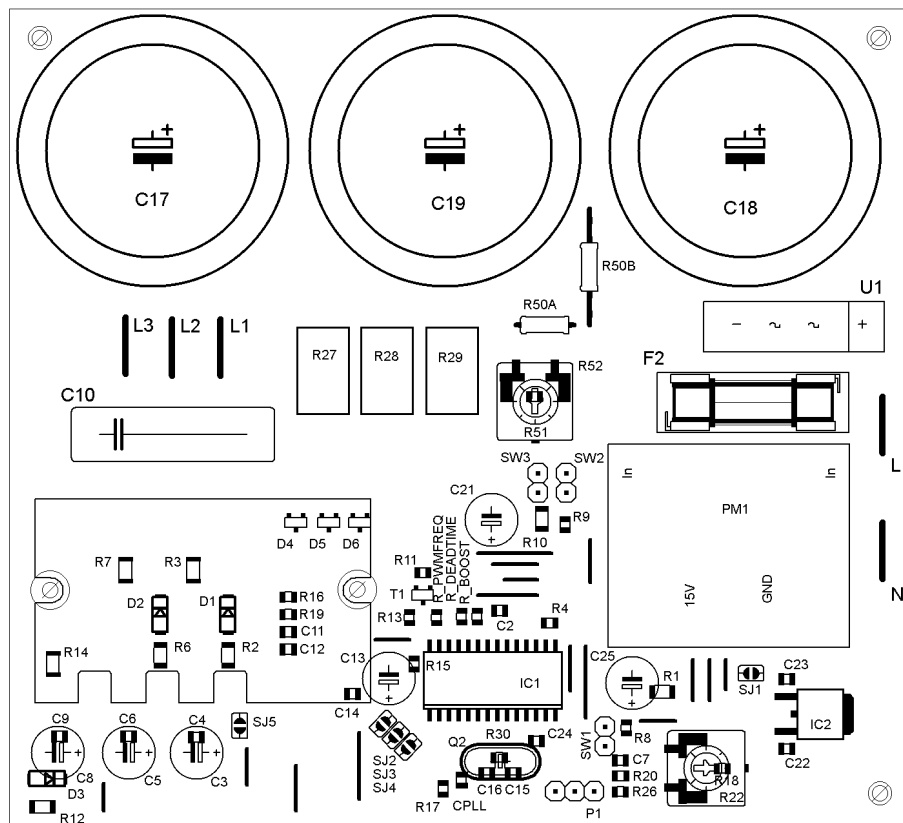
Odpor R50 deliča napätia pripojeného do medziobvodu je kôli napäťovej odolnosti vytvorený z dvoch rezistorov v sérii. Vstupné svorky pre sieťové napätie a výstupné svorky na napájanie motora sú tvorené konektormi FASTON. Na pripojenie potenciometra a tlačidiel sú použité kolíkové lišty. Fóliový polypropylénový kondenzátor C10 typu MKP 330 nF/630 V slúžiaci na potlačenie napäťových prechytov na tranzistoroch a snímacie rezistory sú umiestnené čo najbližšie k vývodom modulu aby spoje medzi modulom a kondenzátorom mali čo najmenšiu parazitnú indukčnosť. Taktiež filtračné keramické kondenzátory sú umiestnené tesne pri príslušných vývodoch. Kapacita medziobvodu je tvorená tromi elektrolytickými kondenzátormi v tzv. snap-in prevedení s kapacitou 470 uF a medzným napätím 400 V.

Vo výkonovej časti a v časti s nábojovými pumpami musia byť dodržané dostatočné izolačné vzdialenosti medzi cestičkami. Nevyužité plochy na strane spojov sú podľa možnosti vyplnené medenými plochami pripojenými na obvodovú zem pre potlačenie rušenia. Taktiež slúžia na lepší odvod tepla z niektorých súčiastok ako napäťový stabilizátor a snímacie rezistory. V rohoch dosky sú diery pre upevňovacie skrutky a nad výkonovým modulom diery pre prístup ku skrutkám umiestneným na module. Za účelom oddeleného oživovania riadiaceho a výkonového obvodu sú v cestičkách všetkých riadiacich signálov zaradené drôtové alebo plôškové prepajky. Napájanie pre analógovú časť riadiaceho obvodu je vedené na plošnom spoji samostatne.

Pri konečnej montáži meniča je nutné použiť izolované ovládacie prvky, pretože na obvodovej zemi je po pripojení na sieť nebezpečné dotykové napätie. Výkonový modul má zaručené izolačné napätie voči chladiču 2500 V<sub>rms</sub> 60 Hz po dobu 1 minúty.



Obr. 5.1- Návrh DPS - pohľad zo strany spojov

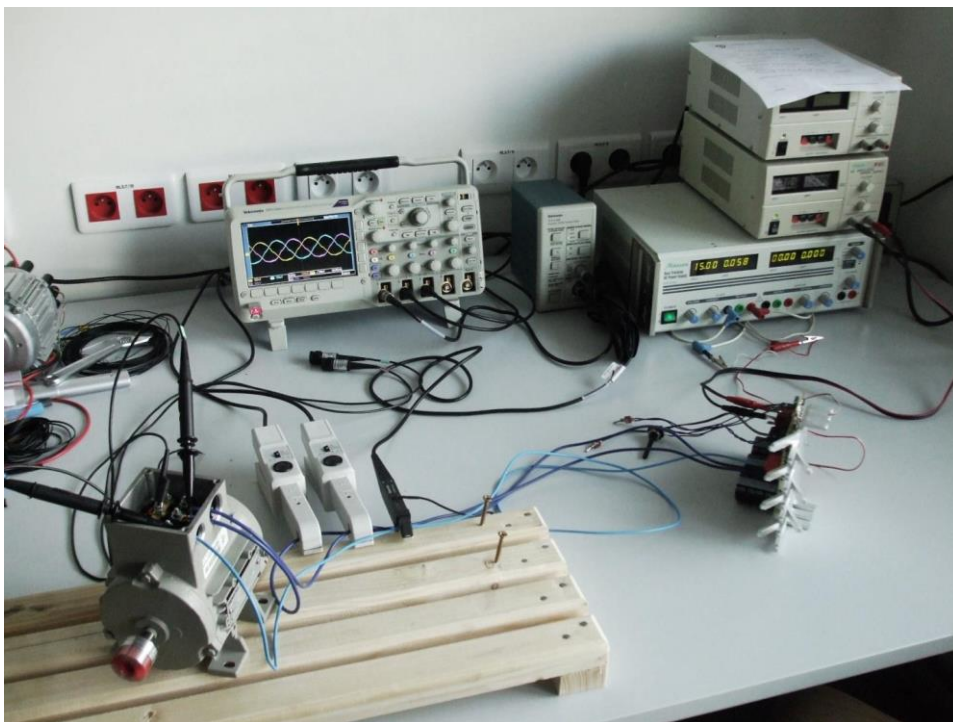


Obr. 5.2- Návrh DPS - rozmiestnenie súčiastok - pohľad zo strany vývodových súčiastok

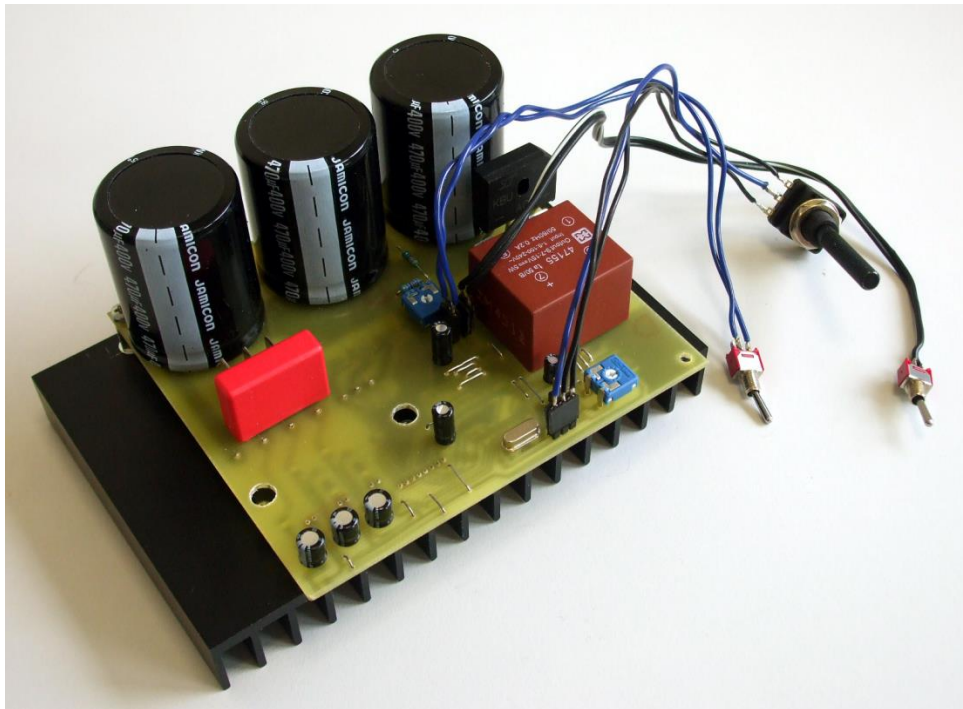
## 6 REALIZÁCIA MENIČA

Doska plošných spojov bola vyrobená na jednostrannej cuprexitovej doske s fotocitlivou vrstvou podľa navrhutej predlohy. Vyleptaná doska bola ošetrená ochranným lakom, boli vyvŕtané diery pre vývodové súčiastky a upevňovacie skrutky. Následne bola osadená SMD a vývodovými súčiastkami.

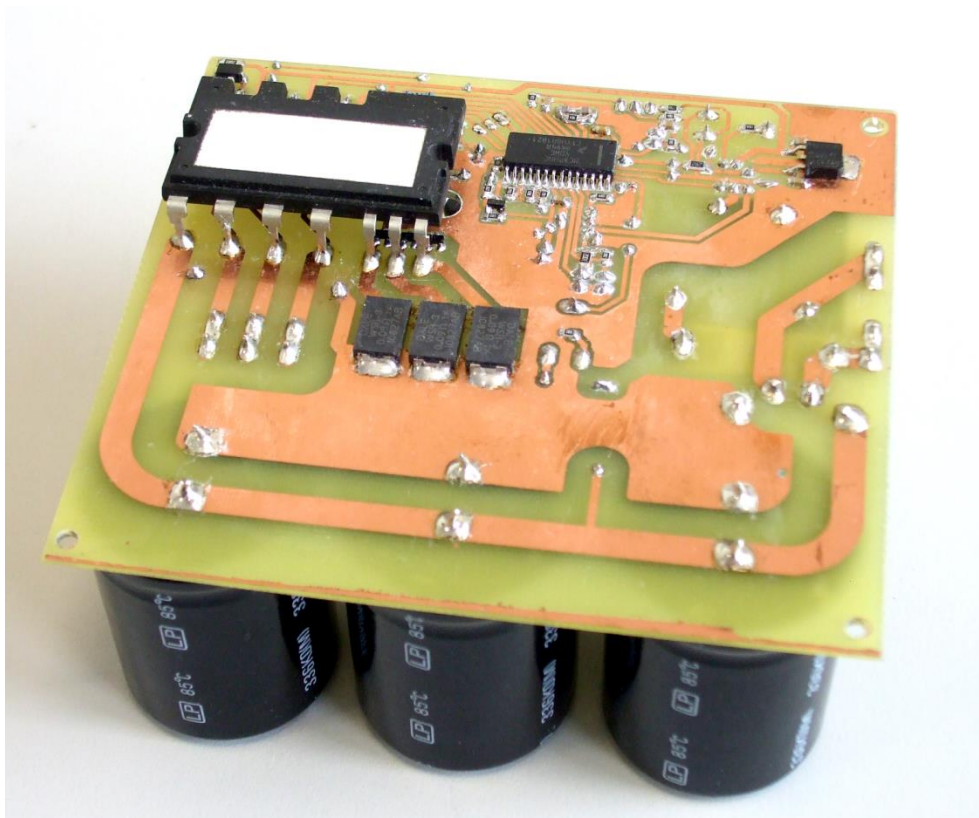
Oživovanie a meranie na meniči prebiehalo pri napájaní meniča jednosmerným napätím 30 V. Na výstup bol pripojený malý asynchrónny motor s výkonom 180 W, menovitým napätím 23,4 V a menovitým prúdom 9,45 A. Keďže pri malom zaťažení je účinnosť daného motora  $< 40\%$  a účinník  $< 0,3$ , bol menič pri chode motora naprázdno zaťažený približne svojím maximálnym navrhovaným efektívnym prúdom 5 A.



*Obr. 6.1-Meranie na meniči*



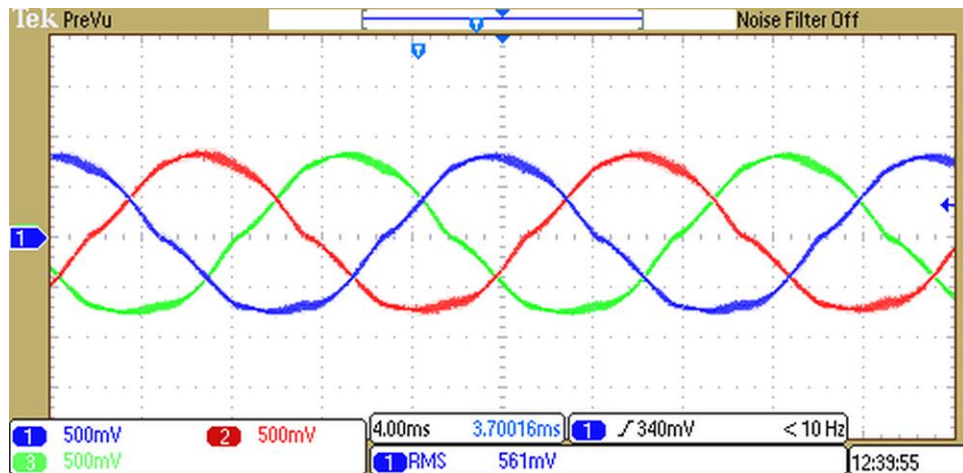
*Obr. 6.2-Menič s provizorními ovládacími prvky*



*Obr. 6.3-DPS meniča zo strany spojov*

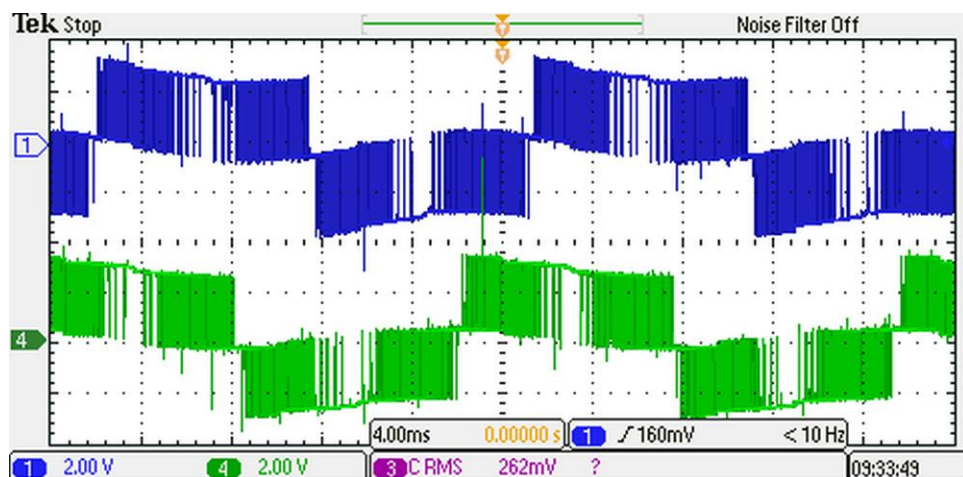


## 7 NAMERANÉ PRIEBEHY



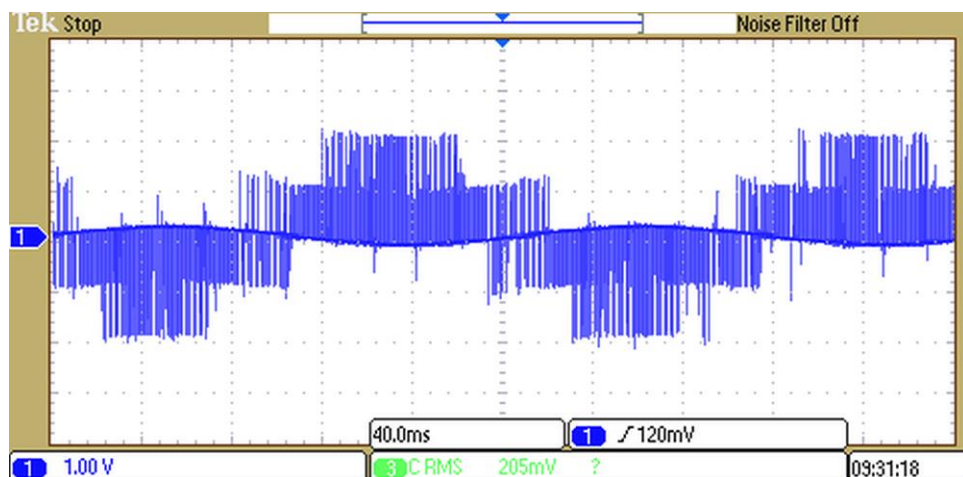
Obr. 7.1-Priebehy výstupných prúdov meniča

Na výstupe meniča sú symetrické fázové prúdy posunuté o  $120^\circ$  a vyhladené indukčnosťou motora. Skreslenie v oblasti prechodu nulou je výrazné kôli malému napájaciemu napätiu.

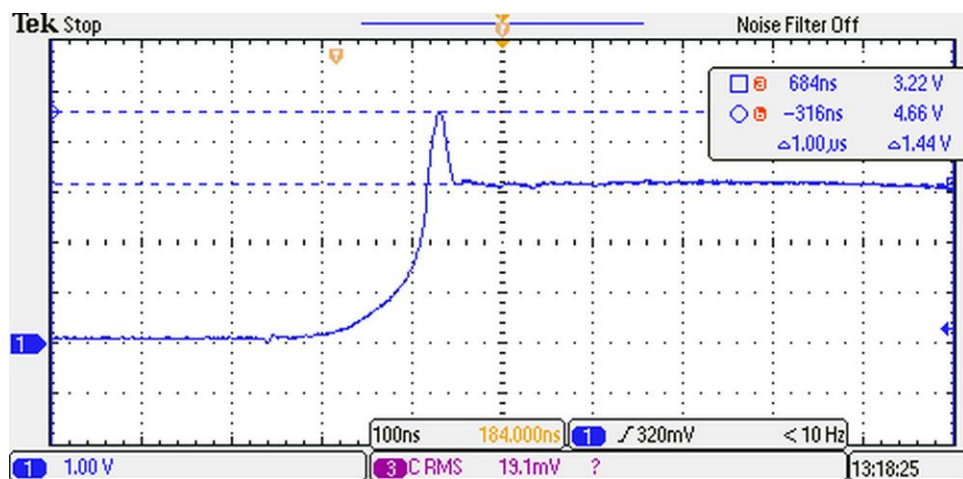


Obr. 7.2-Priebehy výstupných združených napätí

Na priebehoch združených napätí pri menovitom zaťažení a pri napätí medziobvodu 30 V sa prejavilo zvlnenie s amplitúdou asi 4 V spôsobené úbytkom na tranzistoroch od pretekajúceho prúdu. Pri menovitom napätí medziobvodu 300 V je však toto zvlnenie zanedbateľné.

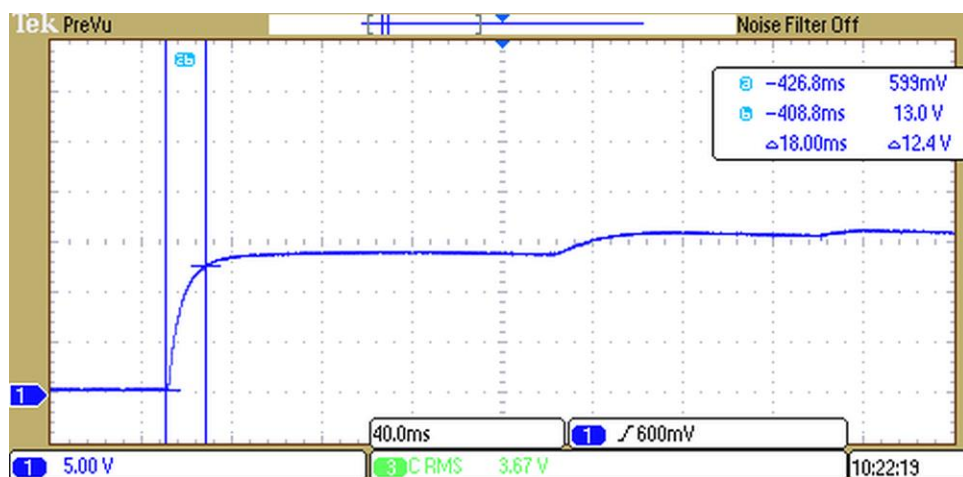


Obr. 7.3-Priebeh fázového napätia na vinutí motora zapojeného do hviezdy



Obr. 7.4-Priebeh napätia na tranzistore pri vypínaní

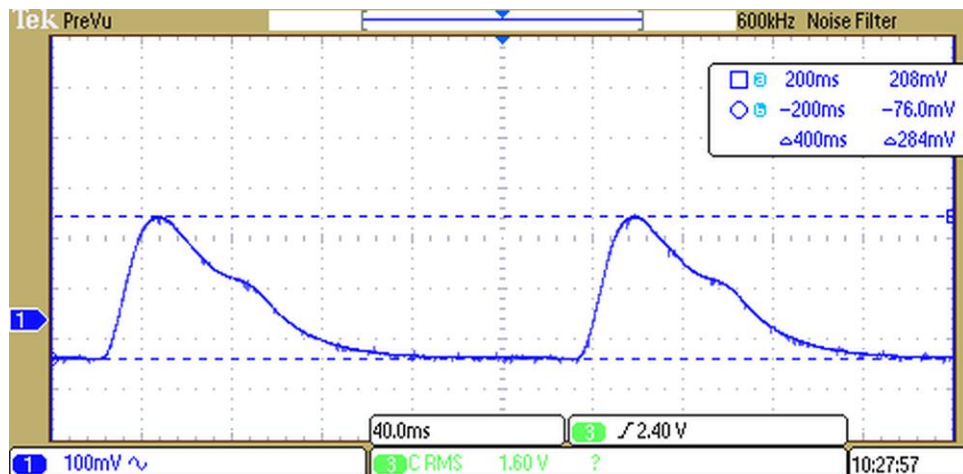
Pri vypínaní tranzistora vzniká na ňom napäťový prechyt asi 15 V vplyvom parazitnej indukčnosti prívodov. Veľkosť prechytu je závislá hlavne na veľkosti pretekajúceho prúdu, preto aj pri menovitom napätí medziobvodu by jeho veľkosť nemala prekročiť prípustnú hodnotu.



Obr. 7.5-Nábeh napätia nábojovej pumpy pri spustení

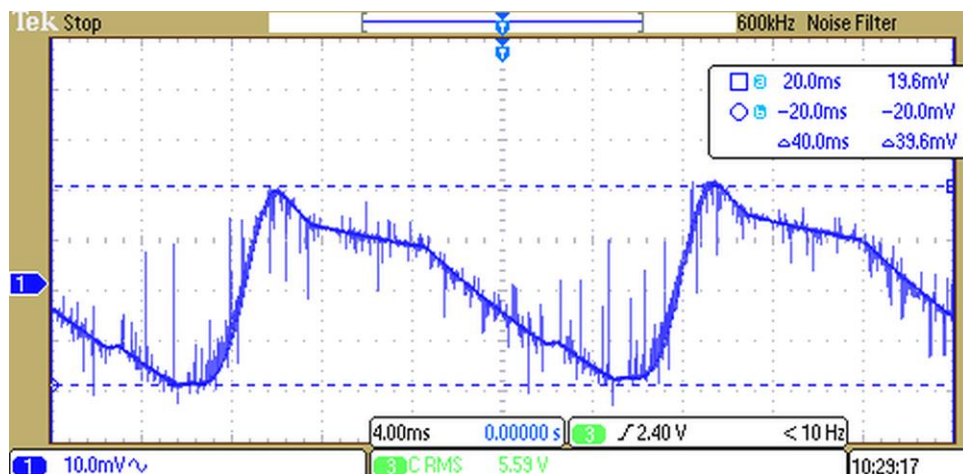


Na Obr. 7.5 je zobrazený nábeh napätia na jednom z kondenzátorov nábojovej pumpy pri nabíjaní z vybitého stavu po zapnutí spínača chodu. Napätie dosiahne 90 % ustálenej hodnoty za 18 ms pričom riadiaci obvod zabezpečuje nabíjaciú dobu až 100 ms. Napätie počas nabíjacieho intervalu dosiahne hodnotu 14 V. Neskôr vplyvom záporného úbytku na príslušnej nulovej dióde vzrastie napätie až na 16 V.

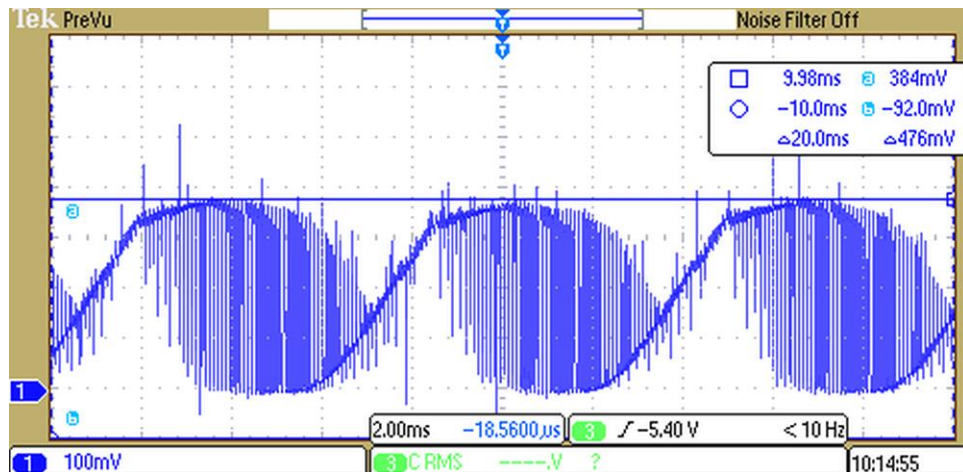


Obr. 7.6-Zvlňnie napätia nábojovej pumpy pri výstupnej frekvencii 5 Hz

Počas najnepriaznivejšieho stavu pri výstupnej frekvencii 5 Hz dosahuje zvlňenie napätia nábojovej pumpy 284 mV. Pri odporúčanom rozsahu napätia 13-18,5 V je táto hodnota plne vyhovujúca. Pri maximálnej výstupnej frekvencii klesne zvlňenie na hodnotu len 40 mV.

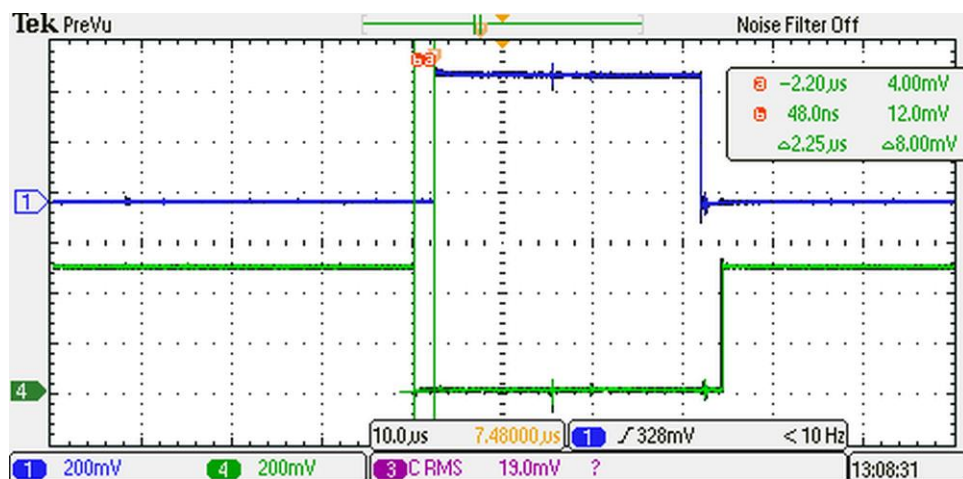


Obr. 7.7-Zvlňenie napätia nábojovej pumpy pri výstupnej frekvencii 51 Hz



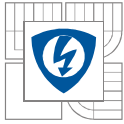
Obr. 7.8-Priebeh napätia na vstupe nadprúdovej ochrany

Pri meraní sa ukázalo, že skratová ochrana reaguje už pri malom prekročení menovitého prúdu. Dôvodom bol veľmi malý úbytok na Schottkyho dióde. Prúd tečúci diódou je určený prakticky len rezistorom R19. Preto bol paralelne ku rezistoru R19 pripojený rezistor s odporom 2,7 k $\Omega$ . Tým sa zvýšil úbytok na dióde a zároveň sa spolu z rezistorom R18 vytvoril delič znižujúci napätie na vstupe. Pri väčšom prúde diódou sa tiež mierne zvýši teplotná stabilita úbytku. Napätie na vstupe skratovej ochrany s rozhodovacou úrovňou 0,5 V dosahuje pri približne menovitom zaťažení amplitúdu 384 mV. Špičky spôsobené parazitnou indukčnosťou snímacích rezistorov a prívodov sú odfiltrované vnútorným filtrom a dopravným oneskorením vyhodnocovania signálu. Ochrana reaguje pri prúde s amplitúdou nad 10 A.



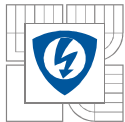
Obr. 7.9-Zobrazenie mŕtvej doby v PWM signáloch jednej vetvy

V priebehu PWM signálov pre horný a dolný tranzistor jednej vetvy na Obr. 7.9 je zreteľná vložená mŕtva doba dlhá 2,25  $\mu$ s.



## 8 ZÁVER

V práci som popísal obvodové riešenie meniča s integrovanými obvody. Navrhol som celkové zapojenie a parametre meniča. Vybral som vhodné súčiastky a vytvoril návrh plošného spoja. Vyrobený plošný spoj som osadil a následne oživil. Zapojenie fungovalo bez väčších problémov. Na menič bol osadený provizórny chladič a vykonal som skúšobné merania pri zaťažení malým asynchrónnym motorom na malé napätie. Objavený problém s nesprávnou funkciou skratovej ochrany bol vyriešený úpravou hodnoty súčiastok. Vyrobený menič pracoval pri skúšaní správne. Pri konečnej montáži bude chladenie zabezpečené umiestnením na telo vŕtačky. Je tiež potrebné doplniť poistku na ochranu pred preťažením a prípadne odrušovací filter.



---

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] PATOČKA, M. *Vybrané statě z výkonové elektroniky: Svazek II - Měníče bez impulsního transformátoru*. Vyd. 3. Brno: Zdeněk Novotný, 2004, 61 s. ISBN 80-214-2743-4.
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Datasheet MC3PHAC: Monolithic Intelligent Motor Controller* [online]. [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: [http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data\\_sheet/MC3PHAC.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC3PHAC.pdf)
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Application Note AN2988: Using the MC3PHAC Motor Controller*. [online]. [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: [http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app\\_note/AN2988.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN2988.pdf)
- [4] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *Datasheet FSBS10CH60: Smart Power Module*. [online]. [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FS/FSBS10CH60.pdf>
- [5] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *Application Note AN-9035: Motion-SPM in Mini-DIP User's Guide*. [online]. [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9035.pdf>
- [6] SKALICKÝ, J. *Elektrické regulované pohony*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007, 123 s.
- [7] MĚŘIČKA, Jiří, Václav HAMATA a Petr VOŽENÍLEK. *Elektrické stroje*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 311 s. ISBN 80-01-01020-1.