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

REALIZACE MALÉHO STŘÍDAVÉHO MĚNIČE ŘÍZENÉHO MIKROPOČÍTAČEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE Michal Picmaus

AUTHOR

BRNO 2012

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

REALIZACE MALÉHO STŘÍDAVÉHO MĚNIČE ŘÍZENÉHO MIKROPOČÍTAČEM

REALIZATION OF THE MICROPROCESSOR DRIVEN SMALL AC INVERTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE Michal Picmaus
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Jan Knobloch
SUPERVISOR

BRNO, 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Michal Picmaus ***ID:*** 119572
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2011/12

NÁZEV TÉMATU:

Realizace malého střídavého měniče řízeného mikropočítačem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte výkonové obvody měniče.
2. Zpracujte dokumentaci pro výrobu DPS výkonových měničů.
3. Navrhněte rozhraní pro připojení řídicích obvodů.
4. Realizujte výkonové obvody měniče.

DOPORUČENÁ LITERATURA:
Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 21.9.2011 ***Termín odevzdání:*** 31.05.2012

Vedoucí práce: Ing. Jan Knobloch

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
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.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem výkonové části měniče řízeného mikropočítačem pro asynchronní motor. V návrhu je dimenzování výkonové části, součástek a návrh desky včetně návrhu připojovacího rozhraní. Návrh bere v úvahu i připojení stejnosměrného motoru k měniči. Měnič je navržen pro laboratoř, kde bude sloužit k výukovým účelům a experimentům.

Abstract

The work deals with a design of performance part of converter controlled by micro for an asynchronal engine. In the design there is dimensioning of performance part, spare parts and a design of a panel including a design of connected boundary. The design recons even with connection of direct engine to the convertor. The convertor is designed for a laboratory where it will serve to teaching purposes and experiments.

Klíčová slova

Pulsní měnič DC/AC

Keywords

Pulse converter DC/AC

Bibliografická citace

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.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Realizace malého střídavého měniče řízeného mikropočítačem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne …… Podpis autora ……..

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Knoblochovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne …… Podpis autora ……..

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ **8**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **9**

ÚVOD **11**

1 ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU **12**

1.1 POPIS A PRINCIP FUNKCE ASYNCHRONNÍHO MOTORU **12**

1.2 ŘÍZENÍ U/F **13**

1.3 VEKTOROVÉ ŘÍZENÍ **14**

1.4 PWM MODULACE **15**

2 NÁVRH MĚNIČE **16**

2.1 DIMENZOVÁNÍ SOUČÁSTEK **16**

2.2 VÝPOČET ZTRÁT PRO ASYNCHRONNÍ MOTOR **17**

2.2.1 URČENÍ MODULAČNÍHO ČINITELE 17

2.2.2 URČENÍ STŘEDNÍCH A EFEKTIVNÍCH HODNOT PROUDŮ 18

2.2.3 ZTRÁTY VEDENÍM 18

2.2.4 PŘEPÍNACÍ ZTRÁTY 19

2.2.5 CELKOVÉ ZTRÁTY A ÚČINNOST MĚNIČE 20

2.3 VÝPOČET ZTRÁT PRO STEJNOSMĚRNÝ MOTOR **20**

2.3.1 URČENÍ STŘEDNÍCH A EFEKTIVNÍCH HODNOT PROUDŮ 20

2.3.2 ZTRÁTY VEDENÍM 21

2.3.3 PŘEPÍNACÍ ZTRÁTY 21

2.3.4 CELKOVÉ ZTRÁTY A ÚČINNOST MĚNIČE 21

2.4 DIMENZOVÁNÍ CHLADIČE **22**

2.5 POPIS ROZHRANÍ PRO PŘIPOJENÍ ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ **22**

3 REALIZACE **24**

3.1 POPIS DESKY **24**

3.2 POSTUP PŘI OSAZOVÁNÍ DESKY **26**

4 ZÁVĚR **29**

LITERATURA **30**

PŘÍLOHY **31**

PŘÍLOHA 1: ROZMĚRY DESKY **31**

PŘÍLOHA 2: SCHÉMA ZAPOJENÍ **32**

PŘÍLOHA 3: SEZNAM SOUČÁSTEK **33**

PŘÍLOHA 4: PLOŠNÝ SPOJ ZE STRANY TOP **33**

PŘÍLOHA 5: PLOŠNÝ SPOJ STRANA BOTTOM **34**

PŘÍLOHA 6: OBRYS DESKY **35**

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1: Řez asynchronním motorem [2] 12

Obrázek 1.2: Průběhy elektrických a mechanických veličin [3] 14

Obrázek 2.1: Blokové schéma 16

Obrázek 2.2:Připojovací rozhraní 23

Obrázek 3.1: Pohled na desku z horní strany (1. Upevňovací otvory, 2. Vývody, 3. Napájení, 4. Konektor pro připojení řídících 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.) 25

Obrázek 3.2: Pohled na desku ze spodní strany(1. Modul SK115MD10, 2. Rezistory ochrany hradel tranzistorů) 26

Obrázek 3.3:Osazovací plánek top vrstva 27

Obrázek 3.4:Osazovací plánek bottom vrstva 28

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

E_{max}	Maximální ztrátová energie jednoho zapnutí a vypnutí tranzistoru
E_{maxoff}	Maximální ztrátová energie jednoho vypnutí tranzistoru
E_{maxon}	Maximální ztrátová energie jednoho zapnutí tranzistoru
f	Frekvence první harmonické napětí na asynchronním motoru
I_{A1}	Amplituda první harmonické proudu do zátěže
i_c	Proud elektrolitickými kondenzátory v meziobvodu
I_{Cef}	Efektivní hodnota proudu tranzistorem
I_{CefSS}	Efektivní hodnota proudu tranzistorem při připojení stejnosměrného motoru
I_{cel}	Maximální proud, který může procházet elektrolytickým kondenzátorem
I_{Cjmen}	Jmenovitý proud výkonového modulu
$I_{Cstř}$	Střední hodnota proudu tranzistorem
$I_{CstřSS}$	Střední hodnota proudu tranzistorem při připojení stejnosměrného motoru
I_d	Proud v meziobvodu
I_{D0ef}	Efektivní hodnota proudu nulovou diodou
I_{D0efSS}	Efektivní hodnota proudu nulovou diodou při připojení stejnosměrného motoru
$I_{D0stř}$	Střední hodnota proudu nulovou diodou
$I_{D0střSS}$	Střední hodnota proudu nulovou diodou při připojení stejnosměrného motoru
I_Z	Proud zátěže
K	Činitel proudového zatížení
M	Modulační činitel
n	Jmenovité otáčky asynchronního motoru
N_{Cel}	Počet kondenzátorů v meziobvodu
n_s	Synchronní otáčky asynchronního motoru
p	Počet pólových dvojic asynchronního motoru
P	Výkon asynchronního motoru
P_C	Ztráty vedení na tranzistoru
P_{CSS}	Ztráty vedení na tranzistoru při připojení stejnosměrného motoru
P_{cel}	Celkové ztráty vedením
P_{celSS}	Celkové ztráty vedením při připojení stejnosměrného motoru
P_{pr}	Přepínací ztráty na jednom tranzistoru
P_{prSS}	Přepínací ztráty na jednom tranzistoru při připojení stejnosměrného motoru
P_{prcel}	Celkové přepínací ztráty na výkonovém modulu

$P_{prcelSS}$	Celkové přepínací ztráty na výkonovém modulu při připojení stejnosměrného motoru
P_Z	Celkové ztráty měniče
P_{ZSS}	Celkové ztráty měniče při připojení stejnosměrného motoru
R_{DS}	Odpor otevřeného tranzistoru
R_{SD}	Odpor nulové diody v propustném směr
R_{thr}	Tepelný odpor chladiče
R_{thrSS}	Tepelný odpor chladiče při připojení stejnosměrného motoru
R_{thjc}	Tepelný odpor mezi křemíkem a obalem součástky
R_{ths}	Tepelný odpor mezi součástkou a chladičem
U_{A1}	Napětí první harmonické
U_{AB1}	Maximální hodnota sdruženého napětí první harmonické na výstupu střídače
U_d	Napětí v meziobvodu
U_{DS}	Napětí na otevřeném tranzistoru
U_S	Sdružené napětí na asynchronním motoru
U_{SD}	Úbytek napětí na nulové diodě
U_{SS}	Jmenovité napětí stejnosměrného motoru
s_k	Skluz asynchronního motoru
s	Střída napětí
t	Čas
cos φ	Účiník asynchronního motoru
ϕ_{A1}	Magnetický tok
ω_1	Úhlová rychlost první harmonické napětí připojeného k asynchronnímu motoru
π	Ludolfovo číslo
η	Účinnost asynchronního motoru
η_M	Účinnost měniče
η_{SS}	Účinnost měniče při připojení stejnosměrného motoru
ϑ_j	Maximální povolené oteplení součástky
ϑ_Q	Teplota okolí

ÚVOD

Práce se zabývá návrhem měniče pro asynchronní motor. Asynchronní motor je spolehlivý elektronický stroj, který se využívá v celé řadě průmyslových aplikací v široké škále výkonů. Jedná se o konstrukčně jednoduchý a spolehlivý stroj, který je nenáročný na údržbu. Aby bylo možné regulovat jeho otáčky, je třeba k tomu použít měnič řízený mikropočítačem.

Měnič je zařízení, které se využívá především v oblasti elektrických pohonů (např. elektromobily, výtahy, tramvaje, vlaky, jeřáby).Výkonové měniče mohou být buď jednokvadrantové, dvoukvadrantové nebo čtyřkvadrantové. Pro účely této práce byl použit čtyřkavdrantový trojfázový střídač. Princip trojfázového střídače je obdobný principu čtyřkvadrantového pulsního měniče, který je možno použít jako jednofázový střídač nebo jako měnič pro stejnosměrný motor.

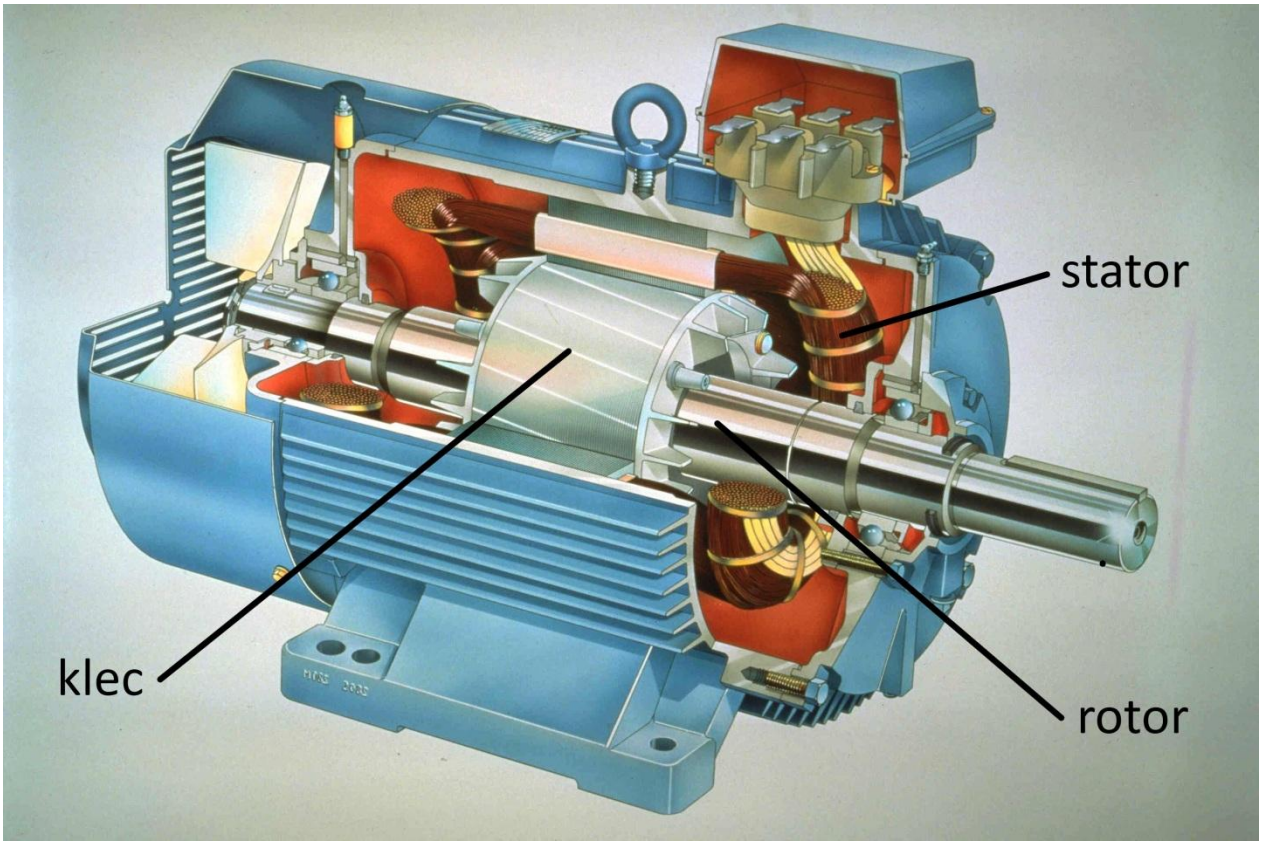
Cílem práce je navrhnout výkonovou desku měniče, navrhnout a dimenzovat použité součástky, navrhnout rozhraní pro připojení budičů. Tento měnič bude sloužit v odborné laboratoři k výukovým účelům. Umožní studentům prakticky si ověřit vědomosti získané ve výuce výkonové elektrotechniky a elektrických strojů při sledování průběhů elektrických veličin v obvodu měniče. Měnič bude umístěn na laboratorním soustrojí, což umožní sledovat chování motorů v různých pracovních bodech, např. při motorickém chodu, generátorickém chodu a elektrodynamickém brzdění.

1 ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Vzhledem k tomu, že se v dalších kapitolách budeme věnovat návrhu měniče pro asynchronní motor, budeme se nejdříve zabývat principem funkce asynchronního motoru. Z principu funkce lze odvodit možnosti regulace. Regulovat otáčky motoru lze změnou skluzu, změnou počtu pólů a změnou frekvence. Jelikož v dnešní době máme k dispozici výkonové součástky a máme i výkonné procesory pro řízení, budeme se dále zabývat řízením otáček změnou frekvence a to pomocí řízení U/f a vektorovým řízením.

1.1 Popis a princip funkce asynchronního motoru

Asynchronní motor je indukční točivý stroj. Jeho velkou výhodou je provozní spolehlivost a nevyžaduje zvláštní obsluhu a údržbu. Tyto motory lze rozdělit podle rotorového vinutí na motory s rotorem nakrátko (obrázek 1.1) a motory s kroužkovým rotorem. Vinutí motoru s rotorem nakrátko je tvořeno klecí z masivních, obvykle hliníkových, tyčí, které jsou spojeny na obou koncích vodivými kroužky. Rotor motoru s kroužkovým rotorem má trojfázové vinutí zapojené na kroužky, na které se přes kartáče připojují odpory podle toho, jestli chceme zvýšit nebo zmenšit záběrný moment a otáčky motoru.



Obrázek 1.1: Řez asynchronním motorem [2]

Točivé magnetické pole vzniká ve statoru motoru tak, že jsou ve statoru umístěny tři kotoučové cívky, jejichž roviny jsou ve společné ose a jsou vůči sobě pootočeny o 120°. Cívky se připojí do třífázové soustavy. V této soustavě jsou fázory proudů také vzájemně posunuty o 120°. Jelikož průběh tohoto proudu má sinusový charakter, pak intenzita magnetického pole, které vzniká v okolí vodiče, má také sinusový charakter, tedy její okamžitá hodnota se v čase mění od maximální kladné hodnoty po maximální zápornou hodnotu a opačně. Z toho lze odvodit,

prostorový vektor magnetického pole se otáčí ve statoru motoru a vytváří tak točivé magnetické pole. Indukční čáry tohoto pole protínají tyče v kleci rotoru. Změnou magnetického pole se v tyčích indukuje napětí. Jelikož jsou tyče na obou koncích vzájemně spojeny nakrátko, začne jimi protékat proud, který vytváří vlastní magnetické pole. Vzájemným působením těchto dvou magnetických polí se vytváří tažná síla motoru. Se zvyšujícími se otáčkami rotoru, protínají indukční čáry točivého magnetického pole tyče rotoru stále menší rychlostí. Podle indukčního zákona pak dochází k indukování menšího napětí, rotorovou klecí protéká nižší proud a tím je vzniká i menší magnetické pole. Se zmenšujícím se magnetickým tokem se snižuje i tažná síla motoru. Jakmile rotor dosáhne synchronních otáček s točivým magnetickým polem ve statoru, přestanou indukční čáry protínat tyče rotorové klece, přestane se indukovat napětí, rotorem neprochází žádný proud a nevzniká tak v jeho okolí ani magnetické pole. Tento stav však může nastat pouze v případě ideálního asynchronního motoru. U reálného motoru musíme ovšem počítat s mechanickými ztrátami.

Z předchozího vyplývá, že otáčky reálného motoru jsou o něco nižší jak synchronní otáčky magnetického pole. Synchronní otáčky se určí podle vztahu 1.1.

$$n_s = \frac{60f}{p} \; [{}^{ot}/_{min}; Hz, -] \tag{1.1}$$

Kde n_s jsou synchronní otáčky, f je frekvence sítě a p je počet pólových dvojic motoru.

Jak jsem již uvedl výše, jsou otáčky reálného motoru o něco nižší než otáčky točivého magnetického pole. Proto se zavádí veličina, která nám vyjadřuje poměrný pokles otáček n k synchronním otáčkám n_s. Tato veličina se nazývá skluz s_k a určuje se podle vztahu 1.2 [1].

$$s_k = \frac{n_s - n}{n_s} \tag{1.2}$$

1.2 Řízení U/f

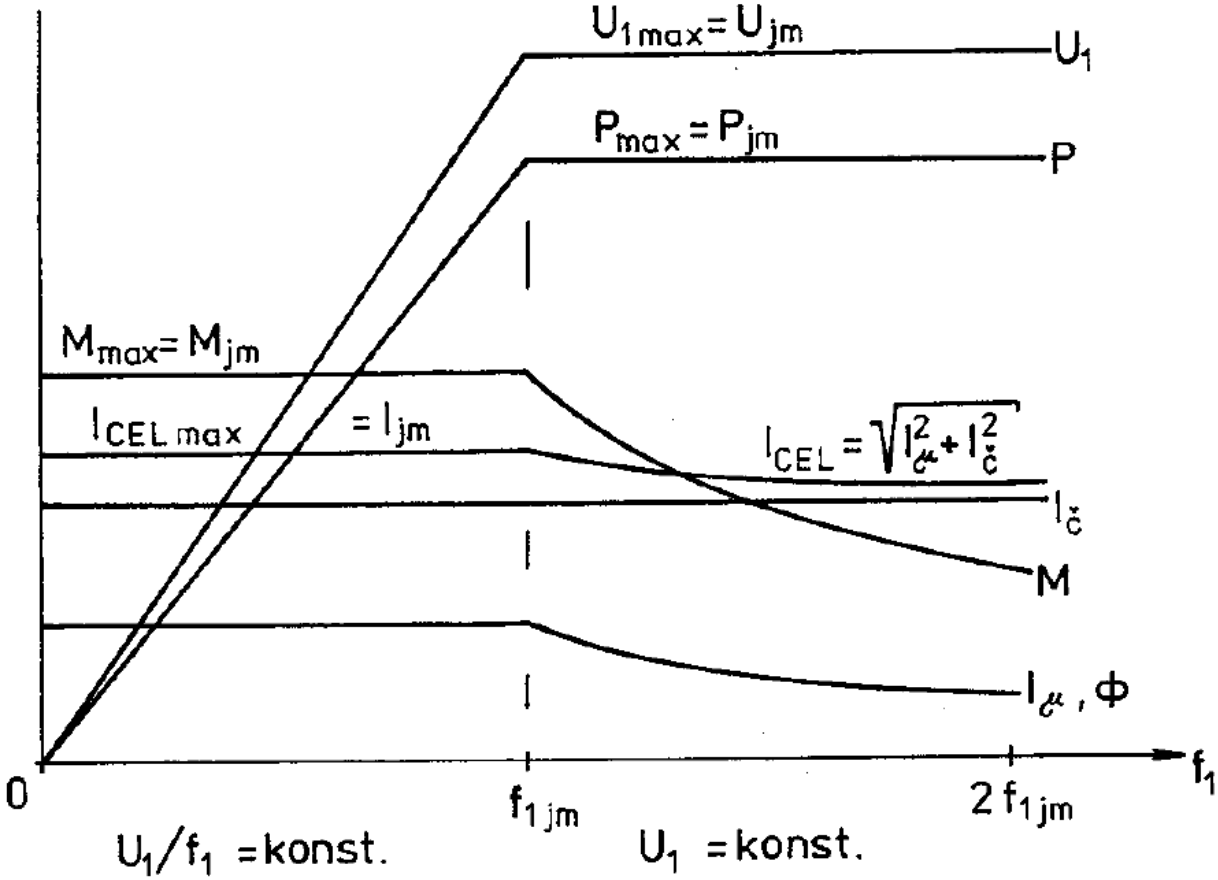
Řízení U/f se používá proto, abychom zajistili konstantní sycení stroje. Sycení stroje ϕ_{A1} je dáno vztahem 1.3. Abychom zajistili konstantní sycení v celém rozsahu regulace, musíme dodržet konstantní poměr amplitudy napětí první harmonické U_{A1} a frekvence f.

$$\phi_{A1} = \frac{U_{A1}}{N \cdot 2\pi f} \sin 2\pi f t \; [; V, Hz, s] \tag{1.3}$$

Princip této regulace je zobrazen na obrázku 1.2. Zde je možno vidět, že napětí U se zvyšuje přímo úměrně s frekvencí f až po dosažení maximální hodnoty napětí U_{MAX} a jmenovité frekvence f_{1jm}. Po dosažení maximálního napětí můžeme dále zvyšovat pouze frekvenci. V oblasti rostoucího napětí (pro frekvence 0 - f_{1jm}) je konstantní sycení stroje tedy konstantní magnetický tok ϕ, tedy i konstantní proud I_{CEL}, a zároveň maximální moment, který můžeme dosáhnout na hřídeli M_{max}. Se zvyšujícím se napětím se i lineárně zvyšuje výkon P.

V oblasti konstantního napětí (pro frekvence $f > f_{1jm}$) dochází ke snižování magnetického toku. Stejně s magnetickým tokem se snižuje i celkový proud a maximální moment. S konstantním napětím je i konstantní výkon P.

Proud v motoru se dělí na činný $I_{Č}$ a jalový I_{μ}. Činný proud je v celé oblasti regulace konstantní. Jalový proud je svázán se sycením stroje, proto se v oblasti snižujícího sycení snižuje i hodnota tohoto proudu.



Obrázek 1.2: Průběhy elektrických a mechanických veličin [3]

Maximální otáčky motoru jsou dány konstrukcí stroje a tyto se nesmí překročit, aby nedošlo k mechanickému poškození stroje. [3]

1.3 Vektorové řízení

Asynchronní motor řízený pomocí vektorového řízení se pro regulátor chová jako stejnosměrný motor, protože vektorové řízení umožňuje samostatně regulovat momentotvornou a tokotvornou složku proudu. Aby bylo možno transformovat tříosý systém do dvouosého, musíme znát polohu rotoru. V dvouosém systému pak momentotvorná a tokotvorná složka odpovídá

stejnosměrnému stroji. Soustava regulovaná pomocí vektorového řízení je schopná správně reagovat na statické i dynamické děje v soustavě [4].

1.4 PWM modulace

Používá se kvůli tomu, abychom mohli využít spínací režim výkonových součástek. Buď je součástka ve vodivém, nebo nevodivém stavu, nic mezi tím. Ve vodivém stavu je na ní ideálně nulové napětí, ale teče jí proud, z toho plyne nulový ztrátový výkon. V nevodivém stavu je napětí maximální, ale žádný proud, také žádný výkon. Tím zajistíme bezztrátovou regulaci.

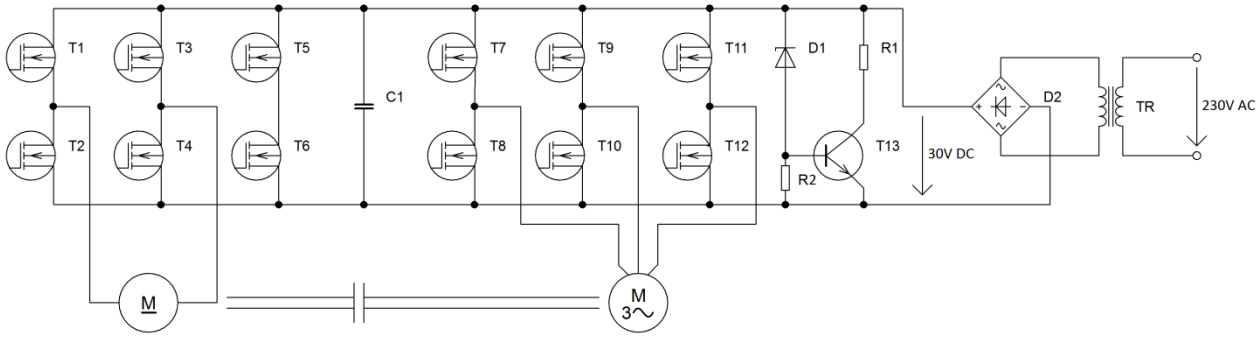
Pro řízení střídačů se používá pulsní šířková modulace (PWM = Pulse Width Modulation). Zde je obvykle konstantní frekvence řídících pulzů, ale jejich různá šířka. Poměr mezi délkou pulzu a periodou modulovaného signálu se nazývá střída, ta může nabývat hodnot od 0 do 1. Pokud střídou násobíme napětí 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.

Kmitočet modulovaného signálu musí být o několik řádů nižší, než nosný kmitočet pulsní šířkové modulace. Jinak dochází ke zkreslování původního signálu, který pak není možné demodulací rekonstruovat [3].

Motor napájený pulsně šířkově modulovaným napětím se chová právě jako dolní propust. Vstupem propusti je vysokofrekvenční pulsně modulovaný signál a výstupem je napětí sinusového průběhu s řádově nižší frekvencí.

2 NÁVRH MĚNIČE

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 brzdný odpor. Tento brzdný 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 brzdném odporu.



Obrázek 2.1: Blokové schéma

Na obrázku Obrázek je vidět zapojení soustrojí, kde T1-T12 jsou tranzistory použité v měniči. Kondenzátor C1 reprezentuje kapacitu meziobvodu, R1 je brzdný rezistor. Zenerova dioda D1 a odpor R2 tvoří napěťový dělič, na který je zapojena báze tranzistoru T13, slouží k jeho sepnutí při překročení jmenovitého napětí v meziobvodu a tím ke zmaření přebytečné energie v meziobvodu. D2 reprezentuje usměrňovací můstek a TR je síťový transformátor napájení.

2.1 Dimenzování součástek

Jako zátěž měniče bude použit asynchronní motor s parametry P=180W, U_S=23,4V, cosφ=0,77, η=60%. Z těchto parametrů je možno určit proud zátěže I_Z podle vzorce 2.1.

$$I_Z = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \eta \cdot cos\varphi} \; [A; W, V, -] \qquad (2.1)$$

Po dosazení daných hodnot zjistíme, že zátěžný proud I_Z = 9,613A.

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_{Cel} = 2,995A. Proud kondenzátory i_c určíme podle vztahu 2.2.

$$i_c \cong \frac{1}{2} I_d \; [A; A] \tag{2.2}$$

Abychom mohli určit proud i_c, potřebujeme znát proud v meziobvodu Id. Proud v meziobvodu určíme podle vztahu 2.3.

$$I_d = \frac{P}{U_d \cdot \eta \cdot \eta_M \cdot \cos\varphi} \; [A; W, V, -] \tag{2.3}$$

Za η_M dosadíme předpokládanou účinnost měniče, což je asi 90%. Po dosazení dostaneme hodnotu proudu v meziobvodu I_d = 13,12A. Nyní můžeme určit proud i_c podle vztahu 2.2. Po dosazení dostaneme hodnotu proudu kondenzátory i_c = 6,56A. Minimální počet kondenzátorů určíme podle vztahu 2.7.

$$N_{Cel} = \frac{i_c}{I_{cel}} \; [-; A] \tag{2.4}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu N_{Cel} = 2,19. Z toho vyplývá, že potřebujeme nejméně tři zvolené elektrolytické kondenzátory. V návrhu jich je z opatrnosti 7, kvůli možnosti přetížení měniče.

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 nejblíže 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.

2.2 Výpočet ztrát pro asynchronní motor

Aby bylo možno určit vhodný chladič, je třeba určit ztráty na měniči. Proto se budeme zabývat určením středních a efektivních proudů, z toho pak určíme ztráty vedením a přepínacími ztrátami. Metodika výpočtu je dle literatury [3].

2.2.1 Určení modulačního činitele

Ztráty v měniči se dělí na ztráty vedením a přepínací ztráty. Než určíme ztráty vedením, musíme určit střední a efektivní proudy procházející nulovými diodami a tranzistory měniče. Abychom mohli určit tyto proudy, musíme určit modulační činitel M. Modulační činitel je poměr amplitudy první harmonické výstupního napětí a napětí v meziobvodu. Určíme ho podle vztahu 2.5.

$$M = \frac{U_{AB1}}{U_d} \; [-; V] \tag{2.5}$$

Jelikož neznáme hodnotu amplitudy sdruženého napětí první harmonické U_{AB1}, musíme ji určit podle vztahu 2.6.

$$U_{AB1} = \sqrt{2}U_S \; [V; V] \tag{2.6}$$

Za U_S dosadíme 23,4V. Po dosazení dostaneme hodnotu amplitudy napětí první harmonické U_{AB1} = 33V. Potom můžeme dosadit do vztahu 2.5 a dostaneme modulační činitel M = 1.

2.2.2 Určení středních a efektivních hodnot proudů

Efektivní hodnotu proudu zátěží I_Z již známe z předchozí kapitoly, kde nám vyšlo, že I_Z = 9,613A. Neznáme ale hodnotu amplitudy první harmonické proudu zátěží, tu určíme podle vztahu 2.7.

$$I_{A1} = \sqrt{2} \cdot I_Z \; [A; A] \tag{2.7}$$

Po dosazení nám vyjde efektivní hodnota první harmonické proudu I_{A1} = 13,59A. Nyní musíme určit střední hodnotu první harmonické proudu $I_{Cstř}$ podle vztahu 2.8.

$$I_{Cstř} = I_{A1} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{M}{4\sqrt{3}}\cos\varphi\right) \; [A; A, -] \tag{2.8}$$

Po dosazení dostaneme střední hodnotu hodnota proudu $I_{Cstř}$ = 3,673A. Dále potřebujeme znát i střední hodnotu první harmonické proudu nulovou diodou $I_{D0stř}$ podle vztahu 2.9.

$$I_{D0stř} = I_{A1} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} - \frac{M}{4\sqrt{3}}\cos\varphi\right) \; [A; A, -] \tag{2.9}$$

Po dosazení dostaneme střední hodnotu první harmonické proudu I_{D0} = 0,6525A. Jako další určíme efektivní hodnotu první harmonické kolektorového (drain) proudu tranzistorem I_{Cef} podle vztahu 2.10.

$$I_{Cef} = I_{A1}\sqrt{\frac{1}{8} + \frac{2M}{\sqrt{3}\pi}\cos\varphi} \; [A; A, -] \tag{2.10}$$

Po dosazení dostaneme efektivní hodnotu první harmonické proudu I_{Cef} = 8,681A. Dále je třeba určit efektivní hodnotu proudu první harmonické nulovou diodou I_{D0ef} podle vztahu 2.11.

$$I_{D0ef} = I_{A1}\sqrt{\frac{1}{8} - \frac{2M}{\sqrt{3}\pi}\cos\varphi} \; [A; A, -] \tag{2.11}$$

Po dosazení dostaneme efektivní hodnotu proudu první harmonické nulovou diodou I_{D0ef} = 5,402A.

2.2.3 Ztráty vedením

Nyní už známe střední hodnoty proudů a můžeme určit ztráty vedením. Ztráty vedením na tranzistoru se určí podle vztahu 2.12.

$$P_C = U_{DS}I_{Cstř} + R_{DS}I_{Cef}^2 \; [W; V, A, \Omega] \tag{2.12}$$

Pro výpočet ztrát na tranzistoru uvažujeme, že napětí U_{DS}=0V, protože se jedná o MOSFET, $I_{Cstř}$ a I_{Cef} jsou vypočteny v předchozí kapitole podle vzorců 2.8 a 2.10. Odpor R_{DS} je odečten z datasheetu pro výkonový modul SK115MD10, jeho hodnota je R_{DS} = 13,5mΩ. Po dosazení do vztahu 2.12 dostaneme hodnotu ztrát vedením na jednom tranzistoru P_C = 1,017W.

Jako další je třeba určit hodnotu ztrát na nulové diodě. Získáme ji dosazením do vztahu 2.13.

$$P_{D0} = U_{SD} I_{D0stř} + R_{SD} I_{D0ef}^2 \; [W; V, A, \Omega] \tag{2.13}$$

Za U_{SD} dosadíme 0,9V, což je opět hodnota z datasheetu výkonového modulu MOS-FET SK115MD10. Proudy $I_{D0stř}$ a I_{D0ef} jsou vypočteny v předchozí kapitole a jsou určeny podle vztahů 2.9 a 2.11. Za R_{SD} dosadíme 0Ω, protože se jedná o diodu v propustném směru. Po dosazení do vztahu vyjde P_{D0} = 0,5872W.

Celkové ztráty vedením určíme podle vztahu 2.14.

$$P_{cel} = 6 \cdot (P_C + P_{D0}) \; [W; W] \tag{2.14}$$

Po dosazení hodnot, které jsme určili výše, nám vyjdou celkové ztráty vedením P_{cel} = 9,625W.

2.2.4 Přepínací ztráty

Dále je nutno se zabývat přepínacími ztrátami. Pro jejich určení však musíme nejdříve znát ztrátovou energii, která vzniká při spínání a vypínání tranzistoru. Pro jedno zapnutí a platí vztah 2.15, kde E_{maxon} je maximální energie pro zapnutí tranzistoru při napětí U_d a jmenovitém proudu modulu, t_r je čas náběžné hrany při spínání tranzistoru.

$$E_{maxon} = \frac{1}{4} U_d \cdot I_{Cjmen} \cdot t_r \; [J; V, A, s] \tag{2.15}$$

Za U_d se dosadí 33V, což je napětí v meziobvodu, za I_{Cjmen} se dosadí 80A, což je jmenovitý proud výkonového modulu MOS-FET SK115MD10 a za t_r se dosadí 150ns, což je hodnota z datasheetu zmiňovaného modulu. Po dosazení dostaneme, že energie jednoho zapnutí jednoho tranzistoru E_{maxon} = 99μJ.

Dále se určí ztrátová energie pro jedno vypnutí jednoho tranzistoru podle vztahu 2.16.

$$E_{maxoff} = \frac{1}{4} U_d \cdot I_{Cjmen} \cdot t_f \; [J; V, A, s] \tag{2.16}$$

Za U_d opět dosadíme napětí v meziobvodu, za I_{Cjmen} dosadíme 80A a za t_f dosadíme 160ns, což je doba sestupné hrany. Po dosazení dostaneme, že energie jednoho zapnutí jednoho tranzistoru E_{maxoff} = 105,6μJ.

Celkovou energii na zapnutí a vypnutí jednoho tranzistoru určíme podle vztahu 2.17.

$$E_{max} = E_{maxon} + E_{maxoff} \; [J; J] \tag{2.17}$$

Po dosazení dostaneme, že celková energie E_{max} = 204,6μJ. Abychom mohli určit přepínací ztráty, musíme určit činitel proudového zatížení tranzistoru. Činitel proudového zatížení tranzistoru určíme jako poměr amplitudy první harmonické fázového proudu I_{A1} a jmenovitého proudu tranzistorem I_{Cjmen}, určíme ho podle vztahu 2.18.

$$K = \frac{I_{A1}}{I_{Cjmen}} \; [-; A] \tag{2.18}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu činitele proudového zatížení tranzistoru K =0,1699. Nyní můžeme určit přepínací ztráty jednoho tranzistoru P_{pr} ze vztahu 2.19.

$$P_{pr} = \frac{1}{\pi} f E_{max} K \; [W; Hz, J, -] \tag{2.19}$$

Za f dosadíme 20kHz, což je zadaná hodnota modulační frekvence a výsledné přepínací ztráty jsou 0,2213W. Nyní můžeme určit přepínací ztráty celého modulu P_{prcel} podle vztahu 2.20.

$$P_{prcel} = 6 \cdot P_{pr}\ [W; W] \tag{2.20}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu P_{prcel} = 1,328W.

2.2.5 Celkové ztráty a účinnost měniče

Dále musíme určit celkové ztráty P_Z podle vztahu 2.21.

$$P_Z = P_{cel} + P_{prcel}\ [W; W] \tag{2.21}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu celkových ztrát P_Z = 10,95W. Když známe celkové ztráty, můžeme určit účinnost měniče podle vztahu 2.22.

$$\eta_M = \frac{P - P_Z}{P} \cdot 100\ [\%; W] \tag{2.22}$$

Po dosazení dostaneme účinnost měniče η_M = 93,92%.

2.3 Výpočet ztrát pro stejnosměrný motor

Jelikož se jedná o univerzální měnič do laboratoře, bude na něj připojen i stejnosměrný motor, proto je třeba určit i ztráty pro stejnosměrný motor. Stejnosměrný motor má parametry P_{SS} = 413,98W, U_{SS} = 24V, I_{SS} = 23,04A.

2.3.1 Určení středních a efektivních hodnot proudů

Dříve než určíme střední a efektivní hodnoty proudů, musíme určit střídu napětí s. Střídu určíme podle vztahu 2.23.

$$s = \frac{U_{SS}}{U_d}\ [-; V] \tag{2.23}$$

Za U_d dosadíme napětí v meziobvodu, což je 33V. Po dosazení dostaneme hodnotu střídy s = 0,7273. Nyní můžeme určit střední hodnotu proudu tranzistorem $I_{CstřSS}$ podle vztahu 2.24.

$$I_{Cstř SS} = I_{SS} \cdot s\ [A; A, -] \tag{2.24}$$

Po dosazení dostaneme střední hodnotu proudu tranzistorem $I_{CstřSS}$ = 16,76A. Jako další určíme střední hodnotu proudu nulovou diodou $I_{D0střSS}$ podle vztahu 2.25.

$$I_{D0stř SS} = I_{SS} \cdot (1 - s)\ [A; A, -] \tag{2.25}$$

Po dosazení dostaneme střední hodnotu proudu nulovou diodou $I_{D0střSS}$ = 6,283A. Teď můžeme určit efektivní hodnotu proudu tranzistorem I_{CefSS} podle vztahu 2.26.

$$I_{Cef SS} = I_{SS} \cdot \sqrt{s}\ [A; A, -] \tag{2.26}$$

Po dosazení dostaneme efektivní hodnotu proudu tranzistorem I_{CejSS} = 19,65A. Jako další určíme efektivní hodnotu proudu nulovou diodou I_{D0efSS} podle vztahu 2.27.

$$I_{D0ef SS} = I_{SS} \cdot \sqrt{(1 - s)}\ [A; A, -] \tag{2.27}$$

Po dosazení dostaneme efektivní hodnotu proudu nulovou diodou I_{D0efSS} = 12,03A.

2.3.2 Ztráty vedením

Když známe střední a efektivní hodnoty proudů, můžeme určit ztráty vedením na tranzistoru podle vztahu 2.28.

$$P_{CSS} = U_{DS} I_{Cstř SS} + R_{DS} I_{CefSS}^2 \; [W; V, A, \Omega] \tag{2.28}$$

Za U_{DS} dosadíme 0V, za $I_{CstřSS}$ dosadíme 16,76A, za R_{DS} dosadíme 13,5mΩ a za I_{CefSS} dosadíme 19,69A. Po dosazení dostaneme ztráty vedením na tranzistoru P_{CSS} = 5,234W. Jako další určíme ztráty vedením na nulové diodě podle vztahu 2.29.

$$P_{D0SS} = U_{SD} I_{D0stř SS} + R_{SD} I_{D0efSS}^2 \; [W; V, A, \Omega] \tag{2.29}$$

Za U_{SD} dosadíme 0,9V, za $I_{D0střSS}$ dosadíme 6,283A, za R_{SD} dosadíme 0Ω a za I_{D0efSS} dosadíme 12,03A. Po dosazení dostaneme hodnotu ztrát vedením na nulové diodě PD0SS = 6,655W.

Ztráty vedením na celém modulu P_{celSS} určíme podle vztahu 2.30.

$$P_{celSS} = 2 \cdot (P_{CSS} + P_{D0SS}) \; [W; W] \tag{2.30}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu celkových ztrát vedením P_{celSS} = 23,78W.

2.3.3 Přepínací ztráty

Jako další je třeba určit přepínací ztráty na tranzistoru. Abychom mohli určit přepínací ztráty, musíme dříve určit ztrátovou energii na jedno zapnutí tranzistoru W_{on} a ztrátovou energii na vypnutí tranzistoru W_{off}. Energii pro jedno zapnutí určíme podle vztahu 2.31.

$$W_{on} = \frac{1}{4} \cdot U_d \cdot I_{SS} \cdot t_r \; [J; V, A, s] \tag{2.31}$$

Za t_r dosadíme 150ns. Po dosazení dostaneme hodnotu energie pro jedno zapnutí tranzistoru W_{on} = 28,51µJ.

Jako další určíme energii na jedno vypnutí tranzistoru W_{off} podle vztahu 2.32.

$$W_{off} = \frac{1}{4} \cdot U_d \cdot I_{SS} \cdot t_f \; [J; V, A, s] \tag{2.32}$$

Za t_f dosadíme 160ns. Po dosazení dostaneme hodnotu energie pro jedno vypnutí tranzistoru W_{off} = 30,41µJ. Nyní můžeme určit přepínací ztráty pro jeden tranzistor $P_{přSS}$ podle vztahu 2.33.

$$P_{přSS} = f \cdot \left(W_{on} + W_{off}\right) \; [W; Hz, J] \tag{2.33}$$

Za f dosadíme 20kHz. Po dosazení dostaneme přepínací ztráty na jednom tranzistoru $P_{přSS}$ = 1,178W.

Nyní můžeme určit celkové přepínací ztráty $P_{přSScel}$ podle vztahu 2.34.

$$P_{přSSce} = 2 \cdot P_{přSS} \; [W; W] \tag{2.34}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu celkových přepínacích ztrát $P_{přSScel}$ = 2,356W.

2.3.4 Celkové ztráty a účinnost měniče

Teď můžeme určit celkové ztráty P_{ZSS} podle vztahu 2.35.

$$P_{ZSS} = P_{celSS} + P_{přSSce} \; [W; W] \tag{2.35}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu celkových ztrát P_{ZSS} = 26,14W. Z těchto ztrát a celkového výkonu můžeme určit účinnost měniče pro stejnosměrný motor podle vztahu 2.36.

$$\eta_{SS} = \frac{P_{SS} - P_{ZSS}}{P_{SS}} \cdot 100\ [\%; W] \tag{2.36}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu účinnosti η_{SS} = 85,48%.

2.4 Dimenzování chladiče

Odpor chladiče R_{thr} určíme podle vztahu 2.37, kde ϑ_j je maximální oteplení součástky, ϑ_Q je teplota okolí, R_{thjc} je tepelný odpor mezi polovodičem a pouzdrem a R_{ths} je tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem.

$$R_{thr} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_Q}{P_Z} - R_{thjc} - R_{ths}\ [{}^{\circ}C/_{W}; {}^{\circ}C, W, {}^{\circ}C/_{W}] \tag{2.37}$$

Za ϑ_j dosadíme 100°C, za ϑ_Q dosadíme 40°C, za R_{thjc} dosadíme 1,1°C/W a za R_{ths} dosadíme 0,1°C/W. Po dosazení dostaneme hodnotu tepelného odporu chladiče R_{thr} = 4,279°C/W. Dále můžeme určit i chladič pro připojení stejnosměrného motoru podle vztahu 2.38 [6].

$$R_{thrSS} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_Q}{P_{ZSS}} - R_{thjc} - R_{ths}\ [{}^{\circ}C/_{W}; {}^{\circ}C, W, {}^{\circ}C/_{W}] \tag{2.38}$$

Po dosazení dostaneme hodnotu tepelného odporu chladiče R_{thrSS} = 1,095°C/W.

2.5 Popis rozhraní pro připojení řídicích obvodů

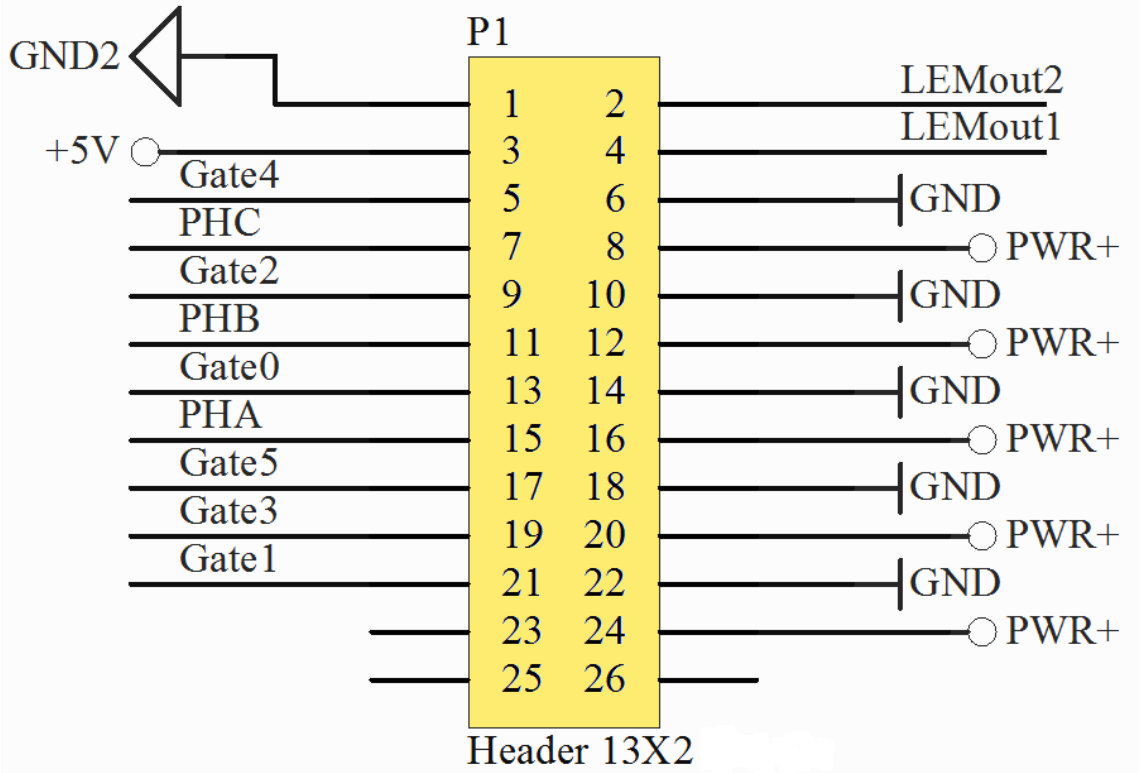
Rozhraní pro připojení řídicích obvodů je tvořeno dvouřadým 26 (2x13) pinovým konektorem. Zapojení rozhraní je na obrázku Obrázek 2.2. Na piny 1 a 3 je připojeno napájení proudových čidel. Na tyto piny se připojí napájecí napětí 5V z budičů. Toto napětí slouží pro napájení čidel proudu. Na piny 2 a 4 jsou připojeny výstupní signály z proudových čidel LEMout1 a LEMout2. Tyto výstupy nabývají hodnot od 0,5V při maximálním záporném proudu a 4,5V při maximálním kladném proudu. Toto proudové čidlo má převod 1A→25mV. Pokud přes čidlo neprotéká žádný proud, je na výstupu napětí 2,5V.

Na pinech 5, 9, 13, 17, 19 a 21 jsou připojeny hradla tranzistorů (Gate0-Gate5) z modulu MOS-FET SK115MD10. Na tyto vstupy se přivádí napětí 10V (max 20V) pro sepnutí tranzistoru a 0V pro vypnutí, ale nesmí se zapomenout na vstupní sériově zapojený rezistor R_G=56Ω. Budiče musí mít galvanicky oddělenou zem vůči desce měniče a jednotlivým tranzistorům, protože na tranzistorech bude plovoucí zem.

Na piny 7, 11 a 15 jsou připojeny výstupy PHA, PHB a PHC, jsou to výstupy pro antisaturační ochranu. Tyto výstupy nabývají hodnot 0-30V.

Na piny 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 je připojeno napájecí napětí výkonové desky, jedna dvojice je určena pro napájení desky budičů, druhá dvojce je určena pro měření napětí a zbylé tři dvojice slouží pro připojení antisaturační ochrany.

Po připojení napájení by se nemělo s konektorem manipulovat, tedy odpojovat a připojovat, protože by se mohly otevřít tranzistorové dvojice a tím by došlo k poškození tranzistorů a měniče. Na hradlech tranzistorů jsou umístěny odpory zapojené proti source každého tranzistoru, aby zamezili náhodnému sepnutí při doteku na signál gate0-5 na konektoru, kdy by mohlo dojít k otevření tranzistoru.



Obrázek 2.2:Připojovací rozhraní

3 REALIZACE

V této kapitole se budeme zabývat popisem desky a rozložením součástek. Dále si rozebereme postup osazování desky plošného spoje měniče.

3.1 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 nejblíže 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.

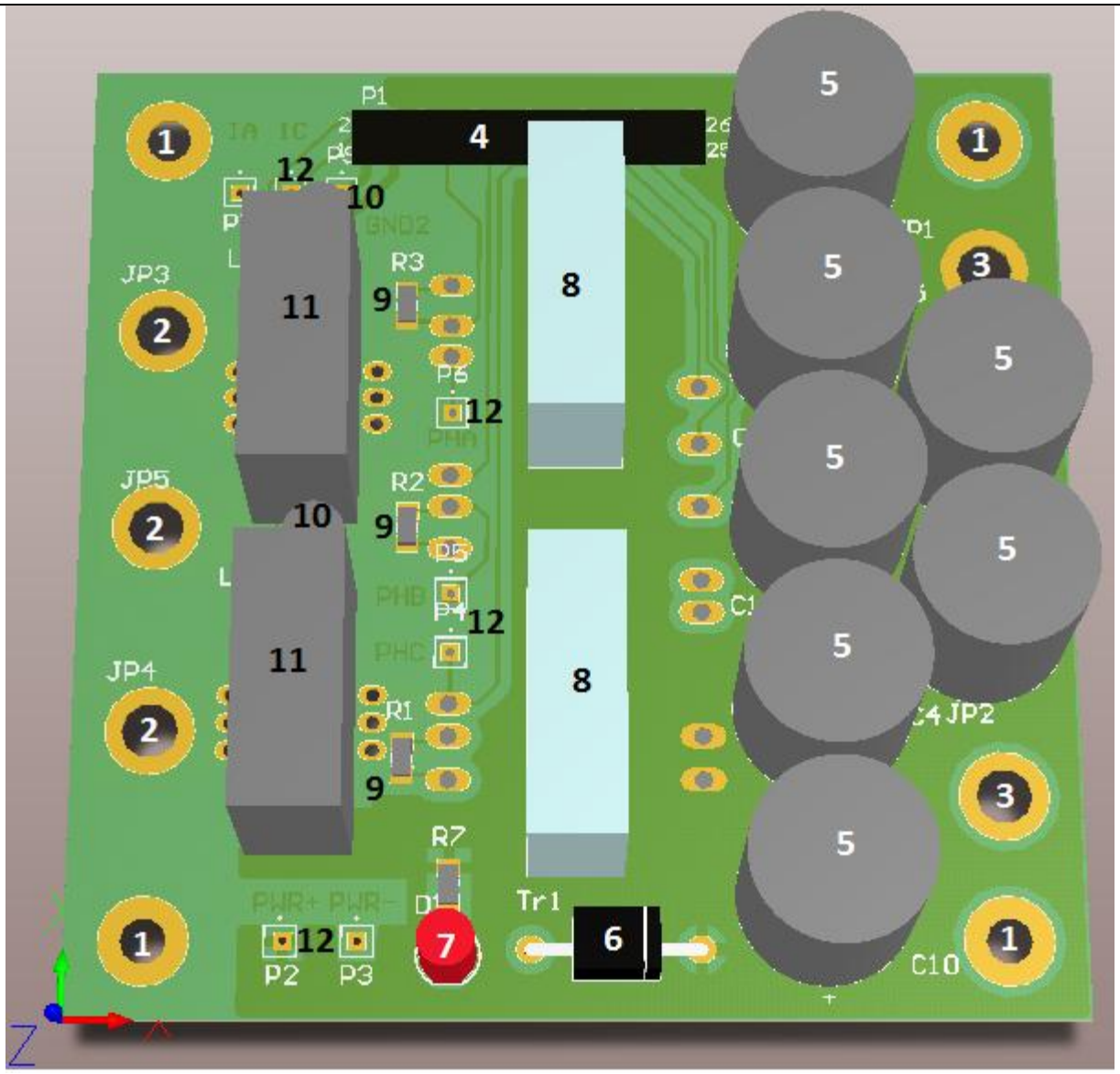
Na horní hraně desky je umístěn konektor pro připojení řídících obvodů a výstup pro možnost měření napěťových a proudových průběhu v obvodu.

V pravé části desky jsou umístěny kondenzátory meziobvodu měniče.

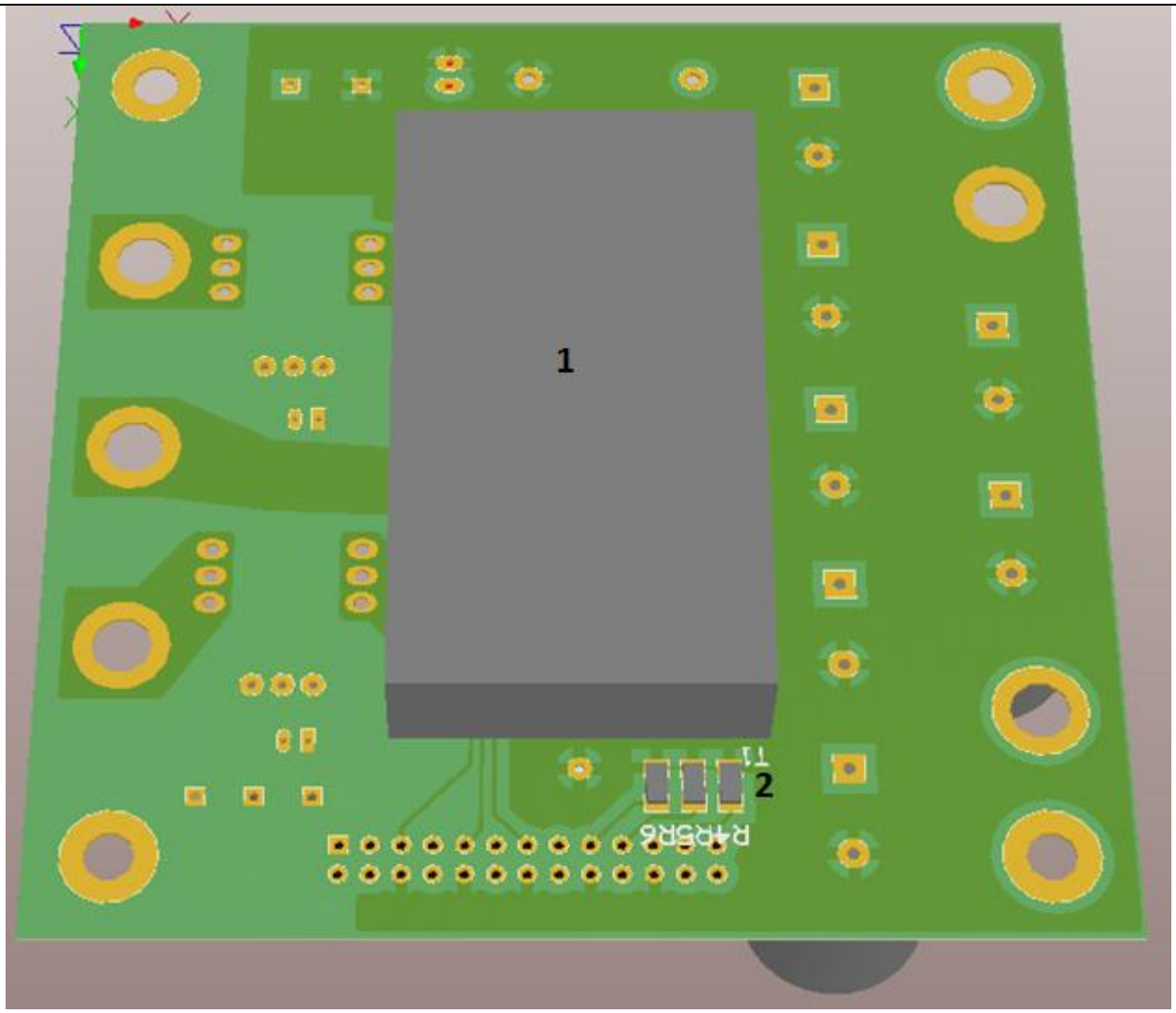
Vzhledem k tomu, že deska měniče musí být upevněna do laboratorního soustrojí, jsou v rozích desky navrženy prokovené díry, které jsou potřeba pro umístění distančních vzpěr.

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.



Obrázek 3.1: 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.)

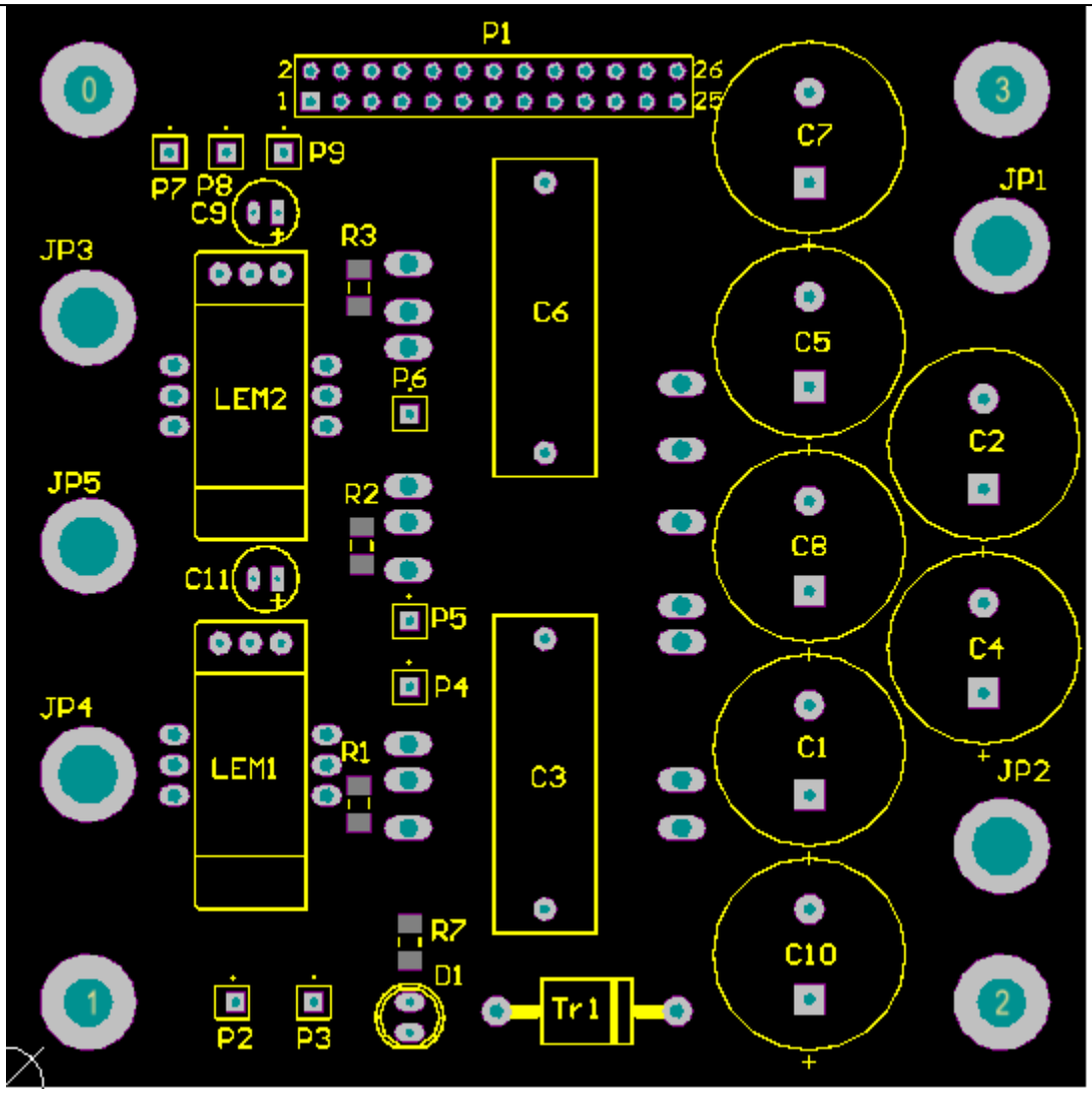


Obrázek 3.2: Pohled na desku ze spodní strany(1. Modul SK115MD10, 2. Rezistory ochrany hradel tranzistorů)

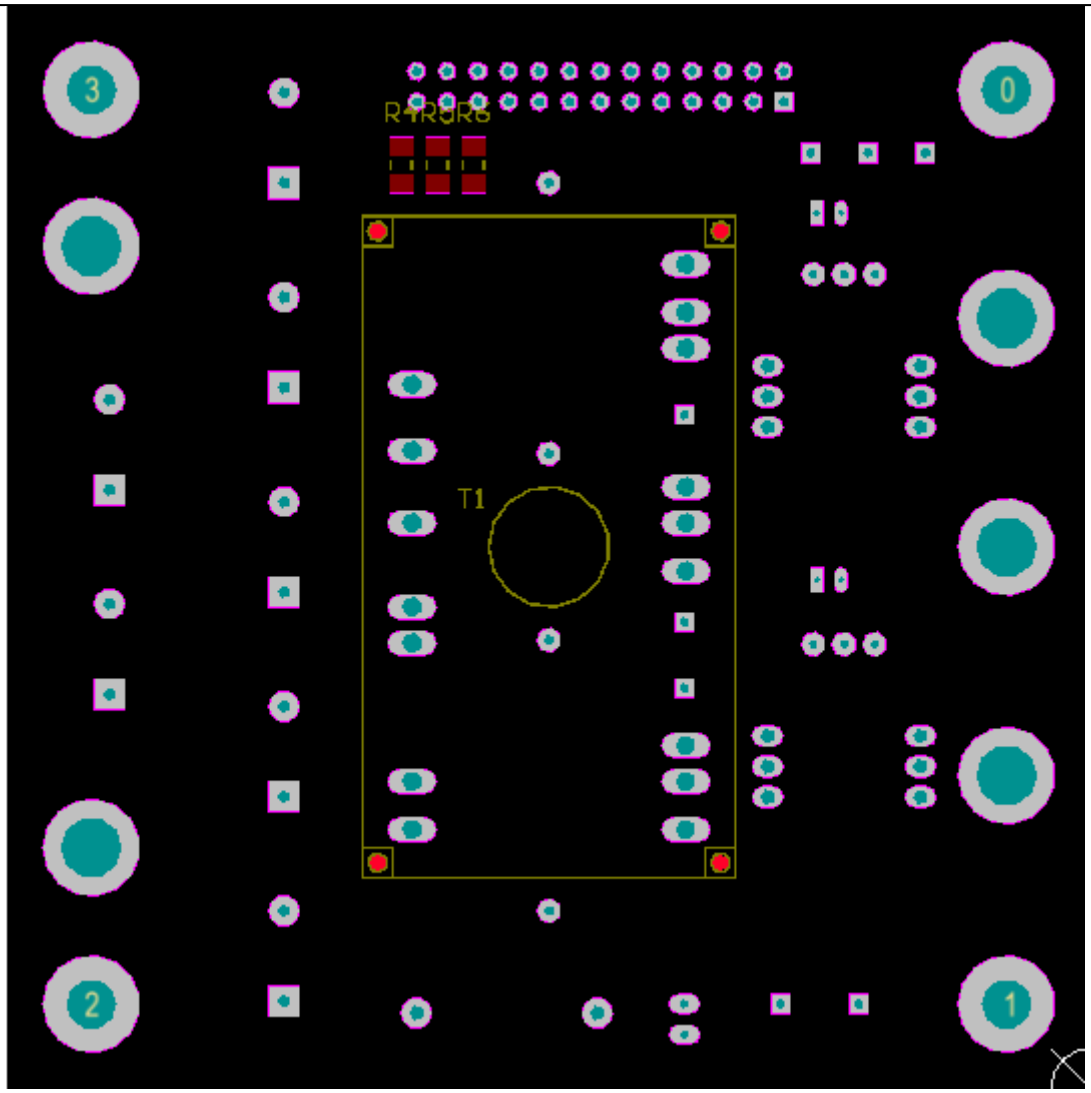
3.2 Postup při osazování desky

Při osazování desky plošných spojů je potřeba dodržovat určitá pravidla, aby při samotném pájení nedocházelo k problémům s nedostatkem místa při pájení malých součástek a těžko dostupných pájecích bodů. Nejdříve je tedy nutno začít s pájením SMD rezistorů R1-7 z horní i spodní strany, což je patrno z obrázku 3.3 a 3.4. Jako další se z horní strany napájí testpiny P2-9. Jako další osadíme kondenzátory C3 a C6, protože potom už by k pájecím bodům nebyl přístup. Po připájení těchto kondenzátorů se ze spodní strany osadí modul T1.

Jakmile je připájený modul T1, můžeme začít opět osazovat na horní straně. Při osazování postupujeme podle výšky součástek, tj. nejdříve kondenzátory C9 a C11, které jsou z použitých součástek nejnižší. Jako další součástku ve spodní části desky napájíme transil Tr1. Následně pak LED diodu D1, konektor P1 a proudová čidla LEM1 a LEM2. Na závěr se na desku připájí kondenzátory C1, C5, C7, C8 a C10. Pájecí místa pro Kondenzátory C2 a C4 jsou navržena navíc a budou se osazovat jen v případě potřeby.



Obrázek 3.3:Osazovací plánek top vrstva



Obrázek 3.4:Osazovací plánek bottom vrstva

4 ZÁVĚR

Práce se zabývala návrhem výkonové části měniče pro asynchronní motor. Vycházelo se ze základního schématu pro třífázový měnič. Hlavní součástí měniče je výkonový MOS-FET modul SK115MD10. Ten byl společně s ostatními součástkami dimenzován podle jmenovitých parametrů daného asynchronního motoru. Měnič byl záměrně předimenzován, aby byl schopný odolávat přetížení i případným chybám obsluhy.

V rámci návrhu byly určeny ztráty vedením na tranzistorech (1,017W) a na nulových diodách (0,5872W), které jsou součástí modulu. Dále byly určeny i přepínací ztráty na těchto tranzistorech (1,138W). Z přepínacích ztrát a ze ztrát vedením byla určena účinnost měniče (93,92%) a tepelný odpor chladiče (4,279°C/W). Vzhledem k malé hodnotě ztrátového výkonu byla jako chladič využita konstrukce soustrojí.

V požadavcích laboratoře bylo i využití navrhovaného měniče pro řízení stejnosměrného motoru. Pro tento případ byly zvlášť vypočteny potřebné hodnoty; ztráty vedením v tranzistorech (5,234W), na nulových diodách (6,655W), přepínací ztráty na tranzistorech (2,356W), účinnost měniče (85,48%) a tepelný odpor chladiče (1,095°C/W). I pro tento případ je dostačující jako chladič konstrukce soustrojí.

Na základě zvolených součástek byla navržena deska pomocí programu Altium Designer. V přílohách jsou uvedeny návrhy plošných spojů včetně rozměrů desky. Tato deska je detailně popsaná v kapitole 3.1, postup osazování včetně osazovacích plánků je v kapitole 3.2

LITERATURA

[1] MRAVEC, Rudolf. *Elektrické stroje a přístroje*: *I. Elektrické stroje*. Vydání druhé, nezměněné. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982, 426 s.

[2] *Asynchonní motor* [online]. [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: http://www.mindconnection.com/images/library/motorslip/AC%20Induction%20Motor%20cutaway.jpg

[3] PATOČKA, Miroslav. *Vybrané statě z výkonové elektroniky svazek II.*: *pulsní měniče bez transformátoru*. Brno: VUT, 2005, 104 s.

[4] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické servopohony*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 86 s. ISBN 80-214-1978-4.

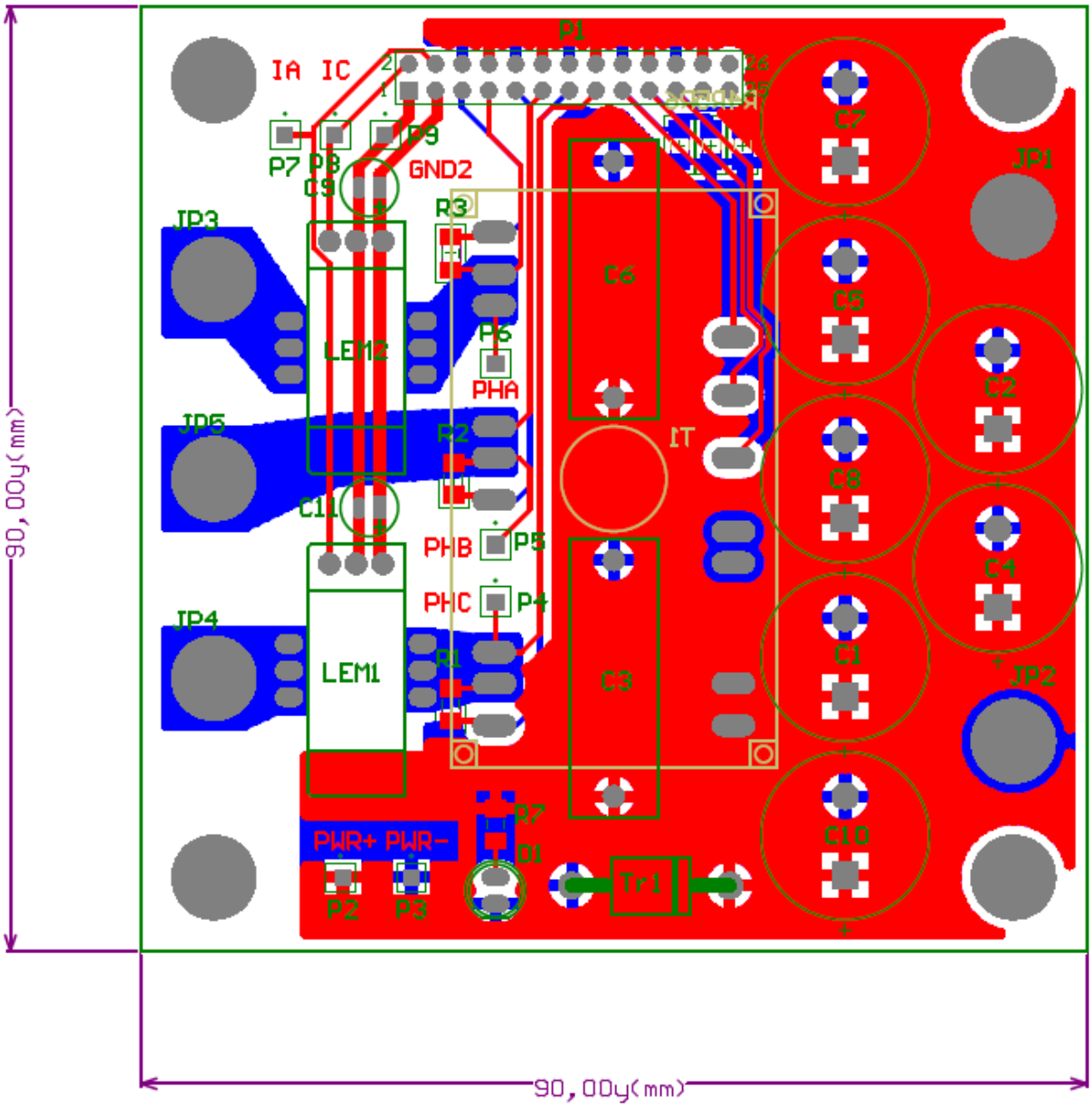
[5] PATOČKA, Miroslav. *Matematický nástroj pro analýzu PWM signálů, jeho užití ve střídavých pohonech*. 1. vyd. Brno: VUT, 2000, 26 s. ISBN 80-214-1646-7.

[6] PATOČKA, Miroslav. *Vybrané statě z výkonové elektroniky svazek I.*: *Tepelní jevy, činný výkon*. Brno: VUT, 2005, 61 s.

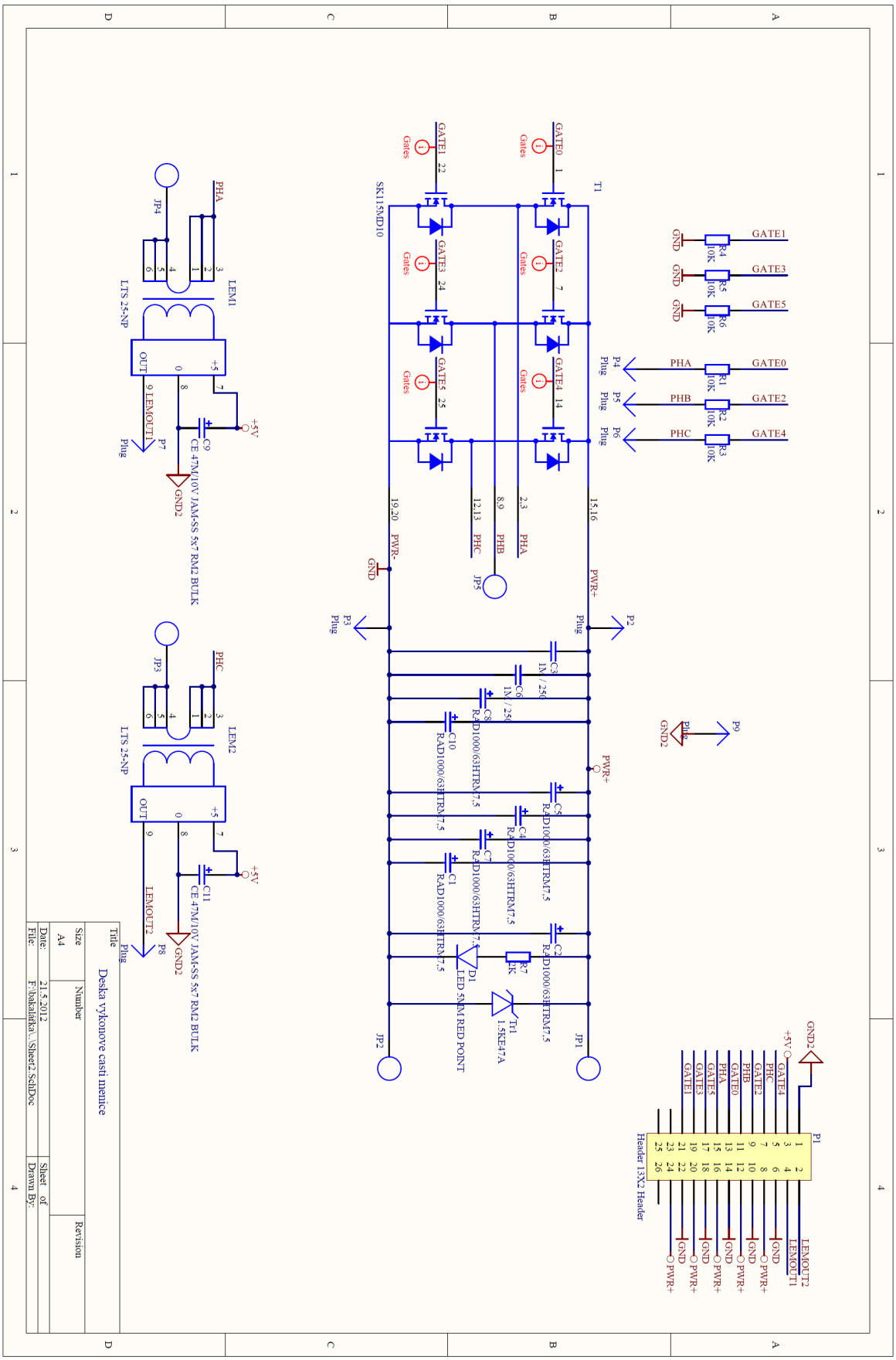
[7] *Datasheety* [online]. 2003, 2012 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: alldatasheet.com

PŘÍLOHY

Příloha 1: Rozměry desky



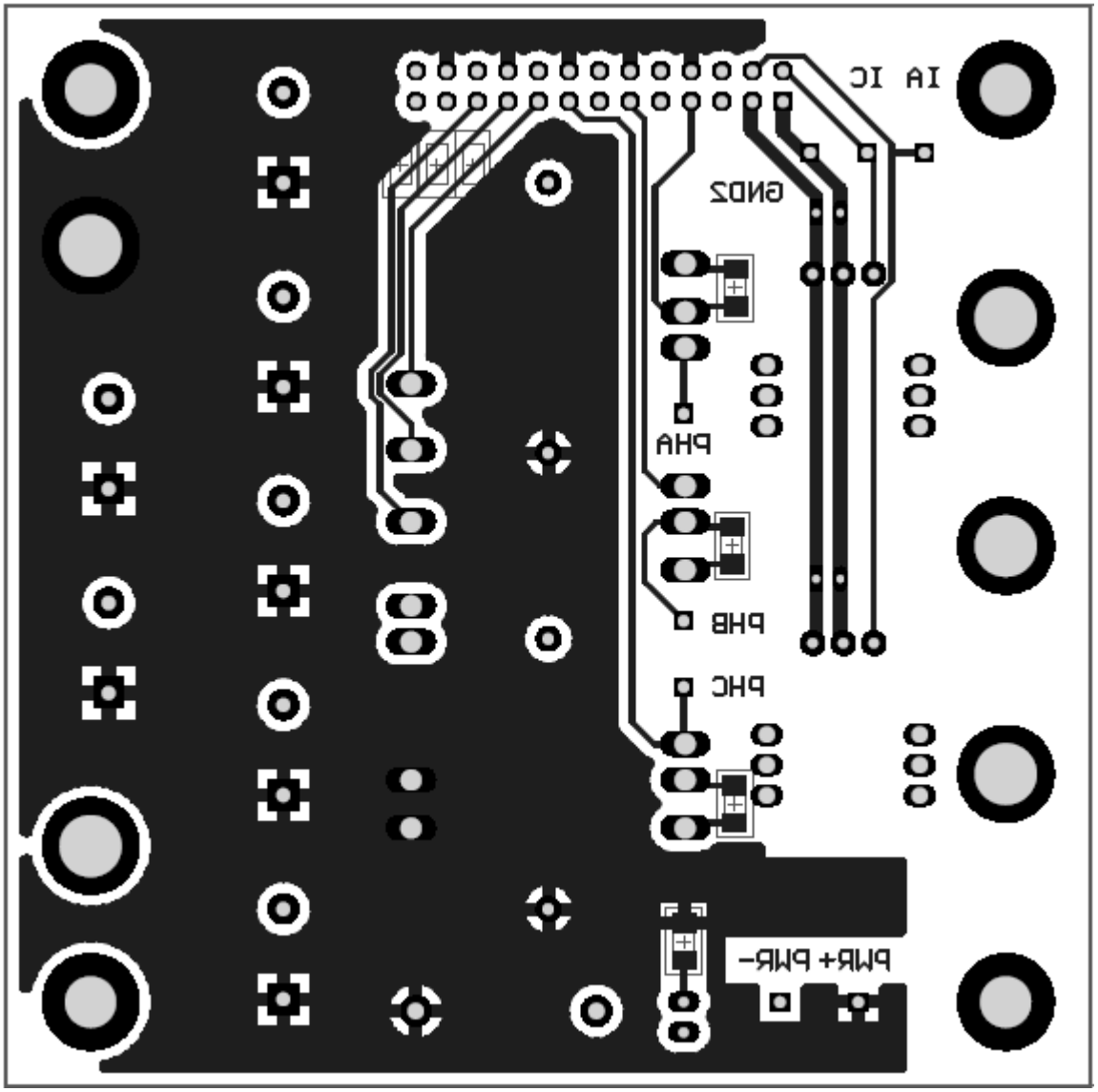
Příloha 2: Schéma zapojení



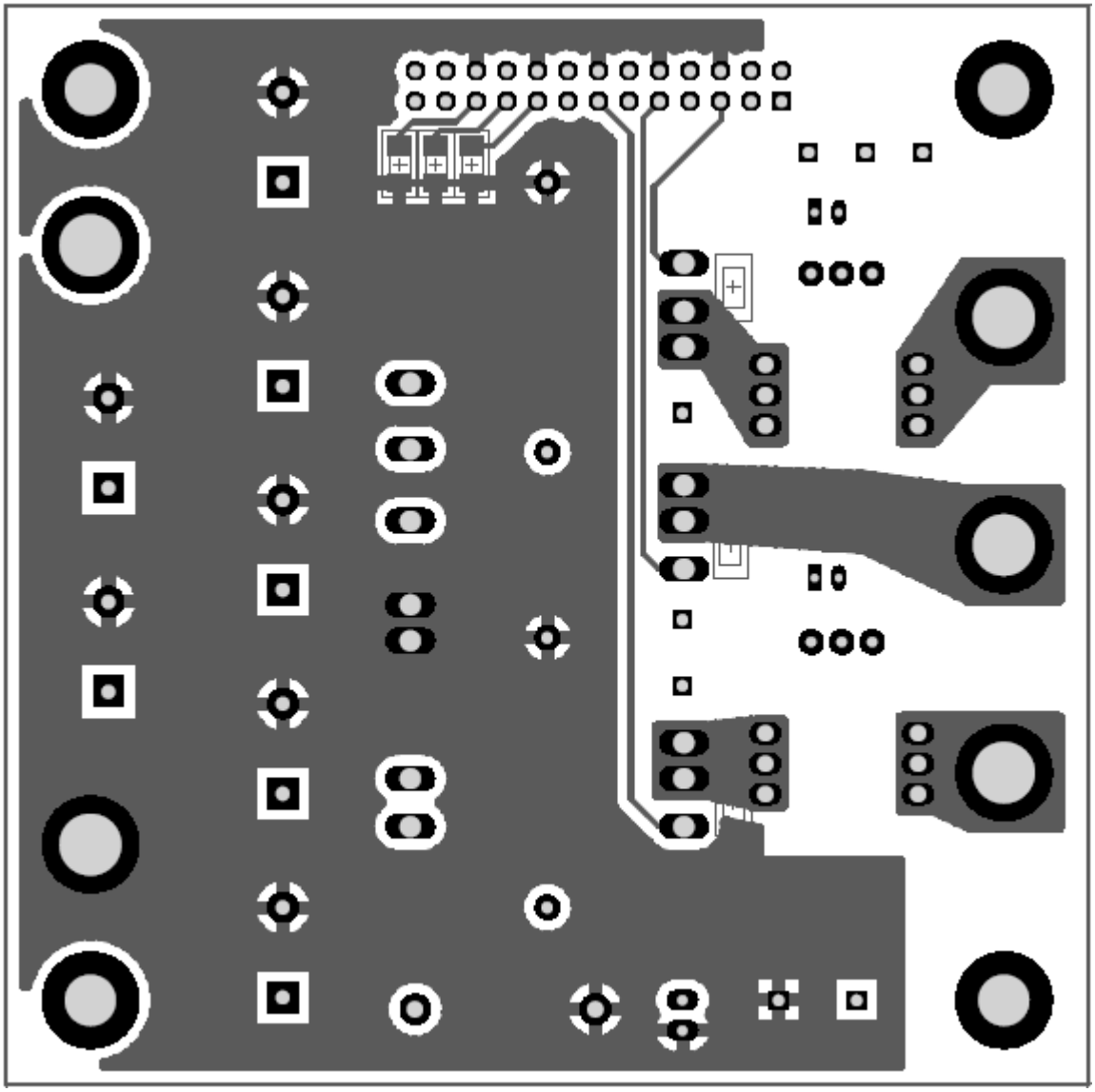
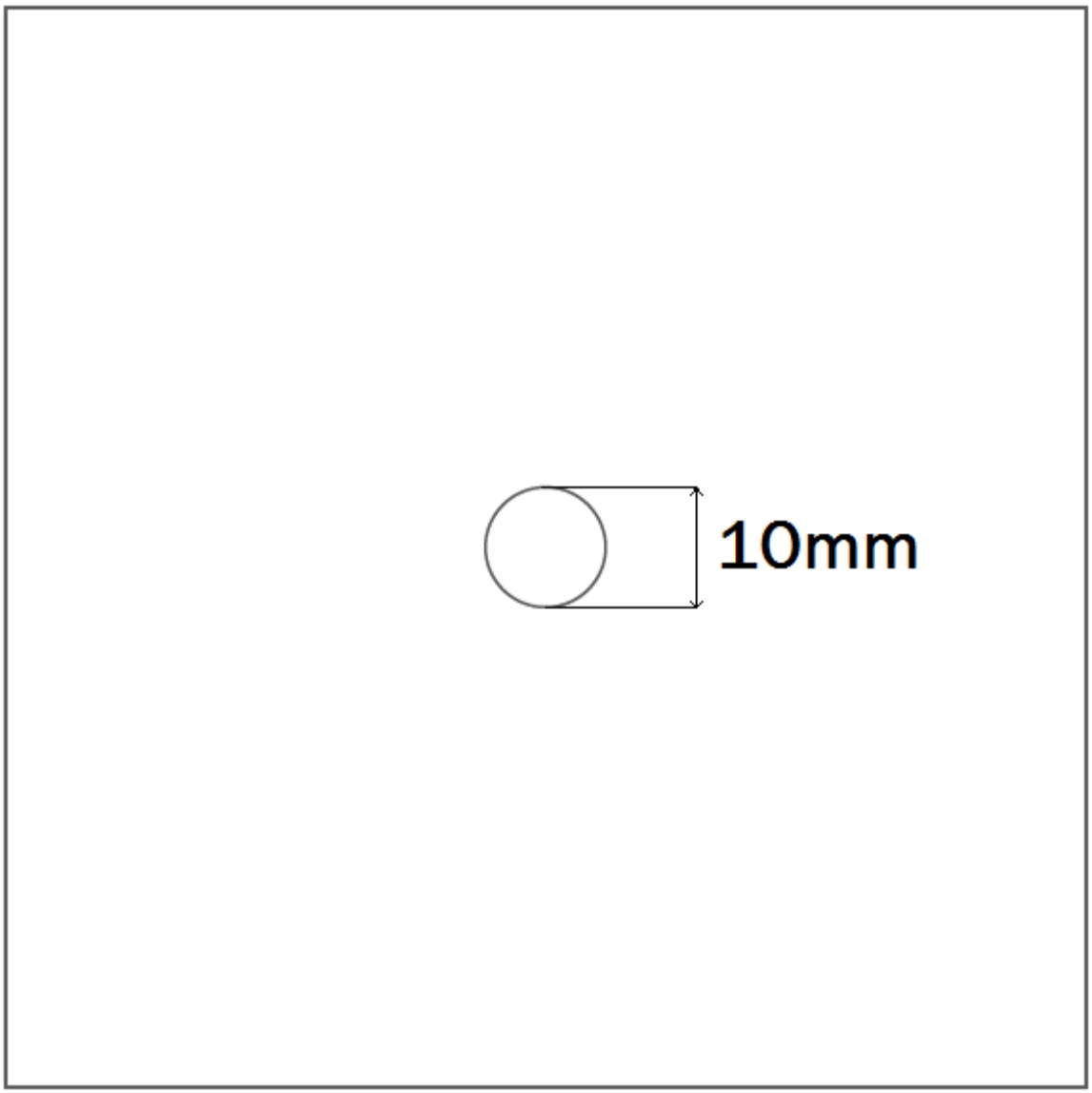
Příloha 3: Seznam součástek

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
RAD1000/ 63HTRM7,5		C1, C2, C4, C5, C7, C8, C10	CAPPR7.5-16x20	RAD1000/ 63HTRM7,5	7
1M / 250	1M / 250 R75/ j 4R22 AR	C3, C6	MKP10-300N/400V	MKP10-330N/400V	2
CE 47M/ 10V JAM-SS 5x7 RM2 BULK		C9, C11	CAP_ELYT_5x7	CE 47M/ 10V JAM-SS 5x7 RM2 BULK	2
LED 5MM RED POINT		D1	DIODA 5mm	LED 5MM RED POINT	1
pin		JP1, JP2, JP3, JP4, JP5	pin	pin	5
LTS 25-NP		LEM1, LEM2	LTS 25-NP	LTS 25-NP	2
Header 13X2 Header		P1	HDR2X13	Header 13X2 Header	1
Plug	Plug	P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9	PIN1	Plug	8
10K		R1, R2, R3, R4, R5, R6	RESC3216M	Res	6
2K		R7	RESC3216M	Res	1
SK115MD10	SK115MD10, MOSFET Module	T1	SK115MD10	SK115MD10	1
1.5KE47A		Tr1	1.5KE47A	1.5KE47A	1

Příloha 4: Plošný spoj ze strany top



Příloha 5: Plošný spoj strana bottom



Příloha 6: Obrys desky