

Výkonové napěťové měniče

Bc. Aleš Kunčar

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Aleš Kunčar
Osobní číslo: A12422
Studijní program: N3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Počítačové a komunikační systémy
Forma studia: prezenční

Téma práce: Výkonové napěťové měniče
Téma anglicky: Switched Mode Power Supply Designs

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výkonových spínaných zdrojů.
2. Navrhněte dva různé napěťové měniče 24 / 12 V s výkonem cca 60 W.
3. Navrhněte dva různé napěťové měniče 24 / 48 V s výkonem cca 60 W.
4. Navržené měniče zkonstruujte a porovnejte jejich vlastnosti.
5. Na základě získaných zkušeností navrhněte výslednou konstrukci modulu měničů napětí 24 / 12 / 48 V.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. FAKTOR, Zdeněk. Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-91-0.
2. KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje I: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 341 s. ISBN 80-860-5602-3.
3. KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje II.: Integrované obvody ve spínacích zdrojích. 1. vyd. Praha: BEN, 1996, 351 s. ISBN 80-860-5603-1.
4. Konstrukční elektronika a radio: Spínané zdroje I. Praha: Amaro, s.r.o, 2000, V, č. 3. ISSN 1211-3557.
5. Konstrukční elektronika a radio: Spínané zdroje II. Praha: Amaro, s.r.o, 2000, V, č. 4. ISSN 1211-3557.
6. Konstrukční elektronika a radio: Spínané zdroje III. Praha: Amaro, s.r.o, 2000, V, č. 6. ISSN 1211-3557.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce:

7. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2014

Ve Zlíně dne 7. února 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Karel Vlček, 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 práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá samotným návrhem a realizací napěťových měničů 24 / 12 V a 24 / 48 V s výkonem 60 W. Úvod práce je zaměřen na teoretický úvod do problematiky spínaných zdrojů. V části je stručně popsáno blokové schéma spínaných zdrojů a porovnány s lineárními zdroji. Dále jsou zde zdroje rozděleny a následně vysvětlen princip činnosti jednotlivých typů základních topologií a zapojení. Praktická část se již zabývá vlastním návrhem a realizací napěťových měničů. U každého navrhovaného měniče jsou uvedeny zatěžovací charakteristiky, aby byla možnost porovnat vlastnosti jednotlivých měničů. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky a vybrány měniče, které byly kompromisem mezi cenou a kvalitou. Součástí práce jsou i podklady pro realizaci měničů.

Klíčová slova: spínaný zdroj, napěťový měnič, snižující měnič, zvyšující měnič

ABSTRACT

This master thesis deals with the actual design and realization of voltage converter 24 / 12 V and 24 / 48 V with 60 W. The introduction is focused on the theoretical introduction to the main topic of switched-mode power supplies. In this part is briefly described block diagram of switched-mode power supply and compared to the linear supplies. These supplies are also divided and further explain the operating principle of each type of basic topologies and wiring. The practical part deals with its own design and realization of voltage converters. For each of the proposed converter are shown load characteristics to the opportunity to compare attributes of the individual converters. In conclusion, the results are analyzed and on the basis of the result are chosen converters, which are a compromise between price and quality. The thesis includes documentation for the realization of converters.

Keywords: switched-mode power supply, voltage converter, step down converter, step up converter

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Pospíšilíkovi, PhD. za pomoc a odborné rady při psaní této práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodině za poskytnutou podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 SPÍNANÉ ZDROJE	10
1.1 PRINCIP ČINNOSTI SPÍNANÉHO ZDROJE.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ.....	12
2 ZÁKLADNÍ TOPOLOGIE SPÍNANÝCH ZDROJŮ.....	13
2.1 SNIŽUJÍCÍ NAPĚTÍ.....	13
2.2 ZVYŠUJÍCÍ NAPĚTÍ	15
2.3 INVERTUJÍCÍ NAPĚTÍ	17
3 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ.....	20
3.1 PROPUSTNÉ ZAPOJENÍ.....	20
3.2 AKUMULAČNÍ ZAPOJENÍ	21
3.3 DVOJČINNÉ ZAPOJENÍ	22
II PRAKTICKÁ ČÁST	25
4 NÁVRHY NAPĚŤOVÝCH MĚNIČŮ	26
4.1 ŘÍDÍCÍ OBVOD	26
4.2 SPÍNACÍ PRVEK.....	26
4.3 DIODA	26
4.4 CÍVKA.....	27
4.5 KONDENZÁTOR	27
5 OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ MĚNIČE.....	28
6 NAPĚŤOVÉ MĚNIČE 24 / 12 V	29
6.1 NAPĚŤOVÝ MĚNIČ S OBVODEM AP1501A-12	29
6.1.1 Ověření parametrů měniče s obvodem AP1501A-12.....	31
6.2 NAPĚŤOVÝ MĚNIČ S OBVODEM MC34063.....	33
6.2.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063.....	34
7 NAPĚŤOVÉ MĚNIČE 24 / 48 V	37
7.1 NAPĚŤOVÝ MĚNIČ S OBVODEM MC34063 A TRANZISTOREM IRFZ44N	37
7.1.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063 a tranzistorem IRFZ44N	37
7.2 NAPĚŤOVÝ MĚNIČ S OBVODEM MC34063 A TRANZISTOREM BD911	40
7.2.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063 s tranzistorem BD911	40
ZÁVĚR.....	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	46
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	48
SEZNAM TABULEK	49
SEZNAM PŘÍLOH	50

ÚVOD

Zdroje elektrické energie jsou nedílnou součástí elektronických zařízení. Tato energie bývá nejčastěji dodávána v podobě stejnosměrného napětí a proudu. Ve výrobcích spotřební, výpočetní a průmyslové elektroniky se častěji setkáváme se spínanými zdroji, jelikož mají řadu výhod oproti lineárním zdrojům. Mezi tyto výhody se řadí malé rozměry, váha a vysoká energetická účinnost.

Neprospěch spínaných zdrojů byla dříve cena, obvodová složitost a volba vhodných součástek. To již v současnosti neplatí, vzhledem k dostupnosti specializovaných integrovaných obvodů (driver). Tyto obvody v podstatě slučují všechny důležité části řídicí elektroniky a některé drivery obsahují i výkonové prvky. Bipolární vysokonapěťové spínací tranzistory byly nahrazeny kvalitními a levnými tranzistory typu FET, které dokážou pracovat na mnohem vyšších frekvencích a tím zmenšit rozměry a váhu zdroje.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat napěťové měniče 24 / 12 V a 24 / 48 V s výkonem přibližně 60 W.

Úvodní kapitola práce je zaměřena na teoretický úvod do problematiky spínaných zdrojů. V této části je stručně popsáno blokové schéma spínaných zdrojů a porovnány s lineárními zdroji. Dále jsou zde zdroje rozděleny a následně vysvětlen princip činnosti jednotlivých typů základních topologií a zapojení.

Praktická část se již zaměřuje na vlastní návrh a realizaci napěťových měničů. U každého navrhovaného měniče jsou uvedeny zatěžovací charakteristiky, aby byla možnost porovnat vlastnosti jednotlivých měničů.

V závěru jsou vyhodnoceny výsledky a vybrány měniče, které byly kompromisem mezi cenou a kvalitou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SPÍNANÉ ZDROJE

Výzkum a vývoj v oblasti impulzních napájecích zdrojů započal v 60. letech 20. století a vedl ke vzniku spínaných napájecích zdrojů. Do této doby se pro přeměnu napětí používali převážně lineární zdroje.

Spínané zdroje se konstruuji zejména kvůli své vysoké účinnosti, a to v případech omezené kapacity primárního zdroje (akumulátor nebo baterie) a dále pro svoji malou váhu a rozměry. Účinnost těchto napájecích zdrojů se obvykle pohybuje v rozmezí od 70 % do 80 %, u lineárních zdrojů dosahuje účinnost pouze 30 %. [1] [2]

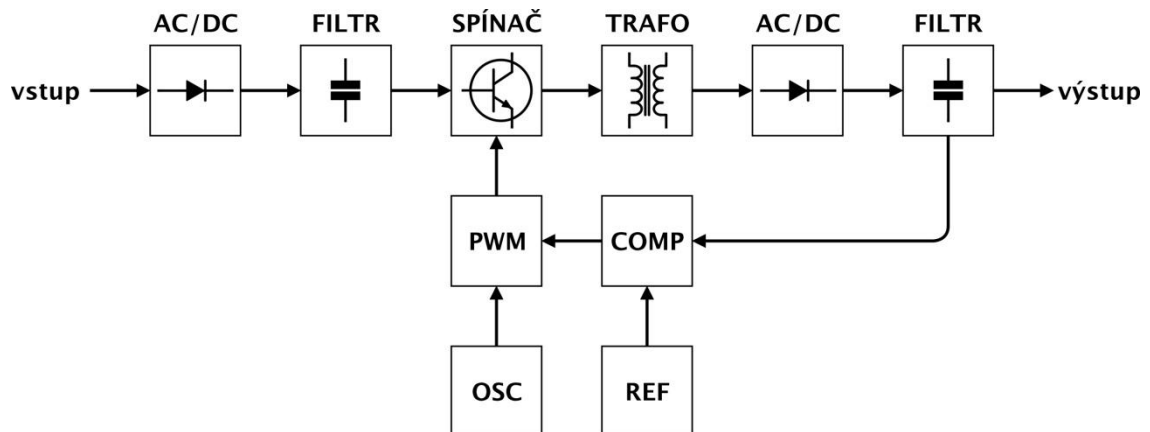
I přes komplikovanější návrh a výběr součástek mají dnes spínané zdroje dominantní zastoupení. Velkou výhodou, plynoucí z vysokého pracovního kmitočtu, je jednoduchá filtrovatelnost zbytků střídavé složky na výstupu. Tato vlastnost se však projeví až při kmitočtech vyšších než 20 kHz. Nevýhodou spínaných zdrojů je vyšší cena součástek daná kvalitou, stálostí a vysokým pracovním kmitočtem. [1]

Tab. 1 Porovnání vlastností lineárních a spínaných zdrojů [2]

	Lineární zdroje	Spínané zdroje
Rozsah napětí	10 až 100 V	1 až 1000 V
Rozsah proudů	tisíciny až jednotky A	jednotky až tisíce A
Rozsah výkonů	jednotky W	jednotky až desetitisíce W
Kmitočet usměrňovače napětí	50 Hz	50 Hz desítky kHz až jednotky MHz při úpravě účinníku
Přesnost nastavení napětí	0,02 až 0,05 %	0,05 až 0,1 %
Přesnost regul. výkonů	0,02 až 0,1 %	0,1 až 1 %
Zvlnění výstupního napětí	500 až 2000 mV _{ef}	25 až 100 mV(š-š)
Rozsah vstupního napětí	± 10%	± 30% některé zdroje v rozsahu až 4:1
Účinnost	30 až 50%	70 až 90%
Měrný výkon	0,033 W/cm ³	0,2 až 10 W/cm ³
Doba zotavení	50 (100) ns	300 (2000) ns
Přípustná doba výpadku vstupního napětí	2 ms	32 ms

1.1 Princip činnosti spínaného zdroje

Spínaný zdroj je celkem složité zařízení skládající se z několika základních částí znázorněných na Obr. 1. Spínaný zdroj však nemusí vždy obsahovat všechny tyto části a často obsahuje i některé navíc. Vše záleží na konkrétních požadavcích zdroje. Pro každou aplikaci zdroje jsou tyto požadavky rozdílné a často tak dochází ke kompromisu mezi cenou a kvalitou výstupního napětí nebo proudu. [1]



Obr. 1 Blokové schéma spínaného zdroje [3]

Základní podmínkou pro správnou činnost spínaného zdroje je stejnosměrné vstupní napětí, které nemusí být úplně vyfiltrováno. Proto je na vstupu blokového schématu umístěn usměrňovač (blok *AC/DC*) a filtrační (vyhlazovací) kondenzátor (blok *FILTR*). Takto usměrněné napětí je spínáno pomocí vysokofrekvenčního spínaného tranzistoru (blok *SPÍNAČ*), které vytvoří střídavý obdélníkový průběh o kmitočtu 20 kHz až 1 MHz. K akumulaci napětí dochází buď na cívce, nebo vysokofrekvenčním transformátoru (blok *TRAFO*), jenž také slouží ke galvanickému oddělení vstupní části zdroje od zátěže. Napětí je před výstupem ze spínaného zdroje nutné opět usměrnit a vyfiltrovat obsah střídavé složky (bloky *AC/DC* a *FILTR*). [3] [4]

Výstupní napětí je regulováno prostřednictvím zpětné vazby. Důležitou součástí zpětné vazby je komparátor (blok *COMP*), ve kterém je porovnáváno výstupní napětí s napětím referenčního zdroje (blok *REF*). Vzniklá odchylka určuje dobu sepnutí spínacího prvku. [4]

1.2 Rozdělení spínaných zdrojů

Rozdělit spínané zdroje do skupin je obtížné, neboť některé používané principy se často kombinují a v každé literatuře je dělení rozdílné. Přesto bylo možné odvodit následující rozdělení:

a) Podle velikosti spínacího kmitočtu

- zdroje s kmitočtem sítě
- zdroje s kmitočtem vyšším, než síťovým (měniče)

b) Podle toho, zda je použita cívka (transformace energie)

- zdroje s indukčností (cívka s feritovým jádrem nebo transformátor)
- zdroje bez indukčnosti (obsahují násobiče napětí)

c) Podle srovnání výstupního napětí se vstupním

- obvody pro snížení napětí (*Step-Down*)
- obvody pro zvýšení napětí (*Step-Up*)
- invertory (*Inverter*)

d) Podle způsobu přenosu energie ze vstupu na výstup

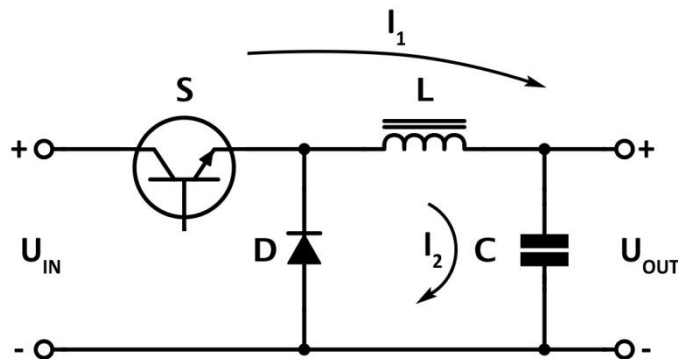
- zdroje s propustným zapojením (*FORWARD*)
- zdroje s akumulujícím zapojením (*FLYBACK*)
- zdroje s dvojjinným zapojením (*PUSH-PULL*)
- zdroje s můstkovým zapojením (tzv. polomost nebo plný most)

2 ZÁKLADNÍ TOPOLOGIE SPÍNANÝCH ZDROJŮ

Funkční zapojení spínaných zdrojů lze rozdělit na tři základní topologie. Tyto tři zapojení jsou popsány v této kapitole.

2.1 Snižující napětí

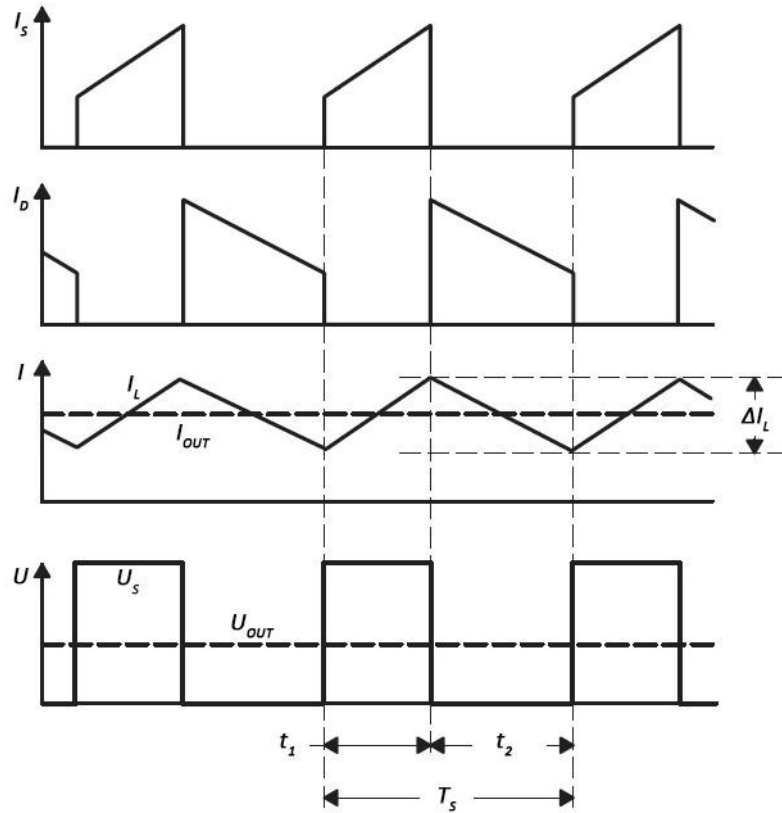
V tomto typu obvodu je cívka zapojena do série se spínačem. Cívka je zde zapojena jako část integračního članku LC . Kondenzátor C na výstupu měniče je dobíjen proudem I_1 a po sepnutí spínače S narůstá na kondenzátoru napětí. Napětí narůstá tím pomaleji, čím je kapacita kondenzátoru C a indukčnost cívky L větší. [3]



Obr. 2 Schéma měniče snižujícího napětí

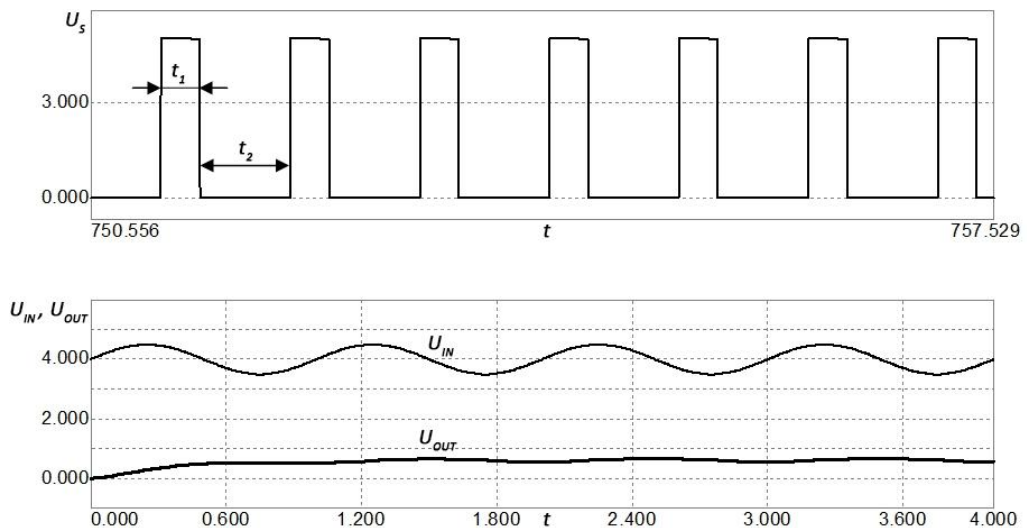
Po vypnutí spínače S se cívka L snaží udržet směr a velikost svého proudu (dle Lenzova zákona). Energie, naakumulovaná během první fáze, kdy byl spínač S sepnutý, se mění na dobíjecí proud I_2 kondenzátoru C . Aby mohl proud I_2 protékat obvodem, je doplněn diodou D . Z tohoto popisu principu činnosti je patrné, že během první fáze (spínač S je sepnut) napětí na výstupu narůstá, zatímco během druhé fáze (spínač S je vypnut) výstupní napětí klesá. [1]

Kmitočet zvlnění výstupního napětí U_{OUT} bude stejný jako kmitočet spínání a vypínání spínače S . Pokud je tento kmitočet dostatečně vysoký, je možné výstupní napětí dobře filtrovat. Zvlnění je v této topologii velmi malé, jelikož v cestě proudu je vždy cívka. [1]

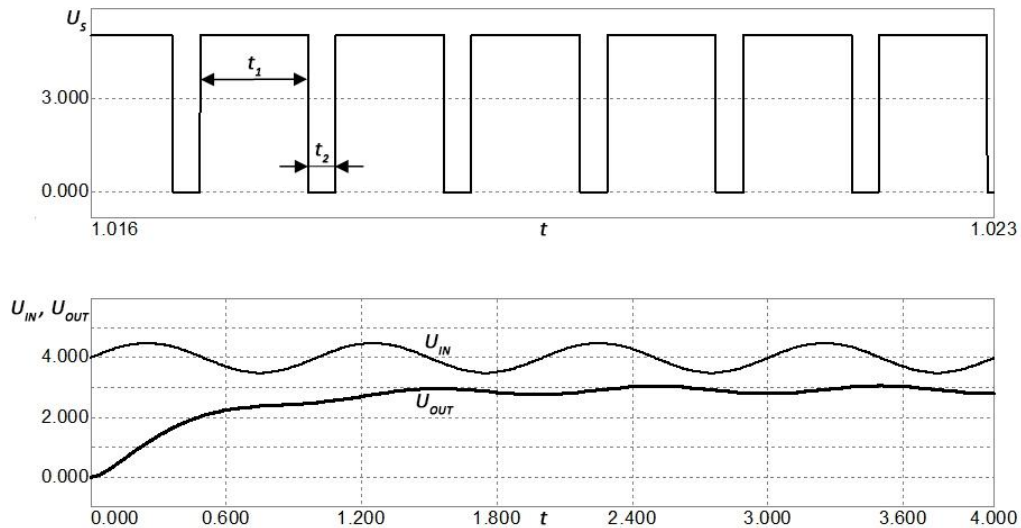


Obr. 3 Průběhy napětí a proudu na snižujícím měniči [15]

Výstupní napětí U_{OUT} může být maximálně tak velké, jako je napětí vstupní U_{IN} . Budeme-li prodlužovat dobu t_1 , kdy je spínač S sepnut, výstupní napětí poroste stejně jako v případě, kdy budeme dobu t_2 zkracovat. Chceme-li výstupní napětí snížit, prodloužíme dobu t_2 , případně zkrátíme dobu t_1 (princip PWM).



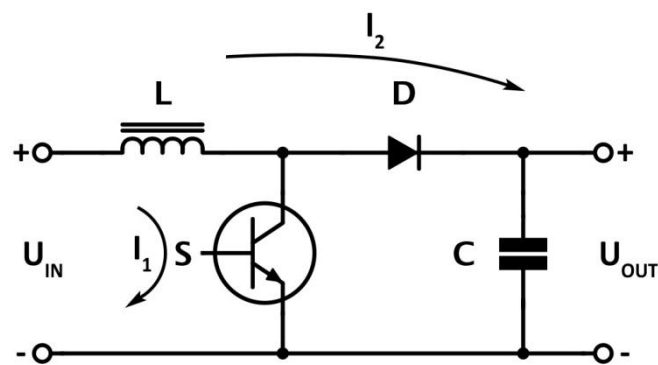
Obr. 4 Snižující měnič – spínací signál s menší střídou



Obr. 5 Snižující měnič – spínací signál s větší střídou

2.2 Zvyšující napětí

V těchto obvodech je cívka zapojena do série se spínačem, který je uzemněn.



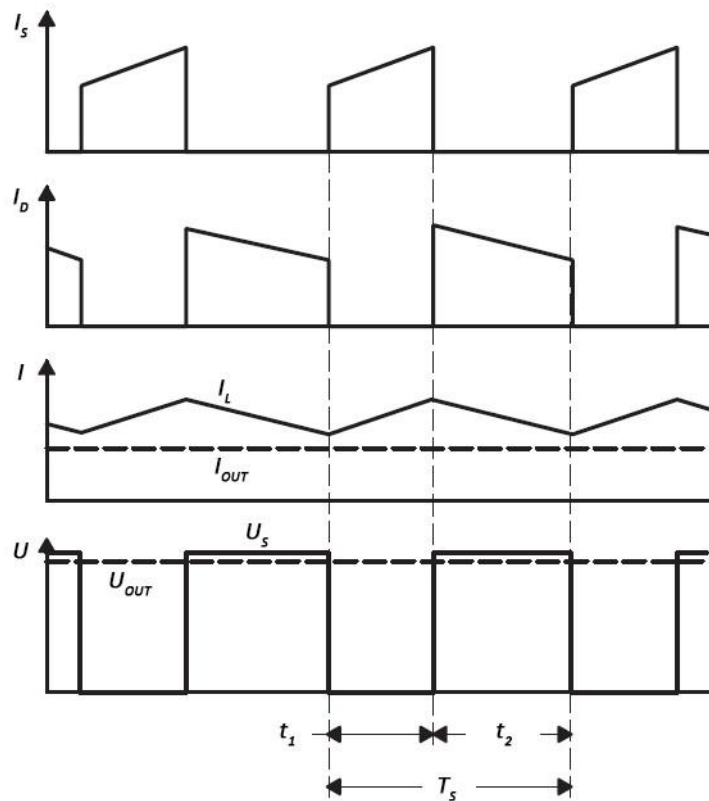
Obr. 6 Schéma měniče zvyšujícího napětí

Během první fáze, kdy je spínač S sepnutý po dobu t_1 , se kondenzátor C zapojený na výstupu měniče vybíjí do zátěže. Aby se zabránilo vybíjení kondenzátoru i přes sepnutý spínač S , je oddělen diodou D , která je při sepnutém spínači S polarizována v závěrném směru. Ze zdroje stejnosměrného napětí U_{IN} teče proud I_1 přes cívku L a spínač S . Energie se akumuluje v magnetickém poli cívky a má velikost $E_M = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$. Proud I_1 v cínce narůstá, až do doby, kdy je vypnut spínač S . Poté nastává okamžik, kdy se cívka snaží opět udržet směr a velikost proudu I_1 a vzniká na ní indukované napětí o velikosti $U_L = -L \cdot \frac{dI_1}{dt}$.

[1]

Součet indukovaného napětí U_L s napájecím napětím zdroje U_{IN} prohánějí proud I_2 do výstupního kondenzátoru C . [1]

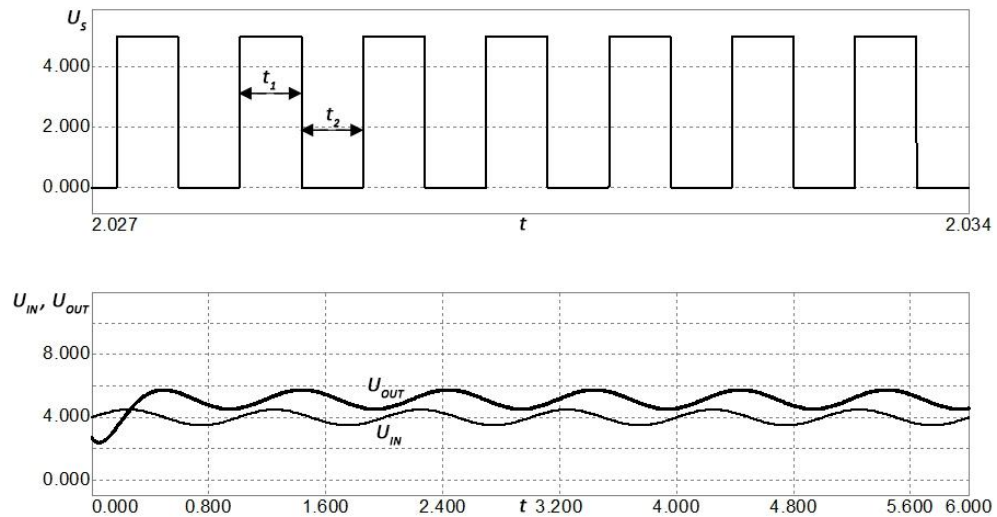
Protože velikost indukovaného napětí U_L je daná indukčností cívky L , velikostí původního proudu I_I a dále rychlostí vypnutí spínače S , pak napětí U_L není amplitudově omezeno a může být teoreticky libovolně velké. Po sečtení s vstupním napětím U_{IN} je tedy výstupní napětí U_{OUT} vždy větší než U_{IN} . [1]



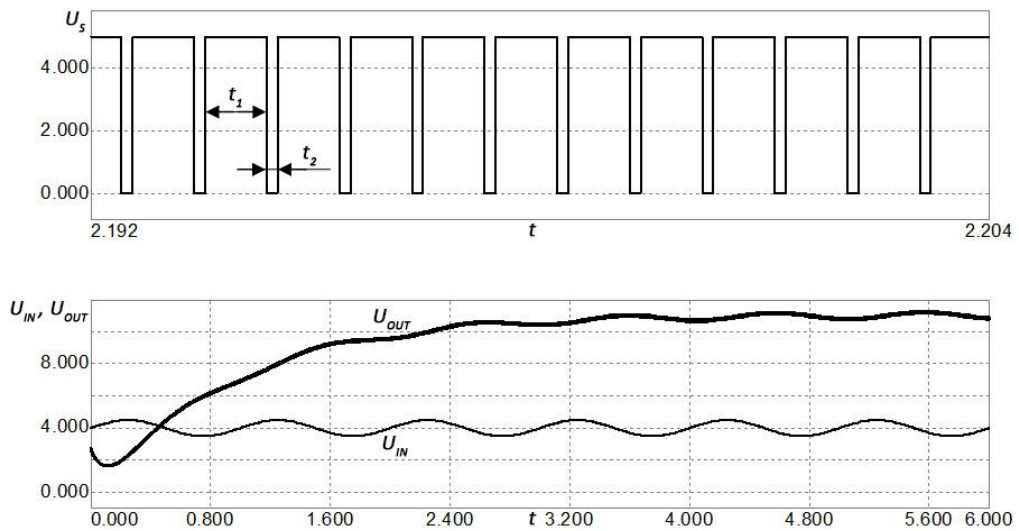
Obr. 7 Průběhy napětí a proudu na zvyšujícím měniči [16]

Vliv dob sepnutí t_1 a vypnutí t_2 u tohoto zapojení již není tak jednoznačné jako u měniče snižujícího napětí. S rostoucí dobou t_1 sice roste velikost proudu I_I a tím pádem i velikost napětí U_L , ale současně se snižuje výstupní napětí U_{OUT} dlouhým vybíjením kondenzátoru C . Naopak s rostoucí dobou t_2 je sice kondenzátor C déle dobíjen, ale pouze do doby, kdy je velikost $U_{IN} + U_L$ větší než $U_{OUT} + U_F$, kde U_F je napětí na diodě v propustném směru. [1]

Tento typ obvodu je navržen tak, aby výstupní napětí bylo vždy větší než napětí vstupní.



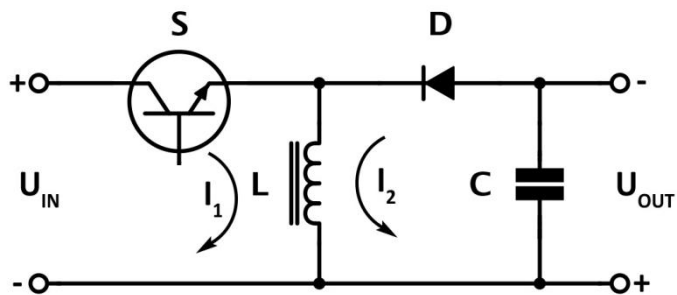
Obr. 8 Zvyšující měnič – spínací signál s menší střídou



Obr. 9 Zvyšující měnič – spínací signál s větší střídou

2.3 Invertující napětí

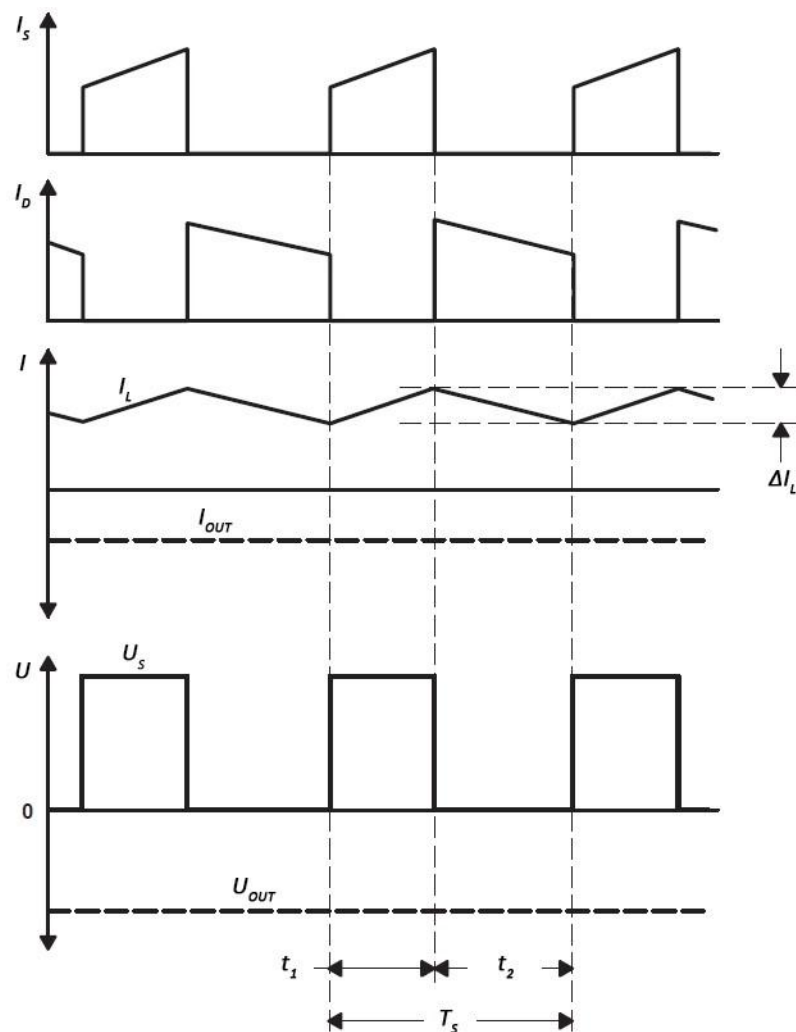
Obvody, ve kterých je spínač zapojen do série s cívkou, která je uzemněna.



Obr. 10 Schéma měniče invertujícího napětí

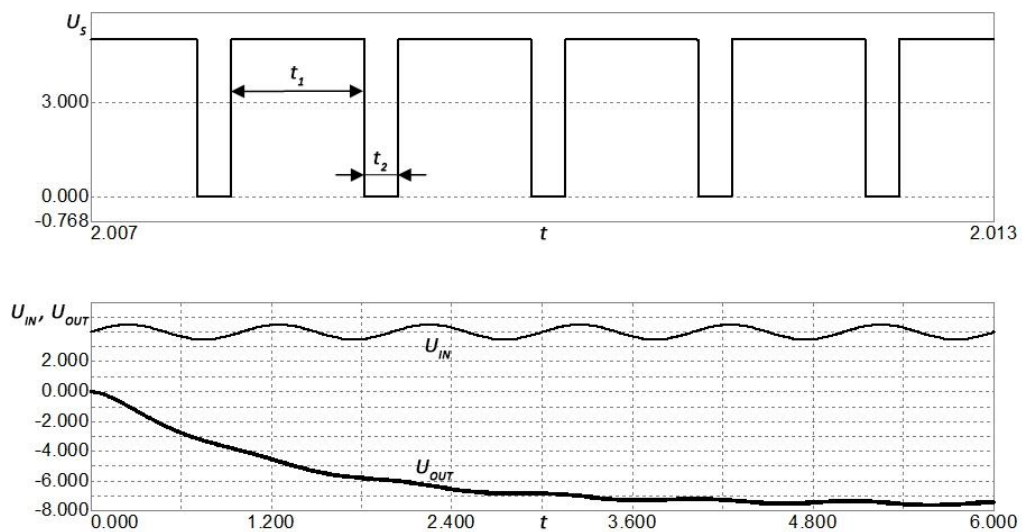
V době t_1 , kdy je spínač S sepnut, proud tekoucí ze zdroje napětí U_{IN} přes spínač S a cívku L narůstá. Po vypnutí spínače S v čase t_2 má cívka snahu udržovat proud I_1 ve směru a velikosti proudem I_2 , který se uzavírá přes nabíjený kondenzátor C a diodu D . Tím na kondenzátoru C poroste napětí, ale s opačnou polaritou. Výstupní napětí U_{OUT} má tedy opačnou polaritu než vstupní napětí U_{IN} . [1]

Dioda D je během doby t_1 zapojena v závěrném směru, aby se kondenzátor C nenabíjel na kladnou polaritu ze zdroje U_{IN} . Při prodlužování doby t_1 sice roste velikost akumulované energie v magnetickém poli cívky, ale o to více se snižuje výstupní napětí vybíjením kondenzátoru C do zátěže. [1]



Obr. 11 Průběhy napětí a proudu na invertujícím měniči [17]

Z principu činnosti je patrné, že výstupní napětí U_{OUT} může být jak menší, tak i větší než napětí vstupní U_{IN} .



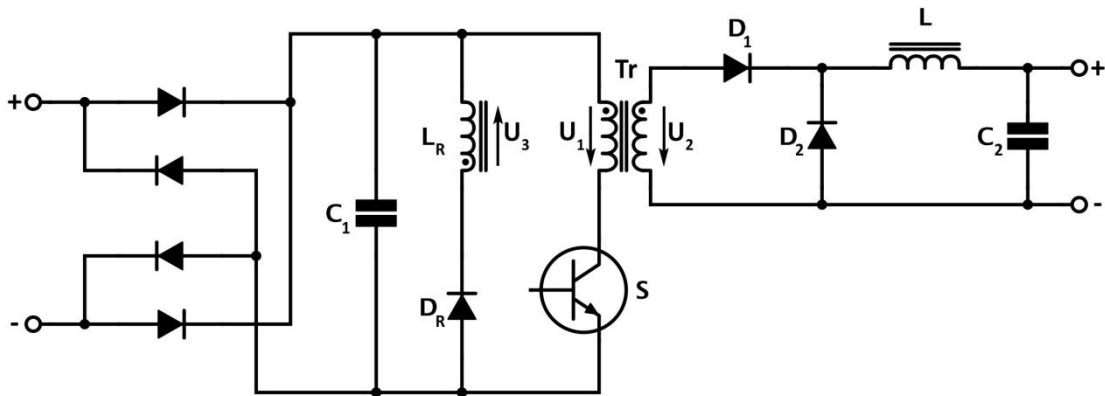
Obr. 12 Invertující měnič – spínací signál s větší střídou

3 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ

Zapojení spínaných zdrojů se nejčastěji rozděluje dle způsobu přenosu energie mezi primárním a sekundárním obvodem.

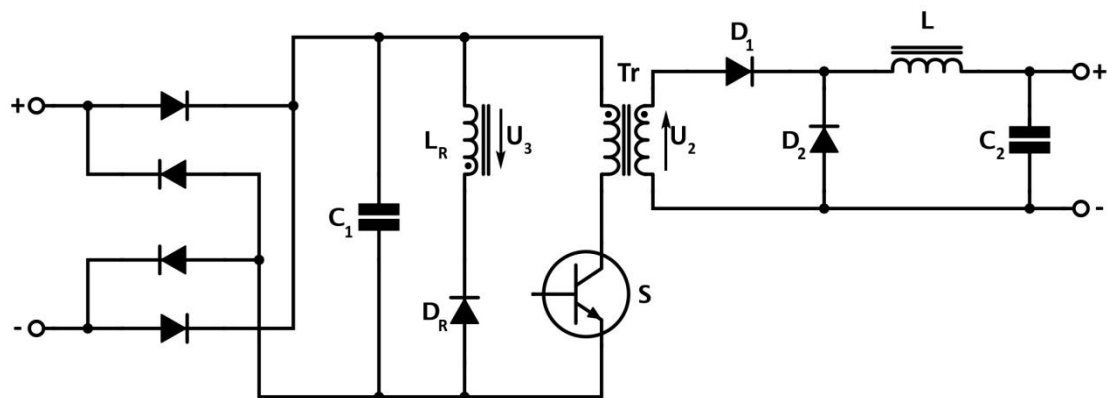
3.1 Propustné zapojení

Toto zapojení je charakteristické přímým přenosem energie přes transformátor, neboli teče-li v okamžiku sepnutí spínače primárním vinutím proud, teče současně i vinutím sekundárním. Je to dáno vzájemnou polaritou primárního a sekundárního vinutí a polaritou výstupní diody. [1]



Obr. 13 Propustné zapojení – spínač sepnut

V okamžiku sepnutého spínače S bude proud na primárním vinutí transformátoru Tr narůstat. Jelikož je orientace obou vinutí transformátoru shodná, je proto shodná i polarita napětí na sekundárním vinutí U_2 . Toto napětí je usměrněno diodou D_1 a následně filtrováno přes integrační článek LC tvořen cívkou L a kondenzátorem C_2 . Souběžně je také indikováno napětí U_3 na pomocném (rekuperačním) vinutí L_R , které může dosahovat dvojnásobku vstupního napětí, pokud má shodný počet závitů s primárním vinutím transformátoru. Napětí U_3 nemůže vyvolat průchod proudu, poněvadž je dioda D_R zapojena v závěrném směru. [1] [5]

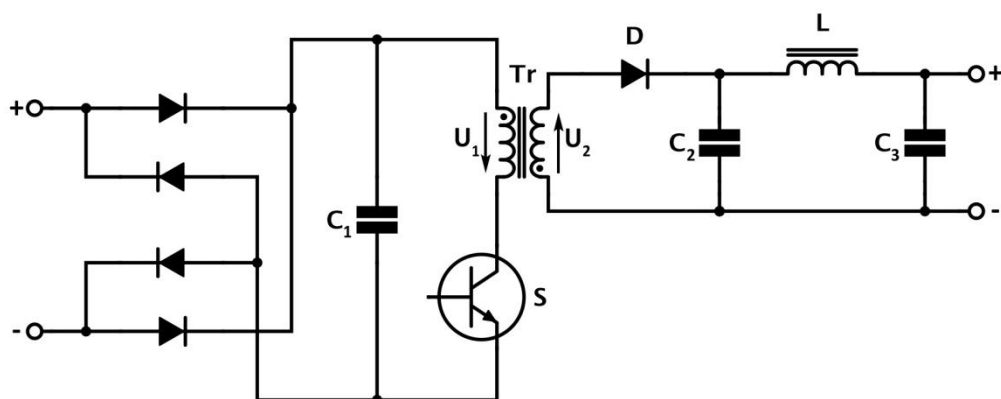


Obr. 14 Propustné zapojení – spínač vypnut

Při druhé fázi (spínač S je vypnut) dojde k poklesu proudu na primárním vinutí transformátoru a začne se indukovat napětí na sekundárním vinutí a současně na pomocném vinutí. Obě napětí mají opačnou polaritu, jelikož mají odlišnou orientaci vinutí. I přestože je spínač vypnut, může diodou D_R protékat proud a to díky opačné polaritě napětí U_3 . Tento proud se bude uzavírat přes kondenzátor C_1 a bude jej nabíjet. Dioda D_2 umožňuje průchod výstupního proudu do zátěže. [1] [5]

3.2 Akumulační zapojení

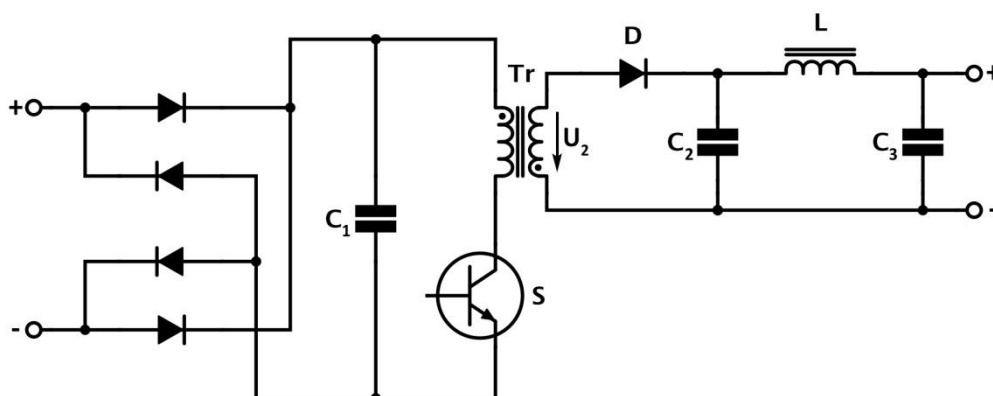
Akumulační zapojení je charakterizováno nepřímým přenosem energie přes transformátor. Jinými slovy, teče-li proud primárním vinutím, vinutím sekundárním proud neteče. Je to dáno vzájemnou orientací obou vinutí a zapojením diody.



Obr. 15 Akumulační zapojení – spínač sepnut

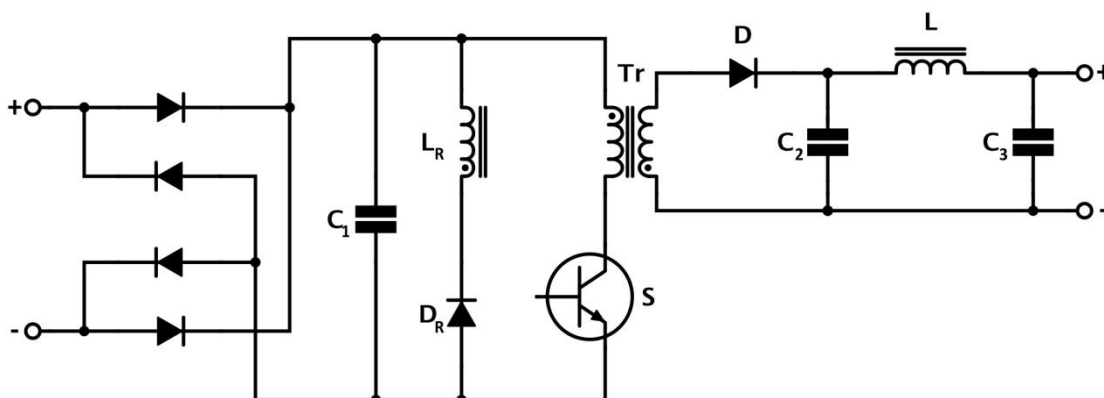
Při sepnutém spínači protéká proud primárním vinutím transformátoru Tr a začne se na něm indukovat napětí U_1 . Na sekundárním vinutí se indukuje napětí opačné polarity než na vstupu, neboť má opačnou orientaci. Dioda D je zapojena v závěrném směru a proto

nemůže sekundárním vinutím protékat proud. Nabitý kondenzátor C_2 se vybíjí do zátěže. [5]



Obr. 16 Akumulační zapojení – spínač vypnut

Po vypnutí spínače se změní napětí U_2 na sekundárním vinutí polaritu. Diodou D a sekundárním vinutí začne protékat proud a kondenzátor C_2 je nabíjen. Sekundární proud je buzen pomocí zanikající energie z magnetického pole transformátoru. Velikost výstupního napětí lze ovlivnit převodem transformátoru. Dále lze pomocí odboček na sekundárním vinutí vytvořit zdroje s více výstupními napětími. [5]

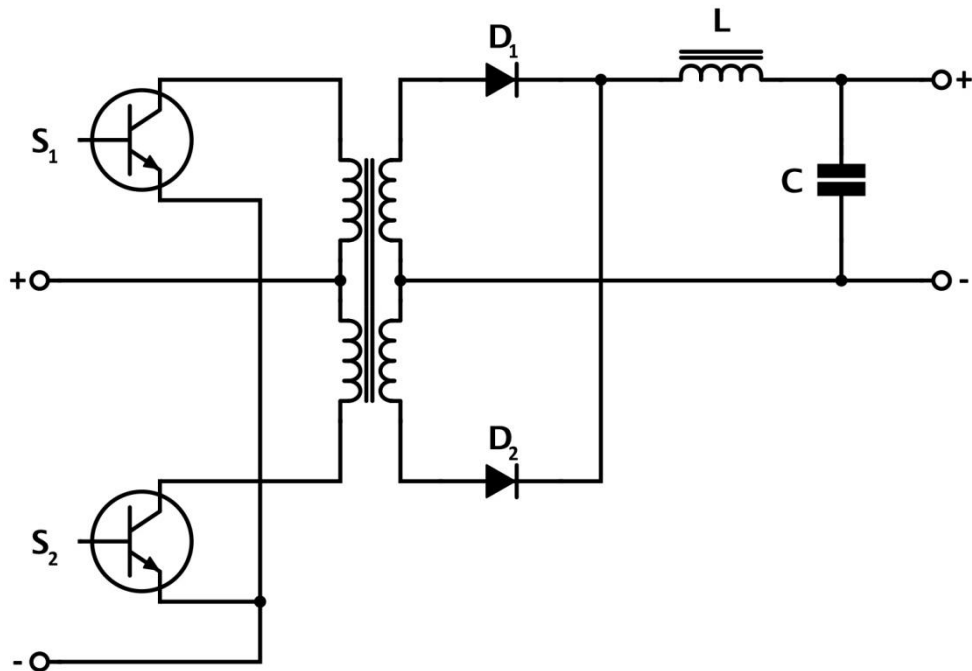


Obr. 17 Akumulační zapojení s rekuperačním vinutím

I tento typ zapojení je možné doplnit o rekuperační diodu a rekuperační vinutí, ale jejich použití není nutné, pouze dojde ke zlepšení účinnosti využitím energie, která je po vypnutí spínače akumulována v magnetickém poli transformátoru a není přenesena do sekundárního obvodu. [5]

3.3 Dvojčinné zapojení

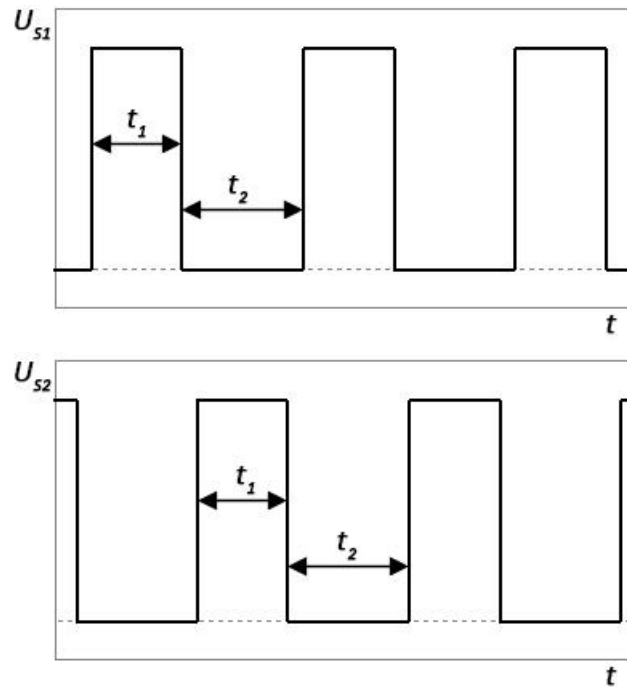
V tomto zapojení je využíváno dvou spínačů spínajících proud obou polarit do symetrického primárního vinutí, které pracují v inverzním zapojení. Sekundární vinutí je vždy symetrické a obvykle se využívají i dvoucestný výstupní usměrňovač.



Obr. 18 Dvojčinné zapojení

V první půlperiodě je vlivem řídicích napětí U_{S1} a U_{S2} na spínacích prvcích spínač S_2 uzavřen a spíná pouze spínač S_1 . Obvodem začne procházet proud z kladné svorky přes horní polovinu primárního vinutí a spínač S_1 na zápornou svorku zdroje. Vlivem napětí v horní polovině sekundárního vinutí transformátoru se otevře dioda D_1 a začne sekundárním obvodem procházet proud. Na konci této fáze začíná tzv. ochranný interval, kdy jsou oba spínače uzavřeny a dioda D_2 funguje jako rekuperační.

V druhé půlperiodě zůstává spínač S_1 uzavřen a spínač S_2 se otevře, čímž začne primární částí obvodu procházet proud ze zdroje přes spínač S_2 a dolní část primárního vinutí transformátoru. Tím se vytvoří napětí na dolní polovině sekundárního vinutí, které otevře diodu D_2 a začne sekundárním obvodem procházet proud. Opět i na konci této fáze začíná ochranný interval, ale zde jako rekuperační dioda pracuje dioda D_1 .



Obr. 19 Protifázové buzení spínačů

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 NÁVRHY NAPĚŤOVÝCH MĚNIČŮ

Při realizaci měniče napětí je vždy velmi obtížné vybrat vhodné součástky, které by splňovaly všechny důležité vlastnosti dle zadaných parametrů. Výběr součástek je tedy určitým kompromisem mezi několika faktory.

4.1 Řídící obvod

Řídící obvod neboli driver je elektronický obvod, který se obvykle používá k regulaci proudu nebo k řízení dalších částí obvodu.

Tento specializovaný integrovaný obvod je nejdůležitější součástí spínaných zdrojů, neboť řídí činnost spínacích prvků obvodu. Od výběru driveru závisí základní vlastnosti celého zdroje, jako je velikost výstupního napětí nebo proudu.

4.2 Spínací prvek

Jako spínací prvek se u spínaných zdrojů nejčastěji používají tranzistory typu MOSFET nebo IGBT.

Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor) je integrovanou kombinací mezi bipolárním a unipolárním tranzistorem. Výhodami tohoto typu tranzistoru jsou nízký budicí výkon, nízké ztráty v sepnutém stavu a větší pracovní rozsah proudu a napětí než u tranzistoru MOSFET.

Polem řízené tranzistory (MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) jsou moderní typy tranzistorů, jehož výhodou je malý úbytek napětí v sepnutém stavu a pracuje i na vyšších frekvencích.

4.3 Dioda

Při výběru diody (u spínaných zdrojů se využívají Schottky diody) nás zajímají tyto důležité parametry.

Nejdůležitějším parametrem je vzhledem k vysoké frekvenci spínaných zdrojů doba zotavení. Jedná se o časový interval, kdy dioda vede v obou směrech a chvíli trvá, než se obnoví diodový efekt. Schottkyho diody mají tuto dobu v řádech nanosekund.

Dále se jedná o maximální závěrné napětí a proud, a napětí a proud v propustném směru.

4.4 Cívka

Cívka se skládá z měděného drátu o určitém průměru navinutého na kostru. Proto cívka nemá jen indukčnost, ale i sériový odpor vinutí a parazitní (mezizávitovou) kapacitu. Velikost sériového odporu se pohybuje v řádech setin až desetín ohmů. Tento odpor způsobuje zahřívání a tím se snižuje účinnost cívky. Kvůli vysoké frekvenci je u většiny spínaných zdrojů hodnota parazitní kapacity zanedbatelná.

Dalším důležitým aspektem pro výběr cívky je kromě indukčnosti a sériového odporu maximální proud. Tento proud označuje největší možný proud, který může cívkou procházet bez toho, aby došlo k jejímu zničení.

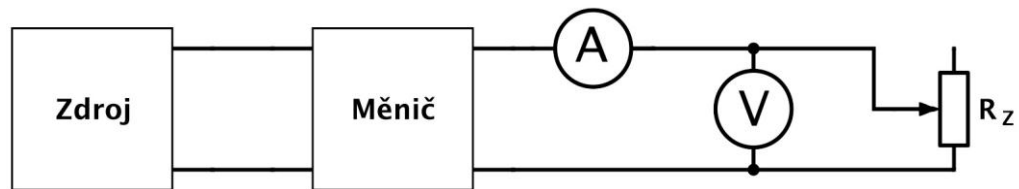
4.5 Kondenzátor

Na kondenzátory jsou u spínaných zdrojů kladeny velmi různorodé požadavky. Převážně se ve zdrojích objevují kondenzátory na stejnosměrné napětí se zanedbatelnou hodnotou střídavé složky, kondenzátory filtrující kmitočty 100 Hz a kondenzátory pracující na vysokých kmitočtech. Na kondenzátory pracující na vysoké frekvenci jsou kladeny požadavky naprosto specifické.

A stejně jako u cívek má kondenzátor svou kapacitu, ale i parazitní odpor a indukčnost. Největší vliv na životnost a chod obvodu má sériový odpor. Ten má za následek vyšší zvlnění výstupního napětí a zahřívání kondenzátoru vlivem protékání proudu při nabíjení a vybíjení. Velikost parazitní indukčnosti nemá při vysokých frekvencích příliš velký význam.

5 OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ MĚNIČE

Měření parametrů navrhovaného měniče bylo provedeno dle zapojení, který je zobrazený na Obr. 20. Použité přístroje jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.



Obr. 20 Zapojení obvodu pro měření parametrů

Tab. 2 Použité přístroje pro ověření parametrů

Označení	Druh přístroje	Výrobce	Typ přístroje
Zdroj	Laboratorní zdroj	Voltcraft	VLP-2403
Měnič	Navrhovaný měnič		
A	Multimetr	Voltcraft	VC-280
V	Multimetr	GW Inster	GOM-8246
R _Z	Odporová zátěž		

Pro měření charakteristik byla vhodně volena hodnota odporové zátěže a vstupní stejnosměrné napětí bylo nastavováno na 20 V, 22 V, 24 V, 26 V a 28 V. Hodnoty výstupního proudu a napětí byly měřeny, hodnoty vstupního a výstupního výkonu byly vypočteny dle vzorce $P = U \cdot I$.

6 NAPĚŤOVÉ MĚNIČE 24 / 12 V

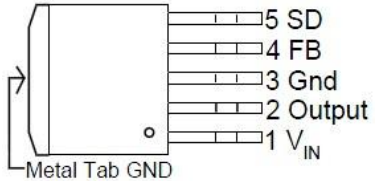
V této kapitole jsou popsány návrhy spínaných zdrojů 24 / 12 V. Tyto navrhované spínané zdroje musí splňovat následující parametry:

- Vstupní napětí zdroje: 24 V
- Výstupní napětí zdroje: 12 V
- Výstupní výkon zdroje: ≈ 60 W

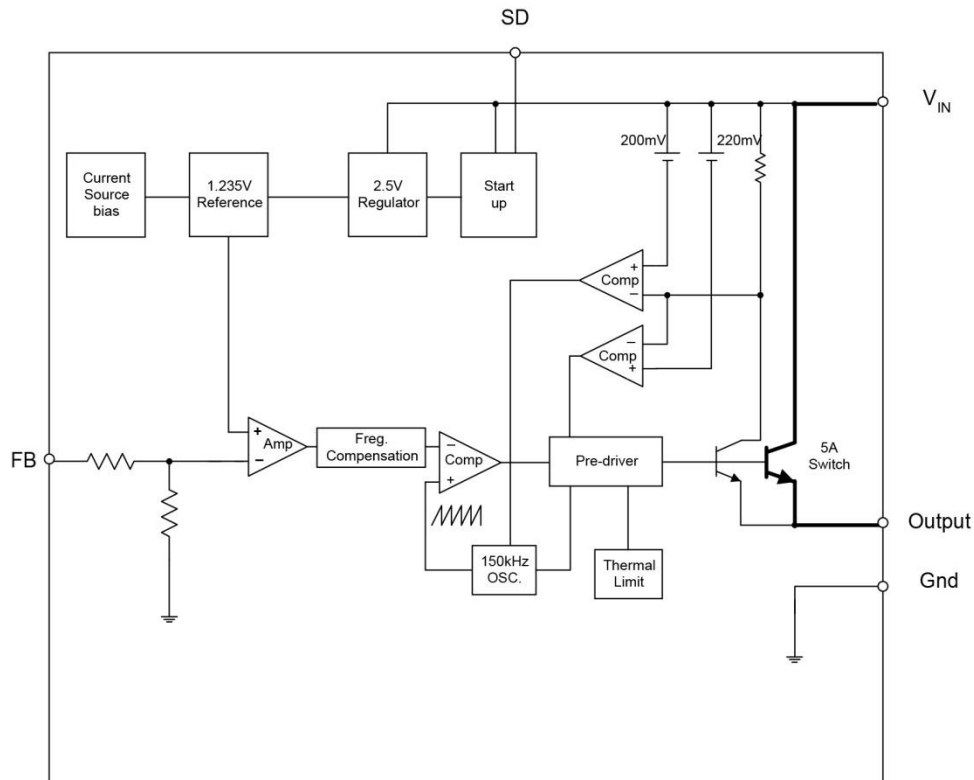
6.1 Napěťový měnič s obvodem AP1501A-12

Nejdůležitějším prvkem prvního navrhovaného měniče je integrovaný obvod AP1501A-12 od výrobce Diodes Incorporated, který má pevně nastavenou hodnotu referenčního napětí na 12 V a pracovní frekvenci 150 ± 25 kHz. Tento řídicí obvod pracuje se vstupním napětím až do 40 V a minimální dosažitelný výstupní proud je 2 A, takže při výstupním napětí 12 V dosahuje měnič minimálního výkonu 24 W.

Tab. 3 Rozmístění vývodů a jejich význam – AP1501A-12 [9]

Pin	Název pinu	Význam	AP1501A-12 (TO263-5L)
1	V_{IN}	Vstupní napětí	
2	Output	Spínané výstupní napětí	
3	Gnd	Uzemnění	
4	FB	Zpětná vazba	
5	SD	Možnost odpojení obvodu	

U spínacího tranzistoru je saturační napětí 1,5 V, takže při odběru 2 A bude výkonová ztráta obvodu asi 3 W (12,5 %). Aby se tento tranzistor nepřehříval, musí mít chladičovou plochu alespoň 6,5 cm².



Obr. 21 Blokové schéma API501A-12 [9]

Indukčnost cívky je vypočítána tak, aby měnič pracoval ve spojitém režimu již při proudu 100 mA a při maximálním vstupním napětí 28 V. Výsledná indukčnost je tedy 220 μH , sériovým odporem 0,1 Ω a maximálním přípustným proudem cívky je 3,5 A. Očekávaná výkonová ztráta na cívce je 0,4 W při 2 A, což je při minimálním výstupním výkonu ztráta 1,7 %.

$$L = \frac{U_{OUT} \cdot \left(1 - \frac{U_{OUT}}{U_{IN}}\right) \cdot \frac{1}{f_s}}{2 \cdot I_{MIN}} = \frac{12 \cdot \left(1 - \frac{12}{28}\right) \cdot \frac{1}{150000}}{2 \cdot 0,1} \approx 228,57 \mu\text{H}$$

Jako spínací dioda byla zvolena rychlá Schottkyho dioda MBRS340T3 v pouzdře SMC. Výrobce ON Semiconductor uvádí, že úbytek napětí při proudu 3 A bude 0,5 V, což by odpovídalo ztrátě 1 W při 1 A (2,1 %). Dioda je namáhána zhruba polovičním proudem, jaký je odebírán ze zdroje (tedy při odběru 4 A jí poteče okolo 2 A).

Obvod lze vypnout přivedením napětí 3 V na konektor SL1, ve kterém kondenzátor C1 zajišťuje opožděný start po připojení napájecího napětí. Obvod je dále doplněn o možnost měření proudu pomocí operačního zesilovače TL061D.

Očekávaná účinnost měniče pak je cca 80 % při 2 A. Teoreticky lze obvod zatěžovat až do proudu 4 A (48 W) nebo dokud neshoří Schottkyho dioda nebo řídicí obvod. Mezní frekvence obvodu je 100 Hz (měří jen SS složku a ne VF zvlnění).

Převod obvodu je lineární, přičemž proud 0 A odpovídá napětí zhruba 2,1 V a proudu 3 A odpovídá napětí 8,7 V (převodní poměr je tedy 2,2 V / A).

Deska plošných spojů funkčního vzorku je oboustranná s tím, že zespodu je osazená, zatímco celá horní plocha je ponechána „volná“, propojená se spodní vrstvou pomocí několika prokůvů.

Schéma a návrh desky plošných spojů celého měniče je v příloze I a II.

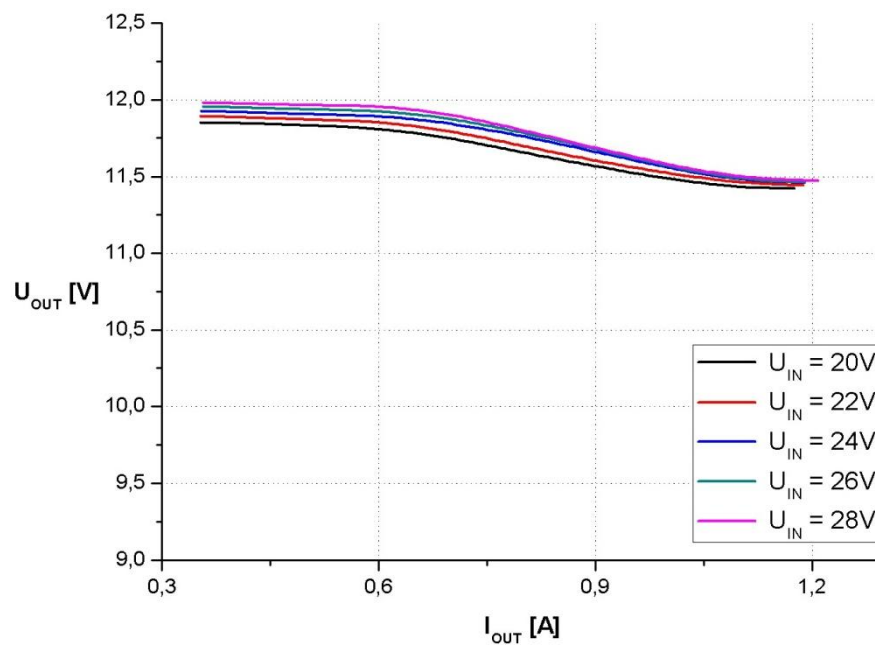
6.1.1 Ověření parametrů měniče s obvodem AP1501A-12

Pro šest různých hodnot zatěžovacího odporu byly naměřeny hodnoty výstupního proudu a napětí.

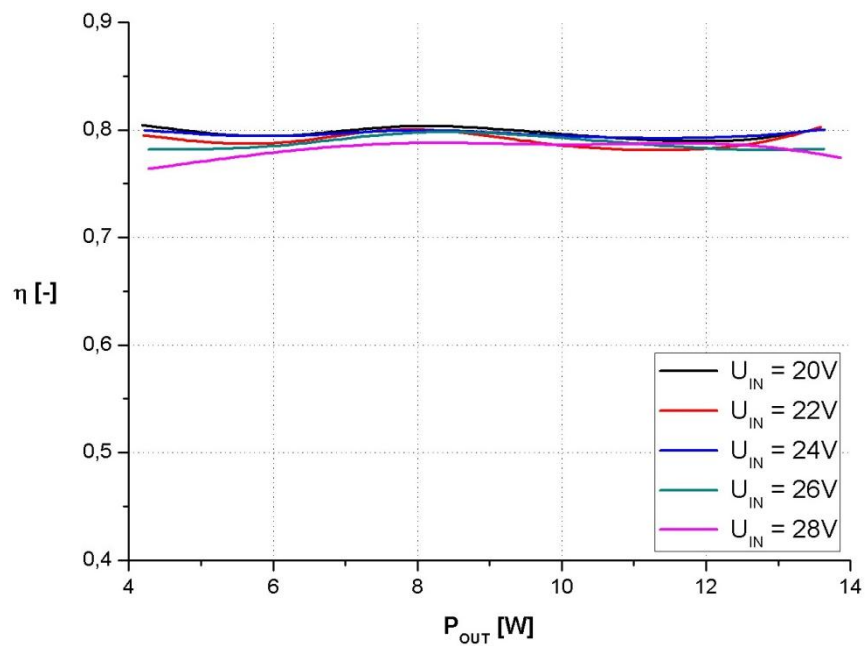
Tab. 4 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky - AP1501A-12

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
20	0,260	5,200	11,854	0,353	4,184	0,805
	0,380	7,600	11,835	0,506	5,989	0,788
	0,480	9,600	11,800	0,658	7,764	0,809
	0,620	12,400	11,604	0,851	9,875	0,796
	0,780	15,600	11,424	1,072	12,247	0,785
	0,840	16,800	11,422	1,176	13,432	0,800
22	0,240	5,280	11,893	0,353	4,198	0,795
	0,350	7,700	11,870	0,506	6,006	0,780
	0,440	9,680	11,849	0,662	7,844	0,810
	0,580	12,760	11,632	0,857	9,969	0,781
	0,720	15,840	11,457	1,077	12,339	0,779
	0,770	16,940	11,442	1,188	13,593	0,802
24	0,220	5,280	11,926	0,354	4,222	0,800
	0,320	7,680	11,904	0,510	6,071	0,791
	0,410	9,840	11,889	0,665	7,906	0,803
	0,530	12,720	11,708	0,861	10,081	0,792
	0,650	15,600	11,471	1,076	12,343	0,791
	0,710	17,040	11,461	1,190	13,639	0,800
26	0,210	5,460	11,955	0,357	4,268	0,782
	0,300	7,800	11,935	0,511	6,099	0,782
	0,380	9,880	11,924	0,665	7,929	0,803
	0,490	12,740	11,725	0,861	10,095	0,792
	0,610	15,860	11,478	1,077	12,362	0,779
	0,670	17,420	11,464	1,189	13,631	0,782

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
28	0,200	5,600	11,981	0,357	4,277	0,764
	0,280	7,840	11,963	0,512	6,125	0,781
	0,360	10,080	11,958	0,666	7,964	0,790
	0,460	12,880	11,731	0,861	10,100	0,784
	0,560	15,680	11,485	1,079	12,392	0,790
	0,640	17,920	11,474	1,209	13,872	0,774



Obr. 22 Zatěžovací charakteristika měniče s AP1501A-12



Obr. 23 Závislost účinnosti měniče s AP1501A-12 na výkonu

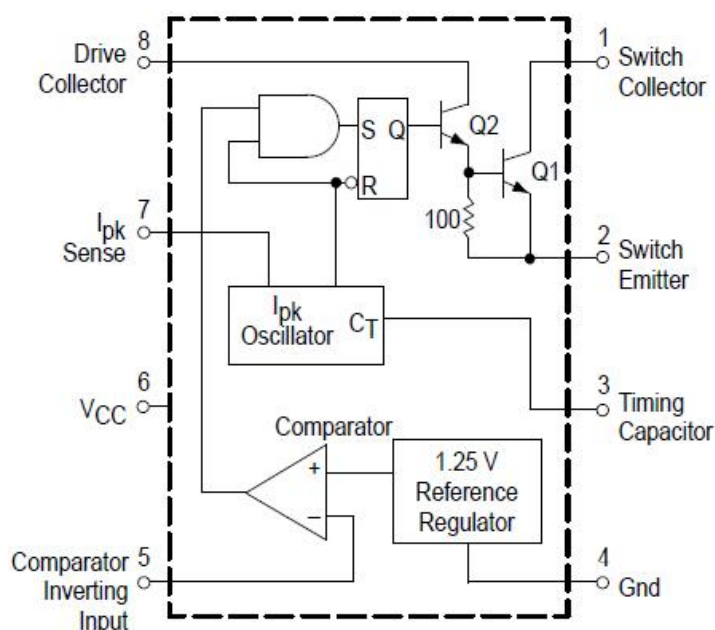
6.2 Napět'ový měnič s obvodem MC34063

V tomto měničích byl jako řídicí obvod zvolen integrovaný obvod od výrobce Texas Instruments typu MC34063, který pracuje do frekvence 100 kHz. Tento obvod operuje se vstupním napětím až do 40 V. Maximální dosažitelný výstupní proud je 1,5 A, takže při výstupním napětí 12 V dosahuje měnič maximálního výkonu 18 W. Proto je obvod doplněn o výkonový MOSFET tranzistor IRFR5305, který zvýší velikost výstupního proudu. Tímto způsobem dosáhneme vyššího výstupního výkonu.

Tab. 5 Rozmístění vývodů a jejich význam – MC34063 [11]

Pin	Název pinu	Význam	MC34063 (SOT-8)
1	Switch Collector	Kolektor spínacího tranzistoru	
2	Switch Emitter	Emitor spínacího tranzistoru	
3	Timing Capacitor	Úprava frekvence spínání	
4	Gnd	Uzemnění	
5	Comparator Inverting Input	Invertující vstup komparátoru	
6	V _{CC}	Napájecí napětí	
7	I _{pk} Sense	Proudová ochrana	
8	Driver Collector	Kolektor driveru	

Saturační napětí je u spínacího tranzistoru 1,3 V, takže při odběru 4 A bude výkonová ztráta obvodu asi 5 W (8,3 %).



Obr. 24 Blokové schéma MC34063 [11]

Indukčnost cívky je spočítána tak, aby měnič pracoval ve spojitém režimu již při proudu 200 mA a při maximálním vstupním napětí 28 V. Cívka, která byla použita má indukčnost 220 μH , sériový odpor 0,1 Ω a maximální přípustný proud je 3,5 A. Očekávaná výkonová ztráta na cívce je 0,8 W při 4 A, což je při minimálním výstupním výkonu ztráta 1,7 %.

$$L = \frac{U_{OUT} \cdot \left(1 - \frac{U_{OUT}}{U_{IN}}\right) \cdot \frac{1}{f_s}}{2 \cdot I_{MIN}} = \frac{12 \cdot \left(1 - \frac{12}{28}\right) \cdot \frac{1}{100000}}{2 \cdot 0,2} \approx 150 \mu\text{H}$$

I u tohoto obvodu byla použita stejná spínací dioda. Jedná se o rychlou Schottkyho diodu MBRS340T3 v pouzdře SMC.

Očekávaná účinnost měniče by se opět měla pohybovat okolo 75 % při 2 A. Obvod lze teoreticky zatěžovat až do 4 A nebo dokud neshoří Schottkyho dioda nebo řídicí obvod.

Schéma a návrh desky plošných spojů celého měniče je v příloze IV a V.

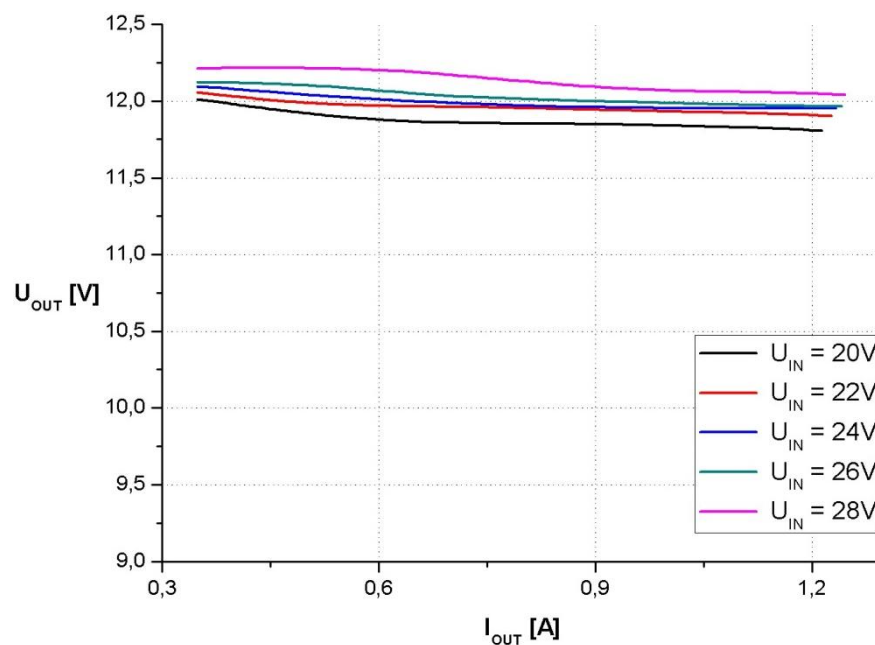
6.2.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063

Pro šest různých hodnot zatěžovacího odporu byly naměřeny hodnoty výstupního proudu a napětí.

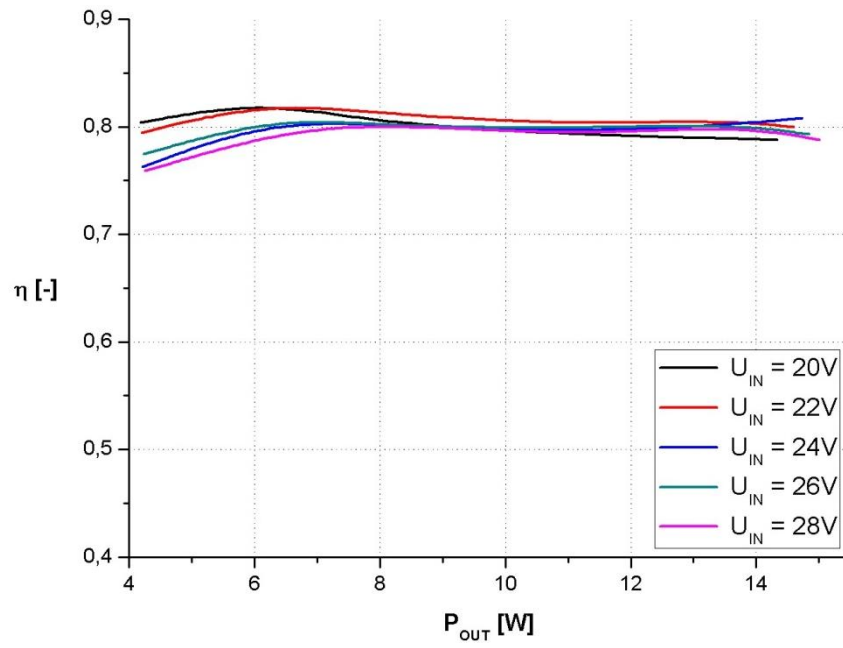
Tab. 6 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
20	0,260	5,200	12,013	0,348	4,181	0,804
	0,370	7,400	11,907	0,512	6,096	0,824
	0,490	9,800	11,854	0,665	7,883	0,804
	0,670	13,400	11,854	0,897	10,633	0,794
	0,830	16,600	11,829	1,108	13,107	0,790
	0,910	18,200	11,808	1,214	14,335	0,788
22	0,240	5,280	12,055	0,348	4,195	0,795
	0,340	7,480	11,971	0,514	6,153	0,823
	0,450	9,900	11,968	0,672	8,042	0,812
	0,610	13,420	11,944	0,901	10,762	0,802
	0,750	16,500	11,921	1,116	13,304	0,806
	0,830	18,260	11,905	1,227	14,607	0,800

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
24	0,230	5,520	12,096	0,348	4,209	0,763
	0,320	7,680	12,034	0,514	6,185	0,805
	0,420	10,080	11,989	0,674	8,081	0,802
	0,570	13,680	11,954	0,909	10,866	0,794
	0,700	16,800	11,951	1,126	13,457	0,801
	0,760	18,240	11,951	1,233	14,736	0,808
26	0,210	5,460	12,122	0,349	4,231	0,775
	0,300	7,800	12,108	0,521	6,308	0,809
	0,390	10,140	12,028	0,675	8,119	0,801
	0,530	13,780	11,997	0,917	11,001	0,798
	0,650	16,900	11,972	1,133	13,564	0,803
	0,720	18,720	11,965	1,241	14,849	0,793
28	0,200	5,600	12,212	0,348	4,250	0,759
	0,290	8,120	12,218	0,530	6,476	0,797
	0,370	10,360	12,186	0,682	8,311	0,802
	0,500	14,000	12,072	0,918	11,082	0,792
	0,610	17,080	12,058	1,135	13,686	0,801
	0,680	19,040	12,041	1,246	15,003	0,788



Obr. 25 Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063



Obr. 26 Závislost účinnosti měniče s MC34063 na výkonu

7 NAPĚŤOVÉ MĚNIČE 24 / 48 V

V této kapitole jsou popsány návrhy spínaných zdrojů 24 / 48 V. Takto navržené spínané zdroje musí splňovat následující parametry:

- Vstupní napětí zdroje: 24 V
- Výstupní napětí zdroje: 48 V
- Výstupní výkon zdroje: ≈ 60 W

7.1 Napěťový měnič s obvodem MC34063 a tranzistorem IRFZ44N

V tomto zvyšujícím měniči byl jako řídicí obvod opět zvolen integrovaný obvod od výrobce Texas Instruments typu MC34063. Maximální dosažitelný výstupní proud je 1,5 A, takže při výstupním napětí 48 V dosahuje měnič maximálního výkonu 72 W. Obvod je doplněn o výkonový MOSFET tranzistor IRFZ44N a aby se tento tranzistor nepřehříval, potřebuje pasivní chladič s plochou alespoň 5 cm².

U spínacího tranzistoru je saturační napětí 1,3 V, takže při odběru 1,5 A bude výkonová ztráta obvodu asi 2 W (3,3 %).

Indukčnost cívky je vypočtena tak, aby měnič pracoval ve spojitém režimu již při proudu 100 mA a při maximálním vstupním napětí 28 V. Výsledná indukčnost je tedy 330 μ H, sériovým odporem 0,1 Ω a maximálním přípustným proudem cívky je 3,3 A. Očekávaná výkonová ztráta na cívce je 0,3 W při 1,5 A.

$$L = \frac{U_{OUT} \cdot \frac{1}{f_s}}{16 \cdot I_{MIN}} = \frac{48 \cdot \frac{1}{100000}}{16 \cdot 0,1} \approx 300 \mu H$$

Schottkyho dioda, která byla u tohoto obvodu použita, je od výrobce Fairchild Semiconductor. Jedná se o diodu typu SB5100. Výrobce uvádí, že úbytek napětí při proudu 5 A je 0,85 V, což odpovídá ztrátě 1 W při 1 A.

Očekávaná účinnost obvodu je cca 80 % při 2A. Obvod byl realizován na testovací desce a schéma celého měniče je v příloze VII.

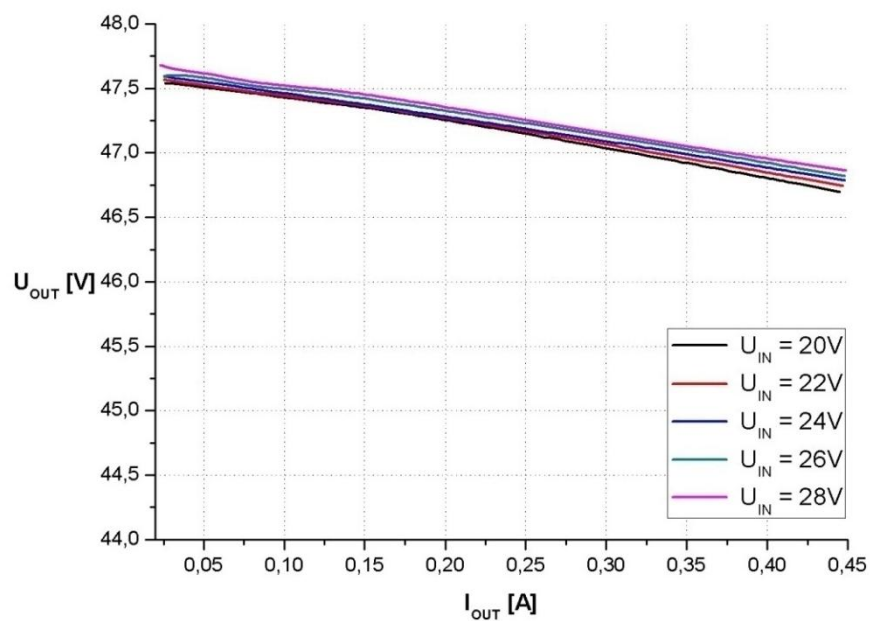
7.1.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063 a tranzistorem IRFZ44N

Pro osm různých hodnot zatěžovacího odporu byly naměřeny hodnoty výstupního proudu a napětí.

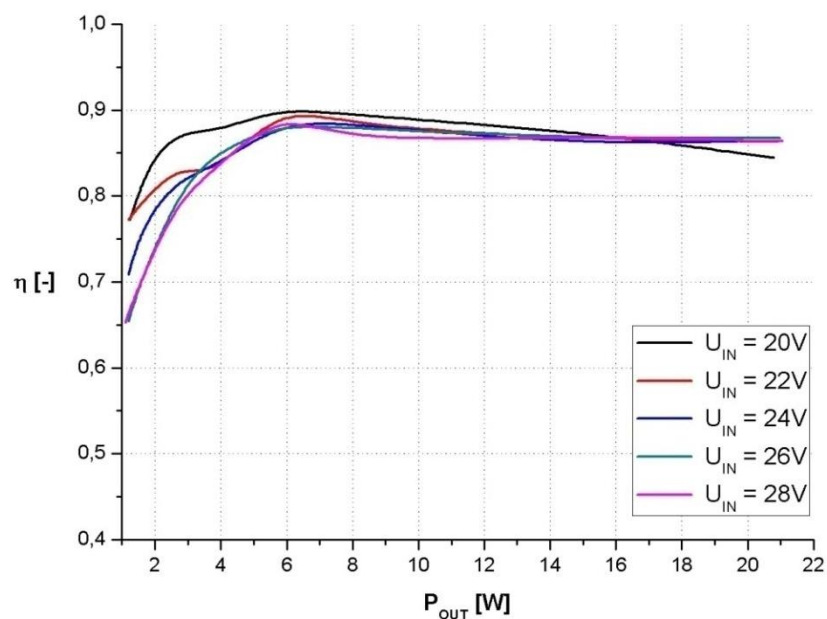
Tab. 7 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063 a IRFZ44N

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
20	1,230	24,600	46,699	0,445	20,781	0,845
	0,840	16,800	47,012	0,313	14,715	0,876
	0,450	9,000	47,325	0,170	8,045	0,894
	0,320	6,400	47,392	0,122	5,782	0,903
	0,220	4,400	47,464	0,081	3,845	0,874
	0,160	3,200	47,493	0,059	2,802	0,876
	0,110	2,200	47,525	0,039	1,853	0,842
	0,080	1,600	47,541	0,026	1,236	0,773
22	1,100	24,200	46,744	0,447	20,895	0,863
	0,770	16,940	47,044	0,312	14,678	0,866
	0,410	9,020	47,339	0,168	7,953	0,882
	0,290	6,380	47,409	0,122	5,784	0,907
	0,210	4,620	47,472	0,080	3,798	0,822
	0,150	3,300	47,511	0,058	2,756	0,835
	0,100	2,200	47,546	0,037	1,759	0,800
	0,070	1,540	47,567	0,025	1,189	0,772
24	1,010	24,240	46,787	0,448	20,961	0,865
	0,710	17,040	47,074	0,311	14,640	0,859
	0,370	8,880	47,345	0,166	7,859	0,885
	0,270	6,480	47,426	0,121	5,739	0,886
	0,190	4,560	47,494	0,080	3,800	0,833
	0,140	3,360	47,539	0,058	2,757	0,821
	0,090	2,160	47,571	0,035	1,665	0,771
	0,070	1,680	47,595	0,025	1,190	0,708
26	0,930	24,180	46,820	0,448	20,975	0,867
	0,650	16,900	47,115	0,311	14,653	0,867
	0,340	8,840	47,398	0,164	7,773	0,879
	0,250	6,500	47,473	0,121	5,744	0,884
	0,170	4,420	47,515	0,079	3,754	0,849
	0,130	3,380	47,574	0,057	2,712	0,802
	0,090	2,340	47,606	0,035	1,666	0,712
	0,070	1,820	47,595	0,025	1,190	0,654

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
28	0,870	24,360	46,862	0,449	21,041	0,864
	0,600	16,800	47,128	0,310	14,610	0,870
	0,320	8,960	47,435	0,163	7,732	0,863
	0,230	6,440	47,496	0,122	5,795	0,900
	0,160	4,480	47,543	0,078	3,708	0,828
	0,120	3,360	47,612	0,056	2,666	0,794
	0,080	2,240	47,640	0,033	1,572	0,702
	0,060	1,680	47,681	0,023	1,097	0,653



Obr. 27 Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063 a IRFZ44N



Obr. 28 Závislost účinnosti měniče s MC34063 a IRFZ44N na výkonu

7.2 Napět'ový měnič s obvodem MC34063 a tranzistorem BD911

Tento navrhovaný zvyšující měnič je stejný jako měnič předešlý, s tím rozdílem, že výkonový MOSFET tranzistor, který se zahříval, byl nahrazen NPN tranzistorem BD911.

Výkonová ztráta na spínacím tranzistoru se při 1,5 A pohybuje okolo 1 W.

U tohoto měniče se očekávaná účinnost pohybuje okolo 70 % při 2A. Schéma celého měniče je v příloze IX.

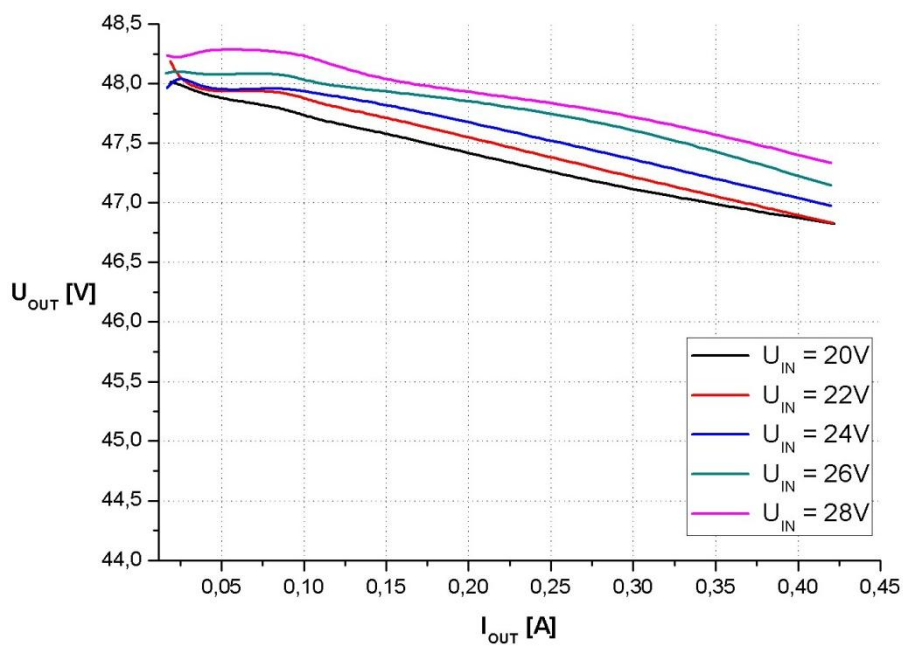
7.2.1 Ověření parametrů měniče s obvodem MC34063 s tranzistorem BD911

Pro osm různých hodnot zatěžovacího odporu byly naměřeny hodnoty výstupního proudu a napětí.

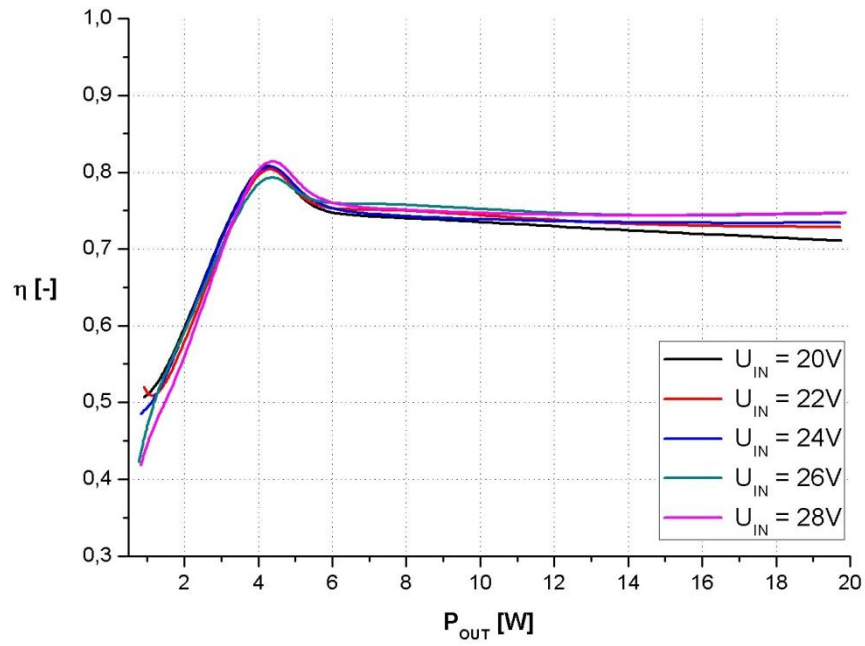
Tab. 8 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063 a BD911

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
20	1,390	27,800	46,825	0,422	19,760	0,711
	0,920	18,400	47,138	0,283	13,340	0,725
	0,480	9,600	47,589	0,150	7,138	0,744
	0,340	6,800	47,695	0,106	5,056	0,743
	0,240	4,800	47,805	0,087	4,159	0,866
	0,170	3,400	47,883	0,042	2,011	0,591
	0,120	2,400	47,991	0,026	1,248	0,520
	0,090	1,800	48,011	0,019	0,912	0,507
22	1,230	27,060	46,831	0,421	19,716	0,729
	0,830	18,260	47,268	0,282	13,330	0,730
	0,430	9,460	47,725	0,150	7,159	0,757
	0,310	6,820	47,834	0,106	5,070	0,743
	0,220	4,840	47,955	0,087	4,172	0,862
	0,160	3,520	47,913	0,042	2,012	0,572
	0,110	2,420	48,021	0,025	1,201	0,496
	0,080	1,760	48,188	0,019	0,916	0,520
24	1,120	26,880	46,976	0,420	19,730	0,734
	0,760	18,240	47,424	0,282	13,374	0,733
	0,400	9,600	47,837	0,149	7,128	0,742
	0,280	6,720	47,916	0,106	5,079	0,756
	0,200	4,800	47,976	0,086	4,126	0,860
	0,140	3,360	47,921	0,041	1,965	0,585
	0,100	2,400	48,085	0,025	1,202	0,501
	0,070	1,680	47,964	0,017	0,815	0,485

U_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	U_{OUT}	I_{OUT}	P_{OUT}	η
V	A	W	V	A	W	-
26	1,020	26,520	47,144	0,420	19,800	0,747
	0,700	18,200	47,719	0,282	13,457	0,739
	0,360	9,360	47,942	0,149	7,143	0,763
	0,260	6,760	47,992	0,106	5,087	0,753
	0,190	4,940	48,106	0,086	4,137	0,837
	0,130	3,380	48,059	0,041	1,970	0,583
	0,090	2,340	48,110	0,025	1,203	0,514
	0,070	1,820	48,086	0,016	0,769	0,423
28	0,950	26,600	47,334	0,420	19,880	0,747
	0,650	18,200	47,813	0,282	13,483	0,741
	0,340	9,520	47,998	0,149	7,152	0,751
	0,240	6,720	48,224	0,106	5,112	0,761
	0,170	4,760	48,271	0,086	4,151	0,872
	0,130	3,640	48,303	0,041	1,980	0,544
	0,090	2,520	48,202	0,025	1,205	0,478
	0,070	1,960	48,237	0,017	0,820	0,418



Obr. 29 Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063 a BD911



Obr. 30 Závislost účinnosti měniče s MC34063 a BD911 na výkonu

ZÁVĚR

V diplomové práci byla prostudována problematika spínaných zdrojů. Byly shrnuty výhody spínaných zdrojů oproti klasickým lineárním zdrojům. Dále je v práci vysvětlen princip funkce základních typů měničů a základních typů zapojení spínaných zdrojů.

V práci byly taktéž navrženy a realizovány celkem čtyři měniče napětí, které pracují se stejným vstupním napětím 24 V. Dva snižující měniče 24 / 12V a dva zvyšující měniče 24 / 48 V s výkonem zhruba 60 W. Jako řídicí obvod byl převážně použit levný a více dostupný obvod MC34063 od firmy Texas Instruments, který byl využit u tří měničů. U jednoho ze snižujících měničů napětí byl využit obvod AP1501A-12. Dále jsou u jednotlivých návrhů vypsány typy nejdůležitějších součástí měničů. Schémata a seznamy součástí všech návrhů jsou uvedena v příloze.

Návrhy desky plošných spojů byly realizovány v programu Eagle a odsimulovány v programu OrCad PSpice. Předlohy pro desky plošných spojů a osazovací výkresy s popisem jednotlivých součástí jsou v příloze.

U každého navrženého napětěového měniče byly ověřeny parametry. V rozsahu 20 – 28 V byly naměřeny hodnoty vstupního proudu, a výstupního proudu a napětí. Následně byly dopočítány hodnoty odběru, výkonu a účinnosti. Zatěžovací charakteristika a závislost výkonu na účinnosti nám dávají větší přehled o vlastnostech měniče.

Na základě naměřených parametrů byl vybrán snižující měnič s integrovaným obvodem MC34063 a zvyšující měnič s integrovaným obvodem MC34063 a tranzistorem IRFZ44N. U snižujícího měniče napětí účinnost dosahuje 80 % a dále bylo zjištěno, že při změně zátěže nedochází ke změnám výstupního napětí. Zvyšující měnič napětí dosahuje účinnosti okolo 85 %, a i když dochází k poklesu výstupního napětí vlivem změny zátěže, není tak velký jako u druhého navrhovaného měniče.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Konstrukční elektronika a radio: Spínané zdroje I*. Praha: Amaro, s.r.o, 2000, V, č. 3. ISSN 1211-3557.
- [2] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 243 s. ISBN 80-860-5691-0.
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 341 s. ISBN 80-860-5602-3.
- [4] PHILIPS. *Power Semiconductor Applications*. 2009. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/APPCHP2.pdf
- [5] *Konstrukční elektronika a radio: Spínané zdroje III*. Praha: Amaro, s.r.o, 2000, V, č. 6. ISSN 1211-3557.
- [6] HAMMERBAUER, Jirí. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory* [online]. Vyd. 2. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1998, 181 s. [cit. 2014-02-12]. ISBN 80-708-2411-5.
- [7] BROWN, Marty. *Power supply cookbook*. 2nd ed. Boston: Newnes, c2001, xii, 265 p. ISBN 07-506-7329-X.
- [8] NOVOTNÝ, Vlastislav. *Napájení elektronických zařízení: přednášky* [online]. 1. vyd. Brno: VUT FEKT, 2003, 140 s. [cit. 2014-02-13]. ISBN 80-214-2300-5.
- [9] ANACHIP. *AP1501A*. 2004. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/99354/ANACHIP/AP1501A-12.html>
- [10] ON SEMICONDUCTOR. *MBRS340T3*. 2013. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MBRS340T3-D.PDF
- [11] ON SEMICONDUCTOR. *MC34063A*. 2003. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/MC34063A.pdf>
- [12] INTERNATIONAL RECTIFIER. *IRFZ44N*. 2001. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfz44n.pdf>
- [13] ST MICROELECTRONICS. *BD911*. 1999. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00001277.pdf>
- [14] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *SB5100*. 2001. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/SB/SB5100.pdf>

- [15] TEXAS INSTRUMENTS. *Understanding Buck Power Stages in Switchedmode Power Supplies*. 1999. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva057/slva057.pdf>
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. *Understanding Boost Power Stages in Switchedmode Power Supplies*. 1999. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva061/slva061.pdf>
- [17] TEXAS INSTRUMENTS. *Understanding Buck-Boost Power Stages in Switchedmode Power Supplies*. 1999. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva059a/slva059a.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	Alternating Current (Střídavý proud)
C	Kapacita kondenzátoru nebo označení kondenzátoru
D, D ₁ , D ₂	Označení diody
D _R	Rekuperační dioda
DC	Direct Current (Stejnsměrný proud)
FET	Field Effect Transistor
I	Proud
I ₁	Proud při sepnutém spínači
I ₂	Proud při vypnutém spínači
I _D	Proud diodou
I _L	Proud cívkou
I _{OUT}	Výstupní proud
I _S	Proud spínačem
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
L	Indukčnost cívky nebo označení cívky
L _R	Rekuperační vinutí
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PWM	Pulse Width Modulation (Pulzně-šířková modulace)
S, S ₁ , S ₂	Označení spínače
SMC	Surface Mount Component
SS	Stejnsměrné napětí
t ₁	Časový interval při sepnutém spínači
t ₂	Časový interval při vypnutém spínači
Tr	Označení transformátoru

U	Napětí
U_1	Napětí na primárním vinutí
U_2	Napětí na sekundárním vinutí
U_3	Napětí na rekuperačním vinutí
U_F	Napětí v propustném směru na diodě
U_{IN}	Vstupní napětí
U_L	Indukované napětí
U_{OUT}	Výstupní napětí
U_S, U_{S1}, U_{S2}	Napětí na spínači
VF	Vysoká frekvence

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Blokové schéma spínaného zdroje [3].....	11
<i>Obr. 2</i> Schéma měniče snižujícího napětí.....	13
<i>Obr. 3</i> Průběhy napětí a proudu na snižujícím měniči [15].....	14
<i>Obr. 4</i> Snižující měnič – spínací signál s menší střídou.....	14
<i>Obr. 5</i> Snižující měnič – spínací signál s větší střídou.....	15
<i>Obr. 6</i> Schéma měniče zvyšujícího napětí.....	15
<i>Obr. 7</i> Průběhy napětí a proudu na zvyšujícím měniči [16].....	16
<i>Obr. 8</i> Zvyšující měnič – spínací signál s menší střídou.....	17
<i>Obr. 9</i> Zvyšující měnič – spínací signál s větší střídou.....	17
<i>Obr. 10</i> Schéma měniče invertujícího napětí.....	17
<i>Obr. 11</i> Průběhy napětí a proudu na invertujícím měniči [17].....	18
<i>Obr. 12</i> Invertující měnič – spínací signál s větší střídou.....	19
<i>Obr. 13</i> Propustné zapojení – spínač sepnut.....	20
<i>Obr. 14</i> Propustné zapojení – spínač vypnut.....	21
<i>Obr. 15</i> Akumulační zapojení – spínač sepnut.....	21
<i>Obr. 16</i> Akumulační zapojení – spínač vypnut.....	22
<i>Obr. 17</i> Akumulační zapojení s rekuperačním vinutím.....	22
<i>Obr. 18</i> Dvojčinné zapojení.....	23
<i>Obr. 19</i> Protifázové buzení spínačů.....	24
<i>Obr. 20</i> Zapojení obvodu pro měření parametrů.....	28
<i>Obr. 21</i> Blokové schéma AP1501A-12 [9].....	30
<i>Obr. 22</i> Zatěžovací charakteristika měniče s AP1501A-12.....	32
<i>Obr. 23</i> Závislost účinnosti měniče s AP1501A-12 na výkonu.....	32
<i>Obr. 24</i> Blokové schéma MC34063 [11].....	33
<i>Obr. 25</i> Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063.....	35
<i>Obr. 26</i> Závislost účinnosti měniče s MC34063 na výkonu.....	36
<i>Obr. 27</i> Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063 a IRFZ44N.....	39
<i>Obr. 28</i> Závislost účinnosti měniče s MC34063 a IRFZ44N na výkonu.....	39
<i>Obr. 29</i> Zatěžovací charakteristika měniče s MC34063 a BD911.....	41
<i>Obr. 30</i> Závislost účinnosti měniče s MC34063 a BD911 na výkonu.....	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání vlastností lineárních a spínaných zdrojů [2]	10
Tab. 2 Použité přístroje pro ověření parametrů	28
Tab. 3 Rozmístění vývodů a jejich význam – AP1501A-12 [9]	29
Tab. 4 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky - AP1501A-12	31
Tab. 5 Rozmístění vývodů a jejich význam – MC34063 [11]	33
Tab. 6 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063	34
Tab. 7 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063 a IRFZ44N	38
Tab. 8 Naměřené a vypočítané hodnoty zatěžovací charakteristiky – MC34063 a BD911	40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Schéma (Buck v1)

Příloha P II: Deska plošných spojů (Buck v1)

Příloha P III: Seznam součástek (Buck v1)

Příloha P IV: Schéma (Buck v2)

Příloha P V: Deska plošných spojů (Buck v2)

Příloha P VI: Seznam součástek (Buck v2)

Příloha P VII: Schéma (Boost v1)

Příloha P VII: Seznam součástek (Boost v1)

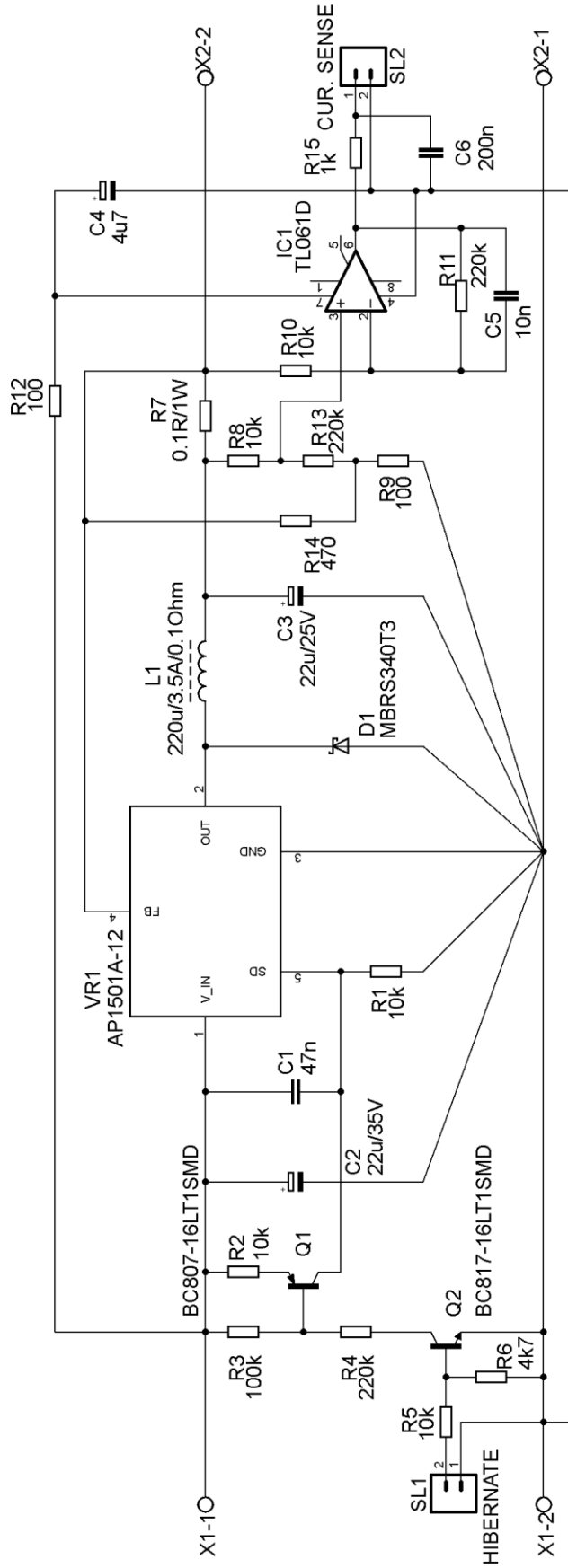
Příloha P IX: Schéma (Boost v2)

Příloha P X: Seznam součástek (Boost v2)

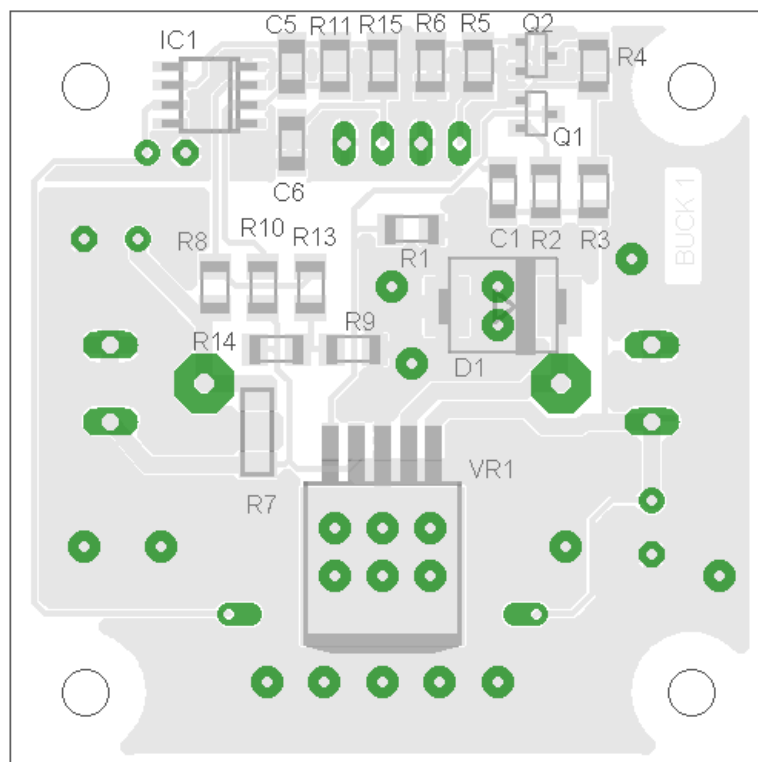
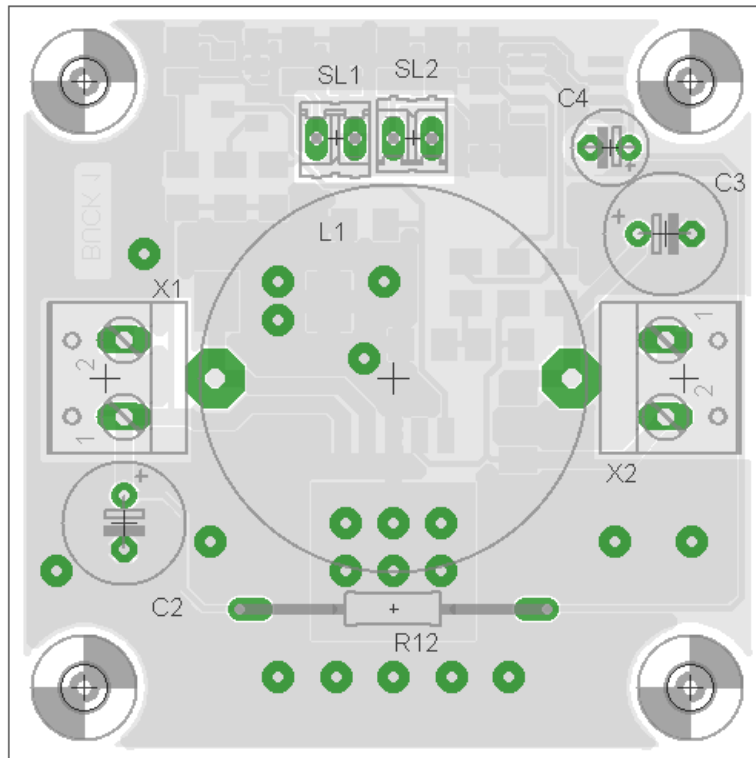
Příloha P XI: Schéma modulu 24 / 12 / 48 V

Příloha P XII: Seznam součástek modulu 24 / 12 / 48 V

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA (BUCK V1)



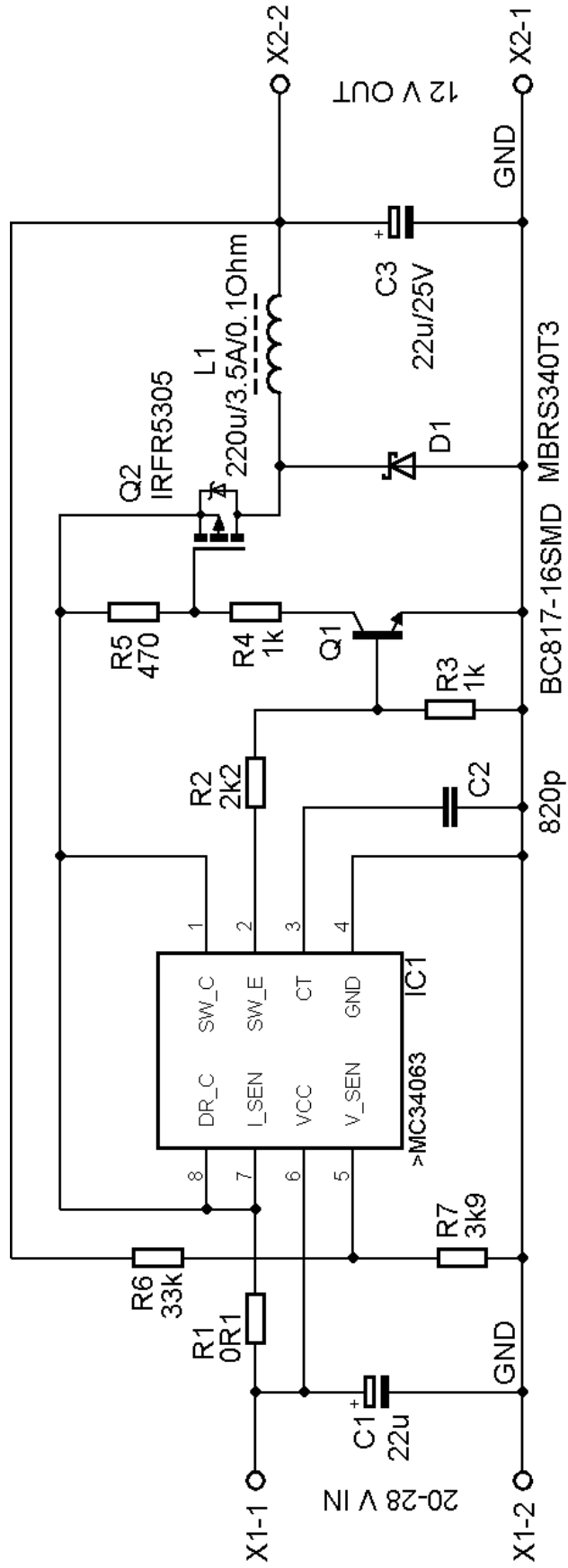
PŘÍLOHA P II: DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ (BUCK V1)



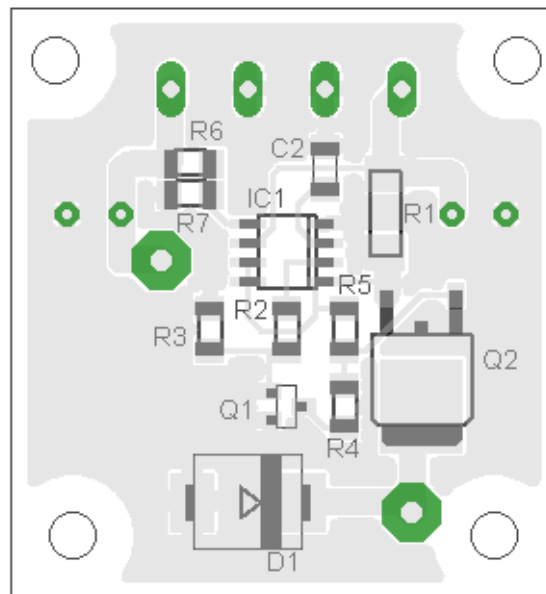
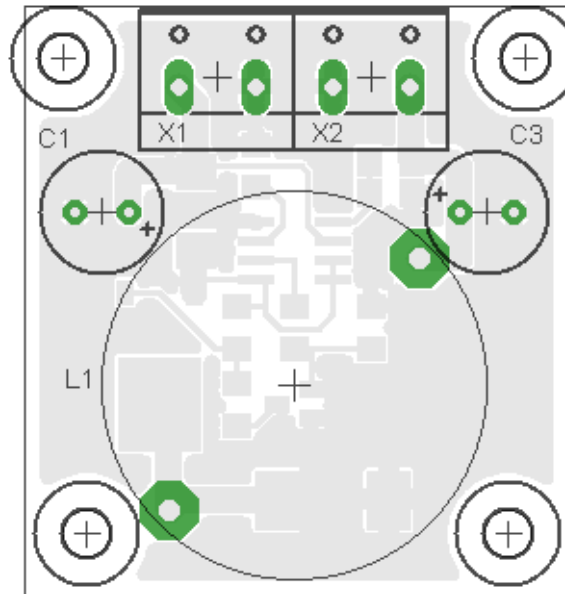
PŘÍLOHA P III: SEZNAM SOUČÁSTEK (BUCK V1)

Označení	Druh součástky	Hodnota / typ
R1, R2, R5, R8, R10	rezistor	10 k Ω
R3	rezistor	100 k Ω
R4, R11, R13	rezistor	220 k Ω
R6	rezistor	4,7 k Ω
R7	rezistor	0,1 Ω / 1 W
R9, R12	rezistor	100 Ω
R14	rezistor	470 Ω
R15	rezistor	1 k Ω
C1	kondenzátor	47 nF
C2	elektrolytický kondenzátor	22 μ F / 35 V
C3	elektrolytický kondenzátor	22 μ F / 25 V
C4	elektrolytická kondenzátor	4,7 μ F / 25V
C5	kondenzátor	10 nF
C6	kondenzátor	200 nF
L1	cívka	220 μ H / 3,5 A / 0,1 Ω
D1	Schottkyho dioda	MBRS340T3
Q1	tranzistor	BC807-16LT1SMD
Q2	tranzistor	BC817-16LT1SMD
VR1	napěťový regulátor	AP1501A-12
IC1	integrováný obvod	TL061D
SL1, SL2	konektory	
X1, X2	svorkovnice	

PŘÍLOHA P IV: SCHÉMA (BUCK V2)



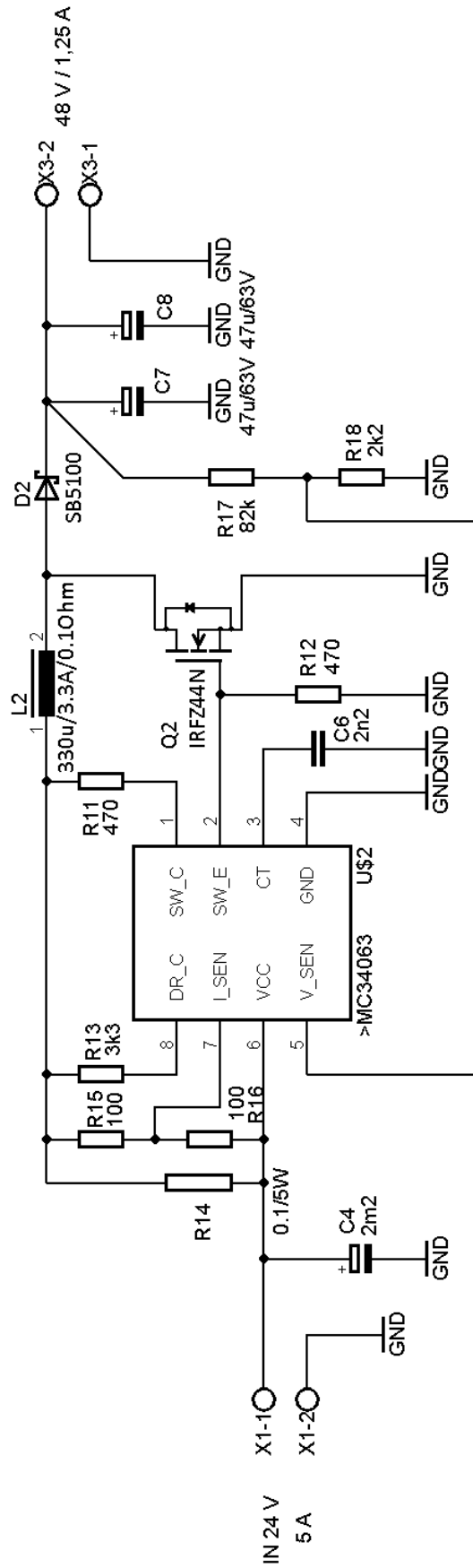
PŘÍLOHA P V: DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ (BUCK V2)



PŘÍLOHA P VI: SEZNAM SOUČÁSTEK (BUCK V2)

Označení	Druh součástky	Hodnota / typ
R1	rezistor	0,1 Ω
R2	rezistor	2,2 k Ω
R3, R4	rezistor	1 k Ω
R5	rezistor	470 Ω
R6	rezistor	33 k Ω
R7	rezistor	3,9 k Ω
C1	elektrolytický kondenzátor	22 μ F / 35 V
C2	kondenzátor	820 pF
C3	elektrolytický kondenzátor	22 μ F / 25 V
L1	cívka	220 μ H / 3,5 A / 0,1 Ω
D1	Shottkyho dioda	MBRS340T3
Q1	tranzistor	BC817-16SMD
Q2	MOSFET tranzistor	IRFR5305
IC1	řídící obvod	MC34063
X1, X2	svorkovnice	

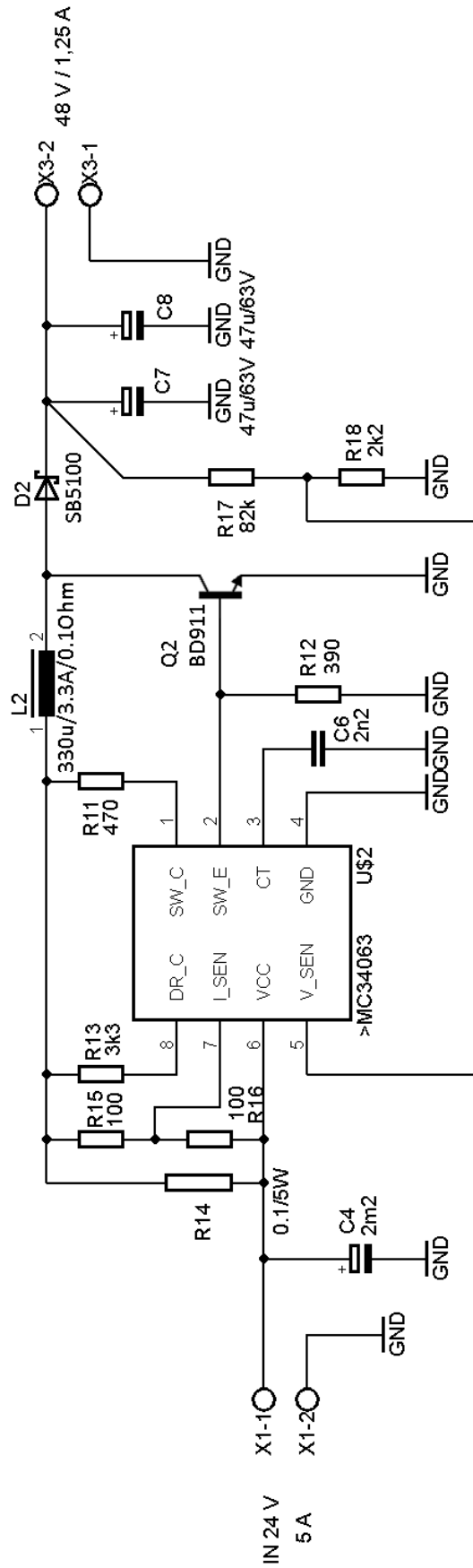
PŘÍLOHA P VII: SCHÉMA (BOOST V1)



PŘÍLOHA P VIII: SEZNAM SOUČÁSTEK (BOOST V1)

Označení	Druh součástky	Hodnota / typ
R11, R12	rezistor	470 Ω
R13	rezistor	3,3 k Ω
R14	rezistor	0,1 Ω / 5 W
R15, R16	rezistor	100 Ω
R17	rezistor	82 k Ω
R18	rezistor	2,2 k Ω
C4	elektrolytický kondenzátor	2,2 mF / 63 V
C6	kondenzátor	2,2 nF
C7, C8	elektrolytický kondenzátor	47 μ F / 63 V
L2	cívka	330 μ H / 3,3 A / 0,1 Ω
D2	Shottkyho dioda	SB5100
Q2	MOSFET tranzistor	IRFZ44N
U\$2	řídící obvod	MC34063
X1, X3	svorkovnice	

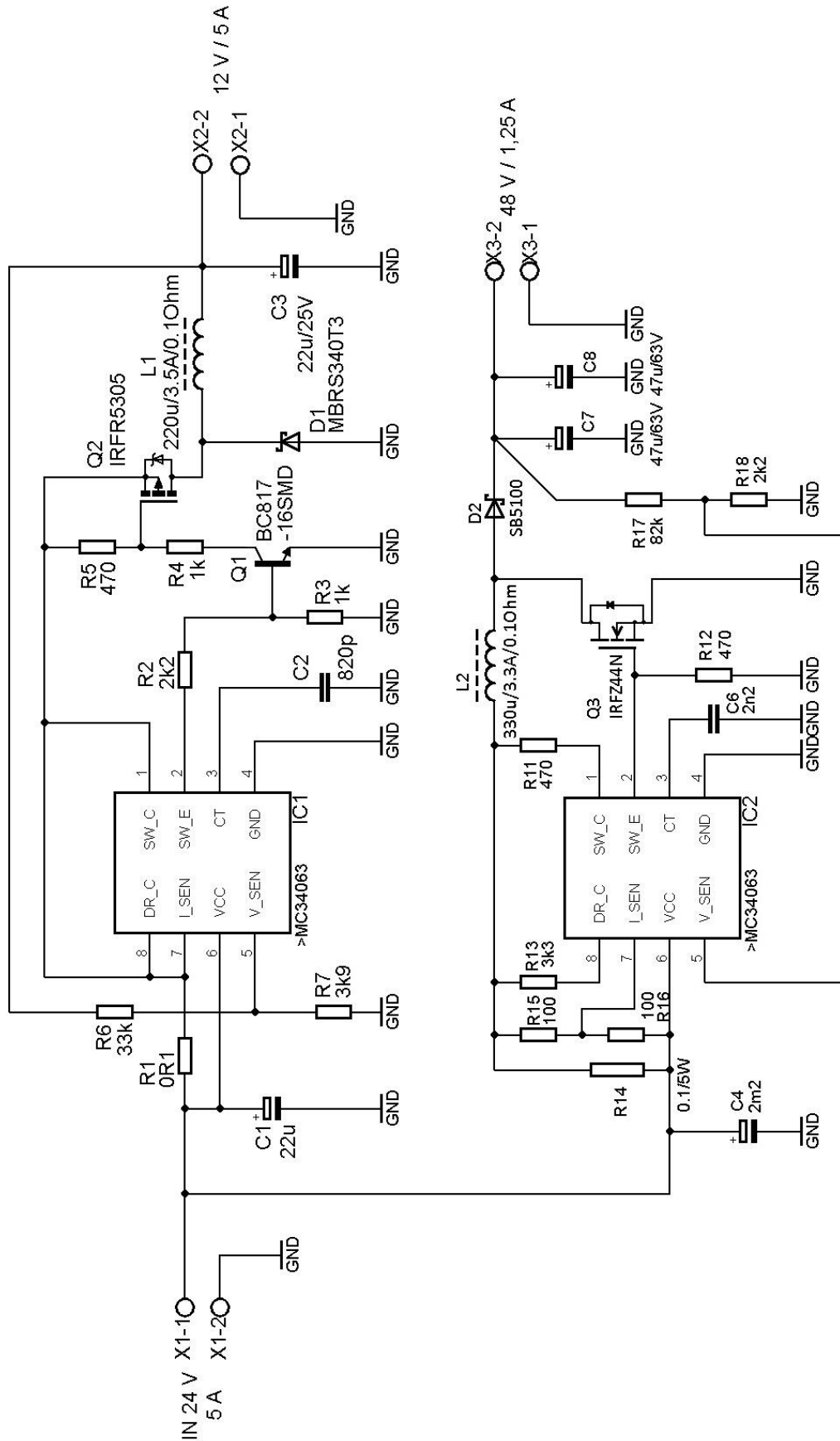
PŘÍLOHA P IX: SCHÉMA (BOOST V2)



PŘÍLOHA P X: SEZNAM SOUČÁSTEK (BOOST V2)

Označení	Druh součástky	Hodnota / typ
R11	rezistor	470 Ω
R12	rezistor	390 Ω
R13	rezistor	3,3 k Ω
R14	rezistor	0,1 Ω / 5 W
R15, R16	rezistor	100 Ω
R17	rezistor	82 k Ω
R18	rezistor	2,2 k Ω
C4	elektrolytický kondenzátor	2,2 mF / 63 V
C6	kondenzátor	2,2 nF
C7, C8	elektrolytický kondenzátor	47 μ F / 63 V
L2	cívka	330 μ H / 3,3 A / 0,1 Ω
D2	Shottkyho dioda	SB5100
Q2	tranzistor	BD911
U\$2	řídící obvod	MC34063
X1, X3	svorkovnice	

PŘÍLOHA P XI: SCHÉMA MODULU 24 / 12 / 48 V



PŘÍLOHA P XII: SEZNAM SOUČÁSTEK MODULU 24 / 12 / 48 V

Označení	Druh součástky	Hodnota / typ
R1	rezistor	0,1 Ω
R2, R18	rezistor	2,2 k Ω
R3, R4	rezistor	1 k Ω
R5, R11, R12	rezistor	470 Ω
R6	rezistor	33 k Ω
R7	rezistor	3,9 k Ω
R13	rezistor	3,3 k Ω
R14	rezistor	0,1 Ω / 5 W
R15, R16	rezistor	100 Ω
R17	rezistor	82 k Ω
C1	elektrolytický kondenzátor	47 μ F / 35 V
C2	kondenzátor	820 pF
C3	elektrolytický kondenzátor	22 μ F / 25 V
C4	elektrolytický kondenzátor	2,2 mF / 63 V
C6	kondenzátor	2,2 nF
C7, C8	elektrolytický kondenzátor	47 μ F / 63 V
L1	cívka	220 μ H / 3,5 A / 0,1 Ω
L2	cívka	330 μ H / 3,3 A / 0,1 Ω
D1	Shottkyho dioda	MBRS340T3
D2	Shottkyho dioda	SB5100
Q1	tranzistor	BC817-16SMD
Q2	MOSFET tranzistor	IRFR5305
Q3	MOSFET tranzistor	IRFZ44N
IC1, IC2	řídící obvod	MC34063
X1, X2, X3	svorkovnice	