

Přehled řídicích obvodů pro výkonové měniče

Richard Slováček



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Richard SLOVÁČEK**
Osobní číslo: **A10154**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Přehled řídicích obvodů pro výkonové měniče**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte si problematiku výkonových napěťových měničů.
2. Nastudujte si obvyklé topologie a řízení výkonových měničů.
3. Z dostupných čipů na trhu vyberte jeden, který je vhodný pro konstrukci měniče 24 / 48 V s výkonem do 60 W.
4. Navrhnete a realizujete tento měnič fyzicky.
5. Zpracujte technickou dokumentaci k vytvořenému modelu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. HAMMERBAUER, Jiří, Václav KŮS a Jiří SKÁLA. Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů: EMC v energetice. 1. české. Praha: BEN – technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
2. KREJČÍŘÍK, Alexandr. DC/DC měniče. 1. vyd. Praha: BEN-Technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-045-8.
3. KŮS, KŮS, Václav. Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu. 1. vyd. Praha: BEN-Technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-062-8.
4. LADMAN, Josef. Elektronické konstrukce pro začátečníky. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 978-80-7300-015-8.
5. Firemní literatura řídicích obvodů.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

28. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2014

Ve Zlíně dne 28. února 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na přehled 4 řídicích obvodů pro výkonové měniče, jejich srovnání a porovnání parametrů. Dále pojednává o návrhu DC/DC měniče s vybraným řídicím obvodem, tedy i návrh schématu a plošného spoje pro měnič z 24 V na 48 V do výkonu 60 W.

Klíčová slova: výkonový měnič, DC/DC měnič, řídicí obvod, plošný spoj

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on an overview of four control circuits for power converters, their comparison and comparison parameters. Further discusses the draft DC/DC converters with selected control circuit, including schema design and printed circuit board for changer from 24 V to 48 V up to 60 W.

Keywords: power inverter, DC/DC converter, control circuit, printed circuit board

Chci poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Martinovi Pospíšilíkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady, pomoc při realizaci plošného spoje a připomínky, které mi pomohly k vytvoření práce.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 MĚNIČE VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY.....	11
1.1 POLOVODIČOVÉ VÝKONOVÉ SOUČÁSTKY	11
1.2 TYPY MĚNIČŮ VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY	12
1.2.1 Usměrňovače.....	13
1.2.2 Řízené usměrňovače.....	14
1.2.3 Stejnoseměrné měniče napětí.....	16
1.2.4 Střídače.....	16
1.2.5 Střídavé měniče napětí	16
1.2.6 Střídavé měniče frekvence	18
2 DC/DC MĚNIČE.....	20
2.1 MĚNIČE S KONDENZÁTORY	20
2.2 MĚNIČE S CÍVKAMI.....	20
2.2.1 Zvyšující měnič	20
2.2.2 Snižující měnič.....	21
2.2.3 Invertující měnič	21
3 ŘÍDÍCÍ OBVODY MĚNIČŮ	22
3.1 OSCILÁTOR.....	22
3.2 PWM	22
3.3 KOMPARÁTOR	23
3.4 ZDROJ REFERENČNÍHO NAPĚTÍ.....	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
4 PŘEHLED ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ.....	25
4.1 MC34063.....	25
4.1.1 Parametry obvodu	25
4.1.2 Zvyšující měnič	26
4.1.3 Snižující měnič.....	28
4.1.4 Invertující měnič	30
4.2 TL497	33
4.2.1 Parametry obvodu	33
4.2.2 Zvyšující měnič	34
4.2.3 Snižující měnič.....	35
4.2.4 Invertující měnič	36
4.3 LT1082	37
4.3.1 Parametry obvodu	38
4.3.2 Ukázka zapojení	38
4.4 LT1170/LT1171/LT1172	39
4.4.1 Parametry obvodu	40
5 NÁVRH DC/DC MĚNIČE 24 / 48 V	41

5.1	VÝPOČTY PARAMETRŮ EXTERNÍCH SOUČÁSTEK	41
5.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	42
5.3	PLOŠNÝ SPOJ	43
5.4	ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA	44
5.5	ÚČINNOST DC/DC MĚNIČE.....	44
ZÁVĚR		45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		48
SEZNAM OBRÁZKŮ		50
SEZNAM TABULEK.....		51
SEZNAM PŘÍLOH.....		52

ÚVOD

Výkonové měniče se v dnešní elektronice používají v každém odvětví od nabíječek na telefony přes různé zdroje až po vysokonapěťové měniče v trolejbusích a tramvajích, a proto je jejich řízení nedílnou součástí každodenního života. Tato práce se hlavně zabývá DC/DC měniči, které se převážně používají u spínaných zdrojů, tak že je u těchto měničů hlavně kladený důraz na velikost, hmotnost a účinnost. Pro příklad u bateriových zařízení by při použití lineárních regulátorů byla použita většina energie k přeměně na teplo a tím pádem by baterie nevydržely tak dlouho.

V této práci je uveden základní přehled řídicích obvodů pro výkonové měniče, které se na našem trhu běžně nacházejí, od firem On Semiconductor, Texas Instruments a Linear Technology. Tyto obvody jsou navrhovány tak, aby bylo za potřeby co nejmenší množství externích součástek a bylo možné pomocí nich zapojit různé druhy zdrojů, ať už zvyšující, snižující, invertující anebo stabilizující. Tyto obvody už mají zabudované výkonové součástky, ale také jde pomocí nich řídit daleko výkonnější měniče externě zapojené.

Dalším cílem této práce bylo navrhnout a sestavit zvyšující měnič stejnosměrného napětí, který by zvyšoval napětí 24 V na 48 V do výkonu 60 W.

I. TEORETICKÁ ČÁST

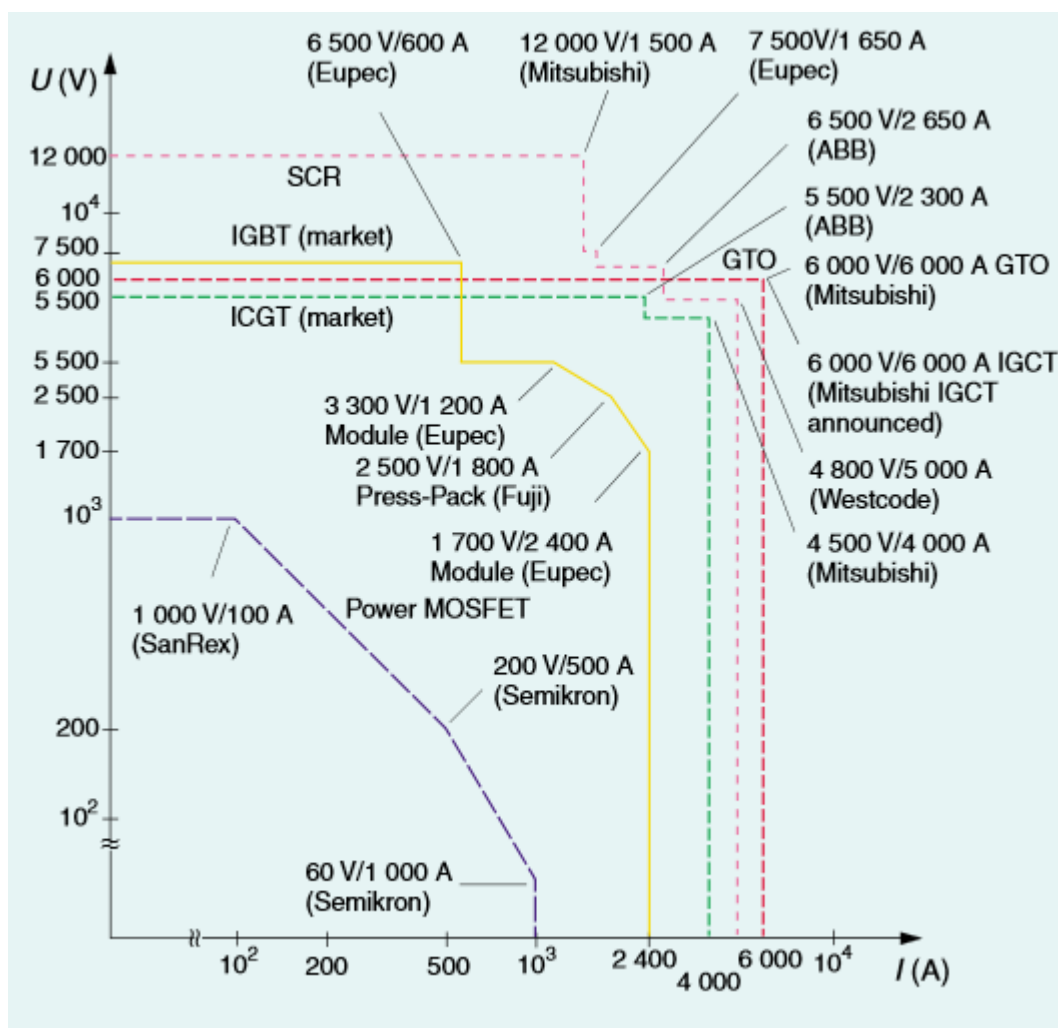
1 MĚNIČE VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

Měniče výkonové elektroniky jsou nedílnou součástí dnešní elektroniky. Vývoj výkonových měničů lze úzce spojovat s vývojem elektrotechnických součástek, ale také jí musíme spojovat z vývojem řídicí techniky.

1.1 Polovodičové výkonové součástky

Polovodičové výkonové součástky se podle využití rozdělují do následujících skupin:

- Neřízené (diody)
- S řízeným zapnutím (tyristory, triaky, RCT)
- S řízeným zapnutím i vypnutím (výkonové bipolární tranzistory, výkonové MOSFET, IGBT)



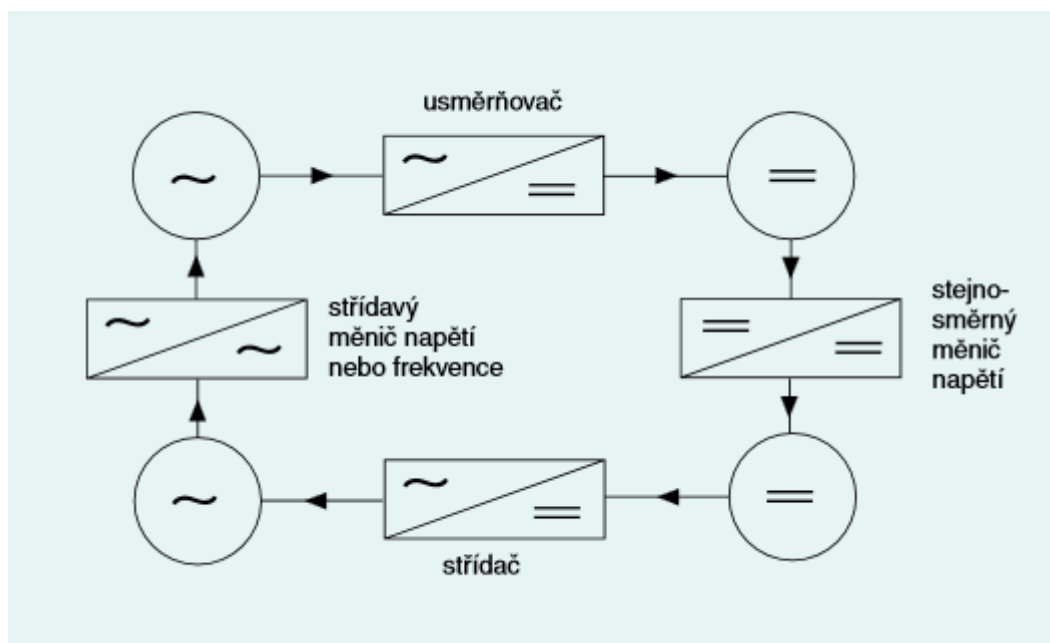
Obrázek 1 – Rozsah napětí a proudů jednotlivých typů výkonových součástek.

V dnešní době se u prvních dvou skupin nepředpokládá další rozvoj, kromě zvyšování závěrného napětí a propustného proudu součástkou. Současné špičkové diody mají závěrná napětí U_{RRM} až 9 000 V při typovém proudu I_{FAV} až 3 070 A. Špičkové tyristory mají závěrné napětí U_{RRM} až 12 kV při proudu I_{TAV} 1 500 A (Mitsubishi), 7 500 V při 1 650 A (Eupec), 6 500 V při 2 650 A (ABB) a 4 800 V při 5 000 A (Westcode). Bipolární tranzistory jsou v podstatě nahrazeny tranzistory MOSFET a IGBT hlavně kvůli podstatně menšímu výkonu potřebnému k jejich řízení. Současné MOSFET tranzistory lze charakterizovat v řádu stovek V při stovkách A (1 000 V při 100 A – SanRex, 200 V při 500 A – Semicon). A současné tranzistory IGBT lze charakterizovat v řádu tisíců V při stovkách A (6 500 V při 600 A – Eupec, 2 500 V při 1 800 A – Press-Pack).

1.2 Typy měničů výkonové elektroniky

Měniče elektroniky lze rozdělit do těchto čtyř skupin (Obrázek 2).

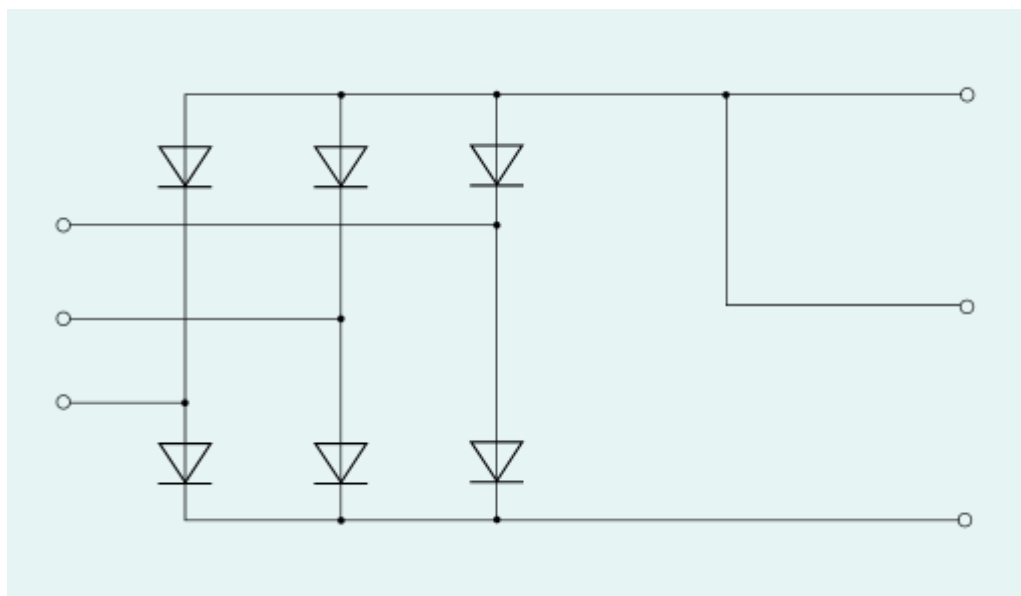
1. **Usměrňovače** – mění vstupní střídavé napětí/proud na výstupní stejnosměrné napětí/proud. V neřízených obvodech se používají diody a v řízených obvodech se používají tyristory. V současnosti je trend nahrazovat tyto součástky součástkami vypínatelnými a tím snížit negativní účinky usměrňovačů na elektrickou síť.
2. **Stejnoseměrné měniče napětí** – mění stejnosměrné vstupní napětí/proud na výstupní stejnosměrné napětí/proud. V dnešní době se používají pouze vypínatelné obvody.
3. **Střídače** – mění stejnosměrné vstupní napětí/proud na výstupní střídavé napětí/proud o žádané frekvenci.
4. **Střídavé měniče** – mění střídavé vstupní napětí/proud na výstupní střídavé napětí/proud a to takto:
 - a) Výstupní střídavé napětí o rozdílné velikosti a stejné frekvenci – střídavý měnič napětí.
 - b) Výstupní střídavé napětí o rozdílné velikosti a také rozdílné frekvenci - střídavý měnič frekvence.
 - c) Výstupní střídavé napětí o rozdílné velikosti, frekvenci a počtu fází - střídavý měnič počtu fází.



Obrázek 2 - Třídění výkonových měničů.

1.2.1 Usměrňovače

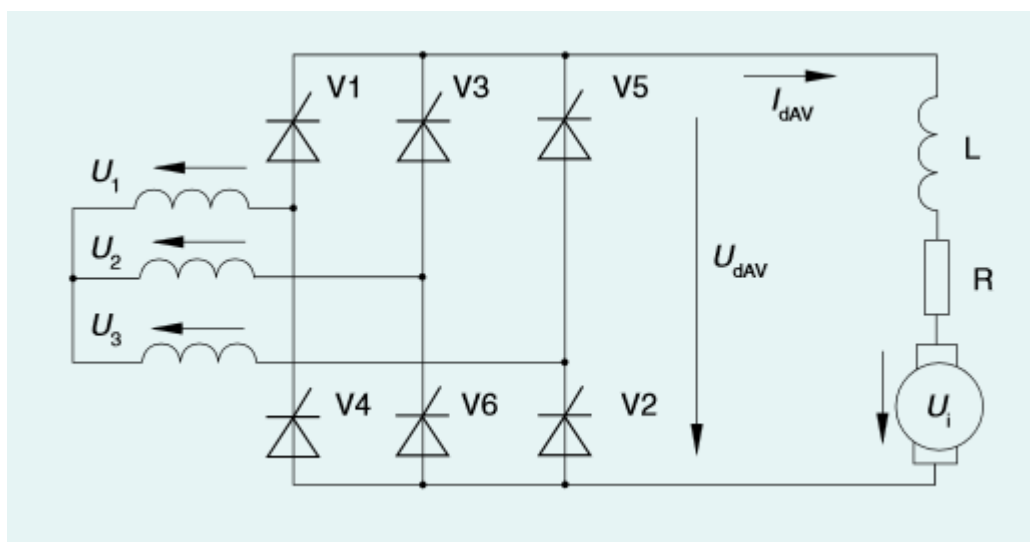
Nejvíce používané zapojení neřízeného usměrňovače je můstkové trojfázové zapojení (Obrázek 3). Diody nabízené na dnešním trhu mají takové parametry U_{RRM} a I_{FAV} , že dovolují navrhnout usměrňovač bez sériového a paralelního zapojení součástek. Výrobci nabízejí kromě součástek také moduly, které mají v jednom pouzdře 4, nebo 6 diod v můstkovém zapojení a toto pouzdro jde namontovat na chladič. Výjimkou jsou usměrňovače pro elektrolýzu, které kvůli výstupnímu proudu několik desítek kiloampér musí být diody řazeny paralelně a elektrofiltry s výstupním napětím 50 kV až 150 kV kde musí být diody řazeny sériově.



Obrázek 3 - Principiální schéma neřízeného trojfázového usměrňovače.

1.2.2 Řízené usměrňovače

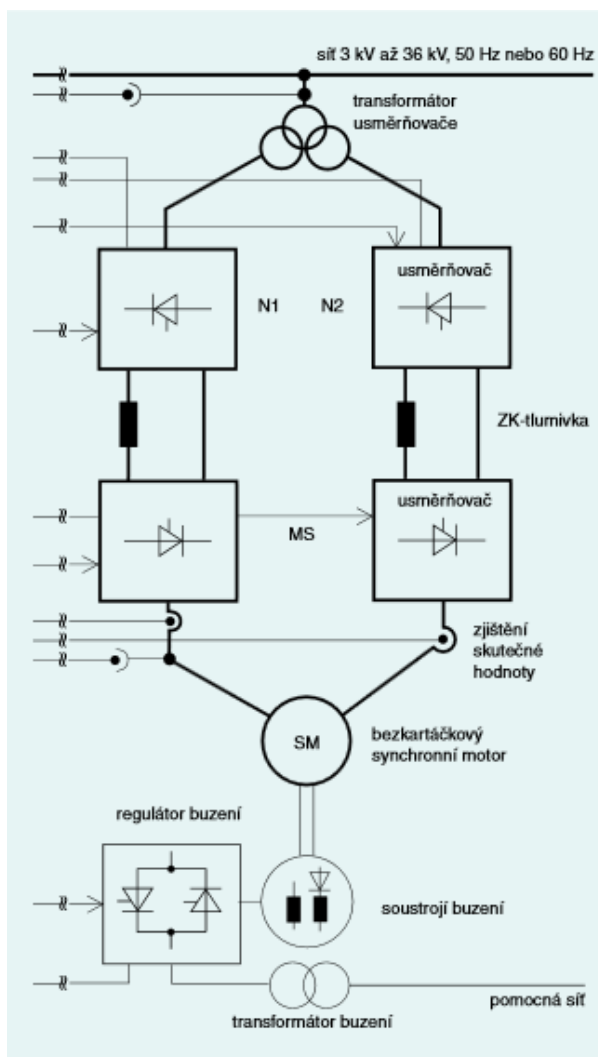
Pro řízené usměrňovače se používá především také můstkové zapojení. Trojfázové můstky (Obrázek 4) se používají pro napájení stejnosměrných motorů s cizím buzením, pohon těžních strojů, válcových stolic a jiných regulovaných pohonů. Jako u diodového usměrňovače, tak i tyristorový si vystačí s jedním typem tyristorů zapojených do můstku.



Obrázek 4 – trojfázový řízený tyristorový usměrňovač.

Jiným typem tyristorového usměrňovače je nepřímý měnič frekvence se stejnosměrným proudovým meziobvodem, použitý pro napájení synchronního motoru s proměnnými otáčkami. Jinak známý jako ventilový pohon (Obrázek 5). Je tvořen síťovým usměrňovačem

s motorovým invertorem. Obě části jsou vlastně shodné řízené usměrňovače, z nichž jeden trvale pracuje s řídicím úhlem menším než 90° , druhý s řídicím úhlem větším než 90° . Takovéto stroje pracují s výkonem v jednotkách až desítkách megawattů, a proto jsou použity vysokonapěťové motory i usměrňovače se sériovým zapojením několika tyristorů.



Obrázek 5 – schéma ventilového pohonu.

Další aplikací, kde se používají dva tyristorové usměrňovače se stejnosměrným proudovým meziobvodem, je vysokonapěťový stejnosměrný přenos energie. Zde je střídavé napětí stejnosměrného meziobvodu v řádu několika stovek kilovoltů podle konkrétního použití. Tyristorové usměrňovače používají sériové řazení mnoha tyristorů, rozdělených do konstrukčních skupin. Spínací impulsy se přivádějí k tyristorům optokabely.

1.2.3 Stejnosměrné měniče napětí

Stejnosměrné měniče napětí, také známé jako pulzní měniče, pracují na principu pravidelného přerušování přívodu vstupního konstantního napětí a tím snižují střední hodnoty výstupního napětí. V okamžiku přerušení přívodu se proud výstupního obvodu uzavírá přes tzv. nulovou diodu. Přerušení obvodu může být zajištěno buď kontaktně (např. kontaktní regulátor napětí ve starších autech), nebo bezkontaktně. Na bezkontaktní vypínání se v dnešní době používají vypínatelné součástky. V menších přístrojích to jsou výkonové tranzistory, ve větších to jsou tyristory GTO, IGBT a IGCT. Kromě elektronických regulátorů napětí v automobilech jsou stejnosměrné měniče používány v pohonu stejnosměrných motorů. Napájecím stejnosměrným zdrojem může být baterie (např. elektromobily) nebo stejnosměrná napájecí síť (např. tramvaje, trolejbusy). Tyto měniče rozeberu podrobněji v další kapitole.

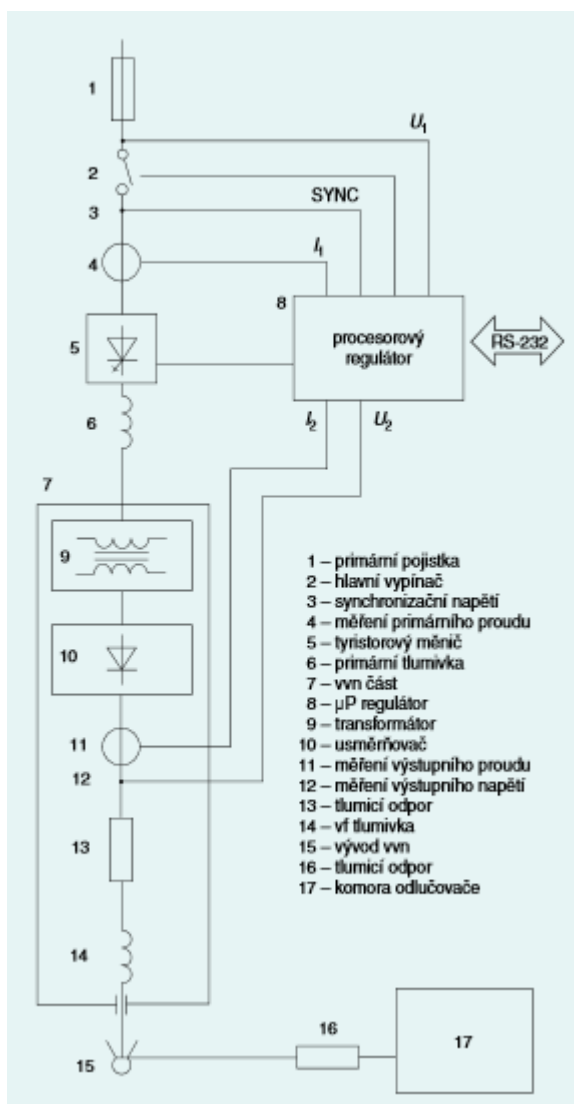
1.2.4 Střídače

Klasické střídače pracují na principu přepínání výstupních fází mezi dvěma napájecími hladinami ($+U$ a $-U$), proto jsou někdy nazývány dvouhladinovými střídači. Od střídače se požaduje, aby uměl měnit výstupní napětí a výstupní frekvenci. Nejmenší počet sepnutí a rozepnutí za jednotku času jedné součástky je dán výstupní frekvencí střídače. Pokud bude výstupní frekvence shodná s počtem sepnutí a rozepnutí součástky lze výstupní napětí měnit jen pomocí vstupního napětí, a proto jde o amplitudové řízení. Dnešní součástky dovolují několika násobné sepnutí a rozepnutí součástky než se většinou požaduje výstupní frekvence (GTO řádově 10^2 Hz až 10^3 Hz, IGBT a IGCT řádově 10^3 Hz až 10^4 Hz), proto se používají různé druhy modulace, které dovolují měnit výstupní napětí i frekvenci při konstantním napájecím napětí.

1.2.5 Střídavé měniče napětí

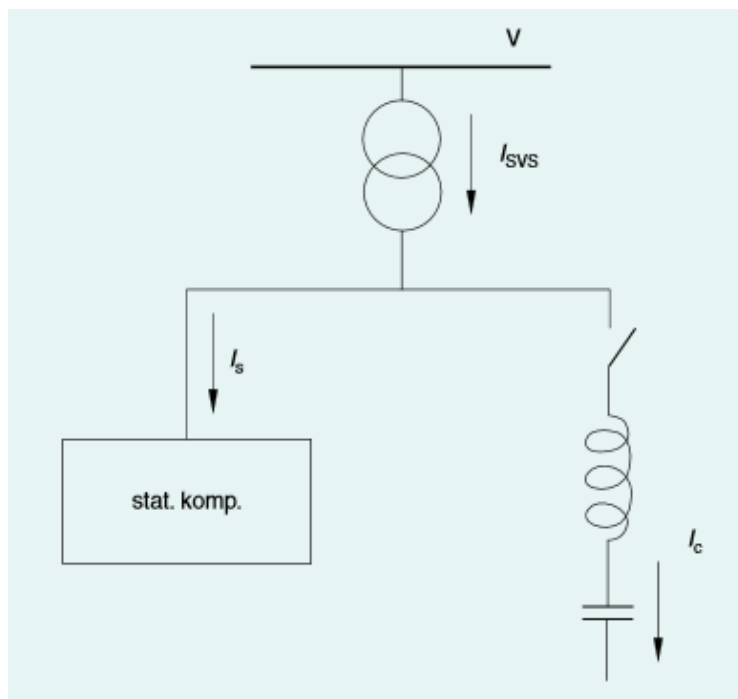
Střídavé měniče napětí pracují na principu fázového zpoždění při sepnutí příslušného tyristoru a tím sníží efektivní hodnotu napětí na výstupu. V každé fázi jsou zapojeny paralelně dva tyristory, jejichž zapínání je řízeno vhodným generátorem řídicích impulsů. Pro méně výkonné aplikace lze využít triaky, které fungují stejně, ale nevyžaduje galvanicky oddělené zapínací impulsy. Právě triak je používán ve stmívačích, pomocí kterých lze měnit svítivost žárovky změnou řídicího úhlu zapnutí. Dalším odvětvím, kde se používají jednofá-

zový střídavý měnič napětí, jsou elektrofiltry (Obrázek 6). Tímto měničem se řídí napětí na primární straně transformátoru a tím i výstupní stejnosměrné napětí elektrofiltru.



Obrázek 6 – Schéma zapojení napájecího zdroje pro elektrostatický filtr.

Další možnosti použití jsou tzv. řízené kompenzace (Obrázek 7). Zátěží střídavého jedno-fázového měniče napětí, připojeného mezi dvě fáze napájecí sítě, je tlumivka. První harmonická odebíraného proudu je proti napětí při jakémkoli řídicím úhlu posunuta o 90° , má tedy charakter jalového proudu. Vhodnou kombinací s pevně připojenými kondenzátory je možné měnit celkový jalový proud plynule v širokém rozsahu. Řízené kompenzace tohoto typu, označované TCR se dodávají pro nízké i vysoké napětí.



Obrázek 7 – Zapojení řízené kombinace.

Nejznámější použití trojfázového střídavého měniče napětí je tzv. softstartér, který se používá k postupnému zvyšování napětí na svorkách spouštěného asynchronního motoru a tím ke snížení záběrného proudu motoru při jeho rozběhu. Lze ho použít jen tam, kde má motor i při sníženém napětí na motoru dostatečný moment pro rozběh.

1.2.6 Střídavé měniče frekvence

Střídavé měniče frekvence jsou určeny ke změně napájecí frekvence na jinou frekvenci. Existují dvě možnosti jak toho docílit:

1. Přímý měnič frekvence, který nemá stejnosměrný meziobvod. Jelikož vlastně jde o dva řízené usměrňovače, každý pro jeden směr proudu ve výstupní fázi, kterým se pravidelně řídí jejich výstupní napětí, také se tento typ měniče nazývá cyklokonvertor. Tyto měniče se používají v aplikacích s nízkou výstupní frekvencí, jako jsou přímé pohony pomaloběžných zařízení.
2. Nepřímý měnič napětí, který má vyjádřený stejnosměrný meziobvod s malou vnitřní impedancí. Moderní vnitřní měnič frekvence je tvořen:
 - a. Napájecím neřízeným usměrňovačem, nebo pulsním usměrňovačem.
 - b. Kondenzátorem pro stabilizaci napětí ve stejnosměrném meziobvodu.
 - c. Výstupním střídačem se šířkově pulzním řízením řízeným tak, aby na jeho výstupu byla požadovaná frekvence a napětí.

- d. Stejnosměrným měničem napětí ve stejnosměrném meziobvodu připojeném na odpor. Úkolem tohoto obvodu je zničit elektrickou energii při obrácení směru energie a zabránit tak vzniku přepětí ve stejnosměrném meziobvodu.

2 DC/DC MĚNIČE

Stejnoseměrné měniče se nacházejí v mnoha aplikacích, mění stejnosměrné vstupní napětí na stejnosměrné výstupní napětí o jiné velikosti. V dnešní době dodávají výrobci na trh spousty měničů s různým zapojením a rozdílným výkonem. Podle konstrukce můžeme DC/DC měniče rozdělit na dvě základní skupiny na měniče s kondenzátory a měniče s cívkami.

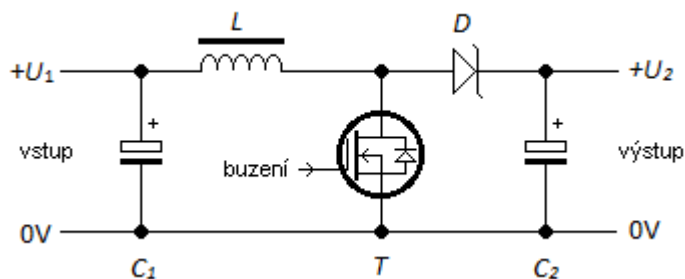
2.1 Měniče s kondenzátory

Měniče s kondenzátory jsou založené na principu ukládání energie do paralelně zapojených kondenzátorů. Pomocí tohoto zapojení lze zvyšovat, nebo snižovat napětí a dokonce jde docílit i opačného napětí pomocí spínaných tranzistorů, které připojí kondenzátory ke společnému vodiči. Positivum tohoto měniče je, že nezpůsobuje elektromagnetické rušení. Velkým záporem těchto měničů je, že nedokáží dodat velký výkon do zátěže, a proto se používají jen v nenáročných aplikacích.

2.2 Měniče s cívkami

2.2.1 Zvyšující měnič

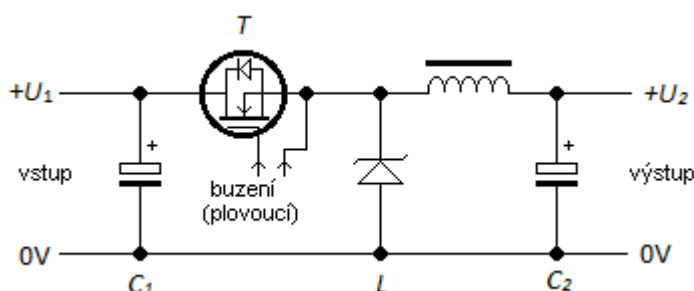
Zvyšující měnič (Obrázek 8), zvyšuje vstupní napětí ($U_2 = 1 \times$ až $n \times U_1$). Po sepnutí tranzistoru se připojí napětí U_1 na cívku L , působením napětí roste lineárně proud až do okamžiku rozpojení tranzistoru. Poté se polarita napětí na cívce obrátí, napětí cívky se přičítá k napětí U_1 , proud teče z cívky přes D (rychlou diodu) do kondenzátoru C_2 . Energie z cívky se přenáší do C_2 , tím proud postupně klesá až do chvíle, kdy se tranzistor opět sepne.



Obrázek 8 – Zvyšující měnič.

2.2.2 Snižující měnič

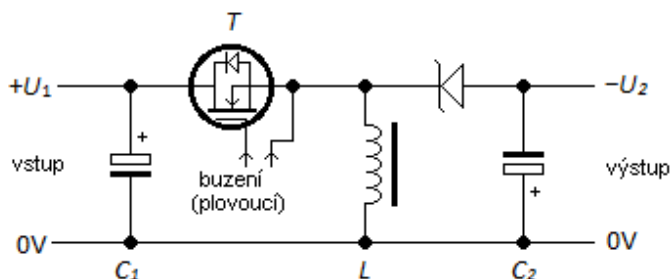
Snižující měnič (Obrázek 9) slouží k nízko ztrátovému snižování napětí ($U_2 = 0$ až $1 \times U_1$). Je to efektivnější alternativa ke spojitým stabilizátorům, které musejí celý rozdíl ($P = (U_1 - U_2) \cdot I$) přeměnit na teplo. Po sepnutí tranzistoru se na cívce objeví rozdíl $U_1 - U_2$. Proud cívkou lineárně roste, dioda je zavřená. Rozdílová energie ($E = t \cdot I \cdot (U_1 - U_2)$) se shromažďuje v cívce. Po rozepnutí tranzistoru se polarita napětí na cívce obrátí, otevře se dioda, proud teče z cívky přes diodu do kondenzátoru, proud lineárně klesá. Energie nashromážděná v cívce se tedy přenáší do C_2 a na výstup.



Obrázek 9 – Snižující měnič.

2.2.3 Invertující měnič

Invertující měnič (Obrázek 10) slouží k invertování vstupního napětí. Velikost výstupního napětí může být větší i menší než velikost vstupního napětí. Kladný pól výstupu je spojen se záporným pólem vstupu. Vzniká tedy záporné napětí vůči zemi. Invertor se nejčastěji používá k vytvoření symetrického napětí z nesymetrického nebo k získání záporného napětí tam, kde jeho zdroj chybí. Po sepnutí tranzistoru se připojí kladné napětí k cívce, proud cívkou lineárně roste, v cívce se shromažďuje energie. Po uzavření tranzistoru se napětí na cívce obrátí, otevře se dioda, proud teče diodou z C_2 do L . Energie z L se přenáší do C_2 , vzniká záporné napětí, proud cívkou lineárně klesá až do chvíle opětovného otevření T .



Obrázek 10 – Invertující měnič.

3 ŘÍDÍCÍ OBVODY MĚNIČŮ

Řídící obvod měniče udržuje výstupní napětí na zvolené hodnotě. Na dnešním trhu je velké množství integrovaných obvodů přímo k tomuto určených, jejich velkou výhodou je to, že si vystačí pouze s malým množstvím externích součástek a výkonový prvek je už integrován. Díky tomuto se snížila cena součástek, které používají měniče. Pokud, by se takovýto měnič s řízením skládal z diskrétních součástek, jeho cena by rapidně vzrostla a miniaturizace takovýchto měničů by byla nemožná. Integraci a miniaturizaci těchto součástek na integrovaný obvod se podařilo vše potřebné umístit na malý čip. Takovéto čipy můžou mít i vlastní kontrolu teploty a v případě přehřátí integrovaného obvodu se omezí zkratový výkon, čímž se ochrání integrovaný obvod i obvody tímto měničem napájené. Některé typy těchto obvodů mají snímací rezistory, na kterých vzniká úbytek napětí, pokud tento úbytek překročí danou hodnotu, což může znamenat například zkrat, obvod se vypne a čeká, dokud nedojde k odpojení napájení popřípadě odstranění chyby a tím se chrání před zničením. Řídící obvody lze rozdělit do čtyř funkčních bloků.

3.1 Oscilátor

Oscilátor tvoří signál pilového nebo trojúhelníkového průběhu. Na oscilátor jsou kladeny požadavky jako například stabilita amplitudy a frekvence v závislosti na okolních podmínkách a průběh musí být čistý a bez zákmitů. Většina řídicích obvodů měničů má oscilátor integrovaný a jeho frekvence se pohybuje od 20 kHz až do jednotek MHz. Existují měniče pracující na vyšší frekvenci, ale s rostoucí frekvencí rostou také požadavky na okolní součástky a jeho cena je vyšší. Frekvenci oscilátoru umístěného v integrovaném obvodu, můžeme měnit pomocí externích RC součástek. Zmenšením kapacity kondenzátoru můžeme frekvenci zvýšit, nebo zvětšením kapacity frekvenci snížit. S nízkou frekvencí oscilátoru je potřebná daleko větší indukčnost jádra cívky, než na frekvenci vyšší. Při vyšší frekvenci může být jádro menší, ovšem z kvalitnějších materiálů.

3.2 PWM

PWM neboli pulsně šířková modulace. Jde o obdélníkový signál s proměnnou střídou, neboli poměru mezi délkou logické jedničky a délkou logické nuly na jedné periodě. Pro funkčnost používá pulsně šířková modulace obdélníkovou frekvenci z oscilátoru. Obdélníkový signál je porovnáván v komparátoru se stejnosměrným signálem. Požadavky jsou opět kladeny na strmost náběžné a sestupné hrany. Střída lze měnit pomocí stejnosměrného

napětí na komparátoru, pokud napětí začne růst, tak se ve většině případů zapojení zkrátí délka logické jedničky a tím dojde ke snížení výstupního napětí. Samozřejmě to platí i v opačném případě, pokud začne napětí klesat, zvýší se délka logické jedničky a tím se i zvýší výstupní napětí.

3.3 Komparátor

Komparátor slouží k porovnávání napětí z oscilátoru a stejnosměrného napětí závislého na výstupním napětí. Hlavním požadavkem na komparátor je rychlost, protože měnič pracuje na vysoké frekvenci.

3.4 Zdroj referenčního napětí

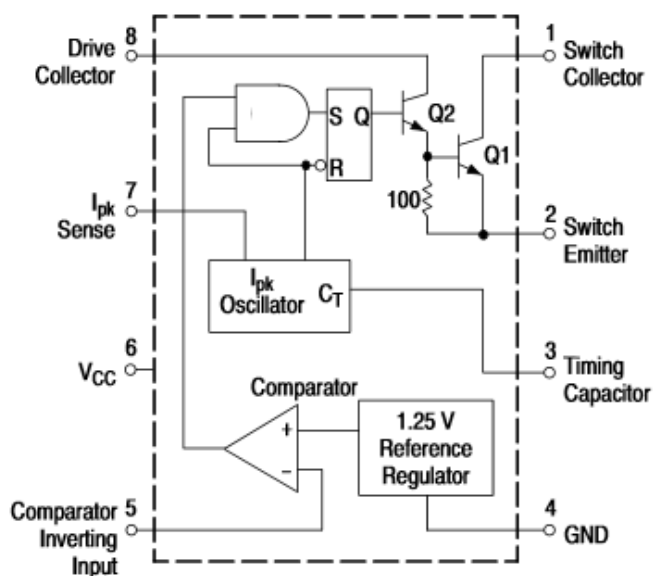
Je zdroj konstantního napětí nezávislého na okolních podmínkách, který se většinou pohybuje okolo 1,25 V.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘEHLED ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ

4.1 MC34063

MC34063 je řídicí obvod od firmy On Semiconductor, obsahující základní funkce potřebné pro DC/DC měniče. Tento obvod obsahuje teplotně stabilizovaný zdroj referenčního napětí, komparátor, řízený cyklus oscilátorem s aktivním omezovačem špičkových proudů. Budič tranzistoru Q2 a spínací tranzistor Q1 je dimenzován pro proud, který může dosahovat hodnoty až 1,5 A. Tato řada byla speciálně navržena tak, aby v jakémkoli zapojení (zvyšující, snižující, invertující měnič) bylo potřeba co nejméně externích součástek.



Obrázek 11 – Vnitřní struktura MC34063

4.1.1 Parametry obvodu

Tabulka 1 – Parametry obvodu MC34063

Název	hodnota	jednotka
Vstupní napětí	3 - 40	V
Výstupní napětí	1,5 - 40	V
Maximální spínaný proud	1,5	A
Maximální pracovní kmitočet	42	KHz
Účinnost	70 - 89	%

- t_{off} – doba vypnutí interního tranzistoru.

Z minimální frekvence určíme periodu T .

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

- T – Perioda.
- f – minimální frekvence.

Z periody se spočítá doba sepnutí a rozepnutí tranzistoru.

$$t_{off} = \frac{T}{s + 1} \quad (3)$$

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (4)$$

Kapacita kondenzátoru C_T se dá určit pomocí doby sepnutí tranzistoru.

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on} \quad (5)$$

- C_T – Kondenzátor oscilátoru.

Špičkovou hodnotu kolektorového proudu určíme z poměru dob sepnutí a vypnutí tranzistoru a požadované hodnoty výstupního proudu.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{Out(max)} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) \quad (6)$$

- I_{pkT} – Špičková hodnota kolektorového proudu.
- $I_{Out(max)}$ – Maximální proud na výstupu.

Hodnotu R_{SC} z aktivčního napětí obvodu, které je podle dokumentace obvodu 0,3V se vybere vhodný rezistor z elektronické řady, většinou E12.

$$R_{SC} = 0,3 \cdot I_{pkT} \quad (7)$$

Dále se určí minimální hodnota indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{In(min)} - U_{sat}}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (8)$$

Výstupní kondenzátor C_O se určí z požadavků na výstupní zvlnění. Čím větší bude jeho kapacita, tím bude výstupní zvlnění menší.

$$C_O = 9 \cdot \frac{I_{out(max)} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2(max)}} \quad (9)$$

Poslední částí návrhu je hodnota odporu R_1 a R_2 . Proud tímto děličem nesmí příliš zatěžovat vstup na interní komparátor. Počítáme jej ze vstupního klidového proudu na komparátor a referenčního napětí obvodu.

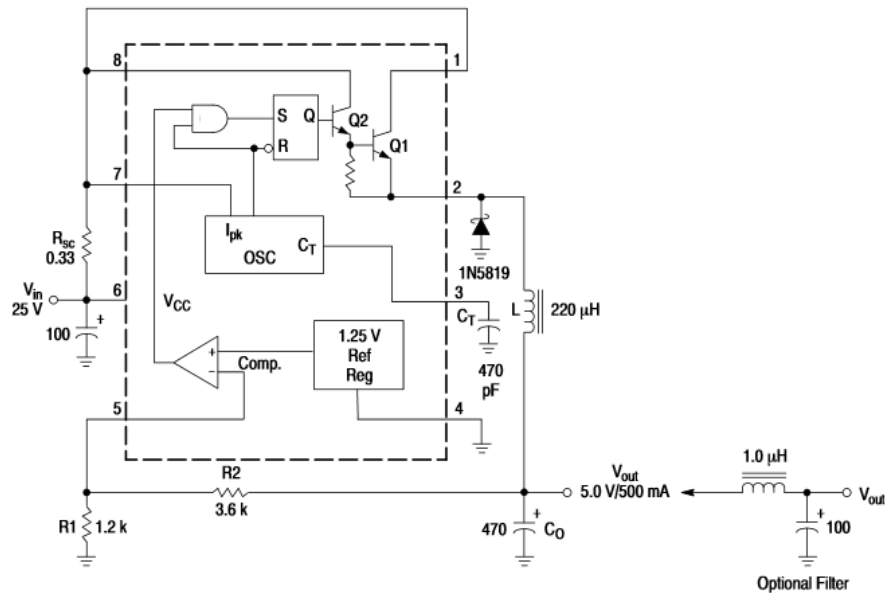
$$R_2 = \frac{U_{Ref}}{100 \cdot I_{IB}} \quad (10)$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{Ref}} - 1 \right) \quad (11)$$

- U_{Ref} – Referenční napětí obvodu.
- I_{IB} – Vstupní klidový proud na komparátor.

4.1.3 Snižující měnič

Ukázka zapojení snižujícího měniče je znázorněno na obrázku 13. Hodnoty součástek jsou spočítány pro měnič 25/5 V. Pro návrh tohoto měniče je potřeba znát hodnotu požadovaného výstupního napětí, maximální výstupní proud, výstupní zvlnění, vstupní napětí, minimální vstupní napětí a minimální frekvenci.



Obrázek 13 – Ukázka snižujícího měniče.

Pro návrh je důležité určit správný poměr dob sepnutí a vypnutí interního tranzistoru. Opět počítáme i s diodou a úbytkem napětí na ní, který označíme jako U_{Df} . A také se musí brát

v úvahu saturační napětí na tranzistoru. Jako v předchozím případě je potřeba určit dobu sepnutí a vypnutí tranzistoru.

$$s = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_{Out} + U_{Df}}{U_{In(min)} - U_{sat} - U_{Out}} \quad (12)$$

- U_{Out} – zvolené výstupní napětí.
- U_{Df} – úbytek napětí na diodě.
- $U_{In(min)}$ – Minimální vstupní napětí.
- U_{sat} – saturační napětí výstupního tranzistoru.
- t_{on} – doba sepnutí interního tranzistoru.
- t_{off} – doba vypnutí interního tranzistoru.

Z minimální frekvence určíme periodu T .

$$T = \frac{1}{f} \quad (13)$$

- T – Perioda.
- f – minimální frekvence.

Doba sepnutí a rozepnutí tranzistoru.

$$t_{off} = \frac{T}{s + 1} \quad (14)$$

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (15)$$

Kapacita kondenzátoru C_T se dá určit pomocí doby sepnutí tranzistoru.

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on} \quad (16)$$

- C_T – Kondenzátor oscilátoru.

Špičkovou hodnotu kolektorového proudu určíme s požadované hodnoty výstupního proudu.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{Out(max)} \quad (17)$$

- I_{pkT} – Špičková hodnota kolektorového proudu.
- $I_{Out(max)}$ – Maximální proud na výstupu.

Hodnota R_{SC} se vyjádří takto.

$$R_{SC} = 0,3 \cdot I_{pkT} \quad (18)$$

Minimální hodnota indukčnosti akumulací tlumivky:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{In(min)} - U_{sat} - U_{Out}}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (19)$$

Výstupní kondenzátor C_O se určí s požadavků na výstupní zvlnění.

$$C_O = \frac{I_{pkT} \cdot (t_{on} + t_{off})}{8 \cdot \Delta U_{2(max)}} \quad (20)$$

A požadavek na výstupní dělič je stejný jako v předchozím měniči.

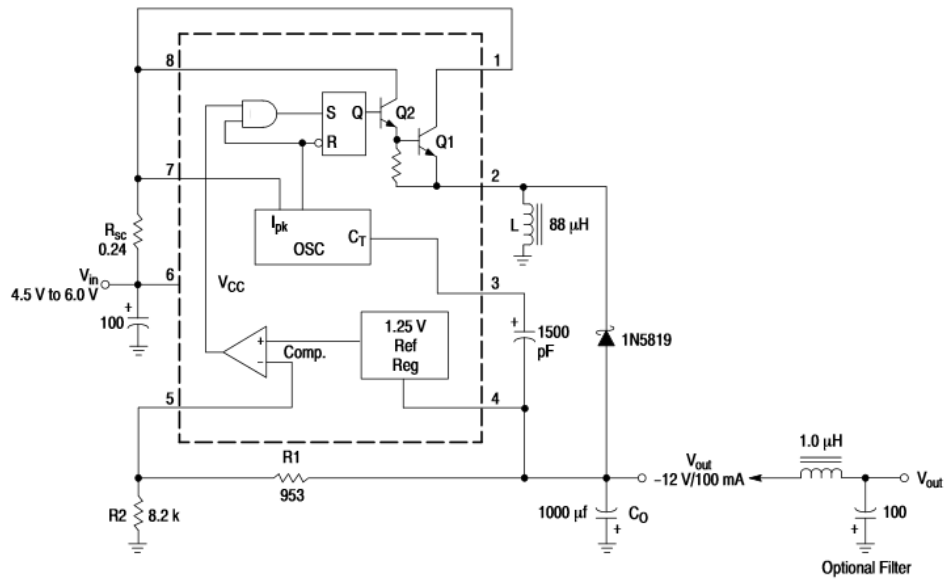
$$R_2 = \frac{U_{Ref}}{100 \cdot I_{IB}} \quad (21)$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{Out}}{U_{Ref}} - 1 \right) \quad (22)$$

- U_{Ref} – Referenční napětí obvodu.
- I_{IB} – Vstupní klidový proud na komparátor.

4.1.4 Invertující měnič

Ukázka zapojení invertujícího měniče je znázorněno na obrázku 14. Hodnoty součástek jsou spočítány pro měnič ze 4,5 V – 6 V na -12 V. Předpoklad pro výpočet je stejný jako v předchozím případě. Je tedy potřeba znát hodnotu požadovaného výstupního napětí, maximální výstupní proud, výstupní zvlnění, vstupní napětí, minimální vstupní napětí a minimální frekvenci.



Obrázek 14 – Ukázka invertujícího měniče.

Určí se tedy poměr sepnutí a rozepnutí tranzistoru.

$$s = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{|U_{out}| + U_{Df}}{U_{in} - U_{sat}} \quad (23)$$

- U_{out} – zvolené výstupní napětí.
- U_{Df} – úbytek napětí na diodě.
- U_{in} – Vstupní napětí.
- U_{sat} – saturační napětí výstupního tranzistoru.
- t_{on} – doba sepnutí interního tranzistoru.
- t_{off} – doba vypnutí interního tranzistoru.

Z minimální frekvence určíme periodu T .

$$T = \frac{1}{f} \quad (24)$$

- T – Perioda.
- f – minimální frekvence.

Doba sepnutí a rozepnutí tranzistoru.

$$t_{off} = \frac{T}{s + 1} \quad (25)$$

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (26)$$

Kapacita kondenzátoru C_T se dá určit pomocí doby sepnutí tranzistoru.

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on} \quad (27)$$

- C_T – Kondenzátor oscilátoru.

Špičkovou hodnotu kolektorového proudu určíme z poměru dob sepnutí a vypnutí tranzistoru a požadované hodnoty výstupního proudu.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{out(max)} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) \quad (28)$$

- I_{pkT} – Špičková hodnota kolektorového proudu.
- $I_{out(max)}$ – Maximální proud na výstupu.

Hodnota R_{SC} se vyjádří takto.

$$R_{SC} = 0,3 \cdot I_{pkT} \quad (29)$$

Minimální hodnota indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{In(min)} - U_{sat}}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (30)$$

Výstupní kondenzátor C_O se určí s požadavků na výstupní zvlnění.

$$C_O = 9 \cdot \frac{I_{out(max)} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2(max)}} \quad (31)$$

A požadavek na výstupní dělič je stejný jako v předchozím měniči.

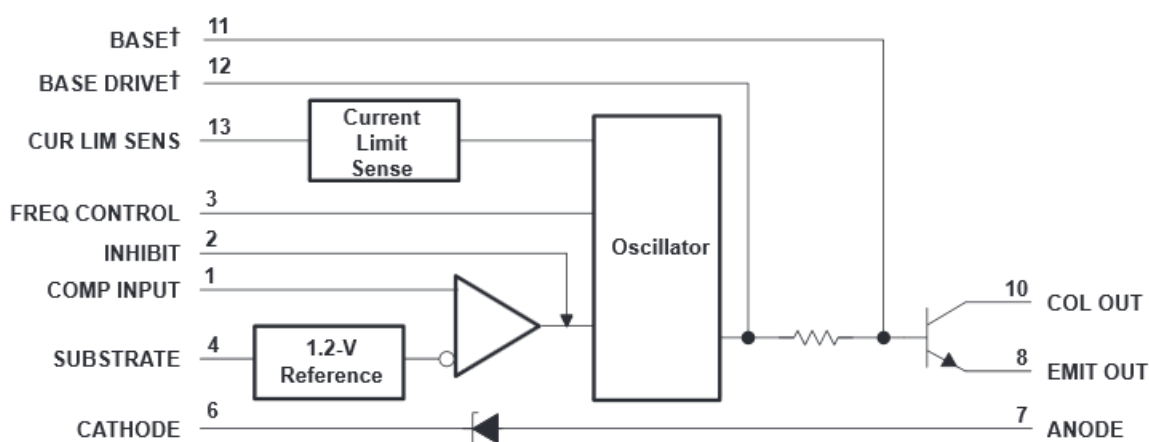
$$R_2 = \frac{U_{Ref}}{100 \cdot I_{IB}} \quad (32)$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{Ref}} - 1 \right) \quad (33)$$

- U_{Ref} – Referenční napětí obvodu.
- I_{IB} – Vstupní klidový proud na komparátor.

4.2 TL497

TL497 je univerzální integrovaný obvod od firmy Texas Instruments. Obsahuje všechny důležité vnitřní komponenty pro všechny druhy DC/DC měničů, aby bylo za potřeby co nejmenší množství externích součástek. Také může být zapojen jako řídicí obvod pro externí vysokonapěťový měnič. TL497 je obvod s proměnnou frekvencí, která se dá nastavit pomocí kondenzátoru přivedeného na vstup oscilátoru. Obvod má zdroj neměnného referenčního napětí 1,2 V. Obvod má také ochranu proti 3pičkovým proudům, které chrání tranzistor a cívku proti nasycení.



Obrázek 15 – Blokové schéma TL497.

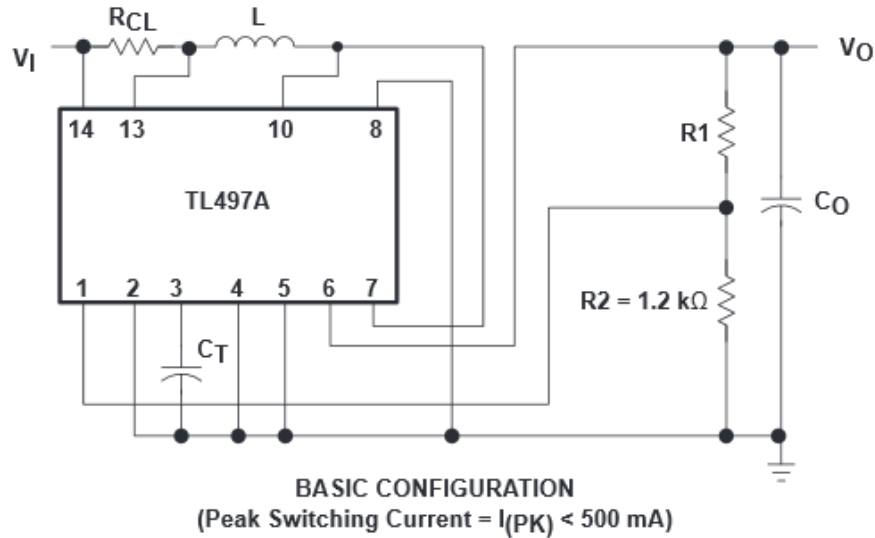
4.2.1 Parametry obvodu

Tabulka 2 – Parametry obvodu TL497

Název	hodnota	jednotka
Vstupní napětí	4,5 - 12	V
Maximální výstupní napětí	30	V
Maximální spínaný proud	0,5	A
Pracovní kmitočet	5 - 50	KHz
Účinnost	60 +	%
Maximální klidový proud	0,8	mA

4.2.2 Zvyšující měnič

Ukázka zapojení zvyšujícího měniče je znázorněno na obrázku 16. Pro návrh tohoto měniče je potřeba znát hodnotu požadovaného výstupního napětí, maximální výstupní proud, výstupní zvlnění a minimální vstupní napětí.



Obrázek 16 – Ukázka zapojení zvyšujícího měniče.

Výpočet je podobný jako u obvodu MC34063 z toho důvodu zde vypíši jen potřebné rovnice.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{out(max)} \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (34)$$

$$L(\mu H) = \frac{U_{in}}{I_{pkT}} \cdot t_{on}(\mu s) \quad (35)$$

Výrobce doporučuje zvolit t_{on} od 25 μs do 150 μs a měla by vyjít indukčnost cívky od 50 μH do 500 μH

$$C_T(pF) = 12 \cdot t_{on}(\mu s) \quad (36)$$

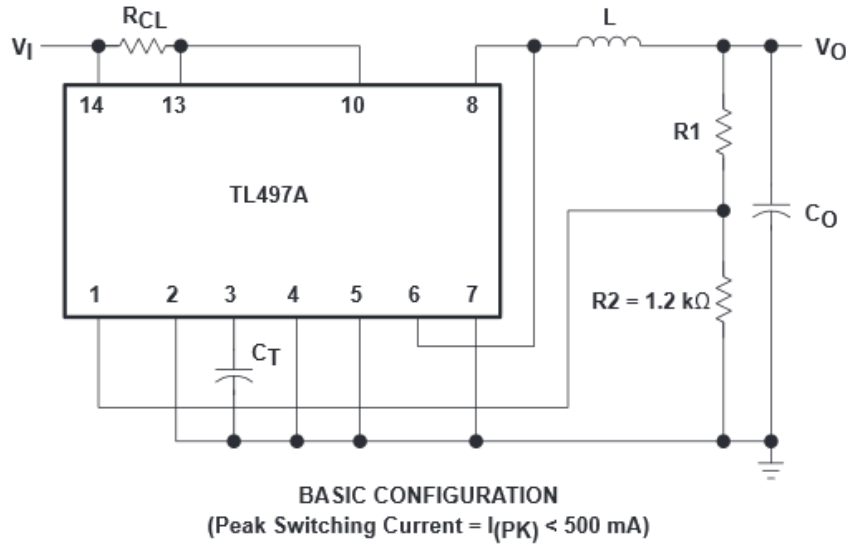
$$R_1 = (U_{out} - 1,2) \cdot 1000 \quad (37)$$

$$R_{CL} = \frac{0,5}{I_{pkT}} \quad (38)$$

$$C_O = t_{on} \cdot \frac{\frac{U_{in}}{U_{out}} \cdot I_{pkT} + I_{out}}{\Delta U_{2(max)}} \quad (39)$$

4.2.3 Snižující měnič

Ukázka zapojení snižujícího měniče je znázorněno na obrázku 17. Pro návrh tohoto měniče je potřeba znát hodnotu požadovaného výstupního napětí, maximální výstupní proud a výstupní zvlnění.



Obrázek 17 – Ukázka zapojení snižujícího měniče.

Výpočet je podobný jako u obvodu MC34063 z toho důvodu zde vypíši jen potřebné rovnice.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{Out(max)} \quad (40)$$

$$L(\mu H) = \frac{U_{In} - U_{Out}}{I_{pkT}} \cdot t_{on}(\mu s) \quad (41)$$

Výrobce doporučuje zvolit t_{on} od 25 μs do 150 μs a měla by vyjít indukčnost cívky od 50 μH do 500 μH

$$C_T(pF) = 12 \cdot t_{on}(\mu s) \quad (42)$$

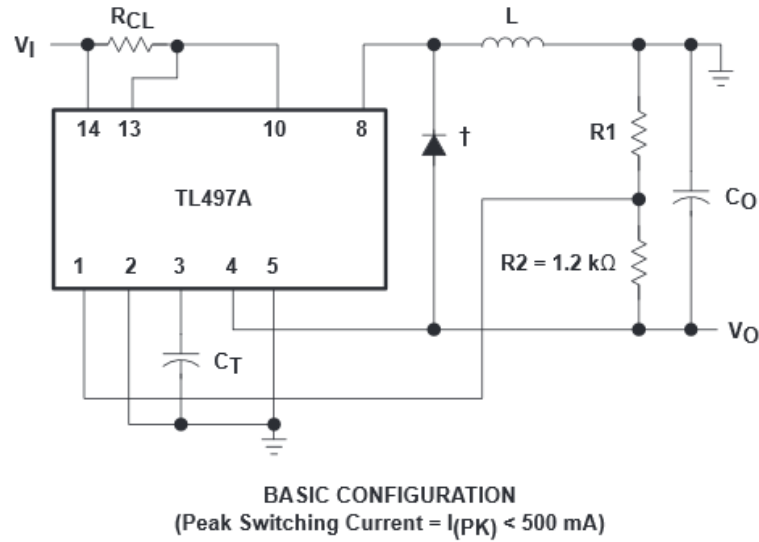
$$R_1 = (U_{Out} - 1,2) \cdot 1000 \quad (43)$$

$$R_{CL} = \frac{0,5}{I_{pkT}} \quad (44)$$

$$C_O = t_{on} \cdot \frac{\frac{U_{In} - U_{Out}}{U_{Out}} \cdot I_{pkT} + I_{Out}}{\Delta U_{2(max)}} \quad (45)$$

4.2.4 Invertující měnič

Ukázka zapojení invertujícího měniče je znázorněno na obrázku 18. Pro návrh tohoto měniče je potřeba znát hodnotu požadovaného výstupního napětí, maximální výstupní proud a výstupní zvlnění.



Obrázek 18 – Ukázka zapojení invertujícího měniče.

Výpočet je podobný jako u obvodu MC34063 z toho důvodu zde vypíši jen potřebné rovnice.

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{out(max)} \cdot \left(1 + \frac{|U_{out}|}{U_{in}}\right) \quad (46)$$

$$L(\mu H) = \frac{U_{in}}{I_{pkT}} \cdot t_{on}(\mu s) \quad (47)$$

Výrobce doporučuje zvolit t_{on} od 25 μs do 150 μs a měla by vyjít indukčnost cívky od 50 μH do 500 μH

$$C_T(pF) = 12 \cdot t_{on}(\mu s) \quad (48)$$

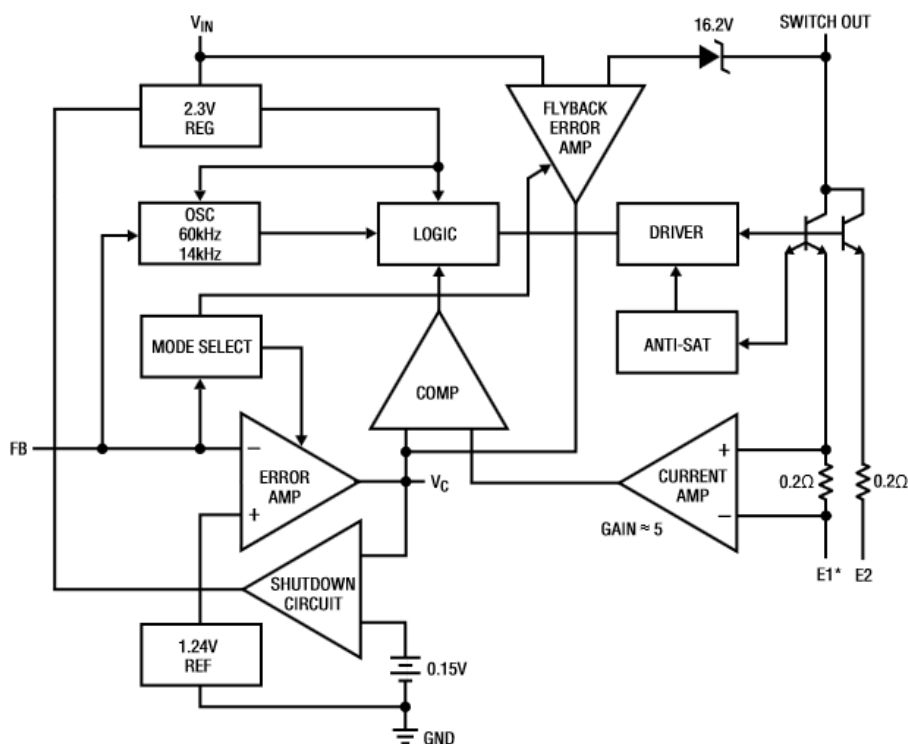
$$R_1 = (|U_{out}| - 1,2) \cdot 1000 \quad (49)$$

$$R_{CL} = \frac{0,5}{I_{pkT}} \quad (50)$$

$$C_O = t_{on} \cdot \frac{\frac{U_{in}}{|U_{out}|} \cdot I_{pkT} + I_{out}}{\Delta U_{2(max)}} \quad (51)$$

4.3 LT1082

LT1082 je univerzální integrovaný obvod od firmy Linear Technology. Obsahuje všechny důležité vnitřní komponenty pro všechny druhy DC/DC měničů a lze jej zapojit jako zvyšující, snižující, anebo invertující měnič. Obvod obsahuje i kontrolu proti špičkovému proudu.



Obrázek 19 – Blokové schéma LT1082

LT1082 je v proudovém spínacím módu. To znamená, že oscilace je přímo řízena spínaným proudem a ne výstupním napětím. Výstup je řízen, pomocí komparátoru, který získává signál z chybového zesilovače. Tato technika má několik výhod. Za prvé, že má okamžitou reakci na kolísání vstupního napětí, na rozdíl od běžných měničů, které mají špatné vedení přechodové odezvy. Za druhé, mění o 90° fázový posun ve středních frekvencích při uchovávání energie na cívce. Tím se výrazně zjednodušuje uzavření smyčky při velkém rozdílu vstupních napětí. Interní regulátor s nízkým úbytkem poskytuje napájení 2.3 V pro všechny vnitřní obvody na LT1082. Tato konstrukce umožňuje vstupní napětí od 3 V do 75 V s prakticky žádným omezením na výkonu zařízení.

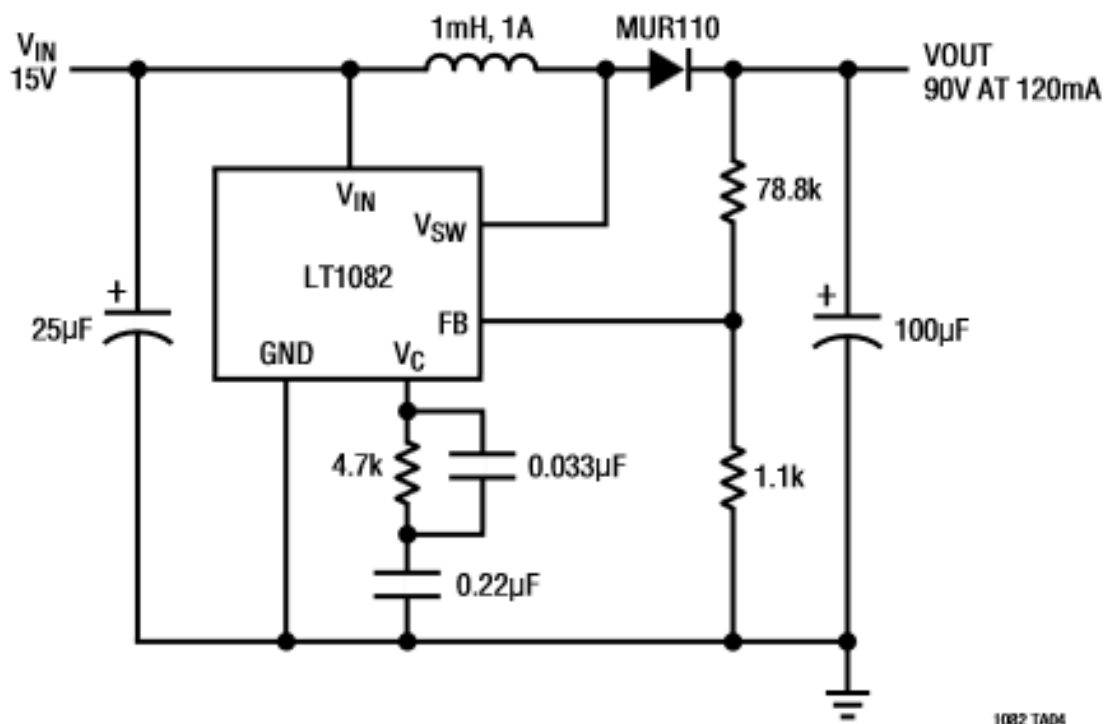
4.3.1 Parametry obvodu

Tabulka 3 – Parametry obvodu LT1082.

Název	hodnota	jednotka
Vstupní napětí	3 - 75	V
Maximální výstupní napětí	100	V
Maximální spínaný proud	1	A
pracovní kmitočet	60	KHz
Účinnost	85	%
Maximální klidový proud	4,5	mA

4.3.2 Ukázka zapojení

Protože výpočty jsou podobné jako v předchozích případech tak jen ukáži zapojení zvyšujícího měniče s tímto obvodem na obrázku 20.



Obrázek 20 – Ukázka zapojení obvodu LT1082 jako zvyšující měnič.

4.4.1 Parametry obvodu

Tabulka 4 – Parametry obvodů LT1170/LT1171/LT1172.

Název	hodnota			jednotka
	LT1170	LT1171	LT1172	
Vstupní napětí	3 - 40	3 - 40	3 - 40	V
Maximální výstupní napětí	65	65	65	V
Maximální spínaný proud	5	2,5	1,25	A
Pracovní kmitočet	100	100	100	KHz
Maximální účinnost	92	92	92	%
Klidový proud	6	6	6	mA

5 NÁVRH DC/DC MĚNIČE 24 / 48 V

Pro návrh tohoto měniče jsem zvolil obvod LT1172 v pouzdře DIL8, z důvodu dostupnosti na našem trhu s elektronickými součástkami, jednoduchosti zapojení, maximálnímu výstupnímu napětí v tomto pouzdře 65 V a maximálnímu výstupnímu proudu 1,25 A.

5.1 Výpočty parametrů externích součástek

Prvním krokem pro výpočet spínaného proudu je určit pracovní cyklus pro minimální vstupní napětí, které jsem zvolil 20 V. Minimální vstupní napětí se používá, protože to vede k maximálnímu spínanému proudu.

$$s = 1 - \frac{U_{in(min)} \cdot \eta}{U_{out}} = 1 - \frac{20 \cdot 0,8}{48} = \frac{2}{3} = 0,6666 \quad (52)$$

Dalším krokem pro výpočet maximálního spínaného proudu je určit zvlnění proudu na cívce ΔI_L .

$$\Delta I_L = 0,833 \cdot (2 - s) = 0,833 \cdot \left(2 - \frac{2}{3}\right) = \frac{833}{750} = 1,1106 \text{ A} \quad (53)$$

Nyní můžeme určit maximální výstupní proud.

$$\begin{aligned} I_{out(max)} &= \left(I_{LIM(min)} - \frac{\Delta I_L}{2}\right) \cdot (1 - s) = \\ &= \left(1 - \frac{1,1106}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{3}\right) = 0,1482 \text{ A} \end{aligned} \quad (54)$$

Jako další se vypočítá hodnota cívky. Čím vyšší je hodnota cívky, tím vyšší je maximální výstupní proud z důvodu snížení zvlnění proudu.

$$\begin{aligned} L_{min} &= \frac{U_{in} \cdot (U_{out} - U_{in})}{\Delta I_L \cdot f_{min} \cdot U_{out}} = \frac{24 \cdot (48 - 24)}{\frac{833}{750} \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot 48} = \\ &= 127,1097 \cdot 10^{-6} \text{ H} = 127,1097 \text{ } \mu\text{H} \end{aligned} \quad (55)$$

Poté se vypočte hodnota proudu přes odporový dělič, které musí být nejméně 100 krát větší než zpětnovazební proud.

$$I_{R1/2} = 100 \cdot I_{FB} = 100 \cdot 750 \cdot 10^{-9} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 75 \text{ } \mu\text{A} \quad (56)$$

Dále se vypočítají rezistory v odporovém děliči, které se přizpůsobí odporové řadě E12.

$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_{R1/2}} = \frac{1,244}{75 \cdot 10^{-6}} = 16\,587\,\Omega \quad (57)$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{Ref}} - 1 \right) = 16\,587 \cdot \left(\frac{48}{1,244} - 1 \right) = 623\,413\,\Omega \quad (58)$$

Vypočet výstupního kondenzátoru.

$$C_O = \frac{I_{out(max)} \cdot s}{f_{min} \cdot \Delta U_{2(max)}} = \frac{1 \cdot \frac{2}{3}}{85 \cdot 10^3 \cdot 0,01} = 7,84 \cdot 10^{-4}\,F \quad (59)$$

$$= 784\,\mu F$$

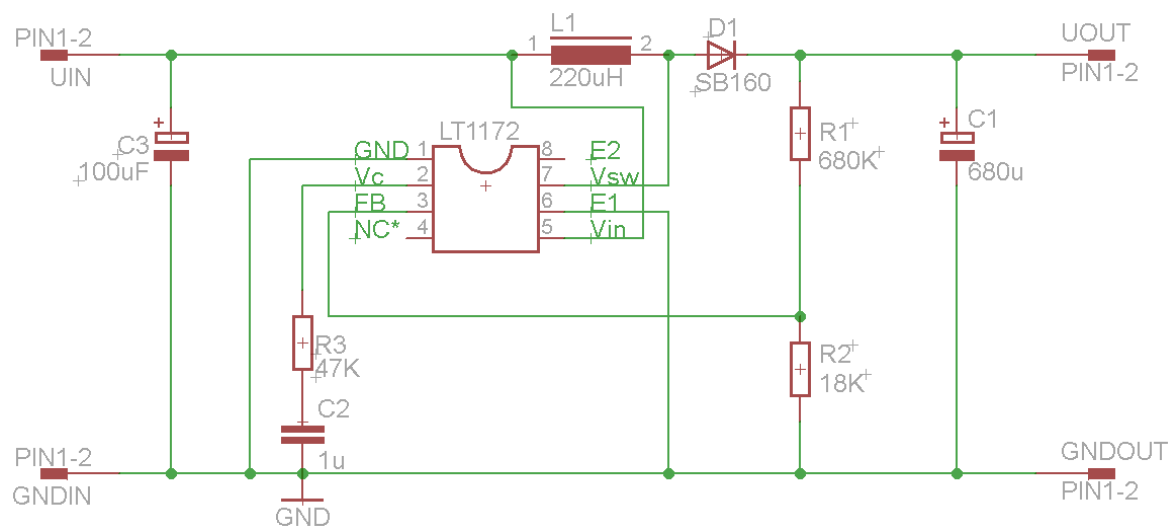
Pro konečné zapojení jsem použil součástky z řad, které jsou běžně na prodej. Odporů v děliči jsem zvolil výkonové 2 W.

Tabulka 5 – Soupis
součástek

L	220 μ H
R ₁	680 k Ω
R ₂	18 k Ω
R ₃	47 k Ω
C ₁	680 μ F
C ₂	1 μ F
C ₃	100 μ F

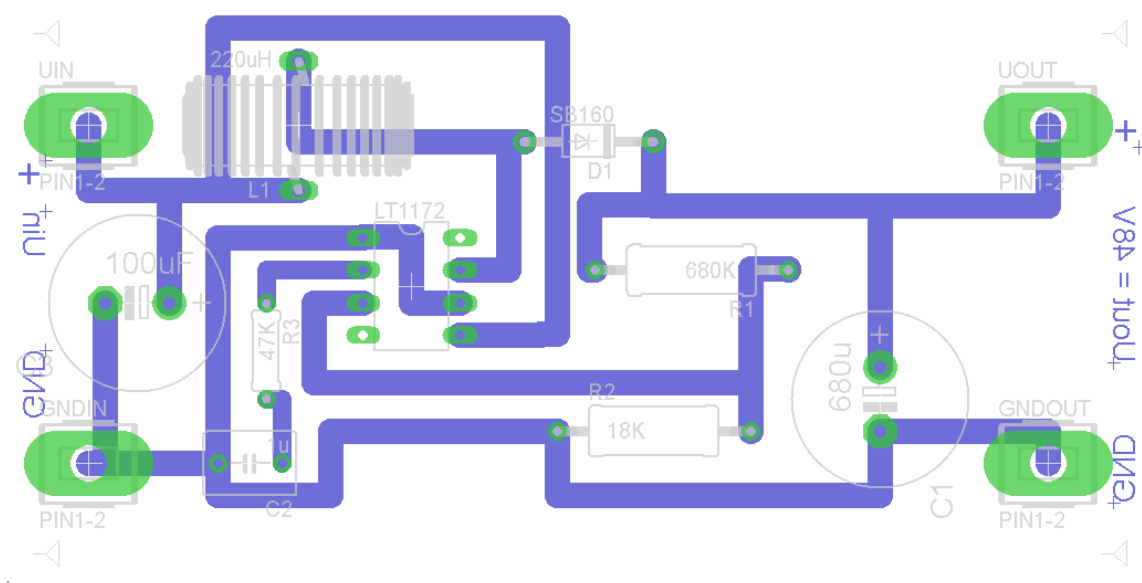
5.2 Schéma zapojení

Schéma je navrženo podle základního schématu zvyšujícího měniče z technické dokumentace a i s plošným spojem vypracováno v programu Eagle.



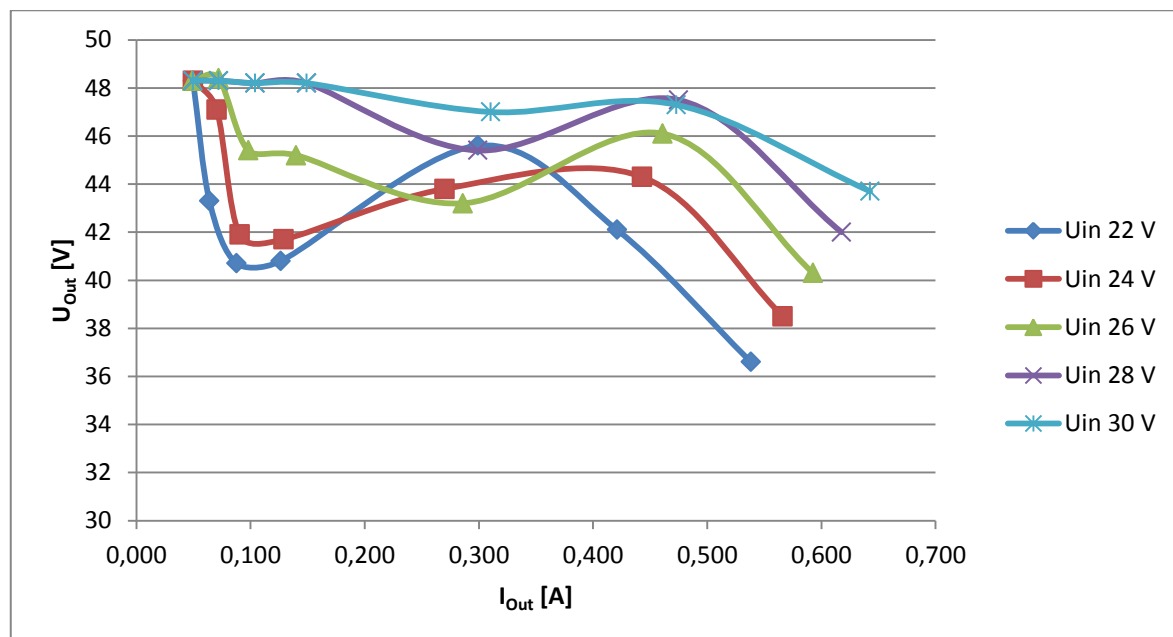
Obrázek 22 – Schéma zapojení navrhovaného měniče v programu Eagle.

5.3 Plošný spoj



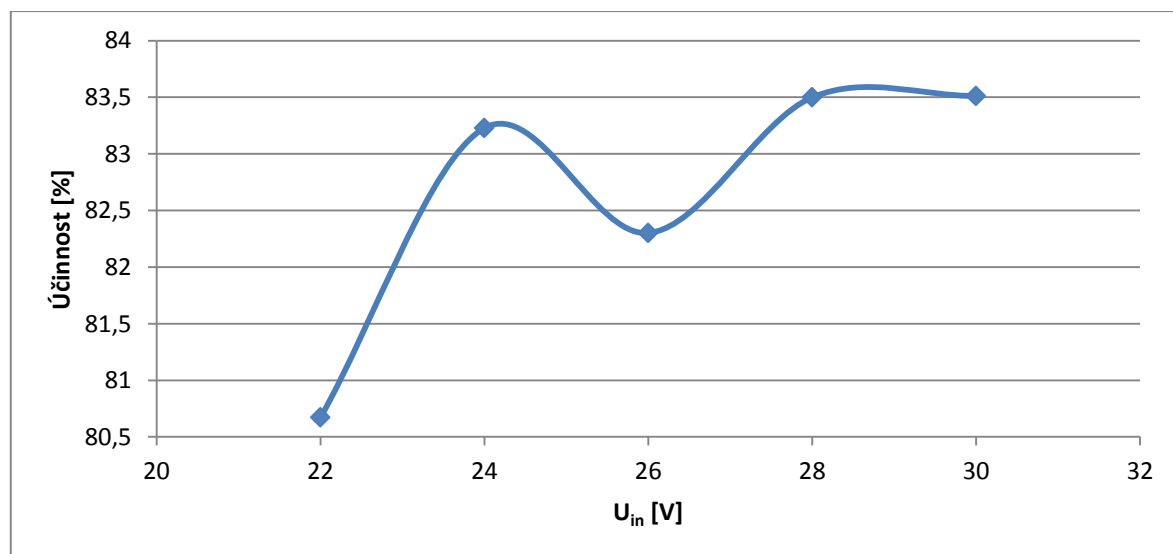
Obrázek 23 – Výsledný plošný spoj.

5.4 Zatěžovací charakteristika



Obrázek 24 – Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče.

5.5 Účinnost DC/DC Měníče



Obrázek 25 – Účinnost DC/DC měniče

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání řídicích obvodů pro výkonové měniče. Z těchto obvodů bylo vybráno pár od firem On Semiconductor, Texas Instruments a Linear Technology, které jsou běžně dostupné na našem trhu. Z těchto firem bych doporučil řídicí obvody od firmy Linear Technology, které mají pár nesporných výhod nad ostatními, jako například propracované ošetření obvodu proti vnější chybě nebo ustálené napětí pro vnitřní komponenty těchto obvodů.

Dalším úkolem bylo navrhnutí a zhotovení jednoho DC/DC měniče. K tomuto úkolu jsem zvolil řídicí obvod LT1172, který má všechny specifické požadavky k tomuto úkolu. Bohužel až po naměření výsledných charakteristik jsem zjistil, že by bylo výhodnější pro toto zadání zvolit obvod LT1170, který má vyšší proudové omezení a tím pádem stabilnější chod při vyšší zátěži.

Většina informací byla čerpána z firemních dokumentací k obvodům a z webových stránek těchto firem.

Závěrem bych chtěl říct, že zpracování této práce mi přineslo mnoho informací a poznatků ohledně této problematiky a byl bych rád, kdyby posloužila i někomu dalšímu k informování se ohledně výkonových měničů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KREJČÍŘÍK, Alexandr. DC/DC měniče. 1. vydání. Praha: BEN technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-045-8.
- [2] LADMAN, Josef. Elektronické konstrukce pro začátečníky. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 978-80-7300-015-8.
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje. 1 vydání. Praha: BEN technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-02-3.
- [4] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje. 2 vydání. Praha: BEN technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-03-1.
- [5] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje. 3 vydání. Praha: BEN technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-56-2.
- [6] HAMMERBAUER, Jiří, Václav KŮS a Jiří SKÁLA. Elektromagnetická kompatibility výkonových elektronických systémů: EMC v energetice. 1. české. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [7] KŮS, Václav. Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu. 1. vyd. Praha: BEN-Technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-062-8.
- [8] Měniče výkonové elektroniky a jejich použití v technických aplikacích. Elektro: časopis pro elektroniku [online]. 2001, č. 06 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/el060106.pdf>
- [9] © SEMICONDUCTOR COMPONENTS INDUSTRIES. Katalogový list obvodu MC34063 [online]. 2010 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF
- [10] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. Katalogový list obvodu TL497A [online]. 2005 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl497a.pdf>
- [11] LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION. Katalogový list obvodu LT1082 [online]. 1993 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1082fas.pdf>
- [12] LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION. Katalogový list obvodu LT1172 [online]. 1991 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/117012fg.pdf>

- [13] LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION. LT1070 Design Manual [online]. 1986 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/application-note/an19fc.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_1, C_2	Kondenzátory.
C_O	Výstupní kondenzátor.
C_T	Časovací kondenzátor.
D	Dioda.
E	Energie.
f	Frekvence.
GTO	Vypínací tyristor.
I	Proud.
I_{FAV}	Typový proud.
IGBT	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem.
IGCT	Vypínací tyristor.
I_{IB}	Vstupní klidový proud na komparátor.
$I_{LIM(min)}$	Minimální spínaný proud.
$I_{Out(max)}$	Maximální výstupní proud.
I_{pkT}	Špičková hodnota kolektorového proudu.
I_{TAV}	Střední proud tyristorem.
L	Cívka.
PWM	Pulzně šířková modulace.
R_1, R_2	Odpory v děliči napětí.
RCT	Zpětně propustné tyristory.
t	Čas.
T	Perioda.
T, Q_1, Q_2	Tranzistory.
t_{off}	Doba rozeptnutí tranzistoru.

t_{on}	Doba sepnutí tranzistoru.
$+U$	Kladné napětí.
$-U$	Záporné napětí.
U_{Df}	Úbytek napětí na diodě.
$U_{\text{in}}, U_1, V_{\text{in}}$	Vstupní napětí.
$U_{\text{In(min)}}$	Minimální vstupní napětí.
$U_{\text{Out}}, U_2, V_{\text{out}}$	Výstupní napětí.
U_{Ref}	Referenční napětí,
U_{RRM}	Závěrné napětí diody.
U_{sat}	Saturační napětí výstupního tranzistoru.
η	Účinnost.
ΔI_{L}	Zvlnění proudu na cívce.
$\Delta U_{2(\text{max})}$	Výstupní zvlnění.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Rozsah napětí a proudů jednotlivých typů výkonových součástek.....	11
Obrázek 2 - Třídění výkonových měničů.	13
Obrázek 3 - Principiální schéma neřízeného trojfázového usměrňovače.	14
Obrázek 4 – trojfázový řízený tyristorový usměrňovač.....	14
Obrázek 5 – schéma ventilového pohonu.	15
Obrázek 6 – Schéma zapojení napájecího zdroje pro elektrostatický filtr.	17
Obrázek 7 – Zapojení řízené kombinace.	18
Obrázek 8 – Zvyšující měnič.	20
Obrázek 9 – Snižující měnič.	21
Obrázek 10 – Invertující měnič.	21
Obrázek 11 – Vnitřní struktura MC34063	25
Obrázek 12 – Ukázka zvyšující měniče.....	26
Obrázek 13 – Ukázka snižujícího měniče.....	28
Obrázek 14 – Ukázka invertujícího měniče.....	31
Obrázek 15 – Blokové schéma TL497.	33
Obrázek 16 – Ukázka zapojení zvyšujícího měniče.	34
Obrázek 17 – Ukázka zapojení snižujícího měniče.	35
Obrázek 18 – Ukázka zapojení invertujícího měniče.	36
Obrázek 19 – Blokové schéma LT1082	37
Obrázek 20 – Ukázka zapojení obvodu LT1082 jako zvyšující měnič.	38
Obrázek 21 – Blokové schéma obvodu LT1170/LT1171/LT1172	39
Obrázek 22 – Schéma zapojení navrhovaného měniče v programu Eagle.....	43
Obrázek 23 – Výsledný plošný spoj.	43
Obrázek 24 – Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče.	44
Obrázek 25 – Účinnost DC/DC měniče.....	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Parametry obvodu MC34063.....	25
Tabulka 2 – Parametry obvodu TL497	33
Tabulka 3 – Parametry obvodu LT1082.	38
Tabulka 4 – Parametry obvodů LT1170/LT1171/LT1172.	40
Tabulka 5 – Soupis součástek.....	42

SEZNAM PŘÍLOH

P I CD-ROM

CD-ROM obsahuje: Bakalářskou práci ve formátu pdf, schéma a plošný spoj ve formátu pro program Eagle.