



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## MODUL NABÍJEČKY AKUMULÁTORŮ PRO GSM ZABEZPEČENÍ ZAŘÍZENÍ

THE BATTERY CHARGER MODULE FOR GSM SECURITY SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK PREDNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ OŽÍK

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 umístěnou v nedostupném nebo špatně dostupném terénu. Tento modul nabíječky bude napájen solárním článkem nebo z externího zdroje elektrické energie. Modul vznikne za účelem dosažení nezávislosti na napájecí síti a určené mobility i zabezpečování objektů daných 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 Štěpánek

**Konzultanti bakalářské práce:** Ing. Ondřej Václavík

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*Prezident 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 druhé části druhé, hlavy VI. dílu 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

# Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zameriava na návrh univerzálneho modulu nabíja a lítiových akumulátorov, ktorý je určený pre zabezpečenie GSM zariadenie od firmy ELEDUS, umiestnené v nedostupnom alebo ťažko dostupnom teréne. Bude využívať predovšetkým solárnu energiu pre dobíjanie akumulátoru a zároveň zabezpečí 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.

# Kľúčové slová

Nabíja 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

# Bibliografická citácia

PREDNÝ, P. *Modul nabíje ky akumulátor pro GSM zabezpečovací zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 61 s.  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Štěpánek.

# Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „*Modul nabíje ky akumulátor pro GSM zabezpečení*“ 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 alej 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 d a 30. mája 2015

.....  
podpis autora

# Po akovanie

akujem vedúcim bakalárskej práce Ing. Ond eji ožíkovi a Ing. Ond eji Vi arovi za ú innú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej práce. alej akujem spolupracujúcej firme Eledus s.r.o., za poskytnutie potrebných priestorov, vybavenia a materiálov nutných k realizácii mojej práce.

V Brne d a 30. mája 2015

.....  
podpis autora

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 NÁVRH SYSTÉMU NA BLOKOVEJ ÚROVNI</b> .....	<b>11</b>
1.1 UPS ako základ modulu nabíjača .....	12
1.2 Off-line UPS .....	12
<b>2 ALGORITMUS PREPÍNANIA</b> .....	<b>13</b>
<b>3 DC-DC MENI</b> .....	<b>16</b>
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-prepínací menič (Two-switch buck-boost converter) .....	20
<b>4 ZÁKLADOVÉ PREPÍNAČE</b> .....	<b>23</b>
4.1 Prepínače vo výstupnej časti obvodu .....	23
4.2 Konštrukcia prepínačov .....	24
4.3 Druhy prepínačov .....	24
<b>5 AKUMULÁTOR</b> .....	<b>26</b>
5.1 Lítium-Iónový akumulátor (Li-Ion) .....	26
5.2 Lítium-železnato-fosfátový akumulátor (Li-Fe-PO <sub>4</sub> ) .....	27
5.3 Lítium-polymérový akumulátor (Li-Pol) .....	27
5.3.1 Li-pol akumulátor ako základný zdroj pre modul nabíjača .....	27
5.3.2 Základné vlastnosti lítium-polymérového akumulátoru .....	27
5.3.3 Nabíjanie lítium-polymérových akumulátorov .....	28
<b>6 INTEGROVANÝ SYSTÉM NABÍJAČA A AKUMULÁTORU</b> .....	<b>30</b>
6.1 Výber vhodného komponentu .....	30
<b>7 NÁVRH MENIČA A TOPOLOGIE TWO-SWITCH</b> .....	<b>32</b>
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 mení a .....	38
7.2.3 Výstupy zo simulácie znižujúceho mení a .....	39
7.2.4 Výstupy zo simulácie zvyšujúceho mení a .....	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
<b>8 NÁVRH MODULU NABÍJA A.....</b>	<b>48</b>
8.1 Výber vhodných komponentov .....	48
8.1.1 Integrovaný obvod nabíja a.....	48
8.1.2 Výkonové prepína e .....	50
8.1.3 Mikrokontrolér .....	51
8.1.4 Napájanie .....	52
8.2 Návrh dosky plošného spoja .....	53
<b>ZÁVER.....</b>	<b>56</b>
<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>57</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK .....</b>	<b>59</b>
<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>61</b>

# Zoznam obrázkov

Obr. 1.1: Bloková schéma modulu nabíjača.....	11
Obr. 1.2: Princíp funkcie Off-line záložného zdroja .....	12
Obr. 2.1: Pseudo-algoritmus prepínania záťažových prepínačov.....	13
Obr. 2.2: Stavový diagram zariadenia GComun.....	14
Obr. 3.1: Základné princípy zapojenia v DC-DC meničoch .....	17
Obr. 3.2: Základná topológia invertujúceho buck-boost meniča [12].....	18
Obr. 3.3: Základné zapojenie topológie SEPIC [22].....	20
Obr. 3.4: Základné zapojenie topológie Two-switch meniča [7] [17].....	21
Obr. 4.1: Princíp prepínania záťaží v mobilnom telefóne [8] .....	23
Obr. 4.2: Princíp PMOS a NMOS konštrukcie prepínača [8] .....	25
Obr. 4.3: Vnútročné zapojenie prepínača TPS2291 [20] .....	25
Obr. 5.1: Nabíjacia krivka lítium-polymérového akumulátora [16] .....	28
Obr. 6.1: Schéma zapojenia obvodu bqTINY [19].....	31
Obr. 7.1: Schéma zapojenia podľa katalógového listu [18] .....	32
Obr. 7.2: Výsledná schéma obvodu pre simulácie .....	38
Obr. 7.3: Ukážka rozdelenia Two-switch meniča na dieliská.....	39
Obr. 7.4: Výstup zo simulácie buck módu meniča.....	40
Obr. 7.5: Zvlnenie výstupného napätia pri móde buck.....	40
Obr. 7.6: Výstup zo simulácie boost módu meniča .....	41
Obr. 7.7: Zvlnenie výstupného napätia pri móde boost.....	41
Obr. 7.8: Ukážka AC slučiek.....	45
Obr. 7.9: Doporučený návrh layoutu výkonovej časti [18] .....	46
Obr. 7.10: Princíp Kelvinovho pripojenia [1].....	46
Obr. 7.11: Výsledný plošný spoj prototypu meniča (mierka 1:2) .....	47
Obr. 8.1: Ukážka realizácie obvodu bqTINY v puzdre QFN.....	49
Obr. 8.2: Princíp nahradenia pevného nastavovacieho rezistoru.....	50
Obr. 8.3: Obvodové riešenie napájacieho zdroja [15] .....	53
Obr. 8.4: Výsledný návrh dosky plošného spoja modulu nabíjača (mierka 1:2).....	53
Obr. 8.5: Ukážka nastavenia prúdu na lište JP2 .....	54
Obr. 8.6: Ukážka signalizačných LED diód .....	54
Obr. 8.7: Doporučený návrh layoutu prepínačov [21].....	55



# Zoznam tabuliek

Tab. 3.1: Požiadavky na DC-DC mení .....	16
Tab. 3.2: Porovnanie pracovných režimov Dvoj-prepíná ového mení a [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 výpo et mení a .....	33
Tab. 7.2: Súhrn prevedených zmien v simuláciach .....	39
Tab. 7.3: Porovnanie výsledkov simulácie.....	42
Tab. 7.4: Zoznam použitých sú iastok pre zostrojenie DC-DC mení a .....	44
Tab. 8.1: Preh ad akumulátorov používaných firmou Eledus s.r.o.....	48
Tab. 8.2: Hodnoty napä ových delí ov pre AD prevodníky .....	52
Tab. 8.3: Zoznam použitých komponentov z návrhu modulu nabíja a.....	55

# Úvod

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

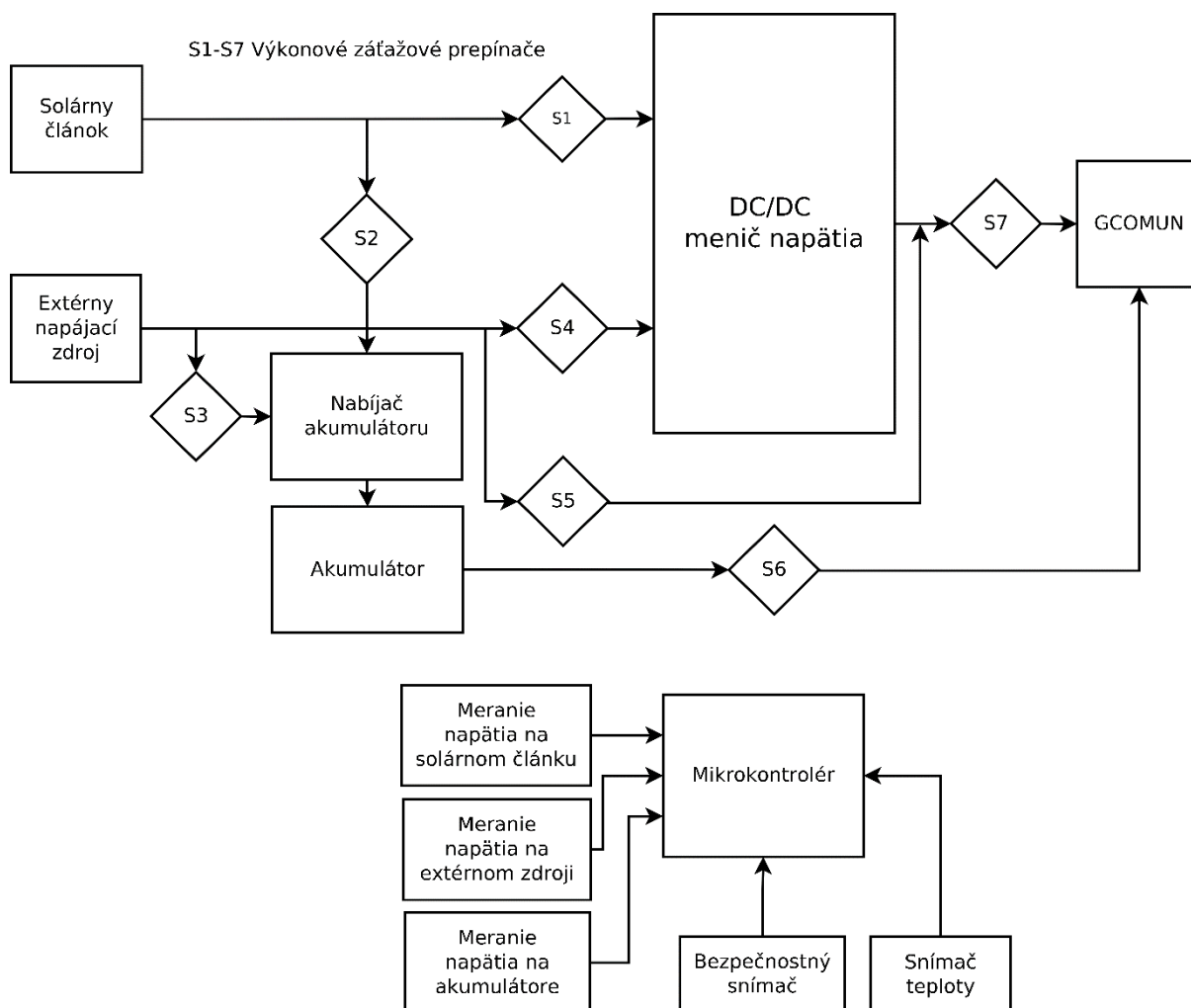
Najčastejšie sú elektronické prístroje napájané priamo z elektrickej siete, kde je síce kladený dôraz na úsporu energie, ale neovplyvňuje to ich účinnosť. Takými sú dnes veľa obľúbené mobilné zariadenia, ako napríklad mobilné telefóny, tablety, notebooky a iné. Pre tieto zariadenia je hlavným zdrojom 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 významné 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 prepínaním záťaže. Principiálne sa jedná o efektívne prepínanie práve neaktívnej záťaže, ktorá by v danom prípade 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 neplýtvalo 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 nabíjania. Oba tieto návrhy na plošné spoje sú realizované pomocou SMT technológie pre dosiahnutie čo najmenších rozmerov.

# 1 Návrh systému na blokovej úrovni

Konceptná 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 akumulátora...).



Obr. 1.1: Bloková schéma modulu nabíjača

## 1.1 UPS ako základ modulu nabíjača

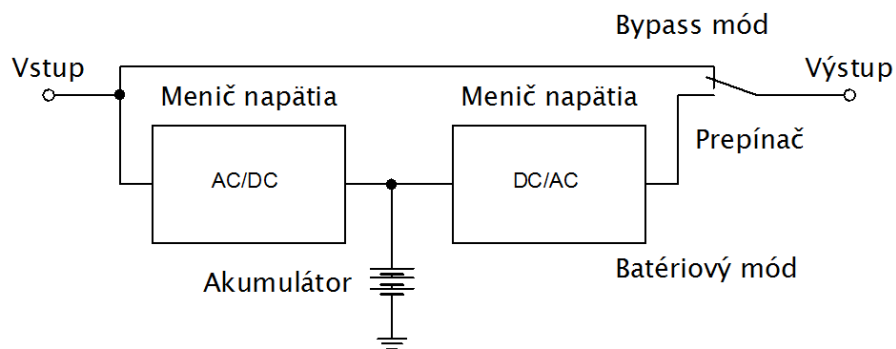
Podobný princíp prepínania je používaný hlavne v spojitosti so zálohovacími napájacími zdrojmi UPS (z angl. Uninterruptible Power Supply). Tieto zdroje sa používajú pre nepretržité napájanie dôležitých zariadení ako napr. počítače v dátových centrách, kde nesmie nastať výpadok elektrickej energie. Rozpoznávame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

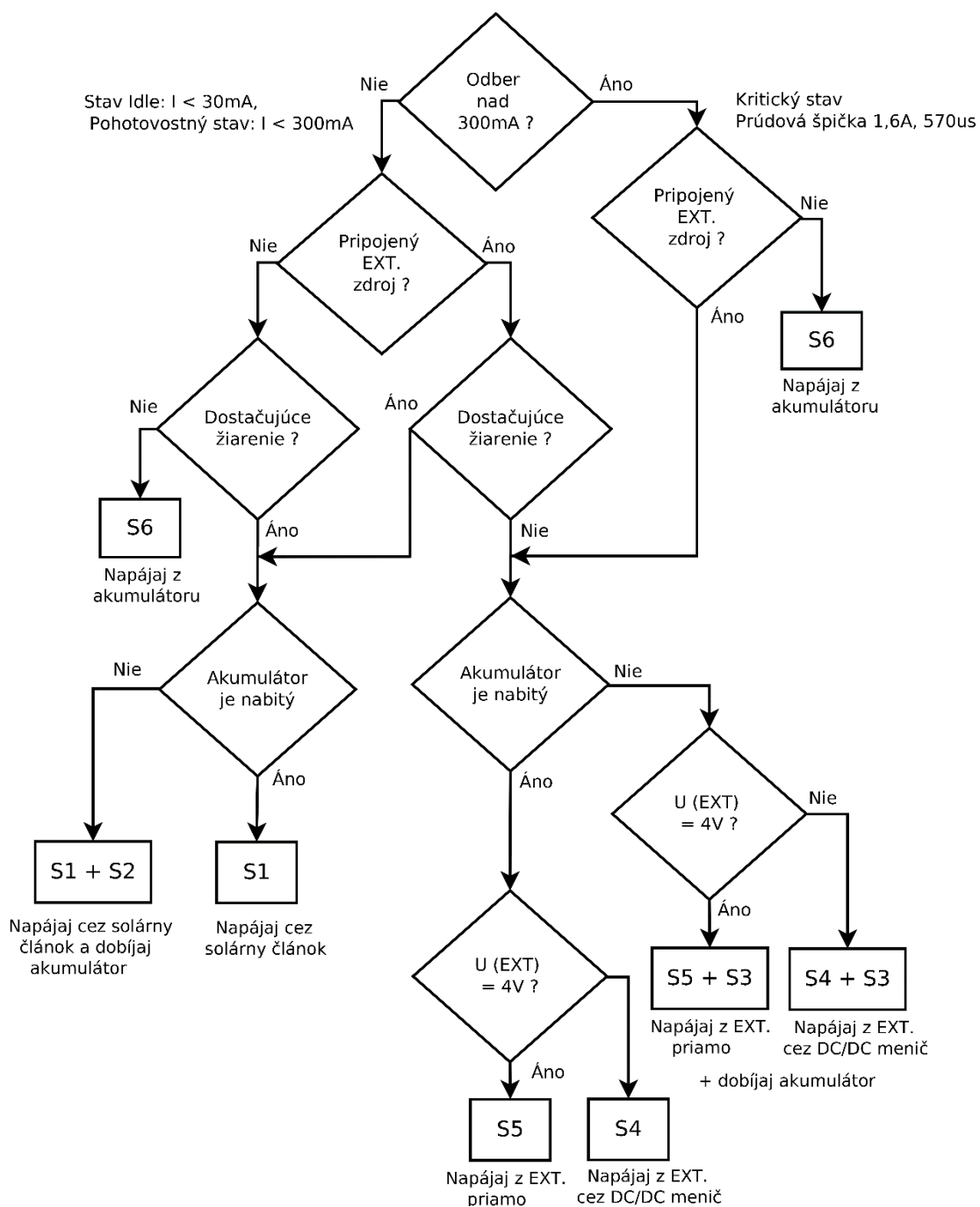
## 1.2 Off-line UPS

Napätie zo siete je privádzané na prepínača 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 funkcie je vyobrazený na obr. 1.2.



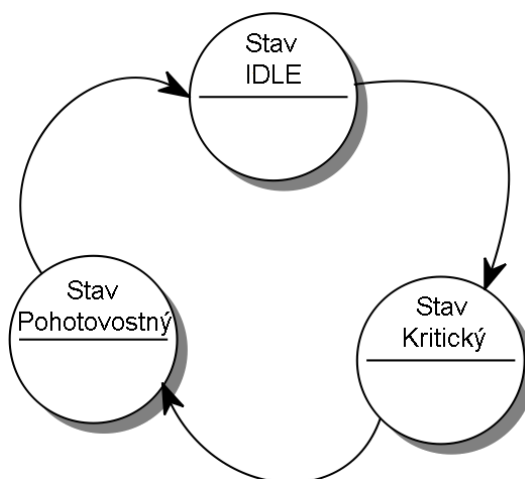
Obr. 1.2: Princíp funkcie Off-line záložného zdroja

## 2 Algoritmus prepínania



Obr. 2.1: Pseudo-algoritmus prepínania záťažových prepínačov

Pseudo-algoritmus prepínania záťažových prepínačov vyobrazený na obr. 2.1, popisuje správanie obvodu pod danou situáciou, ktorá práve v obvode nastane. Túto funkciu zabezpečuje blok mikrokontroléru (viď obr. 1.1). Mikrokontrolér sníma pomocou snímača a teploty teplotu okolia modulu, napätie na akumulátore, napätie a solárny náboj 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 zabezpečeného 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 za ne vykonáva 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 alej 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.

Po as celého cyklu sa musí tak isto kontrolovať stav nabitia akumulátoru meraním napätia na akumulátore. Pri nedostatku kapacity je potrebné zapnúť spínač S2 alebo S3, ktorý zabezpečí pripojenie bloku nabíjania a akumulátoru a tým zabezpečí jeho dobitie na plnú kapacitu.

Pretože sa jedná o univerzálny modul, je vhodné použiť v akýkoľvek vstupný rozsah napájacích napätí dodávaných z externého zdroja. V prípade, že výstupné napätie z ext. zdroja energie rovné napätiu napájaciemu pre GComun a to presne 4V, aktivuje sa priamy spoj zdroja pomocou zapnutia spínača S5 a tým sa obídete transformácia pomocou DC-DC meniča. Naopak ak je napájacie napätie ext. zdroja odlišné od napätia požadovaného pre GComun, je potrebné zapnúť 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 nedostatku slnečnej energie, sa musí celý obvod komunikátoru (GComun) napájať priamo z akumulátoru. Vtedy sa odpoja všetky prepínače a zapnutý 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 mení

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

### 3.1 Požiadavky na mení

V tab. 3.1 sú vypísané parametre pre návrh DC-DC mení. 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 nabíjacieho zariadenia 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 povoľuje použitie rôznych solárnych článkov a externých zdrojov s rôznymi výstupnými napätiami. Toto je jeden zo spôsobov dosiahnutia komplexnosti modulu nabíjacieho zariadenia.

Tab. 3.1: Požiadavky na DC-DC mení

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

### 3.2 Teória a základné druhy meníčov

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

meníče bez transformátoru,

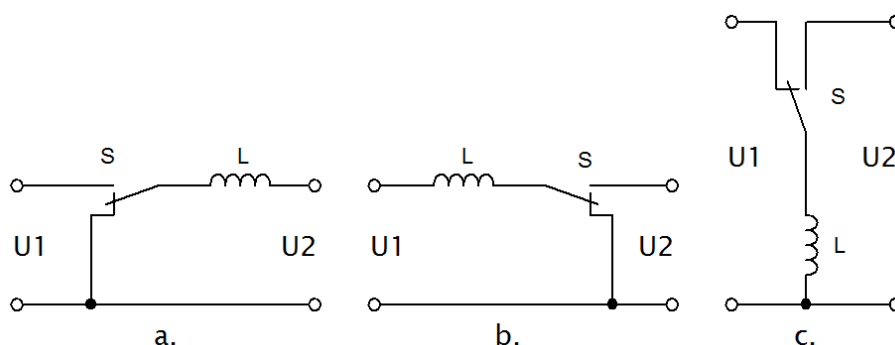
meníče s transformátorom.



Menie s transformátorom zabezpečujú jednak galvanické oddelenie vstupnej a výstupnej časti obvodu meniaceho, 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 priamo nepoužiteľné. Na druhej strane môže byť transformátor priamo obvodovou tlmivkou (fly-back meniacim). Pre dosiahnutie najmenších rozmerov modulu napájania, sa budeme zaoberať len meniacimi bez transformátoru [12] [22].

### 3.3 Menie bez transformátoru

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



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

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

Tými sú:

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

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

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

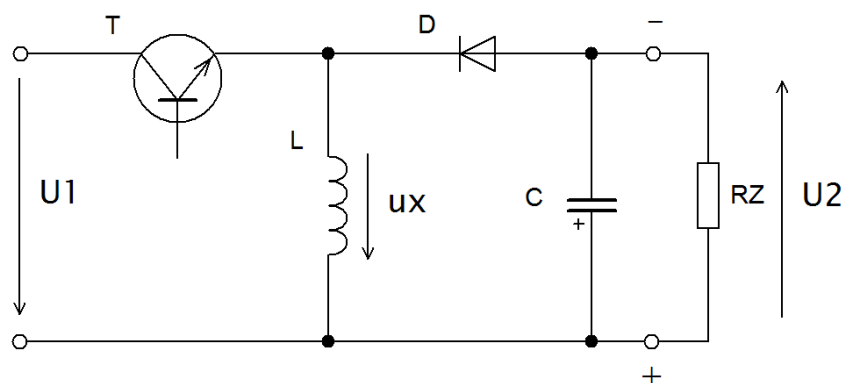
Z hore uvedených vlastností a z predom určených parametrov z tab. 3.1. vyplýva, že pre návrh solárneho modulu nabíja a bude vyhovovať práve menič, ktorý napätie zvyšuje i znižuje. Na výstupe tým pádom dostávame konštantnú hodnotu napätia, pomocou ktorej napájame GComun. Preto sa budeme v tejto práci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

### 3.4 Invertujúci buck -boost menič

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

#### 3.4.1 Základné zapojenie obvodu meniča

Na obr. 3.2. je vyobrazený buck-boost menič s tzv. horným spínačom (topológia spínačov sú podrobnejšie rozobrané [12]). Výstupné napätie má opačnú polaritu, vo výstupe napätia  $U_2$  na záťaž  $R_Z$ .



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

Popis funkcie obvodu je nasledovný:

1. Tranzistor T je vypnutý. Po nieko kých 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 napätiu 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 vzťahy:

$$U_2 = U_1 \frac{t_1}{T} \frac{1}{s} \quad (3.1)$$

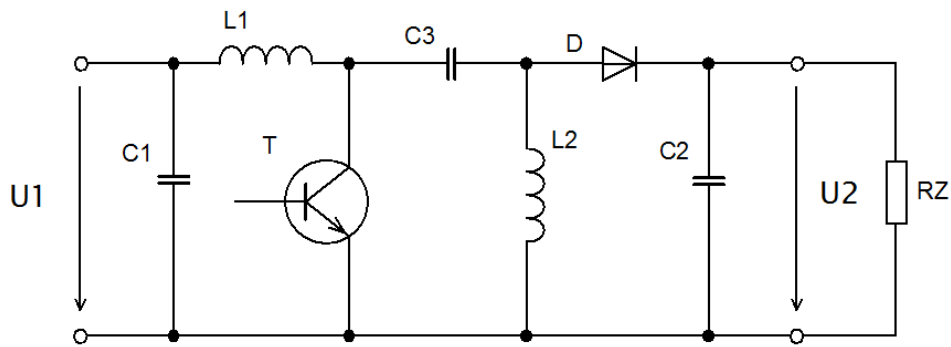
Kde  $U_2$  je výstupné napätie meniča,  $U_1$  je napätie vstupné,  $t_1$  a  $t_2$  sú spínacie doby,  $T$  je perióda spínacieho signálu a  $s$  je strieda spínacieho signálu. Ako je teda z rovnice (3.1) zrejme, hodnota výstupného napätia závisí na striede spínacieho signálu.

### 3.5 Neinvertujúce buck-boost meniče

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

#### 3.5.1 Menič SEPIC (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 C3, 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 prispôsobenie sa na zmenu záťaže) [22].



Obr. 3.3: Základné zapojenie topológie SEPIC [22]

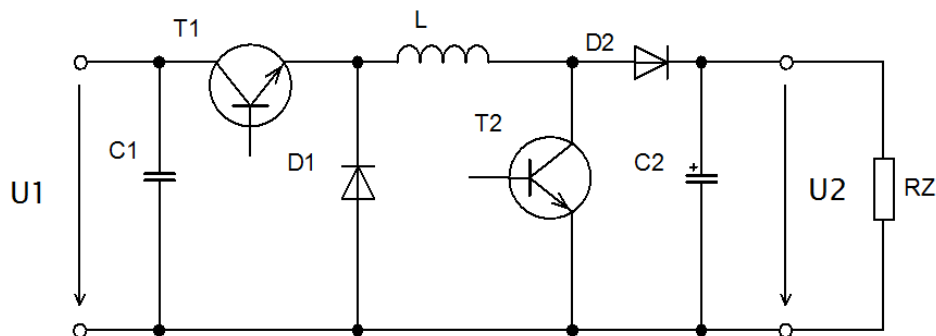
Pre meniče topológie SEPIC platí vzťah pre konverzný pomer vi rovnica (3.2), kde  $M$  je spomínaný pomer,  $U_{vst}$  je vstupné napätie privádzané do vstupných svoriek meniča,  $U_{výst}$  je výstupné napätie na výstupných svorkách,  $s$  je strieda spínacieho signálu. Ako je možné vidieť, polarita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

$$\frac{U_{výst}}{U_{vst}} = \frac{1}{1 - M} \quad (3.2)$$

alšou 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-prepínaciový menič (Two-switch buck-boost converter)

Dvoj-prepínaciový (dvoj-spínaciový) 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-prepínacieho 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 mení a [7] [17]

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

Tab. 3.2: Porovnanie pracovných režimov Dvoj-prepínateľného mení a [17]

Operačný mód	Náročnosť spínania	Efektívnosť ( $U_{vst} > U_{výst}$ )	Efektívnosť ( $U_{vst} < U_{výst}$ )
Buck-boost	Jednoduchá	Nízka	Nízka
Buck, buck-boost	Stredná	Vysoká	Nízka
Buck-boost, boost	Stredná	Nízka	Vysoká
Buck, buck-boost, boost	Komplikovaná	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 mení a buck v rovnici (3.3).

$$\text{---} \quad (3.3)$$

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).

$$\text{---} \quad (3.4)$$

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

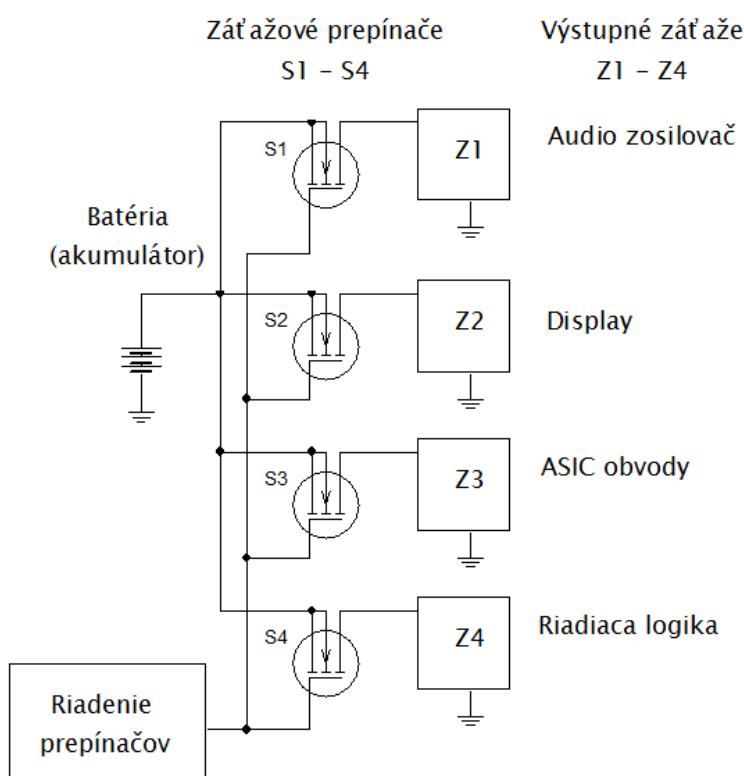
Keďže sa jedná o podstatnejšie jednoduchšie zapojenie oproti SEPIC konvertoru, použitím len jednej tlmičky a je ním možné vytvoriť rozličné topológie meničov, budeme sa v práci alej zaoberať práve týmto riešením DC-DC meniča. Toto zapojenie je inovatívnym riešením pre návrh modulu nabíjacieho meniča.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

## 4 Zátžové prepínače

Pojem výkonové odpájanie a pripájanie zátže, 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 zátže, kedy sa nemusí jedna len o zátž odporovú.

### 4.1 Prepínače vo výstupnej časti obvodu

Vo vyššie uvedených zariadeniach sa odpojujú napríklad: výkonový NF zosilovač pre výstupný audio prehrávač, zobrazovací display, riadiaca logika, WLAN modul a mnohé iné typy zátží. Účelom odpojovania zátže 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 zátže napríklad pod názvom load switch alebo hot swap switch. Princíp prepínania zátží v mobilných telefónoch je obr. 4.1.



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

## 4.2 Konštrukcia prepínačov

Na prepínanie záťaže slúžia elektronické komponenty založené na technológii MOS tranzistorov. Vďaka technologickým inováciám a potrebe ich použitia pre zariadenia veľa 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 veľa 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 veľa rýchle prepínanie, často krát toto prepnutie trvá len niekoľko mikrosekúnd a to z dôvodu zabezpečenia nepretržitej prevádzky bez straty napájania. Samotné tranzistory MOS sú veľa vhodným riešením prepínania, hlavne kvôli ich dobrým spínacím vlastnostiam a malým prechodovým odporom medzi elektródami Source a Drain.

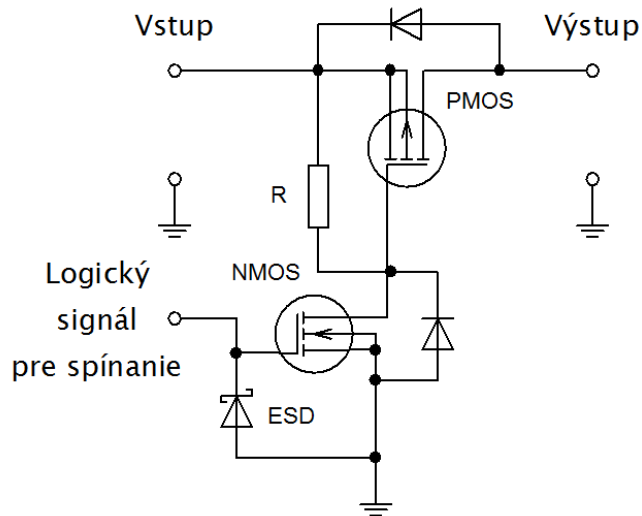
## 4.3 Druhy prepínačov

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.

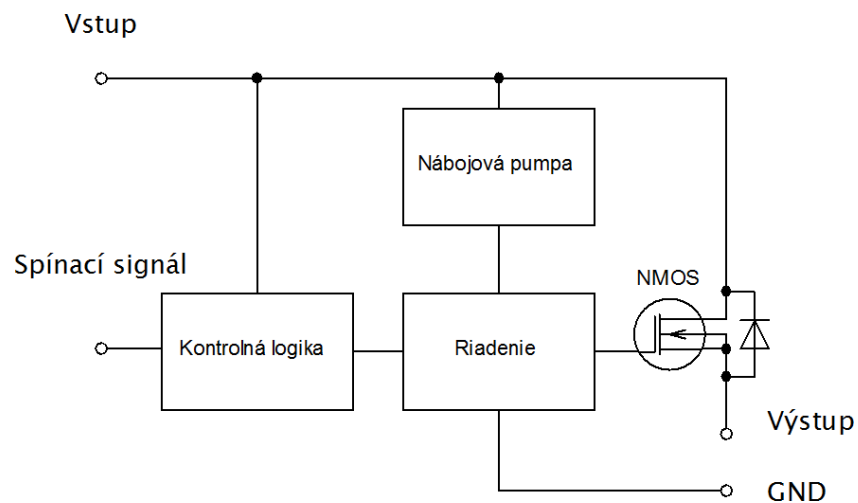
Naopak pri privedení nízkej logickej úrovne (low, log. 0) na tranzistor Q1, sa tranzistor Q1 zatvára, čo spôsobí zvýšenie napätia na prechode Source-Drain tohto tranzistoru a tento veľký potenciál uzatvára tranzistor Q2. V tomto okamihu tranzistorom Q2 neprechádza prakticky žiadny prúd, pretože záťaž 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 základných 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 Akumulátor

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 a 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. Vnútroňný 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 veľa 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 pamätového 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 nabíjania a, 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 (LiFePO<sub>4</sub>).

### 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 Lítium-železnato-fosfátový akumulátor (Li-Fe-PO<sub>4</sub>)

Táto technológia sa vyznačuje nižšími výrobnými nákladmi. Hlavnou výhodou je jej nízka toxicita. Katódu tvorí fosforenan železnato lítiový, anóda je ako pri ostatných Li-Ion akumulátoroch vyrobená z uhlíka. Tieto články dokážu veľmi rýchlo absorbovať a vydávať energiu, preto sa používajú ako hlavný zdroj energie do elektromobilov, kedy je vďaka nim možné nabíjanie a vybíjanie prúdom zníženým potrebným časom na nabitie i vybitie. V porovnaní s Li-Pol akumulátormi majú LiFePO<sub>4</sub> akumulátory nižšiu hustotu energie (pri rovnakej kapacite ako Li-Pol má väčšie rozmery) a menšie nominálne napätie asi 3,3V [5].

## 5.3 Lítium-polymérový akumulátor (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 akumulátor ako základný zdroj pre modul nabíjania

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 nabíjania 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.

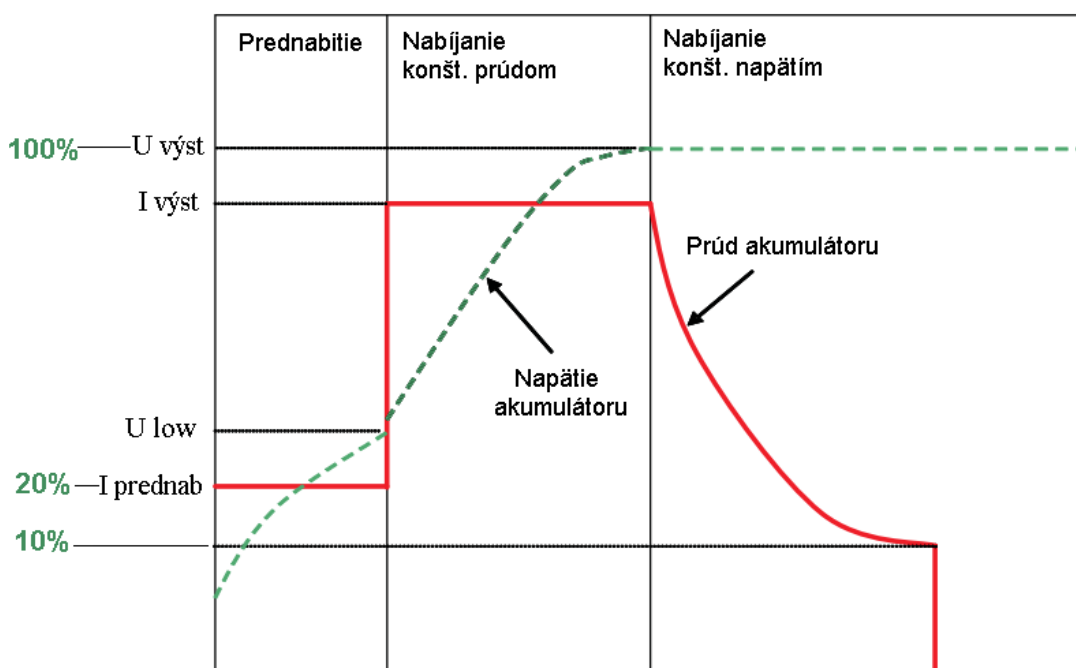
### 5.3.2 Základné vlastnosti lítium-polymérového akumulátoru

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 oblasti. Vďaka svojmu malému 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	% / de
Pamäťový efekt	nie	
Nízkoteplotný akumulátor (prevzaté z [6])		
Max. nabíjací prúd	0,5C	
Max. vybíjací prúd	1C	
Životnosť	300	cyklov
Teplotný rozsah	od -40 do 55	°C

### 5.3.3 Nabíjanie lítium-polymérových akumulátorov



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

Na obr. 5.1 je zachytený priebeh nabíjacej krivky pre lítiové akumulátory (konkr. pre Li-Pol). Najprv sa nastaví nabíjací prúd  $I_{\text{prednab}}$  v stave prednabitia, po dosiahnutí vyššej hodnoty napätia na akumulátore ako je hodnota  $U_{\text{low}}$  (o 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 najpresnejšia a blížila sa k ideálnej krivke z obr. 5.1 [3] [16].

## 6 Integrovaný systém nabíja a akumulátoru

Pretože obvod modulu solárneho nabíja a bude realizovaný v o najmenších možných rozmeroch, je vhodné použiť niektorý z integrovaných nabíjajúcich 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 nabíja a by mal mať možnosť regulácie výstupného prúdu dodávaného do akumulátoru, sledovať jeho stav nabitia, poprípade tento stav signalizovať výstupnými LED diódami.

### 6.1 Výber vhodného komponentu

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, čím perfektne vyhovuje požiadavkám pre návrh solárneho nabíjača a [19].

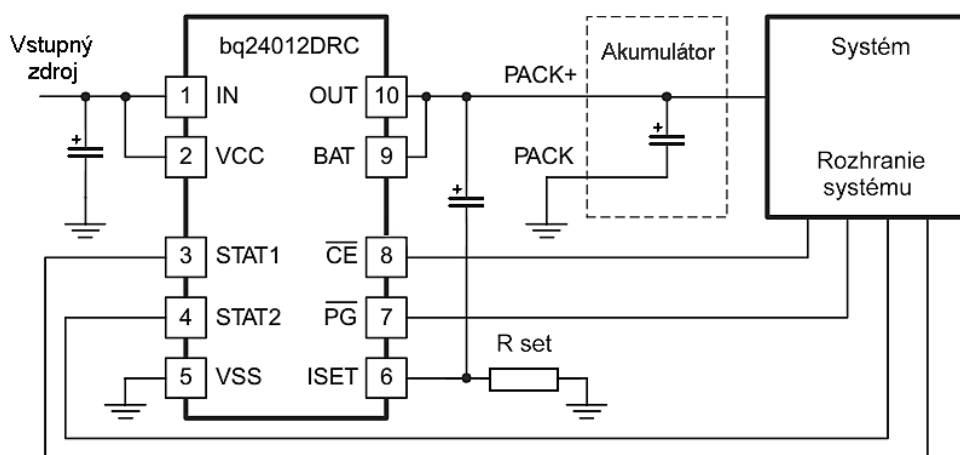
Tab. 6.1: Parametre integrovaného obvodu bqTINY [19]

Maximálne hodnoty		
Parameter	Hodnota	Jednotka
Napájacie napätie	-0,3 až 18	V
Napájací prúd	3,5 až 5	mA
Vstupný napäťový 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 napäťový 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).

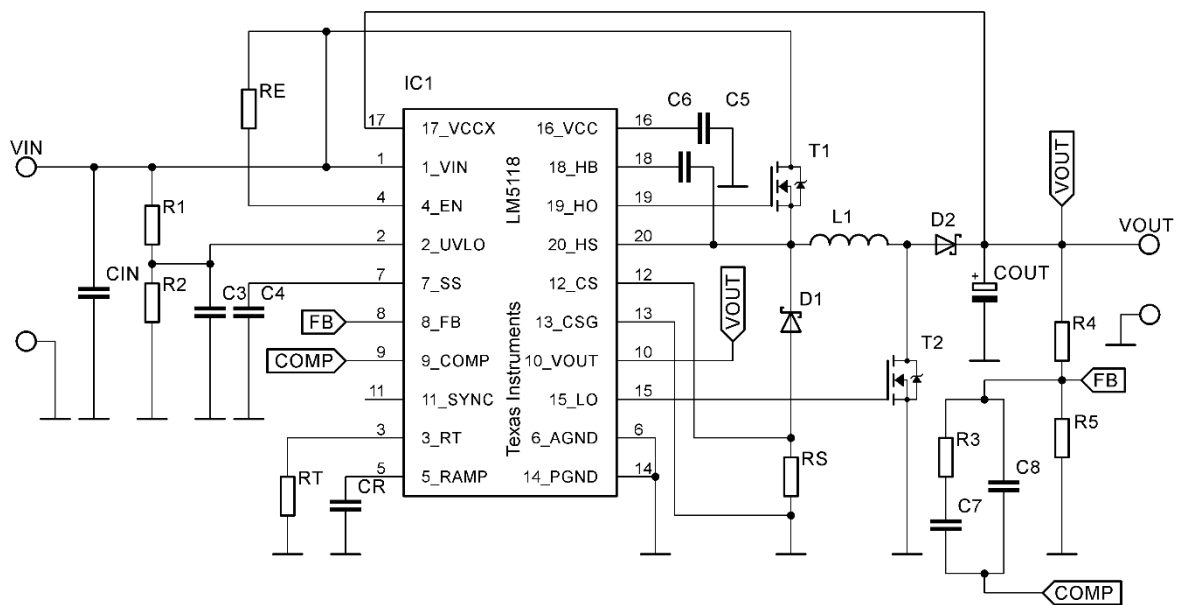
Tento nabíjač je ideálny pre nabíjanie samostatných Li-Ion a Li-Pol akumulátorov alebo celých akumulátorových batérií (v zmysle slova: balení). Obsahuje výkonové FET tranzistory a snímač výstupného prúdu. Jeho výhodou je veľký rozsah napájacích napätí a veľmi presná výstupná napätia (až 0,5% rozdiel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



Obr. 6.1: Schéma zapojenia obvodu bqTINY [19]

## 7 Návrh mení a topológie Two-switch

Ako bolo už spomínané v kap. Neinvertujúce buck-boost mení e, topológia Two-switch mení a je jednou z inovatívnych možných riešení pre návrh a konštrukciu DC-DC mení a pre modul nabíja a. Pre tento ú el bol vybraný integrovaný obvod LM5118 [18] od firmy Texas Instruments, ktorý slúži ako riadiaci obvod spína ov vo výkonovej asti mení a. Vyzna uje 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 katalogového listu [18]

### 7.1 Ur enie základných parametrov a výpo ty

Vychádzame z pôvodných požiadaviek na mení vi tab. 3.1. Pri ur ovaní alších parametrov je nutné použiť údaje z katalogového 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 dopor enej hodnoty z katalogového listu a to  $I_{ripple} = 10\%$  z maximálnej hodnoty za aženia na výstupe. Hodnoty parametrov mení a zobrazuje tab. 7.1.



Tab. 7.1: Parametre pre výpočet meniča

Parameter	Označenie	Hodnota
Minimálne vstupné napätie	$U_{in(min)}$	3V
Maximálne vstupné napätie	$U_{in(max)}$	15V
Výstupné napätie	$U_{out}$	4V
Maximálne prúdové zaťaženie	$I, I_{out}, I_{max}$	2A
Prúdové zvlnenie na induktore	$I_{peak-peak}$	10 %
Predpokladaná účinnosť		80 %
Maximálne zvlnenie výst. napätia	$U_{out}$	30 mV
Pracovná frekvencia	$f$	300 kHz

### 7.1.1 Výpočet komponentov

V prvom kroku návrhu je potrebné vypočítať nastavovací rezistor pre nastavenie pracovnej frekvencie oscilátoru. Pre tento účel slúži rovnica (7.1).

$$\text{---} \tag{7.1}$$

-----

Po dosadení hodnoty frekvencie  $f = 300\text{kHz}$  nadobudne rezistor  $R_t = 18,31\text{k}\Omega$ . Zvolí sa preto najbližšia hodnota rady E12 a to  $R_t = 18\text{k}\Omega$ . Pretože kontrolér LM5118 pracuje v dvoch módoch a to buck (znižujúci) a buck-boost (znižujúci-zvyšujúci) je nutné induktor počítať pre oba tieto módy. Pre dosiahnutie vyššej účinnosti je dobré sa prikláňať k hodnotám patriacim práve buck-boost módu. Ďalším krokom je teda výpočet induktora pre oba tieto módy výpočet popisuje (7.3) pre buck a (7.2) pre buck-boost.

$$\text{-----} \tag{7.2}$$

-----

$$\text{-----} \tag{7.3}$$

-----

Z uvedených výpočtov sa kompromisom medzi oboma módmi určí indukčný nos obvodovej tlmivky  $L = 33\mu H$ . Pre tento induktor sa musia dopĺňať špičkové prúdy, podobne ako hodnota indukčného prúdu po štarte pre oba módy. Vo výpočtoch sa uvažuje o tolerancii menovitej hodnoty tlmivky, ktorá je určená v najhoršom prípade  $L_{tol} = 20\%$ .

$$\text{-----} \quad \text{-----} \quad (7.4)$$

$$\text{---} \quad \text{-----} \quad (7.5)$$

Po dosadení do rovnice (7.4) vychádza hodnota špičkového prúdu pre buck-boost mód:

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

Následne sa dosadením do rovnice (7.5) dopĺňa prúd pre buck mód:

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

Induktor teda musí byť zvolený na minimálne zaťaženie  $I_{peak} = 5,95A \approx 6A$ . Kontrolér používa snímací rezistor  $R_{sense}$  pre snímanie prúdu. Jeho hodnota sa vypočíta pomocou tzv. kompenzačného faktoru  $K$ .

$$\text{-----} \quad (7.6)$$

$$\text{---}$$

Výpočet snímacieho rezistoru  $R_{sense}$  popisuje nasledovná rovnica:

$$\text{-----} \quad (7.7)$$

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

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

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

Vybraná najbližšia hodnota pre  $R_{sense}$  z rady E12 je  $R_{sense} = 0,033 \Omega = 33 m\Omega$ . Pre tento rezistor je nutné doplniť kondenzátor  $C_{ramp}$  rovnica (7.8), ktorý s rezistorom  $R_{sense}$  nastavujú prúdový limit pre induktor.

$$\text{-----} \quad (7.8)$$

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

$$\frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} = \frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} \quad (7.9)$$

$$\frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} = \frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} \quad (7.10)$$

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

$$\frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} = \frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}}$$

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

$$\frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}} = \frac{I_{\text{Lmax}}}{I_{\text{Lmax}}}$$

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

$$\frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}} = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}} \quad (7.11)$$

kde  $D_{\text{max}}$  je maximálna strieda pri móde buck-boost, vypočítava sa podľa vz. (7.12). A  $U_{\text{out}}$  je maximálne povolené zvlnenie výstupného napätia, je uvedené i v tab. 7.1.

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

v tomto prípade je  $D_{\text{max}}$  určené ako:

$$\frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}} = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}}$$

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

$$\frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}} = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{max}}}$$

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

$$\frac{R_{ESR}}{2} \quad (7.13)$$

Pretože vnútorný sériový odpor kondenzátoru (ESR) má byť menší ako vypočítaná hodnota **ESR 6,3m** 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 6,3m možno použiť elektrolytické kondenzátory s ESR 12m. Iné 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 dostatočujúca pre jemný štart obvodu (odznenie prechodových dejov) preto je použitá i pre tento obvod.

$$t_{ss} = 12ms \quad (7.14)$$

Výstupné napätie obvodu sa nastavuje pomerom dvoch rezistorov  $R_4$  a  $R_5$  viď 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).

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

Z tohto pomeru sa alej dopo ítajú oba rezistory, pri om jeden z nich si zvolíme tak aby sa ich približne rovnali hodnotám z rady E12. Hodnotu  $R_4$  zvolíme napr. ako  $R_4 = 1,2k$  . Hodnota  $R_5$  sa vypo íta z pomeru  $R_4/R_5$  a hodnoty rezistoru  $R_4$  pod a nasledujúceho vz ahu (7.16)

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

alej je potrebné nastavi minimálnu hodnotu vstupného napätia pomocou napä ovej deli ky zloženej z dvoch rezistorov a jedného kondenzátoru. Pod a obr. 7.1 sa jedná o rezistory  $R_1$ ,  $R_2$  a kondenzátor  $C_3$ . Spolo ný uzol spojenia týchto rezistorov sa privádza na pin 2 ( $U_{VLO}$ ) riadiaceho obvodu. Rezistor  $R_1$  sa volí v rozsahu od  $10k$  do  $100k$  ako udáva katalógový list [18]. Minimálna hodnota rezistoru  $R_2$  sa potom dopo íta pod a vz ahu (7.17). Rezistor  $R_1$  sa v tomto prípade zvolil ako  $R_1 = 24k$  .

$$\dots \quad (7.17)$$

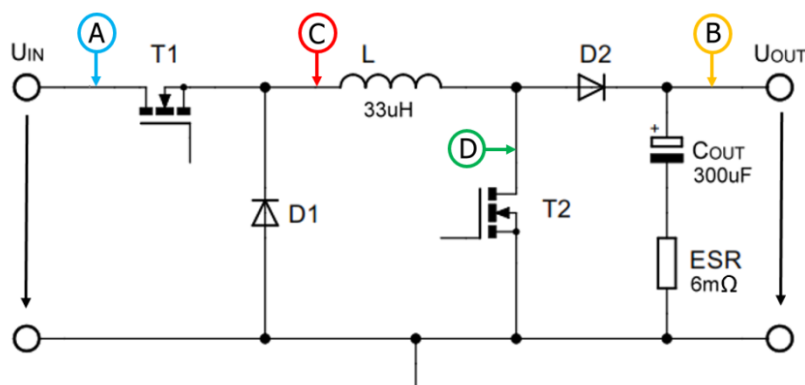
Kondenzátorom  $C_3$ , ktorý slúži ako filter pre deli ku napätia, sa tak isto nastavuje prídržný as, potrebný pre návrat do pracovného módu po reštarte riadiaceho obvodu (z ang. slova „hiccup“) následne po dosiahnutí prúdového limitu. Napätie na pine  $U_{VLO}$  by nemalo nikdy prekro í  $15V$ , o je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

$$\dots \quad (7.18)$$

## 7.2 Simulácie výkonovej asti meni a

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

## 7.2.1 Návrh zapojenia pre simulácie



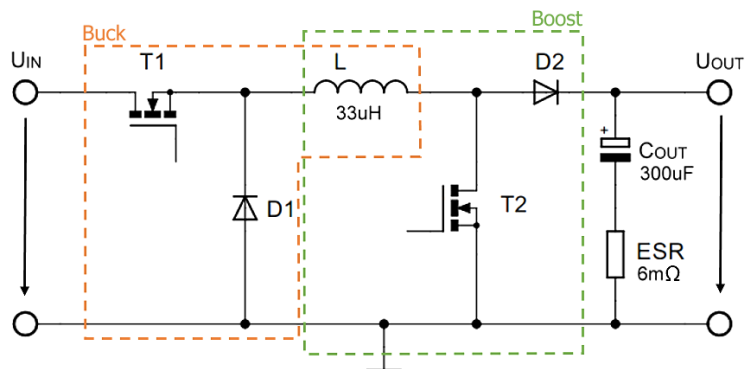
Obr. 7.2: Výsledná schéma obvodu pre simulácie

Na hore uvedenom obr. 7.2 je vyobrazená výsledná schéma obvodu výkonovej asti meni a. Obsahuje vypoítané hodnoty komponentov a sú na nej vyobrazené meracie body A-D, z ktorých sa získavali výstupy simulácií. Aby 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 meni a z tab. 7.1.

**Bod A** je bodom, v ktorom sa meralo vstupné napätie  $U_{in}$  a výstupnému (**bod B**). V **bode C** sa snímala prúd pretekajúci induktorom, pre zobrazenie jeho vlnového tvaru a overenie jeho správnych priebehov. **Bod D** slúži ako doplnkový bod pre získanie vlnového tvaru 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 Rozdielne módy meni a

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



Obr. 7.3: Ukážka rozdelenia Two-switch mení a na diel ie asti

Podobne pri simuláciách sa museli uvažovať oba tieto módy (buck a boost) rozdielne. Testovali sa veľmi iný v obvode najprv pomocou prvého zapojenia **buck**, po dokončení simulácií buck mení a sa obvod prepojil a testoval sa mód **boost** mení a. Spínacie prvky, konkrétne oba tranzistory T1 a T2, boli v simuláciách nahradené pseudo-komponentami: **spína mi riadenými napätím**, ako zdroj riadiaceho napätia pre tieto spína e (náhrada obvodu LM5118) bol použitý: **zdroj obd ťnikového priebehu** (komponent  $V_{pulse}$ ) s nastavenou frekvenciou  $f = 300kHz$ . Pre oba módy bolo potrebné, v závislosti na vstupnom napätí, mení striedu spínacieho signálu. Pre výpo et 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.

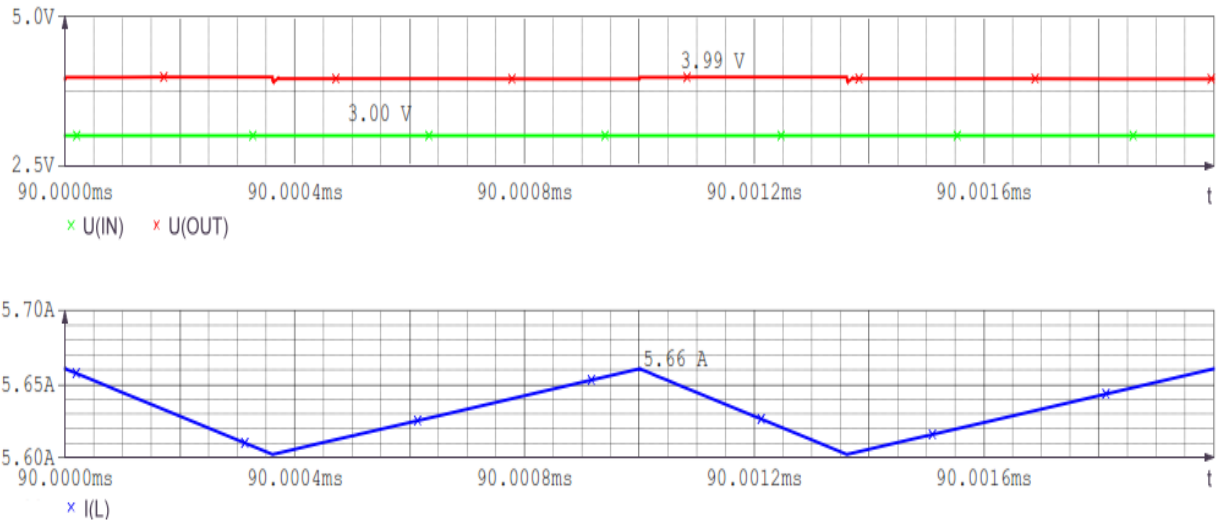
Tab. 7.2: Súhrn prevedených zmien v simuláciách

	Mód mení a - prevedená zmena	
	Buck	Boost
<b>Vstupné napätie</b>	15 V	3V
<b>Strieda spínacieho signálu</b>	26%	25%
<b>Tranzistor T1</b>	spína	otvorený
<b>Tranzistor T2</b>	uzavretý	spína
<b>Dióda D1</b>	spína	uzavretá
<b>Dióda D2</b>	otvorená	spína

### 7.2.3 Výstupy zo simulácie znižujúceho mení a

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

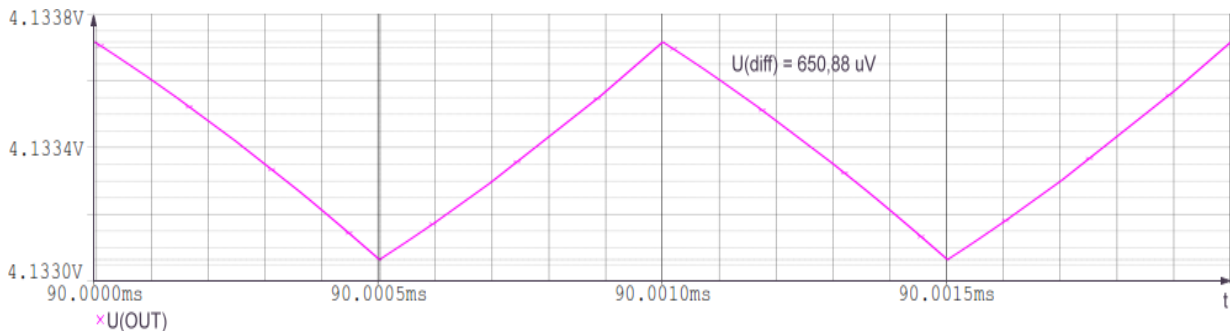
z obr. 7.2) napätia v závislosti na čas. Ako je možné vidieť, výstupné napätie je jednosmerné a dosahuje hodnotu  $U_{out} = 4V$ . Vstupné napätie bolo nastavené podľa tab. 7.1 resp. tab. 3.1 na  $U_{in} = 15V$ .



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  $U_{out} = 650,88\mu V$ . Táto hodnota je dostatočne malá a splňuje požiadavky na menič uvedené v tab. 7.1.



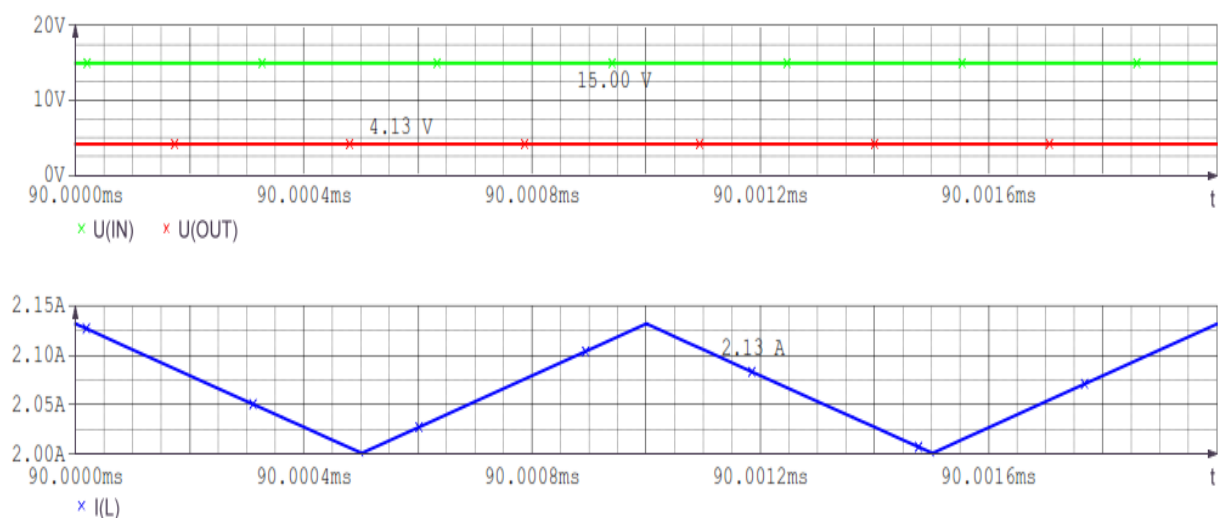
Obr. 7.5: Zvlnenie výstupného napätia pri móde buck



## 7.2.4 Výstupy zo simulácie zvyšujúceho meniča

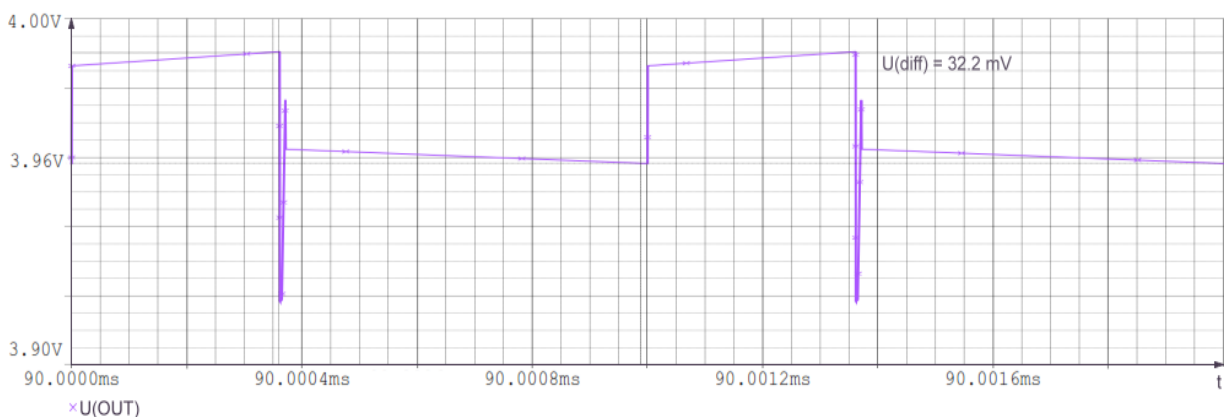
Výstupné priebehy velíín získaných zo simulácie zvyšujúceho (boost) módu dvojprepínačového meniča sú vyobrazené na obr. 7.6.

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 výstupnom napätí viditeľné zvlnenie. Vstupné napätie bolo nastavené podľa tab. 7.1 resp. tab. 3.1 na  $U_{in} = 3V$  (viď 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 teórii [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  $U_{out} = 32,2\text{mV}$ .

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

### 7.2.5 Porovnanie výsledkov zo simulácií

Nasledujúca tab. 7.3 zhrňuje dosiahnuté výsledky zo simulácií. Hodnoty prúdov spínacími súčiastkami a napätí v obvode boli odvzaté 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	$U_{out}$	650,88 $\mu\text{V}$	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 dosky plošného spoja

Táto kapitola sa zaoberá návrhom prototypovej dosky pre DC-DC meniča a 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 puždami komponentov a pokrýva rôznymi funkciami pre návrh i viac-vrstvých dosiek.

### 7.3.1 Návrh schémy zapojenia

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, alej budú popisované i sú iastky, 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 odporúčenej 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 mení a 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, splávať i výkonové požiadavky a byť navrhnutý na maximálne prúdy ním pretekajúce. Z hodnôt získaných simuláciou z tab. 7.3 bol zvolený induktor s maximálnym syténím 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 napäťového 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 útlakmi.

Všetky vyššie spomínané polovodi ové sú iastky boli vybrané tak, aby zniesli minimálny kontinuálny prúd  $I = 10A$ .

Tab. 7.4: Zoznam použitých sú iastok pre zostrojenie DC-DC meniča

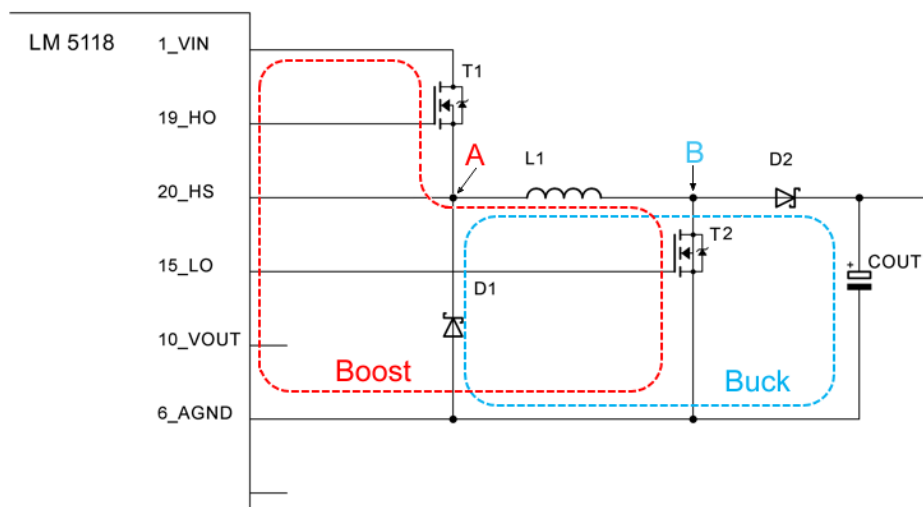
Oznaenie	Hodnota	Puzdro	Oznaenie	Hodnota	Puzdro	Oznaenie	Hodnota	Puzdro
Kondenzátory			Rezistory			Induktory		
C1	22 $\mu$ F	C1812	R1	24k	R0603	L1	33 $\mu$ H	SRP1265A
C2	22 $\mu$ F	C1812	R2	22k	R0603			
C3	330nF	C0603	R3	1,8k	R0603	Diódy		
C4	100nF	C0603	R4	1,2k	R0603	D1	SK54C	SMC
C5	1 $\mu$ F	C0805	R5_1	470	R0603	D2	SK54C	SMC
C6	100nF	C0603	R5_2	68	R0603	D3	SK54C	SMC
C7	1 $\mu$ F	C0603	RE	1M	R0603	D4	SK54C	SMC
C8	33nF	C0603	RS	33m	R0603			
C9	150 $\mu$ F	SVPE	RT	18k	R0603	Tranzistory		
C10	150 $\mu$ F	SVPE	RX1	0	R0603	T1	FDS667	SO-8
C11	470nF	C0603	RX2	0	R0603	T2	FDS667	SO-8
C12	470nF	C0603						
C13	1 $\mu$ F	C0603				Integrované obvody		
CR	470pF	C0603				IC1	LM5118	HTSSOP20

V tab. 7.4 je výpis všetkých použitých sú iastok pre zostrojenie DC-DC meniča. Prvý stpec vždy obsahuje oznaenie komponentu (sú iastky) z elektrickej schémy zapojenia (príloha B-1). Druhý obsahuje práve hodnotu, ktorá bola zvolená pod a vyššie spomínaných kritérií a posledný zobrazuje oznaenie zapuzdrenia sú iastky. Väšina z komponentov je realizovaná v puzdrách typu 0603, ktorá má rozmery: 1,6 x 0,8 mm. Najväšiu plochu na doske plošných spojov, ako samotný komponent, zaberá induktor, ktorý sa vyznačuje značnými plošnými rozmermi, konkrétne: 12,3 x 12,3 mm.

### 7.3.2 Samotný návrh dosky plošného spoja

Doska plošného spoja bola navrhnutá ako dvoj-vrstvá. Pri návrhu boli dodržané návrhové pravidlá pre strojné vyhotovenie s maximálnym rozlíšením spoj/medzera do 150  $\mu$ m s prekovenými otvormi s minimálnym priemerom do 250  $\mu$ m. Malo-sigálové spoje boli navrhnuté s veľkosťou šírky spoja  $w = 300\mu$ m. Výkonové spojenia boli realizované vylievanou medzou s dodržaním pravidiel popísaných v kap. 7.3 pre elimináciu parazitných javov spojených s vysokou pracovnou frekvenciou. Tento jav sa nazýva „horúca slučka“ alebo „AC slučka“ [22] [11].

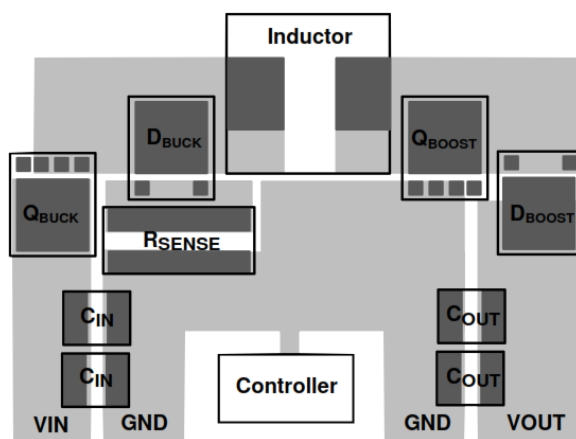
Návrh plošného spoja každého meniča je jeho kritickou časťou, práve kvôli vyššie spomínaným AC slučkám. Rýchlo meniace sa signály vo výkonovej časti obvodu, kde sa pracuje s vysokými prúdmi, navyše so strmými hranami, spôsobujú vznik parazitných indukcií, ktoré alej ovplyvňujú stabilitu obvodu. Vznik týchto parazitných vlastností môže alej nepriaznivo vplyvať na efektivitu zdroja alebo spôsobiť nepriaznivo pôsobiace napäťové špičky. Jedným z vhodných riešení, ako eliminovať ich vplyv na ostatné časti obvodu, je minimalizovať plochu, ktorá slučku 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

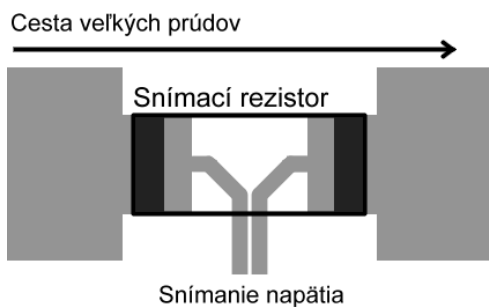
AC slučka pre DC-DC menič je znázornená na obr. 7.8. Červenou farbou je znázornená jedna zo slučiek pre boost mód meniča, modrá farba znázorňuje buck mód. Vysvetlenie červenej slučky (boost mód) vychádza z princípu funkcie zvyšujúceho (boost) meniča, ktorá je popísaná v literatúre [12]. Najprv sa zo **zdroja napätia** (vstupný zdroj **V<sub>in</sub>**) nahromadí energia do **induktora L**, v tomto čase je tranzistor **T2** **zopnutý** a 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 **kondenzátora C<sub>out</sub>**, prúd priamo prechádza **cez diódu D2**. Tranzistor T1 je v tomto móde neustále v zopnutom stave a v ideálnom prípade predstavuje vodič bez akéhokoľvek 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 alej znázornené **spínacie 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 mení a, alej používa doporu ené 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 doporu ený layout výkonovej asti. Sú na om 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: Doporu ený návrh layoutu výkonovej asti [18]

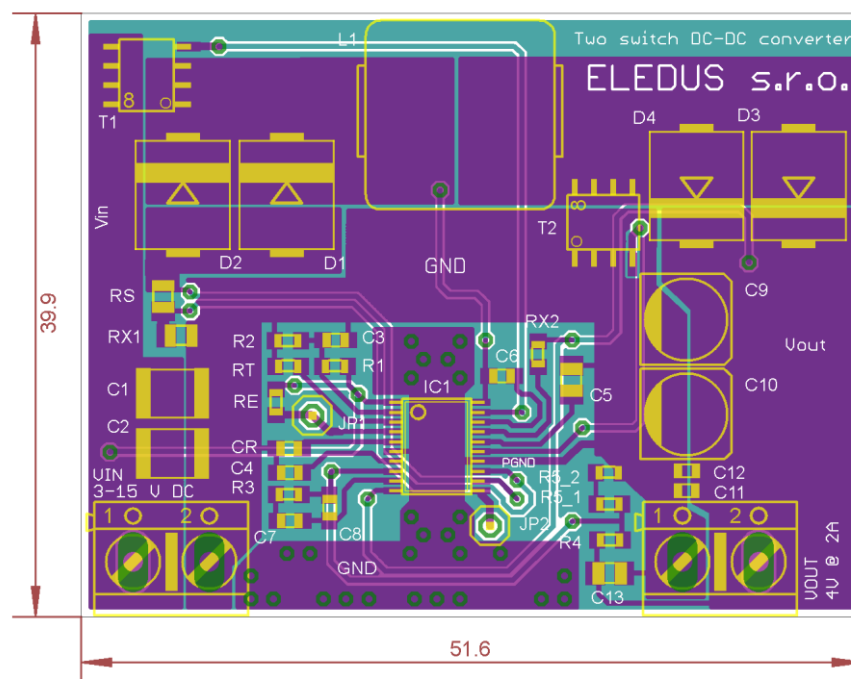
Ako bolo už spomínané, snímací rezistor  $R_{sense}$  je nutné pripoji priamo k meracím pinom riadiaceho obvodu LM 5118, ale zároveň musí by splnená podmienka návrhu z obr. 7.9. Táto realizácia bola prevedená pomocou Kelvinovho zapojenia [1] (alebo tiež tzv. štvor-vodi ové snímanie), ktoré je možné vidie na obr. 7.10. Ve kou výhodou je presnosť snímanej veli iny. Vodi e, ktoré snímajú napätie neovplyvujú 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 mení a 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 mení a 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 a ďalšie zníženie rozmerov nie je potrebné, nakoľko sa jedná len o testovací prototyp mení a napätia.



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

Fialová farba predstavuje hornú vrstvu dosky tzv. TOP, modro-zelená je vrstva spodná BOTTOM. Na obr. 7.11 je možné alej vidieť popisy sú iastok (SILK SCREEN) značených bielou farbou, zhodujú sa s označením na obvodovej schéme (príloha B-1). Sú iastky sú značené farbou žltou. Ako je možné vidieť IO ovládača a LM 5118 má realizované pripojenie termálnej plochy určennej pre odvod tepla. Táto plocha je pripojená na spoločnú zem (AGND) a pre lepší odvod tepla je prepojená so spodnou vrstvou zeme pomocou prekovených 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 dvoma vedľajšími vodičmi. Pomocou prekovených otvorov sa tieto signálové cesty vedú skrz spodnú zemniacu vrstvu a pripájajú sa na piny CS a CSG integrovaného obvodu LM 5118.

## 8 Návrh modulu nabíjača

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

### 8.1 Výber vhodných komponentov

Modul nabíjača musí splniť určené pracovné podmienky. Tými sú hlavne malé rozmery, signalizácia stavu nabíjania akumulátora, možnosť regulácie nabíjacieho prúdu a nabíjanie ako 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 alej popisovaný v nasledujúcej podkapitole.

#### 8.1.1 Integrovaný obvod nabíjača

Výsledný modul nabíjača musí splniť 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]	Nabíjanie 1C [mA]	Nabíjanie 1/10 C [mA]
<b>Akumulátor typu: Li-ion</b>		
850	850	85
1350	1350	135
4000	4000	400
<b>Akumulátor typu: Li-pol</b>		
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 splňuje 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 určuje pomocou rovnice (8.5), ktorá bola zistená priamo z katalógového listu bq24012 [16].

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

Pomocou jednoduchšej matematickej úpravy potom získame rovnicu:

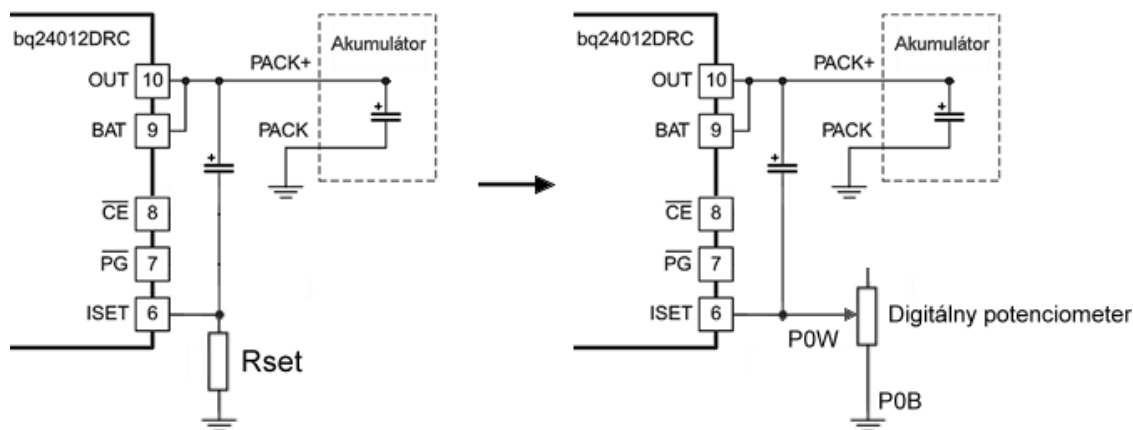
$$\text{-----} \tag{8.2}$$

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 alej bolo, aby sa pre riadenie nabíjacieho prúdu použil práve integrovaný digitálny potenciometer s označením **MCP455x** od firmy Microchip. Tento digitálny potenciometer obsahuje **sériovú zbernicu I<sup>2</sup>C**, 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<sub>SET</sub> obvodu bq24012) pričom pevný koniec odporu (pin POB) je pripojený na spoločnú zem. Týmto zapojením sa získava 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**. 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 nabíjanie. Jemné doladenie nastavenej hodnoty je zabezpečené tým, že tento obvod dokáže rozdeliť jeho maximálnu hodnotu až na 256 astí. Na jednu nastavovaciu hodnotu potom pripadá približne **39**.

### 8.1.2 Výkonové prepínače

Výkonové prepínače sú tiež jedným zo základných stavebných blokov modulu nabíjania. 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  $U_{\text{IN}} = 4\text{V}$ , 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 nabíjania). 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  $U_{\text{IN}}$  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  $I = 6\text{A}$ .

### 8.1.3 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér (alej MCU) s riadiacim firmwarom bude mať za úlohu správne ovládanie výkonových prepínačov (SW1-SW7), ktorých spínacie poradie je dané podľa algoritmu prepínania popísaného v kapitole 2. Ukážka algoritmu je vyobrazená na obr. 2.1. Okrem toho sníma napätia na svorkách solárneho článku, externého zdroja a batérie. Realizácia snímania napätí je zabezpečená privedením týchto napätí na vstupy AD prevodníkov mikrokontroléru, cez vhodne upravené napäťové deliče. Preto je dôležité aby mal mikrokontrolér dostatočné množstvo AD (analog-to-digital) prevodníkov. Výpočet odporových deličov je daný podľa všeobecne známej rovnice (8.5).

(8.3)

Ďalšou požiadavkou na MCU je podpora komunikácie pomocou sériovej zbernice I<sup>2</sup>C, s ktorou sa bude pomocou digitálneho potenciometru nastavovať nabíjací prúd akumulátoru. Nastavovací prúd bude možné priamo v programe, ale sa bude dať zvoliť manuálne privedením signálu, na niektorý zo vstupných pinov MCU. K tomu účelu bude slúžiť kolíková lišta pripojená priamo na jeho vstupy.

Zvolený mikrokontrolér má označenie ATmega16L od firmy ATMEL, jeho katalógový list je v lit. [2]. Jedná sa o 8-bitový MCU so 16kB Flash pamäťou. Nastavená frekvencia procesoru je daná externým rezonančným kryštálom na hodnotu 8MHz. Tento MCU má celkovo 8 kanálový 10-bitový AD prevodník, z ktorého sa dajú niektoré kanály zapojiť ako diferenčné. Ešte je dôležité podotknúť, že AD prevodník porovnáva hodnoty s referenčným napätím, ktoré je v tomto prípade nastavené z interného zdroja na  $U_{ref} = 2,56V$ . Diferenčný vstup AD prevodníku je vhodnou realizáciou pre snímanie napätia na snímacom rezistore  $R_{MEAS}$ , ktorý slúži na kontrolu nabíjacieho prúdu. Je zapojený na výstup nabíjacieho obvodu bq24012. Hodnota tohto odporu je určená pomocou rovnice Ohmovho zákona pri dodržaní výkonovej straty  $P_{max} = 0,125W$  a maximálnom nabíjacom prúde  $I_{out} = 1A$ .

(8.4)

Napätie na snímacom rezistore teda nepresiahne hodnotu  $U_{R_{meas}} = 125mV$ . Táto hodnota je ale moc malá a snímanie by bolo nepresné. Preto sa snímané napätie privedie na AD prevodník, ktorý dokáže toto napätie zosilniť. Ak napätie znížime na hodnotu napr.  $U_{R_{meas}} = 10mV$  a zosílime ho 200x, dostaneme na diferenčnom vstupe AD prevodníka MCU napätie s hodnotou  $U_{AD} = 2V$ . Toto napätie je už dosť ujúce, nepresahuje hodnotu referencie

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

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

Pomocou rovnice (8.3) dopôčítame zostávajúce hodnoty odporových delíčov, pričom jeden z delíčov sa vždy zvolí a následne sa dopôčíta druhý z rezistorov. Odvoľby prvého rezistoru  $R_1$  závisí samozrejme hodnota druhého  $R_2$ . Aby bolo dosiahnutá najpresnejšia zhoda vypočítanej hodnoty rezistoru  $R_2$  v rámci rady E12 hodnotu  $R_1$  upravíme. Spodná tab. 8.2 zobrazuje vypočítané hodnoty delíčov, značenie je zhodné so schémou modulu nabíjača a príloha B-2.

Tab. 8.2: Hodnoty napäťových delíčov pre AD prevodníky

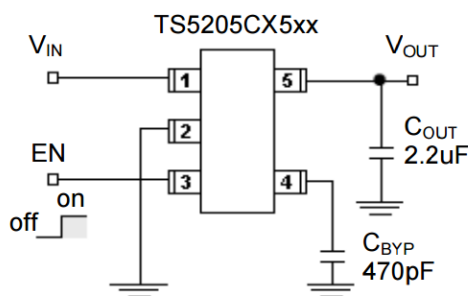
Označenie v schéme	Hodnota	Poznámka
<b>Delí napätia solárneho lánku</b>		
R4	2,4k	Určený
R5	560	Vypočítaný
<b>Delí napätia externého zdroja</b>		
R6	2,4k	Určený
R7	560	Vypočítaný
<b>Delí napätia z akumulátora</b>		
R8	1k	Určený
R9	1,5k	Vypočítaný

#### 8.1.4 Napájanie

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

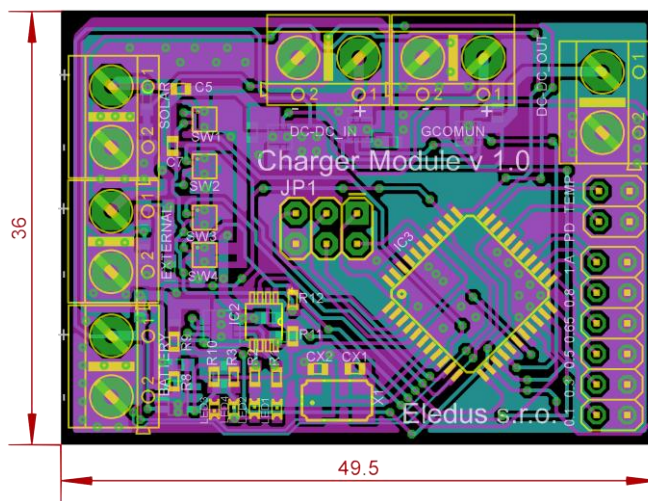
nabíja a je táto hodnota viac než dosta ujúca, nako ko predpokladaný odber túto hodnotu nepresiahne. Konkrétny obvod so zna ením **CX533** dodáva v základnom zapojení do obvodu napätie  $U_{out} = +3,3V$ . Obvodové zapojenie zobrazuje obr. 8.3. Z obrázku je možné vidie povolovací pin obvodu s ozna ením **EN (enable)**. Ním sa dá regulátor pod a potreby zapína a vypína . V tomto návrhu nie je potrebné ovláda napájanie ostatných obvodov a preto sa pin EN zapojí priamo na vstup  $U_{in}$ .



Obr. 8.3: Obvodové riešenie napájacieho zdroja [15]

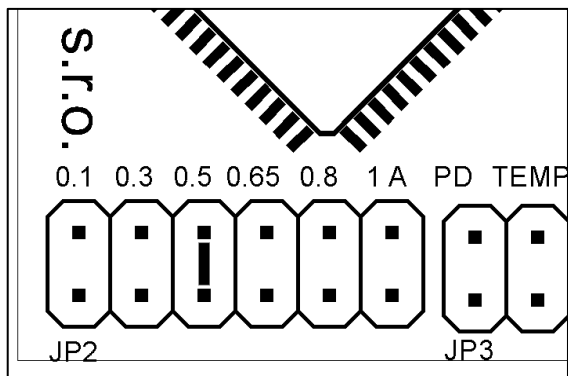
## 8.2 Návrh dosky plošného spoja

Podobne ako pri návrhu plošného spoja DC-DC mení a 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 pod a obvodovej schémy znázornenej v prílohách (príloha B-2). Obe vrstvy sú realizované ako spoločná zem, v ktorej sú vedené signálové spojenia.



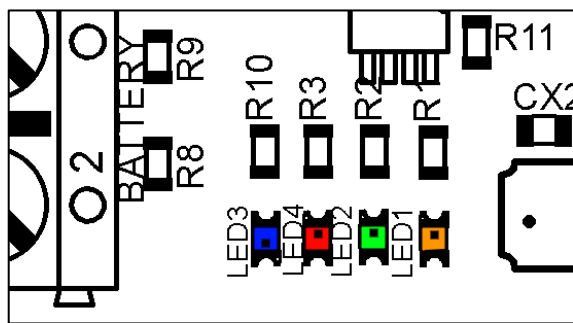
Obr. 8.4: Výsledný návrh dosky plošného spoja modulu nabíja a (mierka 1:2)

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

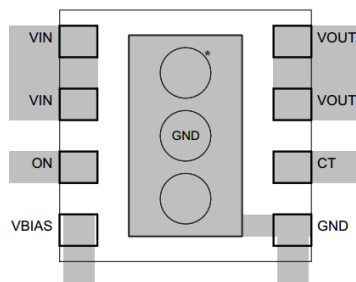
Pripojenie MCU k programátoru je realizované pomocou 6-pinovej kolíkovej lišty, ktorá je pripojená k rozhraniu **ISP** (In System Program). Tá má značenie JP1. Lišta JP3 je prídavná lišta pre pripojenie snímača a teploty (TEMP), ten je privedený priamo na jeden z AD prevodníkov MCU. Pin PD slúži pre 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 signálnych LED diód

Na plošnom spoji sú navrhnuté celkovo 4 signálne LED diódy, názorné zobrazenie je na obr. 8.6. LED dióda so značením LED1 (Charge) má oranžovú farbu a signalizuje nabíjanie akumulátoru. Vase 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 (IC1) 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

# Záver

Zadaním tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť modul nabíjača a akumulátorov špecifický pre zabezpečenie GSM zariadenia. 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 zabezpečenie GSM zariadenia GComun, od firmy Eledus s.r.o., výkonové prepínače, ktoré zabezpečujú prepájanie vstupných napätí zo zdrojov energie. A v neposlednej rade integrovaný systém nabíjača a spoločne s vhodným akumulátorom. Posledným blokom je riadiaci mikrokontrolér pre riadenie prepínačov a snímanie veličín v rámci modulu nabíjača. Podľa tejto schémy sa alej vytvoril algoritmus prepínania prepínačov, ktorý je alej 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  $4 \text{ V DC}$  s maximálnym zaťažovacím prúdom  $2 \text{ A}$ .

Návrh plošného spoja nabíjača a 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 alej ovláda nabíjací prúd pomocou sériovej komunikácie s digitálnym potenciometrom.



## Zoznam použitej literatúry

- [1] All About Circuits, *Kelvin (4-wire) resistance measurement*. [webová stránka], dostupné z: [http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_1/chpt\\_8/9.html](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 batériách*, [online článok], dostupné z: [http://www.elektrobicykle.sk/info/vsetko\\_o\\_bateriach/](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](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. *Mení kapacity akumulátor*. 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; PATO KA, 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](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](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](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] VI AR, O.*Systém napájení s vysokou účinností pro mobilní zařízení*. [diplomová práce] Brno: Vysoké učení technické v Brn , Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 88 s. Diplomová práce.

# Zoznam symbolov a skratiek

$\mu\text{m}$	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
$D_{\text{max}}$	Maximálna strieda [%]
$D_{\text{min}}$	Minimálna strieda [%]
EN	povolovací pin
ESR	vnútorný sériový odpor (Equivalent Serial Resistance)
f	Frekvencia [Hz]
F	Farad, jednotka kapacity
FB	spätnoväzobný pin
GND	zem
H	Henry, jednotka indukčnosti
HTSSOP-20	puzdro IO s 20 vývodmi a termálnou ploškou pre chladenie
Hz	Herz, jednotka frekvencie, kmito tu
I	elektrický prúd [A]
IC	integrováný obvod, IO, integrated circuit (ENG)
in	vstup
IO	integrováný obvod (SK)
$I_{\text{peak}}$	Špičkový prúd [A]
$I_{\text{sim}}$	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
$R_{\text{sense}}$	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 <sub>ss</sub>	čas pre jemný nábeh (soft-start) [s]
U	Napätie [V]
U <sub>in</sub> , V <sub>in</sub>	vstupné napätie [V]
U <sub>out</sub> , V <sub>out</sub>	výstupné napätie [V]
V	Volt, jednotka napätia
V <sub>cc</sub>	napájacie napätie
V <sub>ccx</sub>	pomocné napájacie napätie
U <sub>out</sub>	zvlnenie výstupného napätia [V]
	ohm, jednotka elektrického odporu

# Zoznam príloh

## **A. VÝSTUPY ZO SIMULÁCIÍ**

Príloha A-1: Výstup asovej analýzy pre buck mód mení a

Príloha A-2: Výstup asovej analýzy pre boost mód mení a

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

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

## **B. SCHÉMY ZAPOJENÍ**

Príloha B-1: Elektrická schéma zapojenia DC-DC mení a

Príloha B-2: Elektrická schéma zapojenia modulu nabíja a

## **C. NÁVRHY PLOŠNÝCH SPOJOV**

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

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

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

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

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

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

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

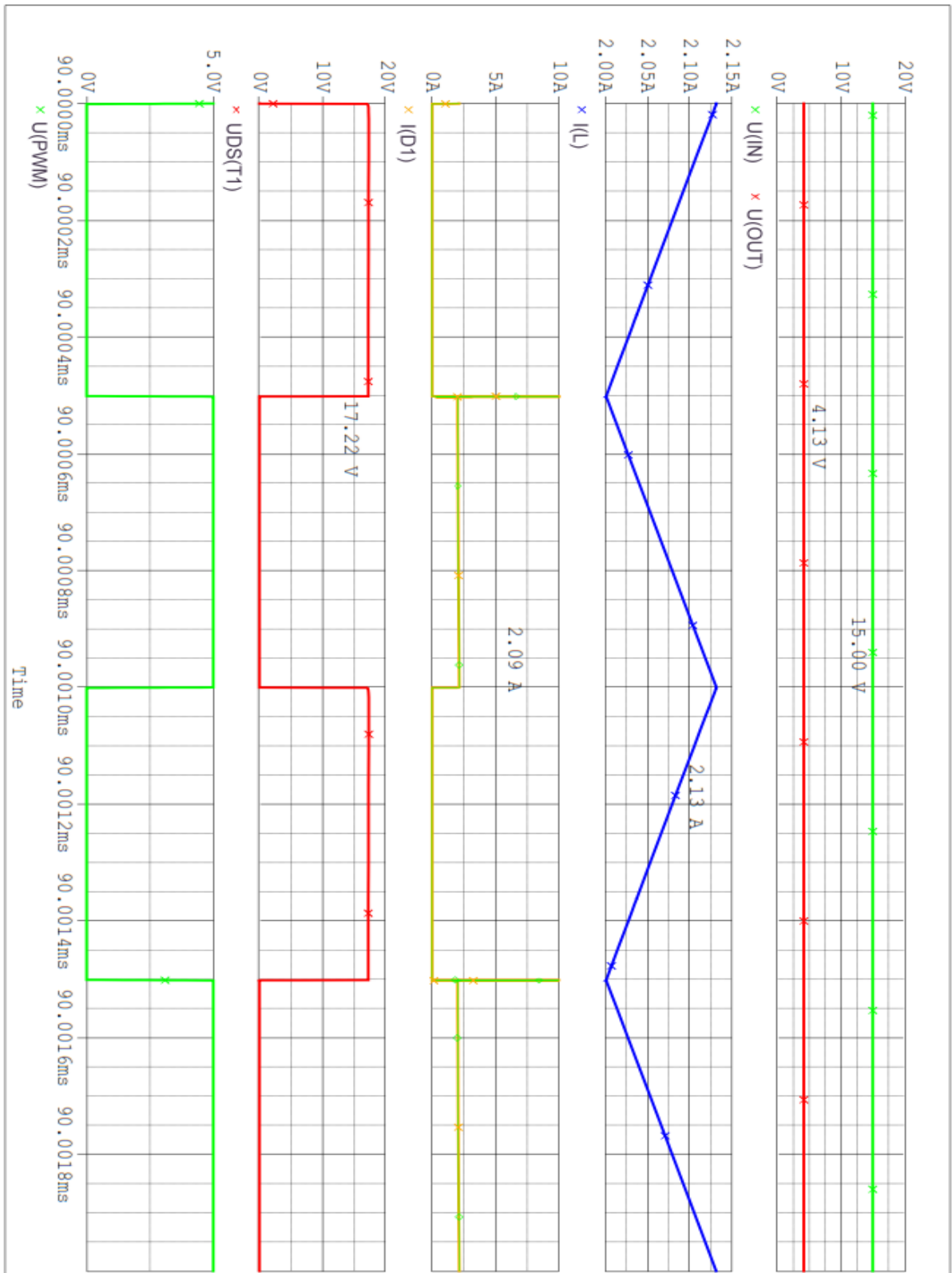
## **D. FOTODOKUMENTÁCIA**

Príloha D-1: Fotografia neosadeného prototypu mení a horná vrstva TOP

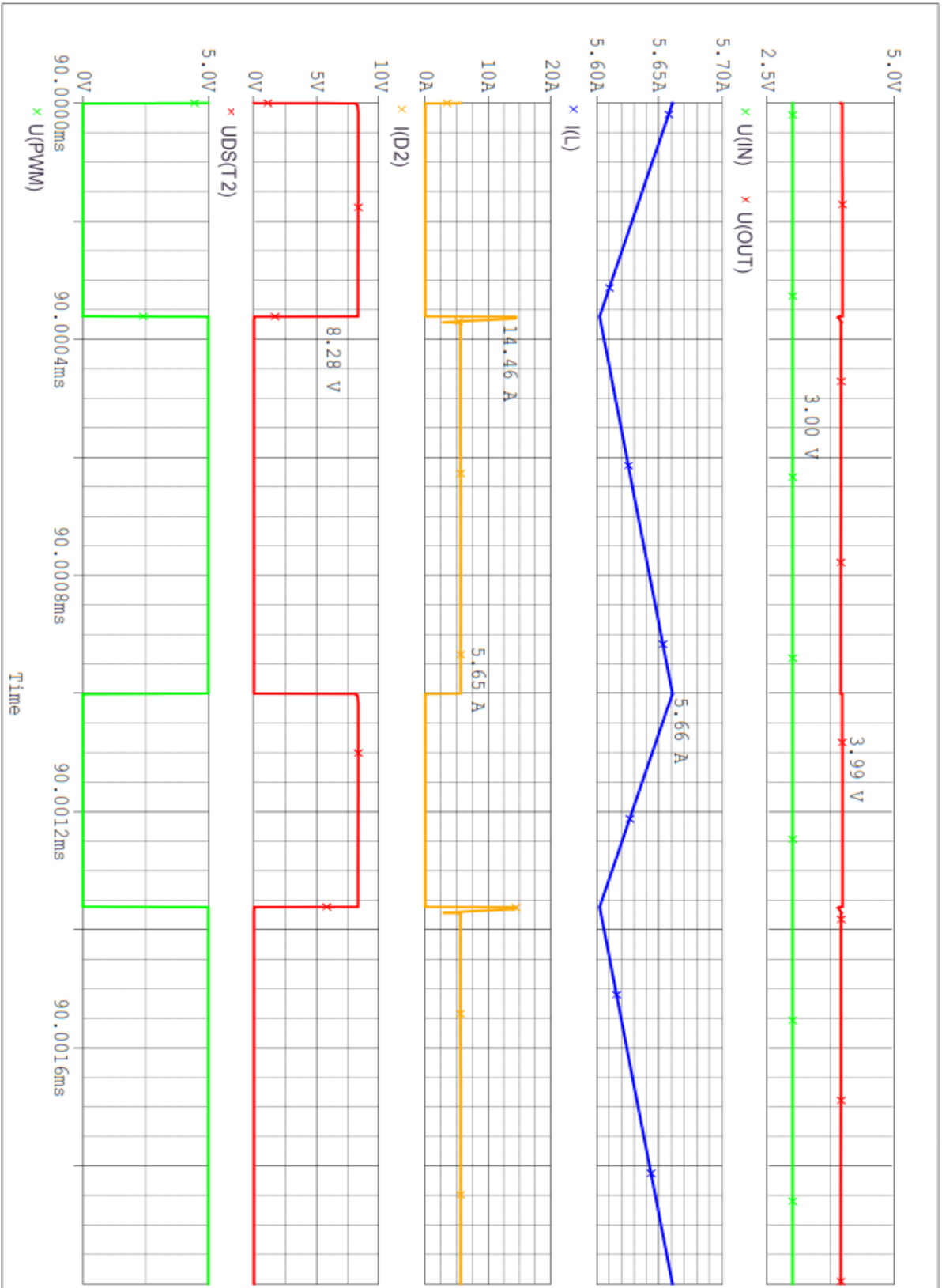
Príloha D-2: Fotografia neosadeného prototypu mení a spodná vrstva BOTTOM

Príloha D-3: Fotografia osadeného prototypu mení a horná vrstva TOP

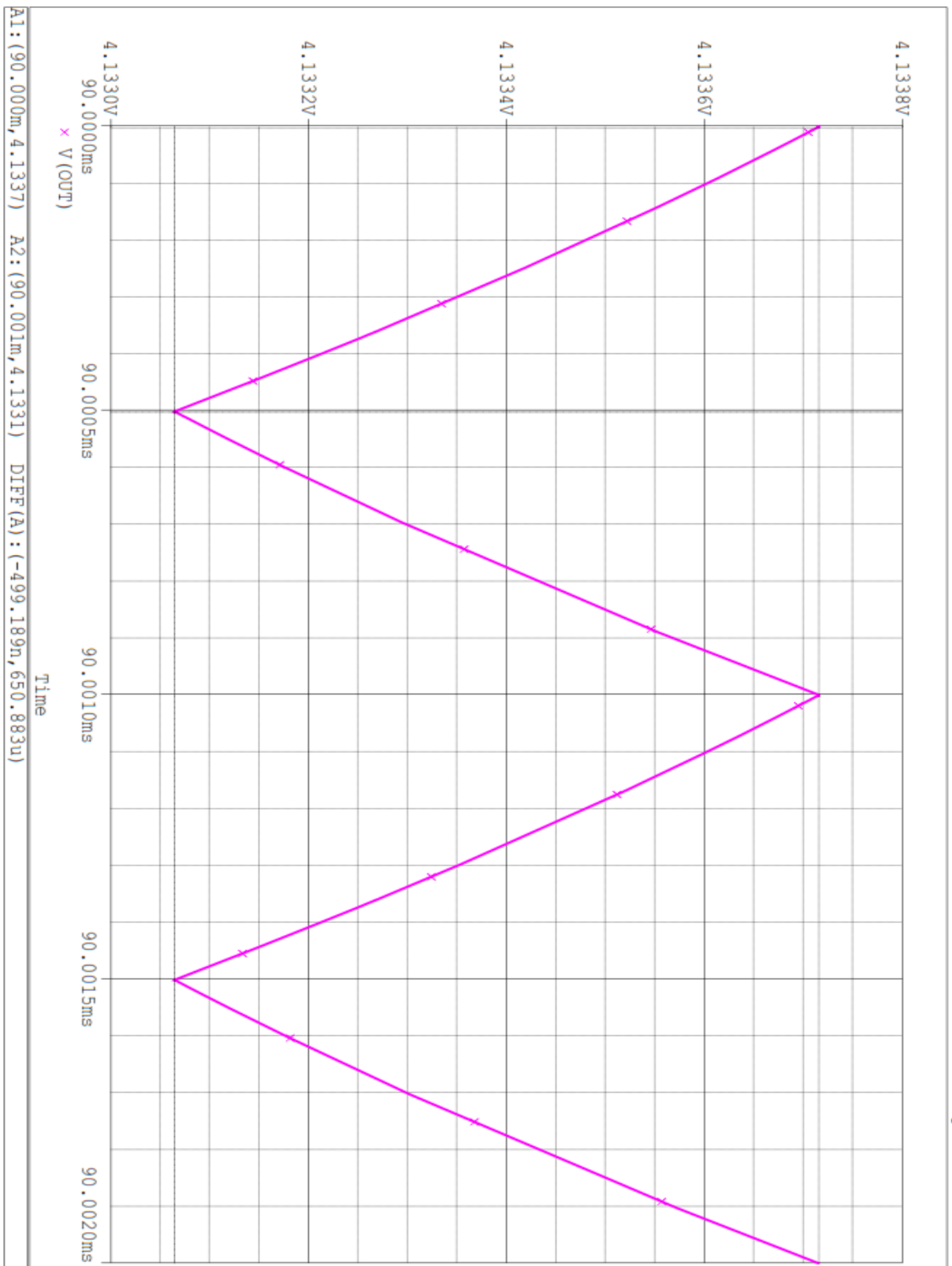
## A. Výstupy zo simulácií



Príloha A-1: Výstup asovej analýzy pre buck mód mení a

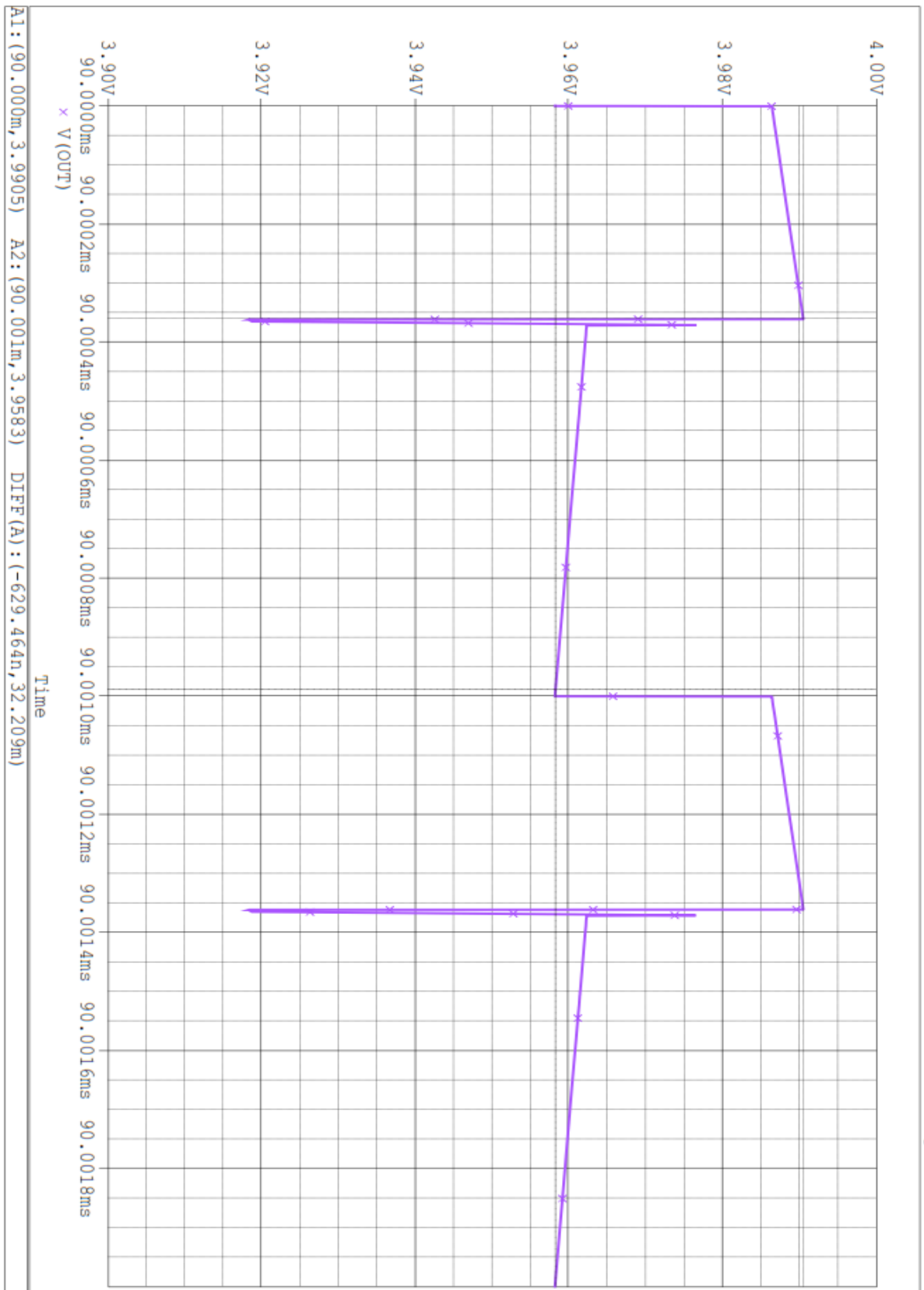


Príloha A-2: Výstup asovej analýzy pre boost mód mení a



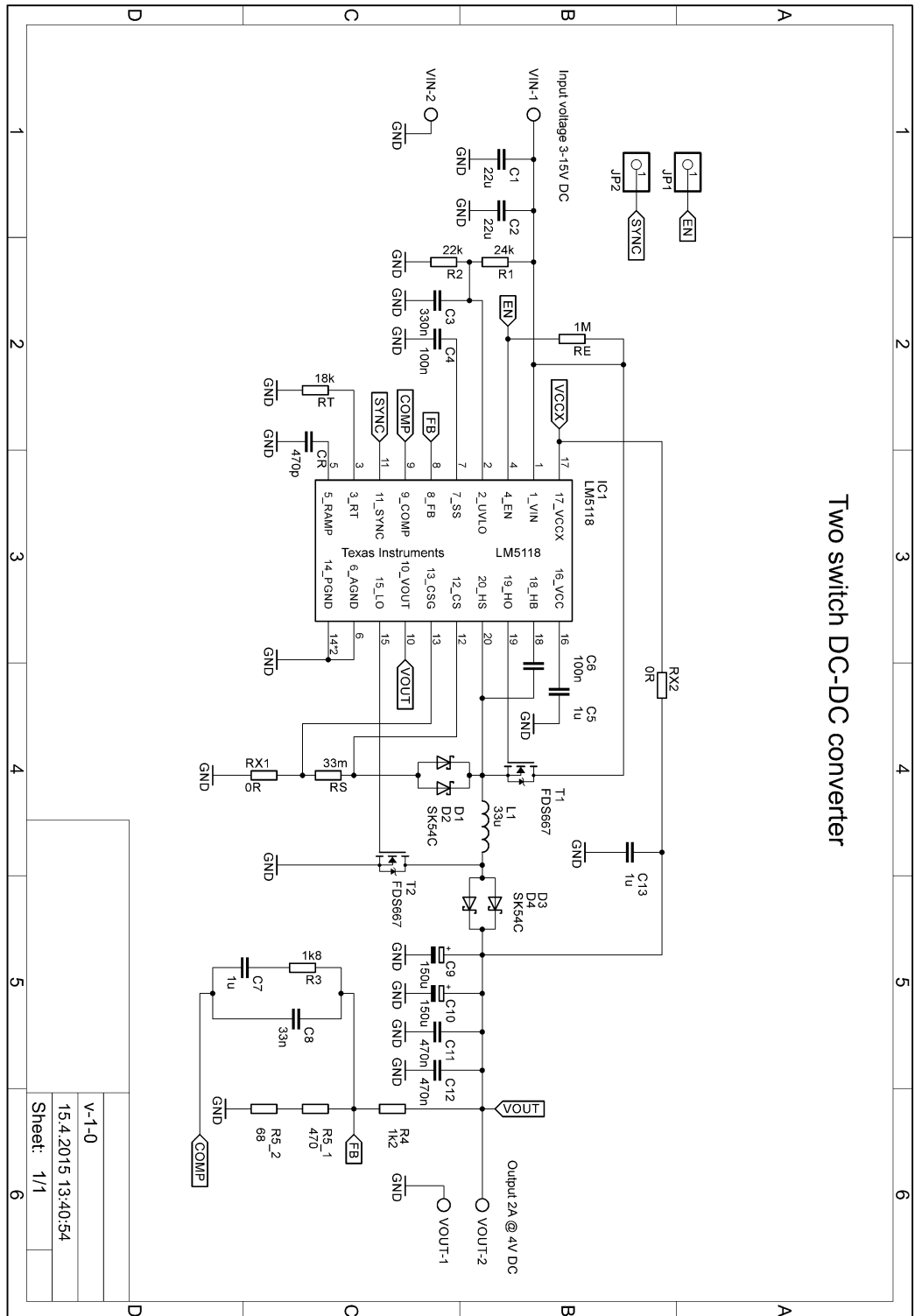
Príloha A-3: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde buck





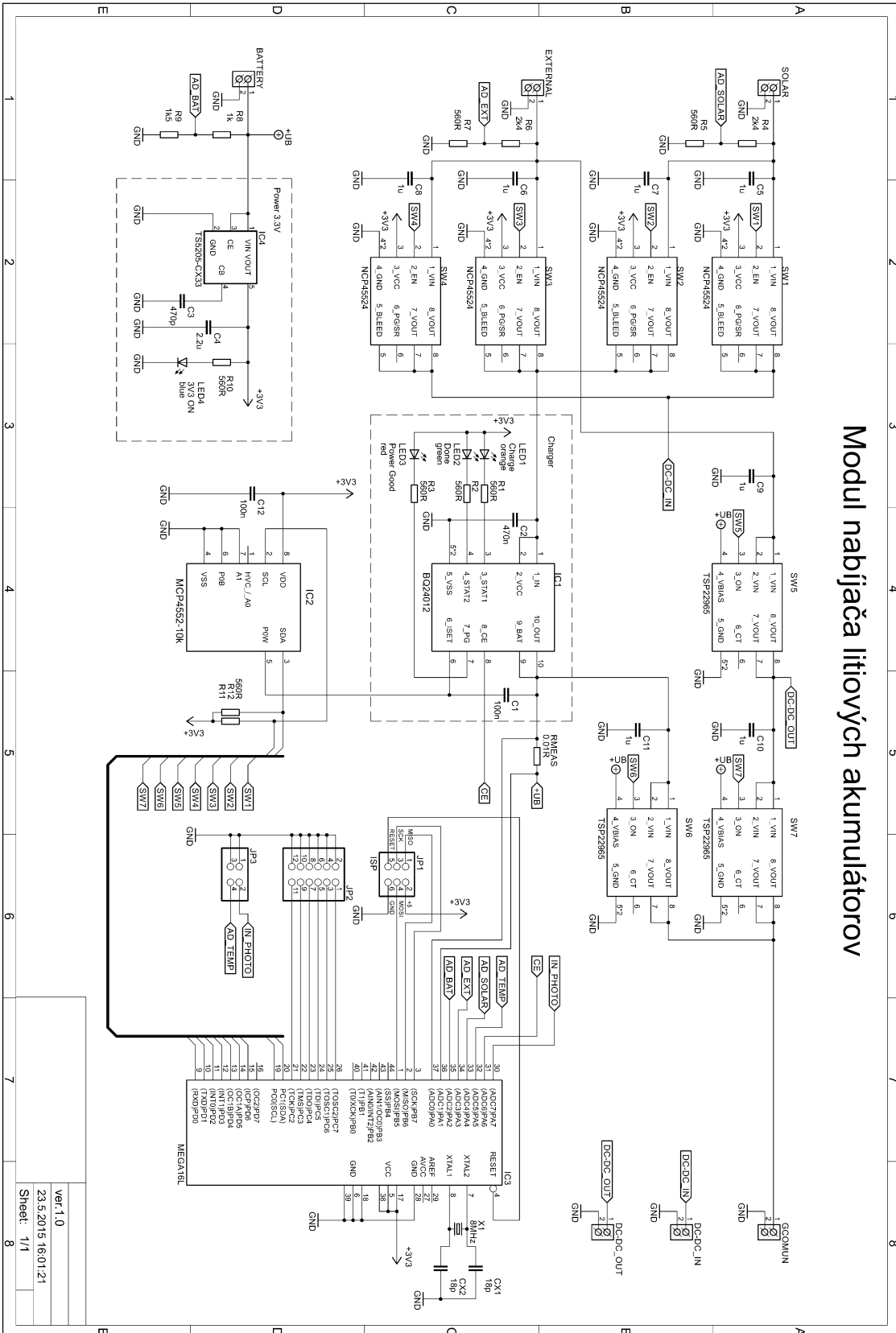
Príloha A-4: Detail na zvlernenie výstupného napätia v móde boost

## B. Schémy zapojení



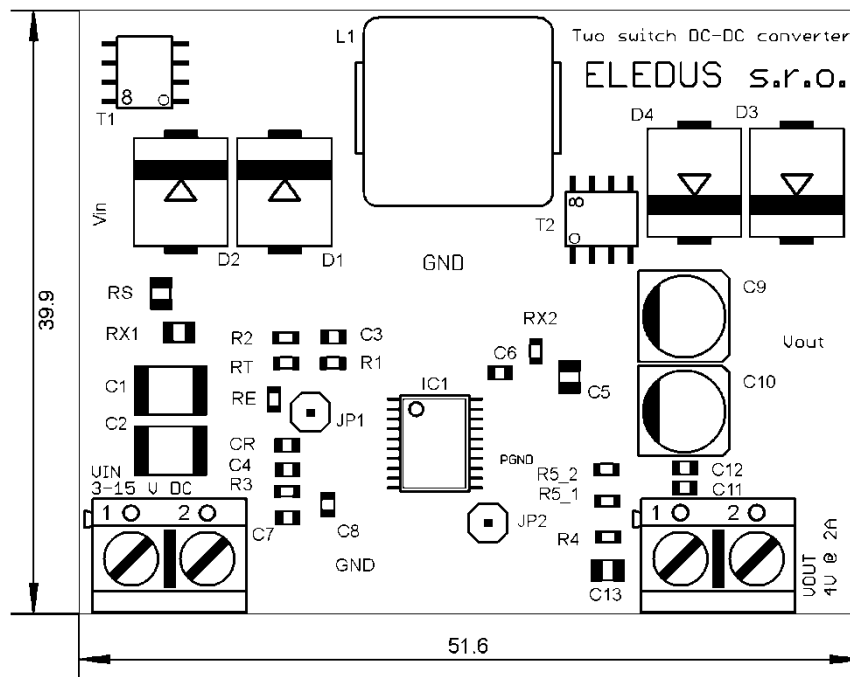
Príloha B-1: Elektrická schéma zapojenia DC-DC meniča

# Modul nabíjača litiových akumulátorov

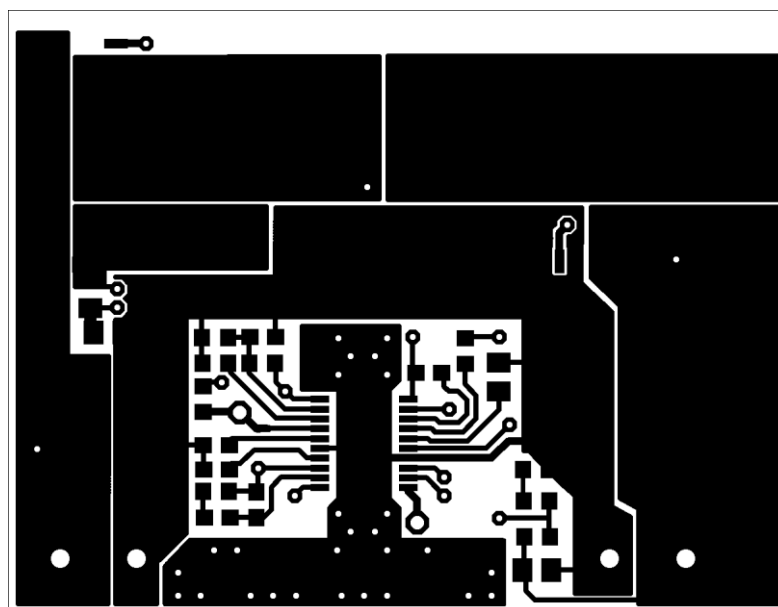


Príloha B-2: Elektrická schéma zapojenia modulu nabíjača

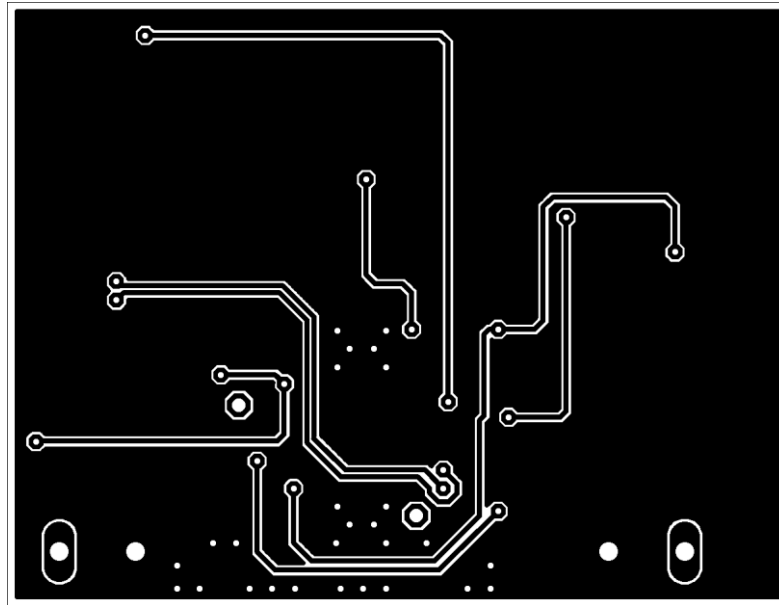
## C. Návrhy plošných spojov



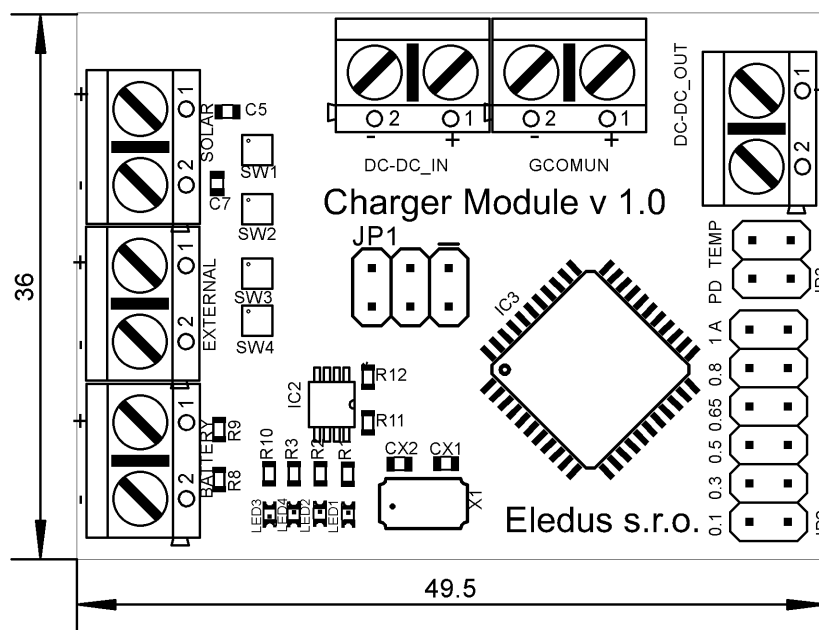
Príloha C-1: Osadzovací plán DC-DC meniča (mierka 1:2)



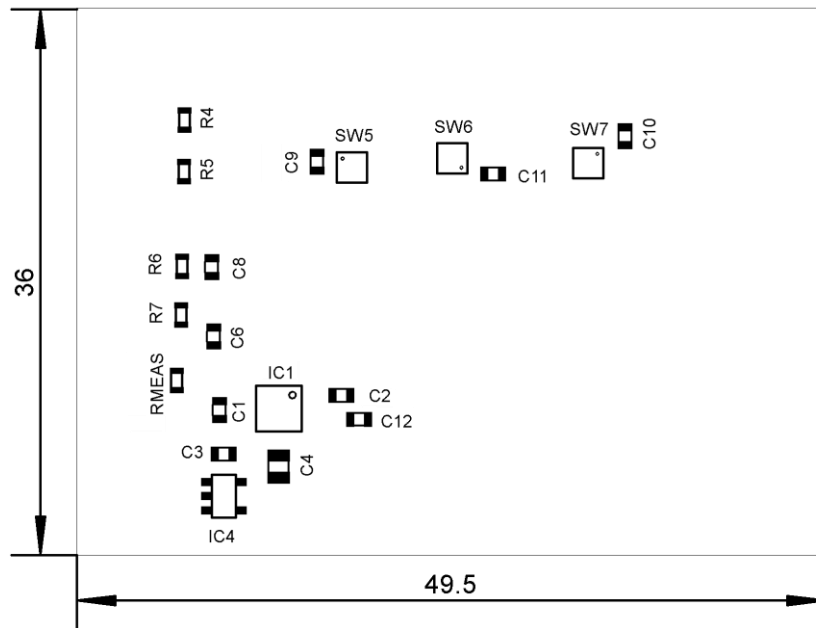
Príloha C-2: Doska plošného spoja meniča horná vrstva TOP (mierka 1:2)



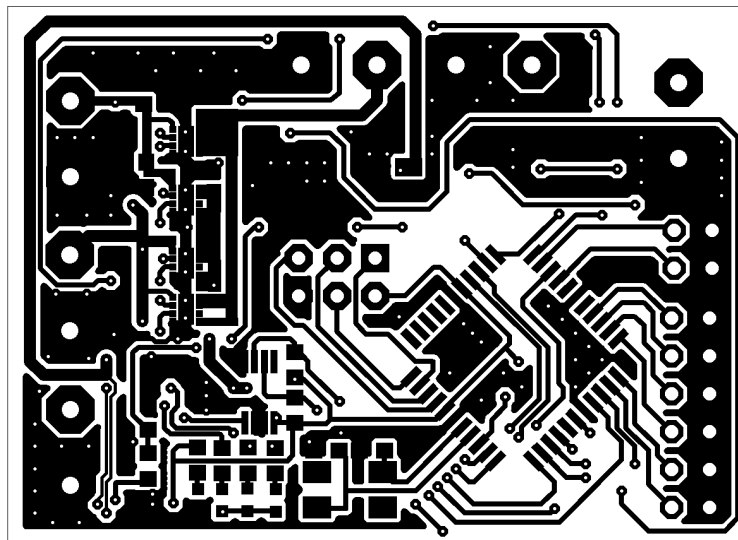
Príloha C-3: Doska plošného spoja mení a spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)



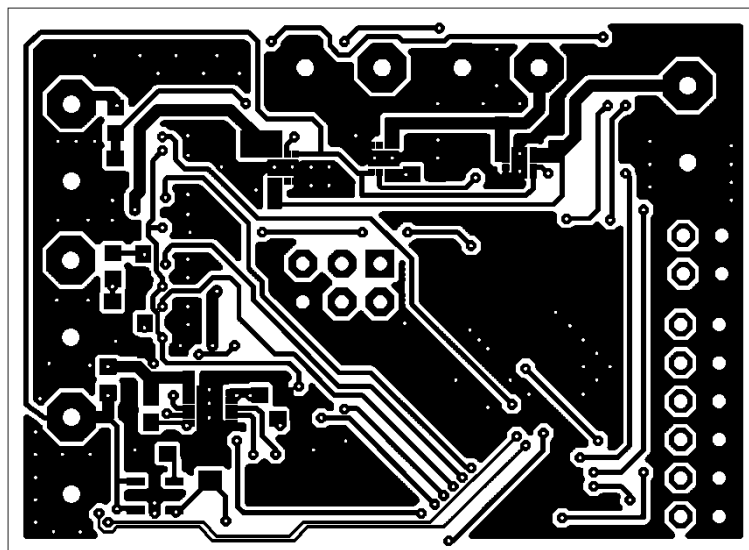
Príloha C-4: Osadzovací plán modulu nabíja a, vrstva TOP (mierka 1:2)



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

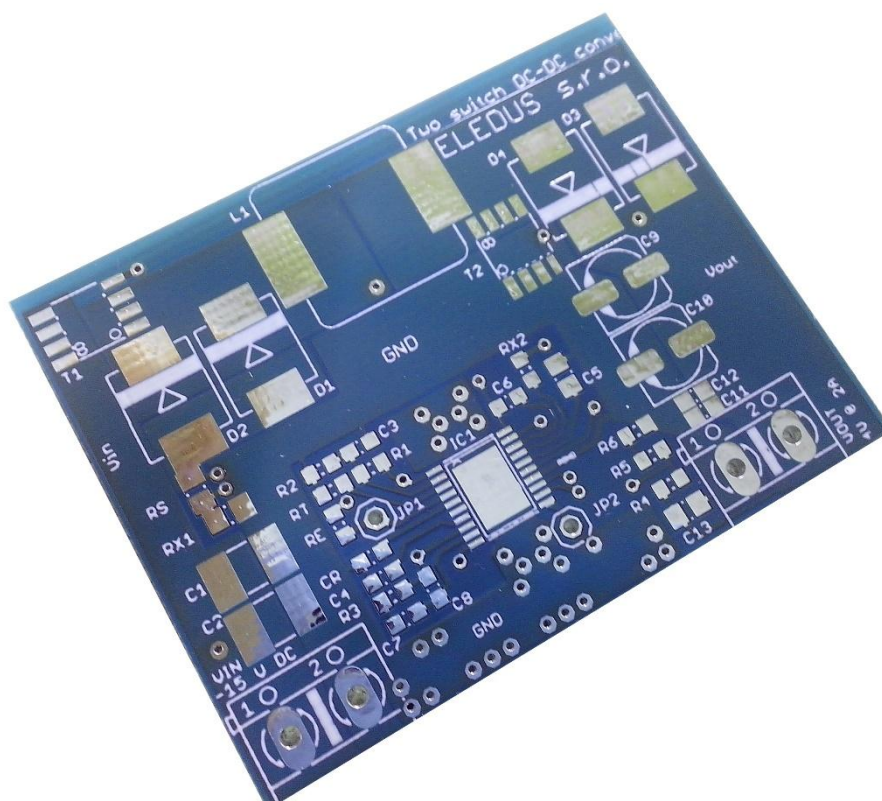


Príloha C-6: Doska plošného spoja nabíja a horná vrstva TOP (mierka 1:2)

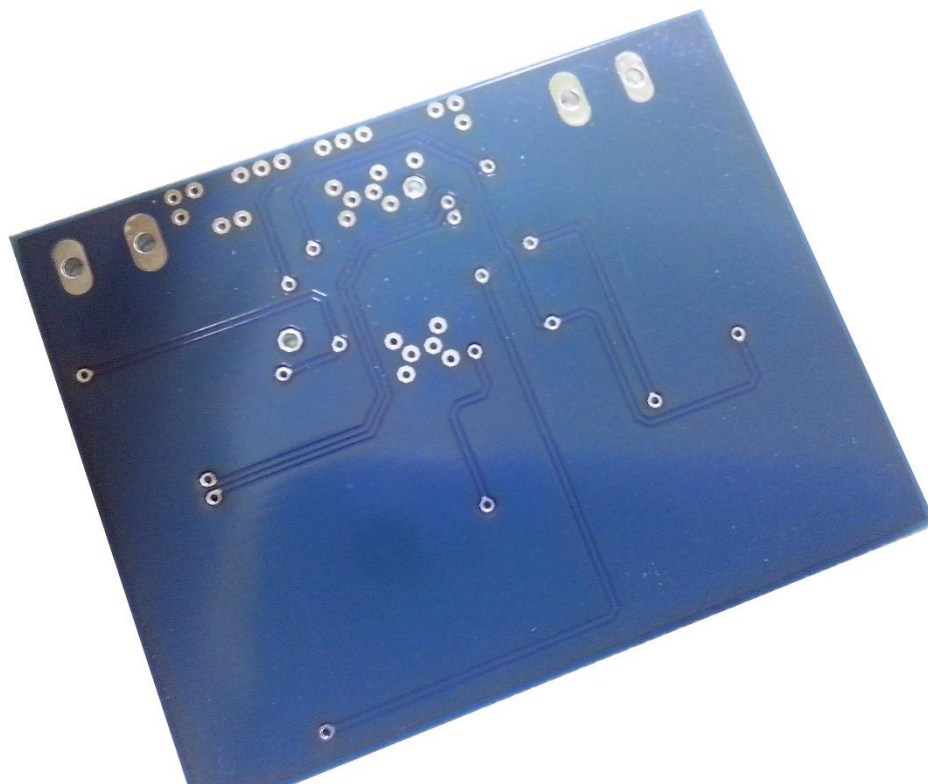


Príloha C-7: Doska plošného spoja nabíja a spodná vrstva BOTTOM (mierka 1:2)

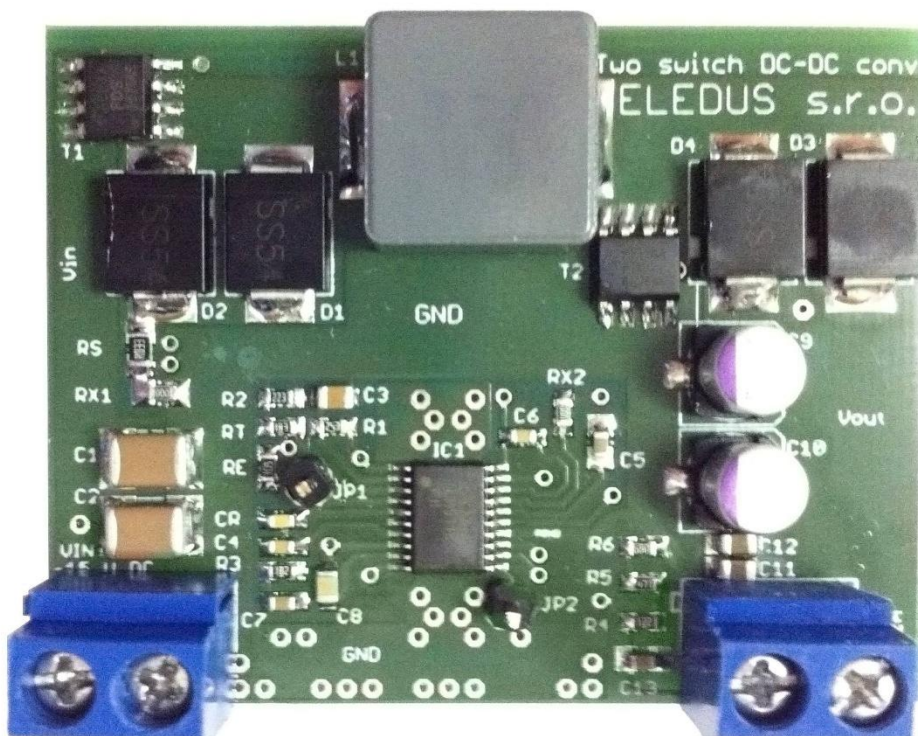
## D. Fotodokumentácia



Príloha D-1: Fotografia neosadeného prototypu mení a horná vrstva TOP



Príloha D-2: Fotografia neosadeného prototypu mení a spodná vrstva BOTTOM



Príloha D-3: Fotografia osadeného prototypu mení a horná vrstva TOP