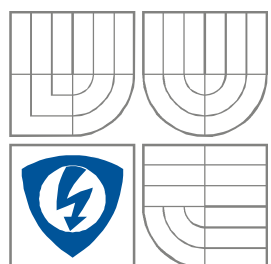


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VZOROVÉ MODULY DC/DC MĚNIČŮ

TEMPLATES OF DC/DC CONVERTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S PROJECT

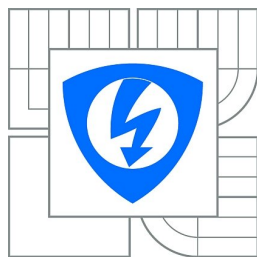
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR SKOUPÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Petr Skoupý

ID: 98099

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Vzorové moduly DC/DC měničů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se principy malovýkonových DC/DC měničů a nejdostupnějšími typy integrovaných obvodů pro jejich řízení. Proveďte rozbor a návrh obvodového zapojení univerzálních DC/DC beztransformátorových měničů se třemi vybranými integrovanými obvody. Pokuste se zapojení navrhnout tak, aby umožňovala konstrukci malého snižujícího, zvyšujícího i invertujícího měniče. Navrhněte desky plošných spojů univerzálních DC/DC měničů a zkonstruujte několik typů měničů. Realizované měniče změřte a srovnajte dosažitelné parametry. Sestavte dokumentaci obsahující podrobný návod pro návrh DC/DC měničů - výpočty prvků, osazovací plány, doporučené typy součástek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I. Praha: BEN - technická literatura, 1996.
[2] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje II. Praha: BEN - technická literatura, 1996.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a realizaci univerzálních DC/DC měničů se třemi integrovanými obvody. Hlavní část popisuje postupný rozbor silové a řídicí části, jakožto funkčních bloků a jednotlivých schémat. Největší důraz je kladen na tři obvodová zapojení pro snižující, zvyšující a invertující měnič a vybrání vhodných řídicích obvodů, které jsou dostupné na trhu s elektronickými součástkami a splňují všechny námi zadané požadavky. Výslednou realizací je postupný rozbor výpočtu vnějších obvodových součástek a vytvoření univerzálních desek plošných spojů s osazovacími plány pro konkrétní zapojení měničů, jejich zatěžovací charakteristiky a doporučenému výběru součástek.

KLÍČOVÁ SLOVA

DC/DC měnič, zvyšující, snižující, invertující měnič

ANNOTATION

The aim of this thesis is a suggestion and a realization of universal DC/DC convertor with three chips. The first part of this work is focused on the progressive analysis of the power and control part, as function blocks and diagrams. The greatest emphasis is placed on the three circuit wiring for step-down, step-up and inverting convertor. It was necessary to choose the right control circuit, which is available on the market and fulfil all our requirements. Progressive analysis of outer peripheral parts calculations and selecting for the convertor with specific parameters and load characteristic and creation of universal PCB with sholdering is the final realization.

KEYWORDS

DC/DC convertor, step-up, step-down, inverting convertor

SKOUPÝ, P. *Vzorové moduly DC/DC měničů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vzorové moduly DC/DC měničů 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

1 Úvod	10
2 Základní zapojení	11
2.1 Obvody bez indukčnosti	12
2.2 Obvody s indukčností	12
2.2.1 Snižující měnič	12
2.2.2 Zvyšující měnič.....	14
2.2.3 Invertující měnič	15
3 Řídící obvody DC/DC měničů.....	17
4 Jednočinné zdroje s integrovaným tranzistorem.....	19
4.1 Základní zapojení obvodu MC34063	19
4.1.1 Parametry obvodu	20
4.1.2 Zvyšující měnič – vztahy pro výpočet.....	21
4.1.3 Snižující měnič – vztahy pro výpočet.....	24
4.1.4 Invertující měnič – vztahy pro výpočet	26
4.2 Základní zapojení obvodu MC34163	29
4.2.1 Parametry obvodu	30
4.2.2 Zvyšující měnič – vztahy pro výpočet.....	31
4.2.3 Snižující měnič – vztahy pro výpočet.....	33
4.2.4 Invertující měnič – vztahy pro výpočet	35
4.3 Základní zapojení obvodu LM3578.....	38
4.3.1 Parametry obvodu	38
4.3.2 Snižující měnič – vztahy pro výpočet.....	39
4.3.3 Zvyšující měnič – vztahy pro výpočet.....	40
4.3.4 Invertující měnič – vztahy pro výpočet	42
5 Podklady pro výrobu plošného spoje a jeho osazení	44
5.1 Využití obvodu MC34063	44
5.1.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič.....	45
5.1.2 Ukázka hotových měničů.....	46
5.2 Využití obvodu MC34163	47
5.2.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič.....	48
5.2.2 Ukázka hotových měničů.....	49
5.3 Využití obvodu LM3578	50
5.3.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič.....	51
5.3.2 Ukázka hotových měničů.....	52
6 Doporučené typy součástek.....	53
6.1 Kondenzátory.....	53
6.2 Indukčnosti.....	53
7 Zatěžovací charakteristiky jednotlivých měničů	53
7.1 Využití obvodu MC34063	54
7.2 Využití obvodu MC34163	55
7.3 Využití obvodu LM3578	56
8 Závěr	57
9 Seznam použité literatury	58
10 Seznam zkratk	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Blokové schéma spínaného zdroje (převzato z [1])	11
Obr. 2: Principiální zapojení měniče, který snižuje napětí (převzato z [1])	12
Obr. 3: Principiální zapojení měniče, který zvyšuje napětí (převzato z [1])	14
Obr. 4: Principiální zapojení invertujícího měniče napětí (převzato z [1])	15
Obr. 5: Vnitřní struktura MC34063	19
Obr. 6: Časové průběhy napětí na kondenzátoru C_T (převzato z [1])	19
Obr. 7: Časování obvodu MC34063 (převzato z [1])	20
Obr. 8: Schéma zapojení zvyšujícího měniče (převzato z [7])	21
Obr. 9: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [7])	24
Obr. 10: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [7])	26
Obr. 11: Vnitřní struktura MC34163	29
Obr. 12: Časování obvodu MC34163 (převzato z [8])	30
Obr. 13: Schéma zapojení zvyšujícího měniče (převzato z [8])	31
Obr. 14: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [8])	33
Obr. 15: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [8])	35
Obr. 16: Vnitřní struktura LM3578 (převzato z [9])	38
Obr. 17: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [9])	39
Obr. 18: Schéma zapojení zvyšujícího měniče (převzato z [9])	40
Obr. 19: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [9])	42
Obr. 20: Univerzální schéma zapojení pro všechny tři typy měničů	44
Obr. 21: Deska plošného spoje pro řídicí obvod MC34063 (měřítko 1:1)	44
Obr. 22: Osazovací plán zvyšujícího měniče	45
Obr. 23: Osazovací plán snižujícího měniče	45
Obr. 24: Osazovací plán invertujícího měniče	45
Obr. 25: Osazená deska zvyšujícího měniče	46
Obr. 26: Osazená deska snižujícího měniče	46
Obr. 27: Osazená deska invertujícího měniče	46
Obr. 28: Univerzální schéma zapojení pro všechny tři typy měničů	47
Obr. 29: Deska plošného spoje pro řídicí obvod MC34163 (měřítko 1:1)	47
Obr. 30: Osazovací plán zvyšujícího měniče	48
Obr. 31: Osazovací plán snižujícího měniče	48
Obr. 32: Osazovací plán invertujícího měniče	48
Obr. 33: Osazená deska zvyšujícího měniče	49
Obr. 34: Osazená deska snižujícího měniče	49
Obr. 35: Osazená deska invertujícího měniče	49
Obr. 36: Univerzální schéma zapojení pro všechny tři typy měničů	50
Obr. 37: Deska plošného spoje pro řídicí obvod LM3578 (měřítko 1:1)	50
Obr. 38: Osazovací plán zvyšujícího měniče	51
Obr. 39: Osazovací plán snižujícího měniče	51
Obr. 40: Osazovací plán invertujícího měniče	51
Obr. 41: Osazená deska zvyšujícího měniče	52
Obr. 42: Osazená deska snižujícího měniče	52
Obr. 43: Osazená deska invertujícího měniče	52
Obr. 44: Snižující měnič 15V/ 5V, 500 mA	54
Obr. 45: Zvyšující měnič 12V/ 28V, 180 mA	54
Obr. 46: Invertující měnič 5 V/ -12V, 100 mA	54
Obr. 47: Snižující měnič 12V/ 5V, 3000 mA	55

Obr. 48: Zvyšující měnič 12V/ 28V, 1000 mA	55
Obr. 49: Invertující měnič 12V/ -12V, 1000 mA	55
Obr. 50: Snižující měnič 15V/ 5V, 350 mA	56
Obr. 51: Zvyšující měnič 5V/ 15V, 140 mA	56
Obr. 52: Invertující měnič 5V/ -15V, 300 mA	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Parametry obvodu MC34063	20
Tab. 2: Parametry obvodu MC34163	30
Tab. 3: Parametry obvodu LM3578.....	38
Tab. 4: Parametry kondenzátorů pro spínané zdroje	53

1 Úvod

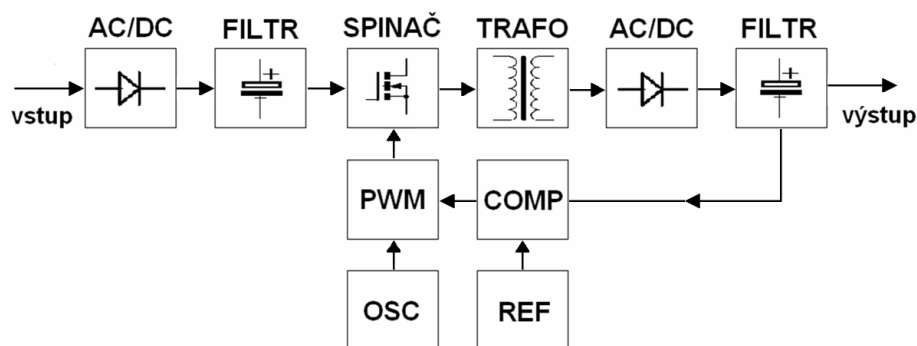
V dnešní době se setkáváme se spínanými zdroji téměř v každém odvětví elektroniky. Najdeme je například v počítačích, moderních nabíječkách a dalších zařízeních, kde je potřeba dosáhnout vysoké účinnosti, kompaktnosti, malých rozměrů a především i hmotnost dnes hraje důležitou roli. Proto se dnes už upouští od využívání klasických lineárních zdrojů. Spínané zdroje zaujímají značnou část na trhu s elektronikou. Nevýhodou oproti klasickým lineárním zdrojům je jejich složitý návrh, kde se musí vycházet z výběru určitého typu součástek, které jsou dnes běžně k dostání na trhu. Velké požadavky jsou kladeny především na co nejmenší ekvivalentní sériový odpor filtračních kondenzátorů, mezní kmitočty tranzistorů, diod a rozptylové indukčnosti transformátorů.

Nevýhodou lineárních zdrojů oproti zdrojům spínaným je jejich malá účinnost a s tím spojené velké tepelné ztráty. Naopak jejich výhodou je minimální rušení v oblasti vysokých frekvencí. Pro moderní techniku, kde je většinou zapotřebí velkých výkonů jsou velké tepelné ztráty a malá účinnost nežádoucí. Dnes se již spínané zdroje používají i při výkonu přesahujícím několik wattů. Výhodou spínaných zdrojů jsou menší požadavky na akumulaci energie a filtraci zbytků střídavé složky. Spínané zdroje musí díky svému rušení způsobeném spínacími prvky splňovat normu EMI, která zaručuje, že se rušení dostane do sítě a okolí jen v minimálním množství.

Cílem bakalářské práce je sestavení univerzálních návodů pro návrh a realizaci spínaných zdrojů s malými výkony. První část práce je zaměřena na rozbor jednotlivých zapojení s využitím třech řídicích obvodů. Dále je zde uveden postupný rozbor výpočtu jednotlivých obvodových součástek. S využitím vybraných obvodů byla vytvořena technická dokumentace pro výrobu plošných spojů a osazovací plány k jednotlivým zapojením. Výsledkem práce jsou tři zapojení univerzálních spínaných zdrojů. Invertující, snižující a zvyšující měnič, které jsou vhodně doplněny zatěžovacími charakteristikami a vhodným výběrem součástek. Výsledná dokumentace včetně desek plošných spojů bude využita pro studenty v laboratořích VUT.

2 Základní zapojení

Spínaný zdroj se z obvodového hlediska skládá z funkčních bloků, jak je patrné z obr. 1. Pro každý spínaný zdroj není ovšem pravidlem, že obsahuje všechny tyto části. Jako základ pro správné fungování spínaného zdroje je při napájení z elektrické sítě potřeba zajistit stejnosměrné vstupní napětí. Proto je na vstupu zapojen usměrňovač síťového napětí s vyhlazovacím kondenzátorem. Usměrňovač nemusíme použít v případě, že máme k dispozici přímo stejnosměrné napětí. V případě že tomu tak není, je nutné použít vhodný síťový filtr, který zaručí, že se na výstupu usměrňovacího a filtračního bloku objeví minimální zvlnění. Filtr je realizován z RC, LC členů a musí mít na síťovém kmitočtu, co nejmenší ztráty což zaručí, že celková účinnost spínaného zdroje nepoklesne.



Obr. 1: Blokové schéma spínaného zdroje (převzato z [1])

Pro správnou funkčnost spínaných zdrojů je nutná transformace vstupního napětí na napětí střídavé. Tato transformace se provádí za pomoci tranzistorů, které pracují na vysoké spínací frekvenci 20kHz až 1MHz. Tímto spínáním se vytvoří potřebný obdélníkový průběh pro další zpracování. Transformace napětí, tedy jeho velikosti, může probíhat na indukčnosti, nebo na transformátoru. Takto vytvořené výsledné napětí je opět nutno usměrnit a následně vhodně vyfiltrovat tak, aby se odstranily zbytky střídavé složky. Zde je kladen velký nárok na usměrňovací diody, které musí pracovat na vysokém kmitočtu. Požadavky jsou především na zapínací a vypínací dobu diody a malou parazitní kapacitu PN přechodu. Výstupní filtr je realizován podstatně jednodušeji ve srovnání s filtrem vstupním, jelikož pracuje s vysokým kmitočtem, který lze snadněji odfiltrovat. K odfiltrování vysokých kmitočtů na výstupu se nejčastěji používají LC články. Sériovým řazením těchto článků můžeme dosáhnout téměř dokonalého vyhlazení.

Součástí každého spínaného zdroje je také zpětná vazba, která bývá nejčastěji realizována pomocí vhodných součástek. Úkolem této vazby je snímat výstupní napětí a v závislosti na něm řídit spínání zdroje. Bez zpětné vazby by obvody zdroje nevěděly jaké je na výstupu napětí a při zatížení by došlo k jeho poklesu. Zpětná vazba musí být schopna rychle reagovat na změnu vlastností zátěže. [1]

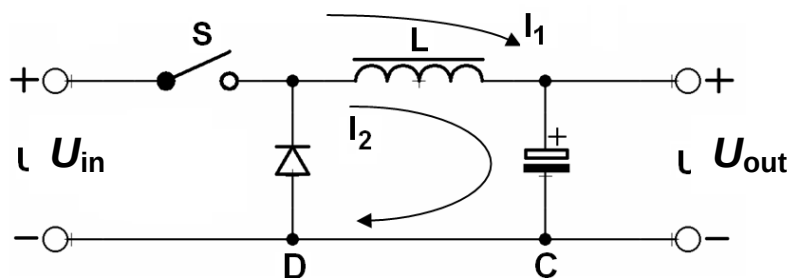
2.1 Obvody bez indukčnosti

Většina spínaných zdrojů je založena na jevech vznikajících na indukčnostech. U obvodů, kde není indukčnost využita, dochází k násobení napětí pomocí kondenzátorů. Paralelně nabitě kondenzátory se seřadí sériově, čímž se zvýší výsledné napětí. U tohoto zapojení lze získat i napětí inverzní, tedy opačné polarity než je napětí vstupní. Docílit toho můžeme za pomoci spínacích tranzistorů, které nám otočí kondenzátor proti společnému vodiči tak, aby výstupní napětí bylo opačné. Výhodou těchto zdrojů je že, nezpůsobují elektromagnetické rušení. Nevýhodou je jejich neschopnost dodat velký výstupní proud do zátěže. Proto se používají pouze v nenáročných aplikacích.

2.2 Obvody s indukčností

2.2.1 Snižující měnič

Cívka zapojená v obvodu je součástí integrujícího LC článku. Na výstupu je zapojen kondenzátor, který je vlivem proudu I_1 dobíjen. Pokud dojde k sepnutí spínače S , dochází k nárůstu výstupního napětí a to tak, že pokud je velikost kapacity C a indukčnosti L velká nabíjení trvá delší dobu a naopak.



Obr. 2: Principiální zapojení měniče, který snižuje napětí (převzato z [1])

Pokud dojde k rozepnutí spínače S , tak se indukčnosti L snaží, aby směr a velikost proudu byla stejná. Během počáteční etapy, kdy došlo k naakumulování energie při sepnutém spínači S , se tato energie mění na proud I_2 , kterým je dobíjen výstupní kondenzátor C . Pro správnou funkčnost tedy musíme obvod doplnit vhodnou součástí, která nám způsobí uzavření proudového okruhu I_2 . Ve většině případů se zde využívá usměrňovací dioda vhodných parametrů. Pokud si shrneme informace, které jsme doposud získali, tak zjistíme, že při sepnutém spínači S dochází ke zvyšování napětí na výstupu měniče. Naproti tomu, pokud je spínač S rozepnut, napětí na výstupu klesá. Rychlým spínáním a rozepínáním, dochází ke vzniku střídavého výstupního napětí U_{out} , které má stejnou frekvenci jako je rychlost spínání spínače S a toto napětí můžeme již vhodně filtrovat. Z výše uvedeného popisu ovšem vyplývá, že výstupní napětí U_{out} může nabývat pouze takové hodnoty, jako je vstupní napětí U_{in} . Prodloužíme-li dobu sepnutí spínače S , tedy dobu t_1 a nebo zkrátíme-li dobu t_2 , dojde vlivem změny doby nabíjení a vybíjení kondenzátoru k zvětšení výstupního napětí. Naopak pokud chceme, aby docházelo ke snižování výstupního napětí, musíme zkrátit dobu t_1 , nebo zvýšit dobu t_2 . Tímto způsobem tedy pracuje Step-Down měnič neboli měnič snižující napětí.

Matematicky lze tuto činnost popsat následovně ve dvou částech:

1. dojde k sepnutí spínače S na dobu t_1 a k nárůstu proudu indukčností podle vztahu:

$$U_L = L \cdot dI / dt, \text{ z toho } (U_{in} - U_{out}) \cdot t_1 / L = dI_1 \quad (1)$$

- napětí na indukčnosti U_L

2. rozepneme spínač S na dobu t_2 , proud který teče cívkou bude mít stejný směr a stejnou velikost:

$$dI_1 = dI_2 \quad (1.1)$$

proud bude klesat podle vztahu:

$$U_L = L \cdot dI / dt, \text{ z toho } -U_{out} \cdot t_2 / L = -dI_2 \quad (1.2)$$

jestliže ale platí výše uvedená rovnost pro okamžik vypnutí spínače S , můžeme položit sobě rovny i druhé strany rovnice:

$$U_{out} \cdot t_2 = (U_{in} - U_{out}) \cdot t_1 \quad (1.3)$$

po úpravách získáme:

$$U_{out} = U_{in} \cdot [t_1 / (t_1 + t_2)] = U_{in} \cdot t_1 / T = U_{in} \cdot s \quad (1.4)$$

kde s je vždy menší než jedna, protože dochází ke snižování pouze vstupního napětí. Z předpokladu rovnosti výstupního a vstupního výkonu, dostaneme při teoreticky stoprocentní účinnosti:

$$U_{in} \cdot I_{IN} = U_{out} \cdot I_{OUT} \quad (1.5)$$

následně výstupní proud:

$$I_{OUT} = I_{IN} \cdot (U_{in} / U_{out}) \quad (1.6)$$

poměr proudů je zde dán převrácením poměrů napětí. Na vstupu je proud pulzního charakteru naproti tomu proud na výstupu kolísá pouze o $\pm 1/2 dI_{OUT}$ okolo hodnoty I_{OUT} , superpozice $I_{OUT} + 1/2 dI_{OUT}$ je rovna vstupnímu proudu I_{IN} . Z prvního zapojení je tedy zřejmé, že regulaci dob t_1 a t_2 můžeme provádět dvěma zásadně odlišnými způsoby:

1. jedna z hodnot dob t_1 , nebo t_2 zůstává stejná a dochází ke změně doby druhé. Zde je velkou nevýhodou, že frekvence není konstantní, ale proměnná. To je velice nevýhodné z mnoha důvodů, jak bude uvedeno dále.

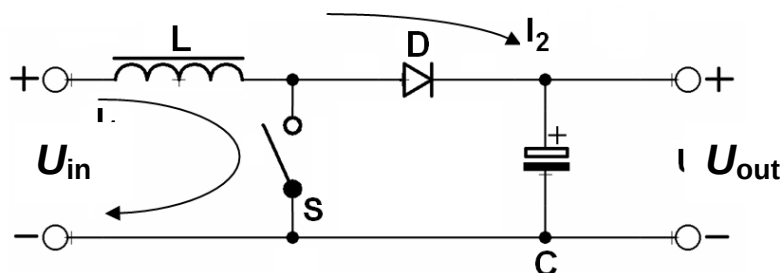
2. obě doby tedy doba t_1 a t_2 jsou konstantní, tj. $t_1+t_2=T=1/f = \text{konst.}$ Systém je regulován tak, že pokud se sníží doba t_1 tak dojde úměrně ke zvýšení doby t_2 a naopak. Využití tohoto systému má velké množství výhod a jeho využívání v dnešní době velice převládá. [1]

2.2.2 Zvyšující měnič

Jedná se principiálně o stejné zapojení spínaného zdroje jako v předchozím případě, ale s tím rozdílem, že spínač je připojen paralelně na společnou svorku. Během doby, kdy je sepnut spínač S , tedy po dobu t_1 dochází k vybíjení kondenzátoru do připojené zátěže. Aby nedocházelo k vybíjení přes sepnutý spínač, je v obvodu zapojena dioda, která při zapnutí spínače S je v závěrném směru, a tudíž nedochází k průchodu proudu. Ze zdroje U_{in} , který nám dodává stejnosměrné napětí do obvodu, teče proud I_1 , který prochází přes indukčnost L a spínač S a dochází k akumulaci energie v magnetickém poli cívky a její velikost odpovídá

$A = 1/2 \cdot L \cdot I_1^2$. Proud, který prochází indukčností L narůstá až do okamžiku, kdy dojde k rozepnutí spínače S . Po rozepnutí spínače si chce indukčnost opět udržet velikost a směr proudu I_1 a tím pádem na ní vznikne indukované napětí.

$$U_{ind} = -L \cdot dI_1 / dt \quad (1.7)$$



Obr. 3: Principiální zapojení měniče, který zvyšuje napětí (převzato z [1])

Napětí, které se indukuje na indukčnosti L se sčítá s napětím na vstupu, tedy s napětím napájecího zdroje U_{in} . Toto výsledné napětí zdroje a napětí na indukčnosti dodávají proud I_2 do kondenzátoru C , který je zapojen na výstupu a případně do zátěže, je-li nějaká připojena.

Velikost indukovaného napětí U_{ind} je závislé na velikosti indukčnosti cívky L a na dalších faktorech jako je rychlost rozepnutí spínače S (dt) a na hodnotě původního proudu I_1 . V závislosti na těchto podmínkách může výstupní napětí teoreticky nabývat libovolně vysoké hodnoty, protože není nijak amplitudově omezeno. Ve výsledku je tedy vždy výstupní napětí vyšší než vstupní, protože je to součet napětí vstupního U_{in} a indukovaného napětí na cívce L . Doby sepnutí a rozepnutí spínače u tohoto typu měniče nejsou již tak jednoznačné jako v předchozím případě. Jakmile vzroste doba t_1 , dochází ke zvyšování proudu I_1 (při $dI_1/dt = \text{konst.}$ tedy roste i velikost indukovaného napětí U_{ind}), ale to má za následek pokles výstupního napětí U_{out} , jelikož dochází k pomalému vybíjení kondenzátoru C . Pokud dochází k nárůstu doby t_2 , kondenzátor C se nabíjí déle, ale jen za předpokladu, že velikost vstupního napětí U_{in} a napětí indukovaného

U_{ind} je větší než velikost napětí výstupního U_{out} a U_F , kde napětí U_F je zastoupeno napětím na diodě v propustném směru. Ve výsledku je tedy tento zdroj a jeho návrh složitější než předcházející zapojení a nelze, aby výstupní napětí U_{out} bylo menší než napětí vstupní U_{in} . [1]

Matematicky lze tuto činnost popsat pro dobu t_1 v případě, že je spínač S sepnut následovně:

$$U_{in} \cdot t_1 / L = dI_1 \quad (1.8)$$

a pro dobu t_2 , kdy je spínač S rozepnut:

$$(U_{in} - U_{out}) \cdot t_2 / L = -dI_2 \quad (1.9)$$

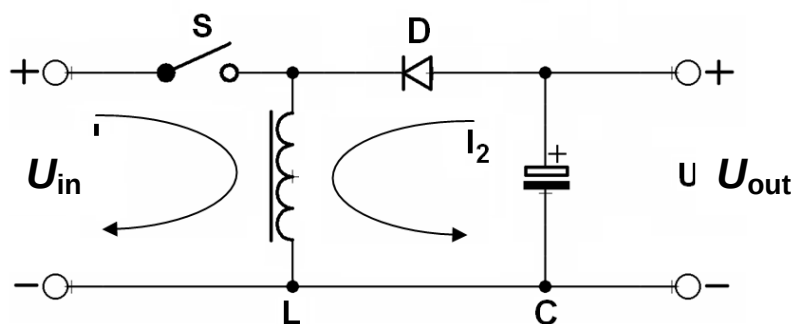
následně výsledné výstupní napětí:

$$U_{out} = U_{in} / (1 - s) \quad (2)$$

jelikož $s < 1$ bude vždy u tohoto zapojení platit $U_{out} > U_{in}$

2.2.3 Invertující měnič

V tomto zapojení je spínač S zapojen do série s indukčností L a ta je následně spojena se společnou svorkou obvodu. Po dobu t_1 napětí ze zdroje U_{in} protéká přes sepnutý spínač S a indukčnost L do té doby, dokud nedojde k jeho rozepnutí. Jakmile dojde k odpojení spínače S , snaží se indukčnost zachovat směr a velikost proudu I_1 proudem I_2 . Proud I_2 se následně dostane na kondenzátor, který se tímto proudem začne nabíjet. Nesmíme opět opomenout diodu D , která brání zpětnému vedení proudu a je polarizována v závěrném směru tak, aby nedošlo k přebíjení kondenzátoru na opačnou polaritu. Na kondenzátoru C bude docházet k hromadění napětí, ale v opačné polaritě, ve srovnání s napětím zdroje. Na výstupu U_{out} tedy dostaneme výsledné napětí, které má opačnou polaritu než napětí vstupní U_{in} . Z praktického hlediska je tedy zřejmé, že napětí na výstupu může nabývat jak vyšší, tak nižší hodnoty oproti napětí vstupnímu U_{in} .



Obr. 4: Principiální zapojení invertujícího měniče napětí (převzato z [1])

pro čas t_1 , lze matematicky popsat obvod následovně:

$$-U_{in} \cdot t_1 / L = dI_1 \quad (2.1)$$

pro dobu rozepnutí spínače S , tedy dobu t_2 :

$$-(U_{out}) \cdot t_2 / L = -dI_2 \quad (2.2)$$

pokud sloučíme obě rovnice dohromady získáme:

$$U_{out} = -U_{in} \cdot \delta / (1 - \delta) = -U_{in} / [1 / \delta - 1] \quad (2.3)$$

Z posledního vztahu je patrné, že pokud bude $s = 0.5$, pak $1/s$ bude nabývat hodnoty 2. Výsledek jmenovatele v hranaté závorce bude roven jedné, a proto bude platit $U_{out} = -U_{in}$. Pokud, ale hodnota s bude menší jak 0.5, potom $1/s > 2$ a výsledek v hranaté závorce bude větší jak 1 a výstupní napětí U_{out} bude menší než U_{in} . Bude-li hodnota s v rozmezí $0.5 < s < 1$, poté i výraz $1/s$ bude v rozmezí mezi 1 a 2 a jmenovatel hranaté závorky bude dosahovat hodnot mezi 0 a 1. V tomto případě bude platit, že $U_{out} > U_{in}$. Velikost indukčnosti se určí z úvahy o přenášeném výkonu za dobu periody $T = t_1 + t_2$. [1]

$$P = A / T \quad (2.4)$$

Po dosazení energie, která se akumuluje v magnetickém poli:

$$P = L \cdot I^2 / (2 \cdot T) = L \cdot I^2 \cdot f / 2 \quad (2.5)$$

f je zde označována jako frekvence, s jakou dochází ke spínání spínače S . Výstupní výkon vypočteme z napětí na výstupu U_{out} a velikosti odporu zátěže R_L :

$$P = U_{out}^2 / R_L \quad (2.6)$$

a výsledným srovnáním obou posledních vztahů získáme:

$$L = 2 \cdot U_{out}^2 / (R_L \cdot I_2 \cdot f) \quad (2.7)$$

3 Řídící obvody DC/DC měničů

V předchozí části jsme si podrobně rozebrali funkční bloky silové části spínaného zdroje. Nyní se podrobněji zaměříme na rozbor řídicí části. Jak již bylo zmíněno, jedná se o řídicí obvod, který má za úkol, aby výstupní napětí bylo udržováno na předepsané, námi zvolené úrovni. Na trhu se vyskytuje nepřeberné množství integrovaných obvodů určených pro řízení spínaných zdrojů. Jejich největší výhodou je, že obsahují veškeré potřebné části a ke správné funkci jim stačí pouze několik externích součástek. Díky tomu se snížila cena spínaných zdrojů a zároveň vzrostla jejich účinnost. S využitím diskretních součástek by se stal spínaný zdroj velmi komplikovaným, drahým a rozměrným zařízením. Miniaturizací a integrací těchto součástek v monolitických integrovaných obvodech se podařilo všechny tyto důležité prvky umístit na miniaturní čip. Výsledná velikost takovýchto integrovaných obvodů umožnila konstrukci i miniaturních zdrojů a nabíječek bez využití velkého kovového transformátoru. Vzhledem k tomu, že se podařilo umístit většinou polovodičových součástek do jednoho čipu, přibyla i možnost vlastní kontroly teploty. Pokud dojde k přehřátí integrovaného obvodu, omezí ztrátový výkon, čímž se ochrání před zničením samotný čip nebo obvody na něj přímo připojené. Často také najdeme v těchto obvodech (případně vně) snímací rezistory, na kterých vzniká úbytek napětí a pokud dojde k jeho překročení, což může být způsobeno například zkratem, obvod se opět ochrání před zničením zmenšením střídy signálu, nebo se v krajních případech vypne a čeká, dokud nedojde k odpojení a odstranění závady. Všechny tyto výborné vlastnosti přispívají i k bezpečnosti. Zatímco obyčejný zdroj s transformátorem po zkratu obvykle shoří, spínaný zdroj se jednoduše vypne a nemůže způsobit žádnou škodu, nebo úraz. Řídící obvody lze rozdělit do čtyř funkčních bloků, jak je uvedeno následovně.

Oscilátor

Jedná se o nedílnou součást spínaných zdrojů. Jeho úkolem je vytvořit signál pilového nebo trojúhelníkového průběhu. Jsou na něj kladeny mnohé požadavky jako stabilita amplitudy a kmitočtu v závislosti na okolních podmínkách. Stejně tak samotný průběh signálu musí být čistý a bez zákmitů. U většiny integrovaných obvodů pro řízení spínaných zdrojů je oscilátor umístěn interně. Jeho kmitočet se běžně pohybuje od 20kHz až do několika MHz. Výjimkou však nejsou ani měniče pracující na vyšších kmitočtech. S rostoucím kmitočtem však vzrůstá cena a požadavky na součástky. Kmitočet oscilátoru umístěného v integrovaném obvodu, můžeme měnit pomocí externích RC součástek. Zvětšováním kapacity kondenzátoru můžeme kmitočet snížit nebo naopak zmenšením kapacity zvýšit a tím dosáhnout maximální efektivnosti provozu. S nízkým kmitočtem oscilátoru bude potřeba daleko větší indukčnost jádra, než na kmitočtu vyšším. Pokud však zvolíme vyšší kmitočet, bude potřeba použít daleko kvalitnější jádro avšak menších rozměrů.

PWM

Zkratka PWM znamená „pulse width modulation“, v českém překladu pulsně šířková modulace. Jedná se o obdélníkový signál, u něhož můžeme měnit délku časů t_1 a t_2 . Ke své práci potřebuje pulsně šířková modulace obdélníkový kmitočet z oscilátoru. Tento obdélníkový signál se následně porovná v komparátoru se stejnosměrným signálem, který je přiveden na jeho druhý vstup. Požadavky jsou opět především na jeho

kvalitu. Náběžná a sestupná hrana musí být dostatečně strmá, jinak by docházelo ke zbytečným ztrátám na spínacím prvku. Časy t_1 a t_2 lze měnit pomocí změny velikosti stejnosměrného napětí na vstupu komparátoru. Pokud stejnosměrné napětí začne růst, začne se měnit poměr délek stran t_1 a t_2 . Zapojení jednotlivých vstupů komparátoru určují, zdali se bude délka času t_1 zvětšovat s rostoucím napětím, nebo naopak. Nejčastěji používáme zapojení vstupů takové, aby se při rostoucím stejnosměrném napětí, délka sepnutí zkracovala. Dojde-li ke zvýšení napětí na výstupu měniče, čas sepnutí se zkrátí, čímž dosáhneme opětovné dorovnání napětí zpět k nižší hodnotě.

Komparátor

Jak již bylo dříve zmíněno, slouží komparátor ke srovnávání dvou napětí, a to signálu z oscilátoru a stejnosměrného signálu závislého na výstupním napětí. Mezi hlavní požadavky na komparátor jsou především rychlost. Měnič pracuje na poměrně vysokých kmitočtech, kde je potřeba ostrých náběžných i sestupných hran.

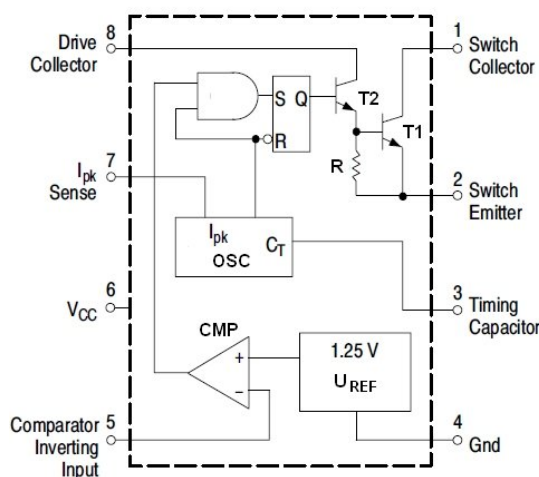
Zdroj referenčního napětí

Je zdroj napětí, který má za úkol dodávat konstantní a stabilní napětí pro ostatní obvody zdroje. Jeho napětí se obvykle pohybuje kolem 1,25V a měl by být nezávislý na okolních podmínkách.

4 Jednočinné zdroje s integrovaným tranzistorem

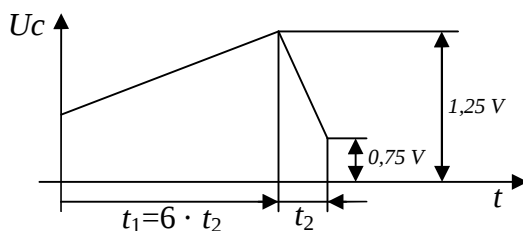
4.1 Základní zapojení obvodu MC34063

Jedná se o monolitický řídicí obvod, který obsahuje všechny důležité prvky a subsystemy pro činnost DC/DC měniče jak je uvedeno na obrázku 5. [7] Uvnitř čipu je implementován teplotně stabilizovaný zdroj referenčního napětí U_{REF} o hodnotě 1,25 V.



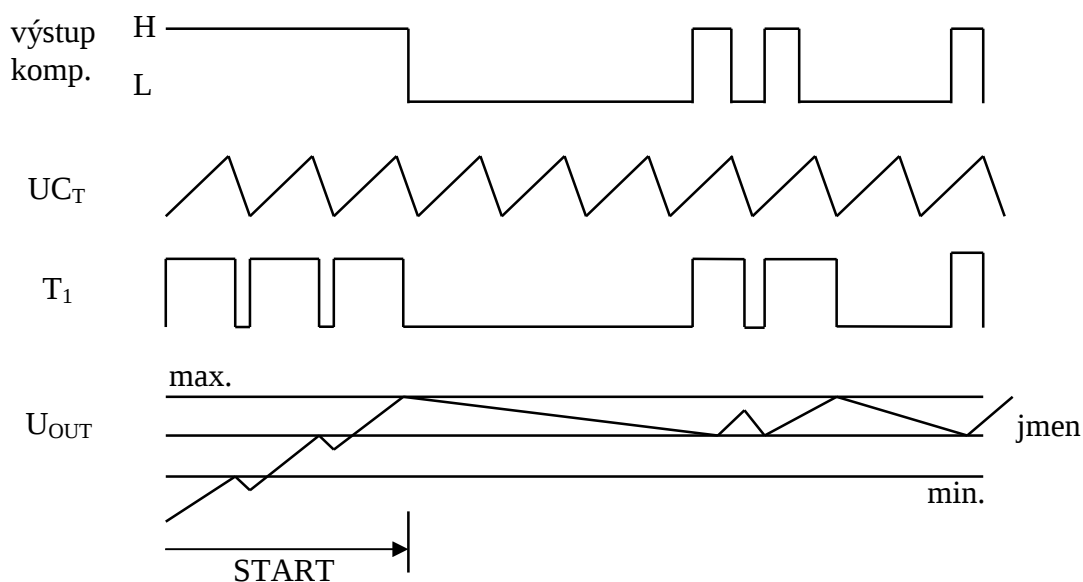
Obr. 5: Vnitřní struktura MC34063

Dále se zde nachází komparátor CMP, který slouží k porovnávání referenčního napětí s napětím výstupním, oscilátor OSC a omezovač nárazového špičkového proudu I_{pk} . Budič tranzistoru T_2 a spínací tranzistor T_1 je dimenzován pro proud, který může dosahovat hodnoty až 1,5 A. Tento obvod je podle výrobce konstruován tak, aby s ním bylo možné zapojit všechny 3 typy DC-DC měničů. Oscilátor je složen ze zdroje proudu a spínače, přes který je nabíjen kondenzátor C_T . Toto nabíjení probíhá mezi horním a dolním prahem. Nabíjecí a vybíjecí proud bývá obvykle 35 μ A až 200 μ A a jejich poměr je přibližně 1:6. Doba, kdy se kondenzátor nabíjí, je tedy 6-krát rychlejší než doba vybíjení, jak je znázorněno na obrázku 6. Horní práh je roven vnitřnímu referenčnímu napětí 1,25 V a dolní práh dosahuje hodnoty přibližně 0,75 V. Oscilátor pracuje nepřetržitě na frekvenci, která odpovídá zvolené kapacitě C_T . Během periody, kdy dochází k nabíjení kondenzátoru, je na spodním vstupu hradla úroveň log. 1. Pokud je výstupní napětí menší než jmenovitá hodnota tak horní vstup hradla je také v log. 1. Touto podmínkou se nastaví klopný obvod do sepnutého stavu a na jeho výstupu dojde k sepnutí tranzistoru T_2 . Jakmile oscilátor dosáhne horní úrovně, dojde k vybíjení kondenzátoru C_T a na spodním vstupu hradla se objeví log. 0. Tento stav vynuluje klopný obvod a zavře výstupní tranzistor. [1]



Obr. 6: Časové průběhy napětí na kondenzátoru C_T (převzato z [1])

Proudové omezení je zde řešeno tak, že dochází k monitorování úbytku napětí na externím odporu, který je zapojen v sérii s napájecím napětím V_{CC} a výstupním tranzistorem. Toto napětí je sledováno na vývodu integrovaného obvodu I_{pk} . Jakmile dojde k překročení napětí 330 mV, obvod, který nám zajišťuje omezení výstupního proudu, vytvoří další cestu proudu pro nabíjení časovacího kondenzátoru C_T . Výsledkem je tedy zvýšení strmosti křivky nabíjení kondenzátoru C_T , jak je znázorněno na obrázku 7. Tímto způsobem dojde k rychlejšímu dosažení horního prahu oscilátoru, čímž se výrazně zkrátí doba sepnutí výstupního tranzistoru a dojde k omezení energie uložené v cívce. Pokud nastane přetížení obvodu, dojde ke krátkému, ale konečnému sepnutí výstupu, po němž následuje normální, nebo prodloužený interval vypnutí způsobený oscilátorem. Rozšíření intervalu, kdy je výstup vypnut, je způsobeno nabíjením kondenzátoru nad horní práh díky aktivovanému proudovému omezení.



Obr. 7: Časování obvodu MC34063 (převzato z [1])

4.1.1 Parametry obvodu

Rozsah vstupních napětí	3 - 40	V
Rozsah výstupních napětí	1,25 - 40	V
Maximální spínací proud	1,5	A
Maximální pracovní kmitočet	100	kHz
Účinnost	70-89	%
Maximální klidový proud	2,5	mA
Přesnost referenčního zdroje	2	%

Tab. 1: Parametry obvodu MC34063

z periody se dá dále určit doba pro sepnutí a rozepnutí tranzistoru:

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

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (3.1)$$

a následně výpočet střidy:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.2)$$

kapacita C_T se dá určit z doby sepnutí a musí být za tuto dobu nabita proudem $200 \mu A$ dle katalogových údajů vnitřního zdroje proudu na napětí $U_1 - U_{CES}$:

$$C_T = \frac{I_{nab} \cdot t_{on}}{U_{1jmen} - U_{CES}} \quad (3.3)$$

pro špičkovou hodnotu kolektorového proudu je zapotřebí znát poměr dob zapnutí a vypnutí tranzistoru a požadovanou hodnotu výstupního proudu:

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{2max} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) = 2 \cdot I_{2max} \cdot (s+1) \quad (3.4)$$

z hodnoty špičkového proudu můžeme určit minimální hodnotu indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{1min} - U_{CES}}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (3.5)$$

hodnota R_{SC} se vypočte za předpokladu, že známe aktivační napětí obvodu, které bývá obvykle $U_A = 0,33 \text{ V}$. Jeho hodnota se po výpočtu zvolí přibližně z řady E12, protože není možné získat přesnou hodnotu jako ve výpočtu:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pkT}} \quad (3.6)$$

hodnota výstupního kondenzátoru C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění. Je zřejmé, že ideální by bylo zvlnění nulové, čehož lze ovšem jen stěží dosáhnout. Čím větší bude hodnota kapacity připojená na výstupu, tím menší bude výsledné zvlnění. Nevýhodou vztahu pro výpočet je, že pracujeme s ideálním kapacitorem, tedy kondenzátorem, který nemá žádné ztráty. Největším problémem je jeho sériový odpor tedy ESR. Jeho hodnota je závislá na kvalitě a provedení kondenzátoru, od toho se odvíjí i jeho výsledná cena. Hodnota ESR se dá zmenšit například paralelním řazením kondenzátorů. Jako další zdroj zvlnění lze uvažovat komparátor, který vykazuje určitou hysterezi na jeho vstupech. Aby došlo k překonání hystereze, komparátor si potřebná napětí pro překlopení z nízké do vysoké úrovně vytvoří skrze vazbu přes spínání tranzistoru na výstup. Kapacitu výstupního kondenzátoru tedy nemá smysl zvětšovat nad jistou hodnotu.

$$C_2 = 9 \cdot \left(\frac{I_{2\max} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2\max}} \right) \quad (3.7)$$

konečnou fází návrhu je dělič složený z odporů $R_1 - R_2$. Proud děličem I_d musíme volit tak, aby nebyl příliš zatěžován výstup měniče a aby nedocházelo k jeho přílišnému zatěžování skrze vstup komparátoru. Ideální je zvolit hodnotu proudu děličem řádově ve stovkách μA .

$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (3.8)$$

odpor R_1 vypočteme za předpokladu znalosti referenčního napětí obvodu $U_{ref} = 1,25V$

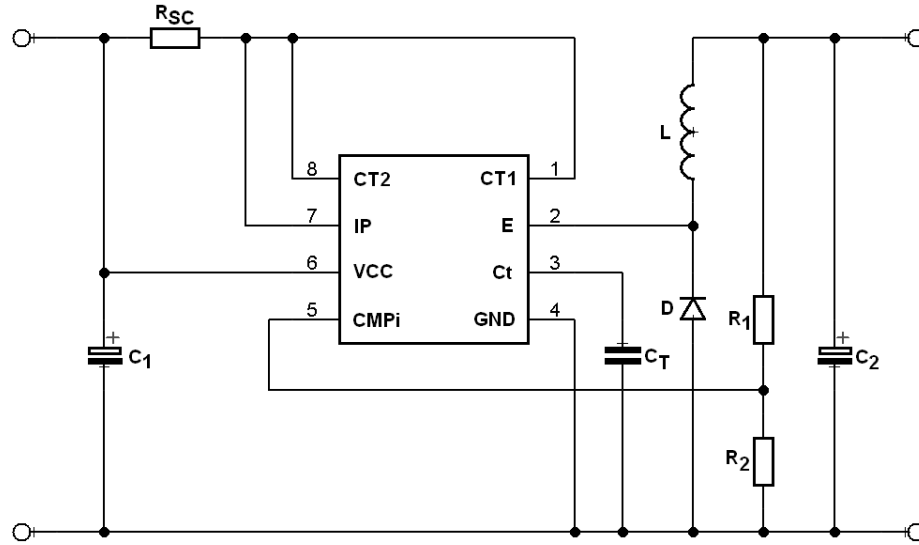
$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

poslední částí výpočtu je kolektorový odpor tranzistoru T_2 . Zjednodušené odvození za předpokladu $h_{21E} = 20$, $U_{BE1} = 0,7V$ a $R = 100 \Omega$.

$$R_{cT2} = \frac{(U_{1jmen} - U_{CES}) \left(1 - R_{SC} \cdot \frac{t_{on}}{L_{min}} \right)}{\frac{I_{pKT}}{h_{21E}} + \frac{U_{BE1}}{R}} \quad (4)$$

4.1.3 Snižující měnič – vztahy pro výpočet

Zapojení snižujícího měniče je vyobrazeno na obrázku 9. Jako u zvyšujícího měniče předpokládáme opět znalost výstupního napětí U_2 , maximální výstupní proud I_{2max} , dovolené zvlnění ΔU_{2max} , vstupní napětí U_{1jmen} , minimální vstupní napětí U_{1min} a minimální pracovní kmitočet f_{min} . Nejprve je důležité určit správně poměr dob sepnutí a rozepnutí interního tranzistoru a opět musíme brát v úvahu úbytek napětí na diodě D , který se pohybuje v rozmezí 0,7 – 0,8 V dle katalogu a použité diody. Nesmíme opomenout také saturační napětí interního tranzistoru $U_{CES} = 0,3$ V. [4]



Obr. 9: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [7])

pro dobu sepnutého a rozepnutého tranzistoru platí rovnice:

$$s = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_2 + U_{Df}}{U_{1min} - U_{CES} - U_2} \quad (4.1)$$

opět vypočteme periodu ze znalosti minimální požadované frekvence:

$$T = \frac{1}{f} \quad (4.2)$$

doba sepnutí a rozepnutí tranzistoru:

$$t_{off} = \frac{T}{s+1} \quad (4.3)$$

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (4.4)$$

střída spínání:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} \quad (4.5)$$

z doby sepnutí určíme kapacitu C_T , která je za dobu t_{on} nabita proudem $200\mu A$ na napětí $U_1 - U_{CES}$:

$$C_T = \frac{I_{nab} \cdot t_{on}}{U_{1jmen} - U_{CES}} \quad (4.6)$$

z požadované hodnoty výstupního proudu určíme špičkovou hodnotu kolektorového proudu:

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{2max} \quad (4.7)$$

pro minimální hodnotu indukčnosti akumulární tlumivky platí:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{1min} - U_{CES} - U_2}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (4.8)$$

hodnota R_{SC} se vypočte za předpokladu:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pkT}} \quad (4.9)$$

hodnota výstupního kondenzátoru C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění:

$$C_2 = 9 \cdot \left(\frac{I_{2max} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2max}} \right) \quad (5)$$

Volíme vhodnou velikost proudu děličem pro námi zvolené výstupní napětí.

$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (5.1)$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (5.2)$$

Obr. 10: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [7])

Předpoklad pro výpočet je stejný jako u snižujícího a zvyšujícího měniče. Je tedy nutné znát výstupního napětí U_2 , maximální výstupní proud $I_{2\max}$, dovolené zvlnění $\Delta U_{2\max}$, vstupní napětí $U_{1\text{jmen}}$, minimální vstupní napětí $U_{1\min}$ a minimální pracovní kmitočet $f_{\min}$. [4]

$$S = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{|U_2| + U_{Df}}{U_{1min} - U_{CES} - U_2} \quad (5.3)$$

perioda se určí z požadavku na minimální kmitočet:

$$T = \frac{1}{f} \quad (5.4)$$

sepnutí a rozepnutí tranzistoru:

$$t_{off} = \frac{T}{s+1} \quad (5.5)$$

$$t_{on} = T - t_{off} \quad (5.6)$$

následně střída spínání:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} \quad (5.7)$$

určíme kapacitu C_T , která je nabita proudem $200\mu A$ za dobu t_{on} na napětí $U_1 - U_{CES}$:

$$C_T = \frac{I_{nab} \cdot t_{on}}{U_{1jmen} - U_{CES}} \quad (5.8)$$

z požadavku na výstupní proud určíme špičkovou hodnotu kolektorového proudu:

$$I_{pkT} = 2 \cdot I_{2max} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) = 2 \cdot I_{2max} \cdot (s+1) \quad (5.9)$$

minimální hodnotu indukčnosti akumulární vypočteme:

$$L_{min} = \left(\frac{U_{1min} - U_{CES}}{I_{pkT}} \right) \cdot t_{on} \quad (6)$$

odpor R_{SC} vypočteme za předpokladu:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pKT}} \quad (6.1)$$

kondenzátor C_2 vypočteme z požadavku na určité výstupní zvlnění. Opět je kladen požadavek na vhodnou velikost kapacity a co nejmenší sériový odpor ESR .

$$C_2 = \frac{I_{pKT} \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2\max}} \quad (6.2)$$

Zvolíme vhodnou velikost proudu děličem pro námi zvolené výstupní napětí.

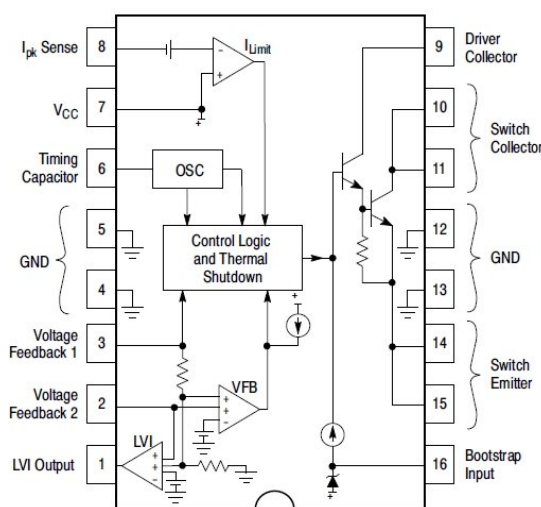
$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (6.3)$$

nakonec vypočteme odpor R_1 ze vztahu:

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (6.4)$$

4.2 Základní zapojení obvodu MC34163

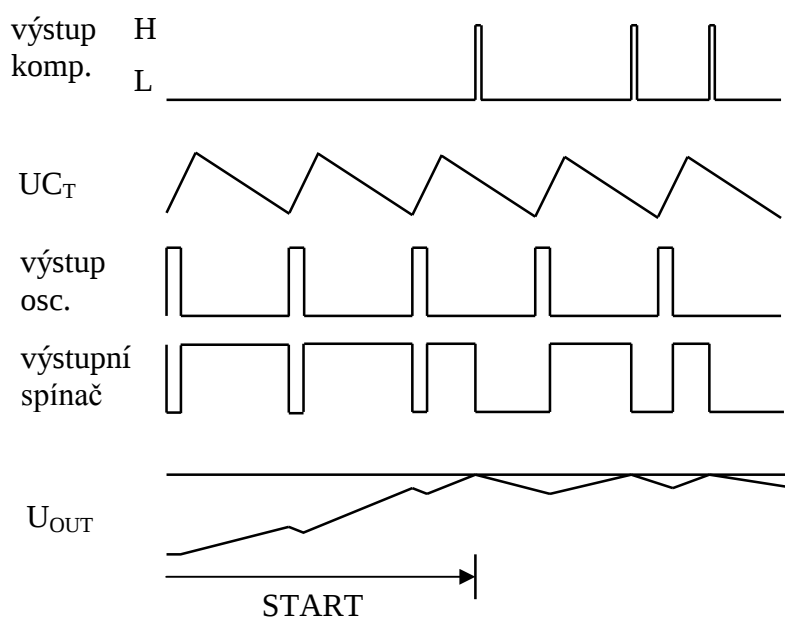
MC 34163 je základní monolitický obvod od společnosti ON Semiconductor. Samotný obvod obsahuje veškeré důležité prvky pro činnost DC/DC měniče s co nejmenším počtem externích součástek. Jeho vnitřní struktura je uvedena na obrázku 11. [8] Obvod je vybaven dvěma komparátory, které mají velké zesílení s napěťovou zpětnou vazbou, dále zde najdeme výstupní tranzistor, který umožňuje pracovat s velkým výstupním proudem, řízený oscilátor a budič, který je možno zapojit v režimu s kladnou zpětnou vazbou neboli (Boot-strap). Tímto zapojením se dosáhne velmi vysoké účinnosti celého měniče. Tyto funkce doplňuje teplotně stabilizovaný zdroj referenčního napětí U_{REF} , proudová a teplotní pojistka chránící obvod před přetížením. Pokud by jsme obvod používali v zapojení, kde je potřeba snímat výstupní napětí, je obvod následně doplněn o funkci, která umožňuje komunikaci s vhodným MCU.



Obr. 11: Vnitřní struktura MC34163

Samotný obvod pracuje ve funkci regulátoru, přes který je řízen výstupní spínací tranzistor. Regulátor pracuje na konstantní frekvenci, ale s proměnnou střídou impulsů. Tento režim se používá u měničů, které využívají nábojově vázané pumpy, u nichž je dosaženo vlivem snadné kompenzace vysoké stability. Průběhy řídicích signálů jsou zobrazeny na obrázku 12. Výsledné zvlnění výstupního napětí je na obrázku pro názornost mnohokrát zvětšeno. Při zapnutí spínaného zdroje dochází ke snímání výstupního napětí přes zpětnovazební komparátor a jeho porovnávání se jmenovitou hodnotou, která je v té době větší. Výstupní tranzistor je za této situace tedy spínán s frekvencí a střídou, kterou nám určuje vnitřní oscilátor OSC. Tímto způsobem dochází k postupnému nabíjení a vybíjení výstupního kondenzátoru. V okamžiku, kdy napětí na výstupním kondenzátoru dosáhne jmenovité velikosti, dojde k překlopení zpětnovazebního komparátoru a tím k vypnutí spínacího tranzistoru. Zpětnovazební komparátor blokuje výstupní spínač a to až do doby, kdy dojde vlivem zátěže k poklesu výstupního napětí pod jmenovitou velikost. Celý cyklus se následně opakuje znovu od začátku. Z celého procesu vyplývá, že výstupní tranzistor může být vypnut po dobu části cyklu oscilátoru, nebo po dobu části a několika celých cyklů oscilátoru. Velikost doby sepnutí t_{on} spínacího tranzistoru určuje hodnota kapacity časovacího kondenzátoru C_T . Časovací kondenzátor je nabíjen a vybíjen proudy v poměru 9:1. Tím dochází ke generování pilovitého průběhu na výstupu oscilátoru. Po dobu, kdy je nabíjen časovací kondenzátor C_T generuje oscilátor vnitřní impuls, který se přivádí na vstupy řídicích

logických obvodů. Po dobu trvání vnitřního impulsu je výstupní tranzistor vždy vypnut a tím je docíleno, že nebude sepnut po více než 90% periody oscilátoru. Dobu sepnutí můžeme dále pro využití v některých aplikacích omezit paralelním připojením rezistoru k časovacímu kondenzátoru C_T . Při přímém spojení vývodů časovacího kondenzátoru se zemí, dojde k vyřazení zdroje s činnosti do tzv. funkce „shutdown“. Výstup je chráněn proti nadměrnému zatížení obvodem zajišťujícím proudové omezení. Proud je snímán za pomoci rezistoru R_{SC} , na kterém se měří úbytek napětí a porovnává se s pomocným napětím 0,25 V v komparátoru. Při překročení úbytku napětí 0,25 V na snímacím odporu dojde k odpojení výstupního tranzistoru přes komparátor a logické obvody od zátěže. [12]



Obr. 12: Časování obvodu MC34163 (převzato z [8])

4.2.1 Parametry obvodu

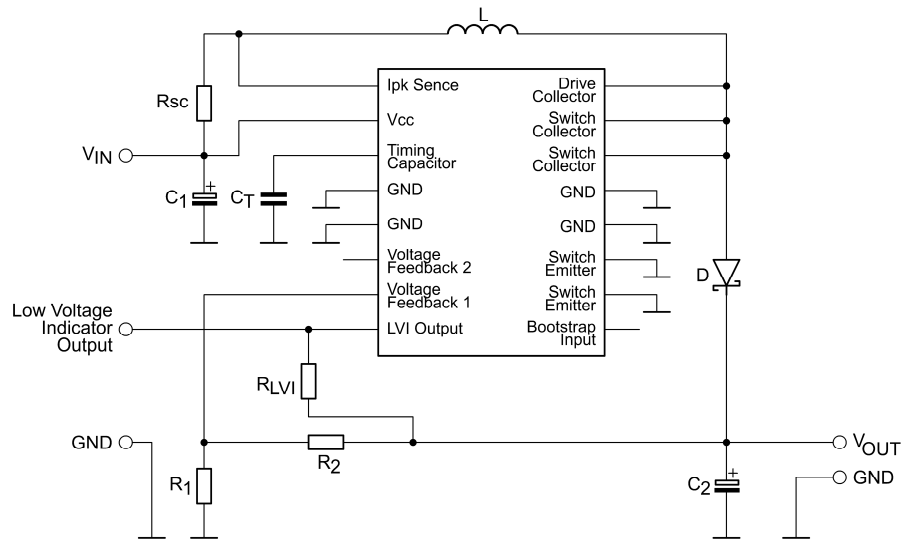
Rozsah vstupních napětí	2,5 - 40	V
Rozsah výstupních napětí	1,25 - 40	V
Maximální spínací proud	3,0	A
Maximální pracovní kmitočet	50	kHz
Účinnost	70-89	%
Maximální klidový proud	6	mA
Přesnost referenčního zdroje	2	%

Tab.2: Parametry obvodu MC34163

4.2.2 Zvyšující měnič – vztahy pro výpočet

Zapojení pro zvyšující měnič je znázorněno na obrázku 13. Pro výpočet je nutné znát jako u předcházejícího měniče hodnotu požadovaného výstupního napětí U_2 , výstupní proud I_{out} , dovolené výstupní zvlnění ΔU_{2max} , vstupní napětí U_1 a minimální pracovní kmitočet f_{min} . Pro návrh je důležité správně určit poměr dob sepnutí a rozepnutí interního tranzistoru. V obvodu je opět zapojena rychlá Schottkyho dioda, nyní ale typu 1N5822 kvůli většímu proudovému zatížení. Napětí na diodě si označíme jako U_{Df} . Úbytek napětí na spínacím tranzistoru v sepnutém stavu je závislý na proudu, který odebírá zátěž. Při hodnotách udávaných v datasheetu dosahuje při 2.5A, $U_{CES} = 0,6$ V. [8]

$$s = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_2 + U_{Df} - U_1}{U_1 - U_{CES}} \quad (6.5)$$



Obr. 13: Schéma zapojení zvyšujícího měniče (převzato z [8])

z hodnoty minimální požadované frekvence určíme periodu T :

$$T = \frac{1}{f} \quad (6.6)$$

z periody se dá dále určit doba pro sepnutí:

$$t_{on} = \frac{\frac{t_{on}}{t_{off}}}{f \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right)} \quad (6.7)$$

hodnotu kapacity časovacího kondenzátoru C_T určíme z doby sepnutí a musí být za tuto dobu nabita proudem $225 \mu\text{A}$:

$$C_T = \frac{32.143 \cdot 10^{-6}}{f} \quad (6.8)$$

dále je zapotřebí spočítat průměrnou hodnotu proudu cívky:

$$I_{L(avg)} = I_{out} \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) \quad (6.9)$$

pro špičkovou hodnotu kolektorového proudu je zapotřebí znát průměrnou hodnotu proudu cívky a hodnotu ΔI_L , která odpovídá 10% hodnoty $I_{L(avg)}$:

$$I_{pkT} = I_{L(avg)} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (7)$$

z hodnoty proudu můžeme určit hodnotu indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L = \left(\frac{U_1 - U_{CES}}{\Delta I_L} \right) \cdot t_{on} \quad (7.1)$$

hodnota R_{SC} se vypočte ze známé hodnoty aktivační napětí obvodu $U_A = 0,25 \text{ V}$. Jeho hodnota se po výpočtu zvolí přibližně z řady E12:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pkT}} \quad (7.2)$$

hodnota výstupního kondenzátoru C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění

$$C_2 = \left(\frac{I_{out} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2max}} \right) \quad (7.3)$$

poslední fázi návrhu je odporový dělič $R_1 - R_2$. Proud děličem I_d musíme volit tak, aby nebyl příliš zatěžován výstup měniče a aby nedocházelo k jeho přílišnému zatěžování skrze vstup komparátoru. Ideální je zvolit hodnotu proudu děličem řádově ve stovkách μA .

$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (7.4)$$

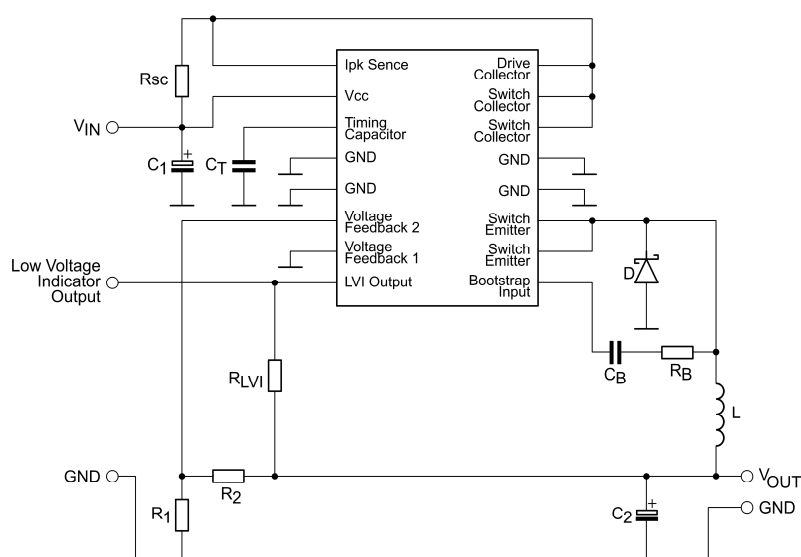
odpor R_1 vypočteme za předpokladu znalosti referenčního napětí obvodu $U_{ref} = 1,25V$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (7.5)$$

4.2.3 Snižující měnič – vztahy pro výpočet

Zapojení snižujícího měniče je znázorněno na obrázku 14. Je nutné opět znát jako u předcházejícího měniče hodnotu požadovaného výstupního napětí U_2 , maximální výstupní proud I_{out} , dovolené výstupní zvlnění ΔU_{2max} , vstupní napětí U_1 a minimální pracovní kmitočet f_{min} . Musíme opět znát dobu sepnutí a rozeptnutí interního tranzistoru, napětí na diodě U_{Df} a úbytek napětí na spínacím tranzistoru $U_{CES} = 0,6 V$. [8]

$$S = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_2 + U_{Df}}{U_1 - U_{CES} - U_2} \quad (7.6)$$



Obr. 14: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [8])

vypočteme periodu ze znalosti minimální požadované frekvence:

$$T = \frac{1}{f} \quad (7.7)$$

doba rozeptnutí interního tranzistoru:

$$t_{on} = \frac{\frac{ton}{toff}}{f \left(\frac{ton}{toff} + 1 \right)} \quad (7.8)$$

z doby sepnutí určíme kapacitu C_T

$$C_T = \frac{32.143 \cdot 10^{-6}}{f} \quad (7.9)$$

dále spočítáme průměrnou hodnotu proudu cívky:

$$I_{L(avg)} = I_{out} \quad (8)$$

z požadované hodnoty výstupního proudu určíme špičkovou hodnotu kolektorového proudu:

$$I_{pkT} = I_{L(avg)} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (8.1)$$

z hodnoty špičkového proudu můžeme určit velikost indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L = \left(\frac{U_1 - U_{CES} - U_2}{\Delta I_L} \right) \cdot t_{on} \quad (8.2)$$

Hodnotu odporu R_{SC} vypočteme za předpokladu:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pkT}} \quad (8.3)$$

hodnota výstupního kondenzátoru C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění:

$$C_2 = \frac{\Delta I_L}{8f \sqrt{\Delta U_{2max}^2 - \Delta I_L^2 (ESR)^2}} \quad (8.4)$$

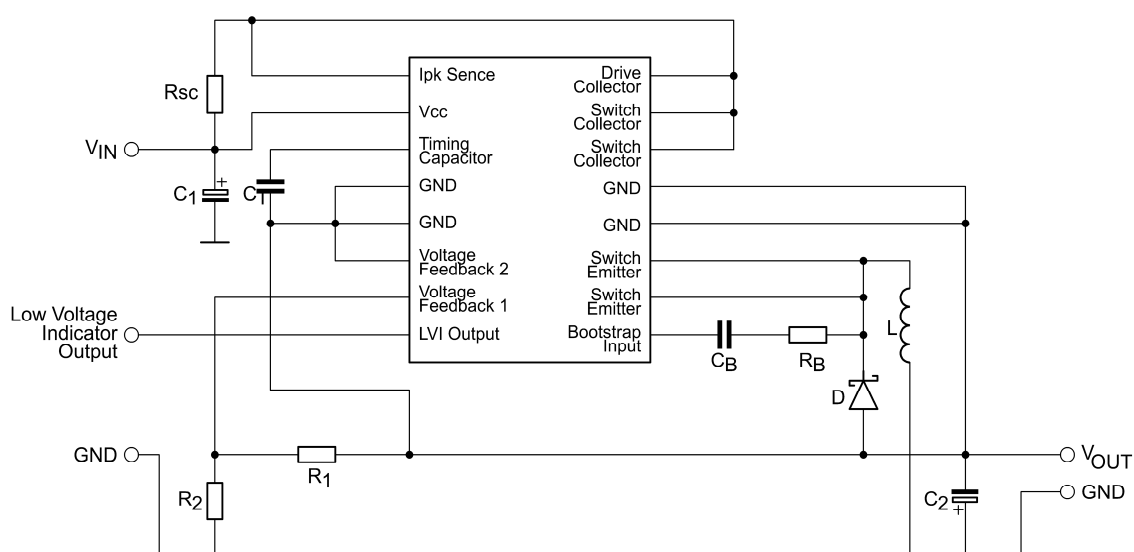
Zvolíme vhodnou velikost proudu děličem pro námi zvolené výstupní napětí.

$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (8.5)$$

odpor R_1 vypočteme ze vztahu:

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (8.6)$$

4.2.4 Invertující měnič – vztahy pro výpočet



Obr. 15: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [8])

Předpoklad pro výpočet je stejný jako u snižujícího a zvyšujícího měniče. Je tedy nutné znát výstupního napětí U_2 , maximální výstupní proud I_{out} , dovolené zvlnění ΔU_{2max} , vstupní napětí U_1 a minimální pracovní kmitočet f_{min} . [8]

$$s = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{|U_2| + U_{Df}}{U_1 - U_{CES}} \quad (8.7)$$

vypočteme periodu ze znalosti minimální požadované frekvence:

$$T = \frac{1}{f} \quad (8.8)$$

doba rozepnutí interního spínacího tranzistoru:

$$t_{on} = \frac{\frac{ton}{toff}}{f \left(\frac{ton}{toff} + 1 \right)} \quad (8.9)$$

z doby sepnutí určíme kapacitu C_T

$$C_T = \frac{32.143 \cdot 10^{-6}}{f} \quad (9)$$

Vypočteme průměrnou hodnotu proudu cívkou:

$$I_{L(avg)} = I_{out} \left(\frac{ton}{toff} + 1 \right) \quad (9.1)$$

z hodnoty výstupního proudu spočítáme špičkovou hodnotu kolektorového proudu:

$$I_{pkT} = I_{L(avg)} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (9.2)$$

určíme velikost indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L = \left(\frac{U_1 - U_{CES}}{\Delta I_L} \right) \cdot t_{on} \quad (9.3)$$

velikost odporu R_{SC} vypočteme za předpokladu znalosti aktivačního napětí obvodu:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{pkT}} \quad (9.4)$$

hodnota výstupního kondenzátoru C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění:

$$C_2 = \left(\frac{I_{out} \cdot t_{on}}{\Delta U_{2max}} \right) \quad (9.5)$$

Zvolíme vhodnou velikost proudu děličem pro námi zvolené výstupní napětí.

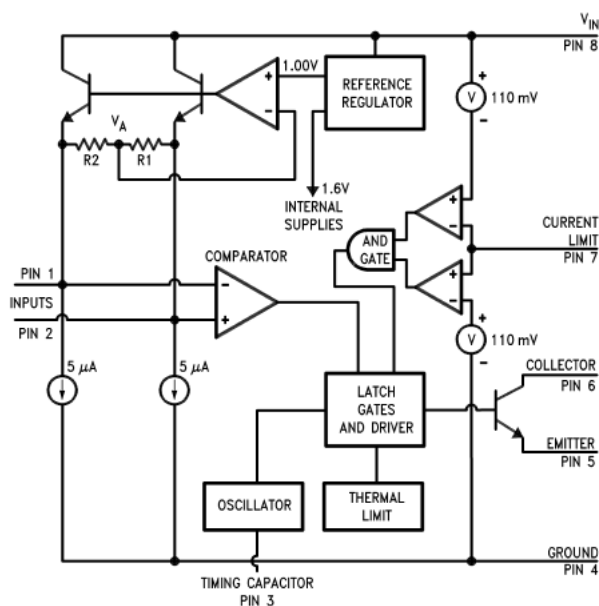
$$R_2 = \frac{U_{ref}}{I_d} \quad (9.6)$$

odpor R_1 vypočteme ze vztahu:

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_{ref}} - 1 \right) \quad (9.7)$$

4.3 Základní zapojení obvodu LM3578

Jedná se o univerzální monolitický obvod od společnosti National Semiconductor. Uvnitř obvodu jsou implementovány veškeré důležité prvky pro činnost všech tří typů DC/DC měničů s vynaložením co nejmenšího počtu externích součástek. Vnitřní struktura je uvedena na obrázku 16. [9] Obvod je vybaven vnitřním komparátorem, který má vyveden jak invertující tak neinvertující vstup na přívody pouzdra, a navíc obsahuje referenční napětí o hodnotě 1V pro každý vstup. Je tedy možné za obvod zapojit další zařízení, které budeme ovládat. Obvod je schopen spínat proud až do hodnoty 750 mA. Tyto funkce jsou doplněny o proudovou a teplotní pojistku chránící obvod před přetížením.



Obr. 16: Vnitřní struktura LM3578 (převzato z [9])

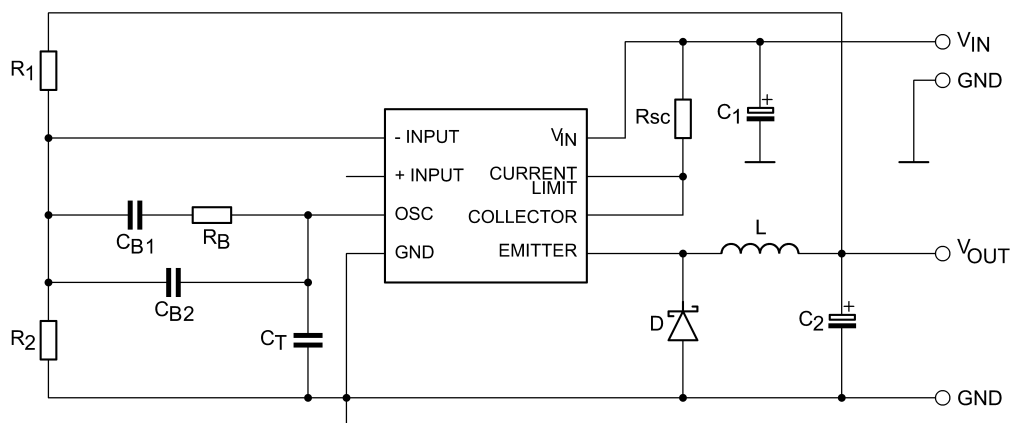
4.3.1 Parametry obvodu

Rozsah vstupních napětí	2 - 40	V
Rozsah výstupních napětí	1 - 40	V
Maximální spínací proud	0,750	A
Maximální pracovní kmitočet	100	kHz
Účinnost	80-90	%
Maximální klidový proud	4	mA
Přesnost referenčního zdroje	2	%

Tab.3: Parametry obvodu LM3578

4.3.2 Snižující měnič – vztahy pro výpočet

Zapojení snižujícího měniče je znázorněno na obrázku 17. Pro následný výpočet je zapotřebí znát hodnotu požadovaného vstupního U_1 a výstupního napětí U_2 , dále dovolené výstupní zvlnění $\Delta U_{2\max}$, výstupní proud I_o , maximální výstupní proud $I_{o(\max)}$ a pracovní kmitočet f . V obvodu je opět zapojena Schottkyho dioda typu 1N5818. [9]



Obr. 17: Schéma zapojení snižujícího měniče (převzato z [9])

z hodnoty požadované frekvence určíme periodu kapacity časovacího kondenzátoru C_T :

$$C_T = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{f} \quad (9.8)$$

dále musíme spočítat průměrnou hodnotu proudu cívkou ze znalosti ΔI_o , která je 20% hodnoty výstupního proudu I_o :

$$\Delta I_L = 2 \cdot \Delta I_o \quad (9.9)$$

z hodnoty proudu můžeme určit velikost indukčnosti akumulární tlumivky:

$$L = U_2 \left(\frac{U_1 - U_2}{\Delta I_L \cdot U_1 \cdot f_{osc}} \right) \quad (10)$$

hodnota R_{SC} se vypočte ze známé hodnoty aktivační napětí obvodu $U_A = 0,11 \text{ V}$:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{o(max)}} \quad (10.1)$$

výstupní kondenzátor C_2 se vypočte z požadavku na určité výstupní zvlnění

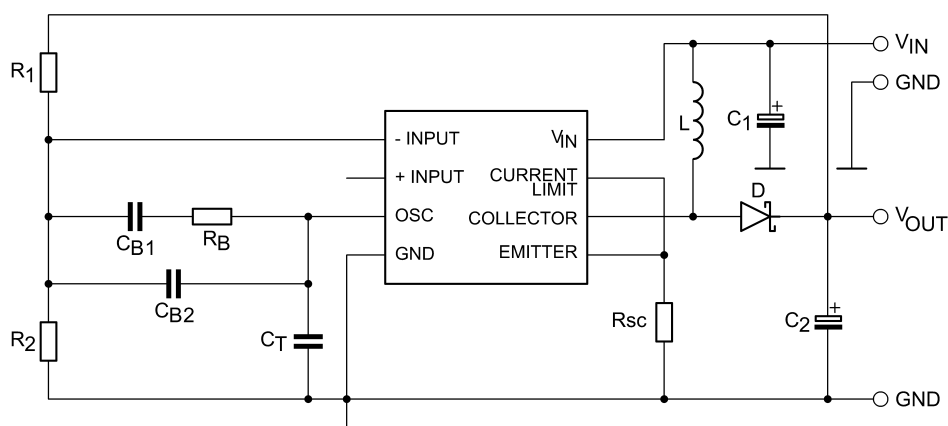
$$C_2 = U_2 \left(\frac{U_1 - U_2}{8 \cdot f^2 \cdot U_1 \cdot \Delta U_{2max} \cdot L} \right) \quad (10.2)$$

nakonec vypočteme odporový dělič sestávající se s odporů $R_1 - R_2$. Hodnotu odporu R_2 si zvolíme $10 \text{ k}\Omega$ následně R_1 .

$$R_1 = (U_2 - 1) \cdot R_2 \quad (10.3)$$

4.3.3 Zvyšující měnič – vztahy pro výpočet

Zvyšující měnič je znázorněn na obrázku 18. Pro následný výpočet je zapotřebí znát opět hodnotu požadovaného vstupního U_1 a výstupního napětí U_2 , dále dovolené výstupní zvlnění ΔU_{2max} , výstupní proud I_o , maximální výstupní proud $I_{o(max)}$ a pracovní kmitočet f . [9]



Obr. 18: Schéma zapojení zvyšujícího měniče (převzato z [9])

z požadované frekvence určíme kapacitu časovacího kondenzátoru C_T :

$$C_T = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{f} \quad (10.4)$$

dále spočítáme průměrnou hodnotu proudu cívky ze znalosti ΔI_o , která je 20% hodnoty výstupního proudu I_o :

$$\Delta I_L = 2 \cdot \Delta I_o \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \quad (10.5)$$

z hodnoty proudu určíme velikost akumulární tlumivky:

$$L = U_1 \left(\frac{U_2 - U_1}{\Delta I_L \cdot f \cdot U_2} \right) \quad (10.6)$$

hodnota R_{SC} se vypočte z hodnoty aktivačního napětí obvodu $U_A = 0,11$ V:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{o(max)}} \quad (10.7)$$

výstupní kondenzátor C_2 vypočteme z požadavku na určité výstupní zvlnění

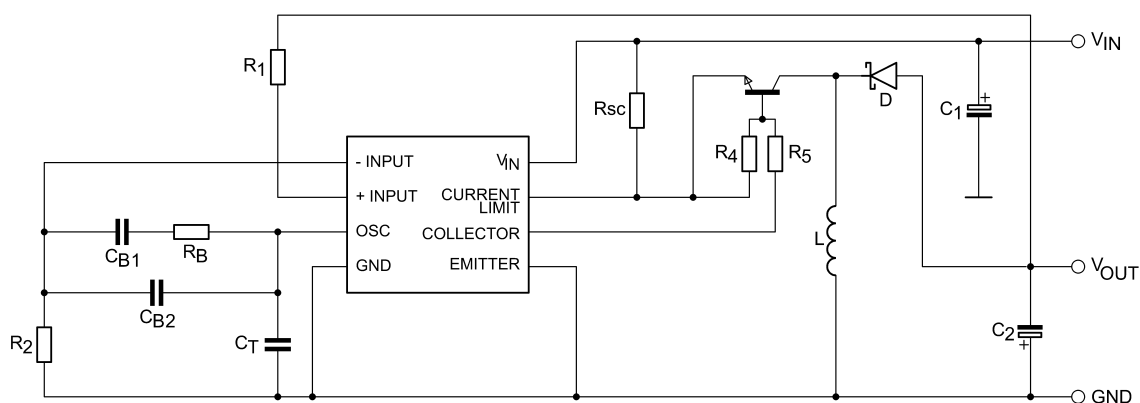
$$C_2 = I_o \left(\frac{U_2 - U_1}{f \cdot U_2 \cdot \Delta U_{2max}} \right) \quad (10.8)$$

vypočteme odporový dělič z odporů $R_1 - R_2$. Hodnotu odporu R_2 si zvolíme 10 k Ω následně R_1 .

$$R_1 = (U_2 - 1) \cdot R_2 \quad (10.9)$$

4.3.4 Invertující měnič – vztahy pro výpočet

Předpoklad pro výpočet je stejný jako u snižujícího a zvyšujícího měniče. Je tedy nutné znát hodnotu vstupního U_1 a výstupního napětí U_2 , dovolené výstupní zvlnění $\Delta U_{2\max}$, výstupní proud I_o , maximální výstupní proud $I_{o(\max)}$ a pracovní kmitočet f . [9]



Obr. 19: Schéma zapojení invertujícího měniče (převzato z [9])

z požadavku na frekvenci vypočteme kapacitu časovacího kondenzátoru C_T :

$$C_T = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{f} \quad (11)$$

průměrnou hodnotu proudu cívky vypočteme ze znalosti ΔI_o , která je 20% hodnoty výstupního proudu I_o :

$$\Delta I_L = \frac{2 \cdot \Delta I_o \cdot (U_1 + |U_2|)}{U_1} \quad (11.1)$$

z vypočteného proudu opět určíme velikost akumulární tlumivky:

$$L = \frac{U_1 \cdot |U_2|}{\Delta I_L (U_1 + |U_2| f)} \quad (11.2)$$

hodnotu R_{SC} vypočteme z aktivačního napětí obvodu $U_A = 0,11$ V:

$$R_{SC} = \frac{U_A}{I_{o(\max)}} \quad (11.3)$$

výstupní kondenzátor C_2 vypočteme z požadavku na určité výstupní zvlnění:

$$C_2 = \left(\frac{I_o \cdot |U_2|}{[f \cdot ([U_2] + U_1) \cdot \Delta U_{2\max}]} \right) \quad (11.4)$$

dále vypočteme předřadné odpory $R_4 - R_5$ pro výkonový tranzistor, ze znalosti napětí mezi bází-emitor U_{BE1} , saturačního napětí výstupního tranzistoru integrovaného obvodu U_{sat} a zesílení tranzistoru B_f (pro náš případ 30 pro TIP32):

$$I_p = I_{o(\max)} + 0,5\Delta I_L \quad (11.5)$$

$$R_4 = 10 \cdot U_{BE1} \cdot \frac{B_f}{I_p}$$

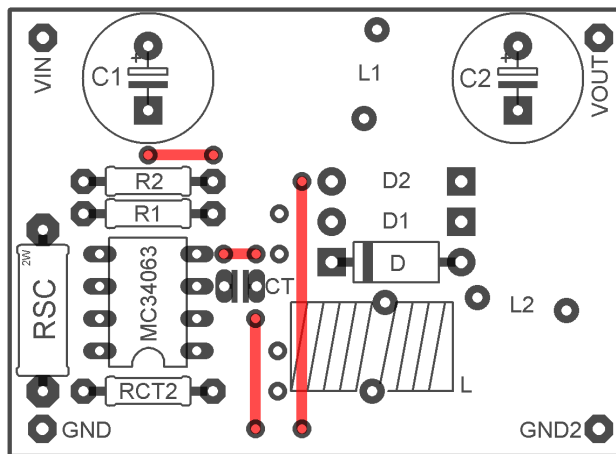
$$I_{R4} = \frac{U_{BE1}}{R_4}$$

$$R_5 = \frac{(U_1 - U - U_{BE1} - U_{sat}) \cdot B_f}{I_{o(\max)} + I_{R4}}$$

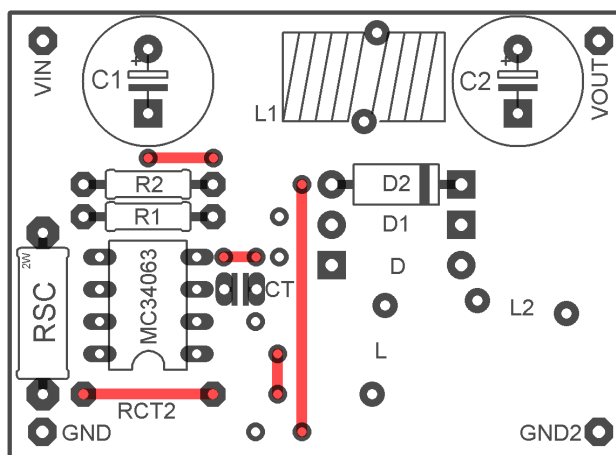
jako poslední vypočteme odporový dělič z odporů $R_1 - R_2$. Hodnotu odporu R_2 si opět zvolíme 10 k Ω následně R_1 .

$$R_1 = (|U_2| + 1) \cdot R_2 \quad (11.6)$$

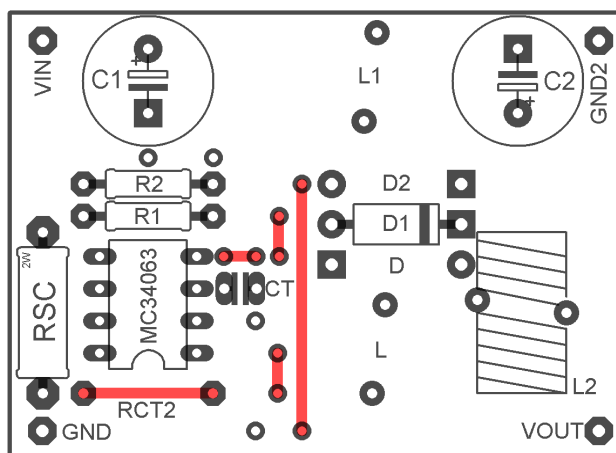
5.1.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič



Obr. 22: Osazovací plán zvyšujícího měniče

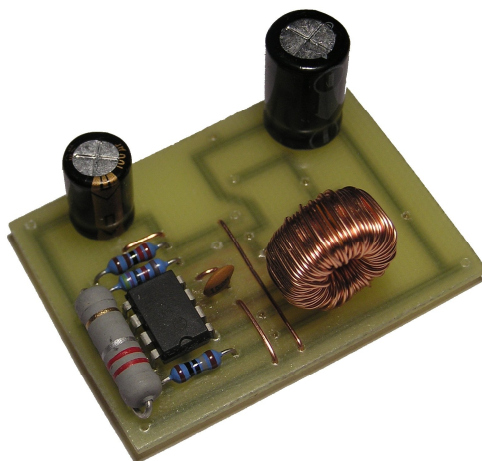


Obr. 23: Osazovací plán snižujícího měniče

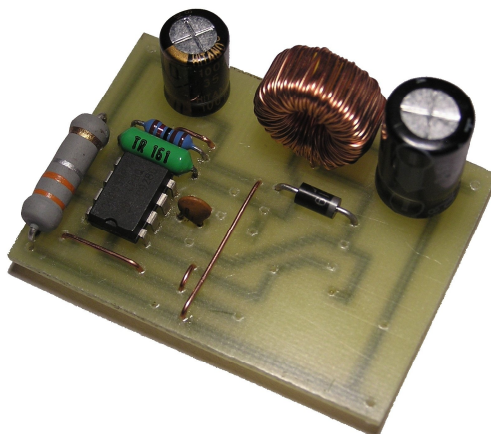


Obr. 24: Osazovací plán invertujícího měniče

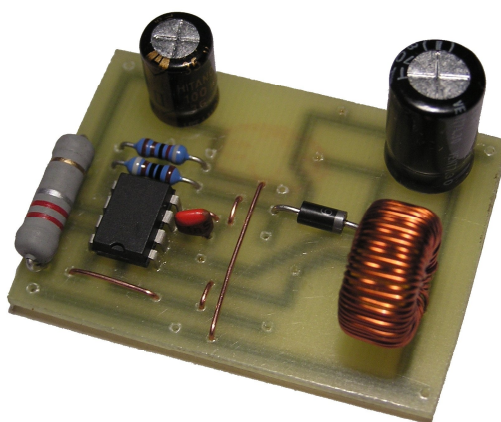
5.1.2 Ukázka hotových měničů



Obr. 25: Osazená deska zvyšujícího měniče



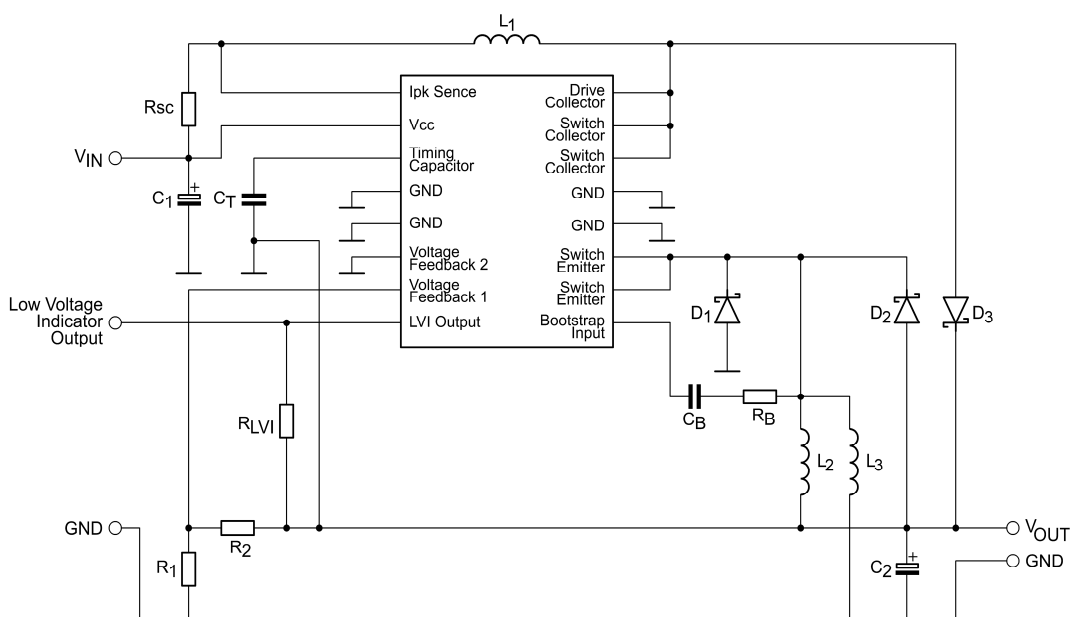
Obr. 26: Osazená deska snižujícího měniče



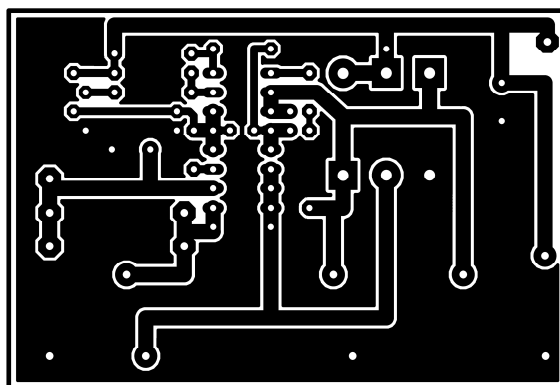
Obr. 27: Osazená deska invertujícího měniče

5.2 Využití obvodu MC34163

Předloha pro výrobu a osazení plošného spoje byla navržena v programu Eagle. Jedná se o univerzální DPS pro všechny tři typy měničů s využitím obvodu MC34163. Deska je navržena tak, aby se vhodnou změnou drátových propojek, které jsou na osazovacích plánech vyobrazeny červeně, dala změnit funkce obvodu pro námi požadovaný měnič. Bez těchto propojek bude zapojení nefunkční. Veškeré další součástky je nutno vypočítat dle vzorců, které byly uvedeny v kýžené kapitole. Rezistor RSC je vhodné použít 2W drátový, protože nám slouží ke snímání výstupního proudu, aby nedošlo ke zničení obvodu při přetížení. Na desce jsou pro tento odpor vytvořeny čtyři otvory pro paralelní zapojení, aby bylo možné doladit vypočtenou hodnotu s co největší přesností. Vstupní a výstupní kondenzátory je potřeba zvolit s co nejmenším sériovým odporem ESR a na vhodné napětí. Diodu zvolíme podle použitého proudu a napětí nejčastěji 1N5822. Jelikož je obvod schopen dodat proud až 3,4A, je nutné také vhodně dimenzovat tlumivku a pokud bychom chtěli odebírat velké proudy, zajistit i chlazení obvodu, které se provádí připájením měděných plíšků na jeho vývody s ohledem na zapojení dle datasheetu. Deska je vyobrazena pro přímý tisk za pomoci fotocesty, kdy se obrazec přikládá vytištěnou stranou na plochu svícené desky.

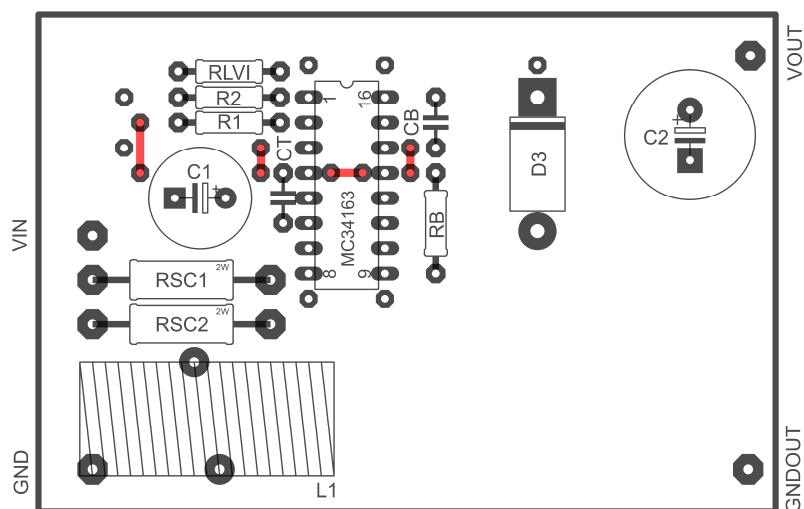


Obr. 28: Univerzální schéma zapojení pro všechny tři typy měničů

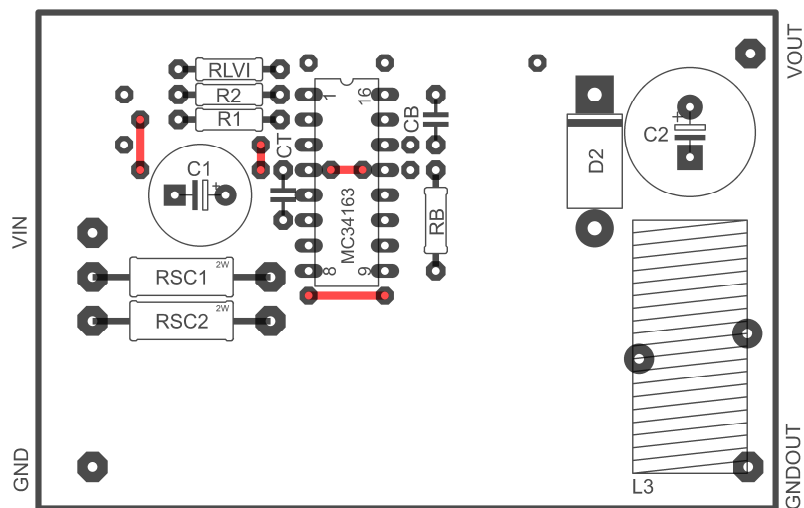


Obr. 29: Deska plošného spoje pro řídicí obvod MC34163 (měřítko 1:1)

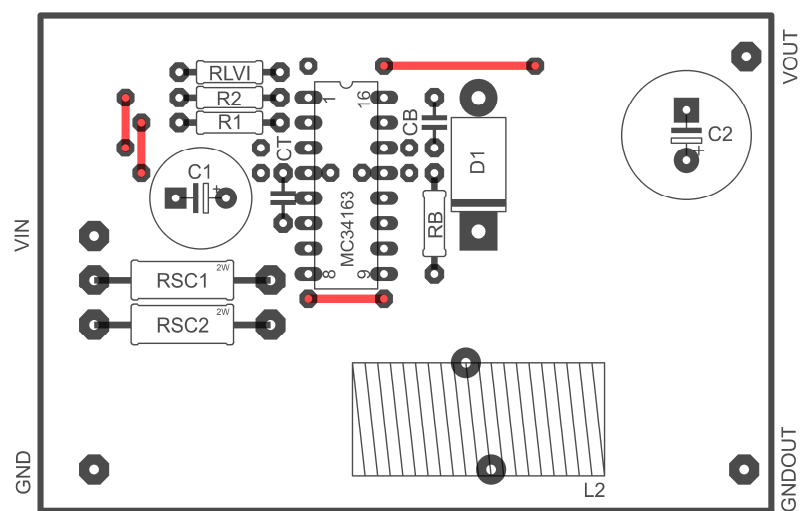
5.2.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič



Obr. 30: Osazovací plán zvyšujícího měniče

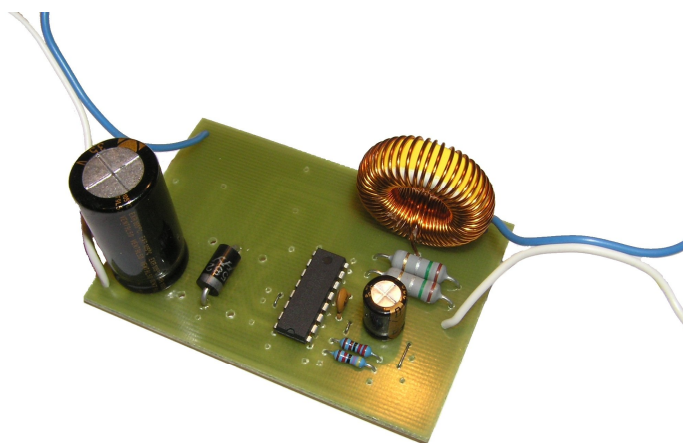


Obr. 31: Osazovací plán snižujícího měniče

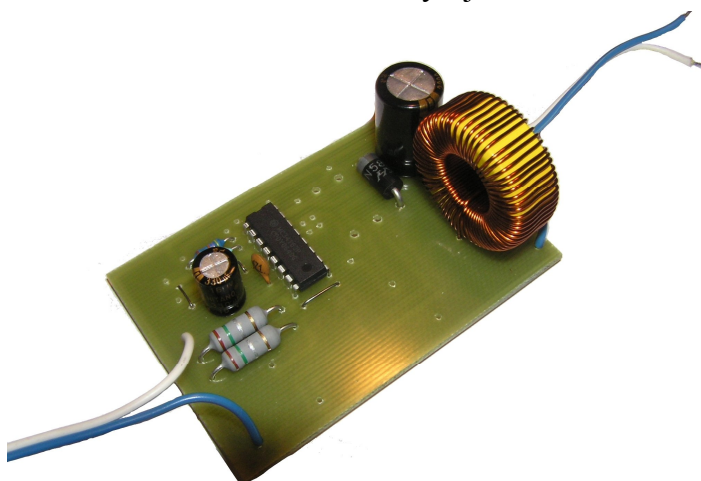


Obr. 32: Osazovací plán invertujícího měniče

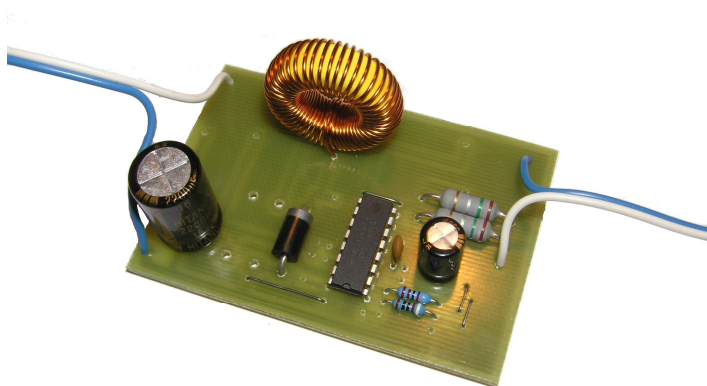
5.2.2 Ukázka hotových měničů



Obr. 33: Osazená deska zvyšujícího měniče



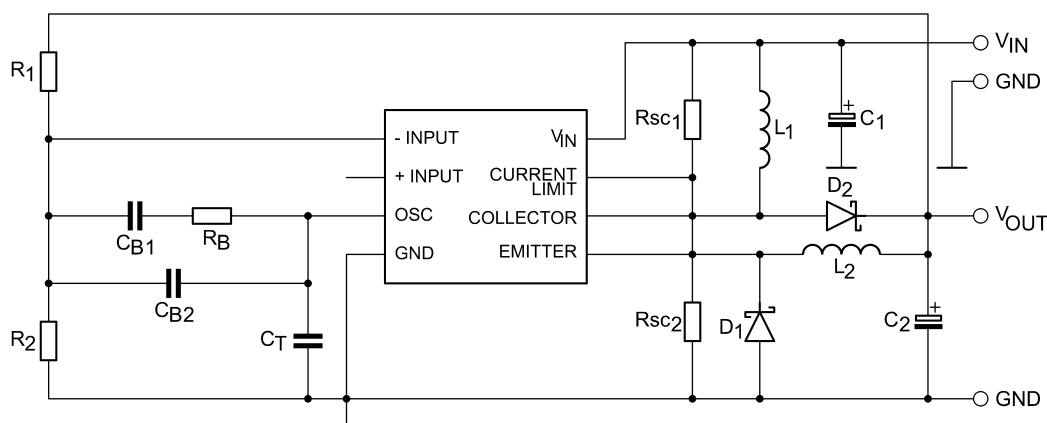
Obr. 34: Osazená deska snižujícího měniče



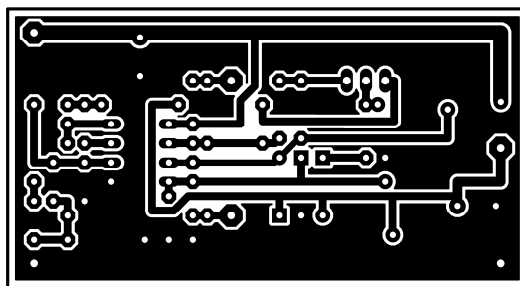
Obr. 35: Osazená deska invertujícího měniče

5.3 Využití obvodu LM3578

Základem pro univerzální desku měničů je obvod LM3578. Vhodnou změnou propojek na desce plošných spojů opět změníme funkci obvodu na námi požadovanou. Součástky, které jsou nezbytné pro správnou funkčnost obvodu, vypočteme dle vzorců, které byly uvedeny v samostatné kapitole. Odpor RSC použijeme 2W drátový. Kondenzátory volíme s co nejnižším sériovým odporem ESR. Diodu zvolíme podle použitého proudu a napětí. Nevýhodou tohoto zapojení je, že obvod nedokáže sám pracovat do zátěže bez použití výstupního tranzistoru v obvodu pro invertující měnič. Tato skutečnost je způsobena tím, že výstupní tranzistor je typu NPN a nedovolí, aby se výstup dostal pod určitou zápornou úroveň. Proto je toto zapojení doplněno o spínací tranzistor a dva rezistory nutné pro správnou funkčnost obvodu. Tranzistor vybereme dle katalogu pro vhodné napětí a proud např. TIP32. Vzhledem ke složitosti zapojení není tato změna uvedena v schématu, ale pouze v osazovacím plánu. Dále jsou zde umístěny součástky, které dle datasheetu jsou nutné pro správnou funkci obvodu. Jedná se tedy o CB1, CB2 a RB jejichž hodnoty jsou (2.2nF, 20pF, 220kΩ). [9] Deska je vyobrazena pro přímý tisk za pomoci fotocesty, kdy se obrazec přikládá vytištěnou stranou na plochu svícené desky.

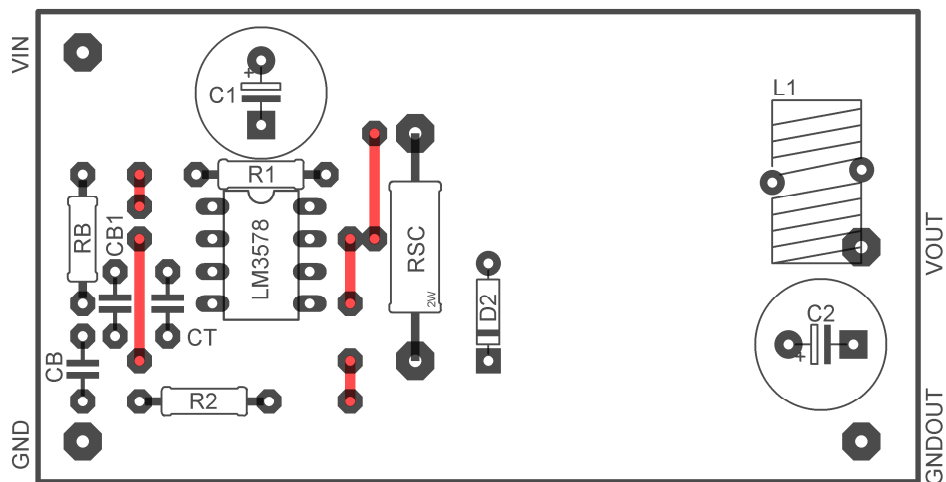


Obr. 36: Univerzální schéma zapojení pro všechny tři typy měničů

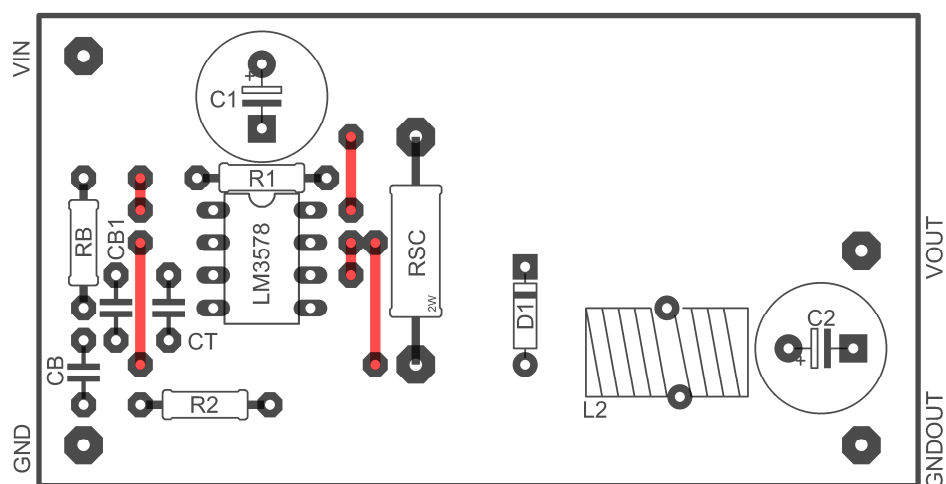


Obr. 37: Deska plošného spoje pro řídicí obvod LM3578 (měřítko 1:1)

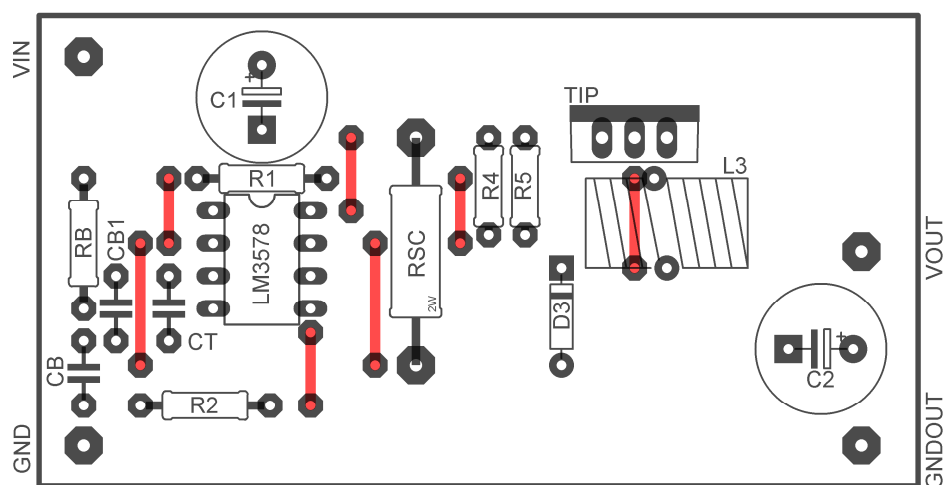
5.3.1 Osazovací plán pro zvyšující, snižující a invertující měnič



Obr. 38: Osazovací plán zvyšujícího měniče

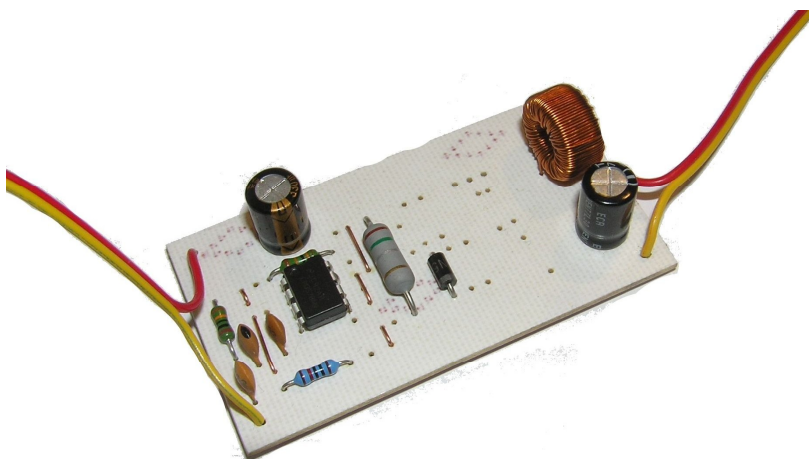


Obr. 39: Osazovací plán snižujícího měniče

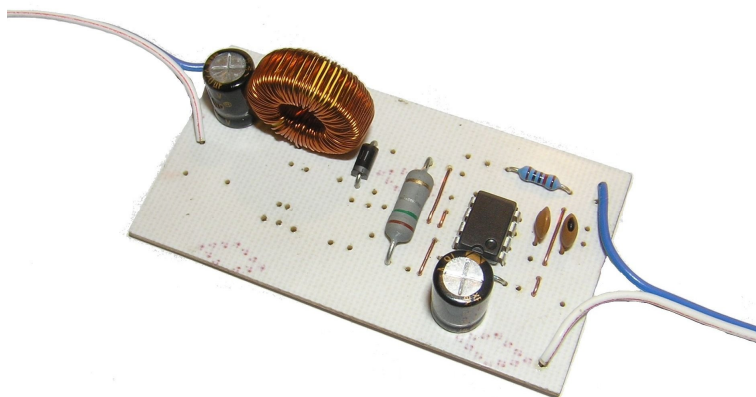


Obr. 40: Osazovací plán invertujícího měniče

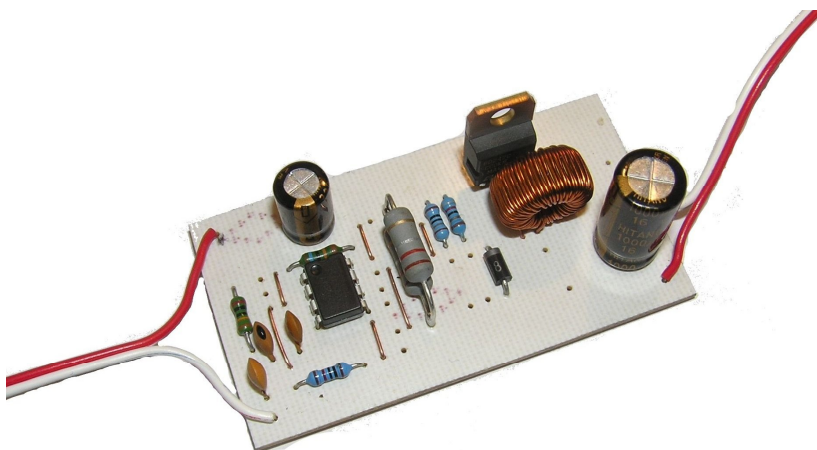
5.3.2 Ukázka hotových měničů



Obr. 41: Osazená deska zvyšujícího měniče



Obr. 42: Osazená deska snižujícího měniče



Obr. 43: Osazená deska invertujícího měniče

6 Doporučené typy součástek

6.1 Kondenzátory

Pro spínané zdroje jsou nejlepší volbou kondenzátory s co nejmenším sériovým odporem ESR. Při výběru je tedy nutné brát v ohledu jisté parametry, které jsou přehledně vypsány v tabulce 4. Parametry byli změřeny měřicím přístrojem Tesla BM591 s přesností 0,25% + 3DIG. Dalším pravidlem je, že je vhodné místo jednoho kondenzátoru lepší použít dva zapojené paralelně. Výsledkem je snížení odporu ESR a delší životnost celého zařízení.

Značka	série	hodnota	reálná hodnota	ESR mOhm	poznámka	cena	life 105/85
Hitano	EXR/105°	220uF/25V	201uF	127	GES 105° zlatý LOW ESR	2,50	2000h 5000h
Nippon	LZX/105°	220uF/25V	231uF	144	GES impulsní long life	8,00	2000h 8000h
Jamicon	TM/105°	220uF/25V	198uF	156	GME 105° modrý	1,50	2000h
Hitano	ECR/85°	220uF/25V	188uF	224	GES 85° černý obyčejný	1,20	2000h
Jamicon	SK/85°	220uF/25V	195uF	276	GME 85° černý obyčejný	2,50	2000h

Tab.4: Parametry kondenzátorů pro spínané zdroje (dobré, běžné, nepoužívat)

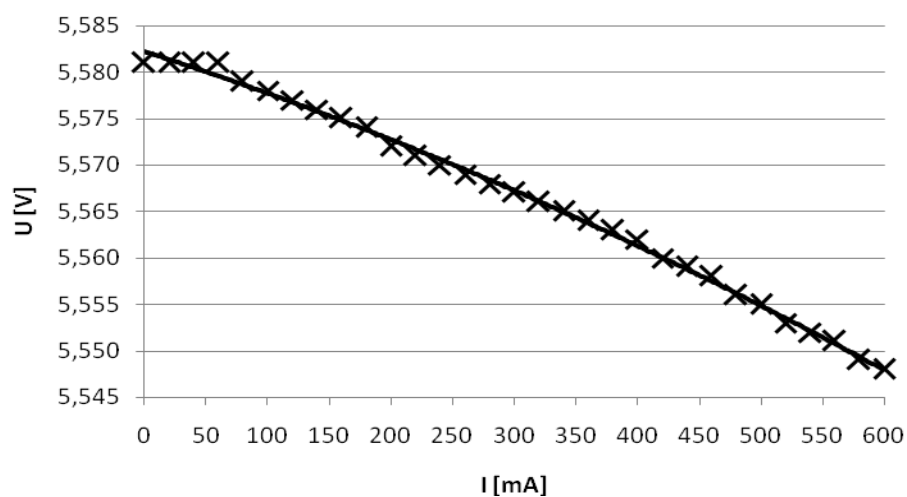
6.2 Indukčnosti

Indukčnosti pro spínané zdroje, kde se pracuje s vysokou frekvencí, se obvykle používají z oxidokeramického materiálu, nebo sloučeniny oxidu železa se spinelovou strukturou (lze použít krystaly Zn, Mn, Ni, Cu, Co, Mg, Cd) díky svému vysokému měrnému odporu. Při takto vysokých hodnotách vykazují ferity zanedbatelné ztráty vířivými proudy. [10] U indukčností musíme vhodně zvolit jak jejich hodnotu, tak i proudové zatížení. U nás jsou nejdostupnější tlumivky firmy TALEMA, typy DPUxxxxx, které se vyrábí v dostatečném rozsahu hodnot i dimenzace výstupního proudu. Veškeré potřebné informace jsou k nalezení na oficiálních stránkách firmy TALEMA. [11]

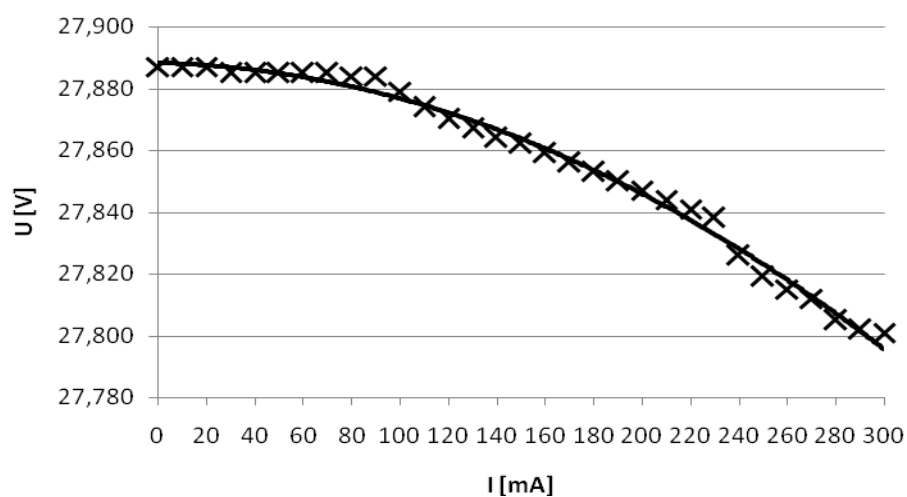
7 Zatěžovací charakteristiky jednotlivých měničů

Jednotlivé zatěžovací charakteristiky byli měřeny za pomoci měřicího přístroje HP 34401A do proměnné odporové zátěže. Přesnost přístroje dosahuje na rozsahu 1 - 10 V (0,0015 + 0,0004) a 10 - 100 V (0,0020 + 0,0006). Jak je vidět z grafů napětí klesá pozvolna se vzrůstající zátěží. U některých měničů docházelo s větší zátěží k nárůstu výstupního napětí vlivem zpětné vazby. Tento jev je ovšem naprosto normální, jelikož se měnič snaží udržet konstantní napětí na výstupu. Nepřesnost některých napětí je způsobena nevhodným výběrem rezistoru (jejich přibližné hodnoty z řady).

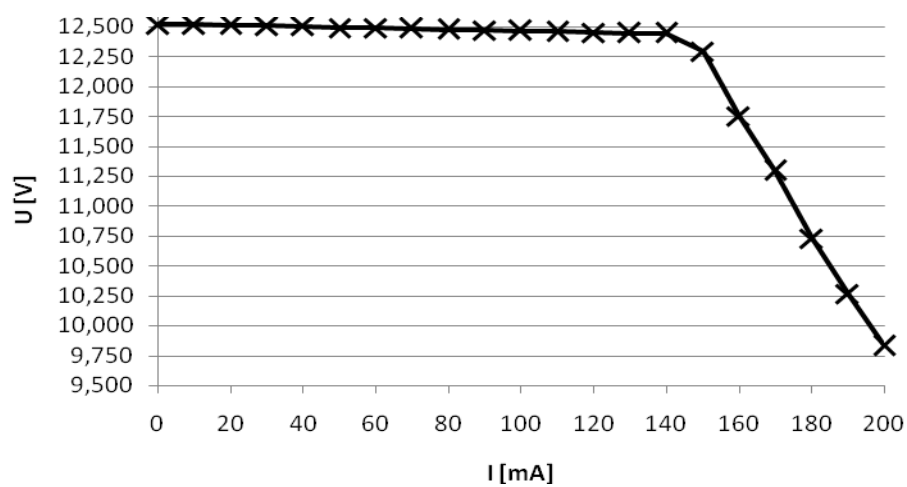
7.1 Využití obvodu MC34063



Obr. 44: Snižující měnič 15V/ 5V, 500 mA

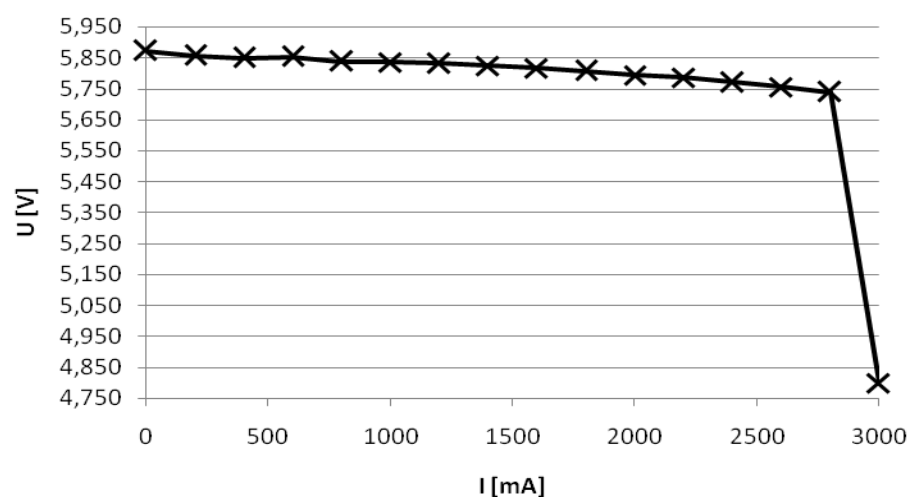


Obr. 45: Zvyšující měnič 12V/ 28V, 180 mA

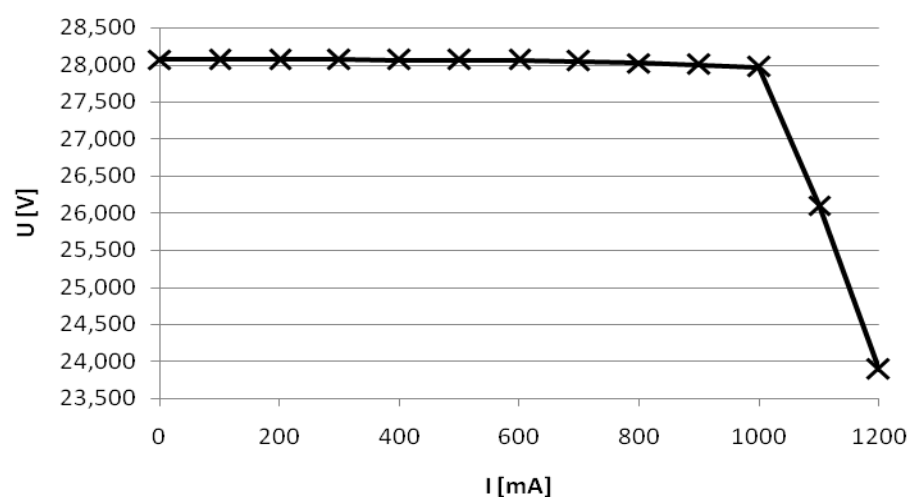


Obr. 46: Invertující měnič 5 V/ -12V, 100 mA

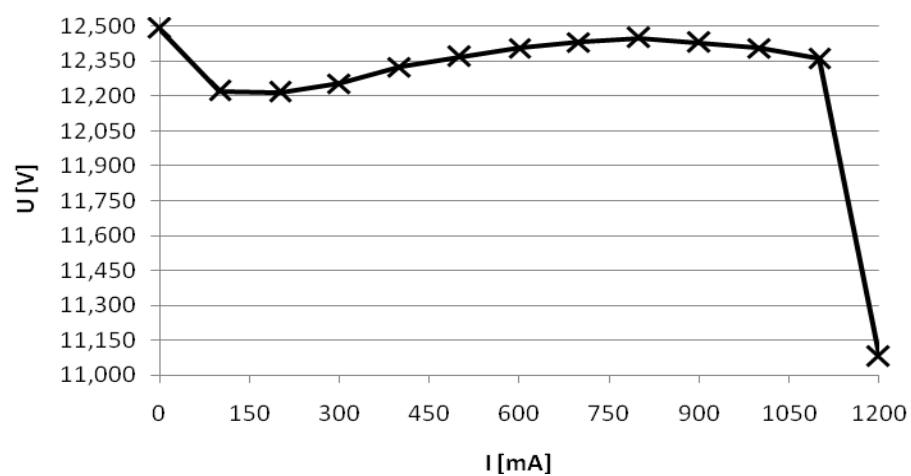
7.2 Využití obvodu MC34163



Obr. 47: Snižující měnič 12V/ 5V, 3000 mA

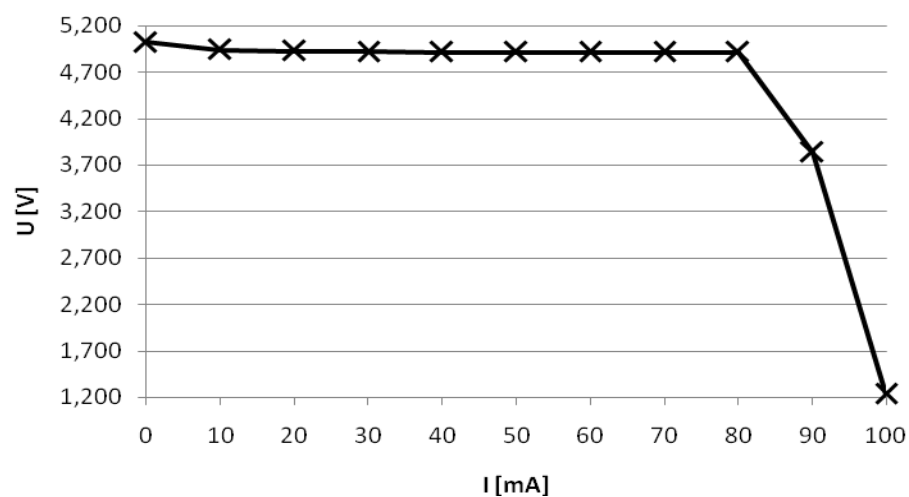


Obr. 48: Zvyšující měnič 12V/ 28V, 1000 mA

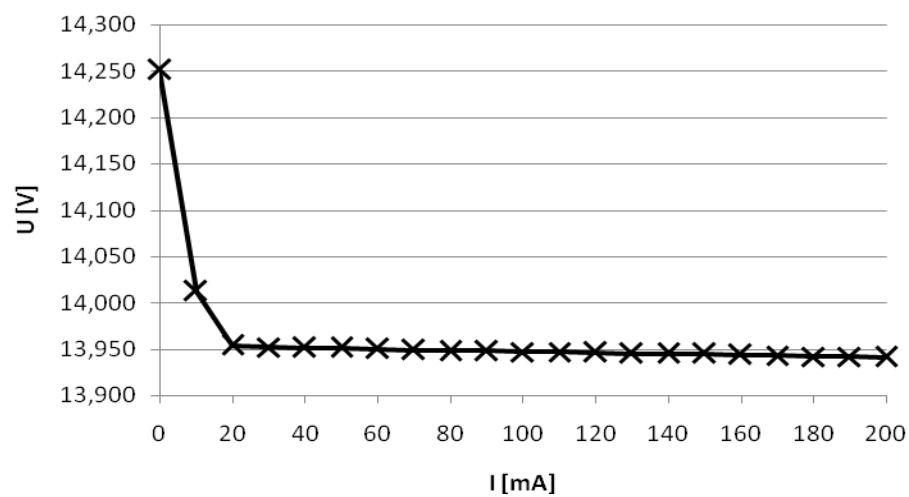


Obr. 49: Invertující měnič 12V/ -12V, 1000 mA

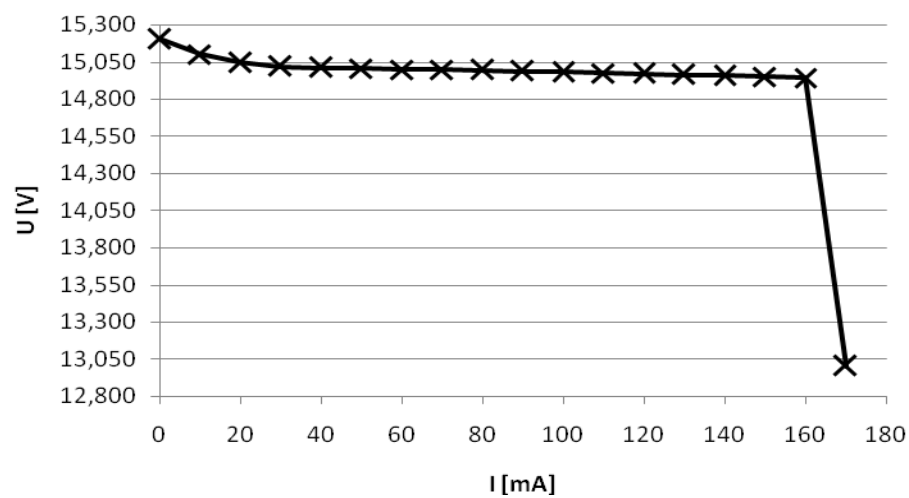
7.3 Využití obvodu LM3578



Obr. 50: Snižující měnič 15V/ 5V, 350 mA



Obr. 51: Zvyšující měnič 5V/ 15V, 140 mA



Obr. 52: Invertující měnič 5V/ -15V, 300 mA

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhotovení podkladů pro návrh a výrobu univerzálních desek plošných spojů pro řídicí obvody DC/DC měničů. Celkový návrh je rozdělen do několika částí, které se zabývají jak samotnou problematikou měničů, tak i konkrétními výpočty a koncovou realizací univerzálních plošných spojů a jejich osazení. Problematické bylo vybrat vhodné řídicí obvody, který by splňovaly námi zadané požadavky a byly běžně dostupné na trhu s elektronickými součástkami. Výsledné zapojení všech měničů jsem úspěšně odzkoušel na vzorcích a ověřil jejich správnou funkčnost. Pro všechny zapojení byly změřeny zatěžovací charakteristiky, aby bylo možné porovnat reálné hodnoty s vypočtenými. Zvlnění výstupního napětí dosahovalo lepších parametrů, než bylo zvoleno při výpočtu. Z grafů je zřejmé, že až na obvod LM3578, který bych volil pro méně náročné aplikace, pracovaly měniče podle očekávaných předpokladů. Z jednotlivých měničů bych pro náročné aplikace doporučil obvod MC34163, který je schopen do zátěže dodat velmi vysoké proudy, ovšem s vhodným chlazením, které je problematické u integrovaného obvodu zajistit. Desky plošných spojů byly vytvořeny s co největším ohledem na funkčnost celého zapojení a jejich rozměr byl upraven na co nejmenší velikost. Jelikož měniče pracují na vysoké frekvenci, je vhodné zapojit před i za měnič vhodný odrušovací filtr. Celý návrh je doplněn o doporučené typy součástek s ohledem na jejich parametry a dostupnost.

9 Seznam použité literatury

- [1] Alexandr Krejčířík, *Napájecí zdroje*, 1 vydání, Praha: BEN technická literatura, 1996, 352 stran, ISBN 80-86056-02-3
- [2] Alexandr Krejčířík, *Napájecí zdroje*, 2 vydání, Praha: BEN technická literatura, 1996, 352 stran, ISBN 80-86056-03-1
- [3] Šebesta J., *Napájení elektronických zařízení*, prezentace přednášek [online], Dostupné na WWW
<https://krel.feec.vutbr.cz/VYUKA/B_EST/prezencni/BNEZ/P/>
- [4] Šebesta J., *Napájení elektronických zařízení*, laboratorní cvičení [online], Dostupné na WWW
<https://krel.feec.vutbr.cz/VYUKA/B_EST/prezencni/BNEZ/L/>
- [5] Alexandr Krejčířík, *Spínané zdroje, Konstrukční elektronika A Radio*, 2000, č. 3, s 3-39
- [6] Alexandr Krejčířík, *Spínané zdroje, Konstrukční elektronika A Radio*, 2000, č. 4, s 3-30
- [7] Motorola Analog IC Device Data. Katalogový list obvodu DC/DC měniče MC34063 [online], Dostupné na WWW
<<http://datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MC34063A.pdf>>
- [8] ON Semiconductor. Katalogový list obvodu DC/DC měniče MC34163 [online], Dostupné na WWW
<http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34163-D.PDF>
- [9] National Semiconductor. Katalogový list obvodu DC/DC měniče LM3578 [online], Dostupné na WWW
<<http://www.national.com/ds/LM/LM2578A.pdf>>
- [10] Alexandr Krejčířík, *Napájecí zdroje*, 3 vydání, Praha: BEN technická literatura, 1999, 349 stran, ISBN 80-86056-56-2
- [11] TALEMA. Katalogový list indukčností [online], Dostupné na WWW
<<http://www.nuvotem.com/en/products/pdf/DP%20Feb-07.pdf>>
- [12] Jiří Peček, *Obvody pro napájecí zdroje, Konstrukční elektronika A Radio*, 2000, č. 1, s 32-36

10 Seznam zkratek

C	kondenzátor
CMP	komparátor
C_T	časovací kondenzátor
D	dioda
f_{min}	minimální pracovní kmitočet
I_{IN}	vstupní proud
ΔI_o	průměrná hodnota proudu cívkou
I_o	výstupní proud
$I_{o(max)}$	výstupní proud
I_{OUT}	výstupní proud
I_{2max}	maximální výstupní proud
I_{pk}	špičkový proud
I_{pkT}	hodnota špičkového proudu
L	cívka
LC	filtr typu LC
OSC	oscilátor
P	přenášený výkon
PWM	pulsně šířková modulace
RC	filtr typu RC
R_{CT2}	odpor kolektoru
s	střída
S	spínač
T	perioda
t_1	časový okamžik
t_2	časový okamžik
t_{on}	doba zapnutí
t_{off}	doba vypnutí
U_A	aktivační napětí
U_{CES}	saturační napětí
U_{Df}	napětí na diodě
U_{ind}	indukované napětí
U_{in}	vstupní napětí
U_L	napětí na cívce
U_{REF}	referenční napětí
U_{out}	výstupní napětí
U_1	vstupní napětí
U_{1jmen}	jmenovité vstupní napětí
U_{1min}	minimální vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
ΔU_{2max}	výstupní zvlnění
δ	střída