

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA v PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY a
TELEKOMUNIKACÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh měniče pro kompresor

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub BROUSIL**
Osobní číslo: **E13B0175P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Návrh měniče pro kompresor**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Specifikujte parametry zdroje a kompresoru.
2. Navrhněte konkrétní součástky pro dané zapojení měniče 24/12V pro kompresor.
3. Pro součástky vytvořte plošný spoj.
4. Spoj osadte a uveďte do provozu. Provedte měření vhodných veličin.
5. Shrňte dosažené výsledky, specifikujte kritická místa a pracovní podmínky měniče.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Alexandr Krejčířík: DC/DC měniče. BEN 2002, ISBN 80-7300-045-8
2. Katalogové listy součástek

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem DC/DC měniče napětí z 24/12V pro kompresor. v hlavní části jsou rozepsány specifikace zdroje, kompresoru a popis konkrétních součástek pro dané zapojení měniče. Důraz je kladen na sestavení zapojení pro snižující měnič, vybrání řídicích obvodů dostupných na trhu elektronických součástek a výrobu desky plošného spoje.

Další část práce se převážně věnuje osazení desky plošného spoje, uvedení do provozu a změření vstupních a výstupních veličin. Výsledkem je vytvoření osazovacích plánů měniče, zatěžovací charakteristiky a doporučený výběr součástek.

Klíčová slova

DC/DC měnič, snižující pulzní měnič, DPS, Eagle

Draft converter for connecting the compressor

Abstract

This bachelor thesis describes the design DC / DC converter voltage of 24/12V for connecting to the compressor. In the main part are detailed specification of resources, the compressor and the description of specific parts for the wiring converter. The emphasis is placed on the composition of the wiring for lowering the drive, selecting the control circuits available on the market of electronic components and production of printed circuit board.

The next part is mainly putting it on PCB mounting, put it into operation and measuring of input and output variables. The result is creating plan transducers, load characteristics and recommendation of the selection of components.

Keywords

DC/DC converter, lowering converter, DPS, Eagle

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 30.5.2016

Jakub Brousil

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 DC/DC MĚNIČ.....	12
1.1 SNIŽOVACÍ PULZNÍ MĚNIČ [1]	12
1.2 PARAMETRY KOMPRESORU	13
1.3 PARAMETRY ZDROJE	14
2 KONSTRUKCE MĚNIČE.....	16
2.1.1 <i>Lineární stabilizátor napětí</i>	16
2.1.2 <i>LM7809</i>	17
2.2 ASTABILNÍ KLOPNÝ OBVOD.....	18
2.2.1 <i>NE555</i>	19
2.3 TRANZISTOR MOSFET.....	20
2.3.1 <i>IRF540N</i>	21
2.4 PŘEPĚŤOVÁ OCHRANA.....	22
2.4.1 <i>Pasivní přepěťová ochrana [7]</i>	23
2.5 KONDENZÁTOR (SNUBBER).....	23
2.5.1 <i>MKP R75 [8]</i>	24
2.5.2 <i>MKS RM 2,5 [9]</i>	24
2.6 MBR3045	25
3 VÝROBA DPS	26
3.1 SOFTWARE	27
3.1.1 <i>Schéma</i>	27
3.1.2 <i>Board</i>	29
3.2 NÁVRHOVÁ PRAVIDLA [12]	30
3.3 VÝROBA A OSAZENÍ DPS.....	32
4 TESTOVÁNÍ DPS.....	33
4.1 NEZATÍŽENÝ KOMPRESOR	33
4.2 ZATÍŽENÝ KOMPRESOR.....	35
4.3 NAPĚTÍ LM7809.....	36
ZÁVĚR.....	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	38
PŘÍLOHY	A
PŘÍLOHA A – SEZNAM SOUČÁSTEK PRO NÁVRH MĚNIČE.....	A
PŘÍLOHA B – SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	B
PŘÍLOHA C – OSAZOVACÍ VÝKRES (BOTTOM) VRSTVY	C
PŘÍLOHA D – ŠABLONA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE (MĚŘÍTKO 1:1)	D

Seznam obrázků

OBR 1.2 SNIŽOVACÍ PULZNÍ MĚNIČ [1].....	12
OBR 1.3 KOMPRESOR S MĚŘIČEM TLAKU [2].....	13
OBR 1.4 LiFePO ₄ [3].....	14
OBR 2.1 BLOKOVÉ SCHÉMA MĚNIČE	16
OBR 2.2 LINEÁRNÍ STABILIZÁTOR LM7809	17
OBR 2.3 POUZDRO A OBSAZENÍ KONEKTORŮ [4]	17
OBR 2.4 ZAPOJENÍ NE555.....	19
OBR 2.5 POUZDRO A OBSAZENÍ KONEKTORŮ NE555 [5].....	20
OBR 2.6 POUZDRO A OBSAZENÍ KONEKTORŮ IRF540N	21
OBR 2.7 PARAZITNÍ KAPACITY TRANZISTORU.....	22
OBR 2.8 PASIVNÍ PŘEPĚŤOVÉ OCHRANY	23
OBR 2.9 PARALELNÍ ZAPOJENÍ SNUBBERŮ	23
OBR 2.10 MKP R75.....	24
OBR 2.11 POUZDRO A OBSAZENÍ KONEKTORŮ MBR3045.....	25
OBR 3.1 SCHEMATICKÝ EDITOR EAGLE.....	28
OBR 3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚNIČE PRO KOMPRESOR	28
OBR 3.3 EDITOR SPOJŮ EAGLE.....	29
OBR 3.4 ROZMĚRY DPS MĚNIČE	29
OBR 3.5 OSAZOVACÍ PLÁN MĚNIČE.....	30
OBR 3.6 NEOSAZENÁ DPS MĚNIČE	32
OBR 4.1 VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKA KONSTANTĚ ZATÍŽENÉHO MĚNIČE NEZATÍŽENÝM KOMPRESOREM.....	34
OBR 4.2 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ PŘI $U_{IN} = 24\text{ V}$	34
OBR 4.3 VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKA KONSTANTNĚ ZATÍŽENÉHO MĚNIČE S RŮZNÝMI ZÁTĚŽEMI KOMPRESORU	35

Seznam tabulek

TAB. 1.1 POŽADAVKY NA MĚNIČ	12
TAB. 1.2 PARAMETRY KOMPRESORU [2]	13
TAB. 1.3 PARAMETRY ZDROJE [3]	15
TAB. 2.1 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI LM7809 [4]	18
TAB. 2.2 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI NE555 [5]	20
TAB. 2.3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI IRF540N [6]	21
TAB. 2.4 PARAMETRY MKP R75	24
TAB. 2.5 PARAMETRY MKS RM 2,5	24
TAB. 2.6 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI MBR3045PT [10]	25
TAB. 3.1 SEZNAM SOUČÁSTEK	26
TAB. 4.1 VÝSTUPNÍ HODNOTY MĚNIČE	33
TAB. 4.2 VÝSTUPNÍ HODNOTY MĚNIČE	35
TAB. 4.3 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ STABILIZÁTORU LM7809	36

Seznam symbolů a zkratek

<i>AKO</i>	Astabilní klopný obvod
DC	Stejnoseměrná hodnota
DPS	Deska plošného spoje
<i>f</i>	Frekvence [<i>Hz</i>]
<i>I_d</i>	Střední hodnota proudu [<i>A</i>]
P	Tlak kompresoru [<i>PSI</i>]
SMD	Povrchová montáž součástky
SNUBBER.....	Kondenzátor
SP	Spínač
T	Perioda signálu [<i>s</i>]
T _H	Perioda výstupní hodnoty na vysoké úrovni [<i>s</i>]
T _L	Perioda výstupní hodnoty na nízké úrovni [<i>s</i>]
<i>U</i>	Napájecí napětí [<i>V</i>]
<i>U_d</i>	Střední hodnota napětí [<i>V</i>]
<i>U_I</i>	Vstupní napětí [<i>V</i>]
<i>U_i</i>	Indukované napětí motoru [<i>V</i>]
<i>U_O</i>	Výstupní napětí [<i>V</i>]
X1, X2	Označení svorkovnic

Úvod

Předkládaná bakalářská práce má za cíl vytvoření návrhu a konstrukce měniče pro kompresor. Jedná se o stejnosměrný (DC/DC) snižovací měnič, který se bude používat k převodu napětí z akumulátorového zdroje 24V na výstupní napětí 12V pro kompresor. Při napájení kompresoru klasickým lineárním zdrojem byl problém s velkými rozměry a hmotností, a proto vznikl tento projekt s cílem optimalizovat nevyhovující vlastnosti zdroje. Nevýhodou měničů je jejich složitý návrh a výběr vhodných součástek.

V první části se seznámíme s funkcí DC/DC konvertorů a rozpisem vhodných součástek pro kompresorový měnič napětí. V další kapitole následuje sestavení technické dokumentace na výrobu plošného spoje a vytvoření osazovacího plánu. Poté následuje postup výroby pulzního měniče a na závěr test funkce v laboratorních podmínkách a v praxi.

Výsledkem práce je zkonstruování snižovacího měniče pro kompresor a jeho otestování. Výstupem je schéma zapojení s doporučeným seznamem vhodných součástek, které jsou dostupné na trhu, šablona pro výrobu desky plošného spoje a výstupní charakteristiky měniče.

1 DC/DC měnič

DC/DC měniče, neboli stejnosměrné (pulzní) měniče napětí jsou určeny pro změnu velikosti střední hodnoty stejnosměrného napětí a proudu. Může to být jakýkoliv obvod, který zvyšuje, nebo snižuje velikost vstupního napětí.

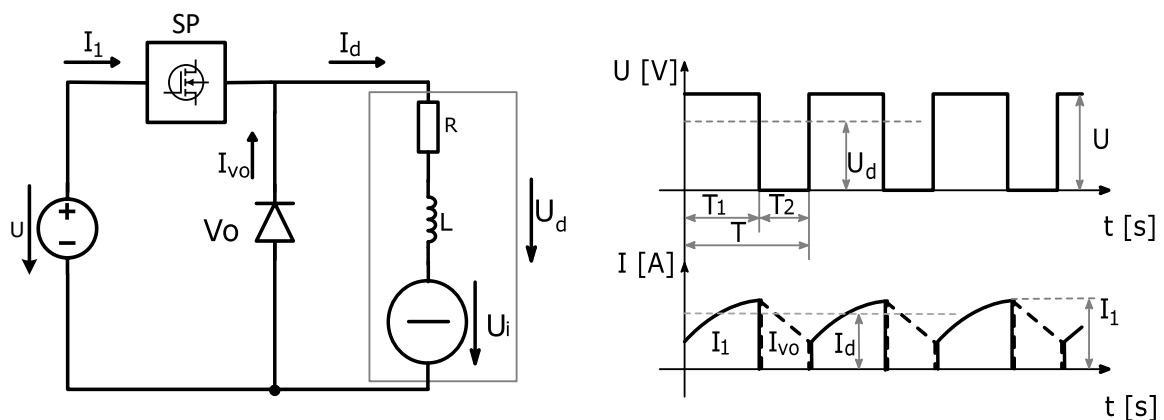
Navržený měnič musí snížit napětí ze zdroje na požadovanou hodnotu kompresoru. Další požadavky pro navrhovaný měnič jsou v *Tab. 1.1*.

Tab. 1.1 Požadavky na měnič

Napětí zdroje	24	V
Napětí na kompresoru	12	V
Maximální proud kompresorem	16	A
Teplota okolí	0 – 45	°C

Abychom snížili vstupní napětí, musíme navrhnout snižovací pulzní měnič.

1.1 Snižovací pulzní měnič [1]



Obr 1.2 Snižovací pulzní měnič [1]

Základní schéma měniče je na *Obr 1.2*. Měnič je tvořen spínačem SP a nulovou diodou V_0 . Zátěží je motor a pro motorický režim musí platit podmínka $u > U_d$. Při sepnutí spínače SP (perioda T_1), je napětí na zátěži $U_d = U$. Proud I_d teče přes spínač SP. Po vypnutí SP, proud I_d nebude přerušen, ale vlivem indukčnosti se uzavře přes V_0 (perioda T_2). Střední hodnotu napětí U_d a proudu I_d lze odvodit z průběhu U a I_1 , kde platí:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_1} U dt = U \frac{T_1}{T} \quad (1.1)$$

$$I_d = \frac{U_d + U_i}{R} \quad (1.2)$$

Perioda T z rovnice (1.1) je dána sumou dob sepnutého a vypnutého spínače ($T_1 + T_2$). Poměr T_1 a T je tzv. poměrná doba zapnutí. Tato doba je řízena signálem vstupujícím do SP. Teoreticky je rozsah řízení v rozmezí $0 \leq U_d \leq U$. Nicméně skutečný rozsah regulovaného napětí je nižší.

Při výpočtu střední hodnoty proudu viz rovnice (1.2) uvažujeme střední hodnotu napětí na L nulovou v ustáleném stavu.

Výkon lze přenášet pouze ze zdroje do zátěže (motoru). Při sepnutém SP přijímá zátěž energii ze zdroje. Naopak při vypnutém SP se energie naakumulovaná v L uvolní, část přijme U_i a zbytek energie se přemění na ztrátové teplo na R .

1.2 Parametry kompresoru



Obr 1.3 Kompresor s měřičem tlaku [2]

Navržený měnič je zaměřen na dodávání elektrické energie pro výkonný vzduchový kompresor s měřičem tlaku Obr 1.3. Jedná se o stroj, který pomocí pístu ve válci stlačuje plyn a poté se vytlačí výtlačným ventilem z válce. Takovýto kompresor se nazývá „pístový kompresor“. Tyto stroje se využívají např. v potravinářství, nebo automobilovém průmyslu. Součástí kompresoru je i analogový tlakoměr. Parametry vzduchového kompresoru jsou definovány v Tab. 1.2.

Tab. 1.2 Parametry kompresoru [2]

Napájecí napětí DC	12	V
Max. proud	16	A
Max. výtlač	35	L/Min
Max. tlak	150	PSI

1.3 Parametry zdroje

Pro napájení je použita moderní technologie uskladněné elektrické energie. Jedná se o průmyslové lithium železo fosfátové akumulátory v paralelním zapojení, jejichž výstupní napětí je 24V. Tyto akumulátory jsou vytvořeny na bázi bezpečné technologie LiFePO₄. Výhodou této technologie je nízká hmotnost a vysoká hustota energie.

Vlastnosti [3]:

- *monolitický lithiový akumulátor 12V*
- *rozsah provozního napětí 11,5 až 14,8V*
- *neobsahuje toxické látky, jedy, žíraviny nebo kyseliny*
- *bezpečný: nehoří, nevybuchuje a neobsahuje tekutý elektrolyt*
- *nízké samovybíjení*
- *životnost nejméně 10 let*
- *možnost rychlonabíjení*
- *vysoký rozsah pracovních teplot (-20 °C až + 65 °C)*



Obr 1.4 LiFePO₄ [3]

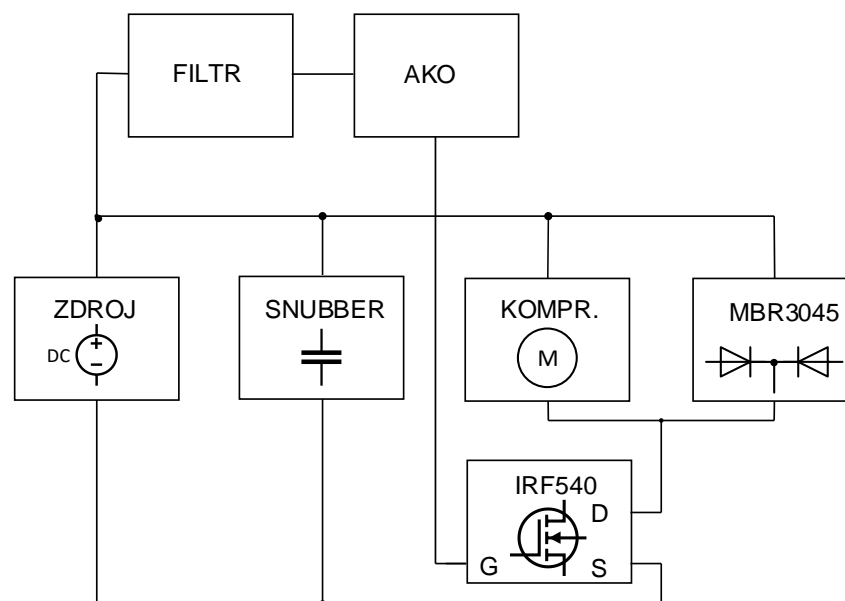
Podrobné parametry zdroje viz *Tab. 1.3*.

Tab. 1.3 Parametry zdroje [3]

Hmotnost	3,44	kg
Výška	181	mm
Šířka	167	mm
Hloubka	77	mm
Jmenovité napětí	12	V
Kapacita	20	Ah
Max. vybíjecí proud	200	A
Optimální vybíjecí proud	10	A
Max. nabíjecí proud	20	A
Optimální nabíjecí proud	10	A

2 Konstrukce měniče

Měnič se skládá z funkčních bloků, které jsou ilustrovány na *Obr 2. 1*. Okruh pro časovací část je složen ze vstupního filtru a AKO (astabilní klopný obvod). Dle požadavku je vstupní filtr lineární stabilizátor LM7809 a AKO typu NE555. Výkonová část je vytvořena Schottkyho diodou (MBR3045) a MOSFET tranzistorem (IRF540). Paralelní zapojení snubberu mezi zdroj a výkonovou část, se využívá k potlačení rychlého nárůstu napětí a tím se omezí špičkové napětí na spínači. Pomocí snubberu lze snížit ztráty během vypínání spínače a zabránit chybnému spínání.



Obr 2.1 Blokové schéma měniče

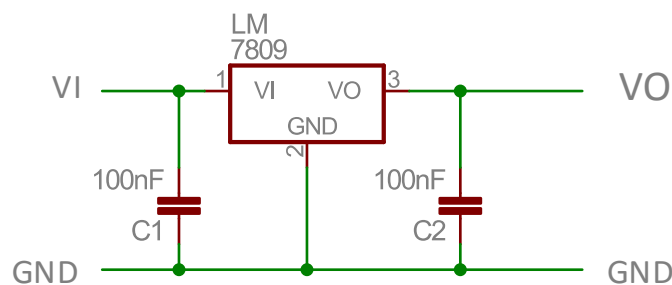
2.1.1 Lineární stabilizátor napětí

Lineární stabilizátor napětí zajišťuje stabilizaci vstupního napětí a dodání potřebného stabilního výstupního napětí. V návrhu je použita řada LM78XX. Je navržena s tepelnou pojistkou, která vypne okruh, dojde-li k přetížení vlivem vysokého vstupního napětí. Obsahuje vnitřní ochranu proti zkratu, která omezuje maximální proud obvodu, a výstupní tranzistor, který zabezpečuje oblast výstupu snížením zkratového proudu.

V aplikacích s nízkým proudem nejsou kompenzační kondenzátory nutné. Kondenzátory je doporučeno zařadit do obvodu, pokud je stabilizátor připojen k napájení dlouhými vodivými cestami, nebo v případě, že zátěž má vysokou výstupní kapacitu. Kompenzační kondenzátory by měly být vybrány tak, aby zajistili stabilní provoz za všech podmínek a poskytly dobré vysokofrekvenční charakteristiky.

Vlastnosti [4]:

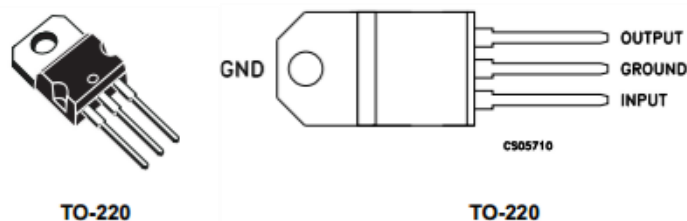
- Výstupní proud až 1,5A
- Výstupní napětí 5V; 6V; 8V; 8,5V; 9V; 12V; 15V; 18V; 24V
- Tepelná pojistka proti přetížení
- Ochrana proti zkratu
- 2 % tolerance výstupního napětí (závisí na verzi)

2.1.2 LM7809

Obr 2.2 Lineární stabilizátor LM7809

Pro napájení nestabilního klopného obvodu potřebujeme stabilní napětí 9V. To nám zajistí lineární stabilizátor řady LM7809. Zapojení je zobrazeno na *Obr 2.2*. Připojené vstupní a výstupní kondenzátory (C1 a C2) jsou keramické s kapacitou 100nF. Keramické kondenzátory byly zvoleny z důvodu nízké vnitřní impedance při vysokých frekvencích. Přestože výstupní kondenzátor C2 není potřebný pro stabilitu, používá se pro zlepšení přechodové odezvy.

Při výrobě je použito pouzdro typu TO – 255. Jedná se o nejpoužívanější typ pouzdra. Obsazení konektorů a pouzdro je na *Obr 2.3* a elektrické vlastnosti v *Tab. 2.1*.



Obr 2.3 Pouzdro a obsazení konektorů [4]

Tab. 2.1 Elektrické vlastnosti LM7809 [4]

Symbol	Parametr	Zkušební podmínky	Typ.	Max.	Jednotky
VI	Vstupní napětí	VO = 5 – 18 V	-	35	V
VO	Výstupní napětí	IO = 5 mA – 1 A VI = 11,5 – 22 V	9	9,45	V
Id	Klidový proud	TJ = 25 °C	-	8	mA
Vd	Ztráta napětí	IO = 1 A, TJ = 25 °C	2	-	V
RO	Výstupní odpor	f = 1 kHz	17	-	mΩ
ISC	Zkratový proud	VI = 35 V, TJ = 25 °C	0,40	-	A

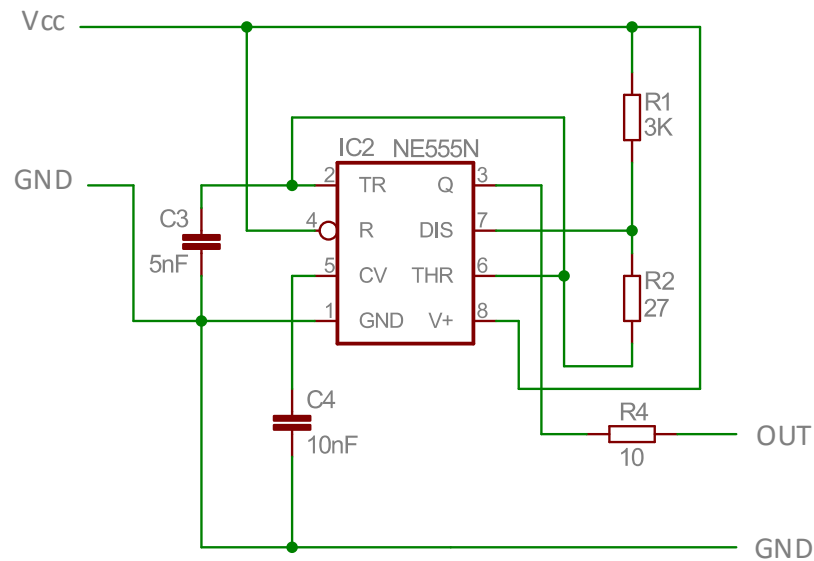
Shrnutí:

- *stabilizátor LM7809*
- *pouzdro TO-220*
- *vstupní napětí 24V*
- *výstupní napětí 9V*
- *C1 a C2 = kompenzační kondenzátory*

2.2 Astabilní klopný obvod

Astabilní klopný obvod (dále AKO) se periodicky překlápí z jednoho stavu do druhého při připojeném napájecím napětí. Frekvence překlápění se ovládá za pomoci dvou externích rezistorů a jednoho kondenzátoru. Obvod vytváří „obdélníkový průběh“ s rozdílnými časovými intervaly vysoké (V_{CC}) a nízké (0V) úrovně napětí. Výstupní napětí je dáno střední hodnotou „obdélníkového průběhu“. Pro měnič byl použit typ AKO NE555.

2.2.1 NE555



Obr 2.4 Zapojení NE555

Obvod na *Obr 2.4* vytváří spínací signály pro výkonovou část. Pomocí AKO řídíme spínání IRF540-ty a díky tomu získáme na výstupu měniče potřebnou hodnotu napětí 12V.

Jak je znázorněno na *Obr 2.4*, jsou zde dva rezistory (R1 a R2) připojeny na vstup triggeru (TR), což způsobí, že časovač běží jako multivibrator. Vnitřní klopný obvod se bude periodicky překlápět. Z funkčního hlediska to vypadá tak, že kondenzátor C3 se nabíjí přes R1 a R2 do hodnoty $2/3V_{cc}$ a poté dojde k překlopení vnitřního klopného obvodu a C3 se vybíjí přes R2 až na hodnotu $1/3V_{cc}$. Poté opět dojde k překlopení a celý cyklus se opakuje. Počet cyklů za sekundu neboli frekvence je dána vztahem:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Kde T je perioda signálu složená ze dvou částí T_H a T_L . H značí výstupní hodnotu na vysoké úrovni a L na nízké. Pro tyto dvě části period platí vztahy:

$$T_H = 0,693 \cdot (R1 + R2) \cdot C3 \quad (2.2)$$

$$T_H = 0,693 \cdot (3300 + 27000) \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 104,99 \mu s \quad (2.3)$$

$$T_L = 0,693 \cdot R2 \cdot C3 \quad (2.4)$$

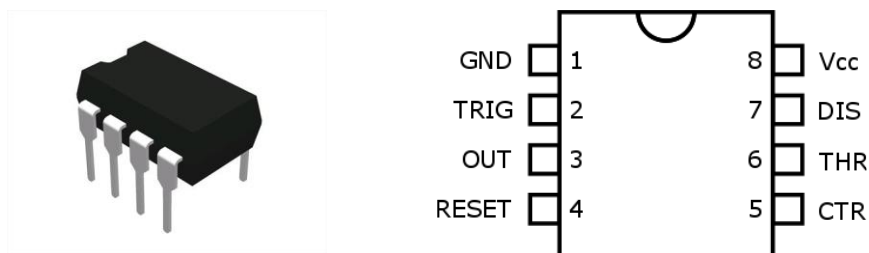
$$T_L = 0,693 \cdot 27000 \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 93,56 \mu s \quad (2.5)$$

Poté výsledná výstupní spínací frekvence bude mít hodnotu:

$$f = \frac{1}{T_H + T_L} \quad (2.6)$$

$$f = \frac{1}{104,99 \cdot 10^{-6} + 93,56 \cdot 10^{-6}} = 5036,52 \text{ Hz} \quad (2.7)$$

Teoreticky by měla výstupní frekvence být 5036,52 Hz. Jak je tomu ve skutečnosti viz kapitola 4.



Obr 2.5 Pouzdro a obsazení konektorů NE555 [5]

Tab. 2.2 Elektrické vlastnosti NE555 [5]

Symbol	Parametr	Min.	Max.	Jednotky
V _{cc}	Vstupní napětí	4,5	18	V
I _O	Výstupní proud	- 200	+ 200	mA
T _A	Provozní teplota	0	70	°C
f	Frekvence	-	0,5	MHz
T _{ON} /T _{OFF}	Spínací / rozpínací perioda	100 / 100		ns
-	Pouzdro	DIP8		

Shrnutí:

- *astabilní klopný obvod NE555*
- *vstupní napětí 9V*
- *výstupní frekvence 5036,52 Hz*
- *použití jako časovací obvod*

2.3 Tranzistor MOSFET

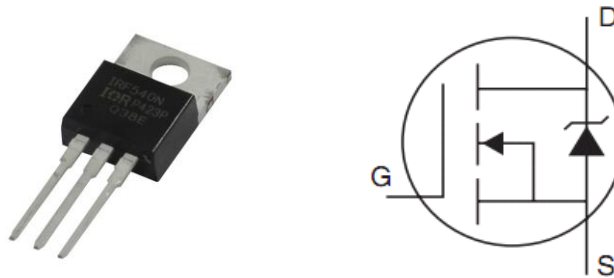
V současnosti se ke spínání používají tranzistory typu MOSFET nebo IGBT. Oba typy jsou řízeny přivedením napětí na hradlo G. Jejich spínání a vypínání je velmi rychlé.

MOSFET jsou unipolární tranzistory, kde přenos náboje je zrealizován pouze majoritními (většinovými) nosiči náboje. Mohou převládat polovodiče typu N (majoritními nositeli náboje jsou elektrony), nebo P (nositeli náboje jsou tzv. díry). Mají nízký odpor kanálu D – S při sepnutém stavu. Odpor dosahuje řádu mΩ což je vhodné z důvodů nižších

ztrát tranzistoru. Používají se např. pro řízení motorů ručního nářadí, v nabíječkách baterií nebo v osvětlovací technice.

Výběr mezi MOSFET a IGBT tranzistorem se odvíjí od toho, kde danou součástku použijí. Obecně platí, že do 250V se spínací frekvencí od 1 kHz do 10 MHz se používají MOSFET tranzistory a od 1000V IGBT.

2.3.1 IRF540N



Obr 2.6 Pouzdro a obsazení konektorů IRF540N

Zvolený tranzistor je typu IRF540N. Jedná se o MOSFET s indukovaným kanálem typu N. Pouzdro je typu TO-220AB. Důvodem jsou nižší náklady na výrobu. Pouzdro a obsazení konektorů je zobrazeno na Obr 2.6. Elektrické parametry jsou sepsány v Tab. 2.3.

Tab. 2.3 Elektrické vlastnosti IRF540N [6]

Symbol	Parametr	Hodnota	Jednotky
$I_D (25\text{ }^\circ\text{C})$	Proud tranzistorem při 25 °C	33	A
$I_D (100\text{ }^\circ\text{C})$	Proud tranzistorem při 100 °C	23	
I_{DM}	Pulzní odběrový proud	110	
$P_D (25\text{ }^\circ\text{C})$	Ztrátový výkon	130	W
V_{GS}	Napětí na G – S	± 20	V
V_{BRDS}	Průrazné napětí kanálu D – S	100	V
R_{DS}	Odpor kanálu D – S v sepnutém stavu	44	mΩ
$T_{d(ON)}$	Čas sepnutí tranzistoru	11	ns
$T_{d(OFF)}$	Čas vypnutí tranzistoru	39	
T_r	Čas pro úplné otevření tranzistoru	35	
T_f	Čas pro úplné zavření tranzistoru	35	

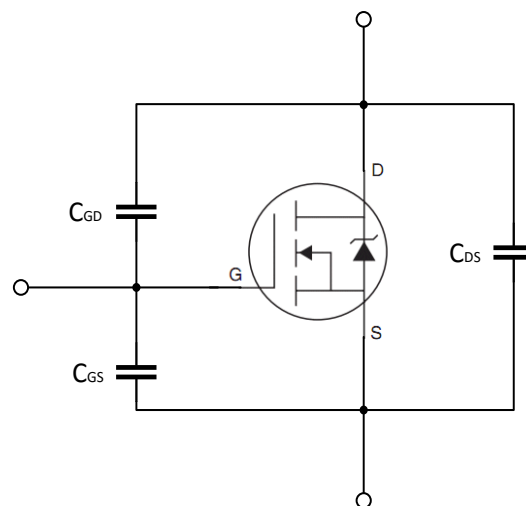
U MOSFET tranzistorů může snadno dojít k průrazu napětím. Z toho důvodu je zvolen tranzistor o hodnotě přibližně čtyřnásobku maximálního napětí baterie. Proudové dimenzování také vyhovuje. Optimální vybíjecí proud zdroje je 10A, maximální proud tranzistoru při 100 °C je 23A což plně dostačuje. Důvodem je zachování nízkého odporu kanálu D – S.

Shrnutí:

- MOSFET tranzistor IRF540N
- pouzdro TO-220AB
- indukovaný kanál typu N
- nízký odpor kanálu D – S
- velmi rychlé spínání
- provozní teplota 175 °C
- proud tranzistorem při 100 °C je 23A
- průrazné napětí kanálu D – S 100V

2.4 Přepět'ová ochrana

V měniči může vzniknout přepětí na tranzistoru vlivem dynamických vlastností, parazitních indukčností, nebo spínáním dalších součástek. Tím by mohlo dojít ke zničení tranzistoru.



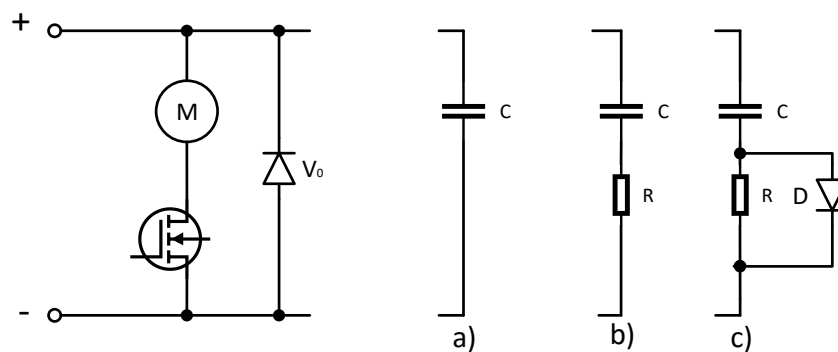
Obr 2.7 Parazitní kapacity tranzistoru

Dynamickými vlastnostmi MOSFET tranzistorů jsou spínací doby, které jsou ovlivňovány parazitními kapacitami Obr 2.7, a tím vzniká spínací přepětí. Parazitní kapacity můžeme omezit jak použitím vhodných součástek, tak i jejich vhodným rozložením v prostoru plošného spoje.

U navrženého měniče je použita pasivní přepět'ová C ochrana pomocí snubberů viz kapitola 2.5. Také je kladen důraz při výběru součástek i při jejich rozmístění pro snížení parazitních kapacit.

2.4.1 Pasivní přepět'ová ochrana [7]

Při pasivní přepět'ové ochraně se převede nahromaděná energie parazitních indukčností do komutačních ochrany. Komutační ochrany (viz Obr 2.8) se připojují na každou větev měniče.

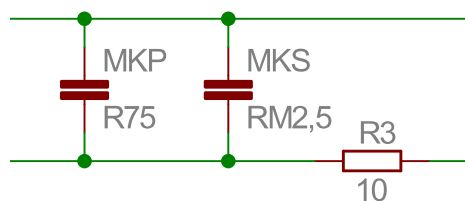


Obr 2.8 Pasivní přepět'ové ochrany

C, RC a RCD ochrany omezují komutační a vypínací přepětí. Kondenzátor pohlcuje přepětí vzniklé komutačním proudem mezi tranzistorem a nulovou diodou. U RC varianty rezistor omezuje strmost proudu a tím zabráňuje přepět'ovým kmitům vzniklých na parazitní indukčnosti měniče. RCD ochrana je nejvíce efektivní. Nejprve proud teče přes kondenzátor a diodu, po změně směru proudu neteče diodou, ale rezistorem a kondenzátorem. Běžně se tyto ochrany používají u tranzistorových měničů.

2.5 Kondenzátor (Snubber)

Snubber je obvod, který se používá pro zlepšení výkonu a ochranu polovodičových součástek. Mohou omezovat proudové špičky, přenášet ztrátový výkon spínače do užitečné zátěže a snižovat spínací ztráty.

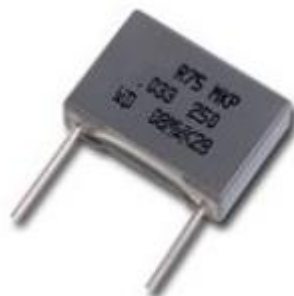


Obr 2.9 Paralelní zapojení Snubberů

Pro navržený měnič jsou použity dva paralelně zapojené snubbery viz *Obr 2.9*. Důvodem je omezení špičkového napětí na spínači. Omezí se tím ztráty během vypínání.

2.5.1 MKP R75 [8]

Série R75 jsou metalizované polypropylenové fóliové kondenzátory pro stejnosměrné aplikace. Důležité parametry jsou v *Tab. 2.4*.



Obr 2.10 MKP R75

Tab. 2.4 Parametry MKP R75

Parametr	Hodnota	Jednotky
Napětí	250	V
Kapacita	2,2	μF
Rozsah provozních teplot	-55 / +105	$^{\circ}\text{C}$
Sériové číslo	R75IR 4220-5	

2.5.2 MKS RM 2,5 [9]

MK s RM 2,5 je označení pro metalizovaný polyesterový svitkový kondenzátor. Základní parametry jsou v *Tab. 2.5*.

Tab. 2.5 Parametry MKS RM 2,5

Parametr	Hodnota	Jednotky
Napětí	50	V
Kapacita	1	μF
Rozsah provozních teplot	-55 / +100	$^{\circ}\text{C}$
Sériové číslo	MKS0B041000F00KSSD	

Shrnutí:

- pro pasivní ochranu proti přepětí jsou použity dva snubbery
- paralelně zapojeny MKP R75 a MKS RM 2,5
- snubbery omezují špičkové napětí na spínači

2.6 MBR3045

MBR3045 je Schottkyho dioda, která má křemíkový PN přechod. Výhodou je menší úbytek napětí v propustném směru, vyšší mechanická odolnost, vysoká proudová zatížitelnost a kratší zotavovací doba. Typ pouzdra TO247AD viz *Obr 2.11* a elektrické parametry *Tab. 2.6*.

MBR3045 je připojena paralelně k zátěži měniče viz *Obr 2.1*. Používá se ke snížení efektivní hodnoty střídavé složky proudu a zlepšuje účinník.



Obr 2.11 Pouzdro a obsazení konektorů MBR3045

Tab. 2.6 Elektrické vlastnosti MBR3045PT [10]

Symbol	Parametr	Hodnota	Jednotky
U_{rem}	Maximální hodnota závěrného napětí	45	V
U_m	Maximální propustné napětí	0,75	V
I_f	Propustný proud	30	A
I_{fsm}	Maximální nárazový proud	200	A

Shrnutí:

- nízký ztrátový výkon
- vysoká proudová zatížitelnost
- nízký propustný úbytek napětí
- schopnost odolat vysokému přepětí
- snížení efektivní hodnoty střídavé složky proudu, zlepšení účinníku
- zlepšení účinníku

Máme zde rozepsány základní součástky pro snižovací měnič. Nyní si popíšeme výrobu desky plošného spoje (DPS)

3 Výroba DPS

Při výrobě desky plošného spoje (DPS) je důležité mít správně dimenzovány všechny součástky, abychom mohli sestavit funkční výrobek. Dále je potřeba přemýšlet dopředu nad tím, jakou velikost bude mít DPS, do jakého pouzdra či krabičky se vsadí a jak to bude s chlazením. Také musíme vybrat vstupní a výstupní svorkovnice. Seznam součástek, které jsou potřebné pro kompresorový měnič, najdeme v *Tab. 3.1*. Při použití jiných typů součástek je důležité, aby měli pokud možno stejné hodnoty, jak je tomu v *Tab. 3.1*.

Tab. 3.1 Seznam součástek

Symbol	Hodnota	Popis	Pouzdro
C1, C2	100 nF	Keramický kondenzátor	1206
C3	5 nF		
C4	10 nF		
IC2	NE555	Astabilní klopný obvod	DIP8
LM	LM7809	Lineární stabilizátor	TO – 220
MBR3045	45 v / 30 A	Schottkyho dioda	TO - 247AD
MKP R75	250 v / 2,2 μ F	Snubber	C050-075X075
MKS RM2,5	50 v / 1 μ F		
Q1	IRF540	MOSFET tranzistor	TO - 220AB
R1	3,3 K Ω	Metalizovaný rezistor	0309
R2	27 K Ω		
R3, R4	10 Ω		
R5	560 Ω		
X1	24 a / 250 V	Svorkovnice pro vypínač	CLL 5,08/2
X2	15 a / 250 V	Vstupně/výstupní svorkovnice	MV254/5,08/5
2 ks		Chladič pro TO – 220	S28/L.D.S SYSTEM

Postup výroby DPS byl následující:

- *Sestavení schéma zapojení a následné rozmístění součástek po DPS v programu „Eagle” [11]*
- *Výroba DPS a její osazení*

V dnešní době se pro sestavení schémat zapojení a následného návrhu plošného spoje používají počítače. Díky tomu mají návrháři k dispozici mnoho nástrojů, které usnadňují jak návrh, tak i jeho další zpracování jako je projektová dokumentace, data potřebná pro výrobu desek plošných spojů, nebo podklady pro simulaci. Pro moji práci jsem zvolil produkt od firmy CadSoft program EAGLE [11] viz *kapitola 3.1*.

3.1 Software

DPS je zkonstruována pomocí programu Eagle. Eagle je jedním z nejrozšířenějších a nejoblíbenějších návrhových systémů u nás. Je výkonný, cenově dostupný a lehce pochopitelný. Původní název zkratky „*Easily Applicable Graphical Layout Editor*“ v překladu znamená snadno použitelný grafický editor. Program je složen ze třech modulů ovládaných z jednoho uživatelského prostředí (Control Panel).

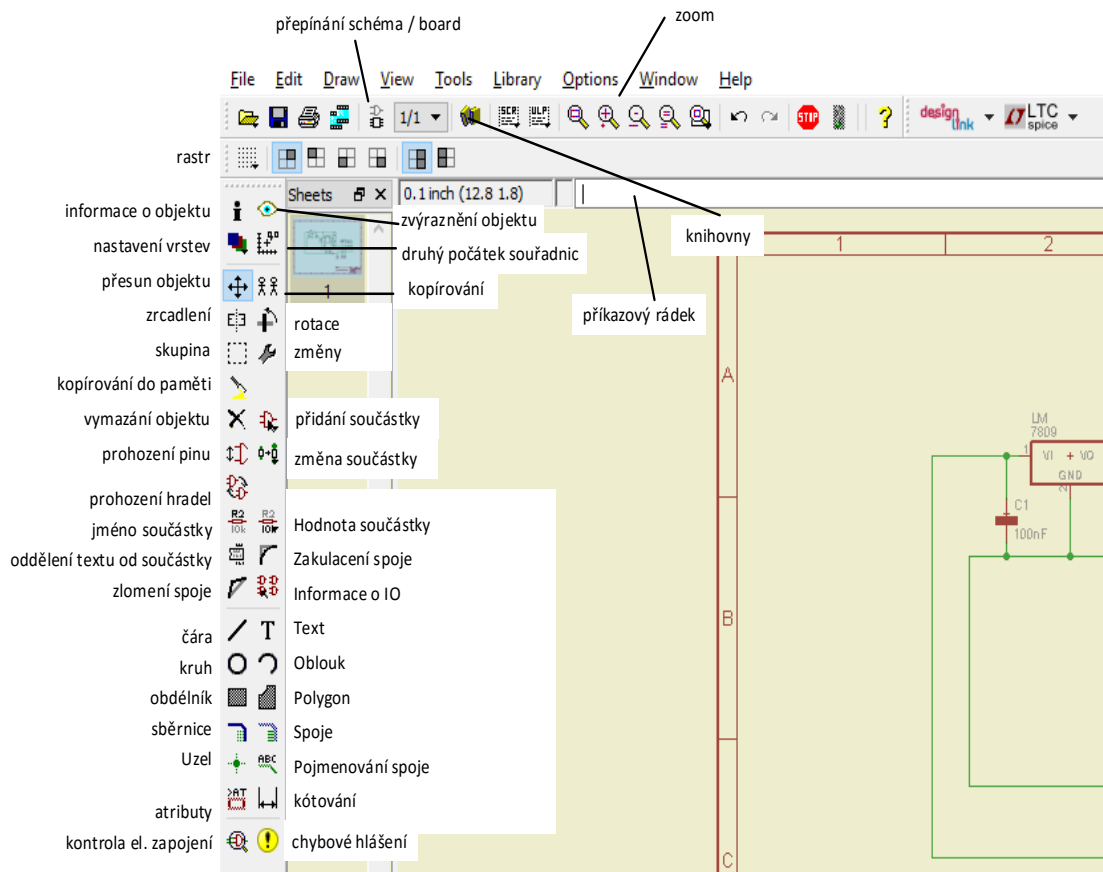
Obsažené moduly [11]:

- *Editor spojů – pro návrh plošného spoje E PCB*
- *Editor schémat – pro návrh schéma SCH E*
- *Autorouter – automatický návrh spojů*
- *CAM procesor – generuje technologická data*
- *Editor knihoven*

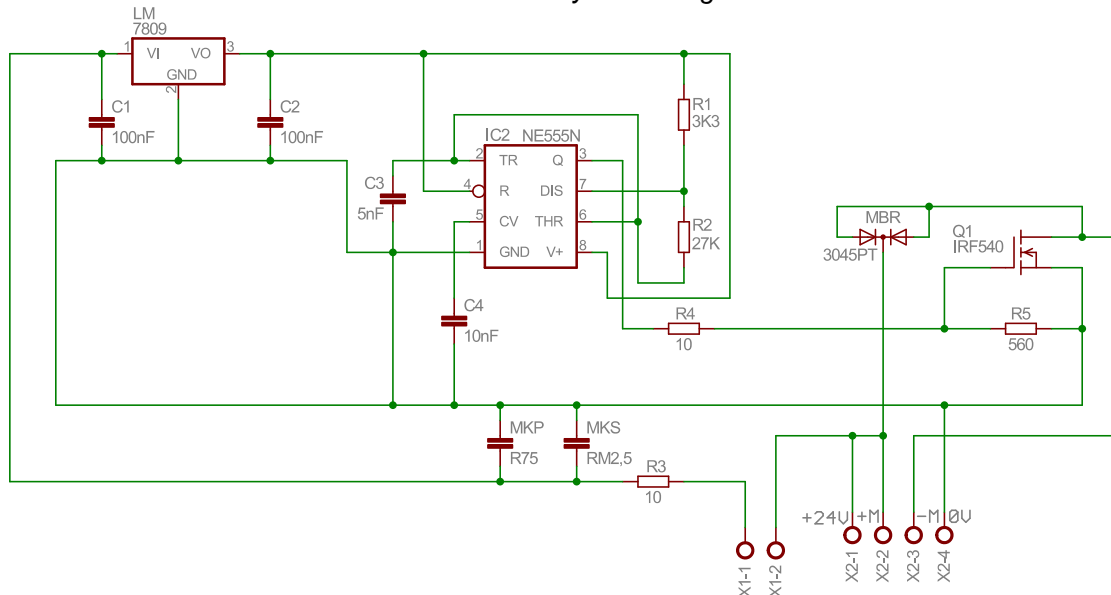
Pro práci byla použita verze Eagle 6.5.0 LIGHT. Jak vytvořit schéma a následně rozmístit součástky po DPS je v následující kapitole.

3.1.1 Schéma

Po spuštění programu a založení nového projektu se zobrazí schématický editor *Obr 3.1*. Při návrhu schématu by se měl klást největší důraz na použití správných typů součástek s danými pouzdry. Po rozmístění na pracovní plochu počítače se jednotlivé součástky propojí pomocí spojů. Také je vhodné přidat popisy a hodnoty součástek pro snazší orientaci. Je však nutné stále dodržovat návrhová pravidla viz *kapitola 3.2*.



Obr 3.1 Schematický editor Eagle

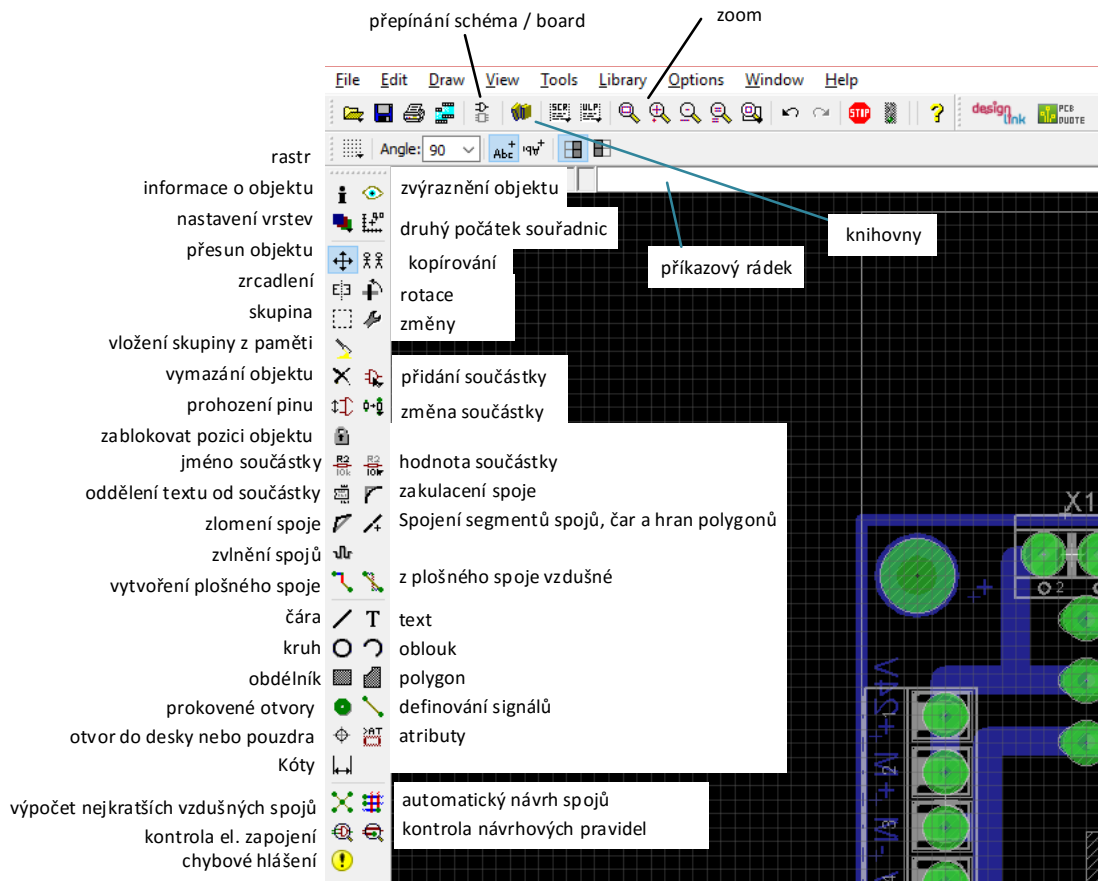


Obr 3.2 Schéma zapojení měniče pro kompresor

Na Obr 3.2 je již sestavené schéma zapojení měniče pro kompresor. Svorky označené na schématu X1 jsou pro svorkovnici vypínače a X2 pro vstupně/výstupní svorkovnici. Typy svorkovnic jsou v seznamu součástek Tab. 3.1. Při takto sestaveném schématu zapojení se přepneme do editoru spojů pomocí tlačítka „přepínání schéma / board“.

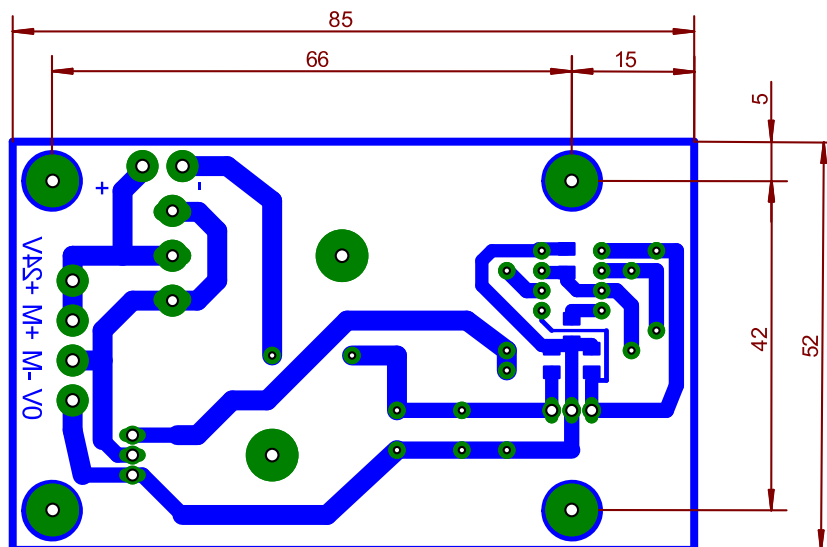
3.1.2 Board

Po přepnutí do „Boardu“ se spustí pracovní prostředí pro editaci spojů *Obr 3.3*. Způsob ovládání je téměř stejný jako u schématického editoru.



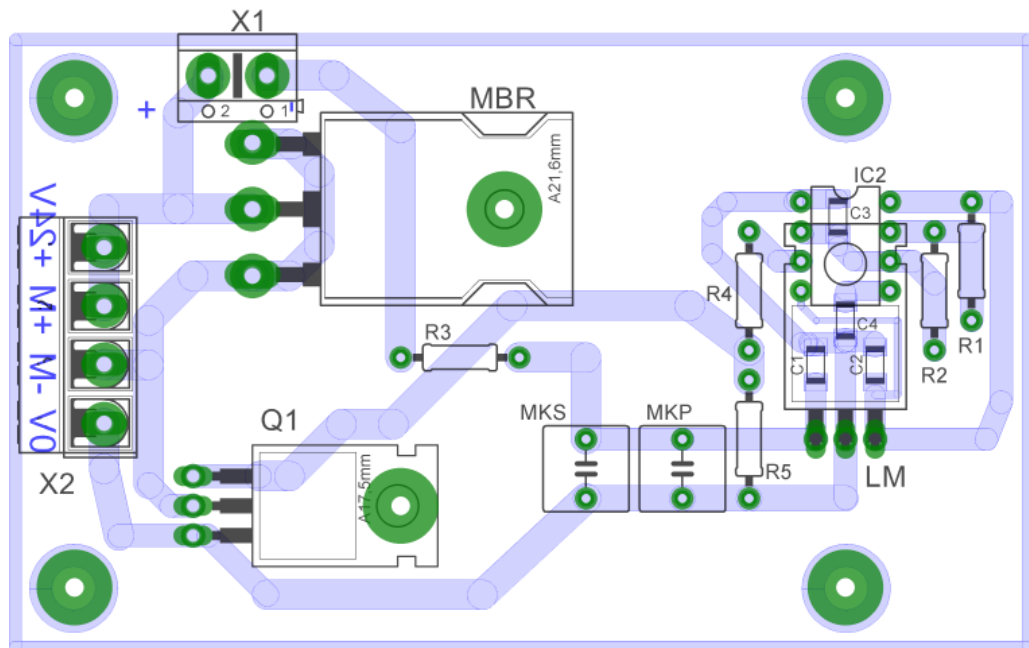
Obr 3.3 Editor spojů Eagle

při tvorbě desky plošného spoje bylo důležité začít definováním velikosti desky a jejím ohraničením dle požadavku o rozměrech viz *Obr 3.4*.



Obr 3.4 Rozměry DPS měniče

Poté následovalo vložení součástek s pevně danou polohou na desce (vstupně / výstupní svorkovnici, svorkovnici pro vypínač a konstrukční otvory pro upevnění desky). Jako další krok bylo rozmístění zbylých částí se snahou o dodržení návrhových pravidel vypsanych v kapitole 3.2. Po ručním propojení veškerých vývodů pouzder součástek byla provedena vizuální kontrola a spuštěna kontrola návrhových pravidel. Po odstranění veškerých problémů se vygeneruje osazovací plán (Obr 3.5), podle kterého je měnič sestaven.



Obr 3.5 Osazovací plán měniče

3.2 Návrhová pravidla [12]

V této kapitole uvedu pouze část, podle mého názoru, nejdůležitějších návrhových pravidel při navrhování DPS. Více informací o tomto tématu najdete v knize Víta Záhavy „Návrh a konstrukce DPS“ [12].

Základní požadavky při návrhu jsou:

- *Funkční a vyrobitelný obvod*
- *Dodržení předpisů a norem*
- *Snadné osazování a opravitelnost*
- *Spolehlivost*
- *Cena, design*

Pravidla pro návrh schématu:

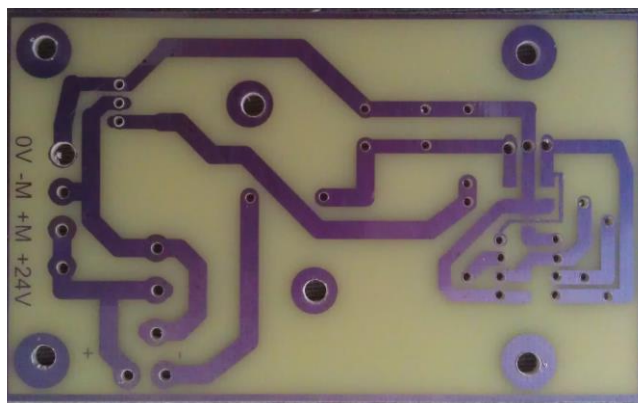
- *definování formátu*
- *volba stejného rastru jako je použit rastr v knihovně (0,1 inch, 2,54 mm)*
 - přepnutí rastru na jinou hodnotu, která „nekoresponduje“ s rastrem knihovny má za následek odsazení pinů mimo rastr a nelze je poté vzájemně propojit
- *při spojování součástek spoji (Nets) dbejte na důkladné propojení*
 - často se stává, že „opticky“ vypadají spoje propojeny, ale ve skutečnosti tomu tak nemusí být
- *než začnete navrhovat desku plošného spoje, tak si zkontrolujte návrh schématu*
 - schéma zkontrolujte vizuálně, je-li vše propojeno tak, jak má být
 - následně použijte kontrolu el. zapojení (Erc), kdy program sám zkontroluje zásady správného el. návrhu

Pravidla pro návrh desky:

- *rozmístění součástek v pořadí:*
 - konstrukční a technické otvory
 - konektory
 - součástky se sběrníci
 - integrované obvody
 - rozměrné součástky
 - ostatní součástky
- *pořadí spojů:*
 - napájení
 - sběrnice
 - hodinové signály
 - ostatní
- *pravidla vedení spojů:*
 - Spoj veden pokud možno svisle a vodorovně
 - Z pájecí plošky vycházíme svisle nebo vodorovně a zalomení provádíme až poté
 - Snaha používat stejnou šířku spojů
- *cesty signálů se nesmí křížit a měly by být co nejkratší*
- *minimální vzdálenosti spojů z důvodu snížení proudových smyček*
- *polovodičové součástky co nejdále od zdrojů tepla*

3.3 Výroba a osazení DPS

Pro výrobu jsem zvolil Plzeňskou firmu Elektrosound [13]. Zabývají se výrobou jednostranných, ale i dvoustranných plošných spojů na zakázku. Při dodání návrhu jsem obdržel již hotový jednostranný plošný spoj. DPS je vyrobena z nejpoužívanějšího materiálu Cuprexitu. Cuprexit je laminát ze skelné tkaniny s přidáním pryskyřic, na níž je nalepena měděná fólie.



Obr 3.6 Neosazená DPS měniče

Po vyzvednutí je potřeba vyvrtat otvory součástek a konstrukční otvory Obr 3. 6. Následovalo očištění povrchu spojů a jejich odmaštění z důvodu přilnavosti mědi.

Na takto připravený výrobek můžeme namontovat jednotlivé komponenty. Z důvodu úspory jsem použil ruční pájení. Jelikož se jedná převážně o součástky s drátovými vývody, postačí pájecí stanice pro hobby používání. Postup pájení jednotlivých součástek jsem prováděl v tomto pořadí:

- rezistory
- svorkovnice
- smd kondenzátory
- klopný obvod
- lineární stabilizátor
- snubbery
- Schottkyho diodu a MOSFET tranzistor

Použitým tavidlem byla tzv. trubičková pájka, která se nejčastěji používá v elektronice. Obsahuje příměsi kalafuny, jejíž schopností je porušení tenké vrstvy oxidů při teplotách okolo 200 °C a tím zlepšení přilnavosti pájky.

Na závěr se odstraní zbytky po pájení omytím lihem a použije se ochranný lak pro povrchovou ochranu DPS. pro takto vyrobený měnič byly naměřeny jednotlivé vstupně - výstupní charakteristiky, které najdeme v následující kapitole.

4 Testování DPS

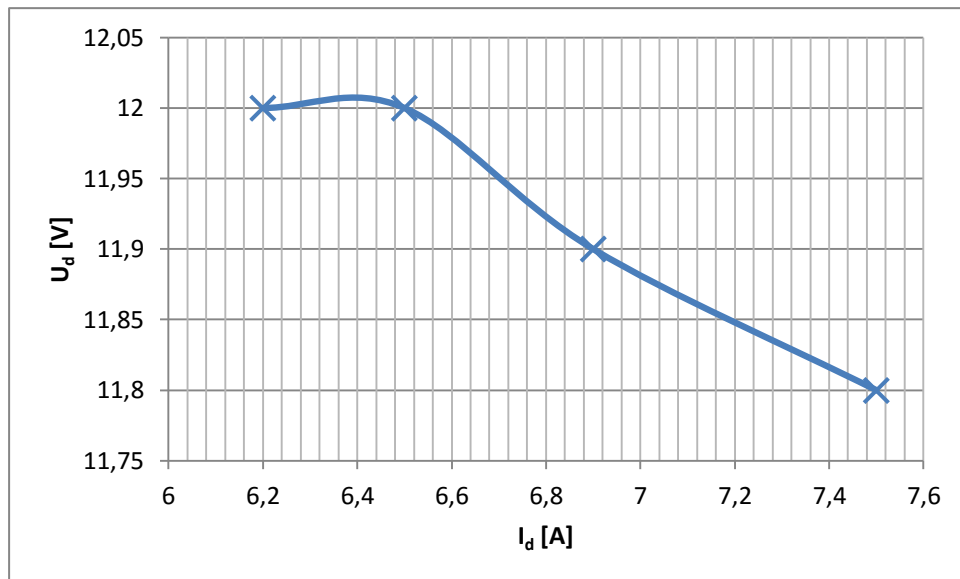
Testování měniče probíhalo ve dvou fázích. Nejprve byly změřeny zatěžovací charakteristiky s nezatíženým kompresorem a následně se zatíženým. Kompresor (viz kapitola 1.2) jsem zatížil skrčením výtlačku výtlačné trubice na požadovaný tlak, který je měřen analogovým tlakoměrem kompresoru. Na vstup měniče byl připojen laboratorní regulovatelný zdroj od firmy Diametral. Zdroj má plynulou regulaci napětí v rozsahu 0 – 30V. Měřicí přípravek je digitální osciloskop značky Tektronix verze TDS2024B. Jedná se o čtyř-kanálový osciloskop s barevným LCD displejem a možností uložení dat USB portem.

4.1 Nezatížený kompresor

Hodnoty naměřené v *Tab. 4.1* jsou při připojeném kompresoru k měniči. Kompresor je nezatížený (tlak $P = 0$ PSI) a mění se napájecí napětí měniče (U_{IN}). Pomocí osciloskopu jsem zobrazil průběh výstupního napětí *Obr 4.2* a změřil střední hodnoty proudu (I_d) a napětí (U_d) na výstupních svorkách měniče. Výsledná charakteristika konstantně zatíženého měniče s nezatíženým kompresorem je na *Obr 4.1*.

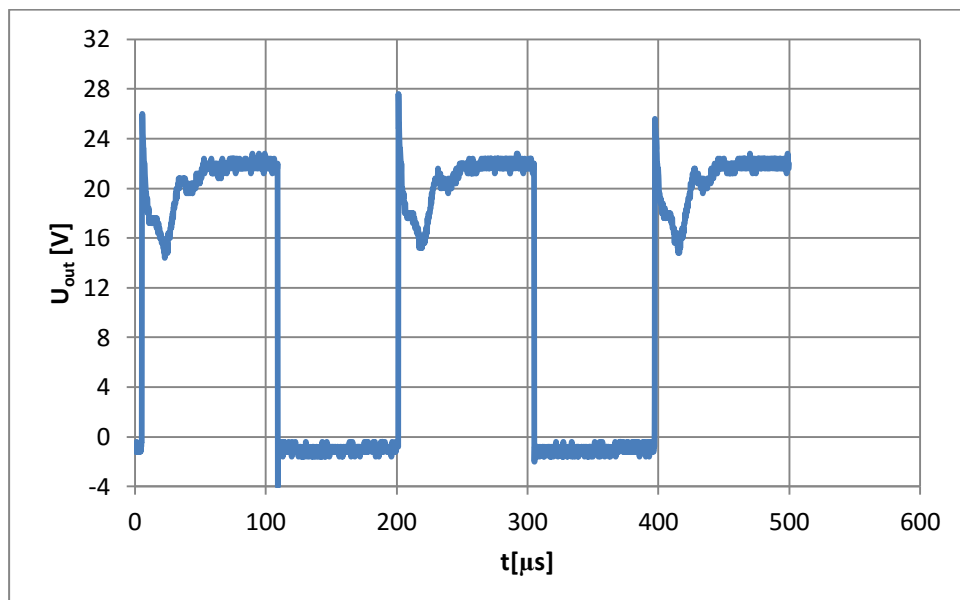
Tab. 4.1 Výstupní hodnoty měniče

Vstupní hodnoty	Výstupní hodnoty	
U_{IN} [V]	U_d [V]	I_d [A]
20	11,8	7,5
22	11,9	6,9
24	12	6,5
26	12	6,2



Obr 4.1 Výstupní charakteristika konstantě zatíženého měniče nezatíženým kompresorem

V grafu výstupní charakteristiky je vidět, že se měnič snaží udržet konstantní napětí na výstupu a tak při poklesu napětí se zvyšuje výstupní proud. Nepřesnost napětí může být způsobena nevhodným výběrem rezistoru (přibližné hodnoty z řady). Pomocí osciloskopu je z grafu výstupního napětí Obr 4.2 také odečtena perioda signálu $T = 190\mu\text{s}$. Tato perioda je složena z vysoké úrovně $T_H = 104\mu\text{s}$ a nízké úrovně $T_L = 93\mu\text{s}$. Výsledná frekvence podle vzorce 2.6 je 5076,14 Hz. Tato hodnota téměř odpovídá teoretické úvaze.



Obr 4.2 Výstupní napětí při $U_{IN} = 24$ V

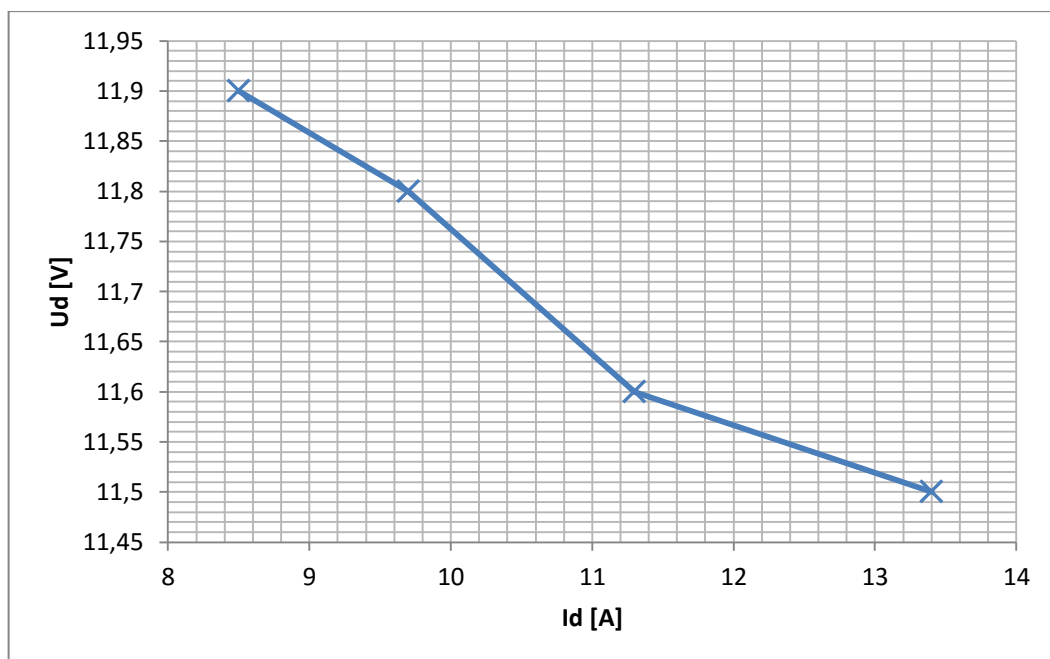
Po změření nezatíženého kompresoru následovalo měření s různým zatížením.

4.2 Zatížený kompresor

Hodnoty naměřené na zatíženém měniči kompresorem s různým zatížením kompresoru jsou v Tab. 4.2. Zatížení kompresoru proběhlo skrčením výtlačné trubice na požadovaný tlak, který byl měřen přídavným analogovým tlakoměrem kompresoru.

Tab. 4.2 Výstupní hodnoty měniče

Vstupní hodnoty	Výstupní hodnoty		Zátěž
	U_{IN} [V]	U_d [V]	I_d [A]
24	11,9	8,5	30
24	11,8	9,7	50
24	11,6	11,3	100
24	11,5	13,4	150



Obr 4.3 Výstupní charakteristika konstantně zatíženého měniče s různými zátěžemi kompresoru

Z naměřených hodnot lze pozorovat, že zvyšující zátěž způsobila nárůst výstupního proudu. Měnič se stále snaží udržet na výstupu konstantní napětí 12V a z tohoto důvodu se musel zvýšit proud I . Při maximální zátěži kompresoru 150 PSI nebyl překročen max. proud kompresoru, který je dán výrobcem 16A.

4.3 Napětí LM7809

Následovalo měření výstupního napětí stabilizátoru (U_{OUT}) pro různé hodnoty napájecího napětí měniče (U_{IN}). Na vstup měniče byl připojen regulovatelný zdroj napětí a na jeho výstup nezatížený kompresor. Výstup z měření najdeme v *Tab. 4.3*.

Tab. 4.3 Výstupní napětí stabilizátoru LM7809

U_{IN} [V]	U_{OUT} [V]
20	9,09
22	9,10
24	9,11
26	9,11

Naměřené hodnoty napětí stabilizátoru LM7809 jsou v porovnání s teoretickou částí (*Tab. 2.1*) v tolerančním rozmezí.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zkonstruovat pulzní snižovací měnič napětí z 24V na 12V pro daný kompresor. Jedná se o konstrukční bakalářskou práci, která je zaměřena jak na výběr součástek, vytvoření desky plošného spoje, tak i na jeho otestování v praxi.

Celkový návrh je rozdělen do několika částí zabývajících se funkcí DC/DC měničů, konstrukcí, konkrétními výpočty a výrobou měniče se závěrečným testováním.

Nejvíce problematický byl samotný výběr vhodných součástek. Pro zadané požadavky se museli najít takové, které jsou běžně dostupné na trhu a zároveň mají vyhovující parametry pro správnou funkčnost. V mém výběru bych nyní udělal změnu snubberů MKP R75 a MKS RM 2,5, které jsou zapojeny paralelně vedle sebe. Nalezl jsem náhradu těchto dvou snubberů za jeden a to WIMA MKP4 s kapacitou 3.3 μ F. Ušetřilo by se tím místo na DPS a snížila by se i cena. Zbylé součástky doporučuji ponechat dle seznamu.

Další vylepšení, které bych udělal, je u DPS. Při návrhu se dají použít ještě větší plochy mědi. S větší měděnou plochou se sníží náklady na výrobu, ušetří se leptací roztok a spoje budou robustnější.

Měnič byl podroben testům v laboratorních podmínkách a jeho funkce odpovídala teoretickým předpokladům. Nyní je měnič použit v praxi, kde je k němu připojen daný napájecí zdroj a kompresor.

Návrh je doplněn doporučenými typy součástek, osazovacím výkresem, šablonou DPS a schématem zapojení měniče.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VONDRÁŠEK, František. Výkonová elektronika: Svazek 3 2., rozš. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 267 s. ISBN 80-7082-980-3.
- [2] *Kompresor 150 PSI 11 BAR 12V* [online]. Hlinická cesta 1319, areál TS, 014 01 Bytča: AL s.r.o., 2016. Dostupné z: <https://auto123.sk/shop/obchod/kompresor-150-psi-11-bar-12v>
- [3] *GWL/Power Lithium Battery LiFePO4 (12V/20Ah)* [Online]. Praha 10: i4wifi a. s., 2016. Dostupné z: <http://www.i4wifi.cz/Baterie-a-nabijeni/Lithium-High-Power-Battery-LiFePO4-12V-20Ah-packed.html?listtype=search&searchparam=LP12V20AHB>
- [4] STLIFE.AUGMENTED, *Positive voltage regulator ICs, Datasheet – production data*. <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/004/stabilizator-pevneho-napeti-st-microelectronics-thomson-7809-stm-datasheet-1.pdf>
- [5] NE555. *Texas Instruments* [online]. Dallas, Texas 75265: Texas Instruments Incorporated, 1992. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/312/003/ne555-dip8-texas-instruments-datasheet-1.pdf>
- [6] IRF540N. *International IOR Rectifier* [online]. California 90245, USA: International IOR Rectifier, 2001. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/213/031/irf540n-datasheet-1.pdf>
- [7] VONDRÁŠEK, František, Jan LANGHAMMER. Výkonová elektronika: Svazek 6, 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, 216 s. ISBN 978-80-7043-653-6.
- [8] R75: MKP Series. *Kemet.com* [online]. Greenville: Kemet charged, 2008. Dostupné z: <http://cz.mouser.com/pdfdocs/KEMETR75Datasheet.pdf>
- [9] MKS02. *WIMA* [online]. GERMANY: WIMA, 2010. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/m/mks02.pdf>
- [10] MBR3045. *GM Electronic* [online]. CZK: GM electronic, spol. s r. o., 2016. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dioda-mbr3045pt-p223-047>
- [11] Eagle. *Eagle Online* [online]. CadSoft Computer: CadSoft Computer GmbH, 2014. Dostupné z: <http://www.eagle.cz>
- [12] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 9788073002664.

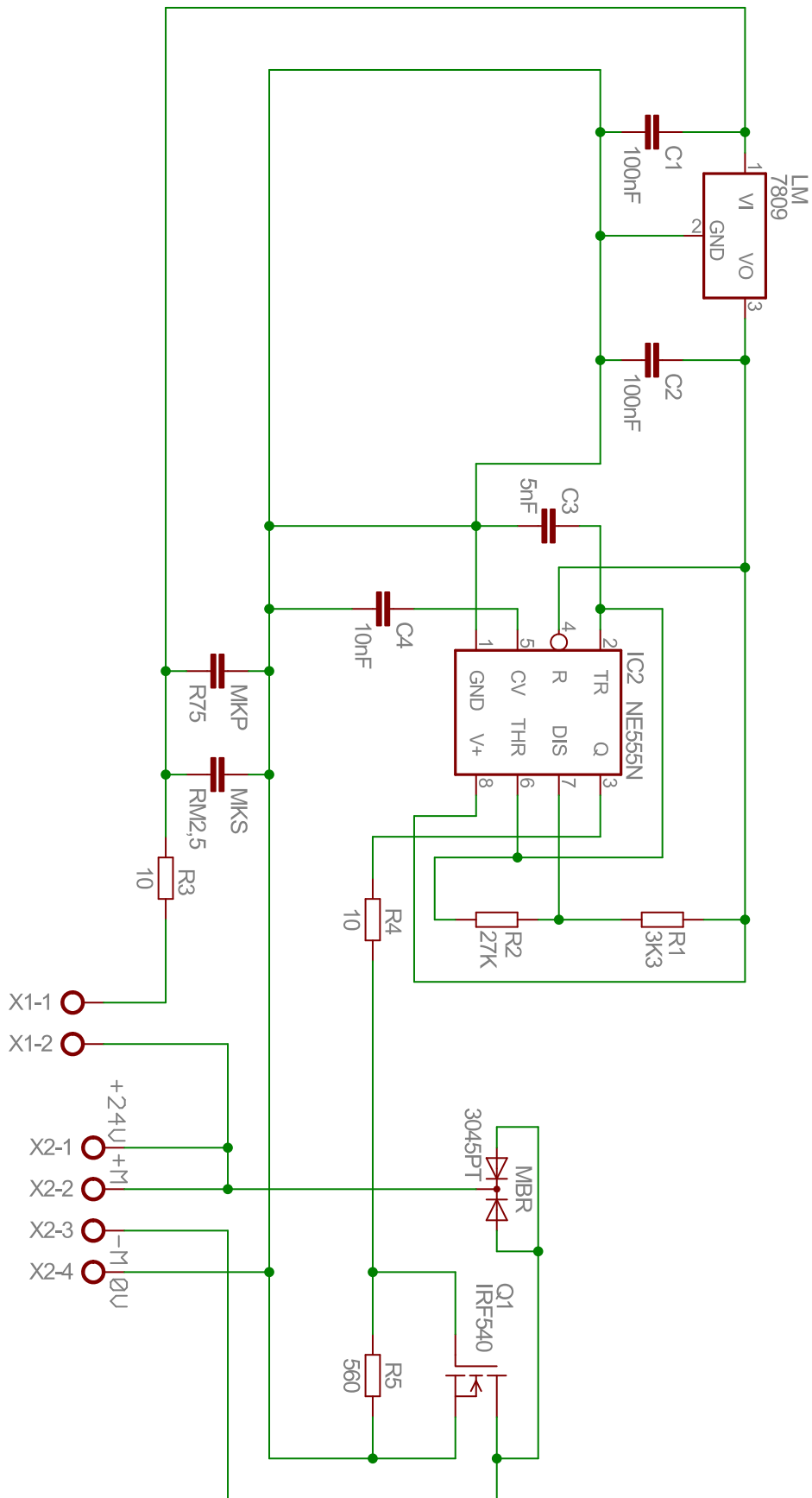
- [13] Elektrosound. *Elektrosound* [online]. Borská 33, 301 00 Plzeň: Elektrosound, 1991. Dostupné z: <http://www.elektrosound.cz/index.html>

Přílohy

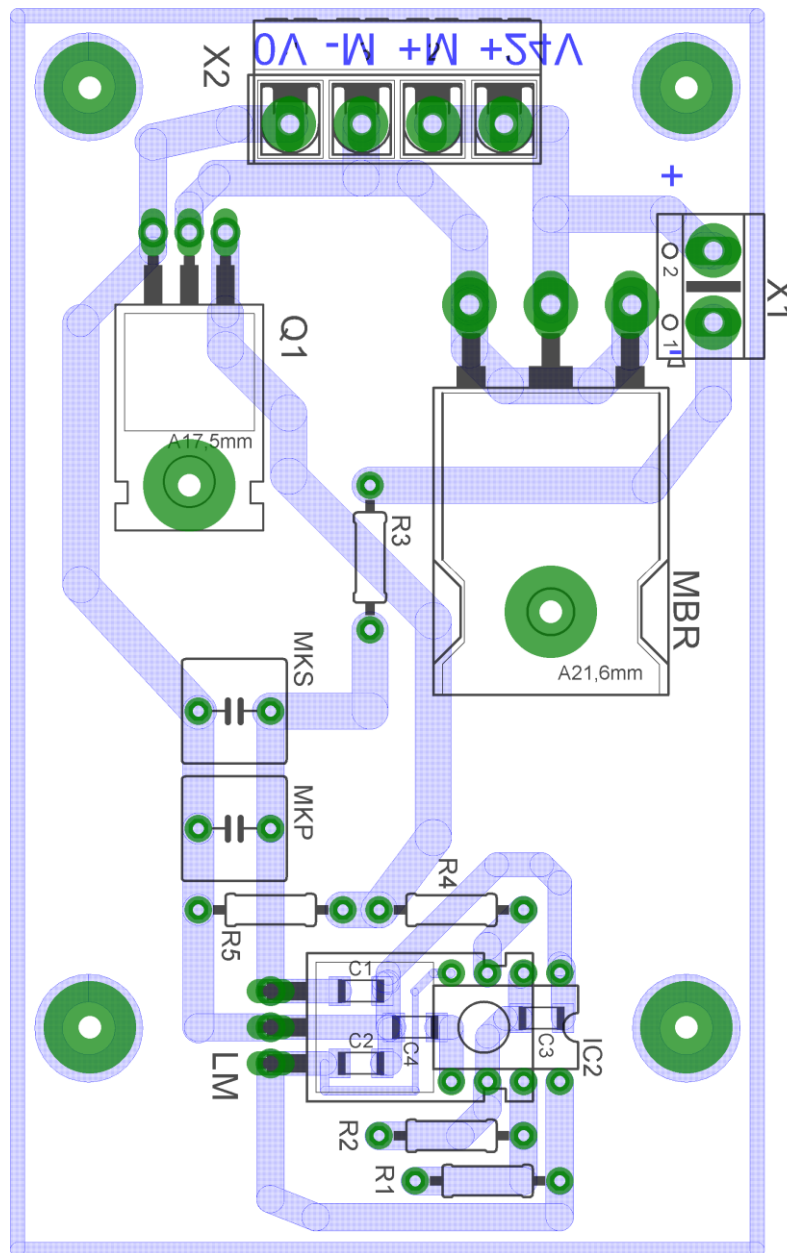
Příloha A – Seznam součástek pro návrh měniče

Symbol	Hodnota	Popis	Pouzdro
C1, C2	100 nF	Keramický kondenzátor	1206
C3	5 nF		
C4	10 nF		
IC2	NE555	Astabilní klopný obvod	DIP8
LM	LM7809	Lineární stabilizátor	TO – 220
MBR3045	45 v / 30 A	Schottkyho dioda	TO - 247AD
MKP R75	250 v / 2,2 μ F	Snubber	C050-075X075
MKS RM2,5	50 v / 1 μ F		
Q1	IRF540	MOSFET tranzistor	TO - 220AB
R1	3,3 K Ω	Metalizovaný rezistor	0309
R2	27 K Ω		
R3, R4	10 Ω		
R5	560 Ω		
X1	24 a / 250 V		
X2	15 a / 250 V	Vstupně/výstupní svorkovnice	MV254/5,08/5
2 ks		Chladič pro TO – 220	S28/L.D.S SYSTEM

Příloha B – Schéma zapojení



Příloha C – Osazovací výkres (BOTTOM) vrstvy



Příloha D – Šablona desky plošného spoje (měřítko 1:1)

