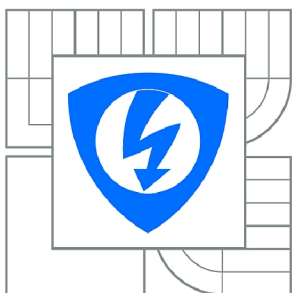


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

MODUL NABÍJEČKY AKUMULÁTORŮ PRO GSM ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

THE BATTERY CHARGER MODULE FOR GSM SECURITY SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

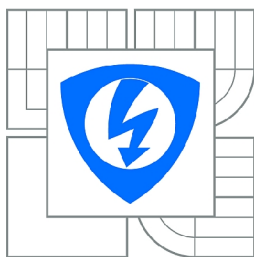
PATRIK PREDNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ČOŽÍK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Patrik Predný

ID: 154836

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Modul nabíječky akumulátorů pro GSM zabezpečovací zařízení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit modul nabíječky akumulátorů specifických pro zabezpečovací zařízení GSM umístěná v nedostupném nebo špatně dostupném terénu. Tento modul nabíječky bude napájený solárním článkem nebo z externího zdroje elektrické energie. Modul vznikne za účelem dosažení nezávislosti na napájecí síti a určité mobility při zabezpečování objektů daným zařízením GSM. Výstupem bakalářské práce bude veškerá dokumentace pro výrobu desky plošného spoje prototypu modulu nabíječky akumulátorů s co nejmenším možným rozměrem (s použitím SMT) a s možností nastavení výstupního nabíjecího proudu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2015

Termín odevzdání: 4.6.2015

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Čožík

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Ondřej Vičar

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

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.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zameriava na návrh univerzálneho modulu nabíjača lítiových akumulátorov, ktorý je určený pre zabezpečovacie GSM zariadenie od firmy ELEDUS, umiestnené v nedostupnom alebo ťažko dostupnom teréne. Bude využívať predovšetkým solárnu energiu pre dobíjanie akumulátoru a zároveň zabezpečovať dostatočný napájací výkon pre napájanie GSM komunikátora. Samotný modul je riešený pre čo najmenšie možné rozmery pre zachovanie jeho kompaktnosti a navrhnutý pre čo najväčšie využitie získanej energie zo zdrojov.

Abstract

This bachelor thesis focuses on the design of universal module of charger for lithium battery that is constructed for the GSM device from ELEDUS company, placed in inaccessible, or difficult to access terrain. The solar energy will be used for battery charging and ensuring the GSM module power supply. The module dimensions are as small as possible for maintaining the compactness and the design focuses on the maximum resource utilization.

+TűđIĴ ħűđIĴ

Nabíjač akumulátorov, solárny nabíjač, solárny článok, DC-DC menič, Two-switch DC-DC menič, hot-swap switch, load-switch, univerzálny modul

Keywords

Battery charger, solar charger, solar cell, a DC-DC converter, Two-Switch DC-DC converter, hot-swap switch, load-switch, universal module

"øêüøđó#éòøiú† iøđia

PREDNÝ, P. *Modul nabíječky akumulátorů pro GSM zabezpečovací zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 61 s.
V edoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Čožík.

OĎĎ÷ŭĥĎāøĎ

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému *KModul nab^ojeTky akumul@torw pro GSM zabezpeTovac^o zap^ozèn^o* som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho semestrálneho projektu a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce. Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto diela som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov ich porušenia.

V Brne dňa 30. mája 2015

.....
podpis autora

OĎŕéúĎIjéāøĎ

Ďakujem vedúcim bakalárskej práce Ing. Ondřeji Čožíkovi a Ing. Ondřeji Vičarovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej práce. Ďalej ďakujem spolupracujúcej firme Eledus s.r.o., za poskytnutie potrebných priestorov, vybavenia a materiálov nutných k realizácii mojej práce.

V Brne dňa 30. mája 2015

.....
podpis autora

Obsah

ŮVOD	10
1 NEVRH SYSTŠMU NA BLOK ŮVEJ ŮROVNI	11
1.1 UPS ako základ modulu nabíjača.....	12
1.2 Off-line UPS	12
2 ALGORITMUS PREPPNANIA	13
3 DC-DC MENIČ	16
3.1 Požiadavky na menič	16
3.2 Teória a základné druhy meničov	16
3.3 Meniče bez transformátoru	17
3.4 Invertujúci buck-boost menič.....	18
3.4.1 Základné zapojenie obvodu meniča	18
3.5 Neinvertujúce buck-boost meniče.....	19
3.5.1 Menič SEPIC (Single-Ended Primary-Inductance Converter).....	19
3.5.2 Dvoj-prepínačový menič (Two-switch buck-boost converter).....	20
4 ZEXAŮOVŠ PREPPNACE	23
4.1 Prepínače vo výstupnej časti obvodu.....	23
4.2 Konštrukcia prepínačov	24
4.3 Druhy prepínačov.....	24
5 AKUMULETOR	26
5.1 Lítiium-Iónový akumulátor (Li-Ion).....	26
5.2 Lítiium-železnato-fosfátový akumulátor (Li-Fe-PO4).....	27
5.3 Lítiium-polymérový akumulátor (Li-Pol)	27
5.3.1 Li-pol akumulátor ako základný zdroj pre modul nabíjača.....	27
5.3.2 Základné vlastnosti lítiium-polymérového akumulátoru.....	27
5.3.3 Nabíjanie lítiium-polymérových akumulátorov	28
6 INTEGROVANŠ SYSTŠM NA BPIJACA AKUMULETORU	30
6.1 Výber vhodného komponentu.....	30
7 NEVRH MENICA TOPOLŮGI E TWO-SWITCH	32
7.1 Určenie základných parametrov a výpočty.....	32
7.1.1 Výpočty komponentov	33
7.2 Simulácie výkonovej časti meniča.....	37

7.2.1	Návrh zapojenia pre simulácie	38
7.2.2	Rozdielne módy meniča	38
7.2.3	Výstupy zo simulácie znižujúceho meniča.....	39
7.2.4	Výstupy zo simulácie zvyšujúceho meniča	41
7.2.5	Porovnanie výsledkov zo simulácií	42
7.3	Návrh dosky plošného spoja	42
7.3.1	Návrh schémy zapojenia.....	42
7.3.2	Samotný návrh dosky plošného spoja	44
8	NĚVRH MODULU NABP JACA	48
8.1	Výber vhodných komponentov	48
8.1.1	Integrovaný obvod nabíjača.....	48
8.1.2	Výkonové prepínače.....	50
8.1.3	Mikrokontrolér	51
8.1.4	Napájanie.....	52
8.2	Návrh dosky plošného spoja	53
ZĚVER	56
ZOZNAM POUŤITEJ LITER ATŤRY	57
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	59
ZOZNAM PRPLOH	61

Zoznam tabuliek

Tab. 3.1: Požiadavky na DC-DC menič	16
Tab. 3.2: Porovnanie pracovných režimov Dvoj-prepínačového meniča [17].....	21
Tab. 5.1: Obecné vlastnosti lítium-polymérových akumulátorov	28
Tab. 6.1: Parametre integrovaného obvodu bqTINY [19]	30
Tab. 7.1: Parametre pre výpočet meniča	33
Tab. 7.2: Súhrn prevedených zmien v simuláciach.....	39
Tab. 7.3: Porovnanie výsledkov simulácie.....	42
Tab. 7.4: Zoznam použitých súčiastok pre zostrojenie DC-DC meniča	44
Tab. 8.1: Prehľad akumulátorov používaných firmou Eledus s.r.o.....	48
Tab. 8.2: Hodnoty napätíových deličov pre AD prevodníky	52
Tab. 8.3: Zoznam použitých komponentov z návrhu modulu nabíjača.....	55

±Ijdí

V dnešnej dobe hrá vo svete environmentalistika veľmi veľkú úlohu a tak je tomu i v elektronike. Snaha dosiahnuť čo najväčšiu možnú úsporu získanej energie z obnoviteľných zdrojov je čoraz viac diskutovanou témou. Preto sa na elektronické zariadenia kladú vysoké nároky, čo sa týka spracovania získanej energie, ako je napríklad energia slnečná.

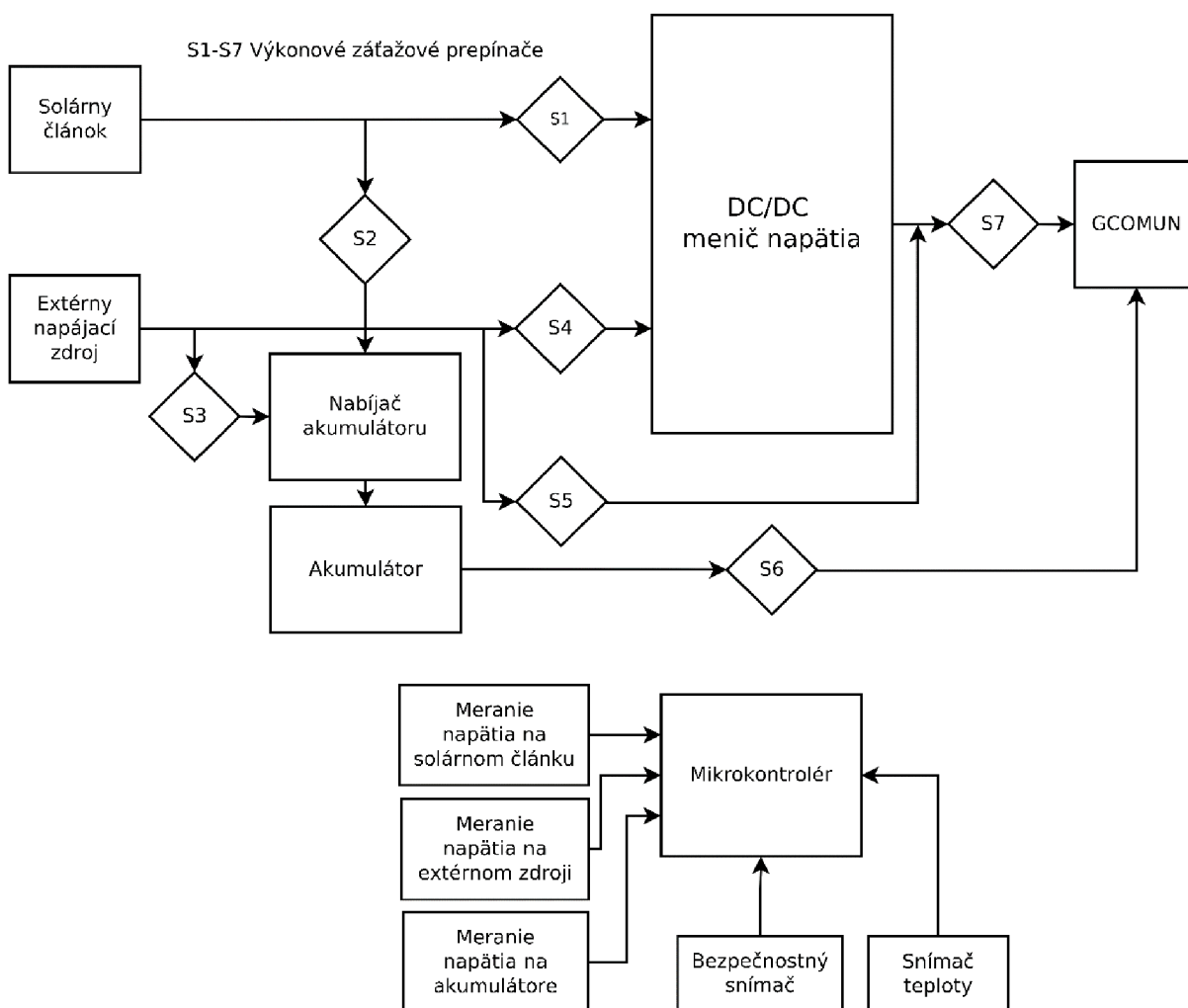
Najčastejšie sú elektronické prístroje napájané priamo z elektrickej siete, kde je síce kladený dôraz na úsporu energie, ale neovplyvňuje to ich činnosť. Takými sú dnes veľmi obľúbené mobilné zariadenia, ako napríklad mobilné telefóny, tablety, notebooky a iné. Pre tieto zariadenia je hlavným zdrojom predovšetkým akumulátor a dôraz je kladený, ako na šetrenie energie z akumulátora, tak i na zvýšenie jeho životnosti. Je teda dôležité navrhovať elektronické prístroje s čo najväčšou možnou efektívnosťou spracovania získanej energie pre napájanie, aby vo výsledku bola účinnosť maximálna. Keďže vyššie spomínané zariadenia obsahujú pod-obvody, ktoré sú konštruované na rôzne napájacie napätia a zdroj energie dodáva vo väčšine prípadov len jedinú hodnotu napájacieho napätia, je potrebné ho efektívne spracovať na napätia nižšie alebo vyššie ako to, ktoré primárne dodáva. K tomuto účelu slúžia predovšetkým DC-DC meniče. Sú význačné svojou vysokou efektívnosťou spracovania energie. V dnešnej dobe sa možno stretnúť s meničmi s účinnosťou vyššou ako 90%.

V tejto práci sa okrem DC-DC meničov môžeme stretnúť s novým spôsobom efektívneho spracovania energie a to s prepínačmi záťaže. Principiálne sa jedná o efektívne prepínanie práve neaktívnej záťaže, ktorá by v danom čase mohla zaťažovať napájací zdroj a tým by sa zvýšil prúdový odber. Takto sú riešené mobilné zariadenia, ale táto práca ich využíva práve pre odpájanie rôznych napájacích zdrojov, ktoré sa pre nedostatok energie pre napájanie obvodu musia odpojiť, aby sa v okamihu, keď sa stanú záťažou neplytvalo energiou z akumulátora.

Výsledkom tejto práce je kompletná dokumentácia pre zostrojenie dosiek plošných spojov obvodov použitých pre realizáciu zadania danej témy. Celkovo sa jedná o dva plošné spoje, menič napätia a samotný modul nabíjača. Oba tieto návrhy na plošné spoje sú realizované pomocou SMT technológie pre dosiahnutie čo najmenších rozmerov.

1 .IJH÷ hLhī~ pi āé êüđúđIJðù ΓHđIJāø

Koncepčná bloková schéma modulu nabíjača je vyobrazená na obr. 1.1. Jeho hlavnou časťou je DC-DC menič napätia, ktorý zabezpečuje stabilné výstupné napätie pre napájanie GComunu. GComun je práve spomínané GSM zabezpečovacie zariadenie od firmy ELEDUS, dokáže komunikovať s užívateľom v reálnom čase pomocou GSM mobilnej siete. Ako napájacie zdroje pre GComun a akumulátor slúžia solárny článok a externý zdroj napätia. Pre prepínanie vetiev obvodu slúžia bloky S1-S7, ktoré znázorňujú záťažové prepínače použité v obvode modulu. Pseudo-algoritmus prepínania je naznačený na obr. 2.1. Jeho funkciu zabezpečuje mikrokontrolér, ten vyhodnocuje prepínanie vetví a súbežne kontroluje stav obvodu (teplota okolia, intenzita slnečného žiarenia, stav nabitia akumulátoru...).



Obr. 1.1: Bloková schéma modulu nabíjača

1.1 503 éúď Ĥüüéí pďíüüí äéêZùéšé

Podobný princíp prepínania je používaný hlavne v spojitosti so zálohovacími napájacími zdrojmi UPS (z angl. Uninterruptible Power Supply). Tieto zdroje sa používajú pre nepretržité napájanie dôležitých zariadení ako napr. počítače v dátových centrách, kde nesmie nastať výpadok elektrickej energie. Rozpoznávame 3 základné druhy UPS systémov:

off-line,

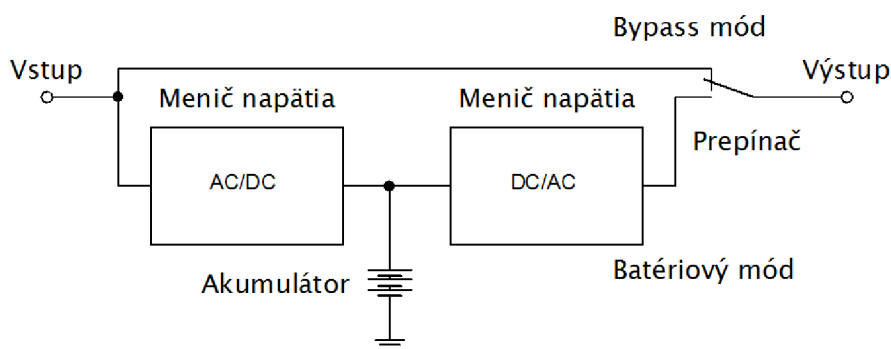
line-interactive,

on-line.

Prepínanie sa uskutočňuje vo všetkých troch druhoch UPS, no pre obvod modulu nabíjača (viď obr. 1.2) sa zvolil podobný princíp ako je v zdrojoch UPS typu off-line [4].

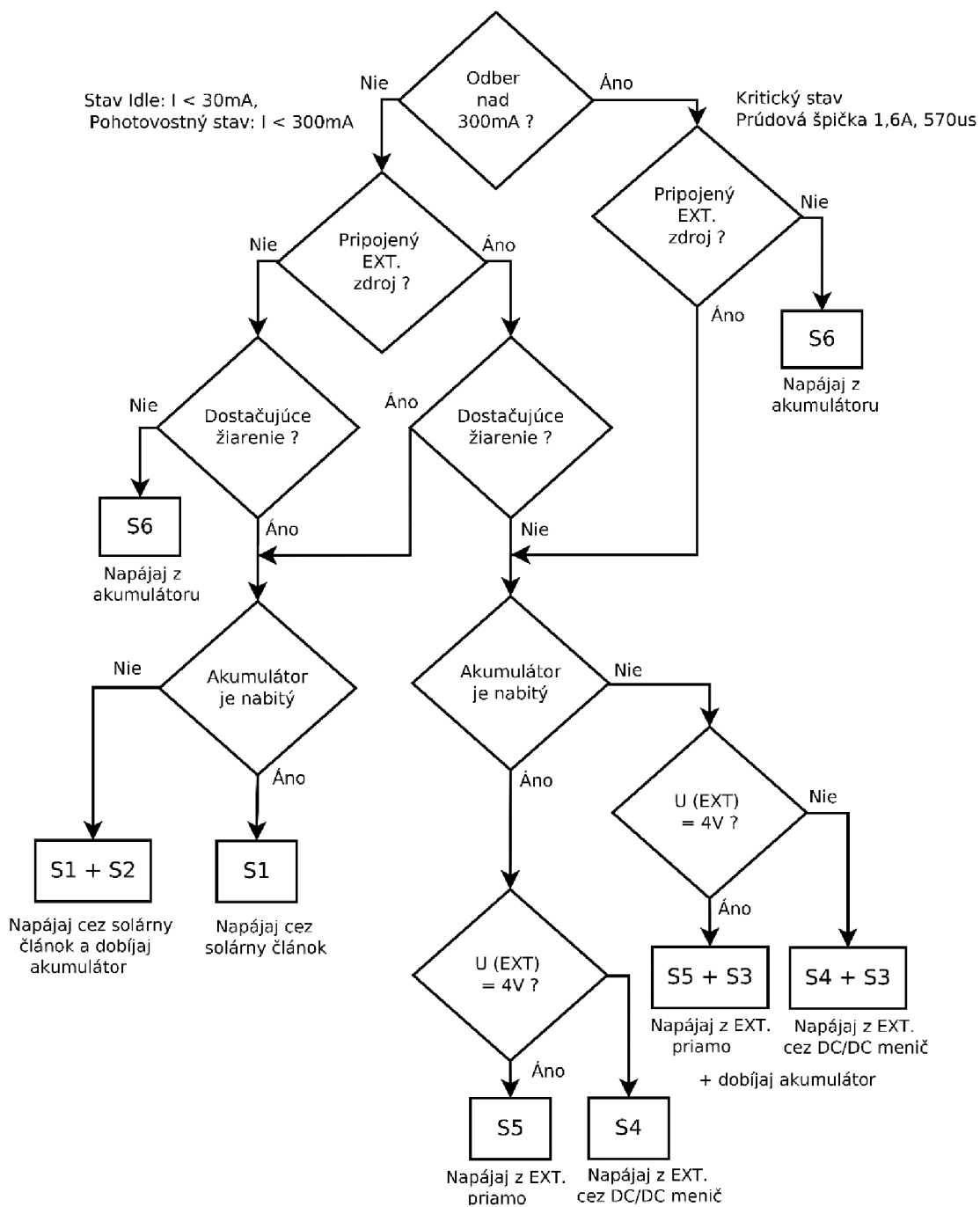
1.2 Off-line UPS

Napätie zo siete je privádzané na prepínač ako primárny zdroj napätia (Bypass mód). Ak nastane výpadok napätia, prepínač presmeruje odber energie zo vstupnej siete na okruh batérie (batériový okruh). Štandardne je okruh batérie oddelený od primárneho zdroja napätia a spína sa iba v prípade jeho výpadku. Tieto záložné zdroje sú zväčša používané na zálohovanie osobných počítačov, terminálov a menej náročných periférií [4]. Princíp činnosti je vyobrazený na obr. 1.2.



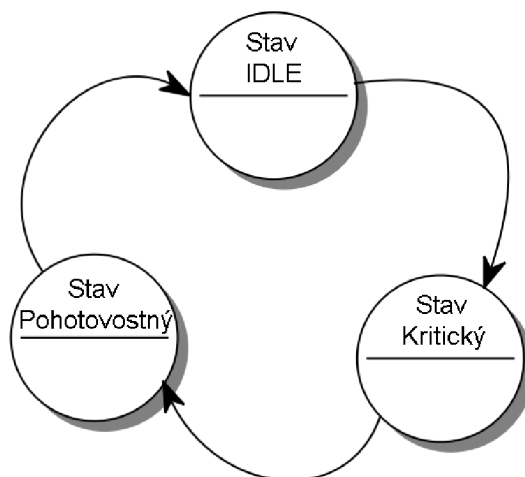
Obr. 1.2: Princíp funkcie Off-line záložného zdroja

2 !üóđ#øĩřĩň ē#đēZāéāøé



Obr. 2.1: Pseudo-algoritmus prepínania záťažových prepínačov

Pseudo-algoritmus prepínania záťažových prepínačov vyobrazený na obr. 2.1, popisuje správanie obvodu podľa situácie, ktorá práve v obvode nastane. Túto funkciu zabezpečuje blok mikrokontroléru (viď obr. 1.1). Mikrokontrolér sníma pomocou snímača teploty teplotu okolia modulu, napätie na akumulátore, napätie a solárnom článku pre zistenie informácie o intenzite slnečného žiarenia, ktoré dopadá na solárny článok, kontroluje či je pripojený externý zdroj energie a v neposlednom rade sníma narušenie zabezpečovaného zariadenia, umiestneného v teréne.



Obr. 2.2: Stavový diagram zariadenia GComun

Najskôr sa kontroluje v akom stave sa práve nachádza GComun. Ak sa jedná o stav, kedy neprebíha hovor a neodosiela sa SMS správa, tak prúdový odber GComunu neprekročí hranicu 30mA. Tento stav sa nazýva primárne IDLE stav. Ak sa začne vykonávať niektorá z funkcií GComunu ako je už spomínaný hovor alebo SMS správa, potom prúdový odber neprekročí hranicu 300mA a hovoríme o stave kedy je GComun v pohotovosti. Značný problém nastáva práve pri prechode do pohotovostného stavu. V stave nazývanom kritický stav, kedy GComun prechádza do stavu pohotovostného sa generuje prúdový ráz o veľkosti 1,6A trvajúci približne 570μs. Preto musí byť riadiaci algoritmus rozdelený do dvoch hlavných častí.

Pri zistení stavu prúdového odberu GComunu, sa ďalej kontroluje pripojenie externého zdroja a intenzita slnečného žiarenia. Ak je pripojený externý zdroj a zároveň je energia získaná zo solárneho článku dostatočná pre napájanie GComunu (stav idle, pohotovostný stav), tak má solárny článok hlavnú prioritu a zabezpečuje celkové napájanie modulu nabíjača. Je to hlavne z dôvodu využitia solárnej energie a eliminácie prúdového odberu z externého zdroja. Naopak, ak slnečná energia neposkytuje dostatočný výkon pre správnu funkciu GComun modulu, je potrebné uprednostniť práve pripojený externý zdroj

alebo v prípade jeho absencie použiť nahromadenú energiu z akumulátoru. Princíp prechodu medzi jednotlivými stavmi zariadenia GComun zobrazuje obr. 2.2.

Počas celého cyklu sa musí tak isto kontrolovať stav nabitia akumulátoru meraním napätia na akumulátore. Pri nedostatočnej kapacite je potrebné zopnúť spínač S2 alebo S3, ktorý zabezpečí pripojenie bloku nabíjača akumulátoru a tým zabezpečí jeho dobitie na plnú kapacitu.

Pretože sa jedná o univerzálny modul, je vhodné použiť veľký vstupný rozsah napájacích napätí dodávaných z externého zdroja. V prípade, že výstupné napätie z ext. zdroja energie rovné napätiu napájacíemu pre GComun a to presne 4V, aktivuje sa priamy spoj zdroja pomocou zopnutia spínača S5 a tým sa obíde transformácia pomocou DC-DC meniča. Naopak ak je napájacie napätie ext. zdroja odlišné od napätia požadovaného pre GComun, je potrebné zopnúť spínač S4 a pripojiť externý zdroj na DC-DC menič. Týmto úkonom zabezpečíme transformáciu pôvodného napätia z ext. zdroja na hodnotu vhodnú pre napájanie GComunu.

V prípade odpojeného externého zdroja a nedostatočnej slnečnej energie, sa musí celý obvod komunikátoru (GComun) napájať priamo z akumulátoru. Vtedy sa odpoja všetky prepínače a zopnutý je len prepínač S6, ktorý priamo pripojí napätie na GComun.

Bezpečnostný snímač, je realizovaný pomocou otrasového snímača, alebo fotodiódy a zabezpečuje detekciu narušenia chráneného objektu GSM modulom GComun. V prípade akéhokoľvek narušenia vyšle GComun informáciu o narušení užívateľovi a vtedy sa obvod dostáva do pohotovostného stavu a ten je sprevádzaný stavom kritickým. Tým pádom sa prúdový odber zvýši dočasne na 1,6A a obvod musí byť napájaný z akumulátoru poprípade z externého zdroja.

3 DC-DC meniče

DC-DC menič s vysokou účinnosťou je hlavným prvkom modulu nabíjača. Zabezpečuje stabilné výstupné napätie pre napájanie GSM zabezpečovacieho zariadenia GComun. Do jeho vstupu privádzame všetky napájacie zdroje. Pretože vstupné napätie na vstupe DC-DC meniča môže byť menšie alebo väčšie, ako je napätie na jeho výstupe, musí zabezpečovať jeho zvýšenie, v prípade ak je vstupné napätie menšie, alebo naopak zníženie.

3.1 Požiadavky na DC-DC menič

V tab. 3.1 sú vypísané parametre pre návrh DC-DC meniča. Ako je možné vidieť, výstupné napätie, ktorým je napájaný GComun má hodnotu 4V. Maximálne prúdové zaťaženie obvodu je stanovené na hodnotu 2A, je to z dôvodu dostatočnej energetickej rezervy pri prechode modulu nabíjača do stavu kritického, kedy prúdový odber dosahuje hodnotu 1,6A [14]. Vstupný rozsah je stanovený od minimálnej hodnoty 3V a maximálnej hodnoty 15V. Tento veľký vstupný rozsah povolí užitie rôznorodých solárnych článkov a externých zdrojov s rôznymi výstupnými napätiami. Toto je jeden zo spôsobov dosiahnutia komplexnosti modulu nabíjača.

Tab. 3.1: Požiadavky na DC-DC menič

Parameter	Hodnota
Minimálna hodnota vstupného napätia	3V
Maximálna hodnota vstupného napätia	15V
Výstupné napätie	4V
Maximálne prúdové zaťaženie	2A

3.2 Typy DC-DC meničov

DC-DC meniče sú obvody, ktoré zabezpečujú transformáciu elektrickej energie, za účelom vysokej efektivity jej spracovania. Základom sú akumulčné prvky LC a riadené spínače pomocou, ktorých sa riadi energetický tok v čase. Ako spínače sa používajú diódy, bipolárne alebo unipolárne tranzistory [12]. V dnešnej dobe sa využívajú hlavne unipolárne tranzistory, práve kvôli ich vynikajúcim spínacím vlastnostiam. Rozpoznáme dva základné druhy meničov:

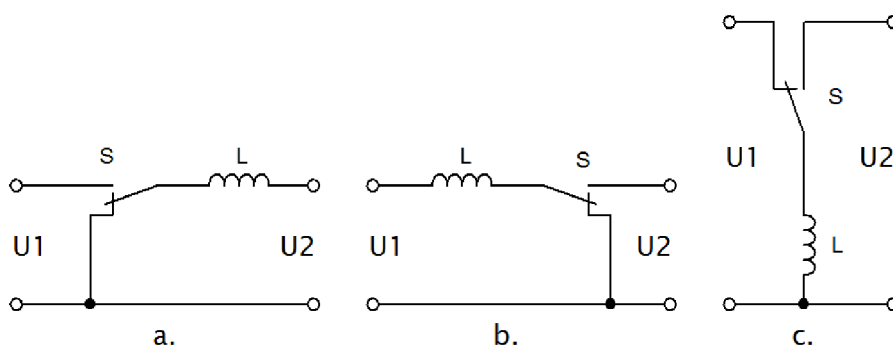
meniče bez transformátoru,

meniče s transformátorom.

Meniče s transformátorom zabezpečujú jednak galvanické oddelenie vstupnej a výstupnej časti obvodu meniča, ale i určitý transformačný pomer, kedy nie sú potrebné také extrémne striedy riadiacich signálov. Nevýhodou môžu byť práve veľké rozmery použitého transformátoru, ktoré sú pre niektoré aplikácie priam nepoužiteľné. Na druhej strane môže byť transformátor priamo obvodomou tlmivkou (fly-back meniče). Pre dosiahnutie čo najmenších rozmerov modulu napájачa, sa budeme zaoberať len meničmi bez transformátoru [12] [22].

3.3 - Základné princípy zapojenia v DC-DC meničoch

Definujme si základné princípy funkcie meničov bez transformátoru s jedným akumulárnym prvkom a jedným prepínačom. Akumulárný prvok je ideálny induktor L . Obr. 3.1 popisuje možné spôsoby zapojenia týchto dvoch komponentov.



Obr. 3.1: Základné princípy zapojenia v DC-DC meničoch

Ako je z obr. 3.1 možné vidieť, celkovo môžeme zapojiť obvod do 3 kombinácií a tým vzniknú 3 rôzne zapojenia DC-DC meničov [22] [12].

Tými sú:

obr. 3.1.a.) menič znižujúci vstupné napätie (step-down, buck),

obr. 3.1.b.) menič zvyšujúci vstupné napätie (step-up, boost),

obr. 3.1.c.) menič znižujúci i zvyšujúci vstupné napätie (invertujúci buck-boost).

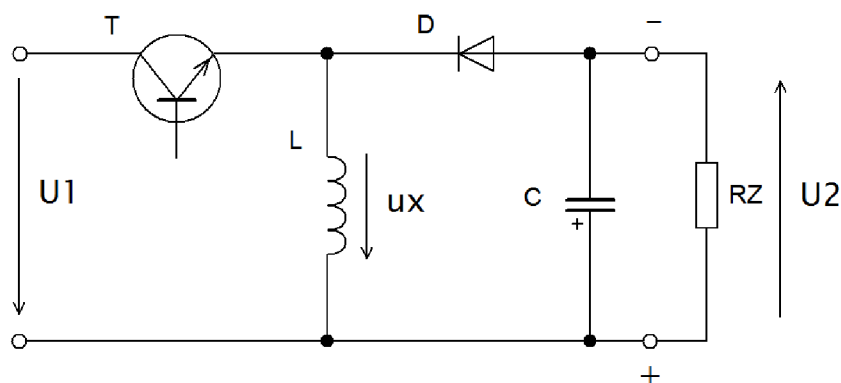
Z hore uvedených vlastností a z predom určených parametrov z tab. 3.1. vyplýva, že pre návrh solárneho modulu nabíjača bude vyhovovať práve menič, ktorý napätie zvyšuje i znižuje. Na výstupe tým pádom dostávame konštantnú hodnotu napätia, pomocou ktorej napájame GComun. Preto sa budeme v tejto práci zaoberať práve princípom buck-boost konvertoru.

3.4 Invertujúci buck-boost menič - základná topológia

Invertujúci buck-boost menič (známy tiež ako invertujúci menič so spoločnou tlmivkou, alebo blokujúci menič) umožňuje privádzať menšie alebo väčšie napätie na vstup meniča ako je napätie výstupné [12]. V tejto časti sa budeme zaoberať jeho základným princípom činnosti.

3.4.1 Základná topológia invertujúceho buck-boost meniča

Na obr. 3.2. je vyobrazený buck-boost menič stzv. horným spínačom (topológia spínačov sú podrobnejšie rozobrané [12]). Výstupné napätie má opačnú polaritu, voči napätiu vstupnému (vyobrazuje smer šípky napätia U_2 na záťaži R_Z).



Obr. 3.2: Základná topológia invertujúceho buck-boost meniča [12]

Popis funkcie obvodu je nasledovný:

1. Tranzistor T je vypnutý. Po niekoľkých spínacích periódach (ustálený stav) preteká tlmivkou L prúd, ktorý sa uzatvára cez diódu D. Dióda D je otvorená a napätie na tlmivke L je rovné $-U_2$. Prúd cievkou lineárne klesá.
2. Pri zopnutí tranzistoru T je napätie u_x rovné napätíu vstupnému U_1 . Na tlmivke L je teda konštantné napätie U_1 . Prúd lineárne rastie a uzatvára sa cez tranzistor T. Dióda D je polarizovaná v závernom smere a teda prúd nevedie.
3. Uvedením tranzistora T do stavu vypnutia sa dostávame späť k bodu 1. Tento proces sa neustále opakuje [12].

Pre výstupné napätie meniča U_2 platí obecné vzťah:

$$U_2 = U_1 \frac{t_1}{T} \quad (3.1)$$

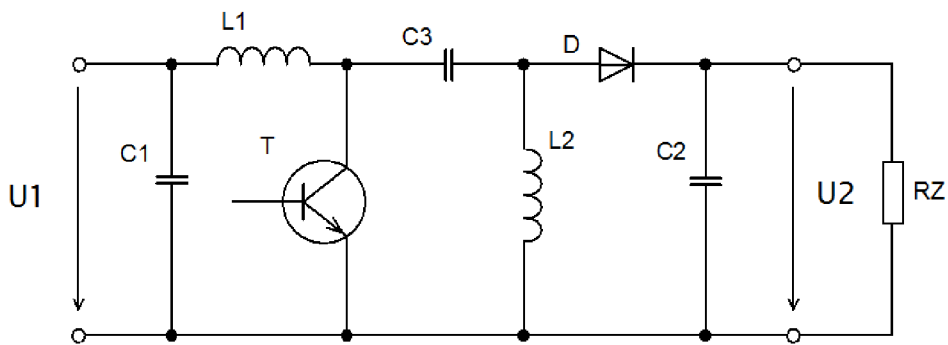
Kde U_2 je výstupné napätie meniča, U_1 je napätie vstupné, t_1 a t_2 sú spínacie časy, T je perióda spínacieho signálu a s je strieda spínacieho signálu. Ako je teda z rovnice (3.1) zrejmé, hodnota výstupného napätia závisí na striede spínacieho signálu.

3.5 .đāĭđĥĭùĭđ êĭú -êđđĥĭ đđāđđ

Pretože invertujúci buck-boost menič obracia polaritu napätia na výstupe, nie je vhodným riešením DC-DC meniča pre obvod modulu nabíjača. Z toho dôvodu je potrebné použiť niektorú z modifikovaných metód riešenia návrhu meničov pri zachovaní rovnakej polarity napájacieho napätia na výstupe. Tieto meniče sa obecné nazývajú neinvertujúce buck-boost meniče.

3.5.1 -đāđđ 3%0)# (Single-Ended Primary-Inductance Converter)

V podstate sa jedná o kaskádne zapojenie topológií boost a buck-boost meničov, ako zobrazuje obr. 3.3. Menič obsahuje celkovo dve tlmivky, vstupný a výstupný kondenzátor a kondenzátor C_3 , ktorý slúži ako oddelenie jednosmernej zložky napätia medzi oboma časťami obvodu. Výhodou topológie SEPIC je spojitý charakter prúdu zo vstupného kondenzátora a možnosť jednoduchého budenia tranzistoru. Nevýhodou je však práve nespojitý charakter výstupného prúdu a zlé dynamické vlastnosti (reakcia a prispôbenie sa na zmenu záťaže) [22].



Obr. 3.3: Základné zapojenie topológie SEPIC [22]

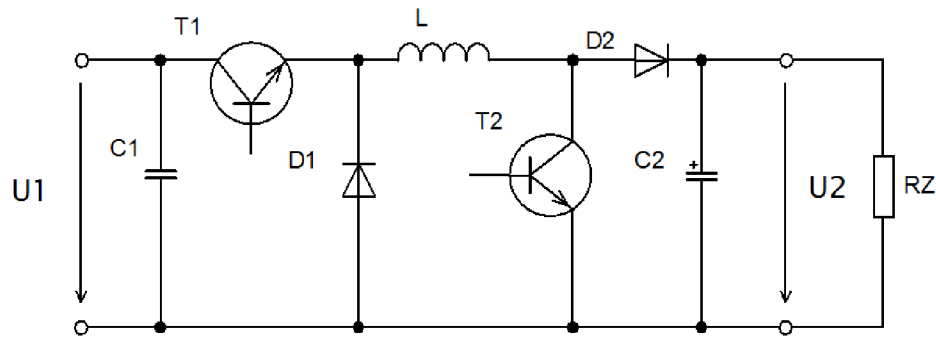
Pre meniče topológie SEPIC platí vzťah pre konverzný pomer vid' rovnica (3.2), kde M je spomínaný pomer, U_{vst} je vstupné napätie privádzané do vstupných svoriek meniča, $U_{výst}$ je výstupné napätie na výstupných svorkách, s je strieda spínacieho signálu. Ako je možné vidieť, polarita výstupného napätia je rovnaká ako polarita napätia vstupného. To je teda dôkazom, že daná topológia je naozaj neinvertujúca [17].

$$\frac{U_{výst}}{U_{vst}} = M \cdot s \quad (3.2)$$

Ďalšou značnou nevýhodou tejto topológie sú straty vznikajúce na kondenzátore C_3 . Tieto energetické straty spôsobujú pokles efektivity celého meniča. Ich zníženie je možné použitím keramického kondenzátora s nízkym vnútorným odporom ESR, to samozrejme ovplyvňuje výslednú cenu odvodu a vedie k zväčšeniu rozmerov plošného spoja [17].

3.5.2 Dvoj-~~pre~~prepínačový (dvoj-spínačový) DC-DC menič (two-switch buck-boost converter)

Dvoj-~~pre~~prepínačový (dvoj-spínačový) DC-DC menič je zložený z dvoch základných topológií, konkrétne z topológie buck (znižujúci menič) a následne topológie boost (zvyšujúci menič) zapojených do kaskády. Z obr. 3.4. je možné vidieť základné zapojenie obvodu dvoj-~~pre~~prepínačového neinvertujúceho buck-boost meniča. V obvode sa nachádza len jedna „spoločná“, tlmivka (L), prepínacie diódy (D_1 - D_2), spínacie tranzistory (T_1 - T_2), vstupný a výstupný kondenzátor (C_1 - C_2) [17] [7].



Obr. 3.4: Základné zapojenie topológie Two-switch meniča [7] [17]

Výhodou je skutočnosť, že obvod môže pracovať celkovo v 4 rôznych režimoch, záležia od práve aktívneho obvodu buck alebo boost. Značnou nevýhodou je ich zložitejšie riadenie, predovšetkým dodržanie správneho časovania spínania tranzistorov. Tieto režimy činnosti popisuje tab. 3.2.

Tab. 3.2: Porovnanie pracovných režimov Dvoj-prepínačového meniča [17]

OperaTnw m/Ed	N@roTnosų sp°nani	Efektivita ($U_{vst} > U_{vwsť}$)	Efektivita ($U_{vst} < U_{vwsť}$)
Buck-boost	Jednoduchá	Nízka	Nízka
Buck, buck-boost	Stredná	Vysoká	Nízka
Buck-boost, boost	Stredná	Nízka	Vysoká
Buck, buck-boost, boost	K omplikovaná	Vysoká	Vysoká

Pri rovnomernom prepínaní tranzistorov T_1 a T_2 pracuje menič v režime buck-boost. Pri spínaní samotného tranzistoru T_1 , kedy tranzistor T_2 je neustále zatvorený, sa obvod dostáva do módu buck (znižujúci menič) a platí konverzný pomer ako pre topológiu meniča buck vid' rovnica (3.3).

$$\text{---} \tag{3.3}$$

Naopak pri spínaní len samotného tranzistoru T_2 , pri neustále otvorenom tranzistore T_1 , sa obvod dostáva do stavu, kedy pracuje ako boost menič (zvyšujúci). Pre tento režim, podobne ako pre samotný boost menič, platí nasledovný vzťah (3.4).

$$\text{---} \text{ ---} \tag{3.4}$$

Kde opäť s je strieda spínacieho signálu, M je konverzný pomer, U_{vst} je vstupné napätie a $U_{výst}$ je napätie na výstupe meniča. Oba režimy činnosti (buck, boost) sa vyznačujú nízkou efektívnosťou. Preto je vhodné ich kombinovať s prvým módom prepínania. Vtedy je efektívnosť rôzna vid' tab. 3.2 [17].

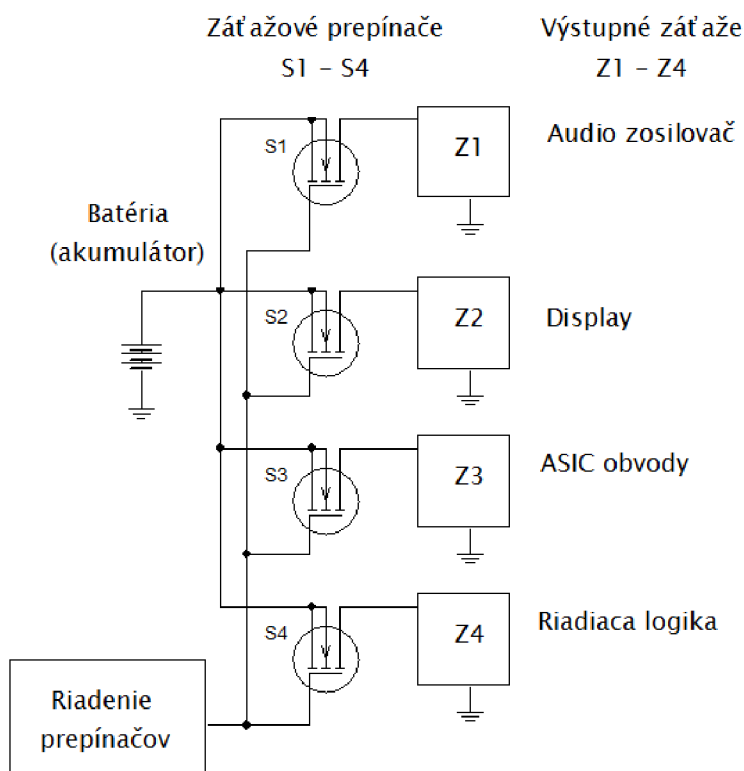
Keďže sa jedná o podstatnejšie jednoduchšie zapojenie oproti SEPIC konvertoru, použitím len jednej tlmivky a je ním možné vytvoriť rozličné topológie meničov, budeme sa v práci ďalej zaoberať práve týmto riešením DC-DC meniča. Toto zapojenie je inovatívnym riešením pre návrh modulu nabíjača. Pre návrh samotného meniča modifikovanej topológie dvoj-prepínačového meniča (two-switch buck-boost converter) budeme uvažovať práve poslednú možnosť riadenia z tab. 3.2. z dôvodu dosiahnutia vysokej účinnosti.

4 :!ÉÉXđIJ- ēHđēZāéűđ

Pojem výkonové odpájanie a pripájanie zátáže, v obecnom prípade prepínanie, je známy hlavne z moderných mobilných zariadení, ako sú mobilné telefóny, tablety, notebooky a iné. V dnešnej dobe sa značne používajú pre všetky mobilné zariadenia, ktoré čerpajú energiu z batérií (akumulátorov). Princíp spočíva práve v odpojovaní rôznych typov zátáže, kedy sa nemusí jednať len o zátáž odporovú.

4.1 0HđēZāéűđ IJđ IJChīēāđű ůéħīø đēIJđí

V o vyššie uvedených zariadeniach sa odpojujú napríklad: výkonový NF zosilňovač pre výstupný audio prehrávač, zobrazovací display, riadiaca logika, WLAN modul a mnohé iné typy zátáží. Účelom odpojovania zátáže je šetrenie energie z batérie, ktoré je nevyhnutné práve pre mobilné telefóny, pre zvýšenie výdrže batérie na jedno nabitie. Tým získame nielen veľké množstvo ušetrenej energie, ale i zníženým odberom zvýšime jej životnosť. V zahraničnej literatúre nájdeme tieto prepínače zátáže napríklad pod názvom load switch alebo hot swap switch. Princíp prepínania zátáží v mobilných telefónoch je obr. 4.1.



Obr. 4.1: Princíp prepínania zátáží v mobilnom telefóne [8]

4.2 +ďāuīHīúìøé ēHďēZāéűđĪ

Na prepínanie záťaže slúžia elektronické komponenty založené na technológií MOS tranzistorov. Vďaka technologickým inováciám a potrebe ich použitia pre zariadenia veľmi malých rozmerov, sú záťažové prepínače na trhu dostupné v integrovanej podobe. V dnešnej dobe existuje veľké množstvo integrovaných obvodov obsahujúcich buď jeden, alebo viacero záťažových prepínačov. Ich hlavnou vlastnosťou je možnosť ovládať ich prepínanie pomocou veľmi malých riadiacich napätí, často krát menších ako je napätie vstupné. Toto ovládanie nie je možné pri použití samostatných tranzistorov MOS, pretože napätie na hradle Gate musí byť väčšie ako je napätie vstupné, aby mal prechod medzi elektródami Source-Drain čo najmenší úbytok napätia. Preto záťažové prepínače obsahujú okrem hlavného spínacieho výkonového prvku aj nábojovú pumpu, ktorá tvorí zdroj napätia pre ovládanie hradla Gate.

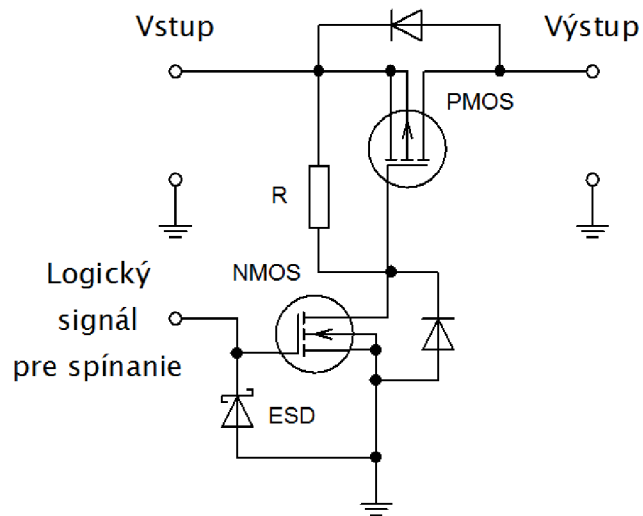
Ako už bolo spomínané vyššie, môžeme ich nájsť pod rôznymi názvami ako napríklad prepínače záťaže, z anglického názvu load switches, alebo hot swap switches. Pojem hot swap, sa dá vysvetliť ako veľmi rýchle prepínanie, často krát toto prepnutie trvá len niekoľko mikrosekúnd a to z dôvodu zabezpečenia nepretržitej prevádzky bez straty napájania. Samotné tranzistory MOS sú veľmi vhodným riešením prepínania, hlavne kvôli ich dobrým spínacím vlastnostiam a malým prechodovým odporom medzi elektródami Source a Drain.

4.3 \$Hī÷L ēHďēZāéűđĪ

Konštrukcia záťažových prepínačov môže byť rôznorodá no rozlíšujeme dva základné typy. Prvý typ tvorí dvojica tranzistorov PMOS a NMOS. Kedy tranzistor PMOS tvorí výkonový prvok prepínača a NMOS slúži na jeho riadenie. Principiálne vnútorné zapojenie popisuje obr. 4.2, jedná sa o prepínač firmy Fairchild Semiconductor [8].

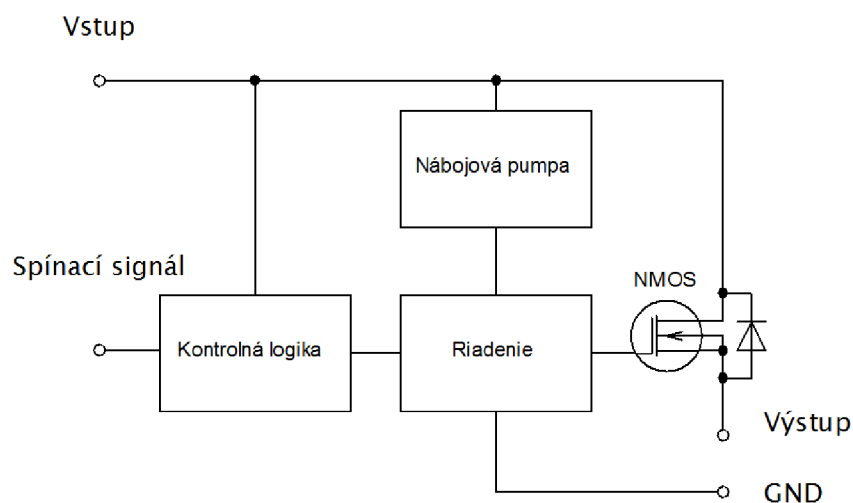
Princíp funkcie je nasledovný. Privedením vysokej logickej úrovne (high, log. 1) na hradlo tranzistora Q1 (NMOS) začne medzi jeho elektródami Source-Drain prechádzať prúd, ktorý spôsobí zníženie napätia medzi týmito elektródami a tým spôsobí prakticky pripojenie hradla tranzistoru Q2 k nízkemu potenciálu, ideálne k nule. V tomto okamihu sa otvorí prechod Source-Drain tranzistoru Q2 a môže ním prechádzať výstupný prúd do záťaže.

Naopak pri privedení nízkej logickej úrovne (low, log. 0) na tranzistor Q1, sa tranzistor Q1 zatvára, čo spôsobí zvýšenie napätia na prechode Source-Drain tohto tranzistoru a tento veľký potenciál uzatvára tranzistor Q2. V tomto okamihu tranzistorom Q2 neprechádza prakticky žiadny prúd, čiže záťaž je odpojená od napájania [8].



Obr. 4.2: Princíp PMOS a NMOS konštrukcie prepínača [8]

Ďalším základným druhom prepínača je obvod obsahujúci len tranzistor typu NMOS. Takéto prepínače vyvíja napríklad firma Texas Instruments, na obr. 4.3 je konkrétne vnútorné zapojenie prepínača TPS2291 [20].



Obr. 4.3: Vnútorné zapojenie prepínača TPS2291 [20]

Rozdiel medzi týmito dvoma druhmi záťažových prepínačov je taký, že PMOS tranzistor obsiahnutý v prepínači má približne 3x vyšší prechodový odpor ako tranzistor typu NMOS. Toto samozrejme nie je problém pre určité druhy obvodov, kde sa berie do úvahy úbytok napätia vzniknutý na prechode PMOS tranzistora (medzi Source – Drain). Pre túto aplikáciu je vhodnejšie použiť skôr druhý typ a to s tranzistorom NMOS.

5 Akumulátory

Akumulátor je elektro-chemický komponent, ktorý na rozdiel od klasickej batérie, využíva vratný elektro-chemický proces, pri ktorom dokáže uchovávať (akumulovať) elektrickú energiu na dlhšiu dobu. Jedná sa o premenu elektrickej energie na chemickú, podobne ako batéria, tiež akumulátor dokáže túto chemickú energiu premieňať späť na energiu elektrickú. Nabitý akumulátor sa správa, za normálnych okolností a dostatočnej kapacity, ako tvrdý zdroj elektrického napätia. Klasický akumulátor sa skladá z dvoch doskových elektród oddelených separátorom. Vnútroň medzi-elektrodový systém je vyplnený elektrolytom v tekutom alebo gélovom stave [12] [9].

Pretože princíp akumulátorom je známy už od roku 1802 a odvtedy je na trhu veľké množstvo rôznych typov akumulátorov, ktoré sa líšia práve svojou vnútornou konštrukciou a použitými materiálmi, budeme sa zaoberať len inovatívnymi typmi akumulátorov. Tými sú hlavne akumulátory s elektródami na bázy lítia. Vyznačujú sa absenciou pamäťového efektu, malým samo-vybíjajúcim prúdom a dobrým pomerom výkonu k rozmerom. V elektronike hrajú v dnešnej dobe obrovskú úlohu a sú vhodným riešením pre obvod modulu nabíjača, ako zdroj energie všetkých častí obvodu, práve vďaka svojím parametrom [12] [9]. Pre porovnanie vyberieme tieto 3 často používané druhy:

Lítium-iónový akumulátor (Li-Ion),

Lítium-polymérový akumulátor (Li-Pol),

Lítium-železnato-fosfátový akumulátor (LiFePO₄).

5.1 Lítium-iónový akumulátor (Li-Ion)

Tento pomerne nový typ akumulátoru nahradil staršie, ale veľmi používané Ni-MH (nickel-metal-hydrid) akumulátory. Jeho hlavnou výhodou je veľká hustota akumulovanej energie, tá umožňuje konštruovať akumulátory malých rozmerov a hmotností. Záporná elektróda je vyrobená z uhlíku, katóda je tvorená oxidmi lítia a elektrolytom sú lítiové soli. Použitie prevažne v mobilných zariadeniach, ako akumulátory mobilných telefónov a notebookov.

Tieto sú však dnes vo veľkej miere nahradzované Lítium Polymérovými akumulátormi, ktoré majú o niečo lepšie vlastnosti ako spomínané Lítium-iónové [9].

5.2 ,Zi0ip -Xđüðlāéíđ-òđhòłđIJC éúıpiüłđđđ (Li-Fe-PO4)

Táto technológia sa vyznačuje nižšími výrobnými nákladmi. Hlavnou výhodou je jej intoxicità. Katódu tvorí fosforečnan železnato lítiový, anóda je ako pri ostatných Li-Ion akumulátoroch vyrobená z uhlíka. Tieto články dokážu veľmi rýchlo absorbovať i vydávať energiu, preto sa používajú ako hlavný zdroj energie do elektromobilov, kedy je vďaka veľkým nabíjacím a vybíjacím prúdom znížený potrebný čas na nabitie či vybitie. V porovnaní s Li-Pol akumulátormi majú LiFePO4 akumulátory nižšiu hustotu energie (pri rovnakej kapacite ako Li-Pol má väčšie rozmery) a menšie nominálne napätie asi 3,3V [5].

5.3 ,Zi0ip -ēđüŁp~đđIJCéúıpiüłđđđ (Li-Pol)

Je obdobou Li-Ion akumulátorov, s rozdielom v použitom elektrolyte. Li-Pol akumulátory používajú namiesto tekutého elektrolytu, elektrolyt v tuhom stave. Podobne anóda môže byť z uhlíka (grafit) alebo koksu (coke). Výhodou spomínaného tuhého elektrolytu je absencia vytečenia elektrolytu z krytu akumulátoru, čo umožňuje výrobu veľmi tenkých a ohybných akumulátorov. Katóda je podobne ako pri Li-Ion z oxidov lítia [9] [3].

5.3.1 Li-pol akupüłđđđ éúđ ħüüéíāC ĺđđü pre modul āéēZüéúé

Pri pohľade na maximálne rozmery akumulátoru v pomere k získanej energii vyhovujú viaceré typy lítiových akumulátorov. Je tomu tak i vďaka ich vlastnostiam. No pretože modul nabíjača má byť skonštruovaný pre nízke teploty do -20°C a žiaden z vyššie uvedených typov akumulátorov, okrem Li-Pol, sa na trhu nevyskytuje pre prevádzku v nižších pracovných teplotách ako je 0°C , je potrebné sa zaoberať návrhom obvodu, ktorý bude obsahovať práve Li-Pol akumulátor ako základný zdroj a na akumuláciu získanej energie.

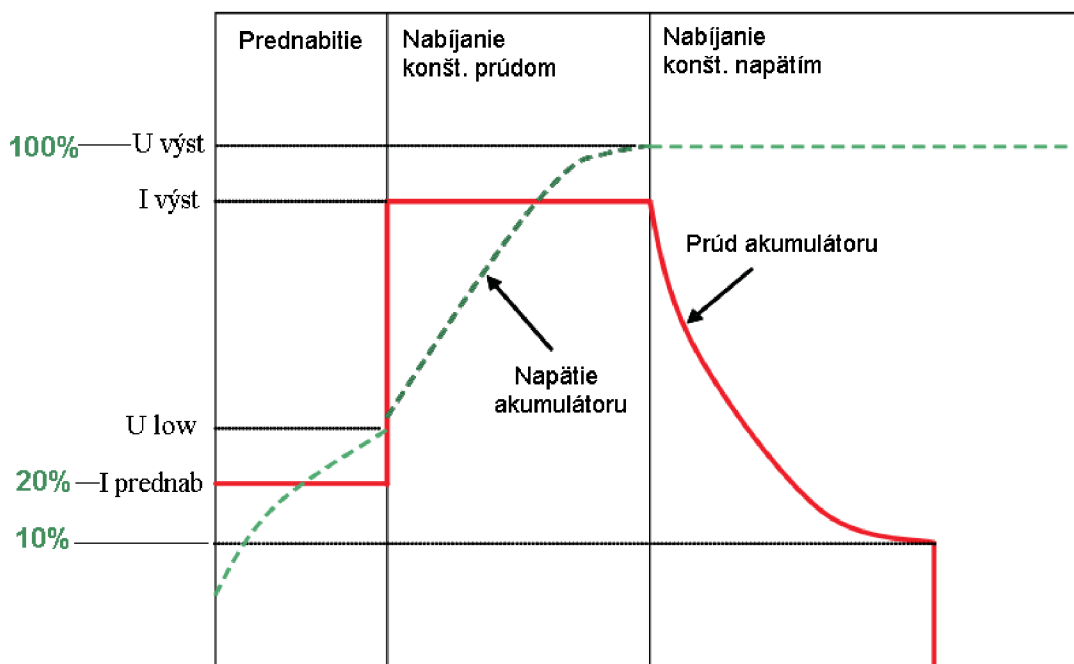
5.3.2 :łüüéíā~IJ ĺastnosti üZi0ip-ēđüŁp~đđIJ~đéúıpiüłđđđ

Tento typ akumulátoru má obrovské zastúpenie v elektronike. Nepoužíva sa len pre napájanie všetkých mobilných zariadení od mobilných telefónov, cez tablety až po notebooky, ale majú obrovské zastúpenie v rozličných odvetviach elektroniky napr. v modelárskej činnosti. Vďaka svojim malým rozmerom a obrovskej hustote energie nahradil pôvodné lítium-iónové akumulátory. Tieto akumulátory sa vyskytujú v rôznych rozmeroch a kapacitách. Základné parametre popisuje tab. 5.1 [9] [3] [6].

Tab. 5.1 : Obecné vlastnosti lítium-polymérových akumulátorov

Obecné vlastnosti		
Parameter	Hodnota	Jednotka
Menovité napätie	3,6	V
Nabíjacie napätie (coke)	4,2	V
Nabíjacie napätie (grafit)	4,1	V
Maximálne napätie pri vybití (coke)	2,5	V
Maximálne napätie pri vybití (grafit)	3,0	V
Samovybíjanie	0,5	% / deň
Pamäťový efekt	nie	
Názkoteplotn@ akumul@tor (prevzat@)@		
Max. nabíjací prúd	0,5C	
Max. vybíjací prúd	1C	
Životnosť	300	cyklov
Teplotný rozsah	od -40 do 55	°C

5.3.3 .éêZùéãøðüZtøip-ēđülp~HđIJÇi÷ éúipüřđHđIJ



Obr. 5.1: Nabíjacia krivka lítium-polymérového akumulátoru [16]

Na obr. 5.1 je zachytený priebeh nabíjacej krivky pre lítiové akumulátory (konkr. pre Li-PoI). Najprv sa nastaví nabíjací prúd $I_{prednab}$ v stave prednabitia, po dosiahnutí vyššej hodnoty napätia na akumulátore ako je hodnota U_{low} (čo je minimálna hodnota napätia, kedy sa ešte

akumulátor nepoškodí) sa dostáva do stavu nabíjania konštantným prúdom I_{vyst} . Pri nabíjaní konštantným prúdom rastie napätie na akumulátore a po dosiahnutí maximálnej hodnoty napätia U_{vyst} sa akumulátor dostane do stavu nabíjania konštantným napätím a prúd exponenciálne klesá [16].

Nabíjacie napätie musí byť veľmi presné, najlepšie je ak je jeho hodnota udržiavaná v stave nabíjania konštantným napätím na hodnote 4,1V – pre grafitovú anódu, 4,2V pre polymérne akumulátory s koksovou anódou. Preto je vhodnou voľbou použiť pre nabíjanie niektorý z integrovaných obvodov dostupných bežne na trhu. Kontrolujú stav nabitia akumulátoru počas celého priebehu nabíjania a plynule zabezpečujú prechod medzi jednotlivými stavmi z nabíjacej krivky, tak aby bola nabíjacia charakteristika čo nepresnejšia a blížila sa k ideálnej krivke z obr. 5.1 [3] [16].

6 Návrh solárneho nabíjača

Pretože obvod modulu solárneho nabíjača bude realizovaný v čo najmenších možných rozmeroch, je vhodné použiť niektorý z integrovaných nabíjacích systémov dostupných na trhu. Tieto obvody sú vo veľkej miere zastúpené v prevedení SMD a to v puzdrách SOIC (small outline integrated circuit) alebo QFN (quad flat no-lead). Samotný integrovaný obvod nabíjača by mal mať možnosť regulácie výstupného prúdu dodávaného do akumulátoru, sledovať jeho stav nabitia, poprípade tento stav signalizovať výstupnými LED diódami.

6.1 Návrh solárneho nabíjača

Ako vhodné riešenie, hore uvedených parametrov, je možné použiť integrovaný obvod od firmy Texas Instruments *bq240xx*, tiež označovaný ako **bqTINY**, osadeným v puzdre typu MLP (QFN). Tento integrovaný obvod slúži ako regulovateľný nabíjač Li-Ion a Li-Pol akumulátorov s výstupnou signalizáciou stavu nabíjania. Vďaka už spomínanému puzdru je realizovaný v rozmeroch 3x3mm, čiže perfektne vyhovuje požiadavkám pre návrh solárneho nabíjača [19].

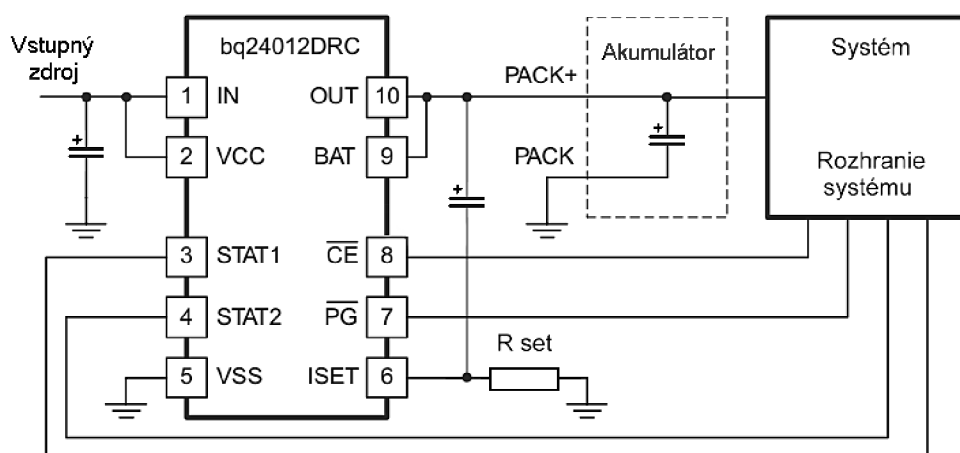
Tab. 6.1: Parametre integrovaného obvodu bqTINY [19]

Maximálne hodnoty		
Parameter	Hodnota	Jednotka
Napájacie napätie	-0,3 až 18	V
Napájací prúd	3,5 až 5	mA
Vstupný napätový rozsah	-0,3 až U_{cc}	V
Výstupné napätie	4,2	V
Výstupný prúd	1,5	A
Pracovný teplotný rozsah	- 40 až 125	°C
Doporučené hodnoty		
Napájacie napätie	3 až 16,5	V
Vstupný napätový rozsah	3 až 16,5	V
Pracovný teplotný rozsah	-40 až 125	°C

Jeho parametre popisuje tab. 6.1, kde je možné vidieť, že napájacie napätie v doporučenom rozsahu je v hodnotách od 3V do 16,5V, čo presne vyhovuje návrhu DC-DC meniča. Tým pádom je zaručené použitie rovnakých vstupných zdrojov pre DC-DC menič

a integrovaný obvod nabíjača, bez nutnosti úpravy výstupného napätia týchto zdrojov (solárny článok, externý zdroj).

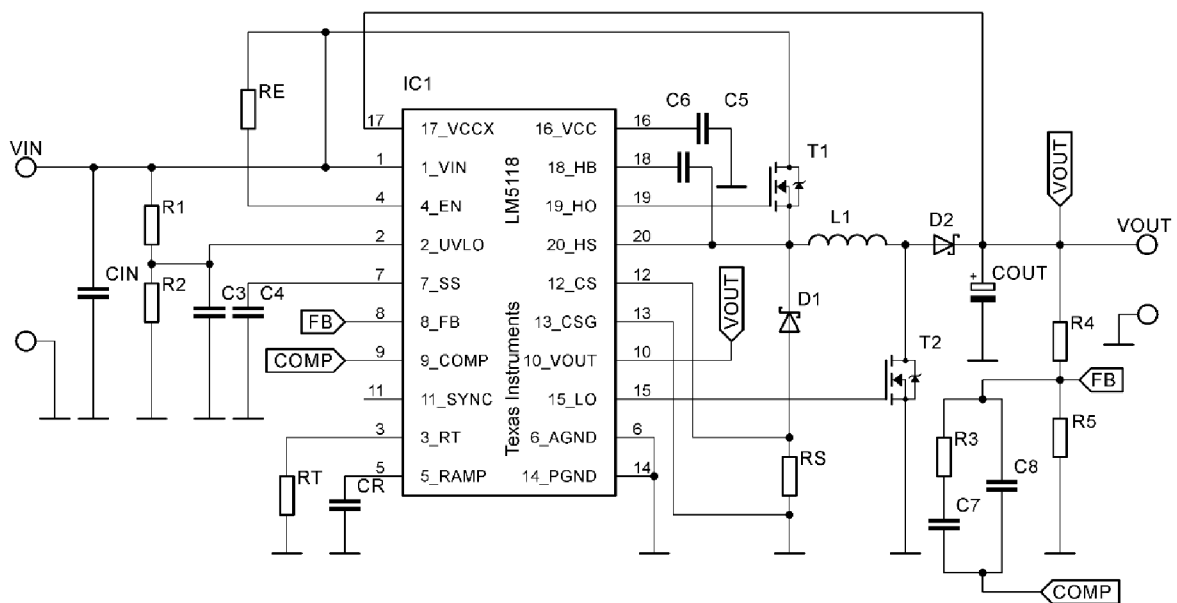
Tento nabíjač je ideálny pre nabíjanie samostatných Li-Ion a Li-Pol akumulátorov alebo celých akumulátorových batérií (v zmysle slova: balení). Obsahuje výkonové FET tranzistory a snímač výstupného prúdu. Jeho výhodou je veľký rozsah napájacích napätí a veľká presnosť výstupného napätia (až 0,5% rozdiel z hodnoty). Tak isto ochrana pred skratom výstupných svoriek a zaznamenávanie poškodeného alebo odpojeného akumulátoru. Pri odpojení napájacieho napätia, obvod automaticky prechádza do módu spánku a tým pádom nečerpá z akumulátoru energiu. Doporučené zapojenie obvodu bqTINY môžeme vidieť na obr. 6.1.



Obr. 6.1: Schéma zapojenia obvodu bqTINY [19]

7.1.1. Schéma zapojenia podľa katalógového listu [18]

Ako bolo už spomínané v kap. Neinvertujúce buck-boost meniče, topológia Two-switch meniča je jednou z inovatívnych možných riešení pre návrh a konštrukciu DC-DC meniča pre modul nabíjača. Pre tento účel bol vybraný integrovaný obvod LM5118 [18] od firmy Texas Instruments, ktorý slúži ako riadiaci obvod spínačov vo výkonovej časti meniča. Vyznačuje sa širokým rozsahom vstupných napätí, širokou škálou pracovných teplôt, malými rozmermi a jemným prechodom medzi jednotlivými módmi. Typické zapojenie obvodu je vyobrazené na obr. 7.1.



Obr. 7.1: Schéma zapojenia podľa katalógového listu [18]

7.1.1.1. Výběr parametrů a návrh komponentů

Vychádzame z pôvodných požiadaviek na menič vid' tab. 3.1. Pri určovaní ďalších parametrov je nutné použiť údaje z katalógového listu obvodu LM5118 [18]. Pracovná frekvencia sa volí ako kompromis medzi rozmermi externých komponentov a spínacími stratami. Vysoká spínacia frekvencia zabezpečí malé rozmery, ale spôsobí väčšie straty v obvode. Riadiaci obvod LM5118 pracuje v rozsahu 50-500kHz, výsledná frekvencia pre prototyp je teda nastavená na $f = 300\text{kHz}$. Zvlnenie prúdu na induktore sa volí podľa doporučenej hodnoty z katalógového listu a to $I_{ripple} = 10\%$ z maximálnej hodnoty zaťaženia na výstupe. Hodnoty parametrov meniča zobrazuje tab. 7.1.

Najbližšia vybraná hodnota $C_{\text{ramp}} = 560\text{pF}$. Prúdový limit sa overí pomocou vzťahu (7.9) pre buck a (7.10) pre buck-boost mód.

$$\frac{I_{\text{limit}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} \quad (7.9)$$

$$\frac{I_{\text{limit}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} \quad (7.10)$$

Potom prúdové obmedzenie pre induktor (7.9) v móde buck nadobudne hodnotu:

$$\frac{I_{\text{limit}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}}$$

Podľa rovnice (7.10) je pre buck-boost mód hodnota prúdového obmedzenia rovná:

$$\frac{I_{\text{limit}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}}$$

Keďže obe hodnoty pre prúdové obmedzenie sú vyššie ako hodnoty špičkových prúdov na induktore v oboch módoch, nemusia sa rezistor R_{sense} a kondenzátor C_{ramp} znova prepočítavať. Ďalším krokom je určenie vhodnej hodnoty kapacity výstupných kondenzátorov podľa nasledujúcej rovnice (7.11):

$$C_{\text{out}} = \frac{D_{\text{max}} \cdot I_{\text{peak}}}{\Delta U_{\text{out}}} \quad (7.11)$$

kde D_{max} je maximálna strieda pri móde buck-boost, vypočíta sa podľa vzťahu (7.12). A ΔU_{out} je maximálne povolené zvlnenie výstupného napätia, je uvedené i v tab. 7.1.

$$D_{\text{max}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} \quad (7.12)$$

v tomto prípade je D_{max} určené ako:

$$D_{\text{max}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}}$$

Z vyššie zadaných hodnôt sa dá minimálna kapacita výstupných kondenzátorov určiť pomocou (7.11):

$$C_{\text{out}} = \frac{D_{\text{max}} \cdot I_{\text{peak}}}{\Delta U_{\text{out}}}$$

Teraz je nutné vypočítať jeho maximálny vnútorný sériový odpor (ESR).

$$\frac{R_{ESR1} + R_{ESR2}}{2} \quad (7.13)$$

Pretože vnútorný sériový odpor kondenzátoru (ESR) má byť menší ako vypočítaná hodnota **ESR $\leq 6,3m\Omega$** je vhodné použiť minimálne dva elektrolytické kondenzátory v paralelnom zapojení, v tomto prípade pri použití rovnakých dvoch kondenzátorov bude výsledný ESR rovný polovici menovitej hodnoty ESR jedného kondenzátoru. Pre získanie výsledného $ESR \leq 6,3m\Omega$ možno použiť elektrolytické kondenzátory s $ESR \approx 12m\Omega$. Ďalšie možné riešenie je tiež použitie keramických kondenzátorov s malou hodnotou ESR spoločne s elektrolytickými, pri paralelnom zapojení kondenzátorov sa ich kapacity sčítajú a ich vnútorné odpory ESR sa znížia na hodnotu menšiu, ako je hodnota z nich najmenšieho odporu.

Obvod LM5118 umožňuje funkciu jemného štartu z ang. soft-start. Tá sa nastavuje ako čas v *ms* pomocou externého kondenzátoru. Jeho výpočet popisuje (7.14). Z katalógového listu bola zvolená kapacita soft-start kondenzátoru ako $C_{ss} = 100nF$. Táto hodnota nastaví soft-start čas na $t_{ss} = 12ms$. Podľa katalógového listu je táto hodnota dostačujúca pre jemný štart obvodu (odznenie prechodových dejov) preto je použitá i pre tento obvod.

$$t_{ss} = 100 \cdot C_{ss} \quad (7.14)$$

Výstupné napätie obvodu sa nastavuje pomerom dvoch rezistorov R_4 a R_5 vid' obr. 7.1, zapojených na výstupe meniča. Spoločný uzol v spojení týchto rezistorov sa pripája na pin 8 (Feedback) obvodu LM5118. Týmto napätím sa pomocou spätnej väzby udržiava konštantné výstupné napätie. Pre výpočet je potrebné si najprv určiť pomer R_4/R_5 . Výpočet sa prevedie podľa rovnice (7.15).

$$\frac{R_4}{R_5} = \frac{V_{out} - V_{ref}}{V_{ref}} \quad (7.15)$$

Z tohto pomeru sa ďalej dopočítajú oba rezistory, pričom jeden z nich si zvolíme tak aby sa ich približne rovnali hodnotám z rady E12. Hodnotu R_4 zvolíme napr. ako $R_4 = 1,2k\Omega$. Hodnota R_5 sa vypočíta z pomeru R_4/R_5 a hodnoty rezistoru R_4 podľa nasledujúceho vzťahu (7.16)

$$\frac{R_4}{R_5} = \dots \quad (7.16)$$

Ďalej je potrebné nastaviť minimálnu hodnotu vstupného napätia pomocou napäťovej deličky zloženej z dvoch rezistorov a jedného kondenzátora. Podľa obr. 7.1 sa jedná o rezistory R_1 , R_2 a kondenzátor C_3 . Spoločný uzol spojenia týchto rezistorov sa privádza na pin 2 (U_{VLO}) riadiaceho obvodu. Rezistor R_1 sa volí v rozsahu od $10k\Omega$ do $100k\Omega$ ako udáva katalógový list [18]. Minimálna hodnota rezistoru R_2 sa potom dopočíta podľa vzťahu (7.17). Rezistor R_1 sa v tomto prípade zvolil ako $R_1 = 24k\Omega$.

$$\frac{R_1}{R_2} = \dots \quad (7.17)$$

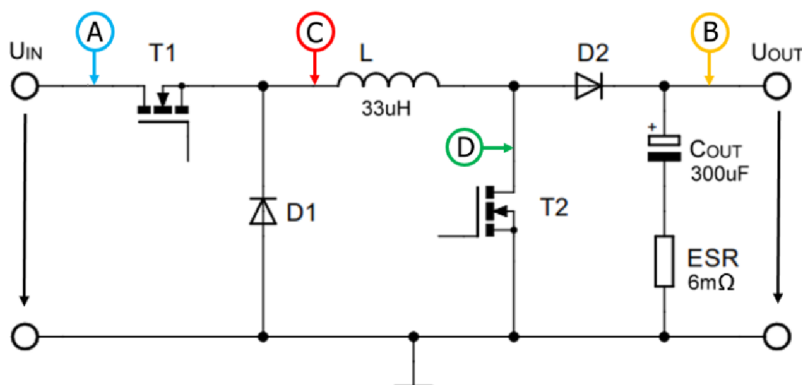
Kondenzátorom C_3 , ktorý slúži ako filter pre deličku napätia, sa tak isto nastavuje prídružný čas, potrebný pre návrat do pracovného módu po reštarte riadiaceho obvodu (z ang. slova „hiccup“) následne po dosiahnutí prúdového limitu. Napätie na pine U_{VLO} by nemalo nikdy prekročiť $15V$, čo je v tomto prípade splnené podmienkou, že vstupné napätie nedosiahne hodnoty vyššej ako $U_{in\ max} = 15V$. Úpravou rovnice (8.5) pri zadanom čase $t_{off} = 723\mu s$, pri predpokladanej nominálnej hodnote vstupného napätia $U_{in} = 12V$, podľa katalógového listu [18], nadobudne kapacitor C_3 hodnotu $C_3 \approx 335nF$.

$$\dots \quad (7.18)$$

7.2 3øpiüñøð IJCúďãđIĴðù ůéñïðãøůé

Aby bolo možné vybrať výkonové prvky obvodu, ako sú spínacie tranzistory (T1, T2), diódy (D1, D2), zároveň určiť sýtenie jadra cievky L (viď obr. 7.1) a získať priebehy z jednotlivých uzlov v obvode, pre overenie správnej funkcie tejto topológie, je potrebné vykonať simulácie obvodu podľa schémy znázornenej v literatúre [17] (Figure 4. a Figure 5. na strane 23). Simulácie boli vykonané pomocou programu OrCAD Capture podľa štandardu PSpice.

7.2.1 Výsledná schéma obvodu pre simulácie



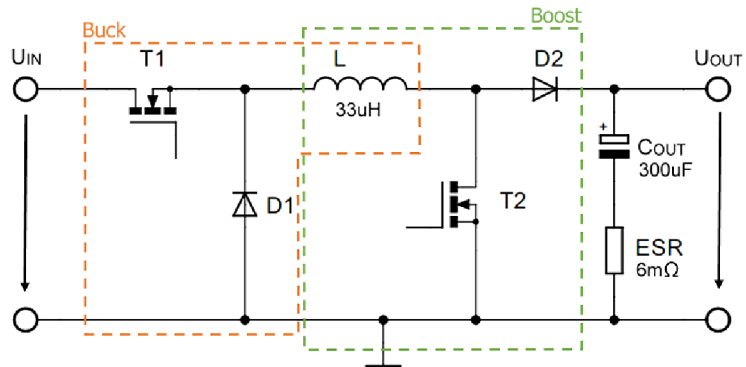
Obr. 7.2: Výsledná schéma obvodu pre simulácie

Na hore uvedenom obr. 7.2 je vyobrazená výsledná schéma obvodu výkonovej časti meniča. Obsahuje vypočítané hodnoty komponentov a sú na nej vyobrazené meracie body A-D, z ktorých sa získavali výstupy simulácií. A by bolo možné zmerať prúdy v obvode, na výstupe je zapojený zaťažovací rezistor s hodnotou $R = 2\Omega$, aby ním pretekal prúd $I = 2A$, čo predstavuje maximálne zaťaženie meniča z tab. 7.1.

Bod A je bodom, v ktorom sa meralo vstupné napätie voči výstupnému (**bod B**). V **bode C** sa snímala prúd pretekajúci induktorom, pre zobrazenie jeho veľkosti a overenie jeho správnych priebehov. **Bod D** slúži ako doplnujúci bod pre získanie veľkosti prúdu pretekajúceho tranzistorom T2. Prúd pretekajúci tranzistorom T1 je zhodný s prúdom induktora, takže na jeho meranie postačí snímať prúd z bodu C.

7.2.2 Zdieľaný prúd pre obidva

Ako bolo už spomínané v kapitole 3.5.2, topológia dvoj-prepínacového DC-DC meniča obsahuje len jednu indukčnosť, ktorá je spoločná pre obe dielčie topológie znižujúceho (buck) a zvyšujúceho (boost) meniča. Na obr. 7.3 je zobrazené rozdelenie týchto dvoch základných zapojení tvoriacich dvoj-prepínacový znižujúco-zvyšujúci DC-DC menič.



Obr. 7.3: Ukážka rozdelenia Two-switch meniča na dielčie časti

Podobne pri simuláciách sa museli uvažovať oba tieto módy (buck a boost) rozdielne. Testovali sa veličiny v obvode najprv pomocou prvého zapojenia **buck**, po dokončení simulácií buck meniča sa obvod prepojil a testoval sa mód **boost** meniča. Spínacie prvky, konkrétne oba tranzistory T1 a T2, boli v simuláciách nahradené pseudo-komponentami: **sp⁰naTmi riadenwmí nap±t⁰mako zdroj riadiaceho napätia pre tieto spínače** (náhrada obvodu LM5118) bol použitý: **zdroj obdvtnikovŕho priebehu**(komponent V_{pulse}) s nastavenou frekvenciou $f = 300kHz$. Pre oba módy bolo potrebné, v závislosti na vstupnom napätí, meniť striedu spínacieho signálu. Pre výpočet boli použité rovnice (3.3) pre znižujúci mód (buck) a (3.4) pre zvyšujúci mód (boost). Tab. 7.2. zobrazuje súhrn prevedených zmien v obvode pri porovnaní jednotlivých módov.

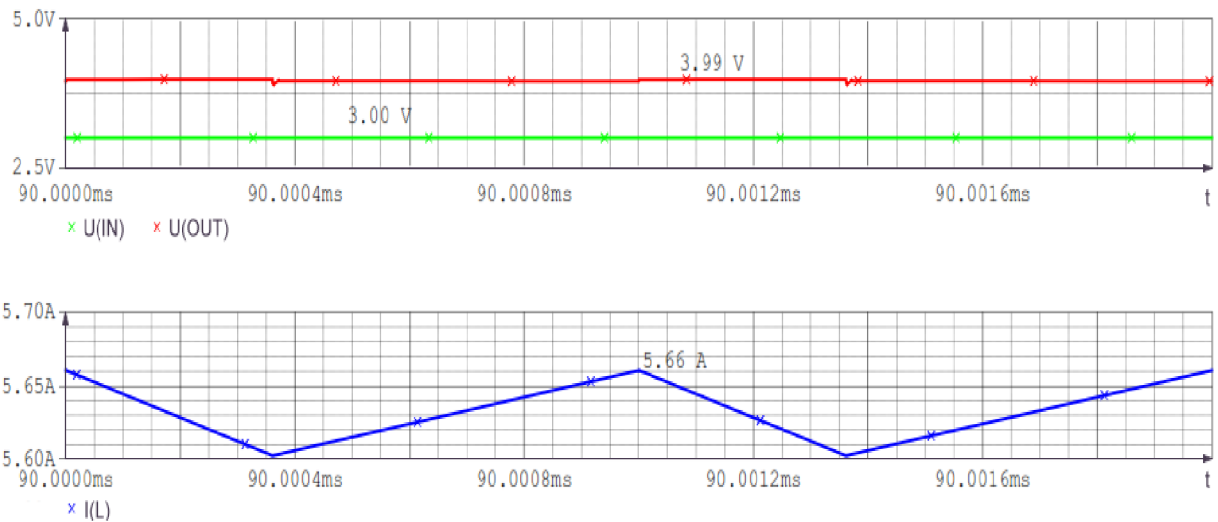
Tab. 7.2: Súhrn prevedených zmien v simuláciách

	MÆd meniča preveden® zmena	
	Buck	Boost
Vstupnŕ napätie	15 V	3V
Strieda sp⁰nacieho sign@lu	26%	25%
Tranzistor T1	spína	otvorený
Tranzistor T2	uzavretý	spína
DiÆdaD1	spína	uzavretá
DiÆdaD2	otvorená	spína

7.2.3 6ChŕiÆL lÆ ħpŕiŕŕiÆð lÆØXiùŕŕð÷Æ þðæøŕé

Obr. 7.4 zobrazuje výstupné priebehy zo simulácie znižujúceho (buck) módu meniča. Na hornom grafe je priebeh vstupného (merací bod A z obr. 7.2) a výstupného (merací bod B

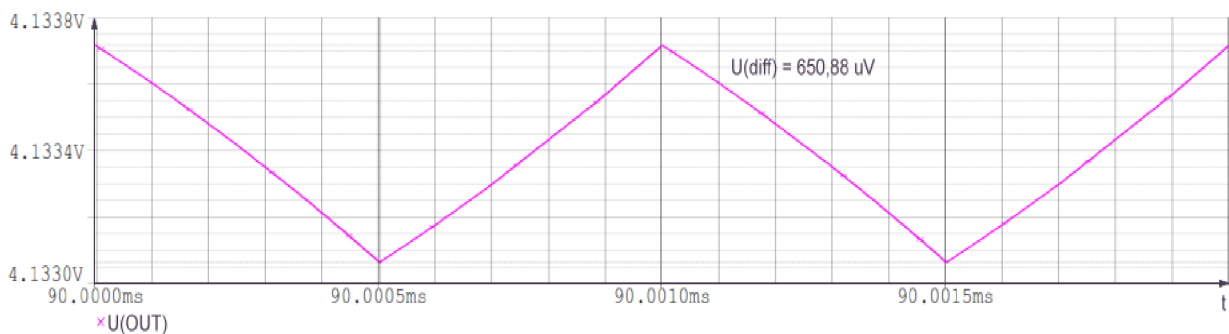
z obr. 7.2) napätia v závislosti na čase. Ako je možné vidieť výstupné napätie je jednosmerné a dosahuje hodnotu $U_{out} = 4V$. Vstupné napätie bolo nastavené podľa tab. 7.1 resp. tab. 3.1 na $U_{in} = 15V$.



Obr. 7.4: Výstup zo simulácie buck módu meniča

Spodná časť grafu obr. 7.4 zobrazuje priebeh prúdu pretekajúceho induktorom L (merací bod C z obr. 7.2). Ako je možné vidieť, priebeh prúdu má pílovitý tvar a odpovedá teórii [17] (Figure 4. strana 23). Pri buck móde dosahuje prúd maximálnu hodnotu $I_L = 2,13A$.

Ďalej sa simuláciou overilo zvlnenie výstupného signálu, jeho priebeh zobrazuje obr. 7.5. Hodnota zvlnenia pri móde buck je $\Delta U_{out} = 650,88\mu V$. Táto hodnota je dostatočne malá a splňuje požiadavky na menič uvedených v tab. 7.1.

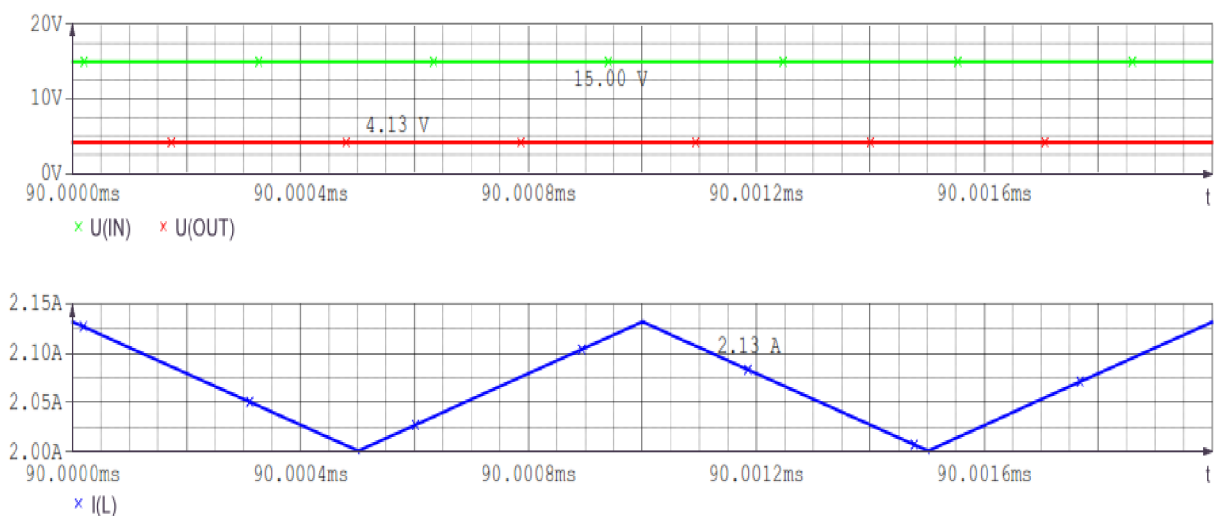


Obr. 7.5: Zvlnenie výstupného napätia pri móde buck

7.2.4 6ChiiēL id hōpiūfiōđ IJLuiūΓiđ÷đ pđāōŭē

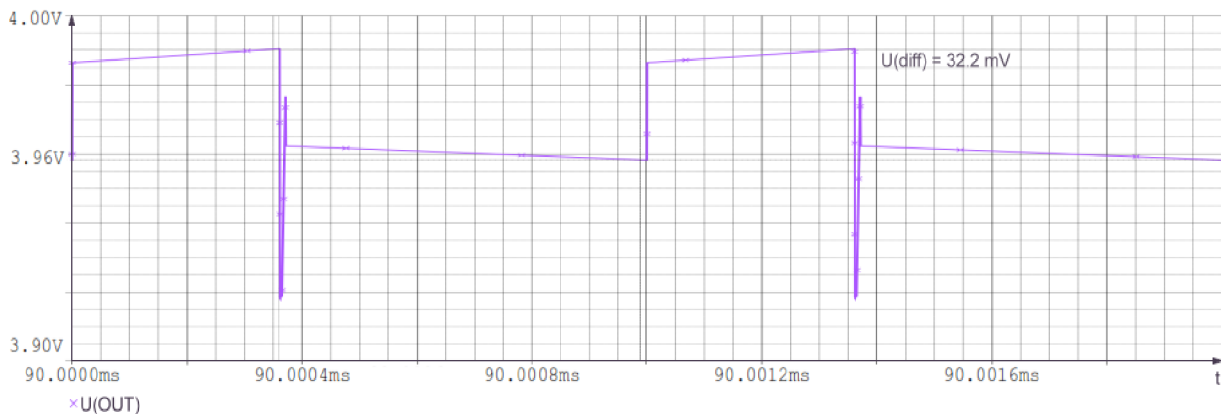
Výstupné priebehy veličín získaných zo simulácie zvyšujúceho (boost) módu dvoj-prepínačového meniča sú vyobrazené na obr. 7.6.

Horný graf zachytáva priebeh vstupného (merací bod A z obr. 7.2) a výstupného (merací bod B z obr. 7.2) napätia v závislosti na čase. Ako je možné vidieť výstupné napätie je jednosmerné a dosahuje opäť hodnotu $U_{out} = 4V$. Rozdiel oproti simuláciám z buck módu meniča, je vo viditeľnom zvlnení výstupného U_{out} . Vstupné napätie bolo nastavené podľa tab. 7.1 resp. tab. 3.1 na $U_{in} = 3V$ (vid' obr. 7.6).



Obr. 7.6: Výstup zo simulácie boost módu meniča

Spodná časť grafu zobrazuje opäť priebeh prúdu pretekajúceho induktorom L v meracom bode C z obr. 7.2. Opäť, ako v predošlom prípade, je jeho priebeh pílovitý a odpovedá teórií [17] (konkrétne Figure 5. strana 23).



Obr. 7.7: Zvlnenie výstupného napätia pri móde boost

Overenie zvlnenia výstupného napätia v móde boost je vyobrazené v obr. 7.7. Zo simulácií bola zistená hodnota zvlnenia výstupného napätia, tá nadobúdala hodnoty $\Delta U_{out} = 32,2\text{mV}$.

V tomto prípade je hodnota zvlnenia o niečo vyššia ako je jej hodnota zvolená pre výpočet meniča vid' tab. 7.1. Odchýlka od hodnoty určenej pre výpočty je dostatočne malá a preto ju môžeme zanedbať. Z toho dôvodu nie je nutné vykonať ďalší prepočet parametrov a považovať túto podmienku pre dosiahnutie parametrov meniča za splnenú.

7.2.5 Odhad výstupného napätia v móde boost

Nasledujúca tab. 7.3 zhrňuje dosiahnuté výsledky zo simulácií. Hodnoty prúdov spínacími súčiastkami a napätí v obvode boli odčítané z výsledkov simulácií a sú zobrazené v prílohách (príloha A-1 pre buck mód a príloha A-2 pre boost mód).

Tab. 7.3: Porovnanie výsledkov simulácie

		Mód meniča	
		Buck	Boost
Vstupné napätie	U_{in}	15 V	3 V
Výstupné napätie	U_{out}	4,13 V	3,99 V
Zvlnenie výstupného napätia	ΔU_{out}	650,88 μV	32,2 mV
Frekvencia	f	300 kHz	300 kHz
Strieda spínacieho signálu	s	26%	25%
Prúd induktorom	I_L	2,13 A	5,66 A
Prúd T_1	I_{T1}	2,09 A	I_L
Prúd T_2	I_{T2}	-	5,65 A
Prúd D_1	I_{D1}	2,13 A	5,66 A
Prúd D_2	I_{D2}	I_L	I_L

7.3 Návrh PCB pre výstupný napätie

Táto kapitola sa zaoberá návrhom prototypovej dosky pre DC-DC meniča napätia. Pre návrh dosky plošného spoja meniča, bol použitý CAD softvér Cadsoft EAGLE verzie 7.2.0. Jedná sa o populárny návrhový systém, ktorý obsahuje veľké množstvo knižníc s navrhnutými puzdrami komponent a pokročilými funkciami pre návrh i viac-vrstvých dosiek.

7.3.1 Návrh PCB pre výstupný napätie

Pri vytváraní schémy meniča sa vychádza z pôvodnej schémy zapojenia obvodu LM 5118 [18] resp. z obr. 7.1. Výsledná schéma je vyobrazená v prílohe B-1. Komponenty

boli vybrané na základe výpočtov z kap. 7.1.1, ďalej budú popisované i súčiastky, ktoré nie sú vo výpočtoch uvedené.

Kondenzátory

Vstupnú kapacitu pre filtráciu tvorí dvojica paralelne zapojených keramických kondenzátorov C_1 a C_2 , tie boli vybrané na základe doporučenej minimálnej hodnoty z katalógového listu LM 5118 [18]. Rozdiel tvorí výstupná kapacita, ktorá bola realizovaná v prevedení dvoch paralelne zapojených elektrolytických kondenzátorov C_9 a C_{10} a pre zabezpečenie stability obvodu (znížením ESR) k nim priradených keramických kondenzátorov s nízkou hodnotou ESR, konkrétne C_{11} a C_{12} . Ostatné hodnoty kondenzátorov použitých v obvode sú zvolené na základe výpočtov.

Rezistory

V obvode boli pre zjednodušenie návrhu použité rezistorové prepojenia s nulovou hodnotou odporu. Konkrétne R_{X1} slúži pre vytvorenie Kelvinovho spojenia na doske plošných spojov. Podrobnejšie je tento úkon popísaný v kap. 7.3.2. Rezistorová prepojka R_{X2} slúži v prípade jej vynechania, pre odpojenie externého napájacieho pinu V_{CCX} obvodu LM 5118. Pre dodržanie hodnôt z výpočtov meniča bolo potrebné rozdeliť rezistor R_5 na dva sériovo zapojené rezistory R_{5_1} a R_{5_2} .

Induktory

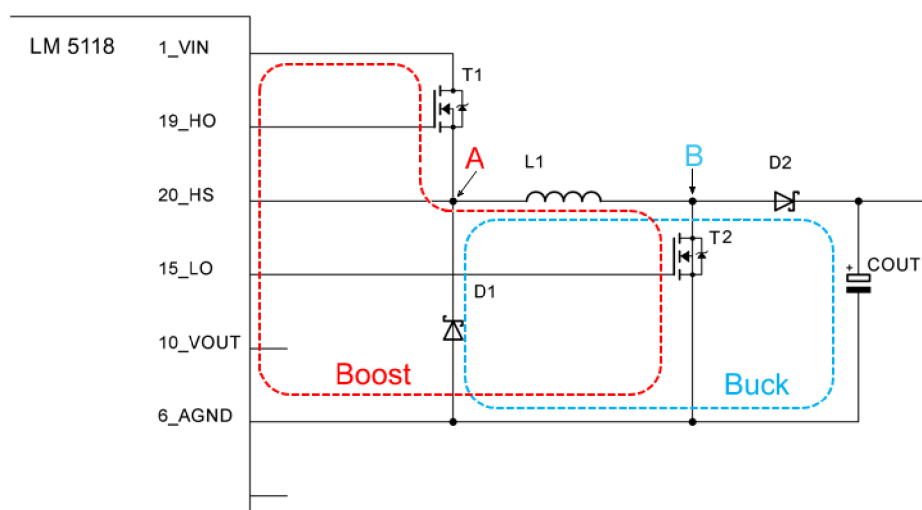
Induktor L_1 , ktorý je vo výkonovej časti obvodu musí, splňovať i výkonové požiadavky a byť navrhnutý na maximálne prúdy ním pretekajúce. Z hodnôt získaných simuláciou z tab. 7.3 bol zvolený induktor s maximálnym sýtením jadra pre prúd $I = 8A$. V tomto prípade je táto hodnota viac než dostačujúca, nakoľko induktorom nikdy nepreteká kontinuálny prúd s hodnotou vyššou než $I_{sim} = 5,66A$.

Polovodiče

Poslednými popisovanými komponentmi sú spínacie polovodičové MOS tranzistory a rýchle schottkyho diódy. Unipolárne MOS tranzistory sa vyznačujú dobrými spínacími vlastnosťami, znesú značné spínacie výkony a sú relatívne rýchle. Tranzistory sú použité s vodivosťou N (NMOS) pod označením T1 a T2 a sú realizované v puzdrách SO-8.

Schottkyho diódy boli vybrané práve vďaka malej kapacite PN prechodu a nízkej hodnote napätového úbytku v priepustnom smere (z ang. dropout-voltage). Tie sa v obvode nachádzajú celkovo 4 pod označením D1-D4. Ako je možné zo schémy zapojenia vidieť, vždy dve diódy sú zapojené paralelne, je to z dôvodu rozloženia výkonov, ktoré na diódy počas spínania pôsobia. Tým sa zníži i riziko ich poškodenia tepelnými účinkami.

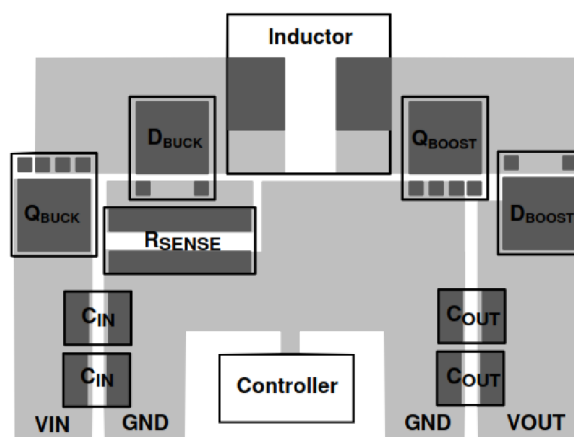
Návrh plošného spoja každého meniča je jeho kritickou časťou, práve kvôli vyššie spomínaným AC slučkám. Rýchlo meniace sa signály vo výkonovej časti obvodu, kde sa pracuje s vysokými prúdmi, navyše so strmými hranami, spôsobujú vznik parazitných indukčností, ktoré ďalej ovplyvňujú stabilitu obvodu. Vznik týchto parazitných vlastností môže ďalej nepriaznivo vplyvať na efektivitu zdroja alebo spôsobiť nepriaznivo pôsobiace napätové špičky. Jedným z vhodných riešení, ako eliminovať ich vplyv na ostatné časti obvodu, je minimalizovať plochu, ktorá slučka uzatvára. Ďalším z možných riešení je použitie viac-vrstvej dosky plošných spojov, na ktorej bude jedna celá vrstva navrhnutá ako spoločná zem s minimálnym krížením ostatných signálových ciest.



Obr. 7.8: Ukážka AC slučiek

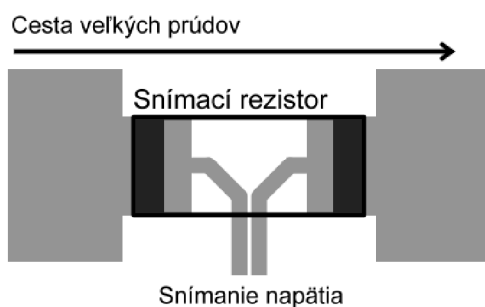
AC slučka pre DC-DC menič je znázornená na obr. 7.8. Červenou farbou je znázornená jedna zo slučiek pre boost mód meniča, modrá farba znázorňuje buck mód. Vysvetlenie červenej slučky (boost mód) vychádza z princípu funkcie zvyšujúceho (boost) meniča, ktorá je popísaná v literatúre [12]. Najprv sa zo **zdroja napätia** (vstupný zdroj V_{in}) nahromadí energia do **induktora L**, v tomto čase je tranzistor **T2** **zopnutá** cesta elektrického prúdu sa ním **uzatvára do zeme** (AGND). V čase kedy je tranzistor **T2** **vo vypnutom stave**, sa presúva nahromadená energia z induktora do výstupného **kondenzátoru C_{out}**, prúd priamo prechádza **cez diódu D2**. Tranzistor T1 je v tomto móde neustále v zopnutom stave a v ideálnom prípade predstavuje vodič bez akéhokolvek prechodového odporu. V oboch týchto prípadoch sa v každej zo znázornených slučiek mení prúd tejto slučky veľmi rýchlo (veľká zmena —). Na obr. 7.8 sú ďalej znázornené **spônicie body** ktoré sú tiež kritickou časťou pri návrhu meniča, v týchto bodoch (A a B) je zase veľká zmena napätia v čase (—) [22].

Návrh plošného spoja DC-DC meniča, ďalej používa doporučené metódy návrhu priamo od výrobcu obvodu LM 5118, ktoré sú uvedené v jeho katalógovom liste [18]. Pre lepšie pochopenie slúži obr. 7.9. Jedná sa o doporučený layout výkonovej časti. Sú na ňom zobrazené výkonové spínacie prvky ako sú diódy a tranzistory, induktor, vstupné a výstupné kondenzátory. Komponent „Controller“ predstavuje integrovaný obvod LM 5118. Do tohto návrhu je pridané i vhodné umiestnenie snímacieho rezistoru R_{sense} .



Obr. 7.9: Doporučený návrh layoutu výkonovej časti [18]

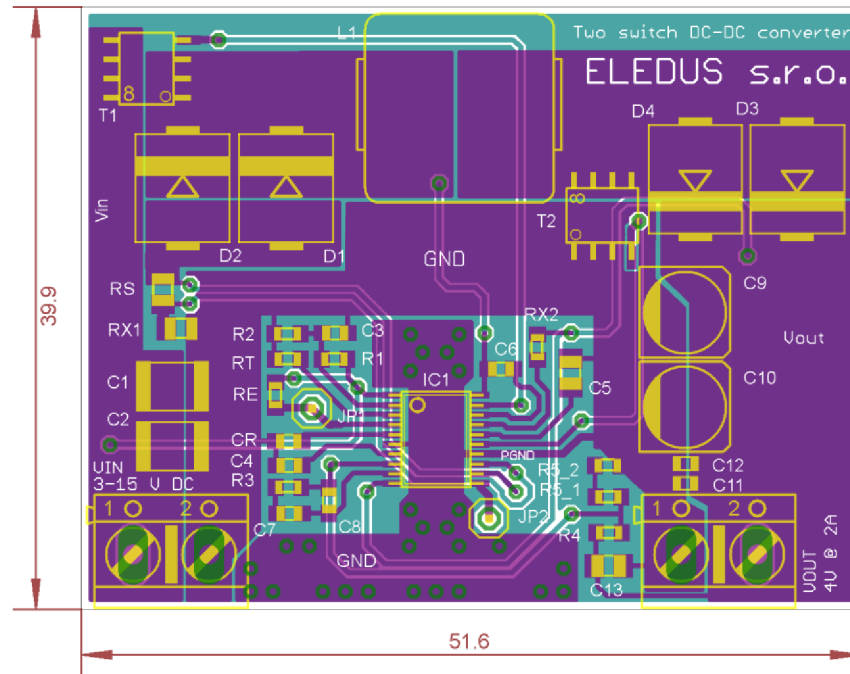
Ako bolo už spomínané, snímací rezistor R_{sense} je nutné pripojiť priamo k meracím pinom riadiaceho obvodu LM 5118, ale zároveň musí byť splnená podmienka návrhu z obr. 7.9. Táto realizácia bola prevedená pomocou Kelvinovho zapojenia [1] (alebo tiež tzv. štvor-vodičové snímanie), ktoré je možné vidieť na obr. 7.10. V eľkou výhodou je presnosť snímanej veličiny. Vodiče, ktoré snímajú napätie neovplyvňujú tie, ktoré snímajú prúd a naopak. Táto technika sa využíva v elektronike napríklad pre pripojenie termistorov.



Obr. 7.10: Princíp Kelvinovho pripojenia [1]

Výsledný návrh plošného spoja meniča s dodržaním všetkých hore uvedených pravidiel je znázornený obrázkom obr. 7.11. Filmové predlohy pre jeho výrobu sú uvedené v prílohách. Konkrétne príloha C-2 je filmovou predlohou pre zostrojenie hornej (TOP) vrstvy DPS a príloha C-3 zobrazuje vrstvu spodnú (BOTTOM). Pri návrhu sa vychádzalo z obvodovej

schémy vyobrazenej v prílohe B-1. Konečné rozmery prototypu meniča sú 51,6 x 39,3 mm. Tento plošný spoj je dostatočne malý a vhodný ako modul, ktorý sa bude vkladať priamo do prototypovej dosky plošných spojov pre obvod celého nabíjača. Ďalšie zníženie rozmerov nie je potrebné, nakoľko sa jedná len o testovací prototyp meniča napätia.



Obr. 7.11: Výsledný plošný spoj prototypu meniča (mierka 1:2)

Fialová farba predstavuje hornú vrstvu dosky tzv. TOP, modro-zelená je vrstva spodná BOTTOM. Na obr. 7.11 je možné ďalej vidieť popisy súčiastok (SILK SCREEN) značených bielou farbou, zhodujú sa s označením na obvodovej schéme (príloha B-1). Súčiastky sú značené farbou žltou. Ako je možné vidieť IO ovládača LM 5118 má realizované pripojenie termálnej plochy určenej pre odvod tepla. Táto plocha je pripojená na spoločnú zem (AGND) a pre lepší odvod tepla je prepojená so spodnou vrstvou zeme pomocou prekošených otvorov (zelené krúžky). Snímací rezistor R_{sense} je značený ako RS, aby bola splnená podmienka návrhu a program pre návrh nezobrazoval chybové hlásenia, bolo nutné pripojiť do série s rezistorom RS rezistorovú prepojku RX1. Tá pripája snímací rezistor k hlavnej prúdovej vetvi. Kelvinovo pripojenie pre meranie napätia na rezistore RS je realizované dvomi vedľa seba vedúcimi vodičmi. Pomocou prekošených otvorov sa tieto signálové cesty vedú skrz spodnú zemniacu vrstvu a pripájajú sa na piny CS a CSG integrovaného obvodu LM 5118.

8 .I}H÷ pđíüı āéêZùéűé

Pri konečnom návrhu modulu nabíjača sa postupovalo podľa blokovej schémy zapojenia popísanej v kapitole 1, ktorá je ďalej vyobrazená na obr. 1.1. Účelom bolo vytvoriť elektronické zapojenie zodpovedajúce tejto blokovej schéme, z ktorej sa ďalej vytvoril návrh dosky plošného spoja.

8.1 6CêđH IJ÷ďíāCì÷ úđpěđāđāīđIJ

Modul nabíjača musí spĺňať určité pracovné podmienky. Tými sú hlavne malé rozmery, signalizácia stavu nabíjania akumulátora, možnosť regulácie nabíjacieho prúdu a nabíjanie jak Li-ion tak Li-pol akumulátorov. Malé rozmery sú dosiahnuteľné hlavne použitím SMT technológie. Pre splnenie daných parametrov bol ako základný nabíjací systém, zvolený integrovaný obvod popisovaný v kapitole 6, ktorého doporučené zapojenie je vyobrazené na obr. 6.1. Ten je ďalej popisovaný v nasledujúcej podkapitole.

8.1.1)āīđóHđIJéāC đIJđí āéêZùéűé

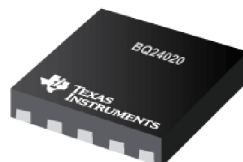
Výsledný modul nabíjača musí spĺňať požiadavky spolupracujúcej firmy Eledus s.r.o., v jednoduchosti to znamená, že musí byť predovšetkým schopný nabíjať akumulátory, ktoré táto firma používa. Používané akumulátory danej firmy, spoločne s porovnaním nabíjacích prúdov, sú rozpísané v tab. 8.1.

Tab. 8.1: Prehľad akumulátorov používaných firmou Eledus s.r.o.

Kapacita [mAh]	Nab°janie 1C [mA]	Nab°janie 1/10 C [mA]
Akumul@tor typu: Li-ion		
850	850	85
1350	1350	135
4000	4000	400
Akumul@tor typu: Li-pol		
1100	1100	110
3350	3350	335
4500	4500	450

Ako vhodný IO, ktorý tvorí základ nabíjacieho systému modulu nabíjača, bol zvolený obvod **bq24012** z radu IO **bqTINY** (viď kap. 6.1). Tento obvod spĺňuje dané požiadavky pre nabíjacie prúdy akumulátorov popísaných v tab. 8.1. Jediným obmedzením je v tomto prípade

maximálny nabíjací prúd, ktorý je daný štruktúrou IO a to $I_{out_max} = 1A$. Tento integrovaný obvod sa nachádza v puzdre QFN-10 s rozmermi 3x3 mm (ako je popísané v kapitole 6.1). Ako ukážka slúži obr. 8.1.



Obr. 8.1: Ukážka realizácie obvodu bqTINY v puzdre QFN

Pre reguláciu prúdu je použitý digitálny potenciometer, ktorý nahrádza pevný nastavovací rezistor. Hodnota nastavovacieho rezistoru v závislosti na nabíjacom prúde sa určí pomocou rovnice (8.5), ktorá bola zistená priamo z katalógového listu bq24012 [16].

$$\text{-----} \tag{8.1}$$

Pomocou jednoduchšej matematickej úpravy potom získame rovnicu:

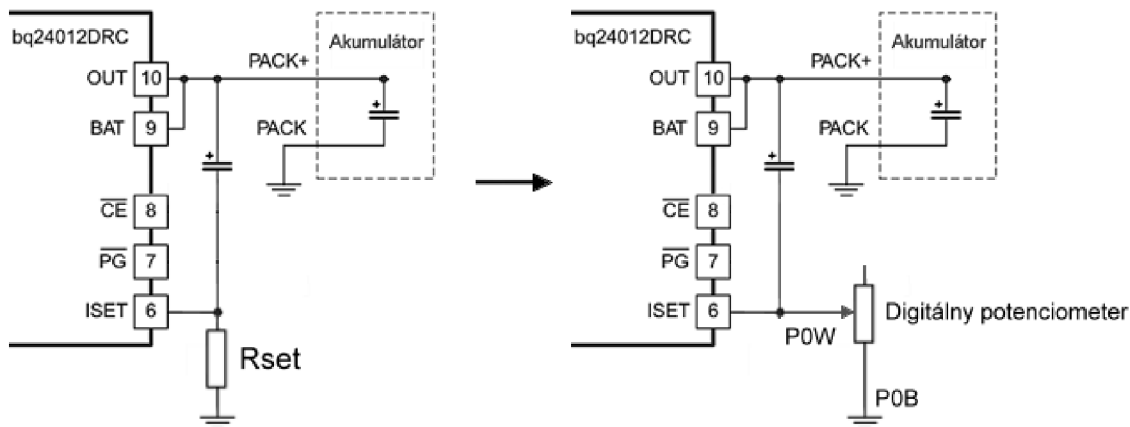
$$\text{-----} \tag{8.2}$$

Dosadením hodnôt získaných z katalógu potom vypočítame maximálnu a minimálnu hodnotu odporu pre nastavenie prúdu, kde za K_{SET} sa zvolila priemerná hodnota $K_{SET} = 350$, $U_{SET} = 2,5V$. Za minimálny prúd sa volí hodnota $I_{out_min} = 100mA$ a za maximálny $I_{out_max} = 1A$. Tieto hodnoty zodpovedajú základnému zapojeniu [16].

$$\text{-----}$$

$$\text{-----}$$

Požiadavkou spolupracujúcej firmy ďalej bolo, aby sa pre riadenie nabíjacieho prúdu použil práve integrovaný digitálny potenciometer s označením **MCP455x** od firmy Microchip. Tento digitálny potenciometer obsahuje **střriovß zbernicu ĩC**, s ktorou sa za pomoci mikrokontroléru ovláda nastavenie výstupnej hodnoty potenciometra. V tomto prípade nie je nutné použiť daný obvod ako potenciometer, ale využíva sa práve reostatické zapojenie, kedy je jedna z krajných svoriek nezapojená. Stredný vodič premenlivého odporu (pin POW obvodu MCP455x) sa pripojí priamo na nastavovací pin (pin I_{SET} obvodu bq24012) pričom pevný koniec odporu (pin P0B) je pripojený na spoločnú zem. Týmto zapojením sa získa regulovateľný rezistor ako náhrada pevného rezistoru R_{set} z obr. 6.1. Princíp nahradenia nastavovacieho rezistoru zobrazuje obr. 8.2.



Obr. 8.2: Princíp nahradenia pevného nastavovacieho rezistoru

Pre tieto účely bol zvolený integrovaný obvod **MCP4552** s maximálnou hodnotou odporu **10k Ω** . Táto hodnota odporu bola zistená pomocou (8.2) úpravou rovnice z katalógového listu obvodu bq24012. Maximálna hodnota odporu je daná minimálnym nabíjacím prúdom. Minimálny nabíjací prúd je v tomto prípade $I_{\text{charge}} = 100\text{mA}$ [16] a splňuje požiadavky na nabíjač. Jemné doladenie nastavenej hodnoty je zabezpečené tým, že tento obvod dokáže rozdeliť jeho maximálnu hodnotu až na 256 častí. Na jednu nastavovaciu hodnotu potom pripadá približne **39 Ω** .

8.1.2 6CúďadĹĹ ěĤďěZäěűď

V ýkonové prepínače sú tiež jedným zo základných stavebných blokov modulu nabíjača. Ich vlastnosti bližšie popisuje kapitola 4. V elektronickej schéme (príloha B-2) sú označené značkou SW (z angl. switch). Pretože prvé štyri prepínače (SW1-SW4) majú spracovávať napätia vyššie ako $U_{\text{IN}} \text{ ě } 4\text{V}$, je nutné vybrať iný typ, než prepínače sú SW5-SW7, ktoré pracujú do $U_{\text{IN}} = 4\text{V}$ (viď obr. 1.1: Bloková schéma modulu nabíjača). V obvode sú tieto prepínače realizované integrovanými prepínačmi **NCP45524** od spoločnosti On Semiconductor. Ich popis je uvedený v katalógovom liste [13]. Tieto prepínače majú nízky prechodový odpor $R_{\text{ON}} = 18\text{m}\Omega$ pri napájacom napätí $V_{\text{CC}} = 3.3\text{V}$ a v závislosti od vstupného napätia sa zvýši len veľmi málo. Ich výhodou je, že dokážu pracovať do hodnoty vstupného napätia $U_{\text{IN}} = 13,5\text{V}$.

Za prepínače SW5-SW7 boli zvolené integrované prepínače **TPS22965** od spoločnosti Texas Instruments, ktoré sú bližšie popísané katalógovým listom [21]. Tieto prepínače pracujú do hodnôt vstupných napätí $U_{\text{IN}} = 5,7\text{V}$. Keďže vstupné napätie U_{IN} neprekročí hodnotu $U_{\text{IN}} = 4\text{V}$, sú viac než postačujúce. Oba typy vyššie spomínaných prepínačov sú realizované v puzdrách QFN-8 a dimenzované na prechádzajúce prúdy až do hodnoty $I = 6\text{A}$.

a meranie bude tým presnejšie. Po určení napätia na rezistore R_{MEAS} dopočítame z Ohmovho zákona hodnotu jeho odporu:

$$R_{MEAS} = \frac{U_{MEAS}}{I_{MEAS}} \quad (8.5)$$

Pomocou rovnice (8.3) dopočítame zostávajúce hodnoty odporových deličov, pričom jeden z deličov sa vždy zvolí a následne sa dopočíta druhý z rezistorov. Od voľby prvého rezistoru R_1 závisí samozrejme hodnota druhého R_2 . A by bolo dosiahnutá čo najpresnejšia zhoda vypočítanej hodnoty rezistoru R_2 v rámci rady E12 hodnotu R_1 upravíme. Spodná tab. 8.2 zobrazuje vypočítané hodnoty deličov, značenie je zhodné so schémou modulu nabíjača príloha B-2.

Tab. 8.2: Hodnoty napäťových deličov pre AD prevodníky

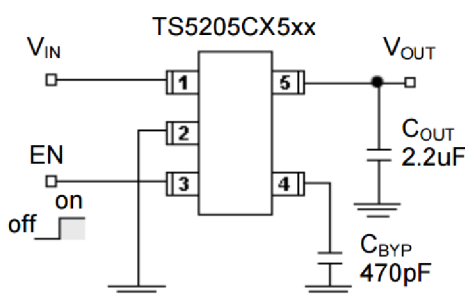
Označenie v schéme	Hodnota	Poznámka
Delič napätia solárneho článku		
R4	2,4k Ω	Určený
R5	560 Ω	Vypočítaný
Delič napätia externého zdroja		
R6	2,4k Ω	Určený
R7	560 Ω	Vypočítaný
Delič napätia z akumulátora		
R8	1k Ω	Určený
R9	1,5k Ω	Vypočítaný

8.1.4 .éētùéāōđ

Posledným stavebným blokom je to napájací zdroj. V obvode sa nachádzajú celkovo dve napájacie napätia. Jedno je pevne nastavené na hodnotu $U_{CC1} = 3,3V$, slúži pre napájanie MCU, digitálneho potenciometra a prepínačov SW1-SW4. Prepínače SW5-SW7 odoberajú napätie priamo z akumulátora. Toto napätie značené ako U_{CC2} sa pohybuje v rozmedzí $U_{CC2} = (3,6 - 4,2)V$. Pri pripojení na U_{CC1} s hodnotou 3,3V by výstupné napätie nedokázalo túto hodnotu presiahnuť [21]. Integrovaný obvod nabíjača bq24012 je schopný prijať napájací výkon priamo z jeho vstupného napätia.

Ako zdroj pevného napätia U_{CC1} bol zvolený obvod **TS5205** od firmy Taiwan Semiconductor [15]. Jedná sa o nízkošumový lineárny regulátor napätia. Je realizovaný v puzdre SOT-25 a možný odoberaný prúd je až $I = 150mA$. Pre potreby napájania modulu

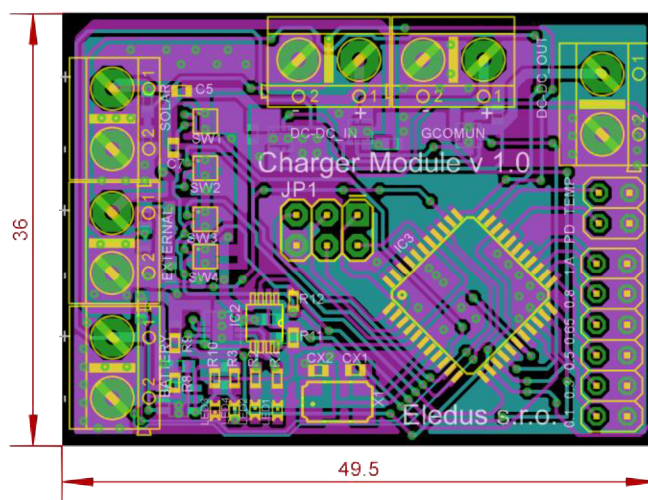
nabíjača je táto hodnota viac než dostačujúca, nakoľko predpokladaný odber túto hodnotu nepresiahne. Konkrétny obvod so značením CX533 dodáva v základnom zapojení do obvodu napätie $U_{out} = +3,3V$. Obvodové zapojenie zobrazuje obr. 8.3. Z obrázku je možné vidieť povolovací pin obvodu s označením EN (enable). Ním sa dá regulátor podľa potreby zapínať a vypínať. V tomto návrhu nie je potrebné ovládať napájanie ostatných obvodov a preto sa pin EN zapojí priamo na vstup U_{in} .



Obr. 8.3: Obvodové riešenie napájacieho zdroja [15]

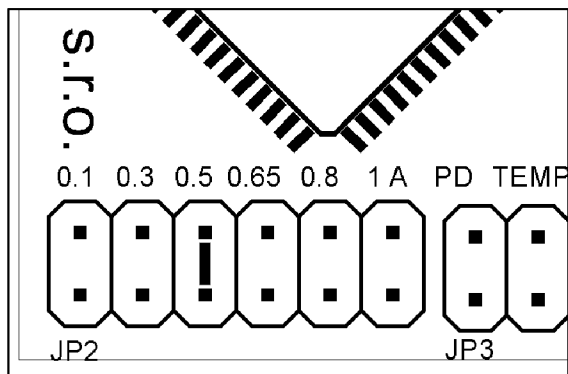
8.2 .ИЈН÷ íđĥúĹ: ëüđŭā ÷đ ħëđŭé

Podobne ako pri návrhu plošného spoja DC-DC meniča popísaného v kapitole 7, sa i pri tomto návrhu dodržiavali rovnaké návrhové pravidlá a pre realizáciu bol použitý návrhový systém Cadsoft Eagle verzie 7.2.0. Návrh dosky je realizovaný na dvoj-vrstvom plošnom spoji s rozmermi **36 x 49,5 mm**. Na obr. 8.4 je vidno realizáciu návrhu, kde fialová farba predstavuje hornú vrstvu (TOP) a modrá vrstvu spodnú (BOTTOM). Návrh bol vytvorený podľa obvodovej schémy znázornenej v prílohách (príloha B-2). Obe vrstvy sú realizované ako spoločná zem, v ktorej sú vedené signálové spojenia.



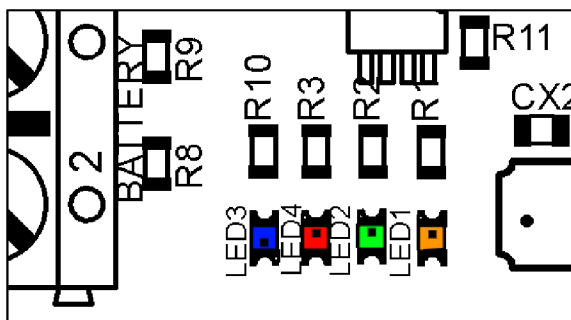
Obr. 8.4: Výsledný návrh dosky plošného spoja modulu nabíjača (mierka 1:2)

Vstupné a výstupné svorky sa nachádzajú na okraji DPS, spoločne s kolíkovou lištou pre pripojenie externých snímačov a regulácie prúdu. Svorka so značením **SOLAR** slúži pre pripojenie solárneho článku, svorka **EXTERNAL** pre pripojenie externého napájacieho zdroja a svorka **BATTERY** je pripojenie k akumulátoru. Manuálna regulácia sa nastavuje na kolíkovej lište so značením JP2, sú na nej vyznačené hodnoty prúdov. Nastavenie je možné realizovať prepojením jedných z nastavovacích pinov k zemi. Pre lepšie pochopenie slúži obr. 8.5, kde je realizované nastavenie prúdu na $I_{\text{charge}} = 500\text{mA}$.



Obr. 8.5: Ukážka nastavenia prúdu na lište JP2

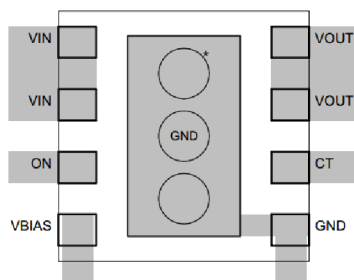
Pripojenie MCU k programátoru je realizované pomocou 6 pinovej kolíkovej lišty, ktorá je pripojená k rozhraniu **ISP** (In System Program). Tá má značenie JP1. Lišta JP3 je prídavná lišta pre pripojenie snímača teploty (TEMP), ten je privedený priamo na jeden z AD prevodníkov MCU. Pin PD slúži pre pripojenie fotodiódy a signál je privedený na vstupný pin MCU. Komunikácia medzi MCU a fotodiódou je daná len prostredníctvom logickej úrovne.



Obr. 8.6: Ukážka signalizačných LED diód

Na plošnom spoji sú navrhnuté celkovo 4 signalizačné LED diódy, názorné zobrazenie je na obr. 8.6. LED dióda so značením LED1 (Charge) má oranžovú farbu a signalizuje nabíjanie akumulátora. V čase kedy je akumulátor práve nabíjaný prúdom emituje viditeľné žiarenie. LED2 (Done), farby zelenej, sa rozsvieti ak je akumulátor plne nabitý. LED3 (Power Good) signalizuje chybu v obvode, napríklad odpojený alebo poškodený akumulátor.

Tá je v prevedení červenej farby. Posledná signalizačná dióda LED4 (3V3 ON) je farby modrej a signalizuje správnu funkciu napájacieho obvodu TS5205.



Obr. 8.7: Doporučený návrh layoutu prepínačov [21]

Pod prepínačmi (SW1 - SW7) a integrovaným nabíjačom (IC 1) sú prekovené otvory pre spojenie oboch zemí obr. 8.7, použité prepojenie je vhodné pre dosiahnutie lepšieho odvodu tepla zo súčiastky (snaha rozptýliť stratový výkon do okolia). Tento spôsob je uvedený ako vhodné riešenie v katalógových listoch oboch obvodov [16] a [21]. V nasledujúcej tab. 8.3. je znázornený zoznam použitých komponentov z návrhu modulu nabíjača. Označenie je zhodné s obvodovou schémou z príloh (príloha B-2).

Tab. 8.3: Zoznam použitých komponentov z návrhu modulu nabíjača

Označenie	Hodnota	Puzdro
C1, C12	100n	C0603
C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11	1u	C0603
C2	470n	C0603
CX1, CX2	18p	C0603
C3	470p	C0603
C4	2.2u	C0805
IC1	BQ24012	QFN-10
IC2	MCP4552-10k	SOP65
IC3	MEGA16L	TQFP44
IC4	TS5205-CX33	SOT25
SW1, SW2, SW3, SW4	NCP45524	DQFN-8
SW5, SW6, SW7	TSP22965	DQFN-8
X1	8MHz	CTS406
LED1, LED2, LED3, LED4		LED0603
R1, R2, R3, R5, R7, R10, R11, R12	560R	R0603
RMEAS	0.01R	R0603
R4, R6	2k4	R0603
R8	1k	R0603
R9	1k5	R0603

:HJøH

Zadaním tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť modul nabíjača akumulátorov špecifický pre zabezpečovacie GSM zariadenie. Celkovo boli navrhnuté dva obvody, samotný modul nabíjača a DC-DC menič, ktorý je dôležitým stavebným blokom daného modulu nabíjača. Oba plošné spoje sú realizované v čo najmenších možných rozmeroch s použitím SMT technológie výroby. Prvých šesť kapitol (kapitola 1-6) popisuje teoretické poznatky potrebné k vytvoreniu návrhu modulu nabíjača a DC-DC meniča. Posledné dve (kapitola 7-8) majú skôr praktický charakter. Je v nich rozpísaný kompletný návrh schémy obvodov s výpočtami, výberom komponentov a následným návrhom dosky plošného spoja.

V kapitole 1 je vyobrazená a popísaná bloková schéma samotného modulu nabíjača. Obsahuje modul DC-DC meniča, ako zdroj napätia pre zabezpečovacie GSM zariadenie GComun, od firmy Eledus s.r.o., výkonové prepínače, ktoré zabezpečujú prepájanie vstupných napätí zo zdrojov energie. A v neposlednej rade integrovaný systém nabíjača spoločne s vhodným akumulátorom. Posledným blokom je riadiaci mikrokontrolér pre riadenie prepínačov a snímanie veličín v rámci modulu nabíjača. Podľa tejto schémy sa ďalej vytvoril algoritmus prepínania prepínačov, ktorý je ďalej rozpísaný v kapitole 2.

Samotný DC-DC menič je popísaný v kapitole 3. Za základ bola zvolená topológia *Two-switch (dvoj-prepínačového)* meniča s riadiacim obvodom *LM5118* od firmy Texas Instruments. Výpočty potrebné k výberu vhodných súčiastok a kompletný návrh meniča je bližšie popísaný v kapitole 7. Tá okrem návrhu obsahuje i vstupnú simuláciu výkonovej časti obvodu, pre bližšie zistenie jeho správania v rozličných módoch. Menič bol realizovaný na dvoj-vrstvom plošnom spoji s rozmermi $51,6 \times 39,3 \text{ mm}$. Pracuje v rozmedzí vstupných napätí od $3 - 15 \text{ VDC}$, toto napätie spracováva na výstupné 4 V DC s maximálnym zaťažovacím prúdom 2 A .

Návrh plošného spoja nabíjača akumulátorov popisuje bližšie kapitola 8. Podobne ako DC-DC menič, tak i tento modul bol navrhnutý na dvoj-vrstvom plošnom spoji s rozmermi $36 \times 49,5 \text{ mm}$. Plošný spoj obsahuje vstupné svorky pre pripojenie zdrojov energie, svorky pre pripojenie modulu DC-DC meniča a svorku batérie. Spínanie výkonových prepínačov je realizované pomocou mikrokontroléru *ATmega16L*, ktorý ďalej ovláda nabíjací prúd pomocou sériovej komunikácie s digitálnym potenciometrom.

:dl̄āép ēdl̄XØīðù üøīðHéIΓHΛ

- [1] All About Circuits, *Kelvin (4-wire) resistance measurement*. [webová stránka], dostupné z: http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_8/9.html
- [2] Atmel, ATmega16L 8-bit AVR Microcontroller, [katalógový list], dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2466.pdf>
- [3] Belza Jaroslav, *Lítiové akumulátory a jejich nabíjení*, [webová stránka], Dostupné z: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [4] Critical Power Supplies, *Different types of UPS design*, dostupné z: <http://www.criticalpowersupplies.co.uk/How-ups-systems-work>
- [5] Elektro bicykle, *Všetko o bateriách*, [online článok], dostupné z: http://www.elektrobicykle.sk/info/vsetko_o_bateriach/
- [6] IGMB Pow, *Low temperature lithium polymer battery*, [webová stránka], dostupné z: http://www.gmbattery.com/product/low_temperature_lithium_polymer_battery.htm
- [7] Khandker Tawfique Ahmed, Mithun Datta, Nur Mohammad, *A Novel Two Switch Non-inverting Buck-Boost Converter based Maximum Power Point Tracking System* dostupné z: <http://iaesjournal.com/online/index.php/IJECE/article/viewFile/2772/pdf>
- [8] LI Alan, BENDEL John, *Design with MOSFET Load Switch*, [článok], Fairchild Semiconductor, 1998, 11 s., dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-1030.pdf>
- [9] LUST, Radek. *Měření kapacity akumulátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 44 s. Bakalářská práce.
- [10] Microchip, MCP4552 8-bit Digital Potentiometer, [katalógový list], dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/630691.pdf>
- [11] NANCE, S. *Switching Power Supply PCB Layout Seminar*. [online video-sekvencia] dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gq-0ZpcGm8E>
- [12] NOVOTNÝ, Vladislav; PATOČKA, Miroslav; VOREL, Pavel. *Napájení elektronických zařízení* [skripta]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2003. 140 s. ISBN 80-214-2300-5.

- [13] On Semiconductor, *NCP45524 Load Switch*, [katalógový list], dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP45524-D.PDF
- [14] Quectel, M95 GSM Communicator, [katalógový list], dostupné z: http://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/M95_Hardware_Design_V1.3.pdf
- [15] Taiwan Semiconductor, *TS5205-CX33 Low Noise Voltage regulator*, [katalógový list], dostupné z: http://www.taiwansemi.com/products/datasheet/TS5205_H07.pdf
- [16] Texas Instruments, *BQ24012 Single Cell Li-Ion Battery Solar Charger*, [katalógový list], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24210.pdf>
- [17] Texas Instruments, *Design tips for an efficient non-inverting buck-boost converter* [online], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slyt584/slyt584.pdf>
- [18] Texas Instruments, *LM5118 Wide Voltage Range Buck-Boost Controller*, [katalógový list], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5118.pdf>
- [19] Texas Instruments, *Single-Chip Li-Ion Charge Management IC for Handheld Applications*, [katalógový list], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24013.pdf>
- [20] Texas Instruments, *TPS2291 Load Switch*, [katalógový list], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps22914b.pdf>
- [21] Texas Instruments, *TPS22965 Load Switch*, [katalógový list], dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps22965.pdf>
- [22] VIČAR, O. *System napájení s vysokou účinností pro mobilní zařízení*. [diplomová práce] Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 88 s. Diplomová práce.

Zoznam symbolov a skratiek

μm	mikrometer, jednotka dĺžky
A	Ampér, jednotka elektrického prúdu
AC	striedavé napätie
AD	označenie prevodníku z analógového signálu na digitálny
AGND	analogová zem
C	kondenzátor
CE	povolovací pin nabíjača (charge enable)
COMP	porovnávací pin
D	dióda
DC	jednosmerné napätie
D_{max}	Maximálna strieda [%]
D_{min}	Minimálna strieda [%]
EN	povolovací pin
ESR	vnútorný sériový odpor (Equivalent Serial Resistance)
f	Frekvencia [Hz]
F	Farad, jednotka kapacity
FB	spätoväzobný pin
GND	zem
H	Henry, jednotka indukčnosti
HTSSOP-20	puzdro IO s 20 vývodmi a termálnou ploškou pre chladenie
Hz	Herz, jednotka frekvencie, kmitočtu
I	elektrický prúd [A]
IC	integrovaný obvod, IO, integrated circuit (ENG)
in	vstup
IO	integrovaný obvod (SK)
I_{peak}	Špičkový prúd [A]
I_{sim}	prúd zo simulácie [A]
L	cievka, induktor
Li-ion	Lithium-ion (druh akumuátora)
Li-pol	Lithium-polymer (druh akumulátora)
max	najväčšia hodnota, maximum
MCU	mikrokontrolér (microcontroller unit)
Min	najmenšia hodnota, minimum
mm	milimeter, jednotka dĺžky
MOS	štruktúra, spojenie kov-izolant-polovodič (Metal-Oxid-Semiconductor)
out	výstup
Pin	vývod integrovaného obvodu
QFN	Quad-flatt no-lead (puzdro IO)
R	rezistor, odpor
R_{sense}	snímací rezistor
s, D	strieda, pracovný cyklus
S, SW	prepínač (switch)
SMT, SMD	Surface mount technology/device – označenie technológie

SO-8	small outline – puzdro s ôsmimi vývodmi
SOIC	Small-integrated circuit (puzdro IO)
SYNC	synchronizačný pin
T	tranzistor
t	Čas [s]
t _{ss}	Čas pre jemný nábeh (soft-start) [s]
U	Napätie [V]
U _{in} , V _{in}	vstupné napätie [V]
U _{out} , V _{out}	výstupné napätie [V]
V	Volt, jednotka napätia
V _{cc}	napájacie napätie
V _{ccx}	pomocné napájacie napätie
ΔU _{out}	zvlnenie výstupného napätia [V]
Ω	ohm, jednotka elektrického odporu

:dlāép ēHŽüđ÷

A. VψSTUPY ZO SIMULECIP

Príloha A-1: Výstup časovej analýzy pre buck mód meniča

Príloha A-2: Výstup časovej analýzy pre boost mód meniča

Príloha A-3: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde buck

Príloha A-4: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde boost

B. SCHĚMY ZAPOJENP

Príloha B-1: Elektrická schéma zapojenia DC-DC meniča

Príloha B-2: Elektrická schéma zapojenia modulu nabíjača

C. NĚVRHY PLOπNψCH SPOJO V

Príloha C-1: Osadzovací plán DC-DC meniča (mierka 1:2)

Príloha C-2: Doska plošného spoja meniča horná vrstva TOP (mierka 1:2)

Príloha C-3: Doska plošného spoja meniča spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

Príloha C-4: Osadzovací plán modulu nabíjača, vrstva TOP (mierka 1:2)

Príloha C-5: Osadzovací plán modulu nabíjača, vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

Príloha C-6: Doska plošného spoja nabíjača horná vrstva TOP (mierka 1:2)

Príloha C-7: Doska plošného spoja nabíjača spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

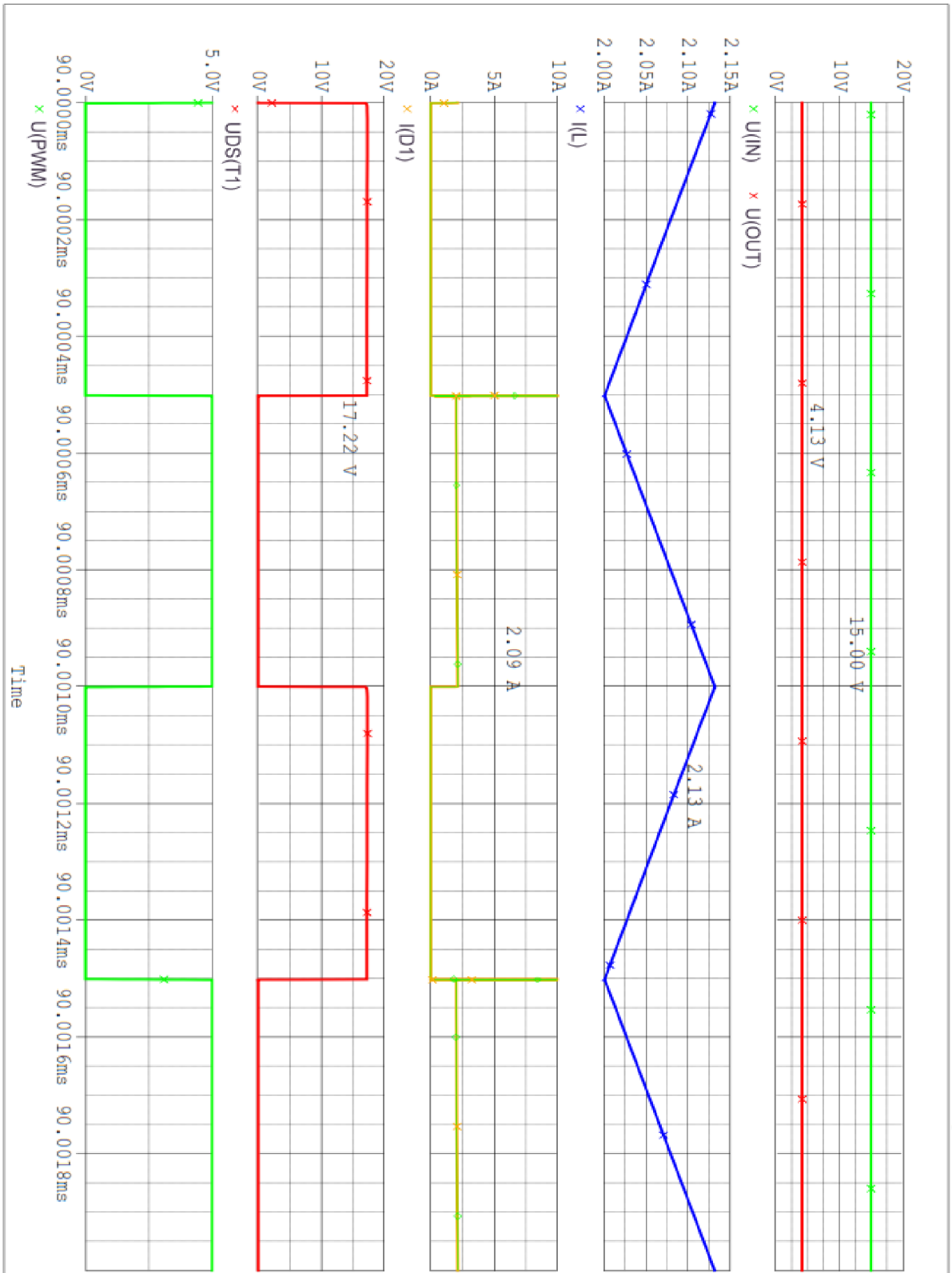
D. FOTODOKUMENTECIA

Príloha D-1: Fotografia neosadeného prototypu meniča horná vrstva TOP

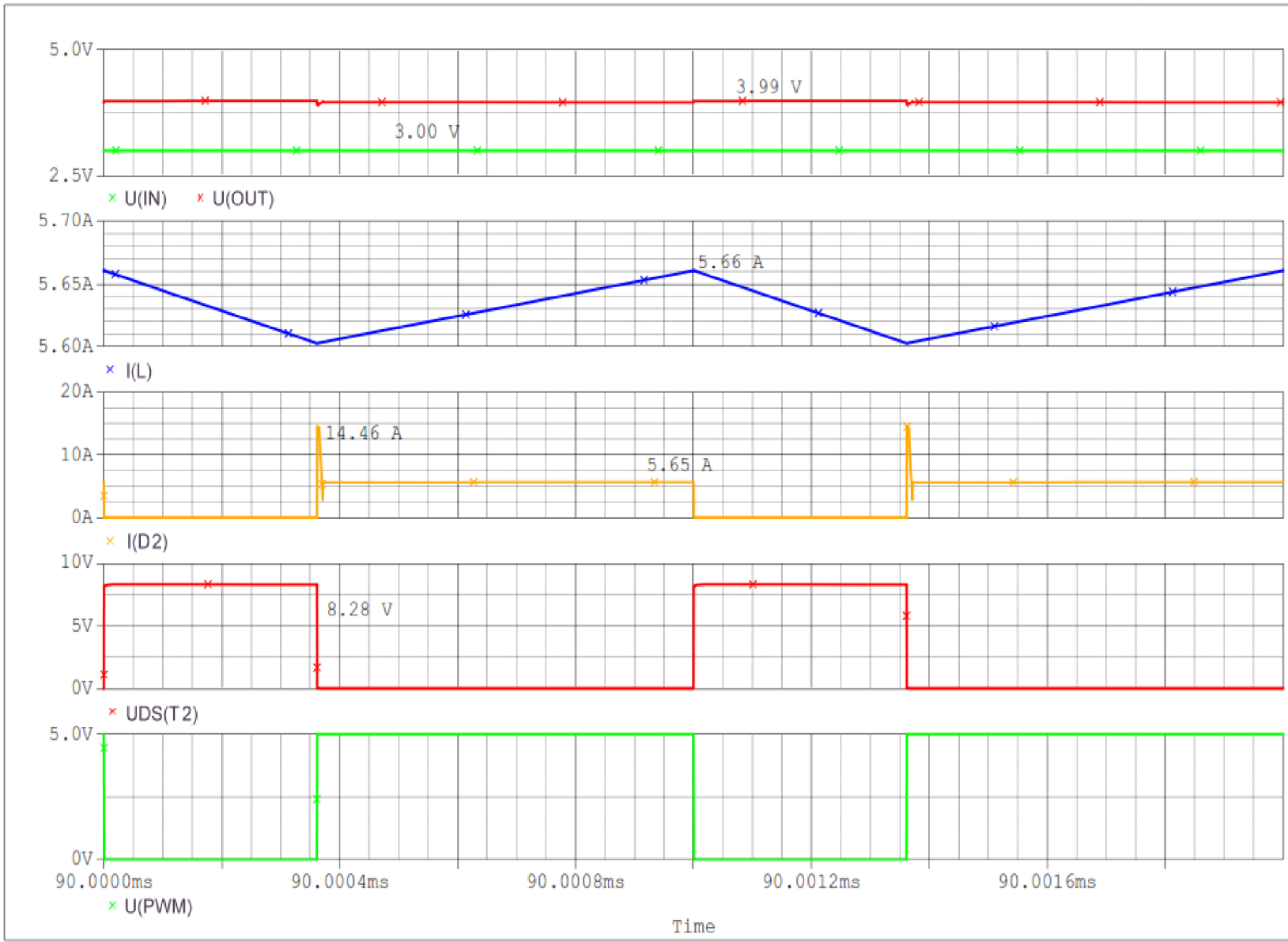
Príloha D-2: Fotografia neosadeného prototypu meniča spodná vrstva BOTTOM

Príloha D-3: Fotografia osadeného prototypu meniča horná vrstva TOP

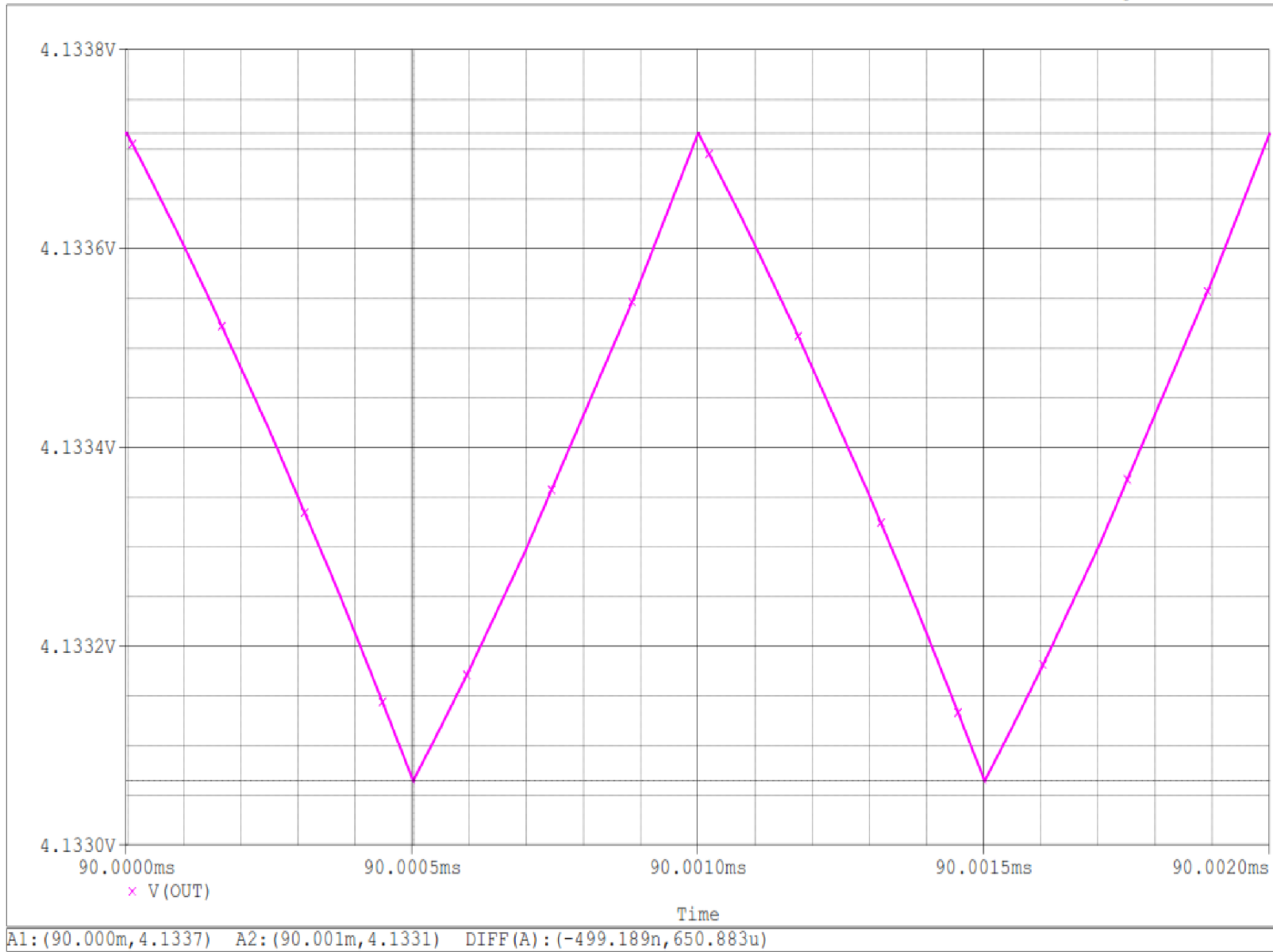
A. 6CHĀĪĒL ĪĪ ħĕpiŭtiĕZ



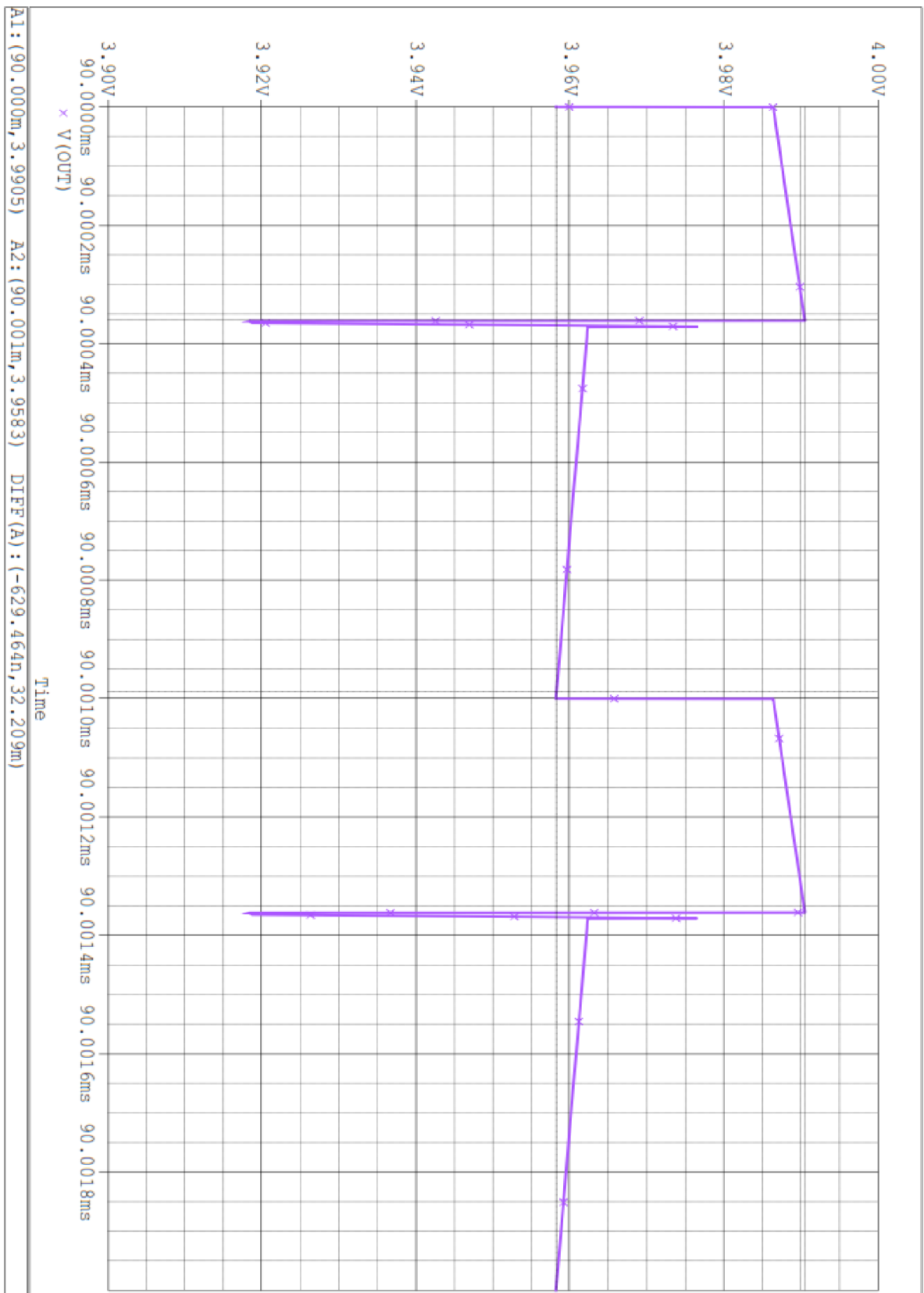
Príloha A-1: Výstup časovej analýzy pre buck mód meniča



Príloha A-2: Výstup časovej analýzy pre boost mód meniča

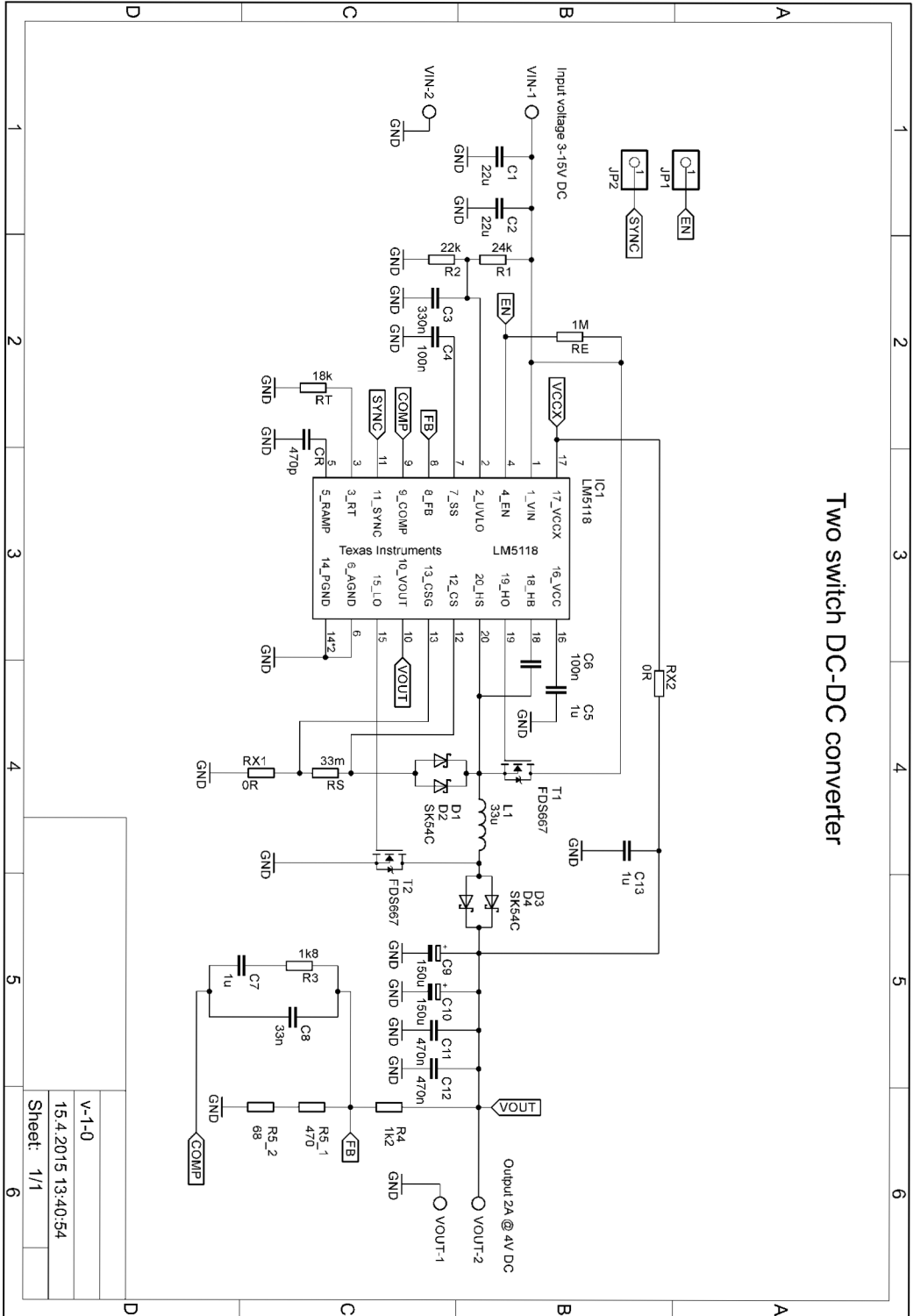


Príloha A-3: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde buck



Príloha A-4: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde boost

B. 3i÷-pL: I éēdùðāZ

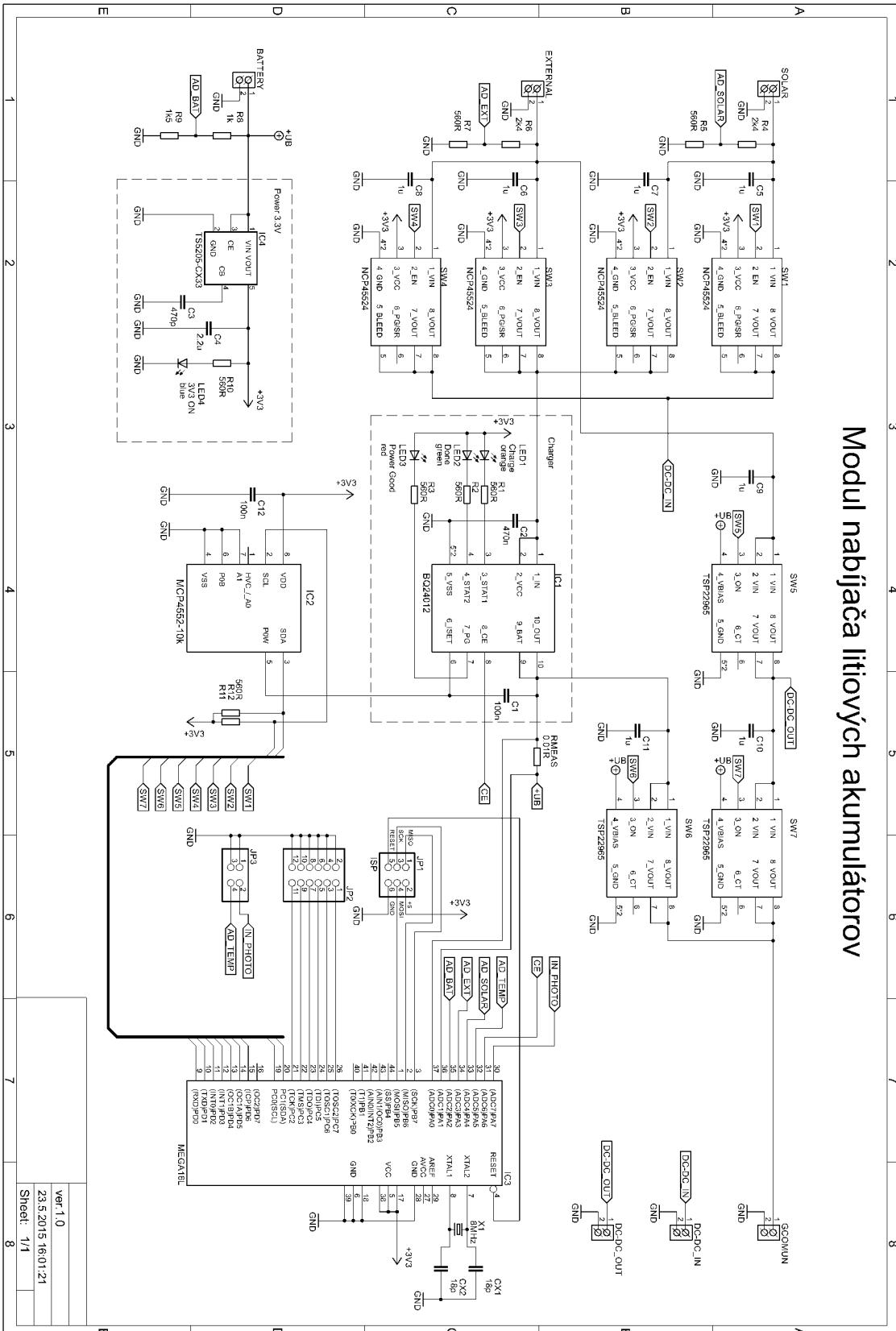


Two switch DC-DC converter

Príloha B-1: Elektrická schéma zapojenia DC-DC meniča

v-1-0
15.4.2015 13:40:54
Sheet: 1/1

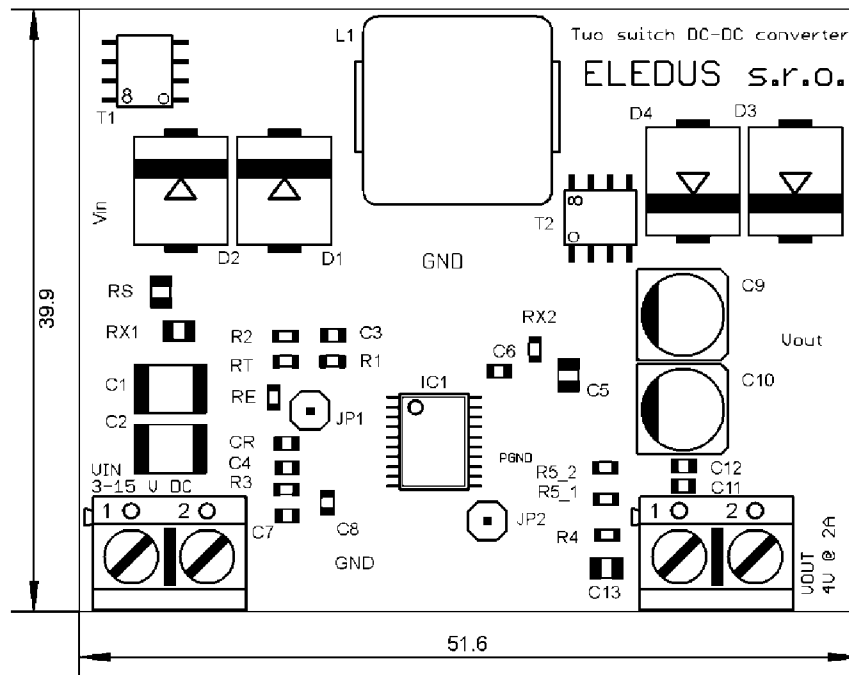
Modul nabíjača litiových akumulátorov



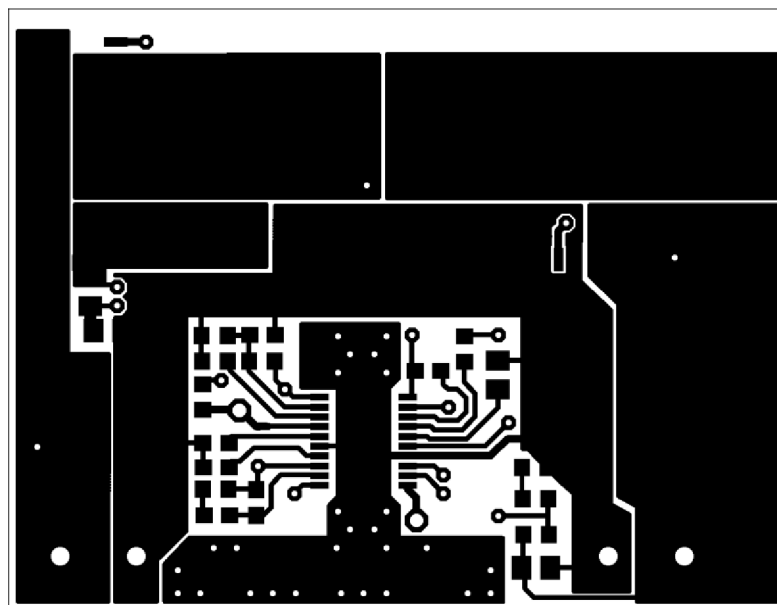
Príloha B-2: Elektrická schéma zapojenia modulu nabíjača

Ver. 1.0
23.5.2015 16:01:21
Sheet: 1/1

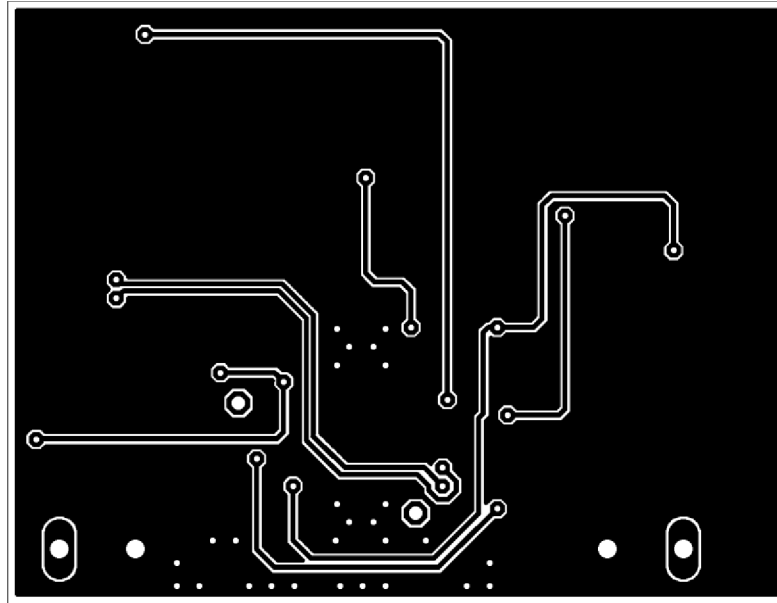
C. .IJH÷L ëüduäCì÷ ñëdùđIJ



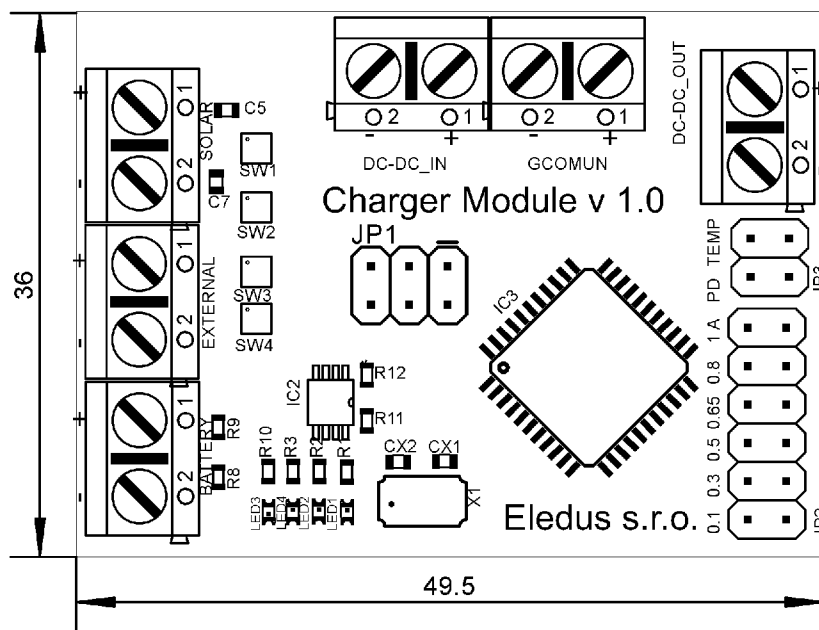
Príloha C-1: Osadzovací plán DC-DC meniča (mierka 1:2)



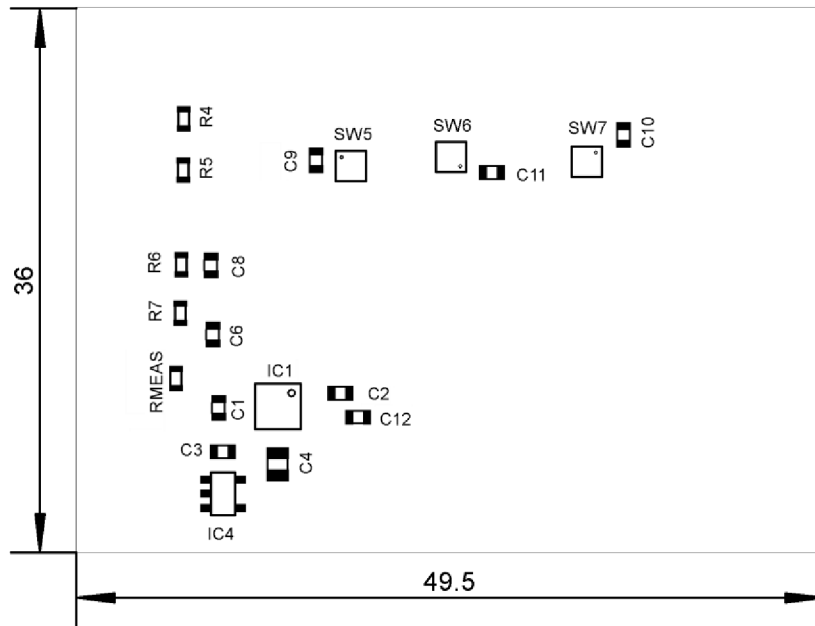
Príloha C-2: Doska plošného spoja meniča horná vrstva TOP (mierka 1:2)



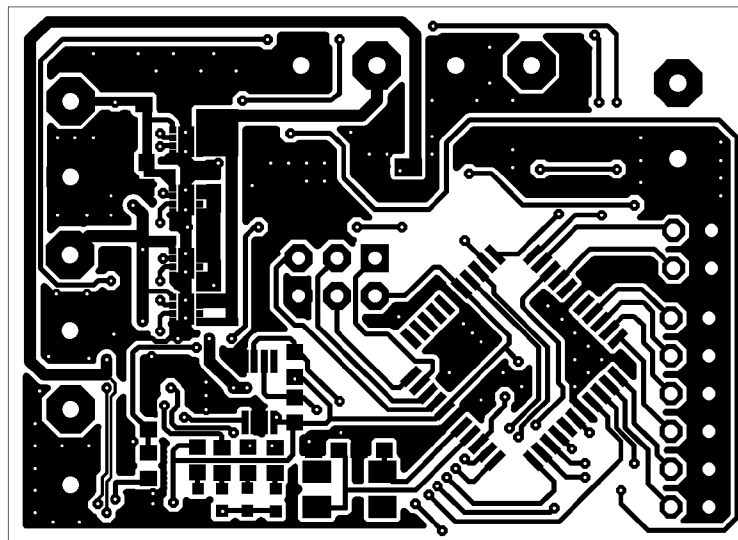
Príloha C-3: Doska plošného spoja meniča spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)



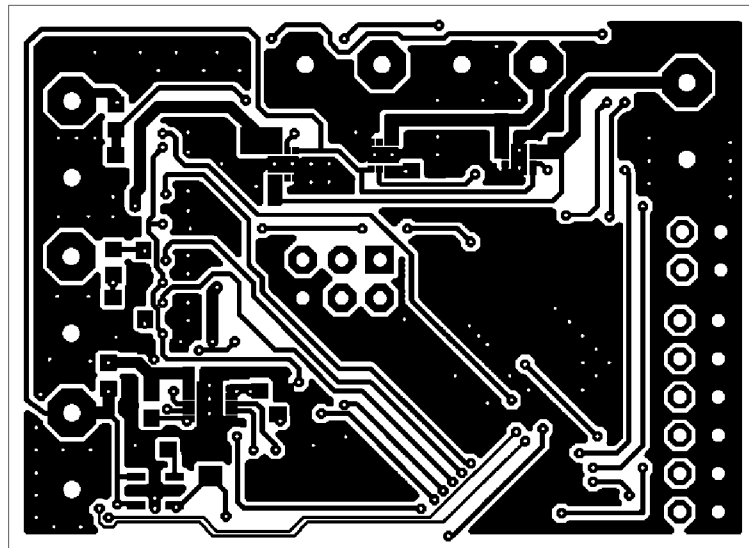
Príloha C-4: Osadzovací plán modulu nabíjača, vrstva TOP (mierka 1:2)



Príloha C-5: Osadzovací plán modulu nabíjača, vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

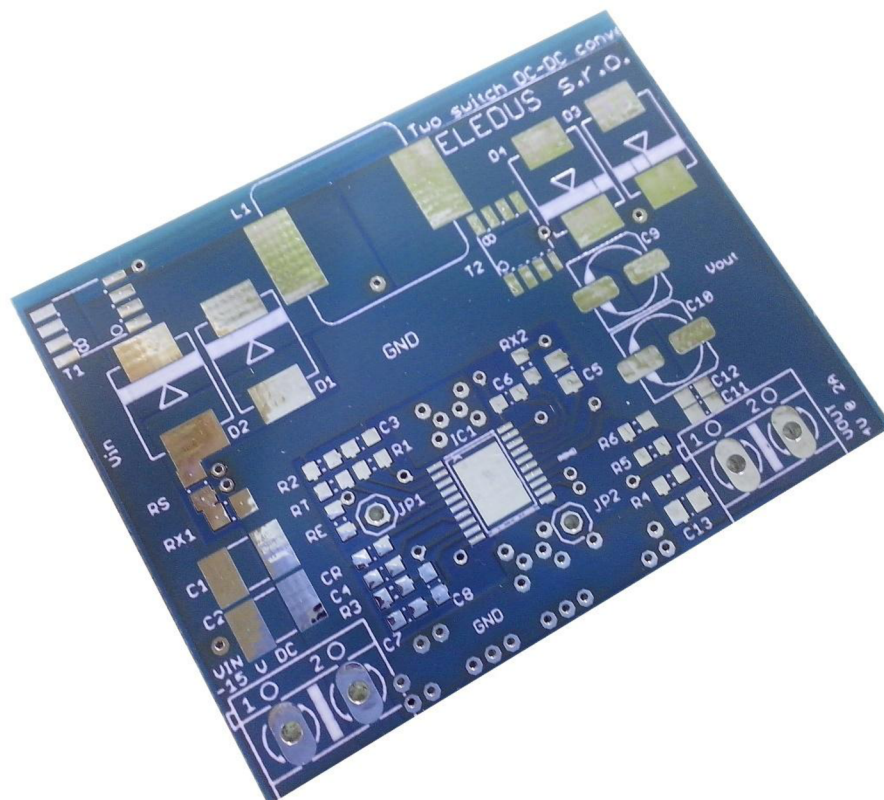


Príloha C-6: Doska plošného spoja nabíjača horná vrstva TOP (mierka 1:2)

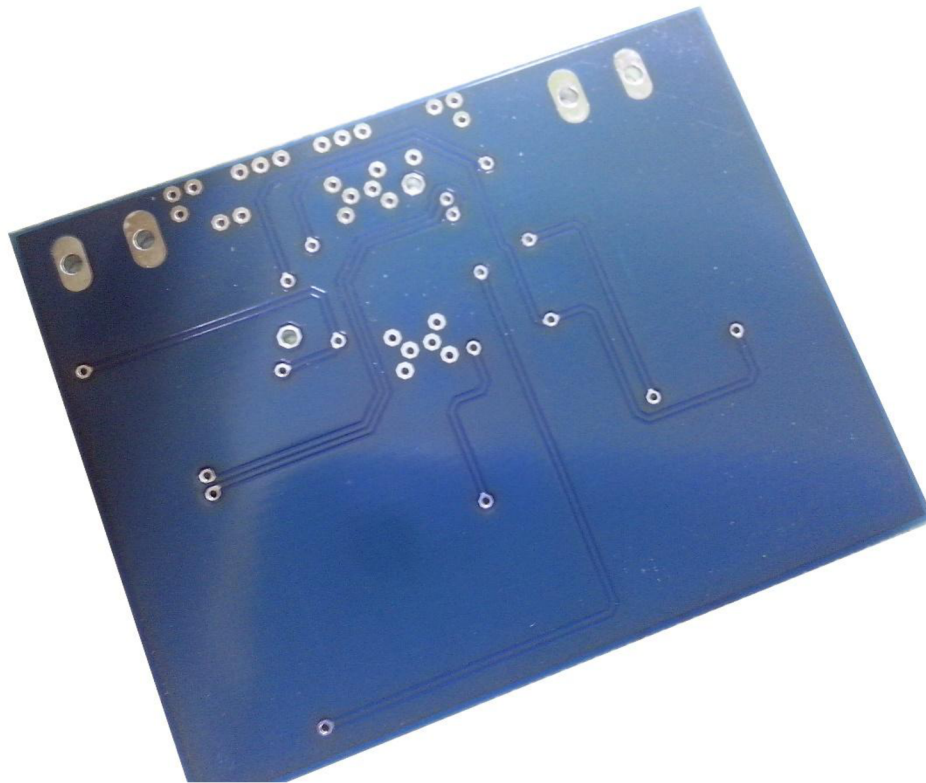


Príloha C-7: Doska plošného spoja nabíjača spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

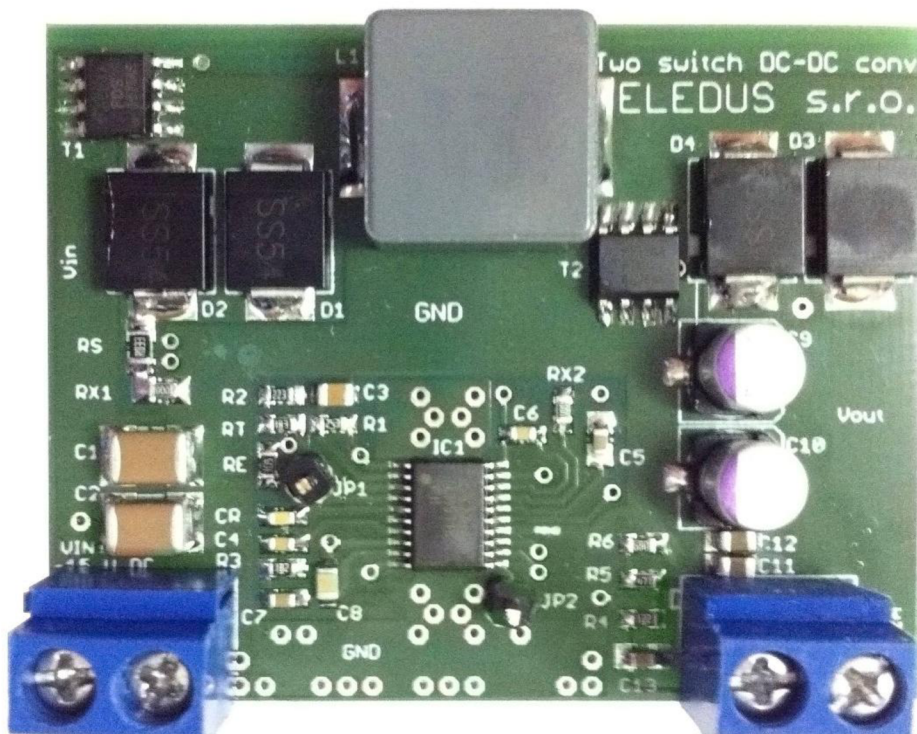
D. &diíídúipđāñiøé



Príloha D-1: Fotografia neosadeného prototypu meniča horná vrstva TOP



Príloha D-2: Fotografia neosadeného prototypu meniča spodná vrstva BOTTOM



Príloha D-3: Fotografia osadeného prototypu meniča horná vrstva TOP