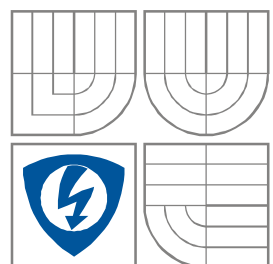




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLÓGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **TŘÍFÁZOVÝ DC/AC STRÍDAČ NA MALÉ NAPĚTÍ PRO SYNCHRONNÍ MOTOR AXI 5345/18**

**Three-phase low-voltage DC/AC converter for a synchronous motor AXI 5345/18**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Michal Popek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

**Student:** Popek Michal, Bc.

**ID:** 88426

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2007/08

## NÁZEV TÉMATU:

**Třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro asynchronní motor AXi 5345/18**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Realizujte konečné konstrukční řešení snímačů polohy rotoru s využitím Hallových sond navržené a ověřené v Semestrálním projektu 2.
2. Modifikujte navržené zapojení budičích obvodů tranzistorů silového obvodu s ohledem na odstranění problémů s poklesem napájecího napětí sekundární strany budičů horních tranzistorů.
3. Zapojení silového obvodu a řídicích obvodů navržené a vyzkoušené v Semestrálním projektu 2 realizujte v konečné konstrukční podobě. Celý měnič oživte a spolu s motorem ho podrobte sérii zkušebních měření (podle pokynů vedoucího).

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 10.10.2007

**Termín odevzdání:** 06.06.2008

**Vedoucí projektu:** doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.

**doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.**

*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Popek

Bytem: Horní Krupá 116, Havlíčkův Brod

Narozen/a (datum a místo): 10.03.1984 v Havlíčkově Brodě

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá

elektrotechnika a elektroenergetika

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

disertační práce

diplomová práce

bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro synchronní motor AXI 5345/18
Vedoucí/ školitel VŠKP:	doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D
Ústav:	Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Datum obhajoby VŠKP:	10.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

tištěné formě – počet exemplářů 1

\* hodící se zaškrtněte

elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti  
 ihned po uzavření této smlouvy  
 1 rok po uzavření této smlouvy  
 3 roky po uzavření této smlouvy  
 5 let po uzavření této smlouvy  
 10 let po uzavření této smlouvy  
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **Abstrakt**

Cílem této práce je popsat, navrhnout a postavit třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro synchronní motor AXI 5345/18, který bude pracovat v režimu EC motoru. Střídač je napájen ze stejnosměrného zdroje napětí o velikosti 24V. Kvůli úspoře místa je toto zapojení navrženo na třech samostatných deskách plošných spojů, které jsou vzájemně propojeny samozařezávacími konektory. Řízení je provedeno pomocí zpětné proudové smyčky realizované aktivní elektronikou a nadřazeným obvodem MC 33035. Vlastní zapojení proudové smyčky je kromě řízení přizpůsobeno pro otestování proudových čidel ACS750. Výkonová elektronika střídače je realizována pomocí bezpotenciálového modulu GWM 120-0075P3 tvořeného 6 mosfet tranzistory. Navržené zapojení není určeno pro konkrétní realizaci, ale mohlo by sloužit pro regulaci pohonu kola, pomocného pohonu na lokomotivu nebo v zařízeních, kde postačí levnější servopohon za cenu horších parametrů regulačního obvodu.

## **Abstract**

The target of this master's thesis is to describe, design and construct an extra low voltage three-phase DC/AC inverter for the motor AXI 5345/18, which will work in EC motor mode. The inverter is supplied by DC source 24 V. In order to save place, the wiring is designed on three separated printed board circuits. These are connected together by connectors for ribbon cables. The control is done by reverse current loop realized by active electronics and superior circuit MC 33035. The proper wiring of current loop is conformed for both control and testing of jet sensors ACS750. Power electronics of the inverter is realized by potential-free modul GWM 120-0075P3 consisted of 6 mosfet transistors. The designed wiring is not set for the concrete realisation, but it can be used for control of propulsion of the wheel, auxiliary propulsion of engine or in appliances, where servo with worse parameters of control loop is used in a sufficient way and it can be cheaper.

## **Klíčová slova**

Řízení EC motoru; proudová čidla ACS750; tranzistorový modul GWM 120-0075P3; obvod MC33153 a MC 33035

## **Keywords**

Control of EC motor; current sensor ACS750; transistor module GWM; circuit MC33153 and MC 33035

## **Bibliografická citace**

POPEK, M. *Třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro synchronní motor AXi 5345/18*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro synchronní motor AXi 5345/18, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 diplomové práce doc. Ing. Pavlu Vorlovi, Ph.D. a Ing. Filipu Štěpančíkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

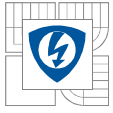
Podpis autora .....





## Obsah

LICENČNÍ SMLOUVA .....	3
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO .....	3
ABSTRAKT .....	5
ABSTRACT .....	5
KLÍČOVÁ SLOVA .....	6
KEYWORDS .....	6
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....	7
PROHLÁŠENÍ .....	8
PODĚKOVÁNÍ .....	8
OBSAH .....	9
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	11
SEZNAM TABULEK .....	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	14
<b>1 ÚVOD: .....</b>	<b>15</b>
1.1 PRINCIP ČINNOSTI EC MOTORŮ .....	15
1.2 POPIS POUŽITÉHO MOTOR AXI 5345/18 [9] .....	15
<b>2 ZVÁŽENÍ NÁHRADY ELEKTROLYTICKÝCH KONDENZÁTORŮ NAPĚŤOVÉHO     MEZIOBVODU VÝKONOVÉ ČÁSTI KERAMICKÝMI KONDENZÁTORŮ .....</b>	<b>18</b>
2.1 ODVOZENÍ EFEKTIVNÍHO PROUDU $I_{KEF}$ KONDENZÁTOREM $C_1$ .....	20
2.2 VÝPOČET KONDENZÁTORU $C_1$ ZA PŘEDPOKLADU, ŽE $I_Z$ NENÍ KONSTANTNÍ .....	21
2.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY NA ZKUŠEBNÍM KONDENZÁTORU .....	23
2.4 DIMENZOVÁNÍ POČTU KONDENZÁTORŮ .....	23
2.4.1 Podle napěťového zvlnění .....	23
2.4.2 Podle proudového zatížení .....	24
2.4.3 Podle potřebné kapacity .....	24
2.5 PARAMETRY ZVOLENÉHO KERAMICKÉHO KONDENZÁTORU .....	24
2.5.1 Výhody .....	25
2.5.2 Nevýhody .....	25
2.6 VLIV PARAZITNÍCH INDUKČNOSTÍ .....	25
<b>3 HLAVNÍ ČÁST DP - REALIZACE TŘÍFÁZOVÉHO DC/AC STŘÍDAČE .....</b>	<b>27</b>
3.1 ŘÍDICÍ ČÁST .....	27
3.1.1 MC33035 .....	28
3.1.2 Con 1 .....	31
3.1.3 Popis vstupních a výstupních pinů řídicího obvodu MC33035 .....	31
3.1.4 Měření proudu .....	32
3.2 BUDICÍ ČÁST .....	35
3.2.1 Budiče .....	36
3.3 VÝKONOVÁ ČÁST .....	38
3.3.1 Tranzistorové pouzdro GWM120-0075P3 .....	38
3.3.2 Čidla na měření proudu .....	39
3.3.3 Stabilizace napětí .....	42
<b>4 KONKRÉTNÍ NAVRŽENÍ POPISOVANÉHO STŘÍDAČE .....</b>	<b>43</b>
4.1 ŘÍDICÍ ČÁST .....	43
4.2 BUDICÍ ČÁST .....	45
4.3 VÝKONOVÁ ČÁST .....	46
<b>5 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY .....</b>	<b>50</b>

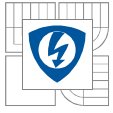


<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>7 LITERATURA .....</b>	<b>56</b>
<b>8 PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>



## Seznam obrázků

<i>Obr. 1.1</i>	<i>Použitý synchronní motor AXi 5345/18.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 1.2</i>	<i>Konstrukční uspořádání měřeného EC motoru.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2.1</i>	<i>Základní schéma navrženého DC/DC měniče.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2.2</i>	<i>Průběhy DC/AC měniče při konstantním proudu zátěží <math>I_z</math>.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2.3</i>	<i>Zobrazení průběhu na kterém probíhá výpočet efektivního proudu na <math>C_1</math>.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2.4</i>	<i>Průběh napětí na indukčnosti <math>L_F</math> při zapínání a vypínání tranzistoru .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2.5</i>	<i>Základní schéma navrženého DC/AC měniče při <math>L_F \rightarrow \infty</math>.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2.6</i>	<i>Výpočet akumulovaného náboje na <math>C_1</math>.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2.7</i>	<i>Schéma, které nám simuluje vliv parazitních indukčností na vstupu měniče .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2.8</i>	<i>Vliv parazitní indukčnosti o velikosti <math>3\mu H</math> na vstupu měniče.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 2.9</i>	<i>Vliv parazitní indukčnosti o velikosti <math>5,2\mu H</math> na vstupu měniče.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3.1</i>	<i>Schéma řídicí části střídače .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3.2</i>	<i>Význam jednotlivých pinů obvodu MC 33035.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3.3</i>	<i>Princip spínání a vypínání tranzistorů.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3.4</i>	<i>Schéma zapojení řídicího obvodu MC 33035.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3.5</i>	<i>Zapojení propojovacího konektoru řídicí a budičí části .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 3.6</i>	<i>Detail výpočtu třetí hodnoty proudu fáze C a následné získání ustálené hodnoty výstupního proudu <math>I_x</math>.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 3.7</i>	<i>Průběh výstupního proudu <math>I_x</math> za multiplexorem 4051D .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 3.8</i>	<i>Zapojení napájecího obvodu budičů .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 3.10</i>	<i>Připojení pinů konektoru v budičí části střídače.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 3.11</i>	<i>a) struktura zapojení použitého střídače b) vstupní a výstupní piny obvodu GWM pouzdra .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 3.12</i>	<i>Varianty osazení GWM pouzdra na plošném spoji a) SMD b) BL.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 3.13</i>	<i>Připojení pinů konektoru ve výkonové části obvodu .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 3.14</i>	<i>Proudové čidlo ACS 750xCA-050 [6].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 3.15</i>	<i>Závislost výstupního napětí na proudu od 0A do plného rozsahu <math>\pm 50A</math> [7] .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 3.15</i>	<i>Citlivost výstupního napětí na měnícím se proudu.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 3.16</i>	<i>Závislost výstupního napětí na snímaném proudu při různých teplotách [7].....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 4.1</i>	<i>Osazení DPS součástkami řídicí části.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 4.2</i>	<i>Propojení součástek DPS řídicí části.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 4.3</i>	<i>Realizované zapojení řídicí části.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 4.4</i>	<i>Návrh a osazení jednoho ze 6 budičů budičí části .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 4.5</i>	<i>Realizované zapojení budičí části .....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 4.6</i>	<i>Osazení DPS součástkami výkonové části.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 4.7</i>	<i>Propojení součástek DPS výkonové části.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 4.8</i>	<i>Realizované zapojení výkonové části (shora).....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 4.9</i>	<i>Realizované zapojení výkonové části .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 4.10</i>	<i>Celkové realizované zapojení.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 5.1</i>	<i>Motor na prázdko a velké střídě 3330 ot/min: 1) Proud 10A/div 2) Napětí 24V .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5.2</i>	<i>Motor při zatížení a velké střídě 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5.3</i>	<i>Motor na prázdko při malé střídě 2307ot/min 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 5.4</i>	<i>Motor při zatížení a malé střídě 2307ot/min 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 5.5</i>	<i>1) Proud motorem 2) U na kondenzátoru <math>C_2</math> v budiči při velké střídě – velké otáčky.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5.6</i>	<i>1) Proud motorem 2) U na kondenzátoru <math>C_2</math> v budiči při malé střídě – malých otáčkách..</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5.7</i>	<i>1) detail náběžné hrany vstupního signálu na budiči 2) detail náběžné hrany výstupního signálu z budiče .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.8</i>	<i>1) detail sestupné hrany vstupního signálu na budiči 2) detail sestupné hrany výstupního signálu z budiče .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.9</i>	<i>Spínání spodních tranzistorů v měniči při malé střídě.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 5.10</i>	<i>Spínání spodních tranzistorů v měniči při malé střídě detail.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 7.1</i>	<i>Celkové schéma řídicí části.....</i>	<i>57</i>

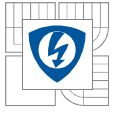


<i>Obr. 7.2 Celkové schéma budičí části .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 7.3 Celkové schéma silové části .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 7.4 Celkové schéma.....</i>	<i>60</i>



## Seznam tabulek

<i>Tab. 1.1 Vlastnosti měřeného EC motoru.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2.1 Parametry zvoleného keramického kondenzátoru.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3.1 Popis pinů řídicího obvodu MC 33035 .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3.2 Pravdivostní tabulka multiplexoru/demultiplexoru 4051D .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 4.1 Navržené součástky řídicího obvodu střídače .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4.2 Navržené součástky napájecího obvodu budičů .....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4.3 Navržené součástky budičích obvodů .....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4.4 Navržené součástky výkonové části střídače .....</i>	<i>47</i>



### Seznam symbolů a zkratk

$A$	časový integrál
$C$	kondenzátor
$D$	dioda
$i(t)$	okamžitý proud
$I$	proud
$I_Z$	zátěžný proud
$L$	cívka
$p(t)$	okamžitý výkon
$P$	výkon
$R$	odpor
$t$	doba sepnutí
$T$	perioda
$T$	tranzistor
$U$	napětí
$u(t)$	okamžité napětí
$f_s$	synchronní kmitočet
$f_s'$	upravený synchronní kmitočet
$M$	moment stroje
$F$	síla
$m$	hmotnost
$t$	čas



# 1 ÚVOD:

## 1.1 Princip činnosti EC motorů

EC motor spadá do velké skupiny synchronních motorů. Činnost EC motoru je hodně podobná funkci synchronního motoru je zde ovšem rozdíl v průběhu přiváděného signálu do statorových vinutí. Do vinutí synchronního motoru se přivádějí harmonické proudy, která jsou vzájemně posunuta o  $120^\circ$ . Naproti tomu do statoru EC motoru se přivádí obdélníkový průběh proudu. Vždy jsou pak zapojena pouze dvě vinutí zároveň. Přepínání proudů do jednotlivých sekcí statorového vinutí závisí na natočení rotoru s magnetem a je jím realizována elektronická komutace. Řídicí jednotka přepojuje proud podle informace ze snímače natočení rotoru, který je součástí motoru nebo je k němu připojen. Snímač musí být orientován tak, aby směr magnetického pole generovaného statorovou cívku předbíhal magnetické pole permanentního magnetu rotoru o  $90^\circ$  elektrických, protože tak vzniká největší mechanický hnací moment.

V motoru se spolu s hřídelí otáčí permanentní magnet. Na magnet působí magnetické pole statoru, vytvářené homogenním vinutím, které se uzavírá přes prstenec z feromagnetických plechů. Pole statoru se natáčí do optimálního směru elektronickým přepínáním proudu do sekcí vinutí. Elektronika dostává informaci o natočení rotoru ze snímače se třemi Hallovými sondami umístěným u čela motoru.

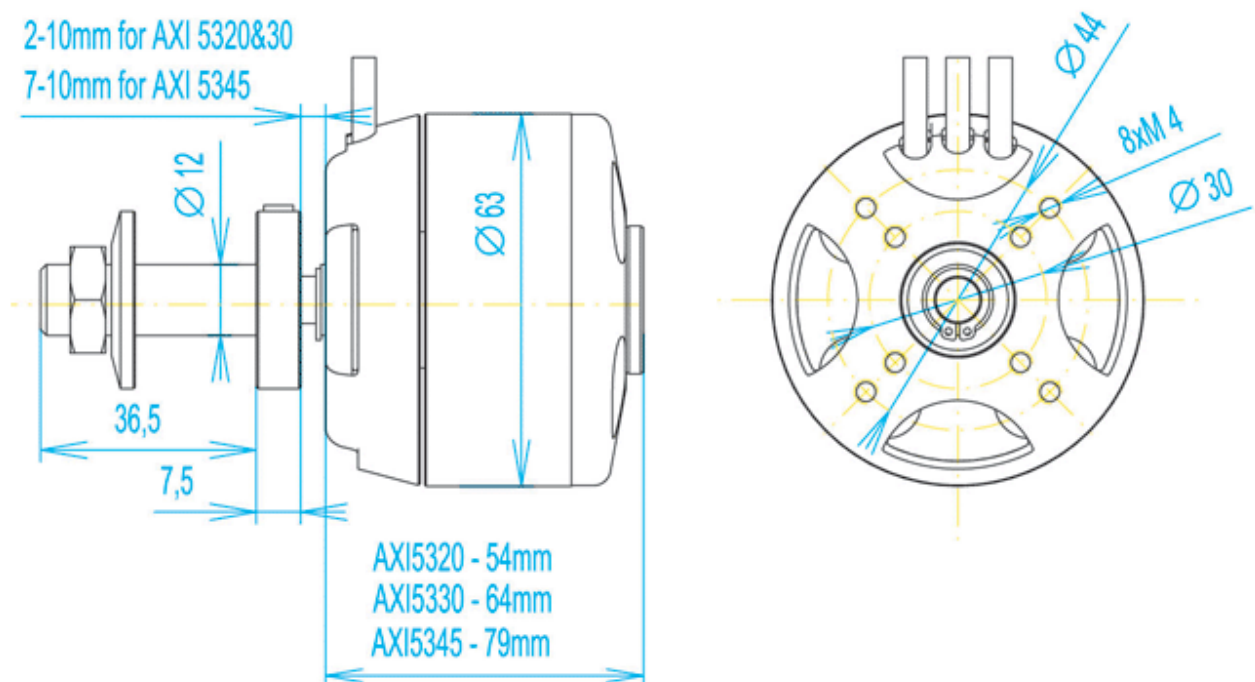
Synchronní motor má velký záběrný moment a může nastavovat otáčky motoru změnou rychlosti přepínání napájecího napětí na jednotlivé cívky statorového vinutí v širokém rozsahu v obou směrech, aniž by se přitom měnil krouticí moment motoru. Moment motoru je při stejném proudu konstantní v celém rozsahu rychlostí, včetně nulových otáček. S rostoucí rychlostí v synchronních motorech ovšem rostou ztráty hysterezí a vířivými proudy ve feromagnetickém obvodu statoru, protože se v něm komutací mění velikost a směr magnetického pole.

## 1.2 Popis použitého motor AXi 5345/18 [9]

Nová výkonnější řada motorů AXI 5345/xx GOLD LINE je určena pro 3D modely až do 8000g, motorové akrobatické modely do 12000g a pro obří realisticky létající modely o hmotnostech do 15000g. Motory jsou díky vysokému točivému momentu vhodné pro přímý pohon velkých vrtulí, bez nutnosti použít převodovku, což zajišťuje velmi dobrou účinnost a hmotnost celého pohonu. Přednosti těchto velmi tichých pohonů vyniknou zejména ve velkých maketách a polomaketách, kde hluk převodovky působí rušivě. Uložení kalené hřídele o průměru 8mm ve třech kvalitních kuličkových ložiskách zajišťuje motorům výbornou mechanickou odolnost a dlouhou životnost.

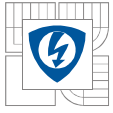


Obr. 1.1 Použitý synchronní motor AXi 5345/18



Obr. 1.2 Konstrukční uspořádání měřeného EC motorku





AXI 5345/18 GOLD LINE	
Počet článků baterie:	8-12s LiPol
Otáčky/Volt:	171 RMP/V
Max. účinnost:	94%
Proud při max. účinnosti:	25 - 63 A (>85%)
Proud na prázdno / 10 V:	1,6 A
Max. zatížitelnost:	75 A/30 s
Vnitřní odpor Ri:	42 mΩ
Rozměry (prům. x délka):	63 x 79 mm
Průměr hřídele:	8 mm
Hmotnost motoru vč. kabelů:	895 g
Cena motoru dle [8]	6.650 Kč

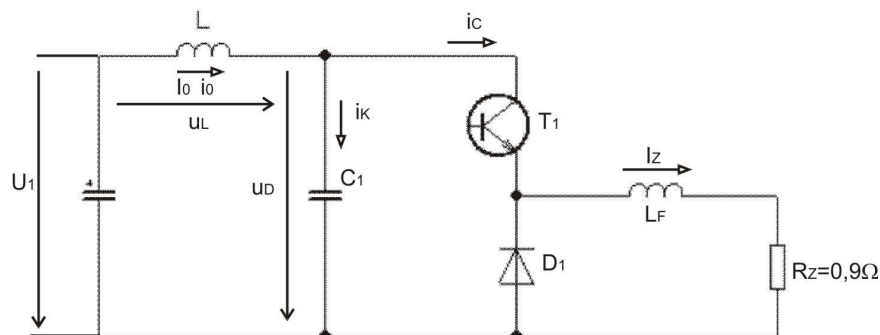
*Tab 1.1 Vlastnosti měřeného EC motoru*

## 2 ZVÁŽENÍ NÁHRADY ELEKTROLYTICKÝCH KONDENZÁTORŮ NAPĚŤOVÉHO MEZIOBVODU VÝKONOVÉ ČÁSTI KERAMICKÝMI KONDENZÁTORY

Hlavním cílem této kapitoly je posoudit, zda je rozumné nahradit ve výkonové části běžně používané elektrolytické kondenzátory keramickými kondenzátory.

Keramické kondenzátory mají delší životnost, menší svodový odpor, menší parazitní indukčnost a mnohem menší rozměry. Tyto parametry nahrávají keramickým kondenzátorům musíme však posoudit, zdali není z hlediska funkčnosti přijatelnější realizovat napěťový meziobvod elektrolytickými kondenzátory.

Dalším úkolem je provést teoretický rozbor navrhovaného snižujícího měniče a popsat průběhy v tomto měniči, navrhnout kondenzátor  $C_1$  a zjistit velikost parazitních indukčností v obvodu měniče. Tento rozbor budeme provádět na zjednodušeném schématu DC/DC měniče na Obr. 2.1., které jsme realizovali jako pokusné zapojení pro zjištění zvlnění  $\Delta I_{0\max}$ . Viz dále.



Obr. 2.1. Základní schéma navrženého DC/DC měniče

Pro usnadnění počítání zvlnění  $\Delta I_{0\max}$  jsme předešlé schéma zapojili a změřili hodnotu  $X$  (viz. Obr. 2.2.). Tato hodnota se jinak počítá pomocí integrálu:  $\max = \int u_L(t) dt$ , V našem případě jsme však tuto hodnotu naměřili na zkušebním realizovaném zapojení. Naměřená hodnota byla  $82,5 \cdot 10^{-6} \text{Vs}$ .

Tuto hodnotu dále využíváme pro výpočet zvlnění  $\Delta I_{0\max}$  maxima (špička – špička):

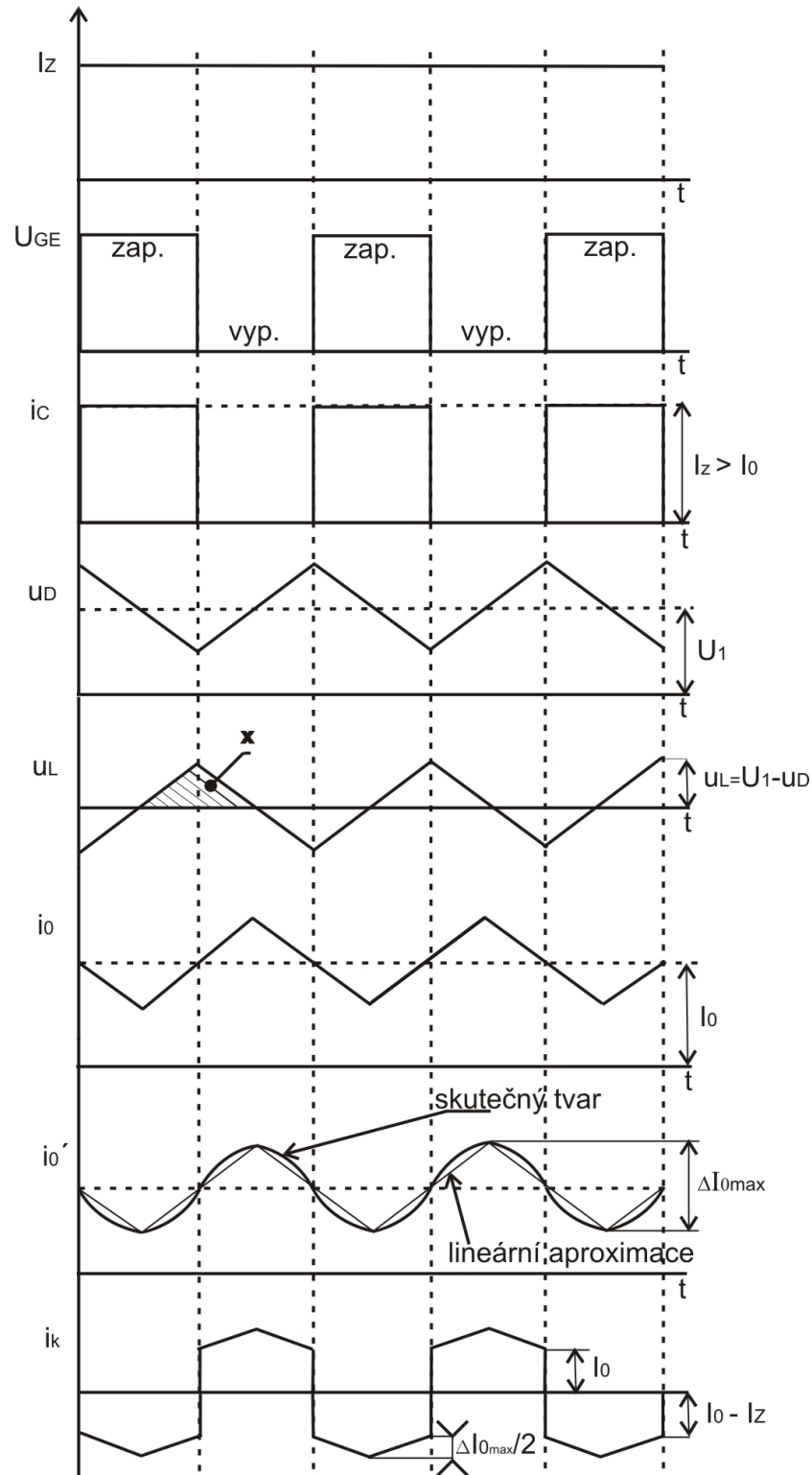
$$u_L = L \cdot \frac{di_0}{dt}$$

Zvlnění proudu vstupní tlumivkou:

$$i_0(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt + I_0$$

Číselné dosazení při indukčnosti tlumivky 155  $\mu\text{H}$ :

$$I_{0\max} = \frac{1}{L_{\max}} \cdot \int u_L(t) dt = \frac{82,5 \cdot 10^{-6}}{155 \cdot 10^{-6}} = 0,55 \text{ A}$$

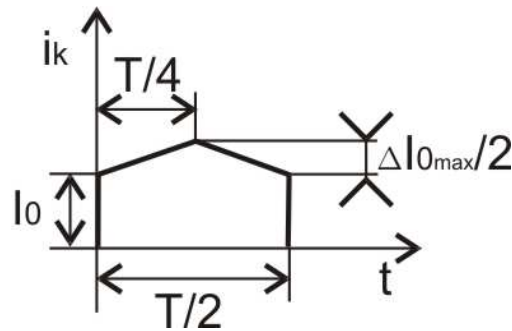


Obr. 2.2. Průběhy DC/AC měniče při konstantním proudu zátěží  $I_z$

## 2.1 Odvození efektivního proudu $I_{kef}$ kondenzátorem $C_1$

Následující odvození platí pro předpoklad, že zatěžovací proud  $I_z$  je konstantní.

Jelikož je průběh periodický stačí integrovat jen v jedné čtvrtině celé periody a tím se nám zjednoduší výpočet celkového efektivního proudu kondenzátorem  $C_1$ .



Obr. 2.3 Zobrazení průběhu na kterém probíhá výpočet efektivního proudu na  $C_1$

Obecný vzorec pro výpočet efektivního proudu kondenzátorem  $C_1$ :

$$I_{kef} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int i_k^2(t) dt}$$

Po úpravách dostaneme:

$$I_{kef} = \sqrt{I_0^2 + \frac{I_0 \cdot \Delta I_{0max}}{2} + \frac{\Delta I_{0max}^2}{12}}$$

Po číselném dosazení:

$$I_{kef} = \sqrt{3,5^2 + \frac{3,5 \cdot 0,55}{2} + \frac{0,55^2}{12}} = 3,64A$$

Naměřený proud zátěží je:

$$I_z = 7A$$

Při střídě 0,5 je proud  $I_0$  roven:

$$I_0 = \frac{I_z}{2} = 3,5A$$

Vypočítaný efektivní proud kondenzátorem  $C_1$  je:

$$I_{kef} = 3,64A$$

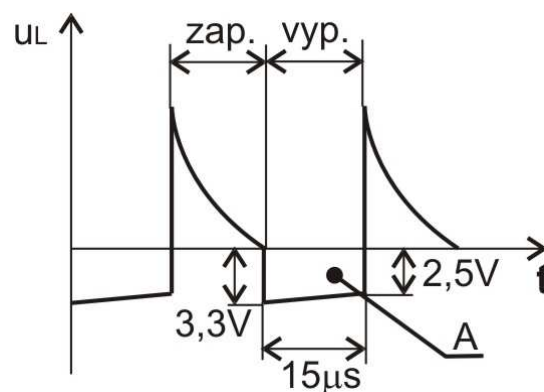
Velikost zvlnění vypočteme jako plochu záporné půlperiody průběhu na Obr. 2.4. měřeními byly zjištěny následující parametry: doba vypnutí:  $15 \mu s$ , velikost na začátku a na konci vypnutí je 3,3V a 2,5V jak je patrné z obrázku. Dále byla na výstup přidána

indukčnost rezistoru  $50\mu\text{H}$ , která nám nahrazuje parametry zátěže a indukčnost  $28\mu\text{H}$ , na které jsme prováděli měření. Zjištěním těchto parametrů můžeme vypočítat velikost zvlnění podle následujícího vztahu:

$$A = \frac{3,3 + 2,5}{2} V \cdot 15\mu\text{s} = 43 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta I_z = \frac{A}{L} = \frac{43 \cdot 10^{-6}}{28 \cdot 10^{-6} \text{H}} = 1,55 \text{A}$$

Velikost zvlnění nám vyšla  $\Delta I_z = 1,55 \text{A}$ , což proti výstupnímu zátěžnému proudu  $I_z = 7 \text{A}$  je zanedbatelné.



Obr. 2.4 Průběh napětí na indukčnosti  $L_F$  při zapínání a vypínání tranzistoru

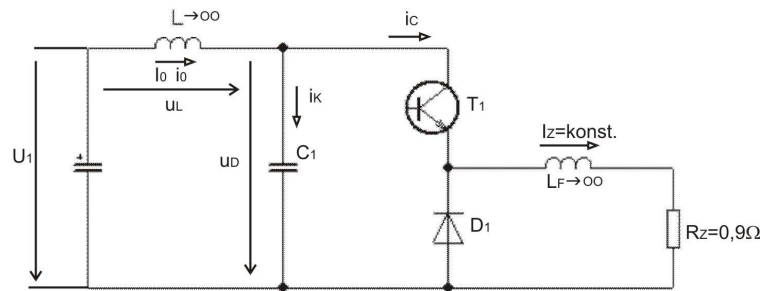
Pro výpočet rezonančního kmitočtu vycházíme z Thomsonova vztahu:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C \cdot L}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2000\mu\text{F} \cdot 3\mu\text{H}}} = 2055 \text{Hz}$$

Podmínkou je, aby nosná frekvence neležela na rezonančním kmitočtu. Proto se volí buď menší nebo větší. Všeobecně je však lepší, aby nosná frekvence byla nižší než rezonanční kmitočet. Proto pro naše účely volíme frekvenci  $2000 \text{Hz}$ .

## 2.2 Výpočet kondenzátoru $C_1$ za předpokladu, že $I_z$ není konstantní

Kondenzátor  $C_1$  počítáme za předpokladu, že  $L \rightarrow \infty$  a celý VF proud se odebírá z kondenzátoru. Při nosné frekvenci  $2000 \text{Hz}$ .



Obr. 2.5 Základní schéma navrženého DC/AC měniče při  $L_F \rightarrow \infty$

Odvození kondenzátorů vyplývá z následujících vztahů:

$$i_k = I_0 - I_z$$

$$I_z = \frac{I_0}{s} \Rightarrow I_0 = I_z \cdot s$$

$$Q = (I_z - I_0) \cdot t_{zap} = (I_z - I_z \cdot s) \cdot T \cdot s = I_z \cdot (1 - s) \cdot T \cdot s = I_z \cdot T \cdot (s - s^2)$$

$$Q_{\max} : \frac{dQ}{ds} = I_z \cdot T \cdot (1 - 2s) = 0 \Rightarrow s = 0,5$$

Z předchozí rovnice plyne, že maximální náboj  $Q$  se bude rovnat při střídě 0,5

$$Q_{\max} = I_z \cdot (1 - 0,5) \cdot 0,5 \cdot T = 0,25 \cdot I_z \cdot T$$

Výpočet akumulovaného náboje:

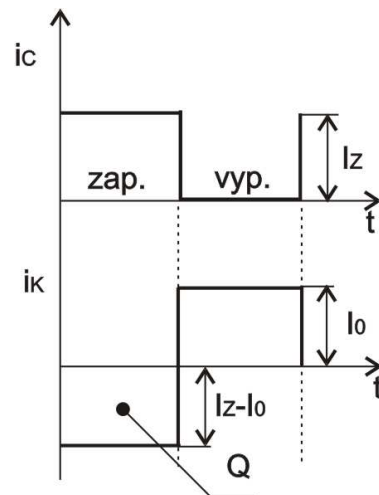
$$Q_{\max} = C \cdot \Delta U$$

Výsledná kapacita kondenzátoru  $C_1$  potom musí být větší než:

$$C \geq \frac{Q_{\max}}{\Delta U} = \frac{0,25 \cdot I_z \cdot T}{\Delta U} = \frac{0,25 \cdot 100 \text{ A} \cdot \frac{1}{2400}}{3 \text{ V}} = 3,47 \text{ mF} = 3470 \mu\text{F}$$

Z kirchhoffových zákonů pro naše zapojení platí, že proud na kondenzátoru  $C_1$  se vypočte z následujícího vztahu:

$$i_k = i_0 - i_C$$



Obr. 2.6 Výpočet akumulovaného náboje na  $C_1$

Hlavním podmínkou je, aby se indukčnost a kondenzátor nedostaly do rezonančního kmitočtu. Úplně nejlepší je pokud se dostaneme s nosnou frekvencí pod rezonanční kmitočty.

## 2.3 Naměřené hodnoty na zkušebním kondenzátoru

Protože výrobce neuvádí efektivní proud kondenzátorem museli jsme prakticky vyzkoušet jaký efektivní proud kondenzátor vydrží. Při zkušebním proudu 2,5A kondenzátor fungoval bez problémů, ale při proudu větším jak 3A se na kondenzátoru začíná projevovat povrchové oteplení.

## 2.4 Dimenzování počtu kondenzátorů

### 2.4.1 Podle napěťového zvlnění

Jak plyne z následujícího vztahu, počet kondenzátorů ovlivňuje zvlnění napětí. Velikost tohoto zvlnění požadujeme maximálně 10% vstupního napětí což je v našem případě 2,4V.

$$\frac{dU}{dt} = \frac{i}{C} \Rightarrow \frac{\Delta U}{T} = \frac{I_z}{C} \Rightarrow \Delta U = \frac{T \cdot I_z}{4 \cdot C} \Rightarrow k = \Delta U = \frac{I_z}{4 \cdot f \cdot C}$$

Po dosazení do odvozeného vzorce dostáváme:

$$k = \Delta U = \frac{2,5A}{4 \cdot 2400kHz \cdot 2000\mu F} = 0,13V$$

Tento výsledek je plně dostačující a klidně by stačil i menší počet kondenzátorů, abychom splnili podmínku 10% zvlnění. Musíme však kondenzátory ještě dimenzovat na proudové zatížení a na potřebnou kapacitu. Vypočítaná hodnota 0,13V odpovídá zvlnění 0,54%.



### 2.4.2 Podle proudového zatížení

Kondenzátor dimenzujeme na efektivní proud. Odměřenou a vyzkoušenou hodnotu 2,5A vydrží tento typ úplně bez problémů, proto na 100A zátěžného proudu potřebujeme pouze 40 takovýchto kondenzátorů.

### 2.4.3 Podle potřebné kapacity

Pomocí matlabu jsme odhadli, že budeme potřebovat velikost kondenzátoru kolem  $C_1=2000\mu\text{F}$ . V našem případě jsou použity keramické kondenzátory  $10\mu\text{F}/25\text{V}$ . Tudíž je potřeba 200 takovýchto keramických kondenzátorů.

Jak je vidět z předešlého dimenzování je proudové zatížení a napěťové zvlnění zanedbatelné proti potřebné kapacitě. Proto dále v textu budeme vycházet jen z tohoto třetího bodu.

## 2.5 Parametry zvoleného keramického kondenzátoru

Typový popis výrobku: CL32A106KA9LNNE

kapacita při 1kHz	10uF ±10%
maximální napětí	25V
tloušťka	0,9±0,1mm
materiál elektrod	Nikl
pokovení cínem	-
izolační odpor	10GOhm
rozsah teplot	-55 až 85C
maximální změna kapacity v závislosti na vlhkosti	±12,5%
proudové zatížení výrobce neudává	-
naměřený zátěžný efektivní proud:	2,5A

Tab. 2.1 Parametry zvoleného keramického kondenzátoru



### 2.5.1 Výhody

- Keramika má delší životnost – nevysychá
- Na desce nezabírá tolik místa – což je v našem případě jeden ze základních požadavků
- Menší svodový odpor – protéká daleko menší parazitní proud
- Menší parazitní indukčnost – menší přemíty v napět'ovém meziobvodu
- S rostoucí frekvencí klesá daleko méně kapacita než u elektrolytu

### 2.5.2 Nevýhody

- Cena je daleko větší než u elektrolytu
- Konkrétně v našem měniči se pohybuje cena keramických kondenzátorů od 1000kč do 1500 kč, což potřebné elektrolyty pořídíme okolo 300kč.
- Dají se vyrobit jen malé hodnoty – nutno veliký počet takovýchto kondenzátorů

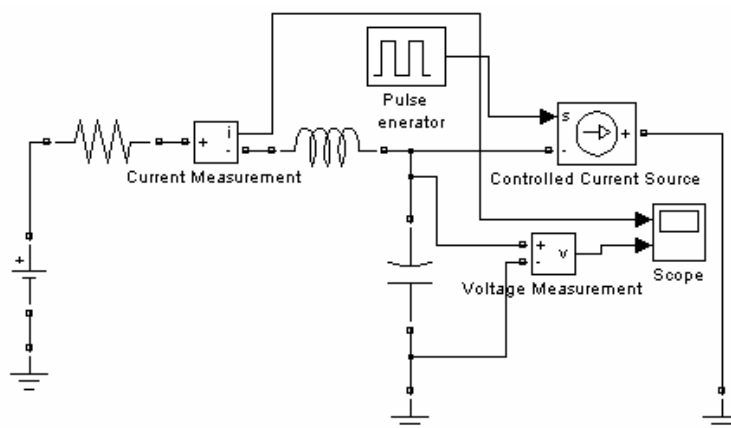
Díky těmto nevýhodám jsem se rozhodli nepoužít keramické kondenzátory ve výkonové části. Celá výkonová část bude realizována elektrolytickými kondenzátory 1000 $\mu$ F / 35V

## 2.6 Vliv parazitních indukčností

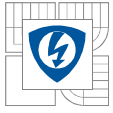
Parazitní indukčnosti mají vliv na chod celého měniče a musí se s nimi počítat při navrhování. Místa, kde se tyto parazitní indukčnosti nejvíce projevují, jsou na přívodech k baterii a vzdáleností jednotlivých součástek v měniči. Proto se snažíme součástky v obvodu  $T_1$ - $C_1$ - $D_1$  umístit co nejvíce k sobě.

Jelikož je počítání vstupních parazitních indukčností dosti náročné odhadli jsme, že se indukčnost přívodů od baterie bude pohybovat kolem 3 $\mu$ H.

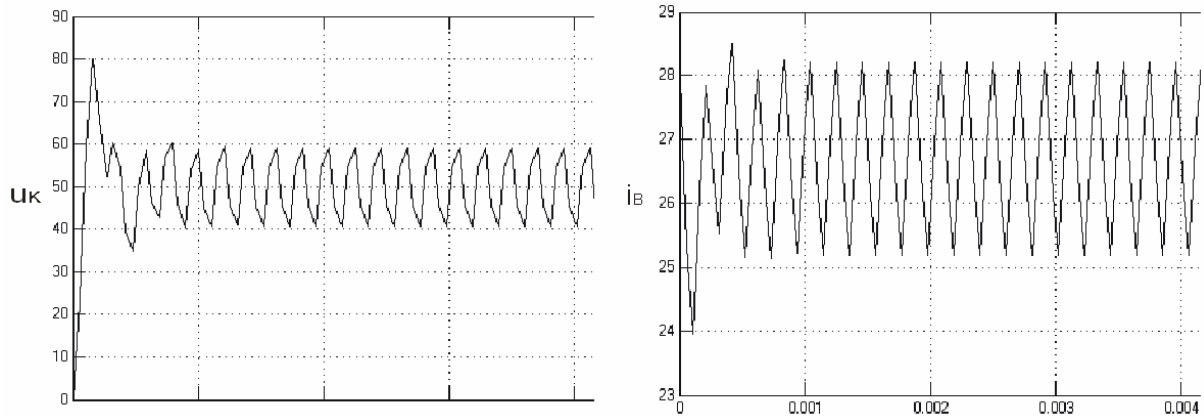
Na Obr. 2.7 je schéma, které pomocí matlabu simuluje vliv těchto parazitních indukčností na navržený DC/AC měnič.



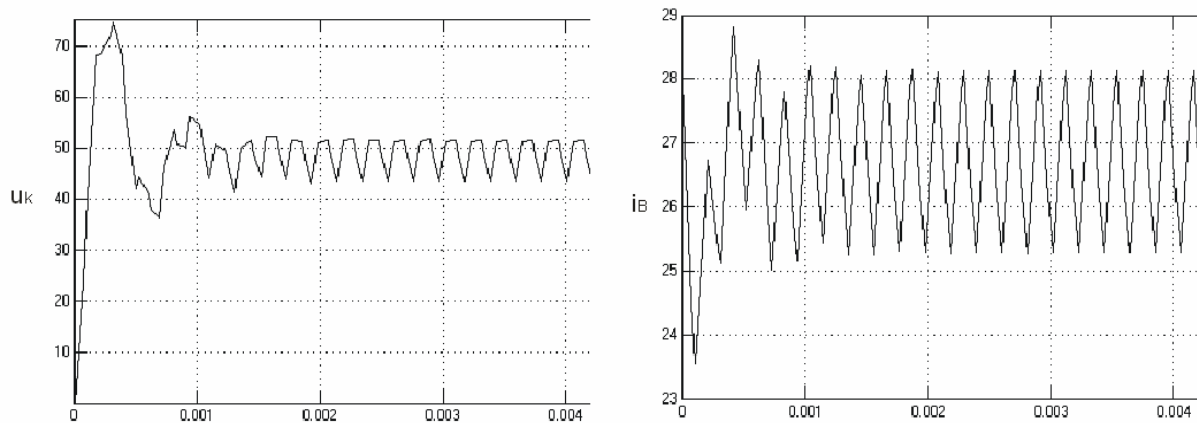
Obr. 2.7 Schéma, které nám simuluje vliv parazitních indukčností na vstup měniče



Skutečné průběhy proudu  $i_B$  a napětí na kondenzátoru  $u_k$ , jsou zobrazeny na *Obr. 2.8.* a *Obr. 2.9.* Oba průběhy jsou nasimulovány pro kondenzátor  $C_1$  s kapacitou  $2000\mu\text{F}$ . Na *Obr. 2.8* je použita odhadnutá hodnota napájecích přívodů  $3\mu\text{H}$  a na *Obr. 2.9* je použita hodnota  $5,2\mu\text{H}$ , kde se již začíná projevovat téměř dvojnásobná parazitní indukčnost zkreslováním napětí na  $C_1$ .



*Obr. 2.8 Vliv parazitní indukčnosti o velikosti  $3\mu\text{H}$  na vstupu měniče*



*Obr.2.9 Vliv parazitní indukčnosti o velikosti  $5,2\mu\text{H}$  na vstupu měniče*

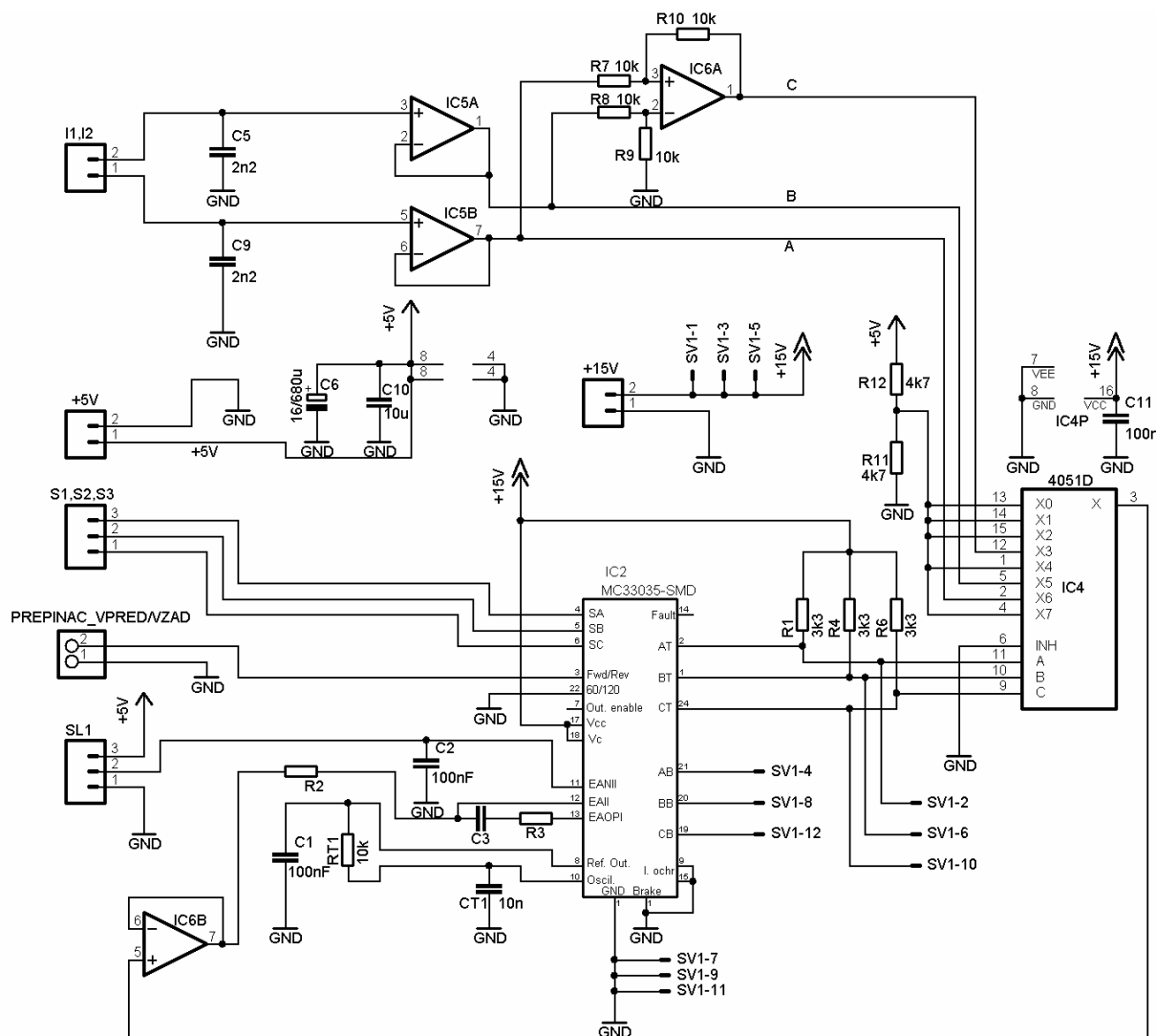
## 3 HLAVNÍ ČÁST DP - REALIZACE TŘÍFÁZOVÉHO DC/AC STŘÍDAČE

### 3.1 Řídicí část

Tato část slouží na řízení celého obvodu tj. ke generování pulsu pro tranzistory střídače umístěné na výkonové desce. Dále je zde přiváděna naměřená hodnota proudu a poloha motoru, která je zjišťována hallovými čidly polohy. Tento signál se zde dále zpracovává nadřazeným obvodem MC 33035.

Z uživatelského hlediska zde můžeme nastavovat klasický chod vpřed, ale i reverzaci dále jako uživatel mohu měnit moment motoru pomocí potenciometru SL1. Do této části řídicího obvodu je přivedeno napájecí napětí +15V a +5V.

Na Obr 3.1 je již konkrétní schéma řídicí části navrženého střídače.



Obr. 3.1 Schéma řídicí části střídače

Hlavní 15V napájení je odebíráno z výkonové části a je používáno pro napájení obvodu MC 33035 a CMOS obvodu 4051D, který slouží jako multiplexor.

Pomocí vícežilových kabelů je převáděno do budicí části, kde napájí budiče. Napětí +5V využívají operační zesilovače v proudové zpětné smyčce a potenciometr, kterým nastavujeme žádanou hodnotu momentu na motoru.

### 3.1.1 MC33035

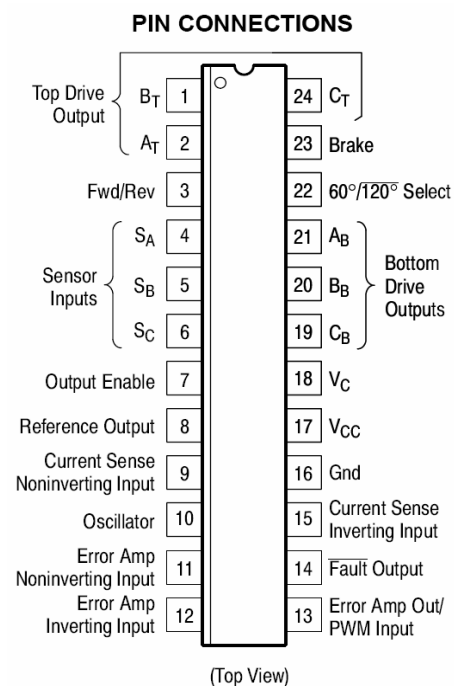
Pro přehlednost uvádím zapojení jednotlivých pinů v obvodu MC33035 *Obr.3.2*. Tento obrázek je převzat z literatury [1].

Obvod MC 33035 je jádrem celé řídicí části. Pomocí této a budicí části spínáme tranzistory ve výkonové části střídače. Do tohoto obvodu, na pin 4, 5 a 6 je také přiváděna zpětná vazba z hallových čidel polohy (signály  $S_A$ ,  $S_B$ ,  $S_C$ ), které jsou zabudovány přímo v motoru. Pomocí těchto čidel a nadřazené proudové smyčky řídíme v obvodu MC 33035 spínání jednotlivých tranzistorů. Princip spínání je zobrazen na *Obr. 3.3*.

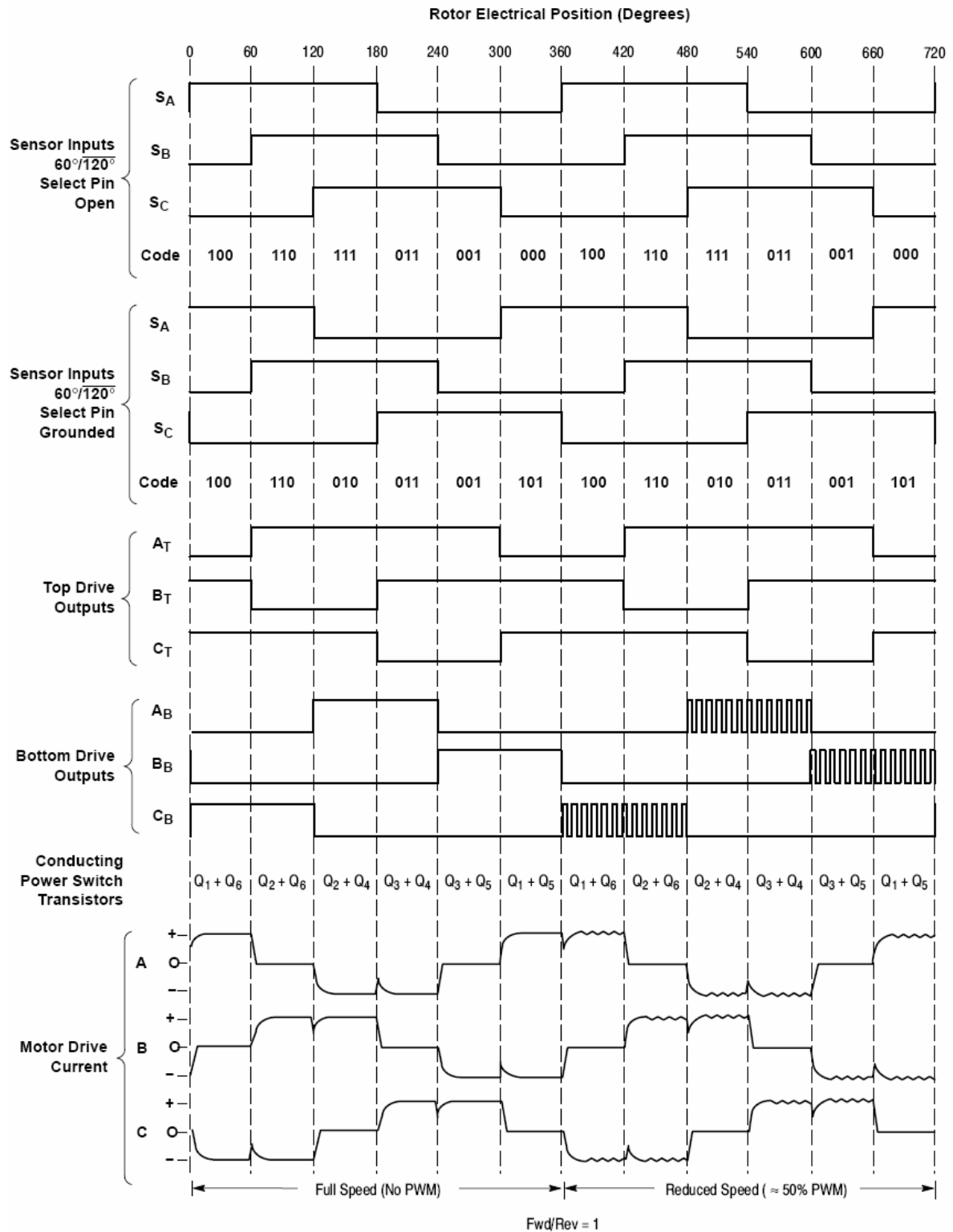
Řízení motoru probíhá pomocí potenciometru SL1, kterým obsluha nastavuje žádanou hodnotu proudu. Tato veličina se pak (přes pin 11) přivádí na komparátor. Na tento komparátor se také pomocí zpětné vazby (pin 12) přenáší skutečná hodnota proudu na motoru. Komparátor má za úkol i při nepatrném rozdílu těchto hodnot dorovnat skutečnou hodnotu na hodnotu zadanou uživatelem. Dorovnávání provádí obvod MC33035 změnou PWM. Proudová smyčka je podrobněji popsána v kapitole 3.1.4.

Na pin 3 je přivedeno přepínání mezi normálním chodem do předu a reverzací. Toto je podmíněno použitým řízením, aby mohl motor fungovat minimálně ve dvou kvadrantech.

Pin 23 slouží jako elektronická brzda, ale v našem zapojení se tato funkce nevyužívá. Její princip spočívá ve zkratování všech dolních tranzistorů a tím dojde k zastavení motoru. Tato varianta je však na použité zapojení velice drastická, protože v době sepnutí začne narůstat proud na stovky A. Dalším problémem je, že pokud bychom tuto brzdu použili při větší rychlosti, motor se rázově zastaví a mohlo by dojít ke zničení motoru. Proto je tento stav nežádoucí.



*Obr. 3.2 Význam jednotlivých pinů obvodu MC 33035*

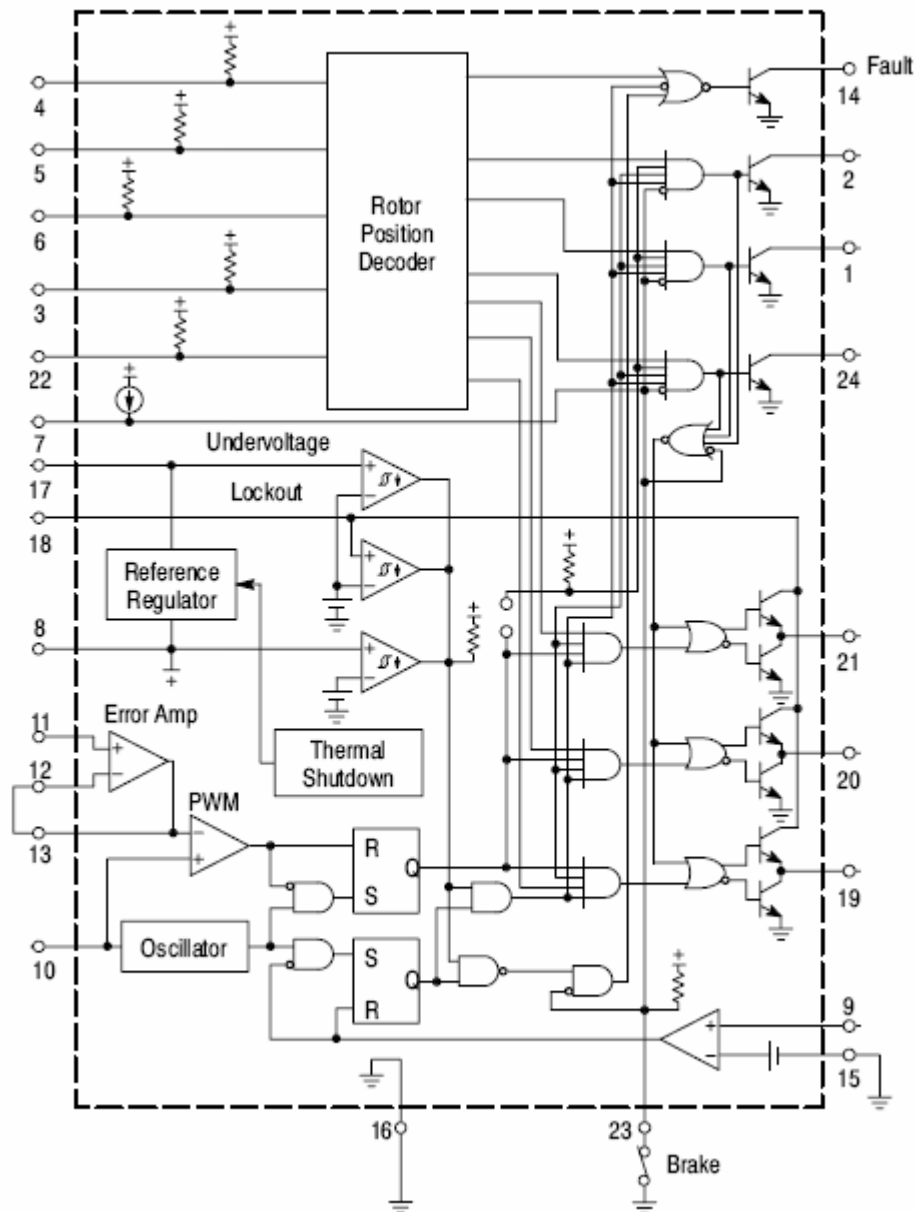


Obr.3.3 Princip spínání a vypínání tranzistorů

Na tomto obrázku vidíme vstupní signály z hallových čidel polohy  $S_A, S_B, S_C$ , pulsy pro spínání horních a dolních tranzistoru a skutečné průběhy na motoru při plné rychlosti (bez PWM) a se sníženou rychlostí (50% PWM). Je patrné, že při velké rychlosti jsou

spodní tranzistory stále sepnuty, nebo vypnuty, ale neprobíhá zde rychlé zapínání a vypínání jako při menších rychlostech.

Spínání jednotlivých tranzistorů probíhá následujícím způsobem: Jako první je sepnut tranzistor  $A_T$  společně s tranzistorem  $C_B$ . V dalším kroku již však tranzistor  $A_T$  přechází do blokovacího stavu a místo něj přichází spínací impuls na tranzistor  $B_T$ , který je sepnut společně s tranzistorem  $C_B$ . Ten v dalším cyklu přechází do blokovacího režimu a místo něj se spíná tranzistor  $A_B$ . Takto se postupně jednotlivé tranzistory střídají ve funkci pro názornost uvedu celý cyklus:  $A_T, C_B \rightarrow C_B, B_T \rightarrow B_T, A_B \rightarrow A_B, C_T \rightarrow C_T, B_B \rightarrow B_B, A_T \rightarrow A_T, C_B$ . Aby nedocházelo k sepnutí tranzistoru s tranzistorem, který ještě nepřešel do blokovacího stavu je obvodem MC33035 nastaven dead time.



Obr.3.4. Schéma zapojení řídicího obvodu MC 33035

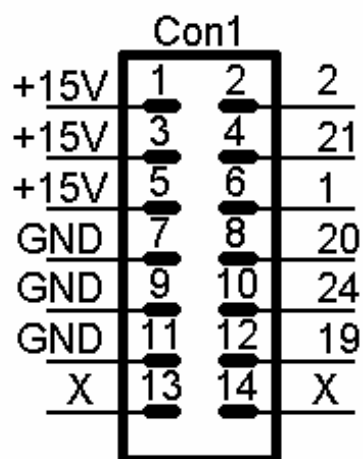
Pro přehlednost je na předchozím obrázku uvedeno schéma zapojení řídicího obvodu MC 33035. Jsou zde patrné logické obvody pro spínání jednotlivých tranzistorů, oscilátor pro generování PWM a komparátory pro vyhodnocení rozdílu mezi žádanou a skutečnou hodnotou proudu na motoru.

### 3.1.2 Con 1

Řídicí signály pro budiče jsou pro vrchní tři tranzistory vedeny z pinů 1, 2 a 24 a pro spodní tři tranzistory vedeny z pinů 19, 20 a 21. Tyto signály jsou přiváděny na konektor, který propojuje desku řídicí části a desku budičů. Dále je na konektor přivedeno +15V a zem pro budiče. Tyto veličiny jsou úmyslně rozděleny už zde, kvůli oddělení. Na oddělení napájecích napětí slouží v budičí části toroidní transformátor. Toto uspořádání jednotlivých pinů bylo zvoleno proto, aby se vzájemně nerušily řídicí signály s napájecím napětím a zemí.

Na propojení je použit 14-ti vodičový konektor. Zapojení tohoto konektoru je na Obr 3.5. Pro naše zapojení by stačil 12 pinový konektor ovšem ten se nevyrábí, proto jsme použili 14 pinový s tím, že piny 13 a 14 nebudou v našem zapojení využity.

Použitý konektor je popsán v literatuře [5].



Obr. 3.5 Zapojení propojovacího konektoru řídicí a budičí části

### 3.1.3 Popis vstupních a výstupních pinů řídicího obvodu MC33035

Pin	symbol	popis
1,2,24	$B_T, A_T, C_T$	Tyto tři horní řídicí výstupy s otevřeným kolektorem jsou navrženy k řízení externích horních výkonových tranzistorů
3	Fwd/Rev	Přední / zpětný přepínač určuje směr otáček motoru
4,5,6	$S_A, S_B, S_C$	Tyto tři vstupy kontrolují přepínání jednotlivých fází
7	Output Enable	Logická jednička na vstupu způsobuje, že motor běží, zatímco v logické nule motor dobíhá
8	Reference Output	Tento výstup nabíjí kondenzátor $C_T$ pro oscilátor a předává chybné nastavení rychlosti
9	Current Sence Noninverting Input	V tomto vstupu ukončuje výstupní vypínač přenos během oscilátorových cyklu. Pokud je rozdíl větší jak 100mV.



10	Oscillator	Frekvence oscilátoru se řídí hodnotou $R_T$ a $C_T$ .
11	Error Amp Noninverting input	Slouží pro nastavování rychlosti
12	Error Amp Inverting Input	Vstup skutečné rychlosti z čidel na motoru
13	Error Amp Out/PWM Input	Vyrovňuje rozdíl ve skutečné rychlosti na motoru s žádanou hodnotou.
14	Fault: Output	Chyba
15	Current Sense Inverting Input	S pinem 9. slouží jako nadproudová ochrana
16	Gdn	Uzemnění
17	$V_{CC}$	Napájení. Řídicí člen je schopen fungovat v rozsahu od 10V do 30V
18	$V_C$	Napájení spodních výstupních signálů. Fungují v rozsahu od 10V do 30V
19,20,21	$C_B, B_B, A_B$	Výstupní signály pro řízení spodních tranzistorů
22	60°/120° Select	Výběr mezi 60° nebo 120° snímáním
23	Brake	Brzda – v našem zapojení nevyužíváme

Tab. 3.1 Popis pinů řídicího obvodu MC 33035

### 3.1.4 Měření proudu

Na desce výkonového obvodu jsou na fázi  $L_1$  a  $L_2$  napájející motor umístěna čidla na měření proudu. Naměřené hodnoty se dále přivádějí na řídicí desku, kde se pomocí dalších obvodů dopočítává hodnota proudu třetí fáze  $L_3$ . Tento přídatný obvod je zde z důvodu, že vychází mnohem levněji, než kdybychom použili čidla na všech fázích v motoru.

Naměřené hodnoty proudu fáze  $L_1$  a  $L_2$  se přivedou na sledovače IC5A a IC5B, které mají v tomto zapojení dvě funkce. První je, že zapojení má velký vstupní odpor (řádově stovky  $M\Omega$  –  $G\Omega$ ), proto nezatěžuje snímače odběrem velkého proudu. Naopak výstupní odpor oddělovacího stupně je velmi nízký (jednotky až desítky  $\Omega$ ), proto z výstupu můžeme odebrat relativně velký proud a nemusíme se vázat na to, aby obvody za tímto stupněm co nejméně proudově zatěžovali vstup.

Toto použité zapojení má ještě jednu výhodu a to díky popsaným parametrům nebude docházet ke zkreslení nebo znehodnocení výstupního signálu ze snímače. Čím se nám podaří dosáhnout lepších parametrů tohoto zesilovače (nízký šum, širokopásmovost, zanedbatelný offset, malá vstupní napěťová nesymetrie), tím bude výstupní signál lineárnější.





Tyto dva signály poté přivádíme na diferenční zesilovač IC6A, tvořený odporem  $R_7$ ,  $R_8$ ,  $R_9$ ,  $R_{10}$ . Výstupní napětí je lineární kombinací napětí vstupních. V našem případě se jedná o rozdílový zesilovač.

Použité komparátory jsou umístěny vždy v pouzdře po dvou.

#### 4051D

Výstupní hodnota (signál C) je spolu s naměřenými signály A a B přiváděn na vstup obvodu 4051D, který nám připojuje na výstup vždy jen jeden z těchto tří vstupních signálů.

O tom jaký signál bude na výstupu rozhodují signály pro řízení horních tranzistoru  $A_T$ ,  $B_T$  a  $C_T$ , podle předem zvolené logiky.

V obvodu 4051D využíváme jen vstupy  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ , proto musíme ostatní vstupy obvodu ošetřit, proti náhodným chybám, kdy by byl na výstup připojen jiný vstup. Proto na tyto nepoužívané vstupy  $X_0$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_4$ ,  $X_7$  je pomocí děliče tvořené odpory  $R_{11}$  a  $R_{12}$  a napájecího napětí +5V přivedena stálá hodnota +2,5V.

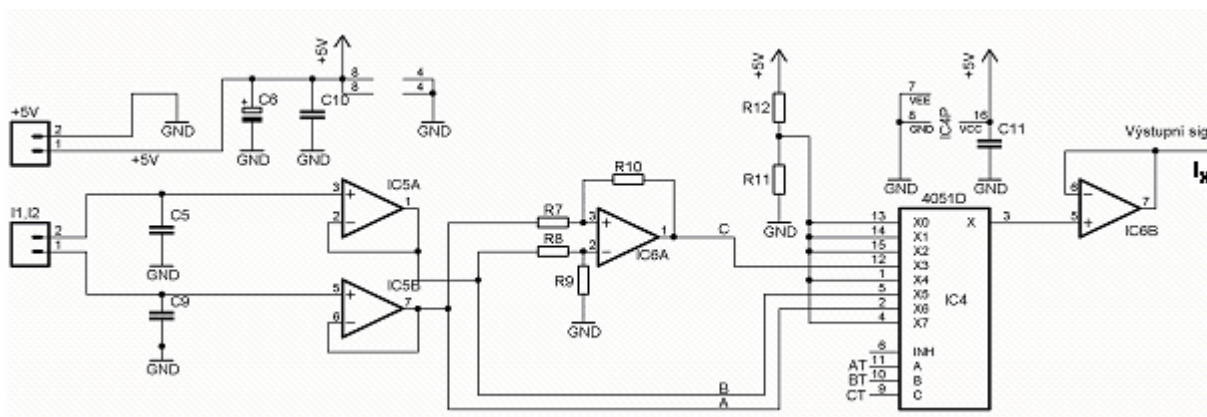
Vstupy			Vybraný výstup
C	B	A	
0	0	0	$X_0$
0	0	1	$X_1$
0	1	0	$X_2$
0	1	1	$X_3$
1	0	0	$X_4$
1	0	1	$X_5$
1	1	0	$X_6$
1	1	1	$X_7$

Tab. 3.2 Pravdivostní tabulka multiplexoru/demultiplexoru 4051D

Vstup s největší prioritou je poté přiváděn na vstup operačního zesilovače IC6B, který slouží opět jako sledovač. Dále je tato naměřená hodnota se přivádí na pin 12 obvodu MC 33035, kde se pomocí komparátoru porovnává s hodnotou zadanou uživatelem přivedenou na pin11.

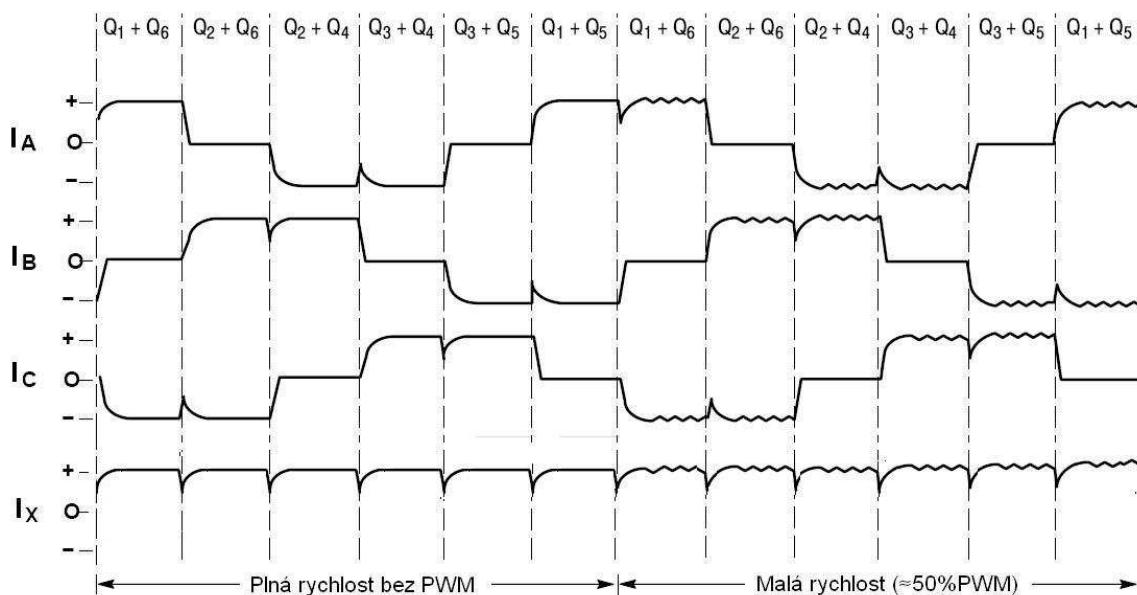
Naměřená hodnota je také přiváděna na pin 13, přes kondenzátor  $C_3$  a odpor  $R_3$ .  $R_3$  a  $C_3$  slouží v našem zapojení jako PI regulátor, který zajišťuje, že ustálená hodnota při skokové změně bude nulová.

Obvod 4051D je napájen z 15V zdroje. Na svorkách je připojen filtrační kondenzátor  $C_{11}$ .



Obr. 3.6 Detail výpočtu třetí hodnoty proudu fáze C a následné získání ustálené hodnoty výstupního proudu  $I_x$

Na následujícím obrázku Obr. 3.7 znázorňují fáze  $I_A$ ,  $I_B$  změřený skutečný proud na motoru a proud  $I_C$ , proud dopočítaný pomocí komparátorů.  $I_x$  znázorňuje skutečnou hodnotu proudu, kterou přivádíme zpět na řídicí obvod MC 33035, který jej využívá při nadproudové ochraně. Tento signál je při menších rychlostech částečně zvlněný, při vyšších rychlostech se již však tento nežádoucí stav neobjevuje. Písmena  $Q_{1-6}$  označují sepnutí jednotlivých tranzistorů. Spínání je podrobněji popsáno ve výkonové části kapitoly 3.3.



Obr. 3.7 Průběh výstupního proudu  $I_x$  za multiplexorem 4051D

### 3.2 BUDICÍ ČÁST

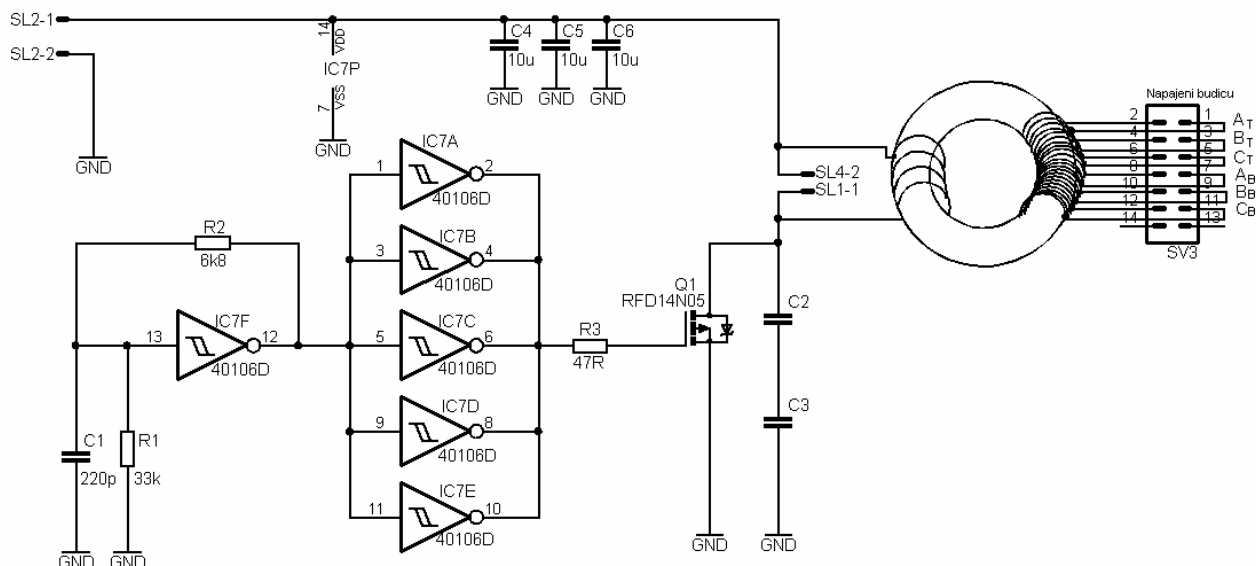
Celou budicí část můžeme rozdělit na dvě části jednak samotné budiče, které spínají tranzistory a také samotné napájení jednotlivých budičů.

Jelikož je zapotřebí jednotlivé budiče galvanicky oddělit, musíme použít oddělovacího transformátoru. V našem případě oddělujeme toroidním transformátorem na *Obr. 3.8*.

Tento transformátor nám galvanicky odděluje 6 samostatných zdrojů napětí, kterými napájíme jednotlivé budiče. Transformátor je navinut 12-ti vodičovým plochým svazkem vodičů, které jsou na konci přivedeny na samozářezavací konektor. Toto řešení je použito z důvodu jednodušší manipulace při konstrukci. Z konektoru je napájení dále rozváděno k jednotlivým budičům pomocí cest na tištěném spoji.

Obvod IC7F na následujícím obrázku nám generuje obdélníkový průběh, kterým spínáme tranzistor Q<sub>1</sub>. Perioda průběhu je nastavována odporem R<sub>1</sub> a kondenzátorem C<sub>1</sub> se zpětnou vazbou tvořenou odporem R<sub>2</sub>. IC7A-E slouží pro posílení proudového výstupu. Kondenzátory C<sub>2</sub> a C<sub>3</sub> slouží k demagnetizaci toroidního transformátoru v době, kdy není sepnut tranzistor Q<sub>1</sub>. Díky tomuto zapojení odpadá problém, který jsme měli v semestrálním projektu II., kde jsme použili pro napájení budičů nábojovou pumpu. Nábojová pumpa je levnější a jednodušší varianta napájení budičů, byl zde však problém při menších frekvencích s poklesem napětí v napěťovém meziobvodu. Tento problém se právě vyřešil použitím toroidního transformátoru, který ovšem zabírá místo na DPS.

Toroidní transformátor je na primární straně navinut 4 závitů a na sekundární straně 5 závitů.



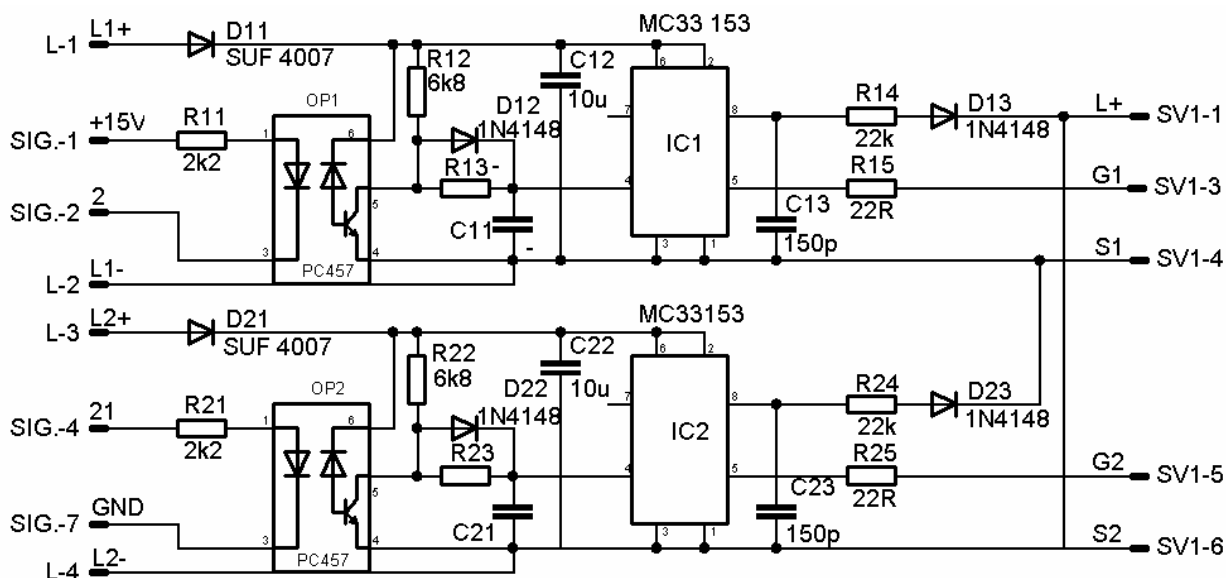
*Obr.3.8 Zapojení napájecího obvodu budičů*

### 3.2.1 Budiče

Jelikož pouzdro použitého střídače obsahuje šest mosfet tranzistorů, musí mít každý tranzistor vlastní budič. Museli jsme tedy použít 6 podobných zapojení. Jediný rozdíl v těchto zapojeních je v přivedení invertovaného signálu na horní tři tranzistory a přivedení neinvertovaného signálu na spodní tři tranzistory. Obě zapojení jsou uvedeny na Obr. 3.8.

Napájení je přivedeno z toroidního transformátoru přes samozařezávací svorku. Na obrázku je naznačeno  $L_{1+}$ ,  $L_{1-}$ ,  $L_{2+}$  a  $L_{2-}$ .

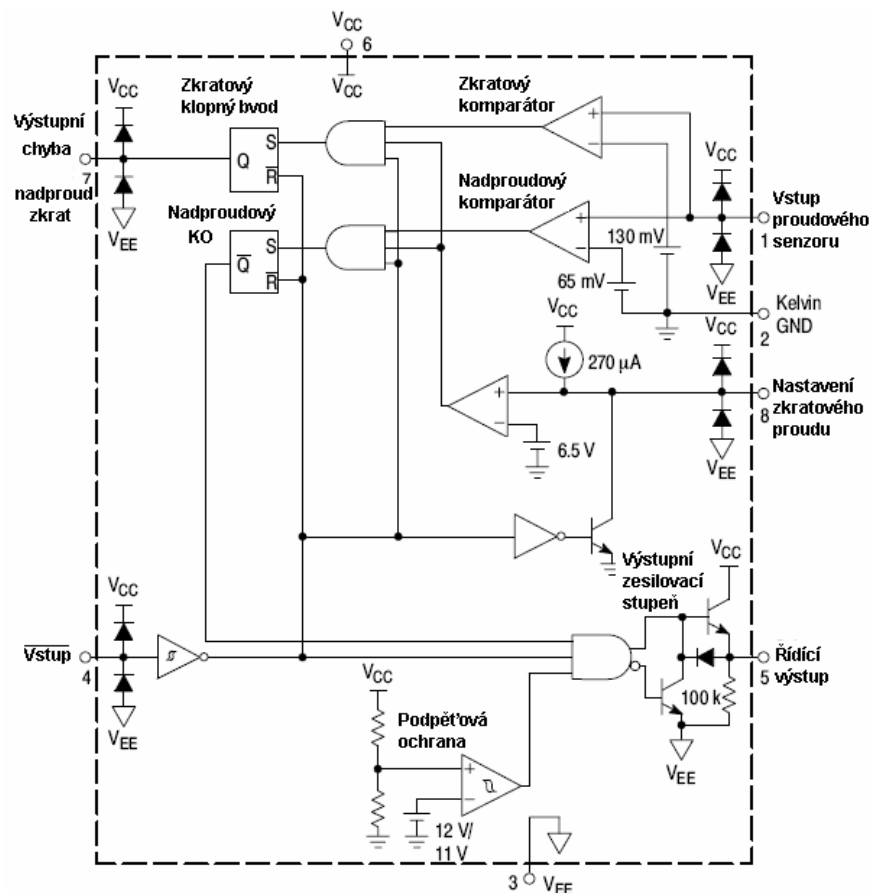
Budicí obvod (budič) musí na svém výstupu generovat kvalitní řídicí signál pro řídicí elektrodu výkonového spínacího tranzistoru. Základní úlohou budiče však je zajistit galvanické oddělení řídicího signálu na rozhraní mezi řídicími a výkonovými obvody střídače.



Obr. 3.8. Zapojení budiče a) pro horní tranzistory (invertující zapojení) a b) pro dolní tranzistory (neinvertující zapojení)

První zapojení je konkrétně pro buzení vrchního tranzistoru ve větvi A. Je zde počítáno se zpožďovací úrovní dead time tvořenou odporem  $R_4$ , diodou  $D_2$  a kondenzátorem  $C_1$ . V konečném zapojení ho však nebudeme využívat, protože toto nám již zajišťuje obvod MC 33035. Tyto prvky jsou zde navrženy pro případ, že bychom chtěli zapojení nějakým způsobem modifikovat.

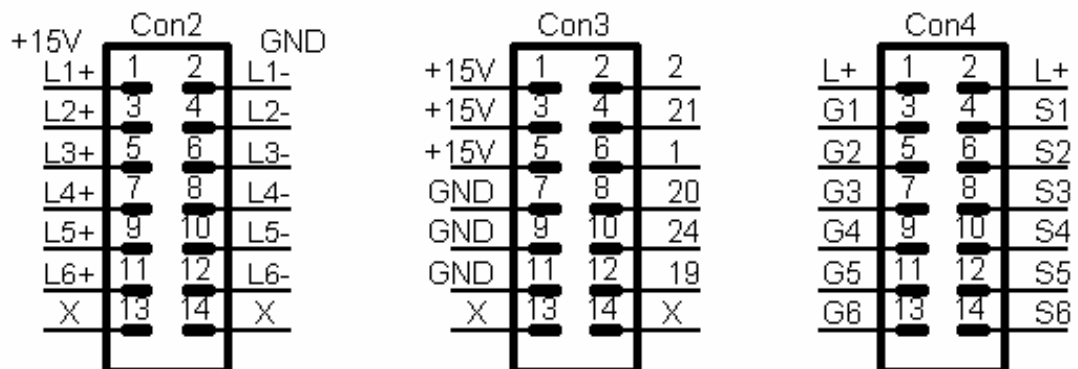
Jak je vidět na následujícím obrázku MC 33153 nám zařizuje podpěťovou ochranu. Pokud napájecí napětí klesne pod 12V MC přestane dodávat pulsy do výkonové části. Funkční napájecí rozsah tohoto obvodu je od 11 do 20V. V našem případě je použito 15V napájecí napětí. Pokles napětí je pro nás nežádoucí, protože potřebujeme, aby tranzistor pracoval ve spínacím režimu. Pokud dojde k poklesu napájecího napětí zareaguje antisaturační ochrana a obvod přestane dodávat pulsy do výkonové části.



Obr. 3.9 Schéma zapojení obvodu MC 33153 [2]

Na Obr. 4.4 je vidět tištěný spoj a osazení tohoto obvodu. Návrh probíhal v programu Eagle.

Zapojení konektorů v budící části obvodu:

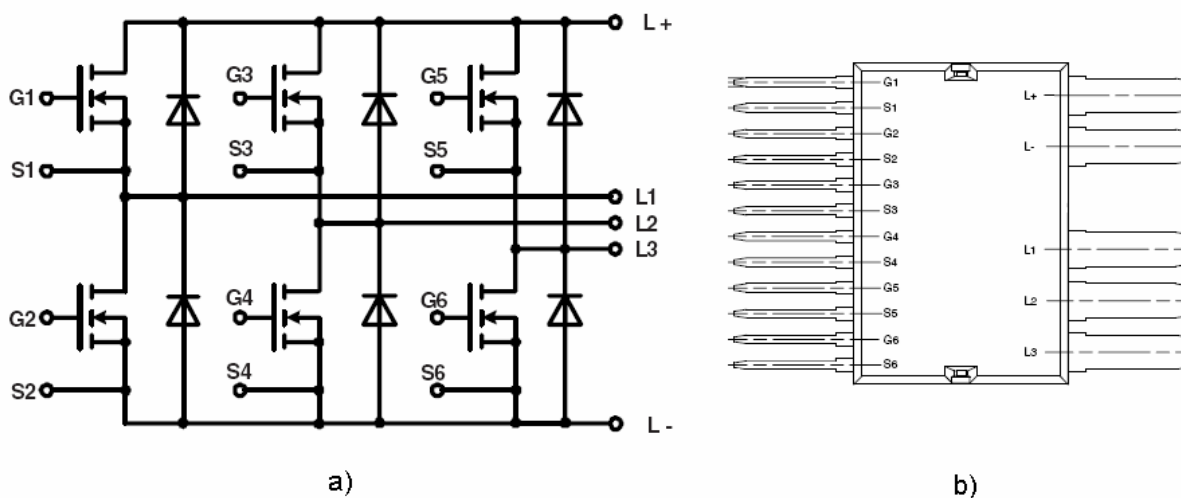


Obr. 3.10 Připojení pinů konektoru v budící části střídače

## 3.3 VÝKONOVÁ ČÁST

### 3.3.1 Tranzistorové pouzdro GWM120-0075P3

Toto pouzdro jsme pro naše zapojení vybrali [3], protože se běžně používá pro výkonové účely. Je tvořeno 3 mosfet tranzistory v horní části a 3 mosfet tranzistory v dolní části. Každý tranzistor je řízen obvodem MC 33035 a využívá vlastní budič. Podrobný popis tohoto budiče je uveden v předchozí kapitole. Schéma zapojení střídače je na následujícím obrázku:



Obr. 3.11 a) struktura zapojení použitého střídače b) vstupní a výstupní piny obvodu GWM pouzdra

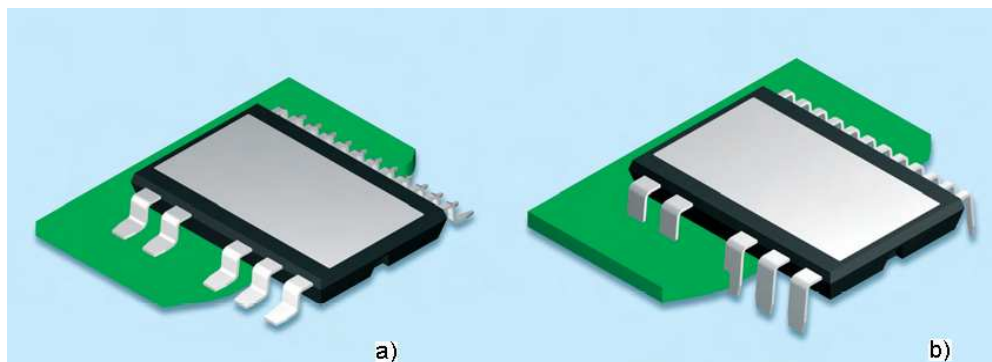
#### 3.3.1.1 Parametry obvodu:

- $V_{DSS} = 75V$
- $I_{D25} = 125A$
- $R_{DSon typ.} = 3,7m\Omega$

Spínání jednotlivých tranzistorů je již popsáno v kapitole 3.1 teoretického úvodu. Pro názornost to zde však uvedu ještě jednou, aby bylo patrné jednotlivé spínání tranzistorů také na blokovém schématu. Obr. 3.11.

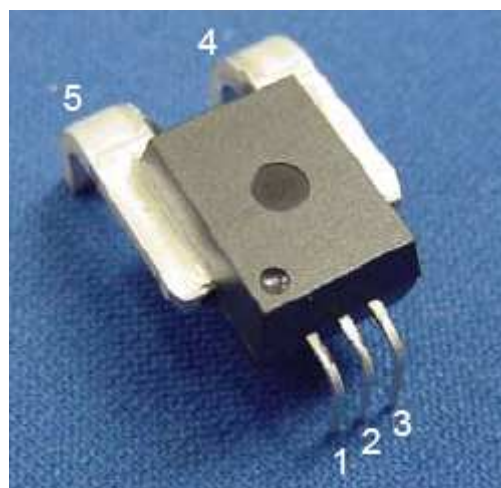
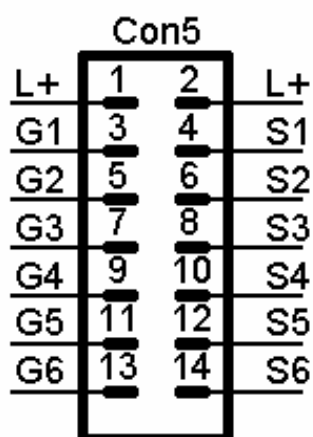
Vycházejme z okamžiku, kdy je jako první sepnut tranzistor  $A_T$  společně s tranzistorem  $C_B$ . V dalším kroku již však tranzistor  $A_T$  přechází do blokovacího stavu a místo něj přichází spínací impuls na tranzistor  $B_T$ , který je sepnut společně s tranzistorem  $C_B$ . Ten v dalším cyklu přechází do blokovacího režimu a místo něj se spíná tranzistor  $A_B$ . Takto se postupně jednotlivé tranzistory střídají ve funkci pro názornost uvedu celý cyklus:  $A_T, C_B \rightarrow C_B, B_T \rightarrow B_T, A_B \rightarrow A_B, C_T \rightarrow C_T, B_B \rightarrow B_B, A_T \rightarrow A_T, C_B$ . Aby nedocházelo k sepnutí tranzistoru s tranzistorem, který ještě nepřešel do blokovacího stavu je obvodem MC33035 nastaven dead time.

Následující obrázek Obr. 3.12 ukazuje konkrétní usazení tohoto pouzdra na plošném spoji. Můžeme využít těchto dvou osazení:



Obr. 3.12 Varianty osazení GWM pouzdra na plošném spoji a)SMD b)BL

Do výkonové části jsou budící signály přivedeny přes konektor Con5. Zapojení propojovacího konektoru je na Obr. 3.12.



Obr.3.13 Připojení pinů konektoru ve výkonové části obvodu

Obr.3.14 Proudové čidlo ACS 750xCA-050 [6]

### 3.3.2 Čidla na měření proudu

Pro měření proudu jsme zvolili dvě proudová čidla ACS 750xCA-050 Obr.3.14. Osazení jednotlivých pinů je následující:

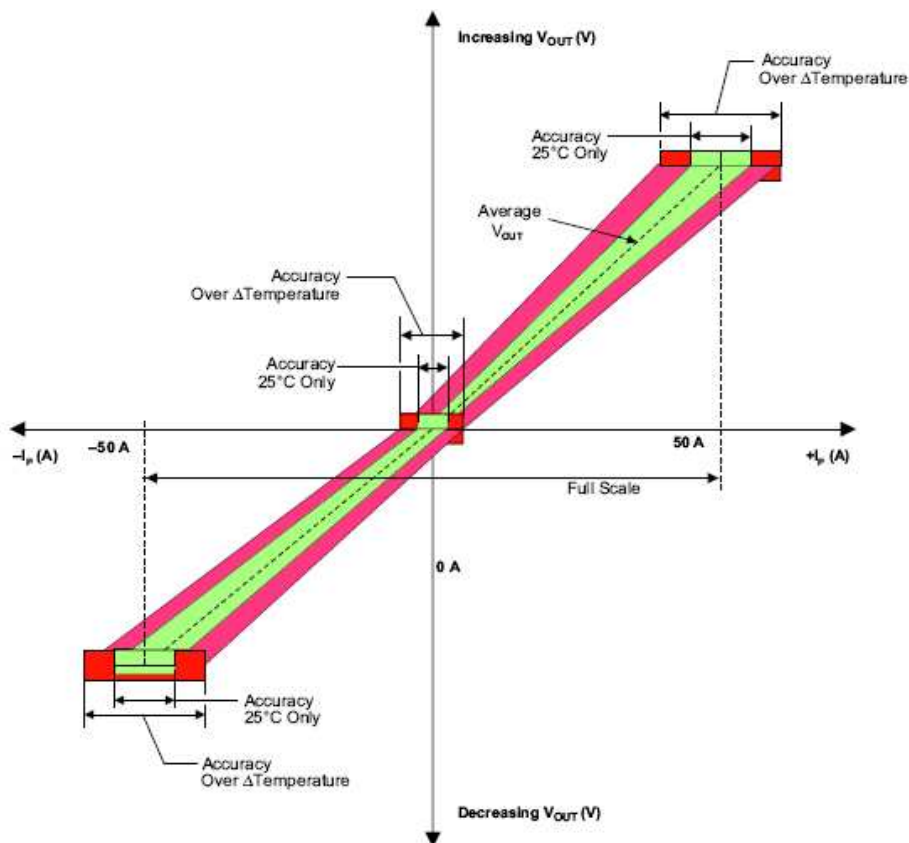
1 – napájení (5V), 2 – zem, 3 – výstupní signál, 4 –  $I_{P+}$ , 5 –  $I_{P-}$ .

Údaje a charakteristiky tohoto obvodu jsou převzaty z literatury [6].

Tyto čidla jsou umístěna na fázi  $L_1$  a  $L_2$  napájející EC motor. Z ekonomických důvodů stačí použít jen dvou čidel. Jak je tato problematika popsána v řídicí části, je třetí hodnota fáze  $L_3$ , dopočítávána pomocí diferenčního zesilovače. Výsledná hodnota je poté

zpracovávána v obvodu MC 33035. Tyto čidla jsou napájena z 5V zdroje. Proudový rozsah použitých čidel je od -50A do +50A.

Přesnost snímání v celého rozsahu je do 25°C bez tepelného vlivu. Pokud je však teplota větší nesmíme již tento tepelný vliv zanedbávat. Na Obr. 3.15 je graficky znázorněna VA charakteristika použitého čidla. Zeleně pro teplotu do 25°C a červeně závislost při větší teplotě.



Obr. 3.15 Závislost výstupního napětí na proudu od 0A do plného rozsahu ±50A [7]

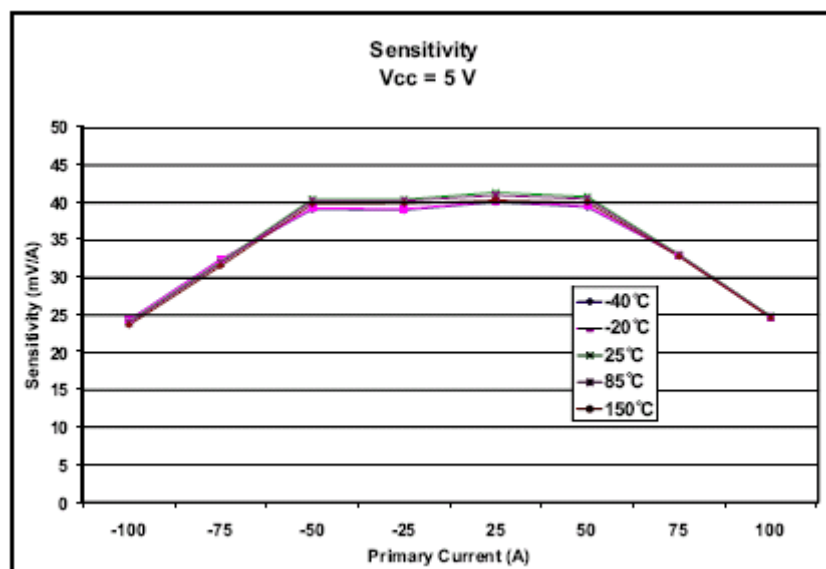
Legenda k Obr. 3.15:

Increasing $V_{out}$ [V]	Rostoucí $V_{out}$ [V]
Accuracy 25°C only	Rozsah měření bez nutnosti připočítávat tepelný vliv (do 25°C)
Accuracy Over $\Delta$ Temperature	Měření při teplotě větší jak 25°C
Average $V_{OUT}$	Střední hodnota výstupního napětí $V_{OUT}$
Full Scale	Plný rozsah proudového čidla od -50A do +50A
Decreasing $V_{out}$ [V]	Klesající $V_{out}$ [V]



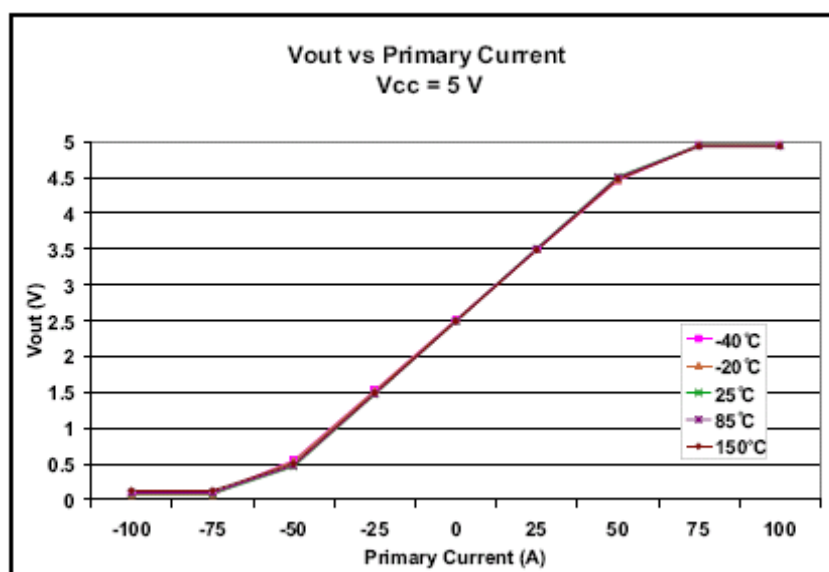
Výstupní hodnota proudového čidla je 5V. Tato hodnota je rozdělena na dvě úrovně od 0 do 2,5 V při rozsahu od -50A do 0 a od 0A do 50A je výstupní hodnota od 2,5V do 5V. Nulový proud tedy odpovídá konstantní hodnotě 2,5V.

Největší citlivost čidla je při menších proudech a to 40mV/1A. Při větších proudech tato hodnota klesá až na 25mV/1A. Další informace viz. použitou literaturu [7].

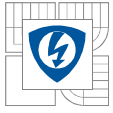


Obr. 3.15 Citlivost výstupního napětí na měnícím se proudu

Jak je však patrné z následujícího grafu Obr. 3.16 není zde taková odchylka výstupních hodnot při větších teplotách.

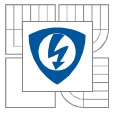


Obr. 3.16 Závislost výstupního napětí na snímaném proudu při různých teplotách [7]



### 3.3.3 Stabilizace napětí

Na desce výkonového obvodu jsou umístěny dva stabilizátory napětí 78M15, který nám napájecí napětí +24V snižuje na +15V. Tento 15V zdroj je nejvíc využíván na budičí části, kde napájí budiče. A stabilizovaný zdroj 78M05, který dále hodnotu 15V snižuje na 5V. Tu využívají čidla proudu ve výkonové části a operační zesilovač na dopočítávání třetí hodnoty proudu fáze  $L_3$  v řídicí části obvodu.

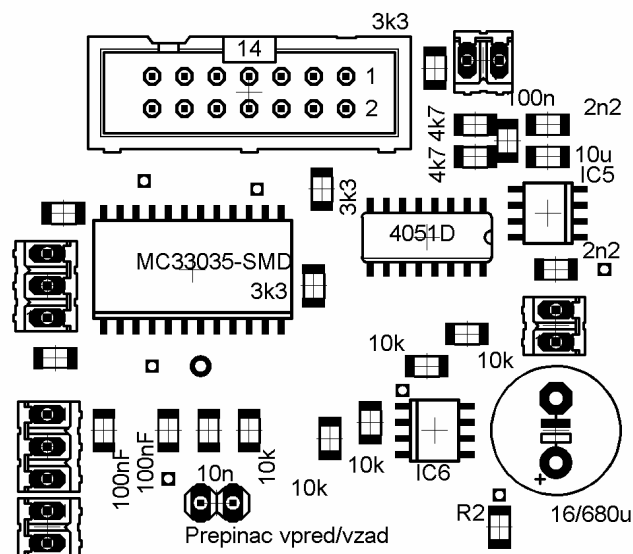


## 4 KONKRÉTNÍ NAVRŽENÍ POPISOVANÉHO STRÍDAČE

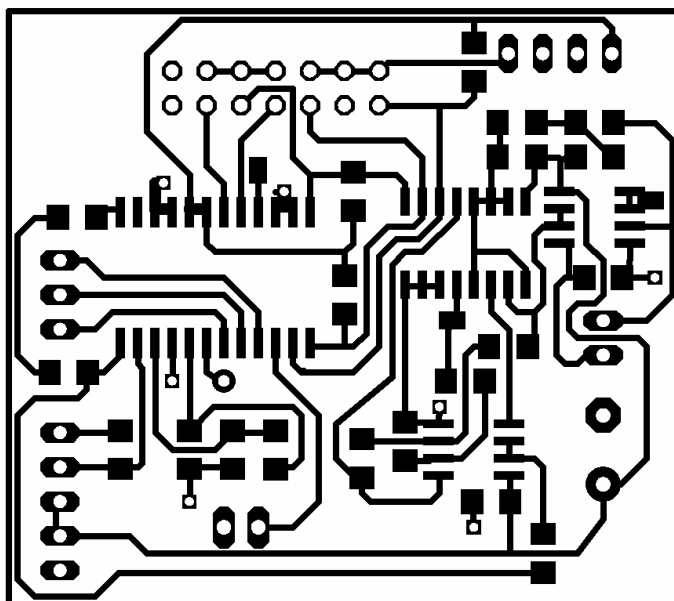
### 4.1 Řídicí část

Popis součást.	Typ součástky	Popis součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.
SV1	Konektor ML14E	R <sub>2,3</sub>	-	R <sub>10</sub>	10kΩ	C <sub>4</sub>	-
IC2	MC 33035 - SMD	R <sub>4</sub>	3,3kΩ	R <sub>11</sub>	4,7k Ω	C <sub>5</sub>	2,2nF
IC4	4051D	R <sub>5</sub>	-	R <sub>12</sub>	4,7k Ω	C <sub>6</sub>	680μF
IC5	OZ 2AMP_p8+4D	R <sub>6</sub>	3,3kΩ	C <sub>1</sub>	100nF	C <sub>7,8</sub>	-
IC6	OZ 2AMP_p8+4D	R <sub>7</sub>	10kΩ	C <sub>T1</sub>	10nF	C <sub>9</sub>	2,2nF
R <sub>1</sub>	3,3kΩ	R <sub>8</sub>	10kΩ	C <sub>2</sub>	100nF	C <sub>10</sub>	10μF
R <sub>T1</sub>	10kΩ	R <sub>9</sub>	10kΩ	C <sub>3</sub>	-	C <sub>11</sub>	100nF

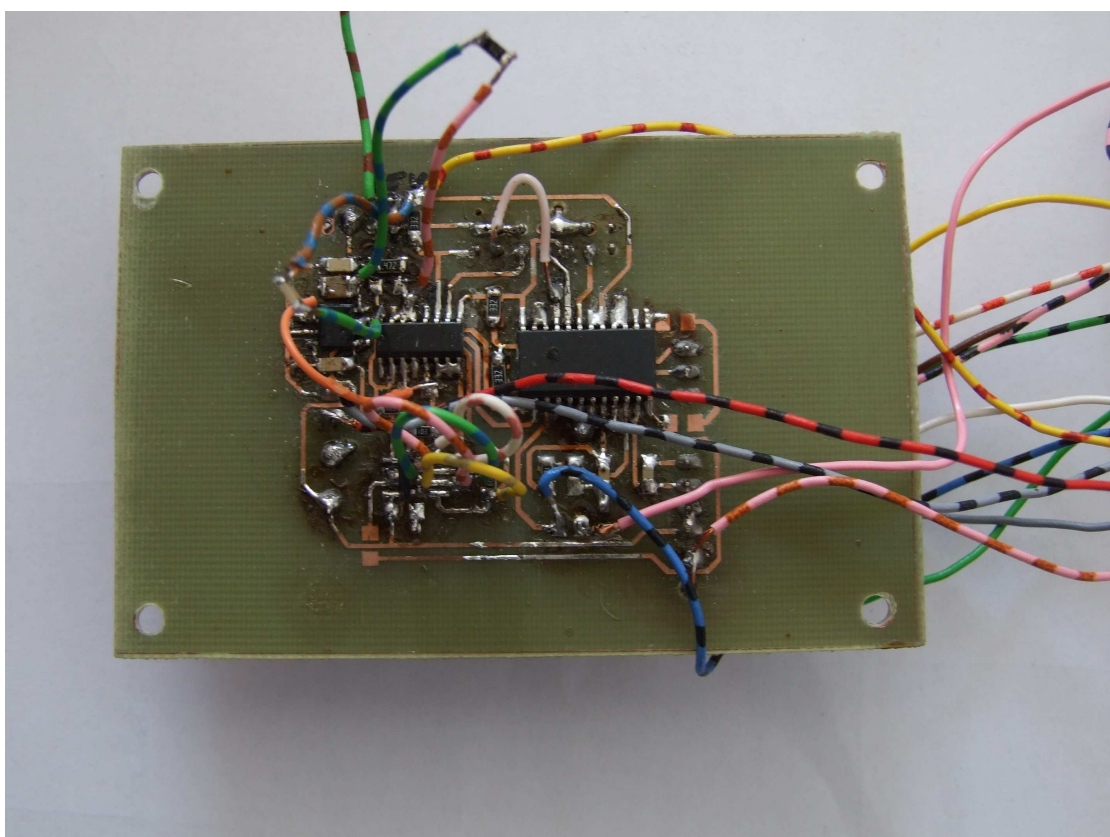
Tab. 4.1 Navržené součástky řídicího obvodu střídače



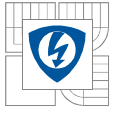
Obr. 4.1 Osazení DPS součástkami řídicí části



*Obr. 4.2 Propojení součástek DPS řídicí části*



*Obr. 4.3 Realizované zapojení řídicí části*



## 4.2 Budicí část

### Napájecí obvod budičů

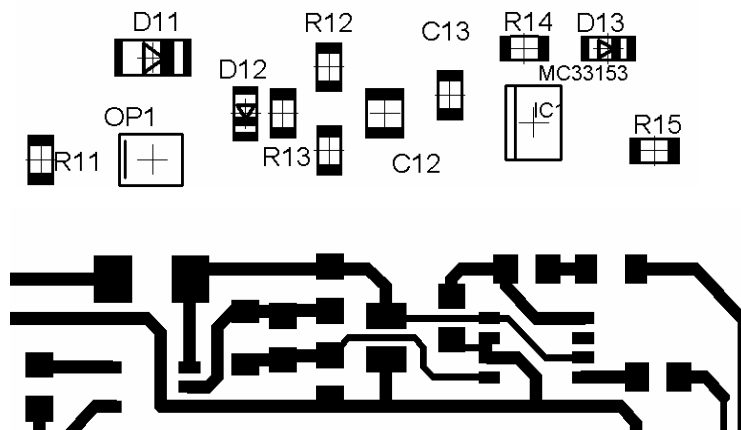
Popis součást.	Typ součástky	Popis Součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.
IC1	40106D	R <sub>1</sub>	33kΩ	C <sub>1</sub>	220pF	C <sub>4</sub>	10μF
TR	RFD14N05	R <sub>2</sub>	6,8kΩ	C <sub>2</sub>		C <sub>5</sub>	10μF
SL1,2	2 x svorka	R <sub>3</sub>	47Ω	C <sub>3</sub>		C <sub>6</sub>	10μF

Tab. 4.2 Navržené součástky napájecího obvodu budičů

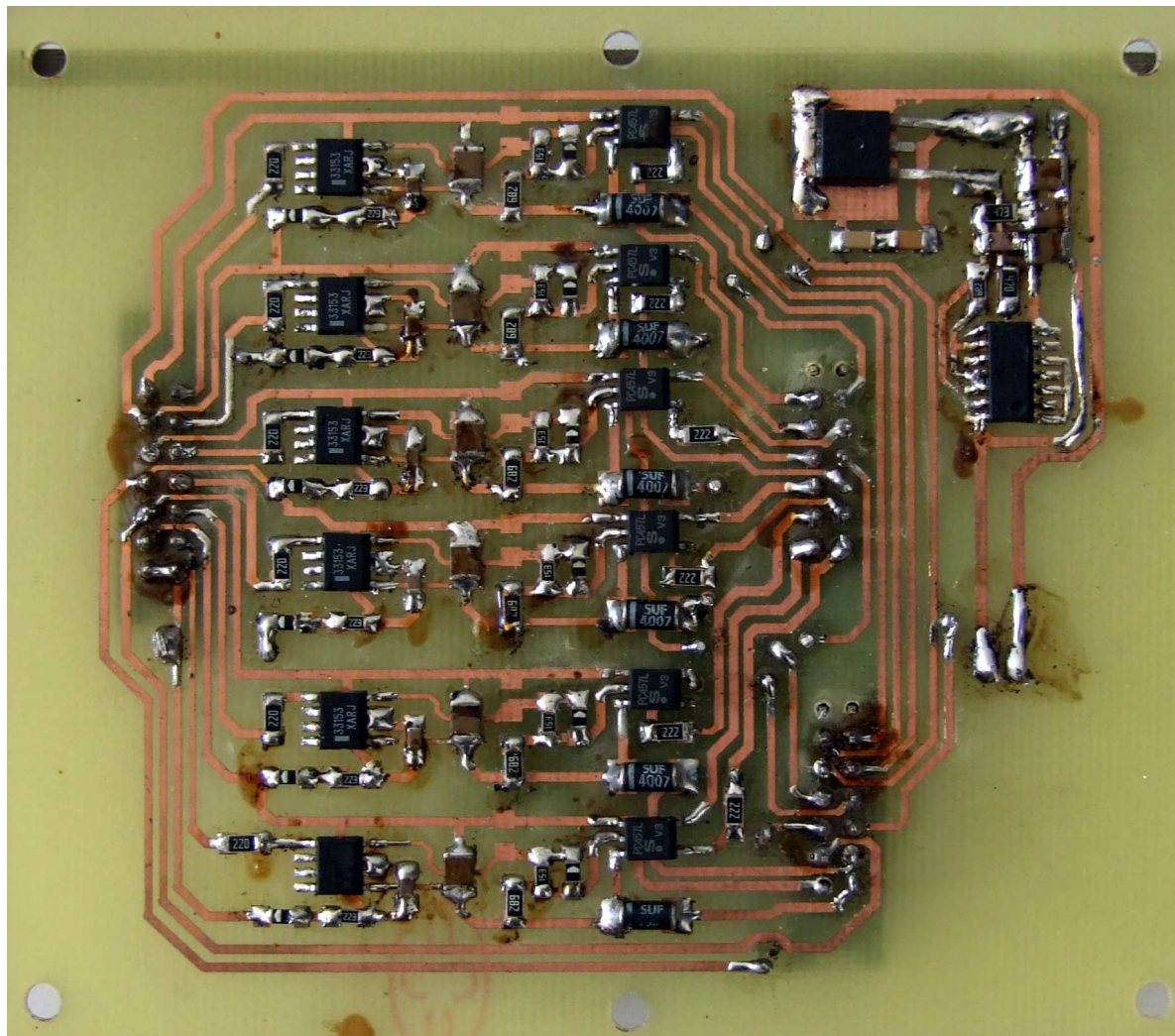
### Budicí část

Popis součást.	Typ součástky	Popis součást.	Typ součást.
Con 1,2,3	Noc-ML14E	R <sub>13</sub> , R <sub>23</sub> , R <sub>33</sub> , R <sub>43</sub> , R <sub>53</sub> , R <sub>63</sub>	15kΩ
OP1,2,3,4,5,6	MC33153	R <sub>14</sub> , R <sub>24</sub> , R <sub>34</sub> , R <sub>44</sub> , R <sub>54</sub> , R <sub>64</sub>	22kΩ
D <sub>11</sub> , D <sub>21</sub> , D <sub>31</sub> , D <sub>41</sub> , D <sub>51</sub> , D <sub>61</sub>	SUF 4007	R <sub>15</sub> , R <sub>25</sub> , R <sub>35</sub> , R <sub>45</sub> , R <sub>55</sub> , R <sub>65</sub>	22Ω
D <sub>12</sub> , D <sub>22</sub> , D <sub>32</sub> , D <sub>42</sub> , D <sub>52</sub> , D <sub>62</sub>	1N4148	C <sub>11</sub> , C <sub>21</sub> , C <sub>31</sub> , C <sub>41</sub> , C <sub>51</sub> , C <sub>61</sub>	-
D <sub>13</sub> , D <sub>23</sub> , D <sub>33</sub> , D <sub>43</sub> , D <sub>53</sub> , D <sub>63</sub>	1N4148	C <sub>12</sub> , C <sub>22</sub> , C <sub>32</sub> , C <sub>42</sub> , C <sub>52</sub> , C <sub>62</sub>	10μF
R <sub>11</sub> , R <sub>21</sub> , R <sub>31</sub> , R <sub>41</sub> , R <sub>51</sub> , R <sub>61</sub>	2,2kΩ	C <sub>13</sub> , C <sub>23</sub> , C <sub>33</sub> , C <sub>43</sub> , C <sub>53</sub> , C <sub>63</sub>	150pF
R <sub>12</sub> , R <sub>22</sub> , R <sub>32</sub> , R <sub>42</sub> , R <sub>52</sub> , R <sub>62</sub>	6,8kΩ	X	x

Tab. 4.3 Navržené součástky budicích obvodů



Obr.4.4 Návrh a osazení jednoho ze 6 budičů budicí části



Obr. 4.5 Realizované zapojení budící části

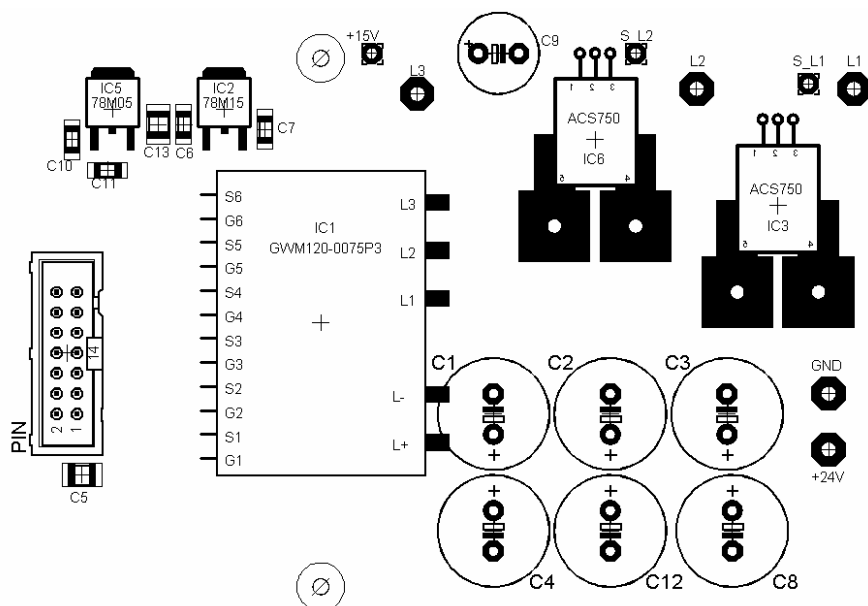
### 4.3 Výkonová část

Popis součást.	Typ součástky	Popis součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.	Popis součást.	Typ součást.
IC1	GWM 120-0075P3	Svorky	1x2	C <sub>3</sub>	1000 $\mu$ F/ 35V	C <sub>9</sub>	1000 $\mu$ F/ 35V
IC2	78M15	Svorky	1x2	C <sub>4</sub>	1000 $\mu$ F/ 35V	C <sub>10</sub>	10 $\mu$ F
IC3	ACS750	Svorky	1x2	C <sub>5</sub>	10 $\mu$ F	C <sub>11</sub>	10 $\mu$ F
IC5	78M05	Svorky	1x3	C <sub>6</sub>	10 $\mu$ F	C <sub>12</sub>	1000 $\mu$ F/ 35V

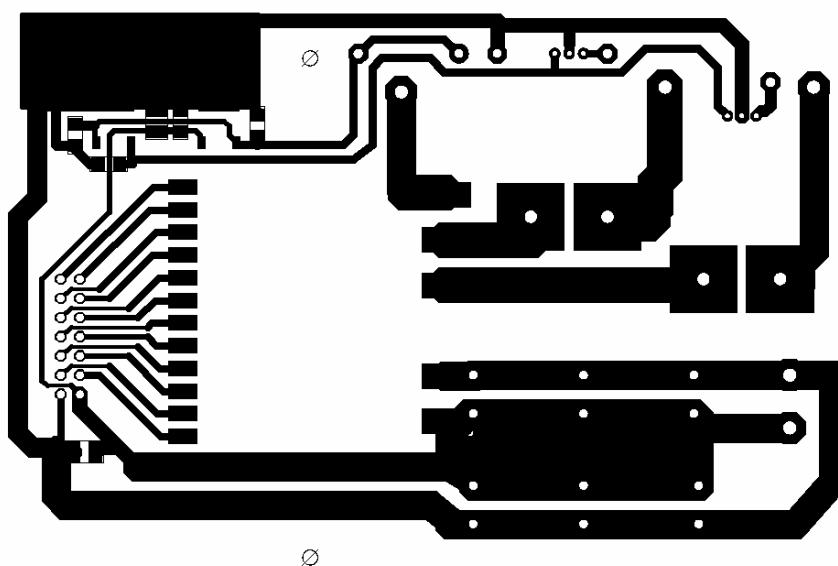


IC6	ACS750	C <sub>1</sub>	1000μF/ 35V	C <sub>7</sub>	10μF	C <sub>13</sub>	10μF
Con5	Con-ML14E	C <sub>2</sub>	1000μF/ 35V	C <sub>8</sub>	1000μF/ 35V	X	x

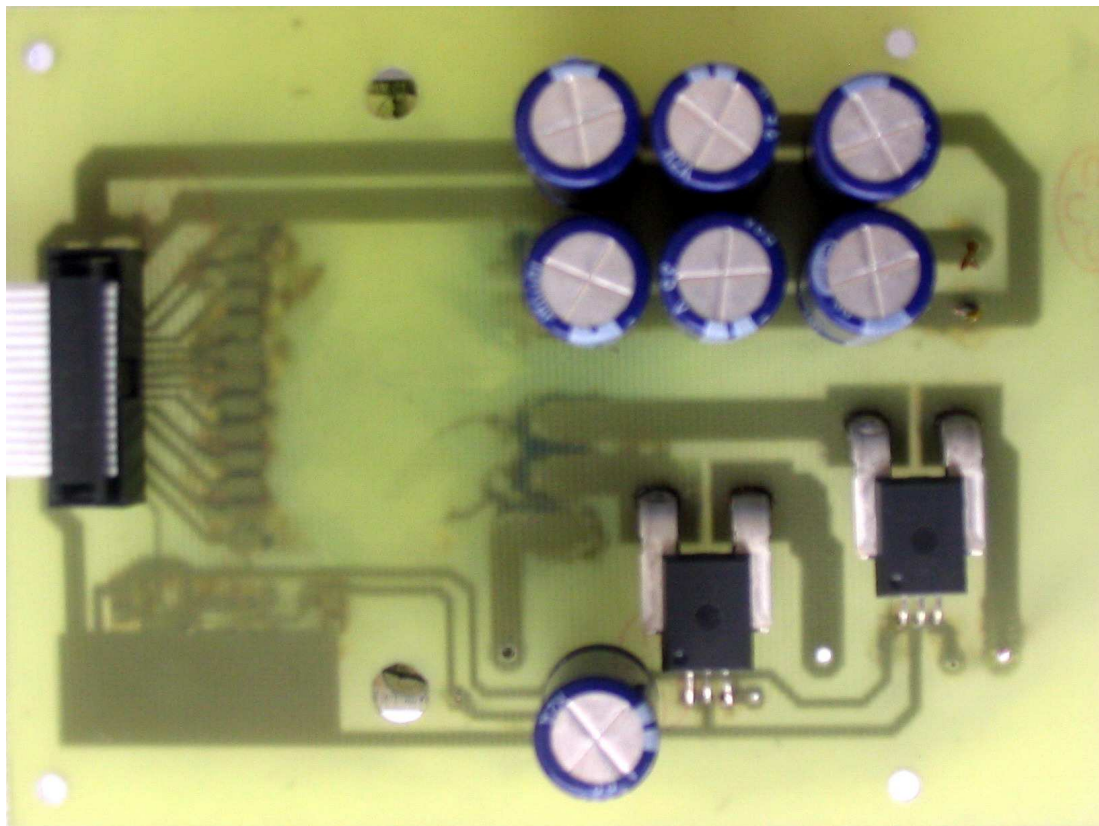
Tab. 4.4 Navržené součástky výkonové části střídače



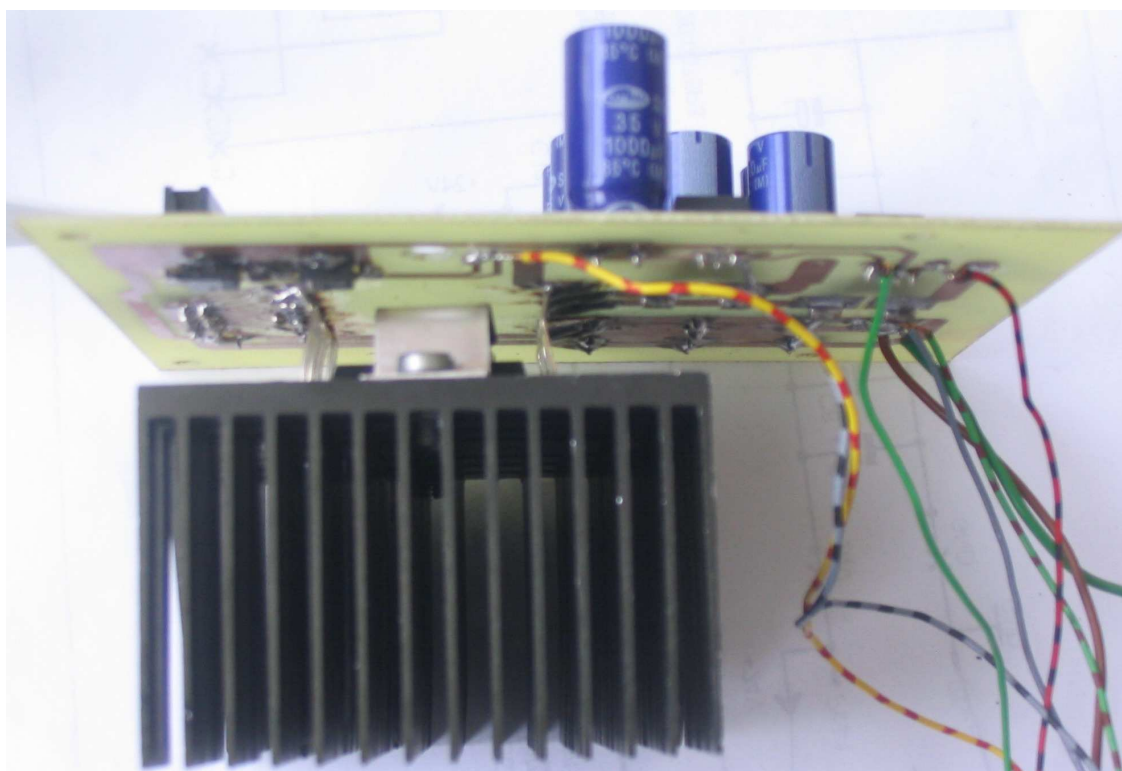
Obr. 4.6 Osazení DPS součástkami výkonové části



Obr. 4.7 Propojení součástek DPS výkonové části

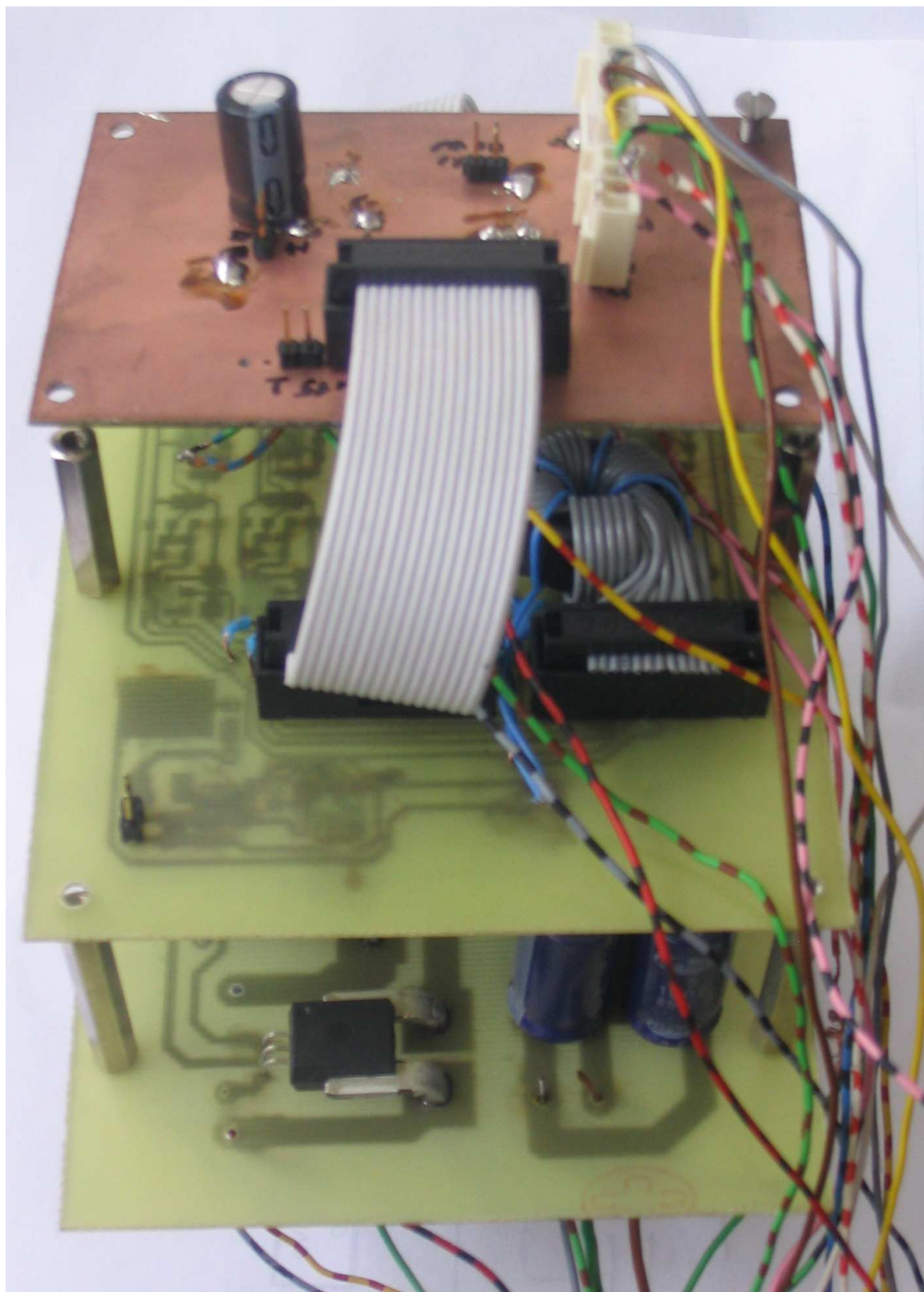


*Obr. 4.8 Realizované zapojení výkonové části (shora)*



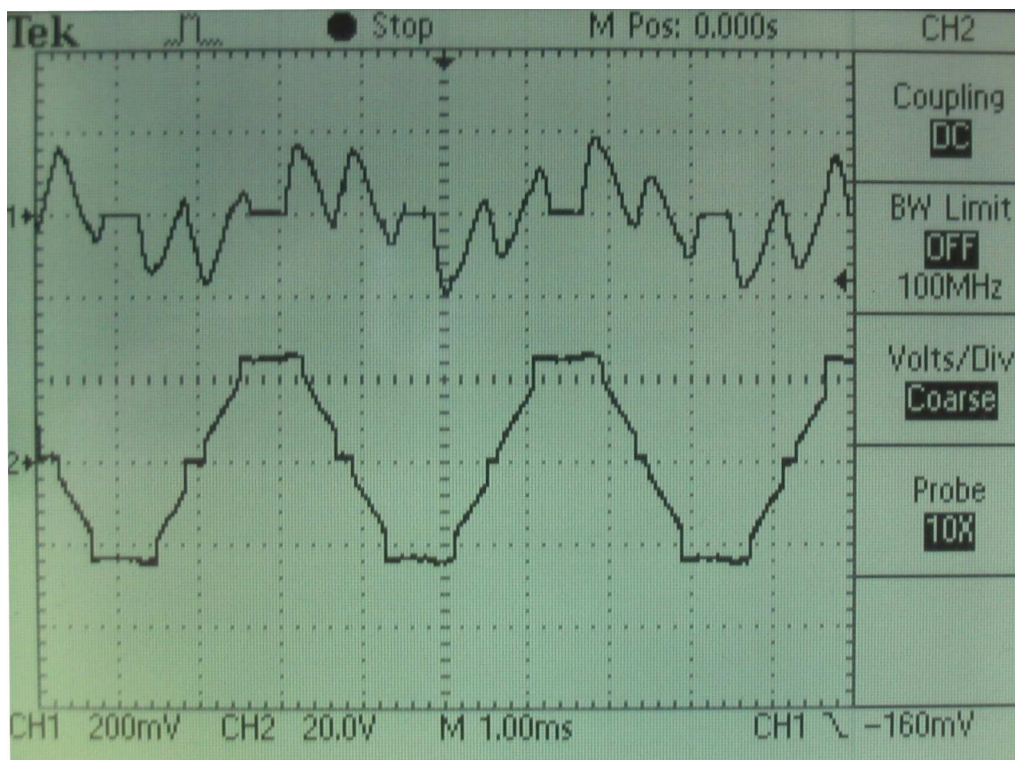
*Obr. 4.9 Realizované zapojení výkonové části*



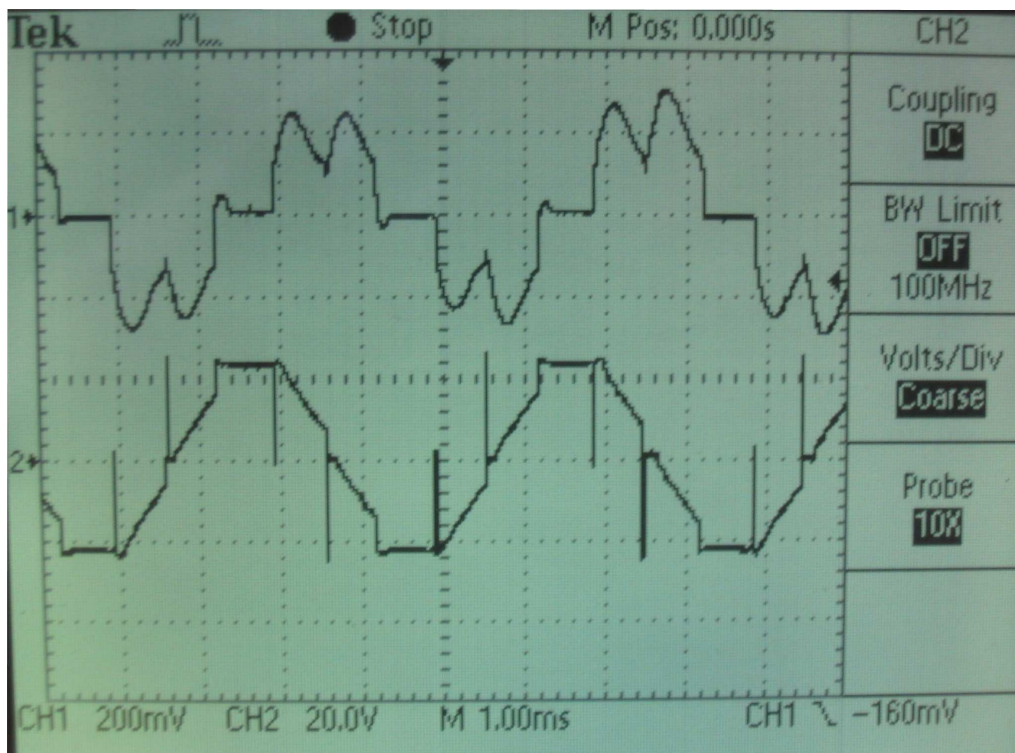


*Obr. 4.10 Celkové realizované zapojení*

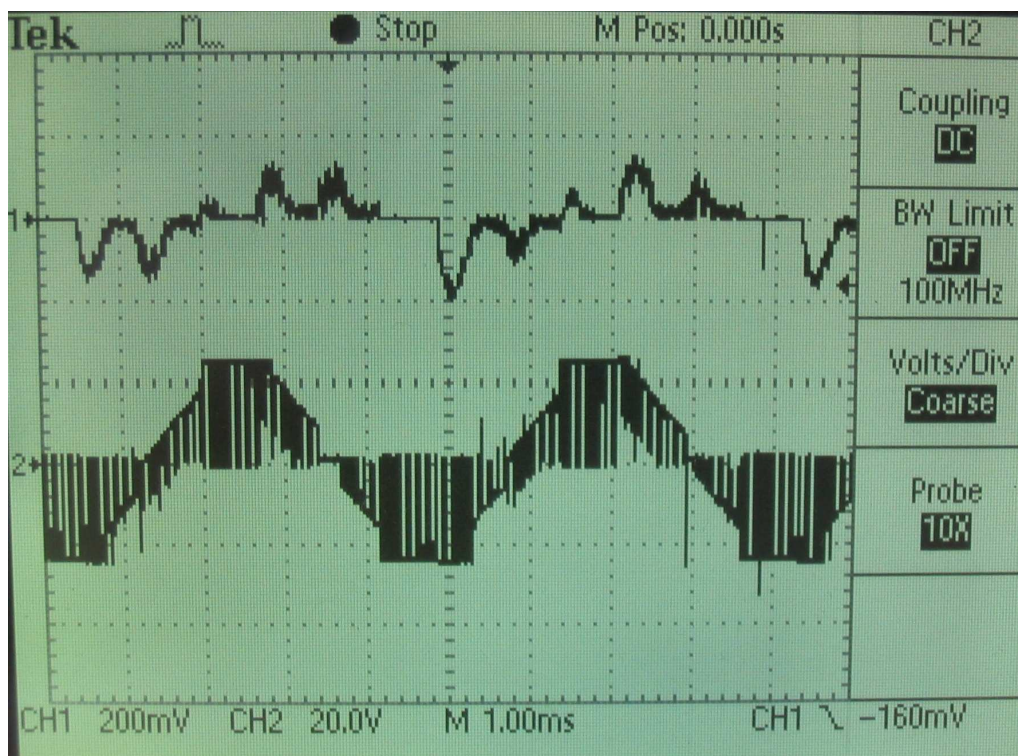
## 5 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY



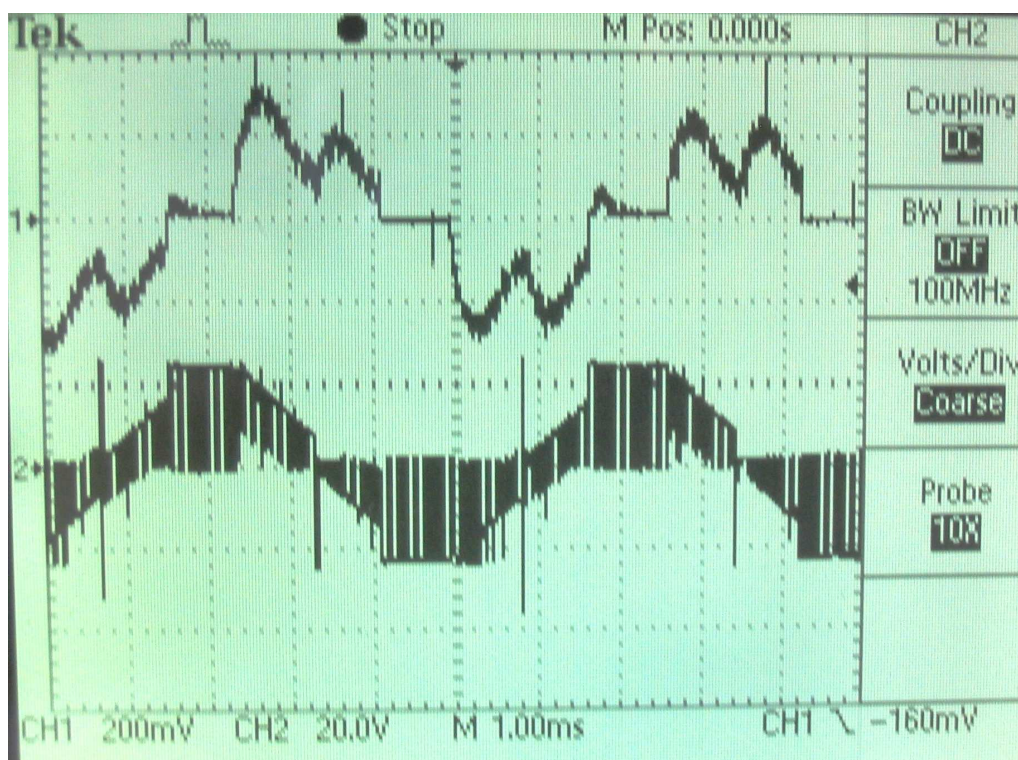
Obr. 5.1. Motor na prázdko a velké střídě 3330 ot/min: 1) Proud 10A/div 2) Napětí 24V



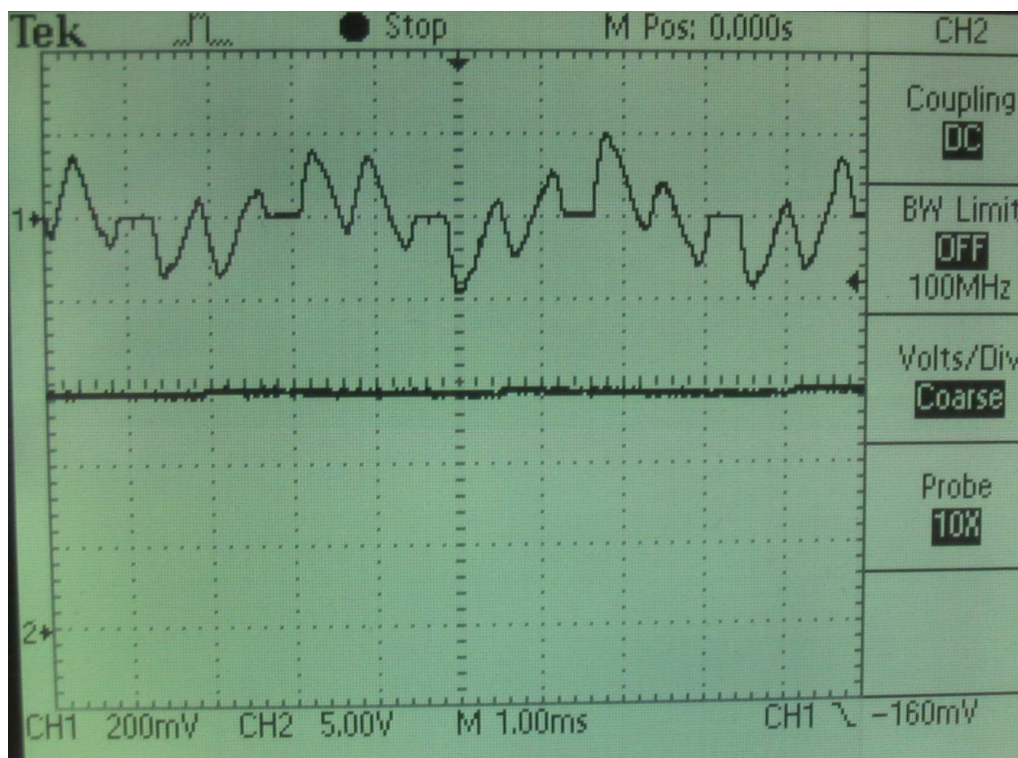
Obr.5.2. Motor při zatížení a velké střídě 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru



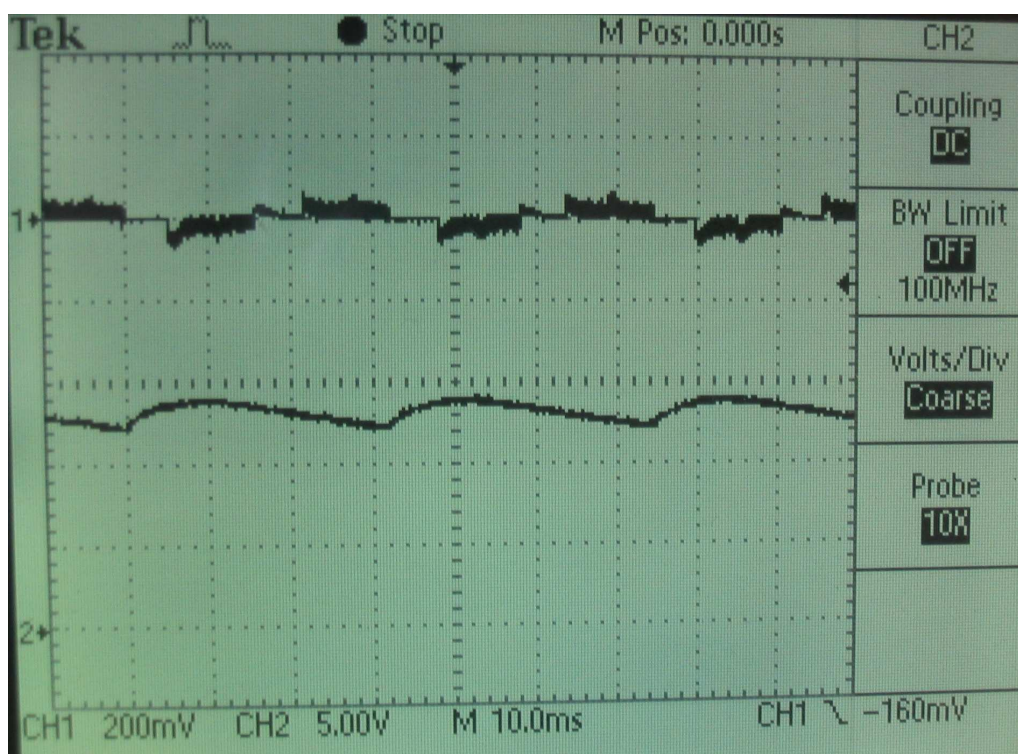
Obr.5.3. Motor na prázdko při malé střídkě 2307ot/min 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru



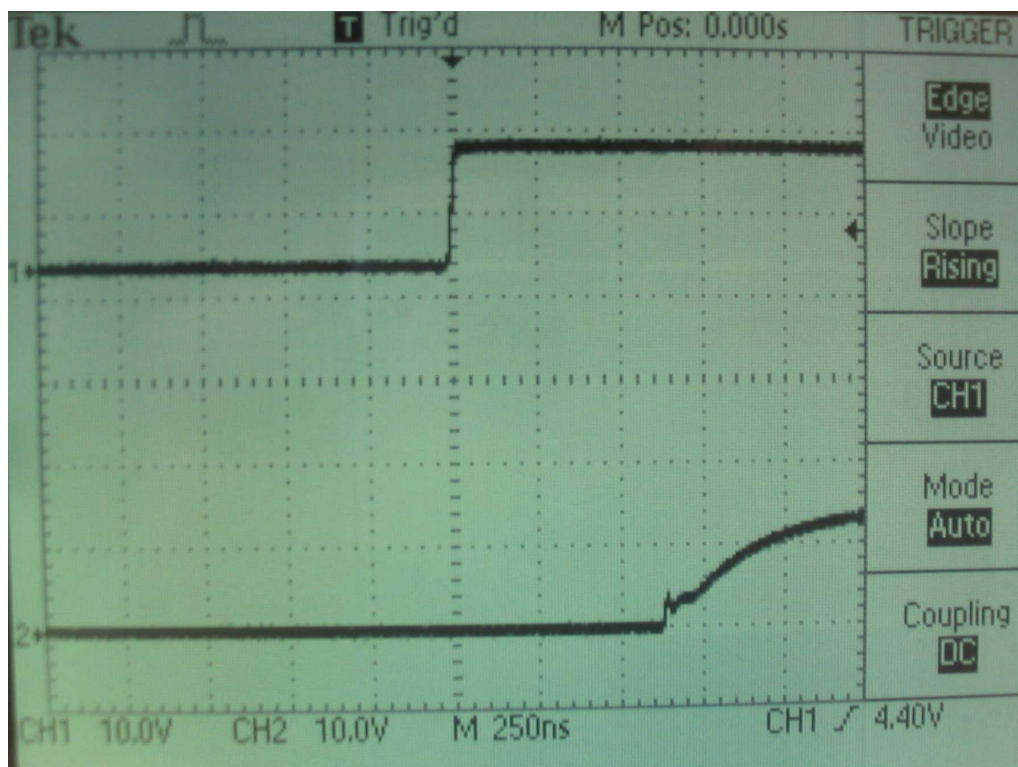
Obr.5.4. Motor při zatížení a malé střídkě 2307ot/min 1) Proud motorem 2) Napětí na motoru



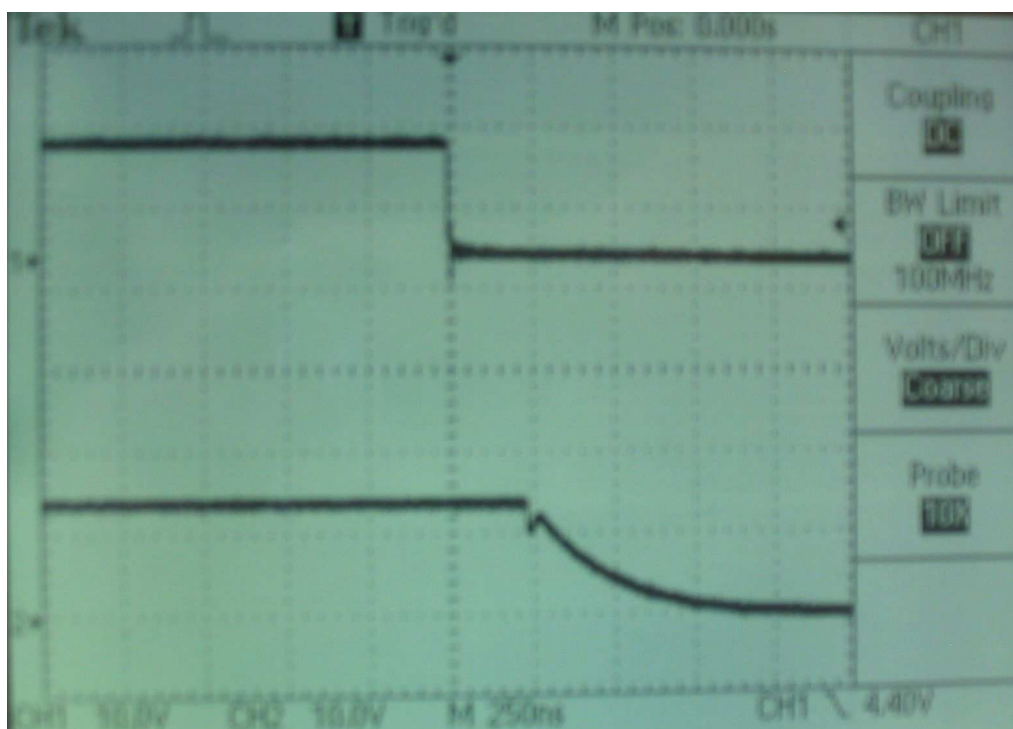
Obr.5.5. 1) Proud motorem 2)  $U$  na kondenzátoru  $C_2$  v budiči při velké střídě – velké otáčky



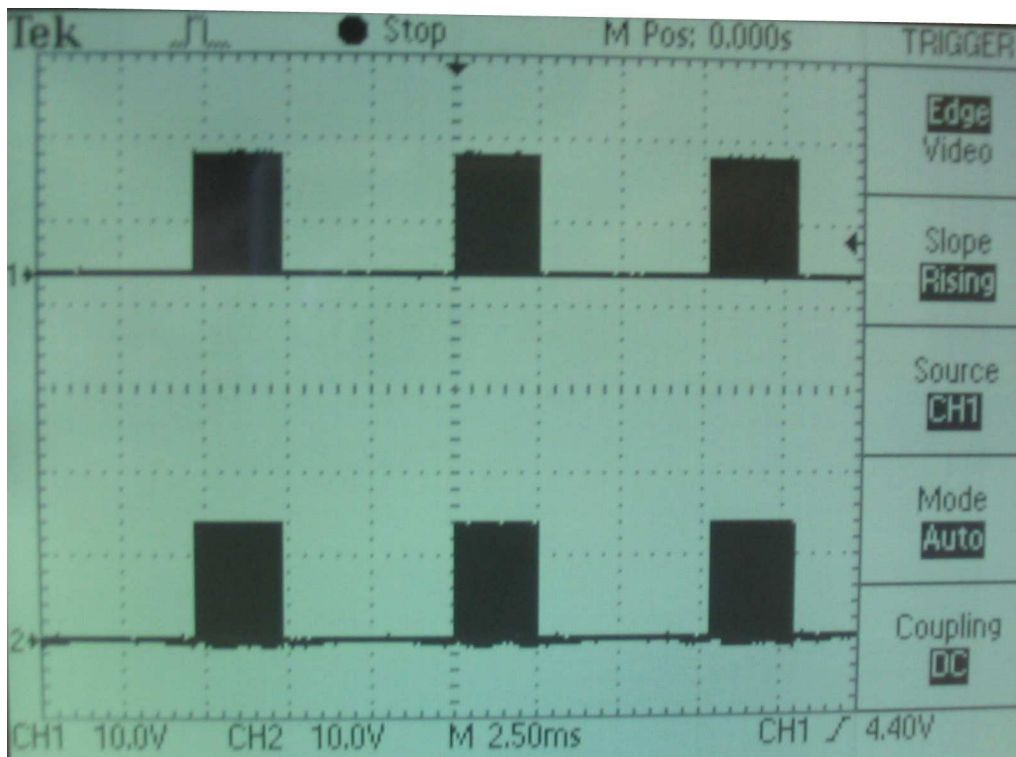
Obr.5.6. 1) Proud motorem 2)  $U$  na kondenzátoru  $C_2$  v budiči při malé střídě – a malých otáčkách



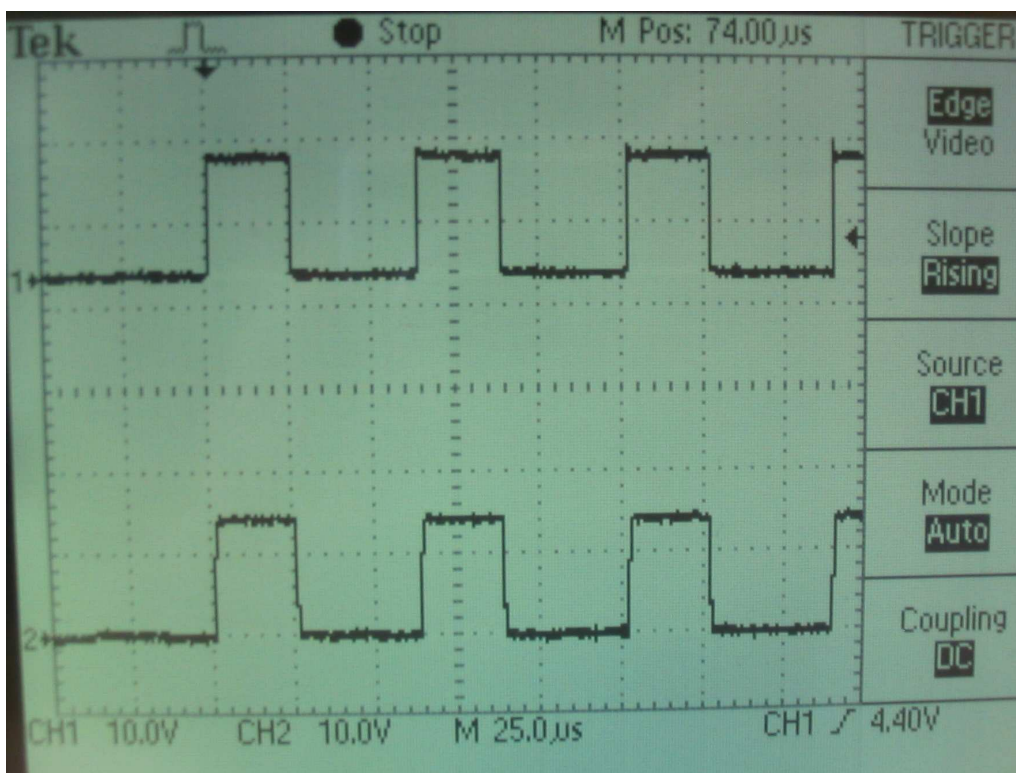
Obr.5.7. 1)detail náběžné hrany vstupního signálu na budiči 2) detail náběžné hrany výstupního signálu z budiče



Obr.5.8. 1)detail sestupné hrany vstupního signálu na budiči 2) detail sestupné hrany výstupního signálu z budiče



Obr.5.9. Spínání spodních tranzistorů v měniči při malé střídě



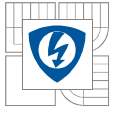
Obr.5.10. Spínání spodních tranzistorů v měniči při malé střídě detail



## 6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout třífázový DC/AC střídač na malé napětí pro synchronní motor AXi 5345/18, který bude pracovat v režimu EC motoru. Toto zapojení bylo navrženo a realizováno v konečné podobě podle Obr. 4.10. Realizované zapojení bylo následně podrobena sérii měření. Pomocí osciloskopu byly zobrazeny průběhy vstupních a výstupních signálů budičů. Z naměřených průběhů (Obr. 5.7 a 5.8.) bylo zjištěno, že reakce výstupního signálu na signál vstupní je zpožděná. Zpoždění náběžné hrany výstupního signálu se pohybuje kolem 620ns jak je patrné na obr 5.7. Zpoždění sestupné hrany výstupního průběhu z Obr. 5.8. je 250ns. Zpoždění je způsobeno odezvou obvodu MC33153, přitom rychlost reakce při vypínání budiče je vyšší než při zapínání. Dále bylo provedeno několik měření na motoru, při kterém byla měněna perioda signálu (rychlost motoru) a zatížení. Z výsledků provedených měření je patrné, že největší proud motorem prochází při malé střídě a velké zátěži motoru, což odpovídá teoretickým předpokladům. Dalším zobrazeným signálem byl průběh spínání spodních tranzistorů při malé rychlosti. Teoretický průběh z Obr. 3.3. se vyznačuje kmity, které byly měřením potvrzeny dle Obr.5.9. v detailu 5.10.

Na tomto zapojení byla také realizována zpětnovazební proudová smyčka, která je použita při řízení motoru. Smyčka byla konstruována tak, aby bylo možné otestovat proudová čidla ACS750. Tyto čidla mohou být použita tam, kde jsou vyžadovány větší přesnosti měření za cenu vyšších pořizovacích nákladů. Diplomová práce se také zabývala možností nahradit elektrolytické kondenzátory v silové části keramickými kondenzátory. Z pohledu životnosti, rozměrů a vlastností (menší svodový odpor a parazitní kapacita) se zdá nahrazení rozumné. Došli jsme však k závěru, že na potřebnou kapacitu kolem 4-5000 $\mu$ F bychom potřebovali velký počet keramických kondenzátorů. Přestože dovolené napěťové zvlnění i proudové zatížení keramických kondenzátorů vychází přijatelně (viz kapitola 2.4), rozhodli jsme se z cenových důvodů realizovat napěťový meziobvod pomocí elektrolytických kondenzátorů.



## 7 LITERATURA

### Datasheet:

- [1] MC33035-D
- [2] MC33153-D
- [3] GWM 120-0075P3
- [4] Charakteristiky kondenzátorů C
- [5] Konektor DSH .800-003.1
- [6] Proudové čidlo 0750-050

[7] Semestrální projekt II. Michal Popek 2007

### Internetové adresy:

[3] <http://www.ixys.com/powerproducts.html>

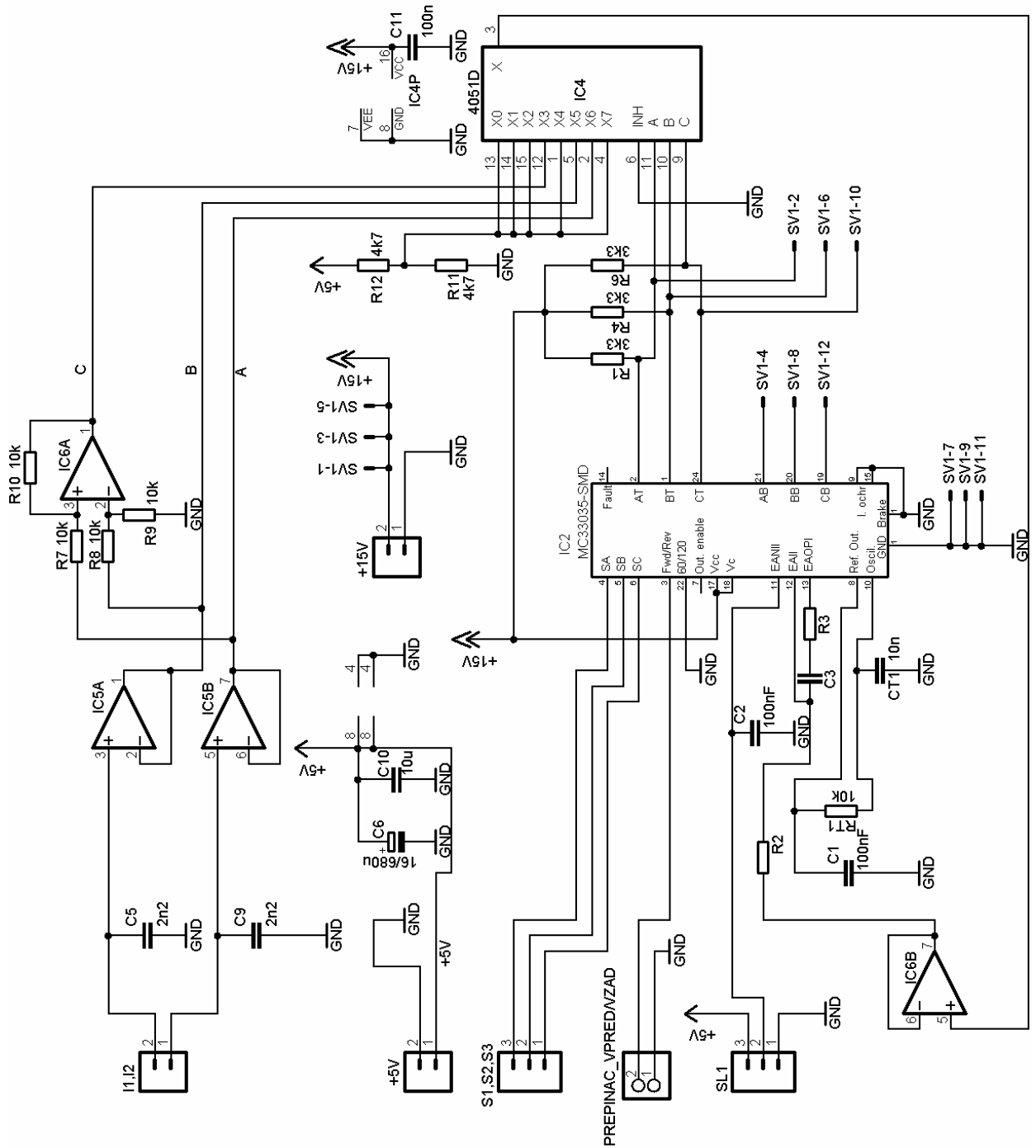
[1,2,4,5,6] <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=74HCT4051DB>

[8] <http://www.rcshop.eu/axi-534518-gold-line-p-3986.html?currency=CZK>

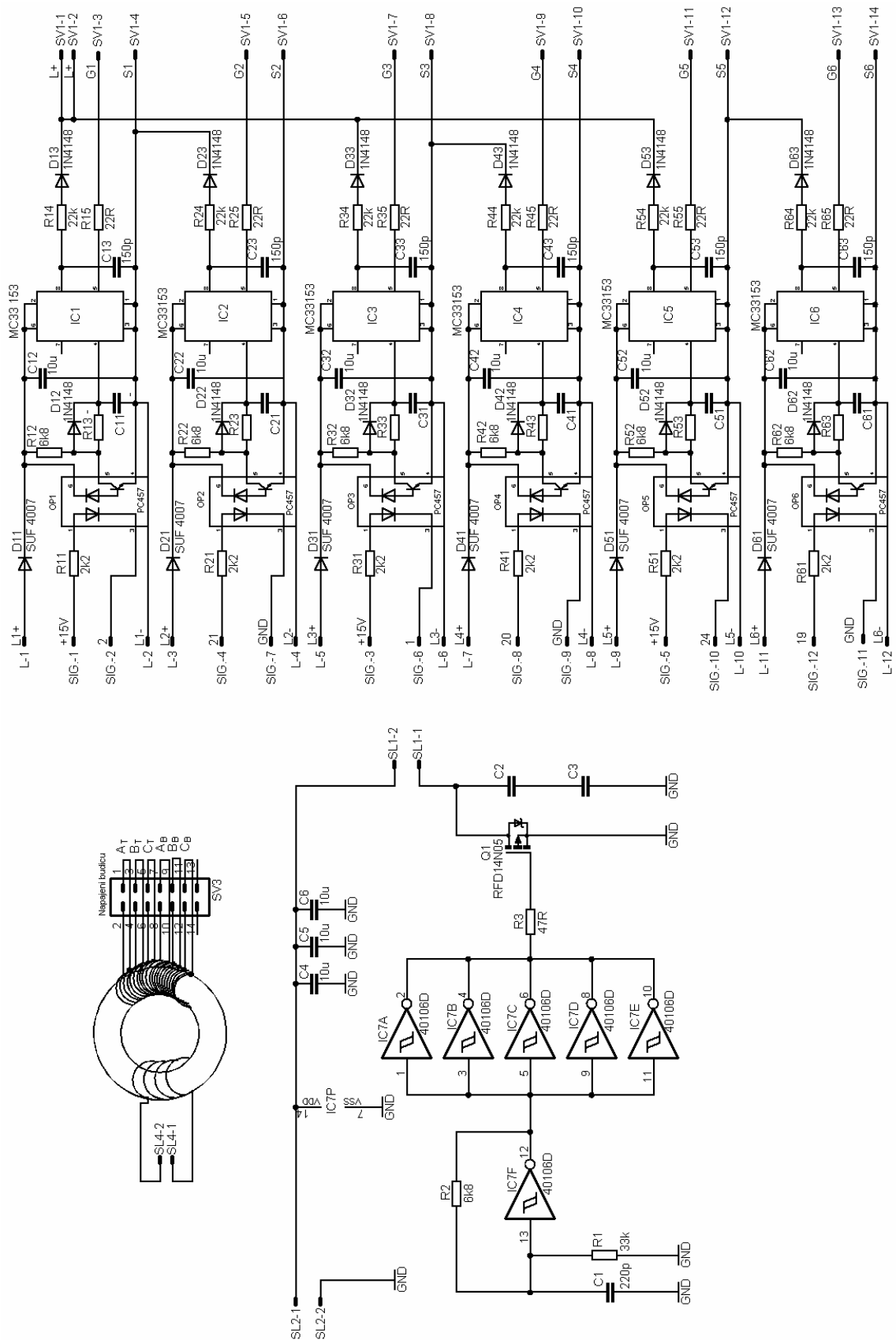
[9] <http://www.rcm.cz/index.php?idmenu=204&detail=1091&PHPSESSID=mftfqqb0fgq7bdrkae2rqf7017>



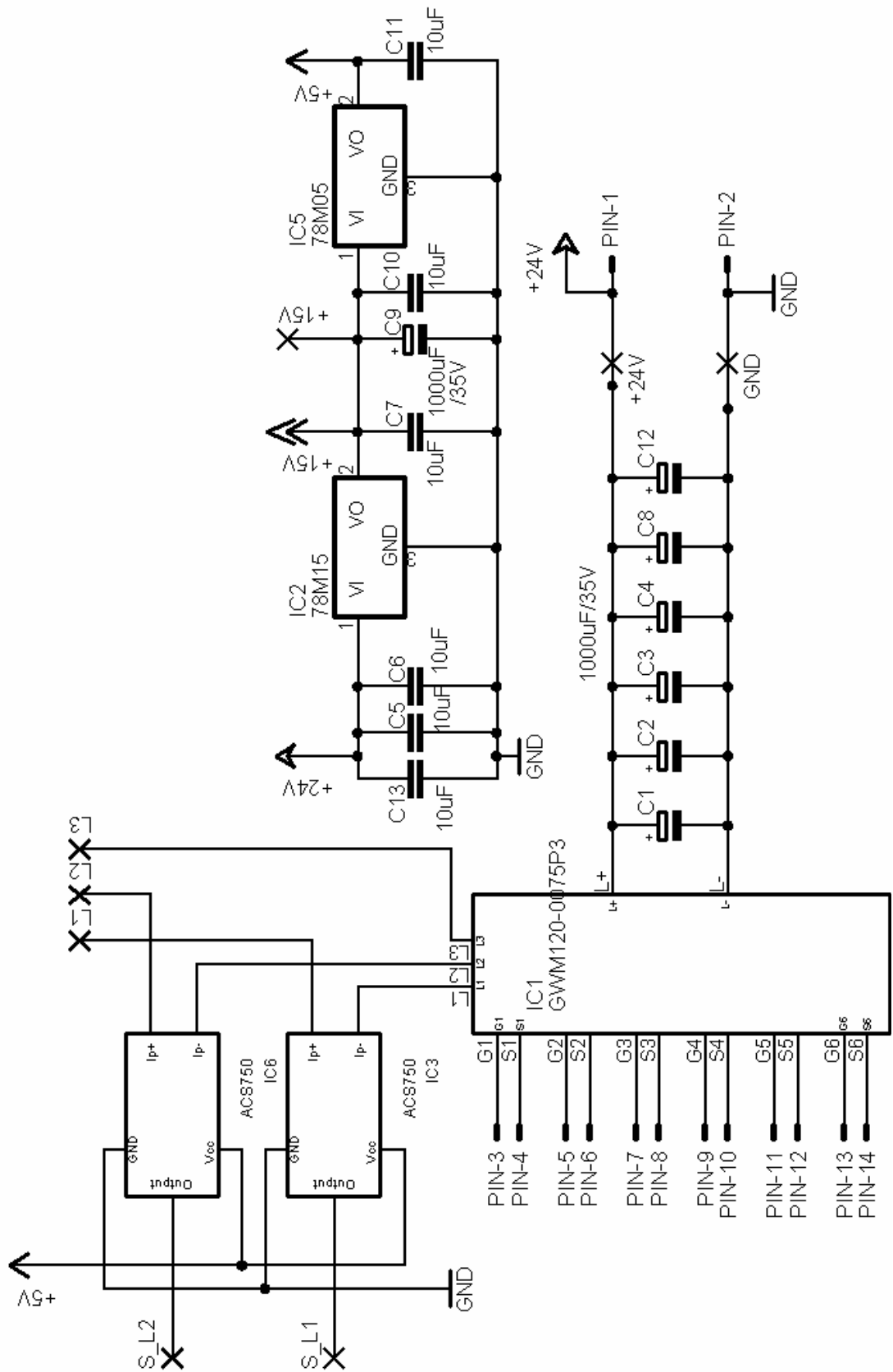
## 8 PŘÍLOHY



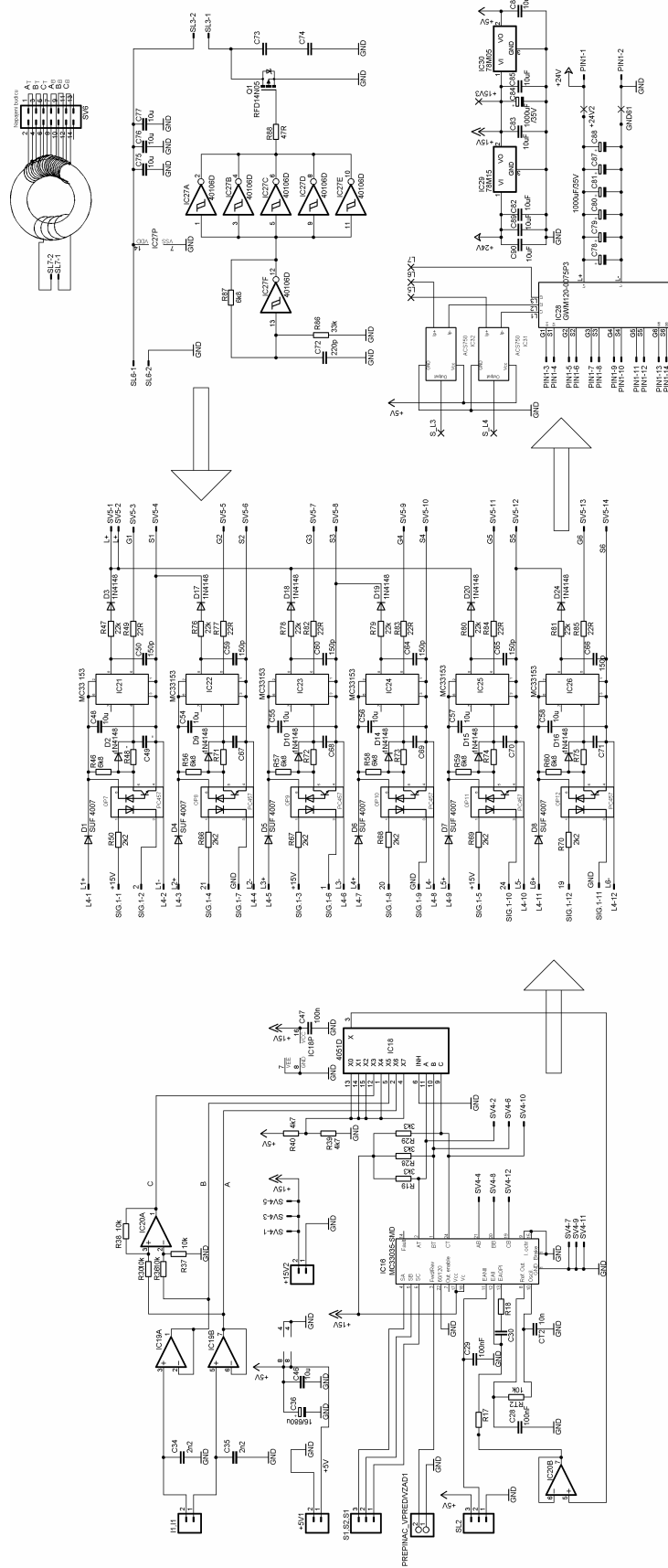
Obr. 7.1 Celkové schéma řídicí části



Obr. 7.2 Celkové schéma budící části



Obr. 7.3 Celkové schéma silové části



Obr. 7.4 Celkové schéma