

# 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

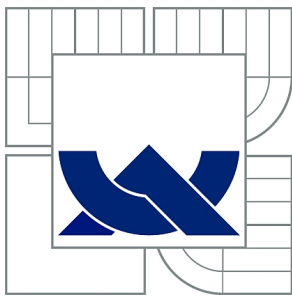
ŘÍDICÍ OBVODY VÝUKOVÉHO LABORATORNÍHO STANDU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

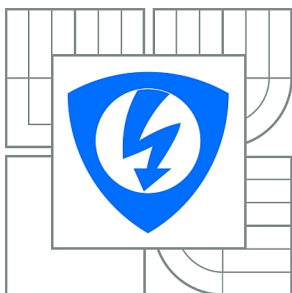
Bc. MIROSLAV CEJPEK

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

## ŘÍDICÍ OBVODY VÝUKOVÉHO LABORATORNÍHO STANDU

CONTROL BOARD FOR EDUCATIONAL LABORATORY STAND

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MIROSLAV CEJPEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DALIBOR ČERVINKA, Ph.D.

BRNO 2013



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:** Bc. Miroslav Cejpek

**ID:** 106389

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**Řídicí obvody výukového laboratorního standu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Sestavte finální schéma zapojení základní desky laboratorního standu.
2. Navrhněte desku plošných spojů a proveďte specifikaci součástek.
3. Zkompletujte veškerou doposud vytvořenou výrobní dokumentaci všech součástí standu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího

**Termín zadání:** 17.9.2012

**Termín odevzdání:** 28.5.2013

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

**Konzultanti diplomové práce:**

**Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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**

Tato práce se zabývá návrhem schématu a desky plošných spojů pro měnič výukového laboratorního standu, pro potřeby výuky na Ústavu výkonové elektrotechniky a elektroniky VUT v Brně.

## **Abstract**

This work deals with the design scheme and printed circuit boards for drives teaching laboratory Stand, for teaching at the Department of Power Electrical and Electronic VUT Brno.

## **Klíčová slova**

- hradlo NAND
- resolver
- zesilovač
- deska plošných spojů

## **Keywords**

- NAND gate
- resolver
- Amplifier
- Printed circuit board

## **Bibliografická citace**

CEJPEK, M. *Řídicí obvody výukového laboratorního standu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 31 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řídící obvody výukového laboratorního standu“ 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 .....

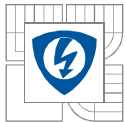
Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Daliboru Červinkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

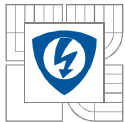
V Brně dne .....

Podpis autora .....



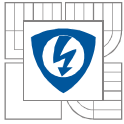
## Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK .....	9
ÚVOD .....	10
1 LABORATORNÍ PRACOVÍŠTĚ.....	11
1.1 ASYNCHRONNÍ MOTOR .....	11
1.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY .....	12
1.3 RÁM SOUSTROJÍ .....	12
2 POŽADAVKY NA ŘÍDÍCÍ OBVODY.....	13
2.1 RESOLVER .....	13
2.1.1 AD2S1200 .....	14
2.2 TRACO.....	15
2.3 LM2576HV-ADJ .....	15
3 ZÁKLADNÍ DESKA.....	16
3.1 SPECIFIKACE VSTUPŮ A VÝSTUPŮ .....	16
3.2 POŽADAVKY .....	17
3.3 SCHÉMA ZÁKLADNÍ DESKY.....	18
3.4 POPIS ZAPOJENÍ.....	19
3.5 DPS ZÁKLADNÍ DESKY .....	19
4 BUDIČE .....	21
4.1 CELKOVÉ ZAPOJENÍ NAPÁJECÍ ČÁSTI.....	23
4.2 ÚPLNÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	23
4.3 DPS BUDIČE.....	24
5 VÝKONOVÝ MODUL.....	25
5.1 POPIS DESKY .....	26
5.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	27
5.3 DPS SILOVÉ ČÁSTI .....	28
6 ŘÍDÍCÍ MODUL .....	30
6.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ .....	30
7 ZÁVĚR.....	31
LITERATURA .....	32
PŘÍLOHY .....	33



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr 1- Blokové schéma laboratorního pracoviště<sup>1</sup></i> .....	10
<i>Obr 2- Blokové schéma laboratorního pracoviště</i> .....	11
<i>Obr 3 - Klasický resolver vs. resolver s variabilním odporem<sup>2</sup></i> .....	14
<i>Obr 4- Průběhy signálů na svorkách resolveru<sup>3</sup></i> .....	14
<i>Obr 5- zapojení s regulovatelným výstupem obvodu LM2576HV-ADJ<sup>4</sup></i> .....	15
<i>Obr 6- Nové blokové schéma základní desky</i> .....	16
<i>Obr 7- Schémna základní desky</i> .....	18
<i>Obr 8- rozmístění součástek na DPS</i> .....	19
<i>Obr 9- pohled na desku ze strany „top“</i> .....	20
<i>Obr 10- pohled na desku ze strany „bottom“</i> .....	20
<i>Obr 11- Možnosti řízení budiče vstupním signálem<sup>5</sup></i> .....	21
<i>Obr 12- Zapojení celého budícího obvodu<sup>7</sup></i> .....	23
<i>Obr 13- Deska plošného spoje 1:1 pro verzi 2<sup>7</sup></i> .....	24
<i>Obr 14- Usazovací plán 2:1 pro verzi 2<sup>7</sup></i> .....	24
<i>Obr 15- Schéma zapojení silové části<sup>8</sup></i> .....	27
<i>Obr 16- Plošný spoj ze strany „top“<sup>9</sup></i> .....	28
<i>Obr 17- Plošný spoj ze strany „bottom“<sup>9</sup></i> .....	28
<i>Obr 18-: Pohled na desku z horní strany</i> .....	29



## SEZNAM TABULEK

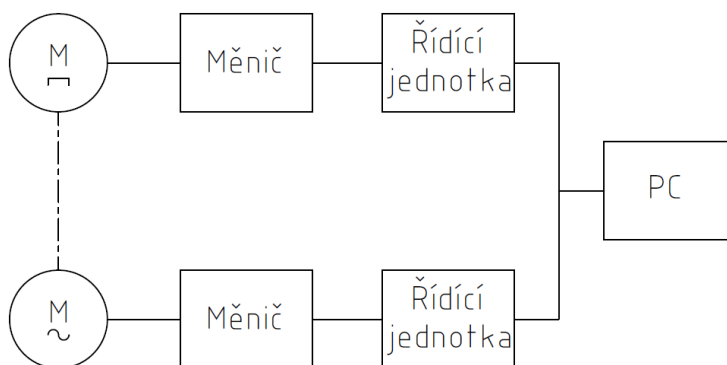
*Tab.1: Specifikace vstupů a výstupů pro základní desku*

## ÚVOD

Jestliže máme stanovit požadavky na řídicí obvody laboratorního standu, musíme se nejdříve seznámit s tím, z čeho se skládá, a co je jeho funkcí.

Pracoviště (dále jen „stand“) se skládá z 3f asynchronního motoru napájeného 3x24V připojeného přes pružnou hřídelovou spojku k stejnosměrnému motoru s PM na napájecí napětí 24V. Silová část bude tvořena měniči, které budou obsahovat čidla proudu LEM. Řídicí systém musí být regulovatelný a musí být v takovém provedení, aby na něm mohly být prováděny výukové úlohy a demonstrační měření. Zároveň musí být proveden tak, aby manipulací studentů během měření nedošlo nedopatřením k jeho zničení. Základním požadavkem pro řízení standu je ten, že řízení asynchronního motoru musí být prováděno v závislosti na zpětné vazbě z resolveru umístěném pod krytem motoru.

V tomto projektu je cílem kompletní návrh základní desky laboratorního standu, která bude sloužit k připojení řídicí desky, budících obvodů pro výkonovou desku a pro připojení resolveru a jeho komunikaci s řídicími obvody. Dále sjednocení doposud vytvořené dokumentace celého standu.

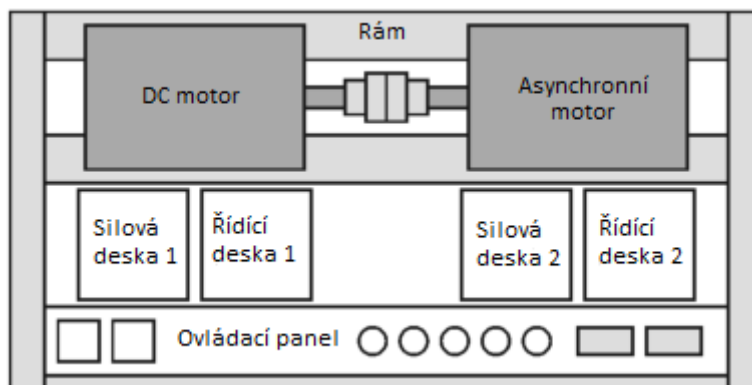


Obr 1- Blokové schéma laboratorního pracoviště<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Převzato z: Hudák, O. Vytvoření laboratorního soustrojí s asynchronním a stejnosměrným motorem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 25 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

# 1 LABORATORNÍ PRACOVISTĚ

Práce se zabývá návrhem základní desky pro výkonový měnič pro nově vyvíjené laboratorní pracoviště. Jedná se o univerzální laboratorní pracoviště, které zkvalitní výuku v laboratoři elektrických pohonů, s ohledem na maximální názornost a odolnost vůči poškození neodbornou manipulací. Pracoviště je složeno z mechanické části, elektrické silové části a řídicí části.



Obr 2- Blokové schéma laboratorního pracoviště

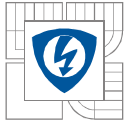
Mechanická část pracoviště je tvořena soustrojím skládajícím se ze stejnosměrného motoru s permanentními magnety na napájecí napětí 24V a 3f. asynchronním motorem převinutým na 3x24V. Motory budou spojeny pomocí pružné hřídelové spojky. Soustrojí je umístěno na rámu z hliníkových profilů, který tvoří základ celého soustrojí. Asynchronní motor je upraven tak, aby na něj bylo možné umístit resolver pro snímání otáček polohy rotoru. Dále bylo nutné nahradit vlastní chlazení za cizí. Silová část je tvořena dvěma identickými třífázovými měniči, sestavenými z tranzistorů MOS-FET.

Měniče budou obsahovat čidla proudu LEM, ke snímání proudu motory. Stejnosměrný motor je napájen ze stejného měniče jako asynchronní motor. Využity však jsou pouze dvě fáze, čímž je vytvořen H-můstek. Stand je vybaven brzdou jednotkou, která je tvořena brzdým odporem a dalším tranzistorem. Jednotka slouží k ochraně před případným přepětím ve stejnosměrném meziobvodu.

Pracoviště budou vybavena řídicími PC s USB TAP pro spojení s DSP (digitální signálový procesor) na řídicích deskách měničů, která umožňují snadné ovládání pracoviště a také nahrazují nákladný vícekanálový osciloskop.[6]

## 1.1 Asynchronní motor

Volba asynchronního motoru závisela na požadavku na napájecí napětí sdružené efektivní hodnoty 24V 50Hz, z důvodu potřeby práce s bezpečným napětím v laboratoři elektrický pohonů. Dalším parametrem byl požadavek čtyřpólové provedení asynchronního motoru  $2p=4$  a s tím spojené synchronní otáčky  $n_s=1500s^{-1}$ . Vyšší otáčky by zvyšovaly riziko úrazu na pracovišti a vyšší akumulovaná energie v rotačních hmotách by zbytečně zatěžovala stejnosměrnou síť při brzdění.



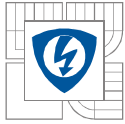
Motor s těmito parametry není běžně sériově prodáván. Proto bylo rozhodnuto zakoupit sériově vyráběný motor a převinout jej podle požadavků. S tímto úkolem byla oslovena firma Rast elektro s.r.o., která se také podílela na realizaci uchycení resolveru a s tím spojené konstrukční úpravy

## 1.2 Stejnsměrný motor s permanentními magnety

Asynchronní motor se dostane do oblasti odbuzování po překonání jmenovitých otáček  $n_n=1350\text{min}^{-1}$  při jmenovitém výkonu  $P_n=180\text{W}$  a momentu  $M_n=1,3\text{Nm}$ . Na základě těchto faktů byl vybrán stejnosměrný motor tak, aby měl totožný moment a při napájecím napětí 24V stejnosměrných měl maximální otáčky  $n_{\text{max}}=3000\text{min}^{-1}$ . Tak vznikne rezerva pro přetočení asynchronního motoru nad jmenovité otáčky, a tím bude možno demonstrovat i jeho odbuzování. Ze sériově vyráběných motorů s permanentními magnety byl vybrán motor firmy Amer, dodávaný na český trh firmou EPO s.r.o., s typový označením MP80/S2.

## 1.3 Rám soustrojí

Základ konstrukce sestává z konstrukčních hliníkových profilů 45x45x480mm, které díky svému tvaru umožňují horizontální posuv obou motorů při montáži. Délka těchto profilů je volena tak, aby bylo dostatečná rezerva pro budoucí možnost mezi motory umístit tachodynamu. Motory jsou upevněny naproti sobě. Pro upevnění asynchronního motoru je využito patkové provedení s rozestupy šroubů 100mm. Stejnsměrný motor byl dodán v provedení přírubovém, proto bylo nutné sestojit držák využívající toto provedení k uchycení na rám. Mezi profily a motory je umístěn plech o tloušťce 1mm, ve kterém jsou vyvrtány otvory vymezující vzdálenosti motorů a celkově působí ke zpevnění konstrukce. [6]



## 2 POŽADAVKY NA ŘÍDÍCÍ OBVODY

Základními požadavky stanovenými pro tuto práci bylo zajištění selektivity jednotlivých bloků ovládní měniče, pro budoucí úpravy zapojení v závislosti na měničích se požadavcích budoucích laboratorních úloh ke kterým může být tento laboratorní stand použit. Návrh počítá s použitím kontroleru pro resolver AD2S1200, s DC/DC měničem od společnosti TRACOPOWER, dále s DC/DC měničem postaveném na obvodu LM2576HV-ADJ a step-up měničem využívající obvod MC33063A

### 2.1 Resolver

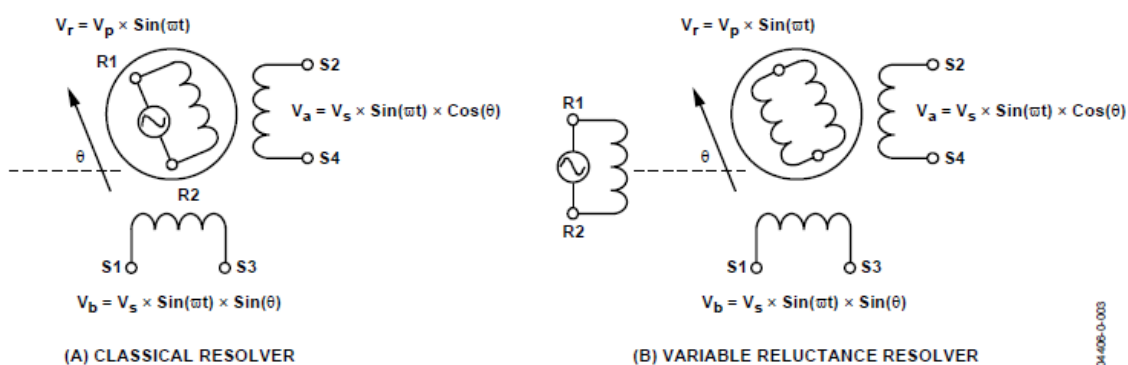
Na první pohled může resolver vypadat jako malý elektrický motor, který má stator a rotor. Uvnitř se však konfigurace vodičů vinutí odlišuje. Resolver má vinutí tři: budící vinutí a dvě dvou-fázová vinutí (obvykle označené "x" a "y") (v případě střídavého resolveru). Budící vinutí je umístěné na vrcholu, a je to ve skutečnosti cívka točivého (rotačního) transformátoru. Tento transformátor budí rotor, takže není potřeba kartáčů, díky čemu není onezeno otáčení rotoru. Další dvě vinutí jsou na spodku, natočena na kleci statoru. Jsou uloženy v úhlu  $90^\circ$  od sebe. Rotor obsahuje cívku, která je sekundární vinutí točivého transformátoru a odděluje primární vinutí v kostře statoru. Toto vinutí budí obě dvě fáze vinutí na statoru. Primární vinutí transformátoru, připevněné na statoru, je buzeno sinusovým elektrickým proudem, který indukuje proud ve vinutí rotoru. Díky tomu jak jsou tato vinutí uspořádána v ose resolveru, je stejný proud indukován bez ohledu na to, v jaké je pozici. Tento proud pak teče přes jiné vinutí na rotoru, a indukuje proud v sekundárních vinutích na statoru. Obě dvě fáze sekundárního vinutí, uložené v pravém úhlů jedna k druhé na statoru, produkují sinovou a kosinovou aktuální zpětnou vazbu.

Relativní výše dvoufázového napětí se měří a používá k určení úhlu rotoru vzhledem ke statoru. Při jedné plné otáčce, zpětnovazební signály zopakují její průběh. Toto zařízení se může objevit také u nestřídavých typů, tj. skládajících se ze zdvojeného vinutí rotoru a statoru. Resolvery mohou provádět velmi přesný analogový převod z polárních na pravoúhlé souřadnice. Úhel hřídele je polární úhel a budící napětí je velikost. Výstupy jsou [x] a [Y] hodnoty.

Resolver se čtyřmi vedeními na rotoru může otáčet [x] a [y] souřadnice, a z polohy hřídele dávat požadovaný úhel natočení. Resolvery se čtyřmi výstupními vývody jsou základní sin/cos snímače polohy. Při použití s elektronickým obvodem zesilovače tzv. bufferu a zpětnými vazbami vinutí spojenými se vstupním vinutím, roste jejich přesnost, a lze je kaskádovitě řadit (resolverové "řetězy") pro výpočet funkce s několika hodnotami z několika úhlů. [2]

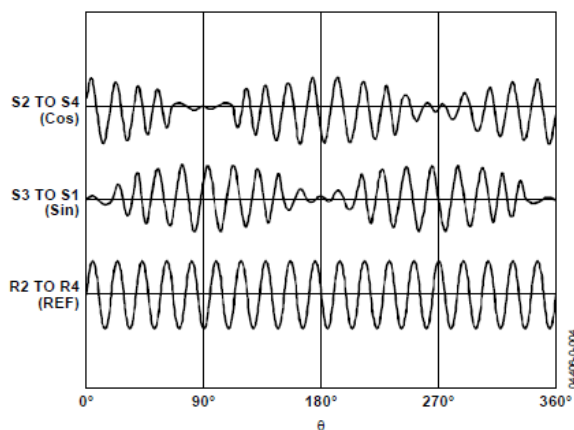
### 2.1.1 AD2S1200

AD2S1200 je kompletní 12-bitový resolvero- digitální převodník, který spojuje interní programovatelný sinusový oscilátor, který poskytuje sinusové buzení pro resolver. Externí krystal 8,192 MHz, je zdrojem přesného časového taktu pro vnitřní oscilátor. Tento čas je vnitřně rozdělen na poloviny a vnitřní oscilátor generuje 4.096 MHz kterým řídí všechny periferie.



Obr 3 - Klasický resolver vs. resolver s variabilním odporem<sup>2</sup>

Konvertor přijímá vstupní signály 3,6 V pp  $\pm$  10% v rozsahu 10 kHz až 20 kHz na sinusovém a kosinovém vstupu. Typ II - servo smyčka se používá ke sledování vstupů a převodu na vstupy sinusovou a kosinovou informaci do digitální formy, reprezentující vstupní úhel a rychlost. Šířka pásma konvertoru je nastavena interně na 1,7 kHz s externím krystalem 8.192 MHz. Maximální rychlost sledování je 1000 RPS. AD2S1200 pracuje s napájecím napětím 5V.[3]



Obr 4- Průběhy signálů na svorkách resolveru<sup>3</sup>

<sup>2</sup> AD2S1200 [online]. Analog Devices.org., c2012. Obrázek dostupný z WWW: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD2S1200.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD2S1200.pdf).

<sup>3</sup> AD2S1200 [online]. Analog Devices.org., c2012. Obrázek dostupný z WWW: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD2S1200.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD2S1200.pdf).

## 2.2 Traco

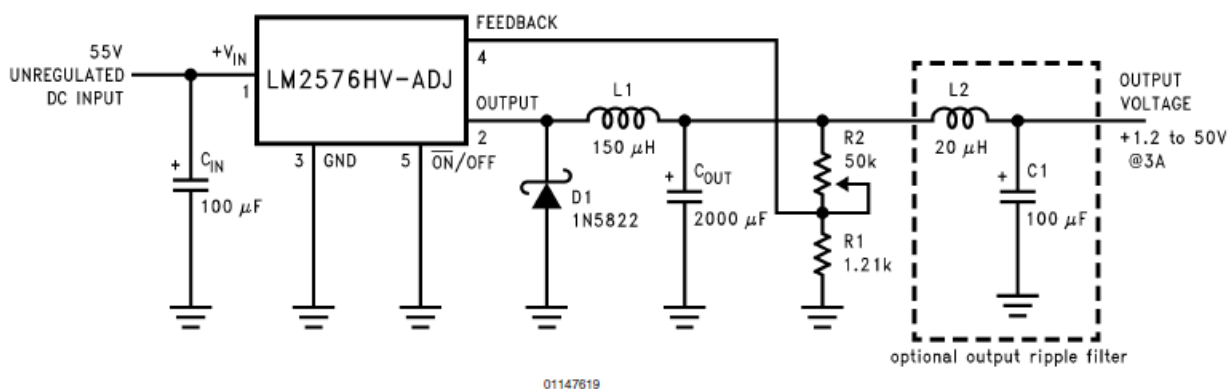
Společnost TRACOPOWER vyrábí 1-200 Wattové DC / DC měniče v provedení SMD, s otvorem pro přišroubování chladiče nebo pro pochou montáž. Traco měniče se vyznačují vysokou spolehlivostí pro průmyslové, komunikační, dopravní a lékařské aplikace.

Pro naši aplikaci použijeme Traco TEN 10-2411 18-36V/5V. Nespornou výhodou traca je to, že zajišťuje galvanické oddělení díky vestavěnému transformátoru, a hlavně při jeho malých rozměrech.

TEN řady nabízejí komplexní a výkonný rozsah DC / DC měniče s vynikajícími specifikacemi a vysokou úrovní výkonu ve stíněném kovovém obalu. Tyto modely jsou k dispozici s 2:1 nebo 4:1 ultra širokým vstupním rozsahem .DC / DC měnič série TEN mají rozšířený rozsah provozních teplot od  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $+85^{\circ}\text{C}$  a EMI filtr pro splnění normy EN / UL 55022, třídy A.

## 2.3 LM2576HV-ADJ

LM2576 je série regulátorů, jsou monolitické integrované a poskytují všechny obvody, které jsou třeba pro aktivní funkce step-down (Buck) spínaného regulátoru, který je schopen zatížení až 3A s vynikajícím vedením a zátěžovou regulací. Tato zařízení jsou k dispozici s pevným napětím na výstupu: 3.3V, 5V, 12V, 15V, a verze s regulovatelným výstupem -ADJ. I u těchto obvodů je kladen požadavek na minimální počet externích součástek, tyto regulační obvody jsou jednoduché pro použití a zahrnují vnitřní kompenzace frekvence a oscilátor s pevnou frekvencí. Řada LM2576 nabízí vysoce účinnou náhradu za populární tří svorkové lineární regulátory. To podstatně snižuje velikost chladiče, a v některých případech i bez nutnosti chlazení chladičem.



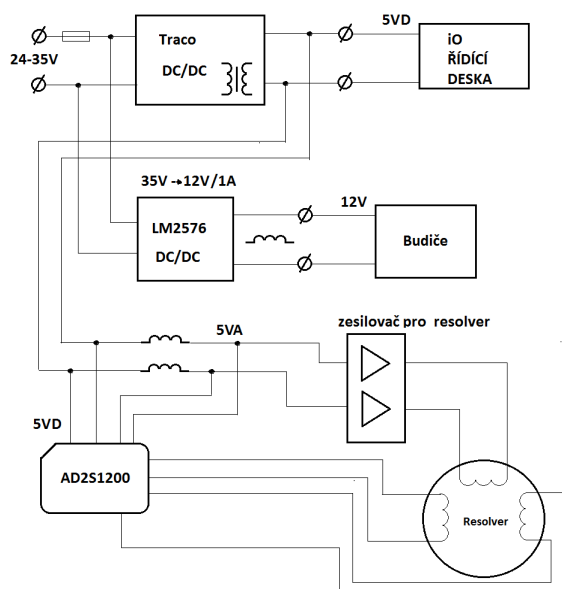
Obr 5- zapojení s regulovatelným výstupem obvodu LM2576HV-ADJ<sup>4</sup>

<sup>4</sup> 3A Step-Down Voltage regulator [online]. National Semiconductor.org., c2004. Obrázek dostupný z WWW: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>>.

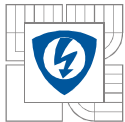
## 3 ZÁKLADNÍ DESKA

### 3.1 specifikace vstupů a výstupů

Základní specifikací, která byla zadána je napájecí napětí základní desky v rozsahu 24-35V, dalším požadavkem bylo galvanicky oddělené napětí 5V na výstupu pro napájení řídicí procesorové desky a pro napájení kontroléru pro resolver. Další galvanicky oddělené napětí 12V bude použito pro tzv. Buffery, což jsou zesilovače pro budící signál resolveru. Toto napětí by navíc mělo být na stejném potenciálu jako řídicí obvod resolveru. Posledním požadavkem je 17V pro napájení budičů tranzistorů pro silovou desku.



Obr 6- Nové blokové schéma základní desky

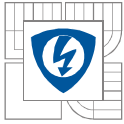


### 3.2 Požadavky

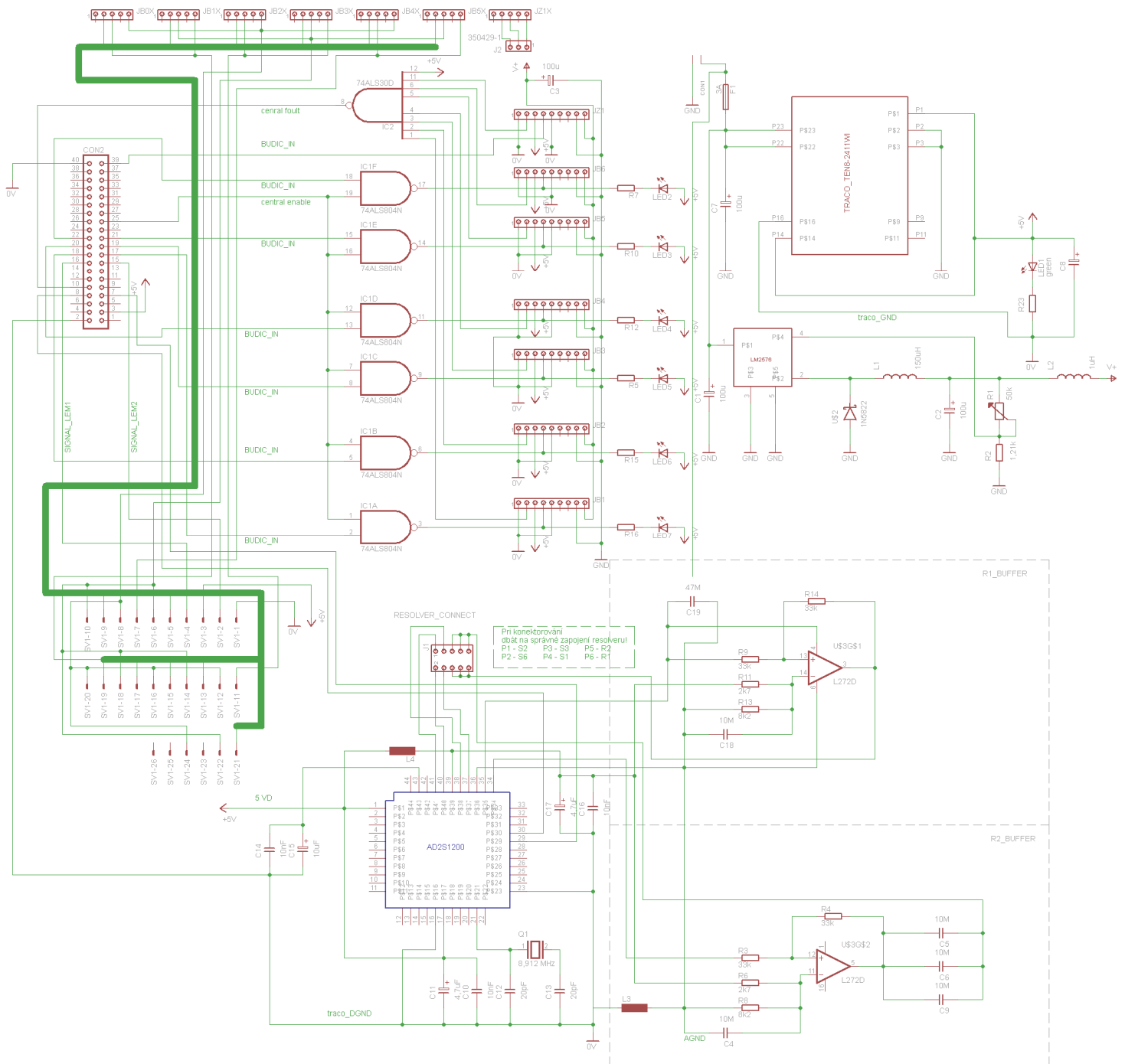
Při konstrukci desky je také vhodné použít takové konektory a propojky, aby nebylo možné za chodu neopatrnou manipulací přerušit spojení jednotlivých vstupů nebo výstupů, což by mělo za následek v krajním případě i zničení jedné nebo více částí obvodů standu. Tj např. aby nedošlo k odpojení budiče za chodu, nebo aby nebyl přerušen signál mezi čidly proudu a řídicí deskou.

Specifikace		upřesnění	Voltage level
Vstupy	1	Napájení (z silové desky)	24-35V
	2	signál z čidel proudu (z silové desky)	max 5V
	3-9	signál pro budiče (z řídicí desky)	max 5V
	10-17	signál pro tranzistory (z budiče)	12V
	18-21	signál z resolveru	max 5V
Výstupy	1	napájení řídicí desky	max 5V
	2	signál z resolveru (do řídicí desky)	max 5V
	3-9	signál pro tranzistory (z budiče)	12V
	10-11	buzení resolveru	max 5V

*Tab.1: Specifikace vstupů a výstupů pro základní desku*



### 3.3 Schéma základní desky

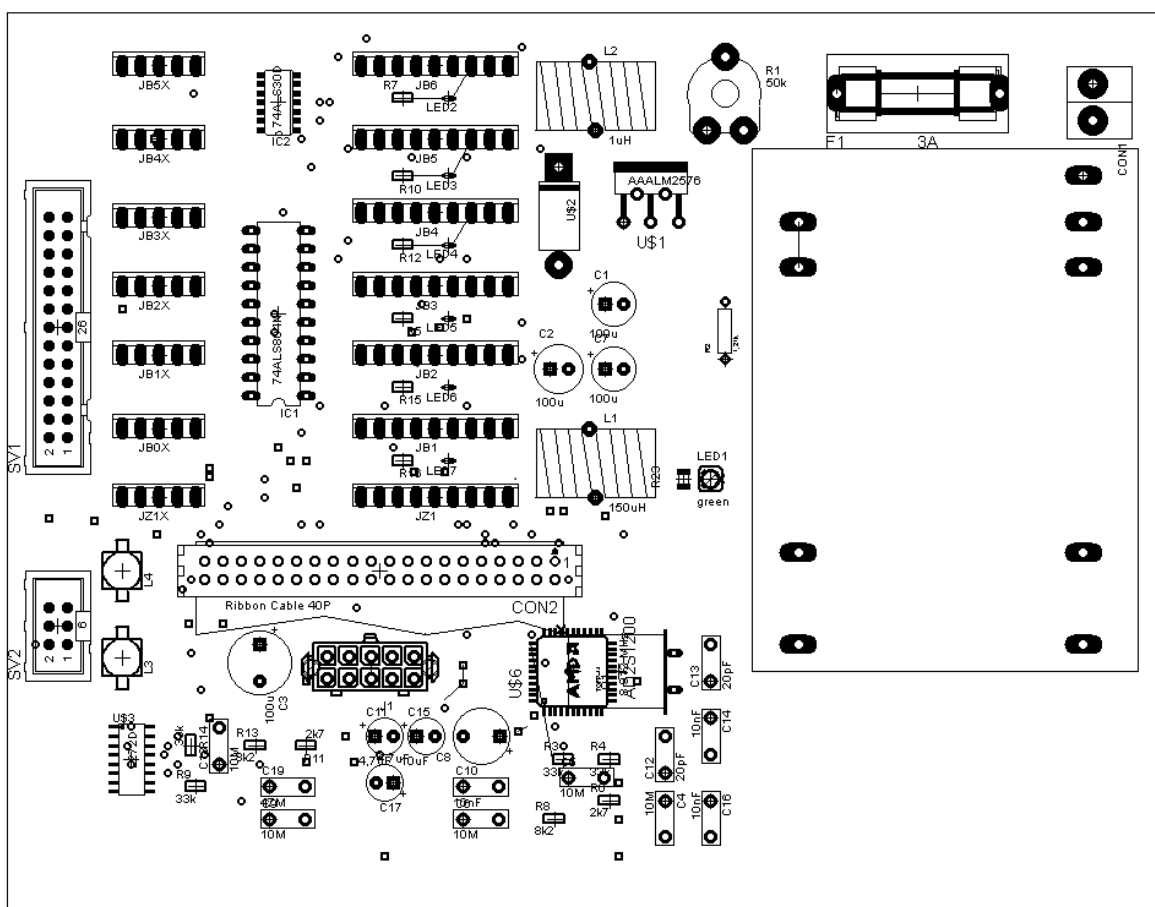


Obr 7- Schémna základní desky

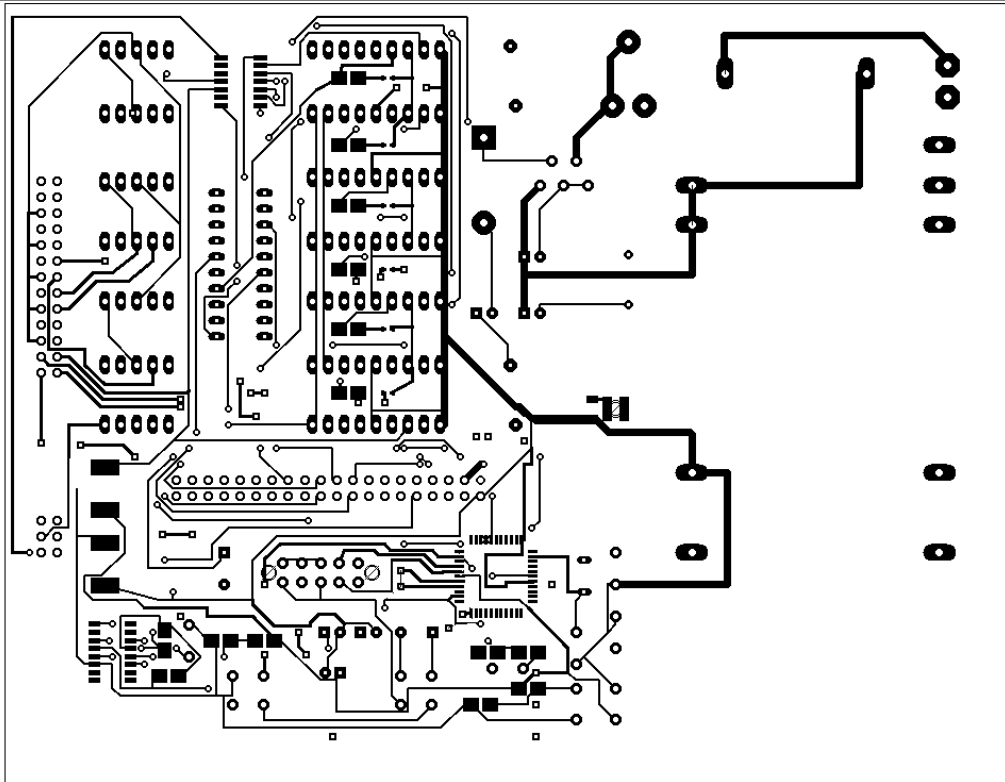
### 3.4 Popis zapojení

Napájecí napětí jde přes Pojistku F1 do modulu Traco TEN 10-2411, který z něj vyrobí napájecí napětí 5V, galvanicky oddělených, pro řídicí desku a obvod AD2S1200. Kondenzátory C1,C2,C3,C6,C7,C9 slouží k filtraci napěťových špiček. Toto napětí je SMD tlumivkami L3 a L4 odděleno napětí pro napájení nového zesilovače pro resolver, díky čemu jsme se zbavili celého zvyšujícího měniče s obvodem MC34063. Zapojení výstupních zesilovačů pro resolver je udáváno výrobcem na míru obvodu AD2S1200. Diody D1 a U2 obstarávají přesnou hodnotu (Zenerova) napětí. Obvod 74ALS30D je 8-mi vstupý NAND, který slouží pro sjednocení signálů „Fault“ ze všech budičů, do jednoho centrálního, který hlídá řídicí deska, a v případě vybavení tj. log.“1“ na výstupu odstaví celý měnič. LED2-7 jsou signalizací pro funkci budiče. Hradlo 74ALS804N naopak slouží pro centrální funkci „Enable“ budičů, takže při ožívování, nebo při laboratorní výuce na standu vzniká možnost odstavit budič a měřit pouze řídicí signály. Velká verze schématu a seznam součástek je uveden v příloze na konci práce.

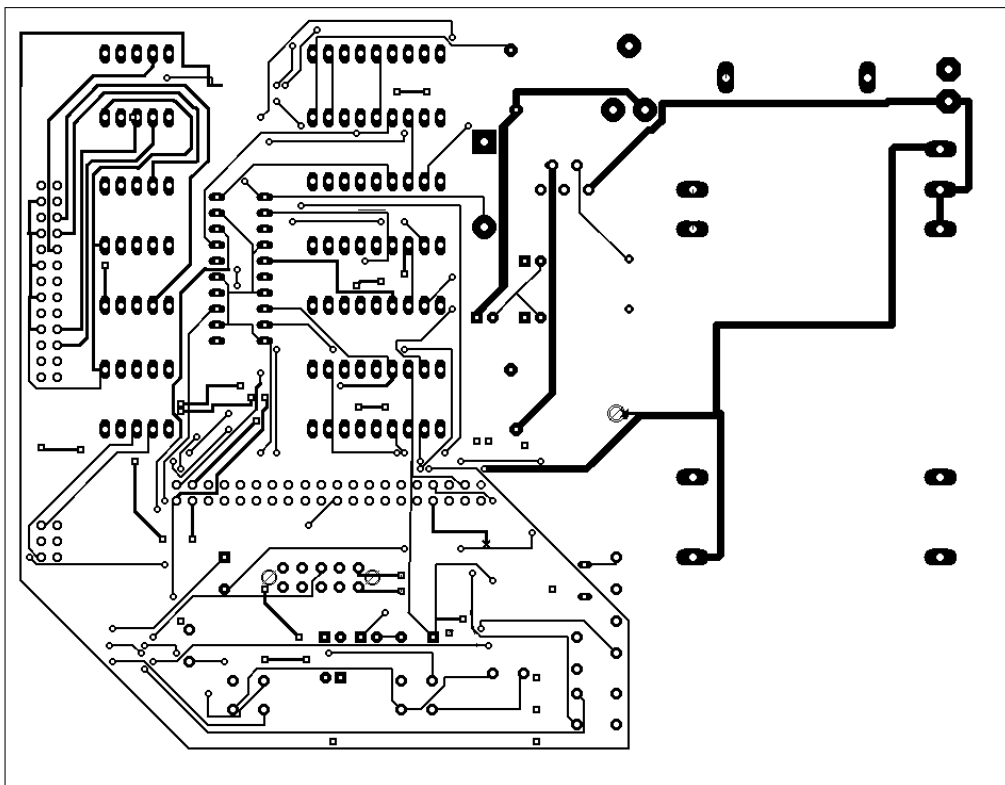
### 3.5 DPS základní desky



Obr 8- rozmístění součástek na DPS



Obr 9- pohled na desku ze strany „top“



Obr 10- pohled na desku ze strany „bottom“

## 4 BUDIČE

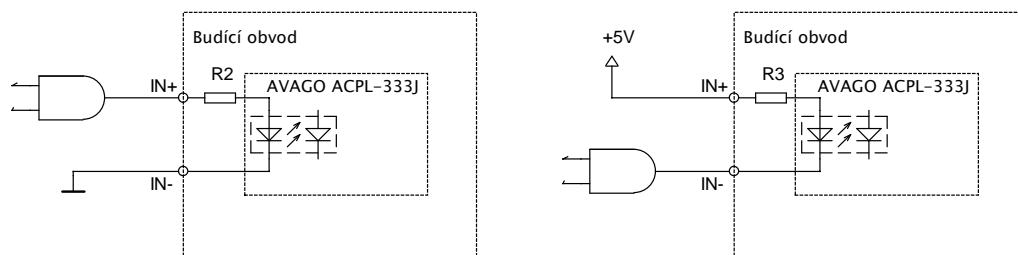
Jako budící obvod byl vybrán budič od firmy AVAGO typ ACPL-333J

Budící obvod AVAGO ACPL-333J je nutné pro správnou funkci doplnit několika externími součástkami.

Vstupní řídicí signál pro budící obvod je na budič ACPL-333J přiveden na piny č. 6,7 (anoda vstupního optočlenu) a piny č. 5,8 (katoda vstupního optočlenu). Řídicí signál je ještě veden přes rezistor R2, který omezuje velikost proudu procházejícího diodou optočlenu. Velikost rezistoru R2 vypočítáme podle vztahu:

$$R_2 = \frac{U_{IN} - U_d}{I_d} = \frac{5 - 1,7}{0,01} = \underline{3}$$

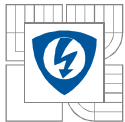
Obě vstupní svorky budícího obvodu jsou vyvedeny samostatně pro možnost řízení jak v kladné, tak i záporné části vstupního obvodu. Oba případy řízení jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr 11- Možnosti řízení budiče vstupním signálem<sup>5</sup>

Výstupní signál poruchy-FAULT je řešen jako otevřený kolektor, jedná se o negovaný signál, v případě poruchy je výstupní tranzistor sepnut a na výstupu je nulové napětí – log. 0, a v bezporuchovém stavu je tranzistor rozepnut a na výstupu je vysoká impedance – log. 1. Pro možnost kontroly poruchy je budící obvod doplněn LED diodou červené barvy, která je zapojena právě na tento otevřený kolektor a v případě poruchy má za úkol informovat, který budící obvod signál poruchy vydal. Tato funkce je vhodná zejména v případě, kdy je do společné logické funkce poruchy zavedeno více budících obvodů a tímto je možno zdroj poruchy lokalizovat. Otevřený kolektorový výstup smí být zatěžován maximálním proudem 8mA, proto byla zvolena LED dioda se jmenovitým proudem 2mA. Pro možnost zpětného hlášení poruchy je třeba budící obvod napájet napětím 5V na svorky SIG\_UCC a SIG\_GND. Výstup poruchy je na svorce SIG\_FAULT. Napájecí část je doplněna kondenzátorem C2 pro stabilitu. V případě, kdy je výstupní tranzistor poruchy rozepnut, a na výstupu je vysoká impedance – log. 1, vysoká strmost při spínání tranzistoru v měniči (hodnoty do 50kV/μs), může tuto impedanci ovlivňovat, a proto je nutné doplnit kondenzátor C<sub>F</sub> pro zaručení správné funkce. Doporučená hodnota C<sub>F</sub> podle katalogového listu je 1nF. [1]

<sup>5</sup> Převzato z : ONDREJČEK, V. *Laboratorní výukový stand s měniči a motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..



Vypočítaná hodnota není v odporové řadě, proto zvolíme blízkou hodnotu 1800Ω, proud LED diodou poklesne jen nepatrně.

Výstupní část budícího obvodu je již galvanicky oddělena od vstupní části. Napájecí napětí je přivedeno z napájecího obvodu budiče – stabilizované napětí 15V na pin č. 13 a na společnou zem tj. piny č.9 a 12. V blízkosti budiče je na toto napájecí napětí připojen kondenzátor C<sub>5</sub> o hodnotě 10μF, který slouží k pokrytí proudových pulsů při spínání tranzistoru v měniči<sup>6</sup>.

Další část obvodu obsahuje součástky pro funkci saturační ochrany. Na pin č. 14 je přes odpor R<sub>4</sub> a saturační diodu D<sub>SAT</sub> připojen kolektor (DRAIN) výkonového tranzistoru. Dioda D<sub>SAT</sub> slouží jako vysokonapěťová snímací dioda, která by měla být velice rychlá – spínací doba se musí pohybovat do 75ns. Rezistor R<sub>4</sub> slouží jako ochrana budícího obvodu proti napěťovým špičkám, které mohou vznikat v měniči při spínání a rozepínání výkonových tranzistorů a toto napětí může být v některých případech větší než závěrné napětí diody. Rezistor nemá vliv na velikost saturačního napětí ani na zpoždění reakce saturační ochrany. Jak již bylo uvedeno v části, která pojednává o saturační ochraně, je třeba, aby ochrana nereagovala ihned po sepnutí tranzistoru v měniči, ale s určitým zpožděním. Toto zpoždění – doba se nastavuje pomocí externího kondenzátoru C<sub>BL</sub>. Doporučená hodnota podle výrobce je 100pF a zároveň se jedná o minimální hodnotu. Výsledný čas zpoždění lze vypočítat následovně<sup>6</sup>:

$$t_{zp} = \frac{C_{BL} \cdot U_{SAT}}{I_{CHG}} = \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot 6,5}{240 \cdot 10^{-6}} = \underline{2,7}$$

Výstupní signál pro řízení tranzistoru v měniči je na pinu č. 11, a je veden přes rezistor R<sub>G</sub> na GATE výkonového tranzistoru. Hodnotu rezistoru udává výrobce výkonového modulu, kdy se běžně hodnota pohybuje v rozmezí 10Ω až 100Ω. Doporučená hodnota výrobcem pro námi použitý modul je 56Ω. Rezistor R<sub>PL</sub> zapojený na pin č. 11 a společnou zem, stabilizuje výstupní napětí budícího obvodu a podle doporučení výrobce se jeho hodnota vypočítá dle vztahu:

$$R_{PL} = \frac{U_{CC} - 3 \cdot U_{GS}}{650 \mu A} = \frac{15 - 3 \cdot 3,3}{650 \cdot 10^{-6}} = \underline{7,1}$$

výsledná hodnota rezistoru R<sub>PL</sub> není v řadě, proto zvolíme hodnotu blízkou a to 7,5kΩ

Emitter výkonového tranzistoru je připojen na společnou zem budiče.

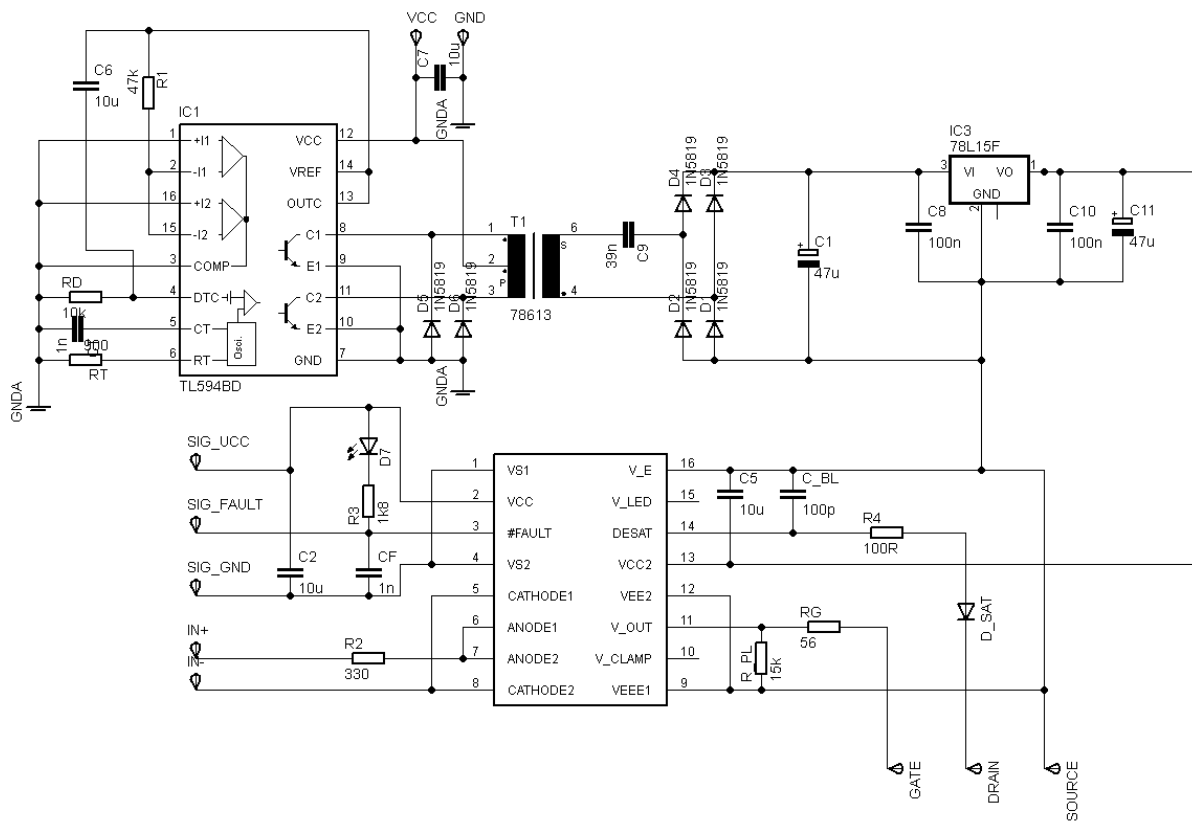
---

<sup>6</sup> Převzato z: ONDREJČEK, V. *Laboratorní výukový stand s měniči a motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

## 4.1 Celkové zapojení napájecí části

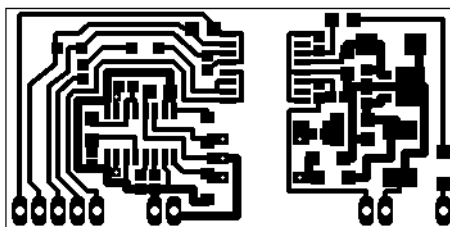
Pro funkci střídače byl vybrán integrovaný obvod TL594. Tento obvod je určen pro pulsně-šířkové modulace výstupního proudu a v našem případě pracuje v zapojení PUSH-PULL s pevnou nosnou frekvencí a pevnou střídou. Jako impulsní transformátor pro napájecí část budícího obvodu byl vybrán transformátor typ 78613/16C od výrobce Murata PS. [5]

## 4.2 Úplné schéma zapojení

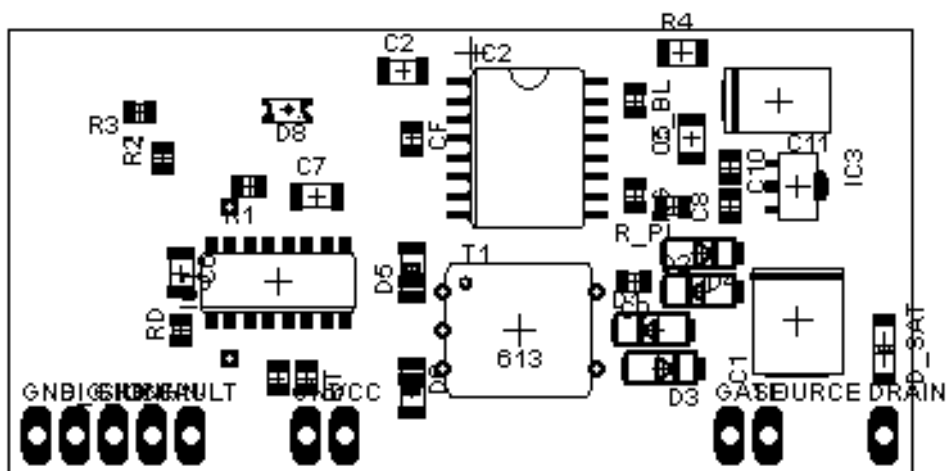


Obr 12- Zapojení celého budícího obvodu<sup>7</sup>

### 4.3 DPS budiče

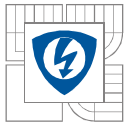


Obr 13- Deska plošného spoje 1:1 pro verzi 2 <sup>7</sup>



Obr 14- Usazovací plán 2:1 pro verzi 2 <sup>7</sup>

<sup>7</sup> Převzato z: ONDREJČEK, V. *Laboratorní výukový stand s měniči a motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..



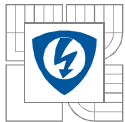
## 5 VÝKONOVÝ MODUL

V laboratoři bude umístěna dvojice těchto měničů, kde jeden bude pro asynchronní motor a druhý pro stejnosměrný motor. Motory jsou spojeny pevnou spojkou na hřídeli a tvoří soustrojí. Toto soustrojí bude sloužit pro výukové účely a bude se na něm simulovat regulace asynchronního motoru, kde bude stejnosměrný motor tvořit mechanickou zátěž. Podobný princip lze použít i na stejnosměrný motor, kde budeme regulovat stejnosměrný motor, zátěž bude tvořit asynchronní motor. Motor, který brzdí, zároveň rekuperuje do meziobvodu. Externí napájecí zdroj pokrývá ztráty na soustrojí a na měničích. V meziobvodu je umístěn brzdový odpor. Tento brzdový odpor funguje jako pojistka pro případ, že by regulátor brzdil oba motory najednou. V případě, že by oba motory současně rekuperovaly, prudce by v meziobvodu vzrostlo napětí a hrozilo by poškození součástek měniče. V tomto případě se přebytečná energie zmaří na brzdovém odporu.

Aby bylo možno měřit výstupní proudy do zátěže, jsou na výstupu z měniče připojena dvě proudová čidla LTS 25NP, která jsou zapojená na nejvyšší rozsah 25A. Pro případ poruchy a tím vyvolaného zvýšení napětí je ještě do obvodu meziobvodu připojen unipolární transil 1.5KE47A, který při překročení napěťové hladiny 47V meziobvod zkratuje a tím zamezí poškození součástek vyšším napětím než maximálním povoleným. Pro pohlcení proudových špiček a napěťových překmitů jsou použity dva fóliové „snubber“ kondenzátory 1M/250V. Tyto kondenzátory musí být umístěny co nejbližší modulu, aby omezili parazitní indukčnost vznikající na proudovodné dráze mezi kondenzátory a napájecími piny modulu. Tento měnič bude umístěn v laboratoři za účelem výuky, je proto nutné, aby byl navržen tak, aby odolal chybám obsluhy nebo zvládal různé experimenty. Z tohoto důvodu je měnič záměrně předimenzován.

Dále je dáno, že napětí v meziobvodu měniče  $U_d$  bude 33V. Jelikož se jedná o měnič, měly by být součástky dimenzovány minimálně na dvojnásobnou hodnotu napětí, což je 60V. Proto byl zvolen MOS-FET modul SK115MD10, který vydrží závěrné napětí 100V a maximální zátěžný proud 80A. Podle velikosti zátěžného proudu byly zvoleny elektrolytické kondenzátory s nízkým sériovým (parazitním) odporem RAD1000/63HT RM7,5, které jsou každý na  $I_{C_{el}} = 2,995A$ .<sup>[1]</sup>

Desky silových částí jsou shodné pro oba měniče a jsou navrženy v sendvičovém provedení o rozměrech 99x124mm. Na desce jsou umístěny v rozích čtyři otvory pro uchycení, dva napájecí vstupy (JP1, JP2) pro uchycení pomocí oček a tři výstupy (JP4, JP5, JP6), z nichž dvě krajní fáze jsou provlečeny přes proudová čidla (LEM1, LEM2). Na desce neumístěn konektor (P1) pro připojení budicí desky měniče. Rozmístění kondenzátorů je voleno tak, aby byla zajištěna co nejkratší proudovodná dráha s modulem (T1) a tím zajištěna co nejmenší indukčnost. Deska je osazena sedmi elektrolytickými kondenzátory (C1, C2, C4, C5, C7, C8, C10) a dvěma svitkovými (C3, C6). Transil (Tr1) slouží jako ochrana proti případnému přepětí (nad 47V), kdy dojde k jeho otevření, případně prohoření a nastane zkrat na straně zdroje. Led dioda (D1) signalizuje přítomnost napětí v mezobvodu měniče. Mezi Gate a Source jednotlivých tranzistorů, jsou umístěny odpory (R1, R2, R3, R4, R5, R6) zabraňující náhodnému sepnutí v případě odpojení budičů. Schéma silové části a návrh desek je umístěn na obrázcích níže. Detailní návrh silové části měničů je popsán v literatuře [1].



## 5.1 Popis desky

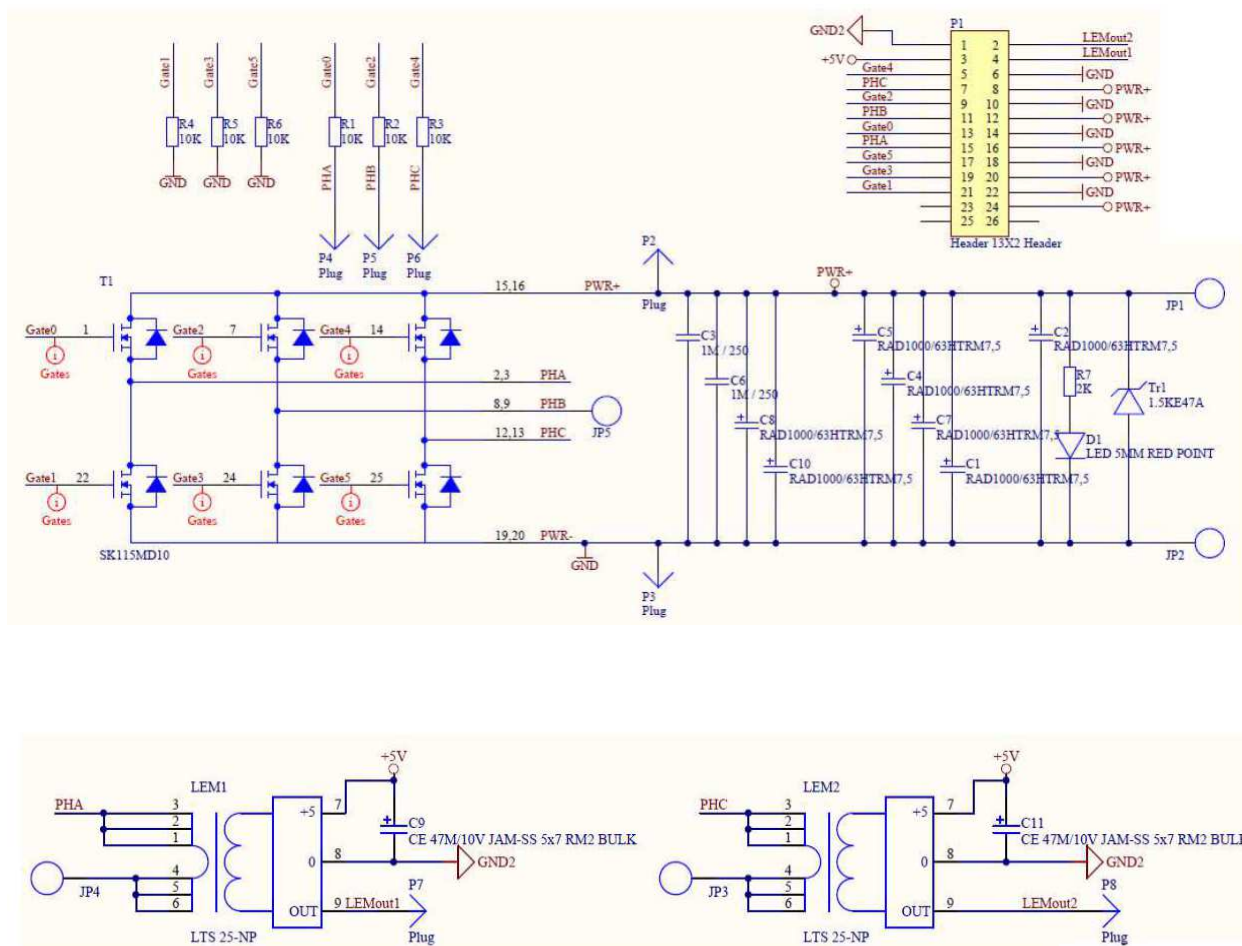
Deska je rozvržena tak, aby tranzistorový modul byl umístěn v jejím středu ze spodní strany desky. Toto umístění bylo zvoleno proto, aby modul bylo možno připevnit ke konstrukci, do které bude takto odváděno ztrátové teplo. Umístění modulu je vidět na obrázku Obrázek 3.2. Na dolní hraně desky plošných spojů, z pohledu obrázku pod modulem, je umístěna polovina odporů pro ochranu hradel tranzistorů. Jelikož je modul umístěn ze spodní strany desky, tím vznikne na horní straně volný prostor, tento prostor využijeme pro umístění „snubber“ kondenzátorů (obrázek 3.1).

Toto umístění je výhodné jak tím, že jsou kondenzátory umístěny v nevyužitém prostoru, tak i tím, že jsou co nejbližší k napájecím pinům modulu. Uprostřed desky je navržena díra pro montáž šroubu, který bude připevňovat modul k chladiči, v našem případě ke konstrukci soustrojí. Napájecí cesty jsou tvořeny rozlitou mědí, protože zde potečou velké proudy. Tím je vytvořen vodič o dostatečném průřezu s minimálním odporem a parazitní indukčností na proudovodné cestě. To samé platí i pro výstupy z modulu.

Na horní hraně desky je umístěn konektor pro připojení řídicích obvodů a výstup pro možnost měření napěťových a proudových průběhu v obvodu. V pravé části desky jsou umístěny kondenzátory meziobvodu měniče. Vzhledem k tomu, že deska měniče musí být upevněna do laboratorního soustrojí, jsou v rozích desky navrženy prokovené díry, které jsou potřeba pro umístění distančních vzpěr. Napájení desky je realizováno šroubovacími kontakty umístěnými u pravé hrany desky mezi kondenzátory a distančními vzpěrami. Vlevo od modulu jsou umístěna proudová čidla a u každého čidla je kondenzátor, který podrží správné napájecí napětí čidel. Nad proudovými čidly jsou umístěny testpiny pro měření výstupních signálů z čidel proudu osciloskopem.

Mezi proudovými čidly a „snubber“ kondenzátory jsou umístěny testpiny jednotlivých fází, aby bylo možno měřit osciloskopem průběh výstupního napětí. Na levé straně, mezi děrami pro distanční vzpěry, jsou umístěny šroubovací kontakty pro připojení motoru. Na spodní hraně desky uprostřed je umístěn transil. Vedle transilu vlevo je umístěna LED dioda s rezistorem a vedle diody vlevo jsou umístěny testpiny pro měření napětí na desce. [1]

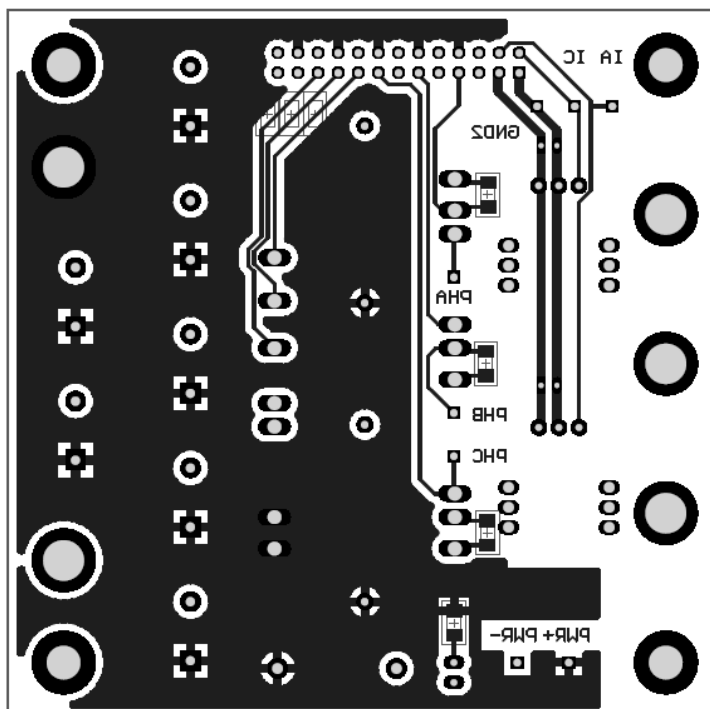
## 5.2 Schéma zapojení



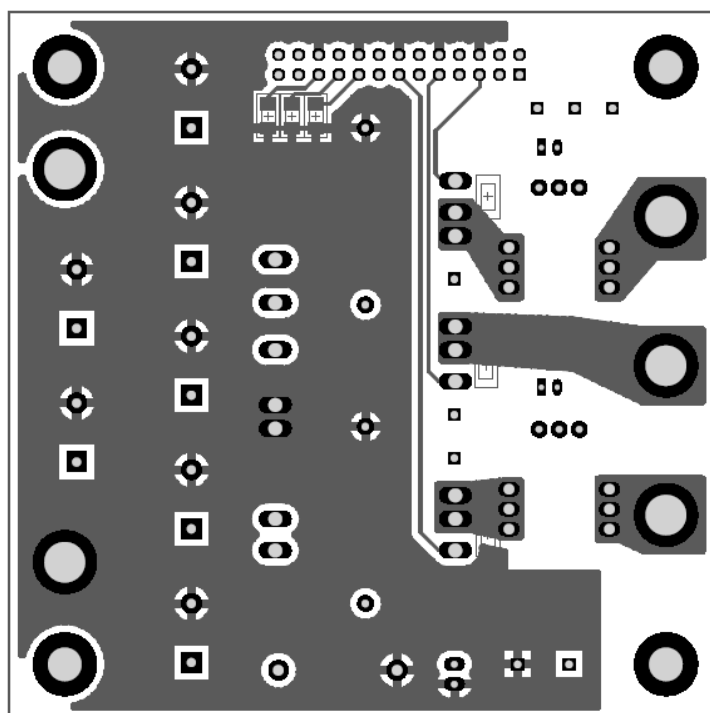
Obr 15- Schéma zapojení silové části <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Převzato z: ONDREJČEK, V. *Laboratorní výukový stand s měniči a motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

### 5.3 DPS silové části

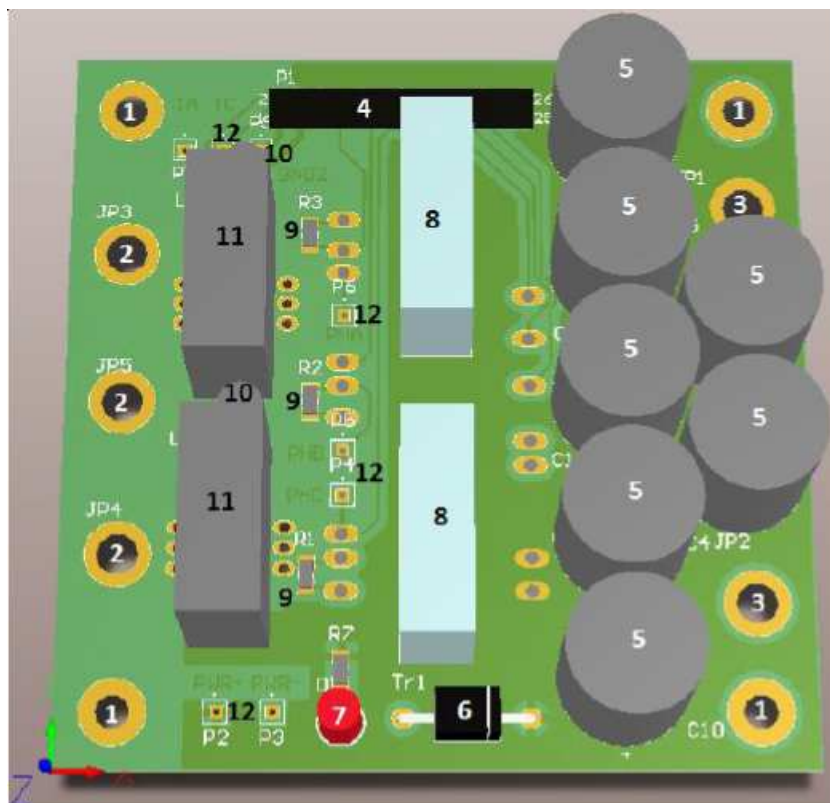


Obr 16- Plošný spoj ze strany „top“<sup>9</sup>



Obr 17- Plošný spoj ze strany „bottom“<sup>9</sup>

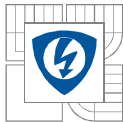
<sup>9</sup> převzato z: PICMAUS, M. *Realizace malého střídavého měniče řízeného mikropočítačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Knobloch.



Obr 18-: Pohled na desku z horní strany

(1. Upevňovací otvory, 2. Vývody, 3. Napájení, 4. Konektor pro připojení řídicích obvodů, 5. Elektrolytické kondenzátory meziobvodu, 6. Transil, 7. LED dioda, 8. Snubber kondenzátory, 9. Rezistory ochrany hradel tranzistorů, 10. Kondenzátory u proudových čidel, 11. Proudová čidla, 12. Testpiny.)<sup>10</sup>

<sup>10</sup> převzato z: PICMAUS, M. *Realizace malého střídavého měniče řízeného mikropočítačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Knobloch.

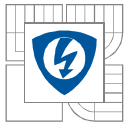


## 6 ŘÍDÍCÍ MODUL

Pro řízení střídačů se používá pulsní šířková modulace (PWM = Pulse Width Modulation). Zde je obvykle konstantní frekvence řídicích pulzů, ale jejich různá šířka. Poměr mezi délkou pulzu a periodou modulovaného signálu se nazývá střída, ta může nabývat hodnot od 0 do 1. Pokud střídou násobíme napětí pulzu (napětí meziobvodu), dostáváme střední hodnotu modulovaného signálu. Tuto modulaci lze použít pro řízení stejnosměrných měničů i pro vytváření sinusové modulace pro střídače. Na demodulaci vysokofrekvenčních složek se používá dolní frekvenční propust, která propustí v případě sinusové modulaci první harmonickou výstupního signálu, v případě stejnosměrného měniče propustí pomalu se měnící stejnosměrný signál. [1]

### 6.1 schéma zapojení

Schema zapojení bylo vytvořeno v program Altium designer a je uvedeno v příloze na konci práce. Na finální verzi řídicí desky se stále pracuje, a doposud není dokončena.

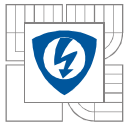


---

## 7 ZÁVĚR

V této diplomové práci bylo mým úkolem dle požadavků realizovat finální návrh schématu řídicích obvodů, zhotovit návrh desky plošných spojů a vytvořit seznam použitých součástek. V průběhu této diplomové práce byly provedeny změny v zapojení, vedoucí k celkovému zjednodušení, jako např. nahrazení zesilovače pro resolver, díky čemuž odpadla potřeba použití step-up měnič pro zajištění vyššího napájecího napětí pro starý zesilovač, který musel být galvanicky spojený s napájecím napětím řídicího obvodu resolveru. nový zesilovač je nyní přímo napájený ze stejného zdroje jako řídicí obvod. Dále bylo zapojení doplněno o logické obvody, které hlídají signály „fault“ z budičů, a také zajišťují funkci „enable“ zmíněných budičů. Toto přináší jednak uživatelské výhody z hlediska ochrany zařízení, a také z hlediska potřeb výuky na budoucím laboratorním standu. Schéma bylo celkově upraveno tak, aby bylo kompatibilní s dosud vytvořenými deskami studentů, pracujících na jednotlivých částech celého standu. Dále byla sestavena dosud známá dokumentace celého standu, i když řídicí procesorová deska zůstává ve fázi návrhu.

Bohužel práce nebyla dokončena do finální verze, neboť řídicí deska k celému měniči dosud není dokončena, takže bude před samotnou konstrukcí potřeba upravit detailní zapojení konektoru pro připojení řídicí procesorové desky podle dodaného návrhu.



## LITERATURA

[1] PICMAUS, M. *Realizace malého střídavého měniče řízeného mikropočítačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Knobloch.

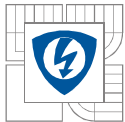
[2] Resolver: (electrical). In: *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 24. 9.2012. [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Resolver\\_\(electrical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Resolver_(electrical))

[3] 12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator: AD2S1200. In: *ANALOG DEVICES* [online]. 2003. vyd. [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD2S1200.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD2S1200.pdf)

[4] Budiče výkonových tranzistorů MOSFET a IGBT. In: VOREL, Pavel a Miroslav PATOČKA. *Elektrorevue* [online]. 21.5.2004. [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04030/index.html>

[5] ONDREJČEK, V. *Laboratorní výukový stand s měniči a motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

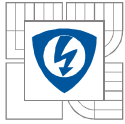
[6] Hudák, O. *Vytvoření laboratorního soustrojí s asynchronním a stejnosměrným motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 25 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..



## PŘÍLOHY

Partlist z programu eagle:

název	hodnota	pouzdro	knihovna
C1	100u	CT10	#_GM99
C2	100u	CT11	#_GM99
C3	100u	CT13	#_GM99
C4	10M	CFA-25	#_GM99Im
C5	10M	CFA-25	#_GM99Im
C6	10M	CFA-25	#_GM99Im
C7	100u	CT10	#_GM99
C8		CT12	#_GM99Im
C9	10M	CFA-25	#_GM99Im
C10	10nF	CFA-25	#_GM99Im
C11	4,7uF	CT01	#_GM99Im
C12	20pF	CFA-25	#_GM99Im
C13	20pF	CFA-25	#_GM99Im
C14	10nF	CFA-25	#_GM99Im
C15	10uF	CT01	#_GM99Im
C16	10nF	CFA-25	#_GM99Im
C17	4,7uF	CT01	#_GM99Im
C18	10M	CFA-25	#_GM99Im
C19	47M	CFA-25	#_GM99Im
CON1		ARK210/2	#_GM99
CON2		CON40	con-harting
F1	3A	SH22,5A	fuse
IC1	74ALS804N	DIL20	74xx-us
IC2	74ALS30D	SO14	74xx-us
J1		1-794681-0	con-amp
JB0X		10X05MTA	con-amp
JB1		10X09MTA	con-amp
JB1X		10X05MTA	con-amp
JB2		10X09MTA	con-amp
JB2X		10X05MTA	con-amp
JB3		10X09MTA	con-amp
JB3X		10X05MTA	con-amp
JB4		10X09MTA	con-amp
JB4X		10X05MTA	con-amp
JB5		10X09MTA	con-amp
JB5X		10X05MTA	con-amp
JB6		10X09MTA	con-amp
JZ1		10X09MTA	con-amp



JZ1X		10X05MTA	con-amp
L1	150uH	SFT830S	#_GM99
L2	1uH	SFT830S	#_GM99
L3		MS85	inductor-neosid
L4		MS85	inductor-neosid
1.01	green	NFSG036BT	led
1.02		SMARTLED-TTW	led
1.03		SMARTLED-TTW	led
1.04		SMARTLED-TTW	led
1.05		SMARTLED-TTW	led
1.06		SMARTLED-TTW	led
1.07		SMARTLED-TTW	led
Q1	8,912 MHz	Q	special
R1	50k	PT10V	#_GM99
R2	1,21k	RR	#_GM99
R3	33k	SMK	resistor-shunt
R4	33k	SMK	resistor-shunt
R5		SMK	resistor-shunt
R6	2k7	SMK	resistor-shunt
R7		SMK	resistor-shunt
R8	8k2	SMK	resistor-shunt
R9	33k	SMK	resistor-shunt
R10		SMK	resistor-shunt
R11	2k7	SMK	resistor-shunt
R12		SMK	resistor-shunt
R13	8k2	SMK	resistor-shunt
R14	33k	SMK	resistor-shunt
R15		SMK	resistor-shunt
R16		SMK	resistor-shunt
R23		1206	#_GM99Im
SV1		ML26	con-ml
SV2		ML6	con-ml
U\$1	AAALM2576	CB-360	#_GM99Im
U\$2		DO201	#_GM99Im
U\$3	L272D	SO16	burr-brown
U\$4	AAA_TRACO_TEN8-2411WI	TRACO_PACKAGE	#_GM99Im
U\$6	AD2S1200	TQFP44	amd-mach