



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

NABÍJEČ AKUMULÁTORŮ K JÍZDNÍMU KOLU

ACCUMULATOR CHARGER FOR BICYCLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

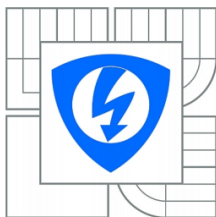
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan Kufa

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ ŠEBESTA, PH.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jan Kufa
Ročník: 3

ID: 125512
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Nabíječ akumulátorů k jízdnímu kolu

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rovedte rozbor řešení nabíječe vhodných akumulátorů pro jízdní kolo s využitím dynamu. Provedte podrobné měření parametrů dynamu. Uvažujte rovněž možnost napájení standardních elektronických zařízení (světlomet, mobilní telefon, MP3 přehrávač). Navrhněte obvodové zapojení nabíječe s optimalizací účinnosti. Navrhněte mechanické řešení nabíječe a desku plošných spojů elektronických obvodů. Desku plošných spojů osadte a nabíječ oživte. Provedte měření nabíječe a stanovte jeho parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CENEK, M. a kol. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003.
[2] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

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

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Záměrem této práce je navrhnout vhodný způsob dobíjení mobilních elektronických zařízení s využitím pohybu jízdního kola. V první části bakalářské práce jsou rozebrány různé možnosti nabíjení akumulátorů na jízdním kole, popsány rozdíly mezi alternátorem a dynamem a nakonec uvedeny různé typy akumulátorů. V druhé části bakalářské práce jsou detailně popsány použité bloky, které byly použity v zapojení a důvody jejich volby. V závěrečné části jsou popsány finální parametry nabíječe.

KLÍČOVÁ SLOVA

Alternátor, dynamo, nabíječka akumulátorů, LiFePO₄, snižující měnič, náboj kola

ABSTRACT

The aim of this thesis is to suggest a suitable way of charging mobile devices by using bicycle. In the first part of bachelor thesis there are discussed various options for charging the battery on a bicycle, described differences between the alternator and dynamo, and finally the different types of batteries. The second part describes in detail used blocks that were used in the engagement and the reasons of their choice. In the last section there are described the final parameters of the charger.

KEYWORDS

Alternator, Dynamo, Battery Charger, LiFePO₄, step-down regulator, Bicycle Hub Dynamo

KUFA, J. *Nabíječ akumulátorů k jízdnímu kolu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 77s., 16 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Nabíječ akumulátorů k jízdě kolu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	xi
1 Úvod	1
2 Teoretický rozbor	2
2.1 Varianty systémových řešení	3
2.1.1 Fotovoltaický panel	3
2.1.2 Alternátor, nabíječka interního akumulátoru, stabilizátor na 5 V	3
2.1.3 Alternátor, omezovač napětí, nabíječka vnitřního akumulátoru, stabilizátor na 5 V	3
2.1.4 Alternátor, přepěťová ochrana, vstupní vysokonapěťový snižující měnič, nabíječka vnitřního akumulátoru, stabilizátor na 5 V	4
2.2 Akumulátory	4
2.2.1 Volba akumulátoru	4
2.2.2 LiFePO ₄ akumulátor	5
2.3 Elektrické generátory	7
2.3.1 Dynamo	7
2.3.2 Alternátor	8
2.3.3 Výhody alternátoru	8
2.4 Výběr alternátoru a měření jeho parametrů	9
2.4.1 Výběr vhodného alternátoru	9
2.4.2 Měření parametrů zvoleného alternátoru	11
3 Elektronické subsystémy	15
3.1 Usměrňovač s filtračním kondenzátorem a přepěťovou ochranou	15
3.1.1 Usměrňovač	15
3.1.2 Kondenzátor	16
3.1.3 Transil	17
3.2 Snižující měnič	18
3.3 Nabíječka akumulátorů	24
3.4 Akumulátor	25
3.5 Měřič kapacity interního akumulátoru	27

3.5.1	Princip měření akumulátoru.....	27
3.5.2	Výpočet komparátoru	27
3.6	Výstupní člen pro USB	29
4	Konstrukční řešení	35
4.1	Elektronika.....	35
4.2	Řídicí panel	36
5	Měření parametrů	37
5.1	Usměrňovač	37
5.2	Vstupní měnič	38
5.3	Nabíječka interního akumulátoru.....	39
5.4	Komparátor	40
5.5	Externí výstupní měnič	40
5.6	Rozbor a řešení kritických problémů.....	42
6	Závěr	44
	Literatura	45
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	47
	Seznam příloh	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Blokové schéma jednoduché nabíječky.....	3
Obr. 2 Blokové schéma nabíječky s omezovačem	3
Obr. 3 Blokové schéma nabíječky s vstupním měničem	4
Obr. 4 Relativní hustota energie běžných materiálů použitých v sekundárních člancích (převzato z [1]).....	5
Obr. 5 Porovnání charakteristik dynama a alternátoru (převzato z [4]).	7
Obr. 6 Typy alternátorů použitých v testu (převzato z [7]).	10
Obr. 7 Průběh výstupního napětí alternátoru při 10 km/h bez zátěže.....	12
Obr. 8 Závislost výstupního napětí na rychlosti	14
Obr. 9 Závislost výstupního proudu na rychlosti.....	14
Obr. 10 Závislost výstupního napětí naprázdno na rychlosti.....	14
Obr. 11 Schéma nabíječky s vyznačenými úrovněmi napětí a proudu.....	15
Obr. 12 Závislost úbytku napětí v propustném směru na procházejícím proudu (převzato z [8]).....	16
Obr. 13 Pouzdro obvodu LM5116 (převzato z [9]).	18
Obr. 14 Schéma snižujícího měniče navrženého pomocí programu od National Semiconductor (převzato z [10]).....	19
Obr. 15 Grafy teploty tranzistoru M1 a celkového ztrátového výkonu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).	19
Obr. 16 Grafy spínacího proudu a teploty tranzistoru M2 v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).....	20
Obr. 17 Grafy zvlnění výstupního napětí a teploty řídicího obvodu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).	20
Obr. 18 Grafy střídání a účinnosti v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).....	21
Obr. 19 Grafy zvlnění výstupního napětí a proudu cívkou (převzato z [10]).....	21
Obr. 20 Pouzdro obvodu MCP73123 (převzato z [12]).....	24
Obr. 21 Typické zapojení nabíječky (převzato z [13]).	24
Obr. 22 LiFePO ₄ : ANR26650 (převzato z [14]).....	25
Obr. 23 Graf výstupního napětí v závislosti na provozní teplotě (převzato z [15]).	25
Obr. 24 Graf výstupního napětí v závislosti na výstupním proudu (převzato z [15]). ...	26
Obr. 25 Počet cyklů pro různé proudy a teploty (převzato z [15]).	26
Obr. 26 Schéma komparátoru s referenčním zdrojem napětí a indikací pomocí LED... ..	29

Obr. 27 Schéma výstupního stabilizátoru navrženého pomocí programu od National Semiconductor (převzato z [16]).	30
Obr. 28 Grafy zvlnění napětí a teploty řídicího obvodu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [16]).	31
Obr. 29 Grafy teploty diody a celkového ztrátového výkonu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [15]).	31
Obr. 30 Grafy ztrátového výkonu tranzistoru a střídavý v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [16]).	32
Obr. 31 Grafy účinnosti a spínacího proudu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [16]).	32
Obr. 32 Grafy spínacího proudu a zvlnění výstupního napětí (převzato z [16]).	33
Obr. 33 Rozložení prvků na ovládacím panelu.	36
Obr. 34 Graf účinnosti v závislosti na výstupním proudem pro různá vstupní napětí u výstupního měniče.	42
Obr. 35 Schéma zapojení vstupu.	49
Obr. 36 Schéma zapojení nabíječky a výstupu.	50
Obr. 37 Deska plošného spoje vrstva TOP (ozrcadleno) Rozměr desky 127 x 86 [mm], měřítko M1:1.	51
Obr. 38 Deska plošného spoje vrstva TOP externí měnič (ozrcadleno) Rozměr desky 43 x 34 [mm], měřítko M1:1.	51
Obr. 39 Deska plošného spoje vrstva BOTTOM Rozměr desky 127 x 86 [mm], měřítko M1:1.	52
Obr. 40 Vnitřní uspořádání alternátoru (převzato z [18]).	53
Obr. 41 Velikost středu v porovnání s rukou.	55
Obr. 42 Porovnání normálního středu a moderního dynama.	55
Obr. 43 Kolo s měřicím přístrojem připraveno na rychlostní zkoušku.	56
Obr. 44 Vrtačka s násadou pro pohon předního kola.	56
Obr. 45 Násada na vrtačku.	57
Obr. 46 Měření s osciloskopem.	57
Obr. 47 Foto integrovaných obvodů.	58
Obr. 48 Řídicí panel.	58
Obr. 49 Řídicí panel s konektory.	59
Obr. 50 Pohled na krabičku s konektory.	59
Obr. 51 Elektronika s připojenými konektory.	60
Obr. 52 Elektronika, pohled ze spodu.	60
Obr. 53 Externí výstupní měnič.	61

Obr. 54 Elektronika, pohled z vrchu	61
Obr. 55 Průběhy napětí na výstupu DR u LM3478 (kanál 1) a zvlnění na výstupu (kanál2)	62
Obr. 56 Průběh zvlnění napětí na výstupu externího měniče	62
Obr. 57 Fotovoltaický panel	63
Obr. 58 Fotovoltaický panel zalitý ochranným sklem a v ochranném rámečku.....	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Tabulka parametrů různých alternátorů – část a) (převzato z [7]).	9
Tab. 2	Tabulka parametrů různých alternátorů – část b) (převzato z [7]).	10
Tab. 3	Vysvětlivky k tabulce 1 a 2 (převzato z [7]).	10
Tab. 4	Váha a časy zastavení nového a starého středu	11
Tab. 5	Závislost výstupního napětí na rychlosti	12
Tab. 6	Závislost výstupního proudu na rychlosti	13
Tab. 7	Technické parametry Usměrňovače RS603	16
Tab. 8	Technické parametry kondenzátoru	17
Tab. 9	Technické parametry transilu	18
Tab. 10	Tabulka pinů obvodu LM5116 (převzato z [11]).	22
Tab. 11	Parametry navrženého obvodu pomocí programu výrobce (převzato z [10]).	23
Tab. 12	Základní parametry akumulátoru ANR26650 (převzato z [15]).	27
Tab. 13	Tabulka pinů obvodu 3478 (převzato z [17])	33
Tab. 14	Parametry navrženého obvodu pomocí programu výrobce (převzato z [16]).	34
Tab. 15	Tabulka popisu vodičů v konektoru řídicího panelu	36
Tab. 16	Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při stejnosměrném napětí	37
Tab. 17	Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při střídavém napětí, měřeno osciloskopem	37
Tab. 18	Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při střídavém napětí, měřeno přesným měřákem	37
Tab. 19	Tabulka příkonu vstupního měniče bez zatížení	38
Tab. 20	Tabulka celého vstupního bloku, R_{sense} pomocí drátu	38
Tab. 21	Tabulka parametrů vstupního měniče s R_{sense} pomocí SMD odporu	39
Tab. 22	Tabulka zapnutí nabíječky interního akumulátoru	39
Tab. 23	Tabulka zbývající kapacity baterie	40
Tab. 24	Tabulka zapnutí LED diod a napětí na referenčním zdroji	40
Tab. 25	Tabulka proudu LED diodami	40
Tab. 26	Tabulka napětí pro zapnutí a vypnutí obvodu LM3478	40
Tab. 27	Tabulka parametrů externího výstupního měniče, špatné napájecí kabely	41
Tab. 28	Tabulka parametrů externího výstupního měniče	41
Tab. 29	Cena komponentů	64

1 ÚVOD

Moderní elektronická zařízení napájená z baterie mají velmi malou výdrž, ať už se jedná o smartphone tak i o různé outdoorové navigace. I přes velkou rozšířenost napájecí sítě existují stále místa nebo situace, kde se bez náhradního zdroje elektřiny neobejdeme. Jedním z příkladů může být delší cesta na kole. Problém s nedostatkem energie by se dal řešit i pomocí fotovoltaických panelů. Ty by musely mít dostatečnou velikost, aby dokázaly nabíjet výkonná zařízení, navíc tento zdroj je v našich klimatických podmínkách dosti nespolehlivý. Proto se jako optimální řešení jeví nabíjení pomocí dynama na kole, které navíc nabíjí přídatnou baterii, aby mohlo být zařízení napájeno i ve stavu, když se kolo nepohybuje.

Bakalářská práce je členěna celkem do 5 kapitol. Kapitola 2 obsahuje teoretický rozbor elektrických generátorů a akumulátorů. V kapitole 3 jsou uvedeny elektronické celky zvolené nabíječky. V 4. kapitole jsou popsána konstrukční řešení. 5. kapitola je věnovaná výsledným parametrům nabíječe.

2 TEORETICKÝ ROZBOR

V této kapitole jsou představeny možnosti řešení projektu, typy použitých baterií a elektrických generátorů.

Dnešní mobilní zařízení, jako jsou mobilní telefony, smartphone, PDA, GPS navigace a různá další multimediální zařízení mají velmi malou výdrž. Bohužel nedochází k razantnímu zvětšování měrné kapacity používaných akumulátorů v přenosných přístrojích. To je dáno hlavně marketingovým tlakem na výrobce, aby měla takováto zařízení co největší výkon a co nejrozsáhlejší displeje, ale zároveň i malou tloušťku. Tyto parametry limitují výdrž. Tento fakt je hlavním nedostatkem, pokud člověk chce cestovat někam, kde není možnost si zařízení nabít. Dnešní navigace v mobilních telefonech při zapnutém podsvícení výdrží kolem 5 hodin, což je při delších výletech nedostačující. Vyšší odběr ovlivňuje i fakt, že displej trpí ve venkovním prostředí různými odlesky, proto musí být jeho jas nastaven na maximální úroveň. Nejjednodušším řešením je vyrobit rozšiřující zdroj napájení pomocí externího akumulátoru a stabilizátoru napětí. Pomocí takového zařízení se dá výdrž navigace prodloužit o 100-200 %. To je v některých situacích stále nedostačující, například pokud jedeme celodenní výlet nebo delší několikadenní poznávací zájezd na kolech. Proto bylo nutné zvolit jiné řešení.

Cílem úlohy bylo navrhnout možnosti, jak nejlépe nabíjet elektronická zařízení, v tomto případě mobilní telefon, z alternativních zdrojů. První nápad byl zvolit fotovoltaický panel. Aby dodal potřebný výkon 5 V/1 A, musel by být velmi velký a těžký. A navíc v našich klimatických podmínkách, kde nesvítí neustále slunce, by se jednalo o neefektivní a nespolehlivé zařízení. Obvod byl navíc navrhován tak, aby měl co největší účinnost, ale zároveň při zachování nízké ceny. Dalšími vylepšeními jsou interní LiFePO₄ akumulátor, který slouží k nabíjení mobilu, když je kolo v klidu a k akumulaci energie, když je již mobil nabit. Interní akumulátor se dá také externě nabít za 2 hodiny pomocí adaptéru. Tato výhoda se dá použít, pokud chceme mít delší výdrž navigace, ale nechceme, aby nás dynamo zbytečně brzdilo. Další předností je možnost odejmout nabíječku s akumulátorem z kola. Použit ho pak můžeme jako rozšiřovací zdroj elektřiny pro mobilní telefony, pokud jedeme někam, kde není elektrická síť, jako například odlehle chaty či různé hudební festivaly.

Před zahájením samotného návrhu obvodu bylo nutno zakoupit nábojové dynamo a nechat ho vplést do ráfku předního kola. Následně byly změřeny parametry daného dynamu. Poté byl dle změřených charakteristik navrhnout vhodný nabíjecí obvod tak, aby celkové řešení příliš fyzicky nezatěžovalo cyklistu, bylo finančně realizovatelné a zbytečně nenavyšovalo hmotnost kola. Další významnou podmínkou bylo vhodně navrhnout zapojení, aby bylo odolné vůči zničení v případě, že nebude vygenerovaná energie využita a docházelo by k lineárnímu nárůstu napětí z alternátoru a následné destrukci celé elektroniky. V ideálním stavu, když je mobil nabíjen vysokým proudem, nedochází k nárůstu napětí, ale ustálí se na úrovni nižší než 15 V. Bylo počítáno i s tím, že uživatel v nejhrošším případě nezapojí mobil a interní akumulátor nabíječky bude již nabit. V tomto případě by docházelo k lineárnímu nárůstu napětí se zvětšující se rychlostí cyklisty. Jako maximální rychlost, při které bude obvod fungovat při nulovém odběru, bylo zvoleno 80 km/h. Jednalo by se o extrémní zatížení součástek, obvod je

tedy trvale elektronicky jištěn tak, že při překročení 70km/h dojde k omezení výstupního napětí. Obvod je tudíž dlouhodobě odolný vůči jakýmkoliv extrémním situacím.

2.1 Varianty systémových řešení

2.1.1 Fotovoltaický panel

Pokud bychom chtěli použít fotovoltaický panel, který by dodával 5 W, musel by mít rozměry minimálně 500 cm², což je z hlediska technických parametrů nemožné použít na jízdním kole. A navíc jmenovitého výkonu by panel dosahoval pouze při maximálním slunečním svitu.

2.1.2 Alternátor, nabíječka interního akumulátoru, stabilizátor na 5 V

Nejjednodušší na zapojení, velikost, cenu. Ze změřených charakteristik alternátoru je patrné, že zatížený alternátor nepřekračuje napětí 10 V, což je ideální. Bylo by nutné neustále mobil nabíjet a to vysokým proudem (například když je akumulátor vybitý). Pokud by byl akumulátor v telefonu nabit, stejně jako interní akumulátor, napětí by lineárně rostlo s rychlostí otáčení kola. To by vedlo ke zničení obvodu. Zjednodušené blokové schéma je vidět na obrázku č. 1.



Obr. 1 Blokové schéma jednoduché nabíječky

2.1.3 Alternátor, omezovač napětí, nabíječka vnitřního akumulátoru, stabilizátor na 5 V

Zapojení s omezovačem napětí již můžeme použít i při větších rychlostech. Přetrvává problém, kdy při nízkých nabíjecích proudech nedochází k odlehčení alternátoru. Ten neustále brzdí přední kolo, protože zbylý výkon, který již není spotřebováván mobilem, se promarní v omezovači. Zjednodušené blokové schéma je vidět na obrázku č. 2.



Obr. 2 Blokové schéma nabíječky s omezovačem

2.1.4 Alternátor, přepět'ová ochrana, vstupní vysokonapět'ový snižující měnič, nabíječka vnitřního akumulátoru, stabilizátor na 5 V

Jedná se o nejlepší možné řešení, které je jak odolné vůči vysokým rychlostem tak i vůči nezapojení mobilu na nabíječku. Pokud jsou již akumulátory nabitý, klesne proud odebíraný z alternátoru a alternátor se odlehčí. Další výhodou je možnost volby, od jaké rychlosti se má nabíjení zapínat. Tato skutečnost je užitečná při jízdě do prudkého kopce a není žádoucí, aby alternátor brzdil kolo. Prodlužuje také životnost interní baterie v nabíječce, která se trvale nabíjí. Nevýhodou je, že celý vstupní blok musí být navrhnout na dosti vysoké napětí. V tomto projektu byla zvolena hranice 100 V, která odpovídá napětí při rychlosti 80 km/h. Na toto napětí musí být dimenzován vstupní usměrňovač, filtrační kondenzátor a vstupní snižující měnič. Z důvodu vyšší ochrany je navíc přítomna indikační led dioda, která informuje, že došlo k překročení 70 V. Pokud by napětí i nadále rostlo, došlo by k zásahu 85 V transilu, který je v obvodu zařazen i kvůli eliminaci napět'ových špiček. Dané zapojení bylo zvoleno z důvodu nejvyšší efektivity nabíjení. Zjednodušené blokové schéma je vidět na obrázku č. 3.

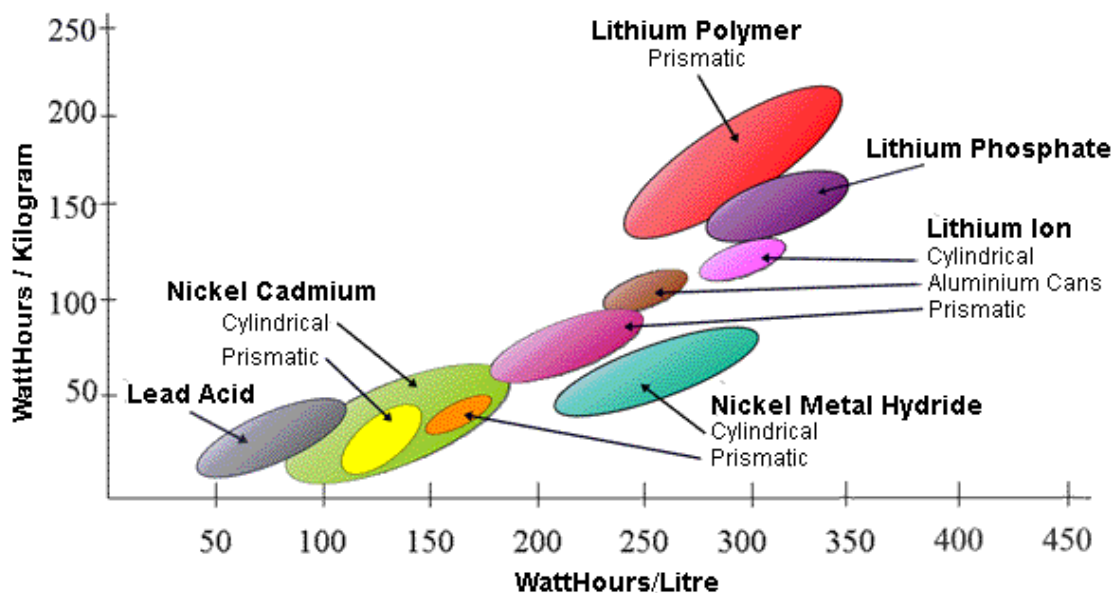


Obr. 3 Blokové schéma nabíječky s vstupním měničem

2.2 Akumulátory

2.2.1 Volba akumulátoru

V dnešní době se používají nejčastěji akumulátory ze 2 velkých rodin a to NICD, NIMH a druhou tvoří Li-Ion, Li-Pol, LiFePO₄. Jejich poměrová bilance je vidět na obrázku č. 4. Baterie NICD a NIMH se používají jako zdroj energie v různých typech tužkových akumulátorů jako AAA, AA, D. Jejich hlavní nevýhodou je paměťový efekt, malá měrná kapacita a nízké napětí článku. Baterie založené na Lithiu se zase používají spíše jako vestavěné akumulátory v mobilních zařízeních jako jsou mobily, tablety, notebooky. Jejich nevýhodou je, že jejich napětí nesmí klesnout pod minimální napětí daného článku, jelikož může dojít ke zničení akumulátoru. Z důvodu největší měrné kapacity na litr a hlavně skoro neomezeného počtu cyklů byla vybrána baterie typu Lithio-fosfátová, která se značí jako LiFePO₄. Hlavní parametry této konstrukce akumulátorů jsou popsány v další kapitole.



Obr. 4 Relativní hustota energie běžných materiálů použitých v sekundárních člancích (převzato z [1]).

2.2.2 LiFePO₄ akumulátor

Lithium-železo-fosfátový akumulátor

Lithium-železo-fosfátový (LiFePO₄) akumulátor (také označovaný „LFP“) je druh akumulátoru, konkrétně lithium-iontového, která používá jako katodového materiálu LiFePO₄.

Historie

LiFePO₄ objevil John Goodenough z výzkumné skupiny na Texaské univerzitě v roce 1996 jako vhodný katodový materiál pro dobíjecí lithiové baterie. Brzy vzbudil zájem trhu vzhledem k nízké výrobní ceně, netoxicitě, dostupnosti železa, vynikající tepelné stabilitě, bezpečnostním vlastnostem, dobrému elektrochemickému výkonu a vysoké specifické kapacitě (170 mAh / g).

Hlavní bariéra pro širší komerční využití bylo nízká vnitřní vodivost. Tento problém byl vyřešen mimo jiné potažením LiFePO₄ částic vodivými materiály jako např. uhlíkem a částečně využitím takzvaných dopovaných polovodičů (extrémně čistých). Konkrétně se používají postupy dopování a nauhličování vyvinuté panem Yet-Ming Chiang a jeho spolupracovníky na MIT za použití kationtů materiálů jako hliníku, niobia a zirkonia. Později se ukázalo, že většina zlepšení vodivosti se dosáhlo přítomností nanoskopických jader odvozených z organického uhlíku. Uvedené materiály jsou vyráběny v podniku A123Systems a jsou dále zpracovávány společnostmi jako Black and Decker, DeWalt, General Motors, Chevrolet Volt, Daimler AG, Cessna a BAE Systems.

Výhody a nevýhody

LiFePO₄ baterií se využívá chemických reakcí s Lithiem a sdílí mnoho vlastností s rozšířenými lithium iontovými bateriemi (akumulátory). Mezi klíčové výhody LiFePO₄ je bezpečnost (odolnost proti tepelným únikům) a schopnost dodávat vysoký

proud při špičkových odběrech. Tvrdí se, že nižší náklady jsou hlavním rozdílem, ale v současné době lze na trhu najít převážně baterie vyráběné v Číně, což se promítá do ceny nákladů na dopravu a vysokou poptávkou.

Nevýhody:

- Uváděná energetická kapacita nové LFP baterie je o něco nižší než u nových LiCoO₂ baterií. Výrobci baterií na celém světě v současné době pracují na nalezení způsobů, jak maximalizovat výkon a energetickou kapacitu, snížit velikost a hmotnost.
- U zcela nových LFP bylo zjištěno, že předčasně selžou, pokud jsou "hluboko cyklovány" (vybity pod úroveň 33%). Pauza po 20 nabíjecích cyklech je v současné době doporučována některými distributory.
- Rychlé nabíjení zkrátí životnost lithium-iontové baterie (včetně LFP) v porovnání s tradičním neustálým dobíjením (trickle charging).
- Rezervy lithia jsou odhadovány na 30000 tun v roce 2015.

Zatímco články využívající LiFePO₄ mají nižší napětí a energetickou hustotu v porovnání s obvyklými LiCoO₂ Lithium-iontovými akumulátory, tato nevýhoda je časem vykompenzována pomalejším snižováním maximální kapacity. Uvádí se, že LiFePO₄ článek má už po roce v užívání zhruba stejnou energetickou hustotu jako obvyklý LiCoO₂ Lithium-iontový akumulátor.

Specifikace

- Napětí článku = minimální vybíjecí napětí = 2,8 V. Pracovní napětí = 3,0 V až 3,3V. Maximální nabíjecí napětí = 3,6 V. Limitní napětí: 2,5 – 4,2 V
- Volumetrická (objemová) energetická hustota = 220 Wh/L
- Gravimetrická energetická hustota = 90+ Wh/kg
- Cyklů do 80 % stavu kapacity při hlubokém vybíjení (na úroveň vybití 100 %)= 2000 - 7000 (Počet cyklů do degradace baterie na 80 % její původní udávané kapacity)
- Složení katody (hmotnost)
- 90 % katoda-LiFePO₄
- 5 % Uhlík EBN-10-10
- 5 % PVDF
- Konfigurace článku
- 15 Uhlíkem potažených hliníkových kolektorů
- 1,54 cm² katoda
- elektrolyt: EC-DMC 1-1 LiClO₄ 1M
- anoda: lithium

Bezpečnost

LiFePO₄ je podstatně bezpečnější katodový materiál než LiCoO₂. Fe-P-O vazba je silnější než Co-O. V případě zkratů, přehřátí a jiných nesprávných způsobech využití, je výrazně těžší odstranit kyslíkové atomy. Tato stabilizace redoxní reakce také napomáhá rychlému přemístování iontů. K havárii dochází teprve při extrémním přehřátí (800 °C a výše). Při přemístování lithia z katody u LiCoO₂ článku prochází CoO₂ nelineární expanzí, která ovlivňuje strukturální integritu článku. Plně lithiovaný a nelithiovaný

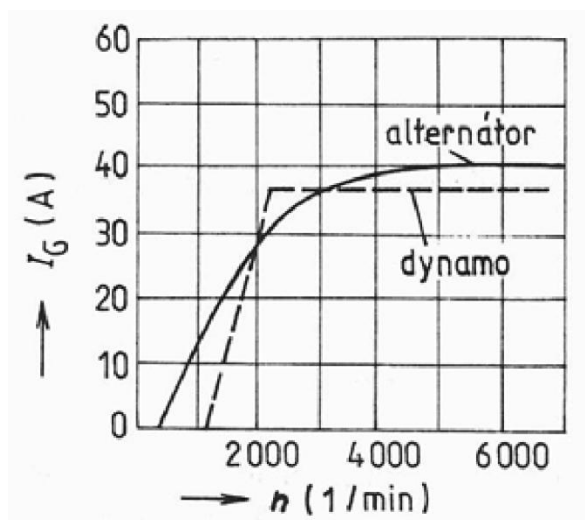
stav LiFePO_4 jsou strukturálně podobné, z čehož vyplývá lepší strukturální stabilita LiFePO_4 než mají LiCoO_2 . U plně nabitého akumulátoru s LiFePO_4 nezůstává žádné lithium na katodě — u akumulátoru s LiCoO_2 zůstává okolo 50% v katodě. LiFePO_4 je vysoce houževnatý při ztrátě kyslíku, která ústí v exotermickou reakci u jiných typů lithiových akumulátorů. [2]

2.3 Elektrické generátory

Druhy rotačních elektrických generátorů: [3]

- alternátor - vytváří střídavý proud, nemá komutátor, z čehož plyne menší poruchovost a snadnější údržba.
- dynamo - vytváří stejnosměrný proud, usměrnění probíhá v komutátoru. Dříve se hojně používalo například v automobilech, dnes ale nemá již velké využití, jelikož alternátor má oproti němu poměrně podstatné výhody.

Jako generátor střídavého proudu může být použit i jakýkoliv asynchronní motor, který má výhodu jednoduchosti (nemá napájený rotor pomocí kolektoru jako synchronní generátor) ale má oproti němu o něco menší účinnost, proto se používá zejména v malých elektrárnách. Závislost proudu na otáčkách je vidět na obrázku č. 5



Obr. 5 Porovnání charakteristik dynama a alternátoru (převzato z [4]).

2.3.1 Dynamo

Podle způsobu zapojení statoru dělíme dynamo:

- dynamo s permanentním magnetem
- dynamo s cizím buzením - typicky v průmyslové výrobě elektrického proudu. Budící proud zajišťovalo jiné menší dynamo
- derivační dynamo (budící vinutí zapojeno paralelně se zátěží) - vhodné pro malé proudové odběry
- sériové dynamo (budící vinutí zapojeno sériově se zátěží)
- kompaundní dynamo - kombinace derivačního a sériového dynama. Jednalo se o

běžný typ v dopravě a u strojů, kde je velmi proměnlivá zátěž. Sériové vinutí statoru zajišťuje dostatečné buzení při malé impedanci zátěže, derivační vinutí při velké impedanci. [5]

2.3.2 Alternátor

Alternátory jsou typicky synchronní stroje. Dělí se podle typu rotoru na alternátory:

- s hladkým rotorem
- s vyniklými póly- pomaloběžné alternátory

Funkce

Alternátory generují elektřinu stejným způsobem jako generátory stejnosměrného elektrického proudu, zejména když se mění magnetické pole kolem cívky. V cívkce je pak indukovan elektrický proud. Zpravidla se otáčí otočný magnet – rotor uvnitř pevně umístěných vinutí na železných jádrech – stator. Pohybem rotoru způsobeným mechanickou energií je generován proud. Rotující magnetické pole indukuje ve vinutí cívky střídavý elektrický proud. Magnetické pole rotoru může být vyvoláváno indukci (v bezkartáčových alternátorech), permanentními magnety (ve velmi malých přístrojích) nebo vinutím rotoru napájeného přímým proudem ze sběrných kroužků a kartáčků. [6]

2.3.3 Výhody alternátoru

Jako primárního zdroje proudu se v nynější době používá téměř výhradně generátorů střídavého proudu, alternátorů.

- Alternátor s usměrňovačem lze navrhnout tak, že akumulátor je nabíjen i při velmi nízkých otáčkách.
- Téměř žádná údržba.
- Jednodušší regulace. Protože usměrňovač propouští proud jen jedním směrem, odpadá zpětný spínač. Odpadá však i omezovač proudu. Proud alternátoru je omezen reaktancí vinutí statoru a nemůže překročit jisté hodnoty. Reaktance $X_G = 2\pi (pn/60)L$ statorového vinutí, tj. odpor pro průchod střídavého proudu, se mění lineárně s otáčkami. Samočinně, bez jakéhokoliv regulačního zásahu, s rostoucími otáčkami roste nejen indukované vnitřní napětí, ale i vnitřní impedance alternátoru.
- Větší provozní spolehlivost.
- Menší hmotnost a rozměry. Lze volit vyšší otáčky, odpadá komutátor. Konstrukce je jednodušší. Průměr alternátoru je sice větší než průměr dynama, avšak celkově je menší.
- Protože odpadá jiskření na komutátoru, je odrušení jednodušší.
- Souprava alternátor - usměrňovač dává proud stále stejné polarity nezávisle na smyslu otáčení, kdežto dynamo se může přepólovat.
- Jistou nevýhodou je vznik přepětí při náhlém odlehčení alternátoru, není-li připojen akumulátor. Pak dojde k nebezpečnému zvýšení inverzního napětí, poněvadž pracovní vinutí alternátoru má značnou indukčnost. [4]

Kvůli výše popsaným výhodám byl zvolen jako nabíjecí generátor alternátor. Nábojové dynamo je ve své fyzické podstatě alternátor, laicky se běžně označuje jako dynamo.

2.4 Výběr alternátoru a měření jeho parametrů

2.4.1 Výběr vhodného alternátoru

Hlavním úkolem bylo vybrání vhodného nábojového dynama. Bylo nutno splnit podmínky, aby dynamo mělo velkou účinnost, nebylo příliš těžké a jeho cena byla co nejnižší. Nejvýznamnějšími výrobci nábojových dynam jsou německý SON a japonské Shimano. SON vyniká hlavně svoji nízkou vahou, v České republice je velmi těžko k sehnání. To je určitě zapříčiněno i vysokou cenou, která se u vyšších modelů pohybuje kolem 5000 Kč. Firma Shimano má 2 řady dynam. Sportovní, která jsou lehčí, mají menší účinnost a stojí od 2500 Kč. Jsou to dynamy typu 3N71,72,80. Dále normální, která jsou sice těžší, ale zato mají větší účinnost. To je způsobeno tím, že vynutí alternátoru je po celé délce nábojového středu. Jejich výhodou je také nízká cena, která se pohybuje kolem 1000 Kč. Jsou to dynamy typu 3N20,30. Značení dynam Shimano je velmi intuitivní, první číslice udává jmenovitý výkon, vyrábí se dvě různé výkonové skupiny, skupina 2, která má výkon 2,4 W a skupina 3 která má výkon 3 W. Druhý znak určuje, jestli se jedná o brzdy diskové, které jsou značeny písmenem D, nebo V-Brake, které jsou značeny písmenem N. Poslední dvojčíslí udává konkrétní typ. Dle německého časopisu test.de, který se zabývá testováním různých výrobků, vyšel vítězně výrobek 3N30. Tento produkt byl také použit jako zdroj energie v nabíječce akumulátorů. V České republice byl výrobek skladem pouze ve dvou internetových obchodech, v kamenném obchodě nebyl vůbec k sehnání ani na objednání.

Tab. 1 Tabulka parametrů různých alternátorů – část a) (převzato z [7]).

	podíl na výsledku	boční dynamo				paprskové dynamo
		B+M Dymotec S6	AXA HR Traction Power Control ⁴	Basil HQ Nordlicht Max	Union Dynamo 4120	Aufla Speicherdynamo FER 2002
Průměrná cena v Eurech		89,00	18,00	25,00	5,20	30,00
Celkové hodnocení	100%	Dobry (1,7)	Uspokojive (3,2)	Uspokojive (3,3)	dostatecna (4,0)	nedostatecny (4,7)
Funkce	45%	Dobry (2,1)	Uspokojive (3,2) ^{*)}	Uspokojive (3,3) ^{*)}	dostatecna (4,0) ^{*)}	nedostatecny (4,7) ^{*)}
Účinnost při rychlosti 15km/h		+ 50	⊖ 37	⊖ 33	⊖ 36	- ^{*)} 24
Napětí z dynama		++	+	+	⊖	⊙
Hluk		+	O	O	O	+
Spolehlivost	35%	Velmi Dobry (1,0)	Dobry (1,7)	Dobry (1,7)	Dobry (1,7)	Velmi Dobry (1,0)
Ochrana vůči korozi		++	+	+	+	++
Mechanické trvalé zatížení, odolnost proti narazům		++	++	++	++	++
Manipulaci	20%	Dobry (1,8)	Dobry (2,4)	Dobry (2,4)	Uspokojive (2,9)	Dobry (2,4)
Návod k instalaci ²⁾		++	++	+	⊖	+
Montáž ²⁾		+	o	o	o	o
Zapnutí vypnutí		+	+	+	O	+
Odstranění poruch		+	O	O	O	O
Hmotnost v gramech		++ 230	++ 210	++ 260	++ 180	++ 330

Tab. 2 Tabulka parametrů různých alternátorů – část b) (převzato z [7]).

	podíl na výsledku	nábojové dynamo					
		Shimano DH-3N30	SRAM i-Light	Shimano DH-3N71	Son 28	Büchel Nabendynamo KB 04 ⁴⁾	Messingschlager /No-vatec EDH-1 ⁴⁾
Průměrná cena v Eurech		39,00	31,50 ³⁾	79,00	159,00	39,50	33,00
Celkové hodnocení	100%	Velmi Dobrý (1,4)	Velmi Dobrý (1,4)	Velmi Dobrý (1,5)	Velmi Dobrý (1,5)	Dobrý (2,5)	nedostatečný (5,0)
Funkce	45%	Dobrý (1,6)	Dobrý (1,7)	Dobrý (1,9)	Dobrý (2,0)	Dobrý (2,0) ^{*)}	nedostatečný (5,0) ^{*)}
Účinnost při rychlosti 15km/h		++ 66	++66	+ 58	++ 56	O ^{*)} 40	+ 50
Napětí z dynamu		+	+	+	++	++	- ^{*)}
Hluk		++	++	++	+	++	++
Spolehlivost	35 %	Velmi Dobrý (1,0)	Velmi Dobrý (1,0)	Velmi Dobrý (1,0)	Velmi Dobrý (1,0)	Dobrý (1,7)	Velmi Dobrý (1,0)
Ochrana vůči korozi		++	++	++	++	+	++
Mechanické trvalé zatížení, odolnost proti narazům		++	++	++	++	++	++
Manipulaci	20 %	Velmi Dobrý (1,5)	Velmi Dobrý (1,5)	Velmi Dobrý (1,4)	Velmi Dobrý (1,2)	Velmi Dobrý (1,3)	Velmi Dobrý (1,4)
Návod k instalaci ²⁾		Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se
Montáž ²⁾		Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se	Neuplatňuje se
Zapnutí vypnutí		++	++	++	++	++	++
Odstranění poruch		++	++	++	++	++	++
Hmotnost v gramech		⊖ 950	⊖ 950	⊖ 790	+ 610	⊖ 720	⊖ 820

Tab. 3 Vysvětlivky k tabulce 1 a 2 (převzato z [7]).

poznámky:	
*	Vede k devalvaci
1	S přepětovou ochranou.
2	Instalace dynamu u dealerů.
3	Dle prodejců se prodává vypletené kolo včetně dynamu za 40 - 49 eur.
4	S přepětovou ochranou.
++	Velmi dobrý (0,5-1,5)
+	Dobrý (1,6-2,5)
O	Uspokojivý (2,6-3,5)
⊖	dostatečný (3,6-4,5)
-	nedostatečný(4,6-5,5)



Obr. 6 Typy alternátorů použitých v testu (převzato z [7]).

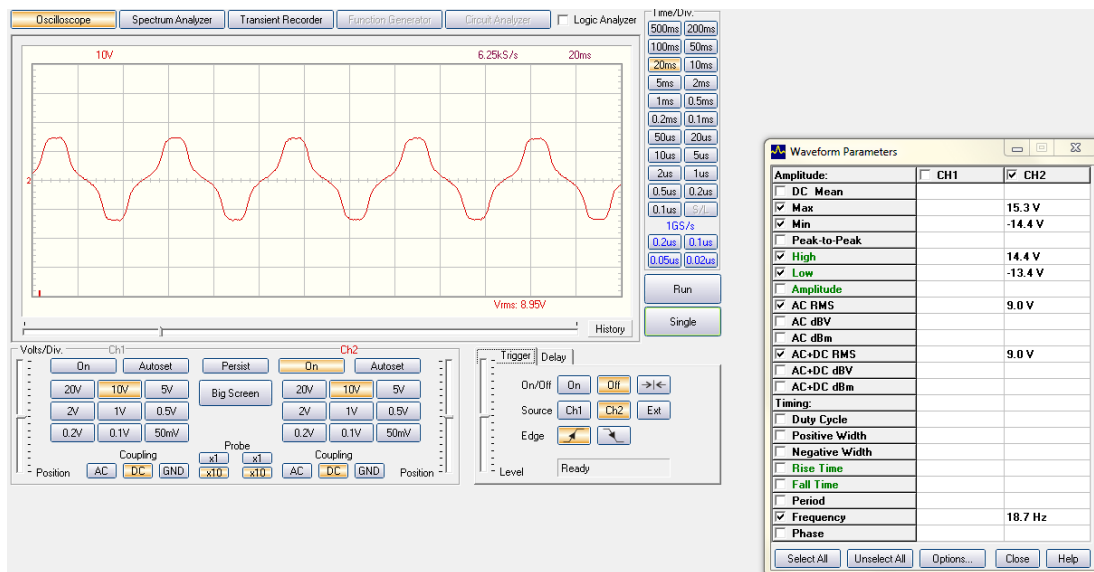
2.4.2 Měření parametrů zvoleného alternátoru

Nejprve byla změřena váha předních kol s normálním středem a s nábojovým dynamem. Následně bylo změřeno, za jak dlouho se zastaví kolo s normálním středem, s nábojovým dynamem, které běží naprázdno, a nábojovým středem se zátěží $18,7 \Omega$. Viz tab. 4. Z naměřených hodnot je patrné, že zatížené dynamo se mnohem rychleji zastaví než nezatížené. Nakonec byly změřeny hodnoty proudu a napětí jak na nezatíženém nábojovém dynamu tak se zátěží pomocí 3 W žárovky nebo pomocí zátěže realizované výkonovým odporem s hodnotou $18,7 \Omega$. Viz tab. 5,6.

Tab. 4 Váha a časy zastavení nového a starého středu

čas za jak dlouho se kolo samo zastaví [s]									
měření č.	obyčejný střed			dynamo ve středu (naprázdno)			dynamo ve středu (R=18,7Ω)		
	1	2	průměr	1	2	průměr	1	2	průměr
váha (g)	2420			3190			3190		
z 20km/h na 10	23	24	23,5	6,4	8,4	7,4	3,5	2,2	2,85
z 20km/h na 5	42	44	43	12,34	12,9	12,62	/	/	/
z 20km/h na 0	49	51	50	14,1	16,6	15,35	6,7	5,6	6,15
z 20km/h do zastavení	69	66	67,5	16,4	18,3	17,35	/	/	/

První série měření probíhala tak, že bylo rukou roztočeno přední kolo, které se postupně zastavovalo, a pomocí kamery byla zaznamenávána rychlost, napětí a proud. Naměřené hodnoty byly následně přepsány do Excelu. Jelikož je frekvence měření tachometru při malých rychlostech velmi malá, bylo měření hodně nepřesné. Druhá série měření probíhala již za silničního provozu, kde byl měřicí přístroj připevněn na řídítka a za jízdy bylo pomocí mobilu s externím mikrofonom odečítáno napětí a rychlost. Data pak byla následně přepsaná do Excelu. Měření bylo zase zatíženo chybou, protože je fyzicky nemožné jet určitou dobu konstantní rychlostí, při které by člověk dokázal odečítat jak rychlost, tak i napětí. Kolo s měřidly je vidět na obrázku č. 43. Bylo potřeba udělat ještě přesnější měřicí postup. Jako nejvhodnější metoda měření nakonec bylo zvoleno pohánět kolo pomocí vrtačky a nástavce. Tímto způsobem lze dosáhnout konstantní rychlosti, kterou lze elektronicky regulovat, viz obrázek č. 44. Pomocí kamery bylo zaznamenáváno jak napětí, tak i proud v závislosti na rychlosti. Hnací násada na vrtačku byla vyrobena z brusného kotouče obaleného textilní izolepou, detailní pohled je vidět na obrázku č. 45. Nemohl být použit pouze brusný kotouč, protože by docházelo k ničení pláště a zároveň nešla použít izolační páska nebo izolepa, protože by docházelo k prokluzu. Pomocí vrtačky s násadou bylo možno dosáhnout rychlosti otáčení kola až 32 km/h. Této rychlosti bylo dosaženo až při 3000 otáčkách za minutu. Bohužel při nedodržení pravého úhlu mezi násadou a pláštěm docházelo k odhození vrtačky od kola. K měření byl následně použit i osciloskop, který se připojuje k počítači. Použité měřicí přístroje jsou zobrazeny na obrázku č. 46. Průběh výstupního napětí alternátoru při 10 km/h bez zátěže je vidět na obrázku č. 7.



Obr. 7 Průběh výstupního napětí alternátoru při 10 km/h bez zátěže

Tab. 5 Závislost výstupního napětí na rychlosti

dynamo ve středu (naprázdno)		dynamo ve středu (R= 18,7 Ω)		dynamo ve středu (žárovka 14 V 3 W)	
rychlost [km/h]	napětí [V]	rychlost [km/h]	napětí [V]	rychlost [km/h]	napětí [V]
5	2,8	8	5,7	6,3	4,8
7	5	8,9	6,3	7,2	5,1
8,5	6,3	10,3	6,75	8,2	6,8
9,4	7,1	12	7,59	9,5	7,3
11,1	8,5	13	7,79	10,5	7,7
12,3	9,9	14	8,06	12,1	8,9
13,3	10,4	16,1	8,6	13,5	10
14	10,9	17	8,94	14,2	10,9
15,4	12,4	17,9	9,03	15,4	11,4
16,2	12,6	18,4	9,05	16,1	11,8
16,7	12,7	22,7	9,44	18,2	13,3
17,2	13,8	23,7	9,63	20,2	15,1
18,5	14,4	25,8	9,68	21	16,1
19	14,5	26,5	9,76	23,5	17,5
23	18,2	29	9,82	24,4	18
23,7	19,9	31,5	9,92	26	18,7
26	20,8	32	10,06	31,5	22,6
26,9	23,8	50	10		
28,9	24,3				
32	25				

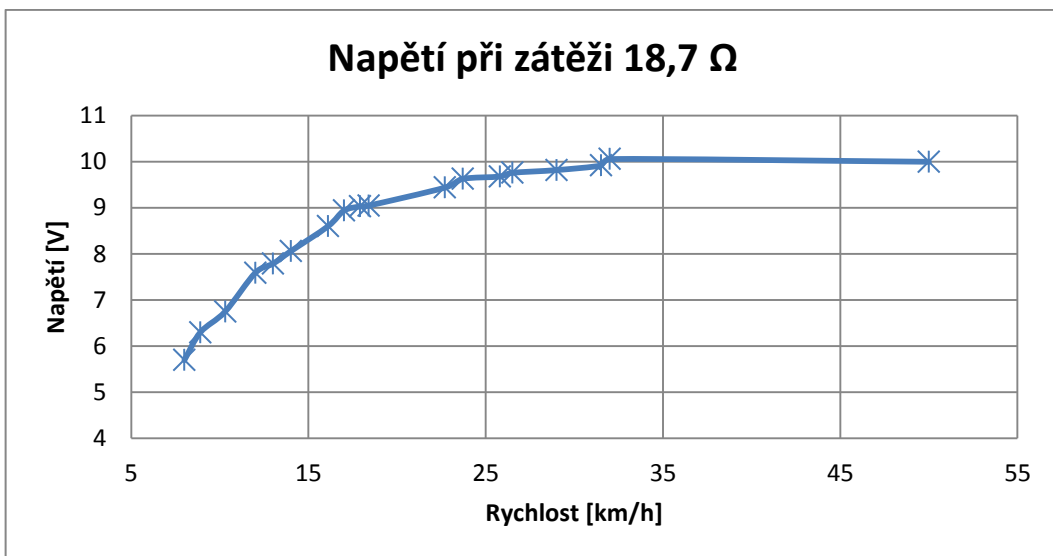
Tab. 6 Závislost výstupního proudu na rychlosti

dynamo ve středu (žárovka)		dynamo ve středu (18,7ohmu)	
rychlost [km/h]	proud [A]	rychlost [km/h]	proud [A]
5	0,03	6,6	0,19
6,8	0,04	7,5	0,23
7,1	0,04	8,5	0,25
7,3	0,05	9,3	0,27
8,2	0,07	10	0,3
9,2	0,08	11,4	0,33
9,8	0,09	12,4	0,35
11	0,09	13,5	0,38
12,7	0,11	14,6	0,39
14,3	0,12	15,1	0,41
15,3	0,13	16,2	0,41
17,5	0,15	17,4	0,42
19,6	0,16	18,2	0,44
21	0,17	19,2	0,45
23	0,18	21,3	0,46
24	0,19	23,3	0,46
26,3	0,2	25,8	0,47
29	0,21	28	0,48
31	0,22	32	0,49
		50	0,5

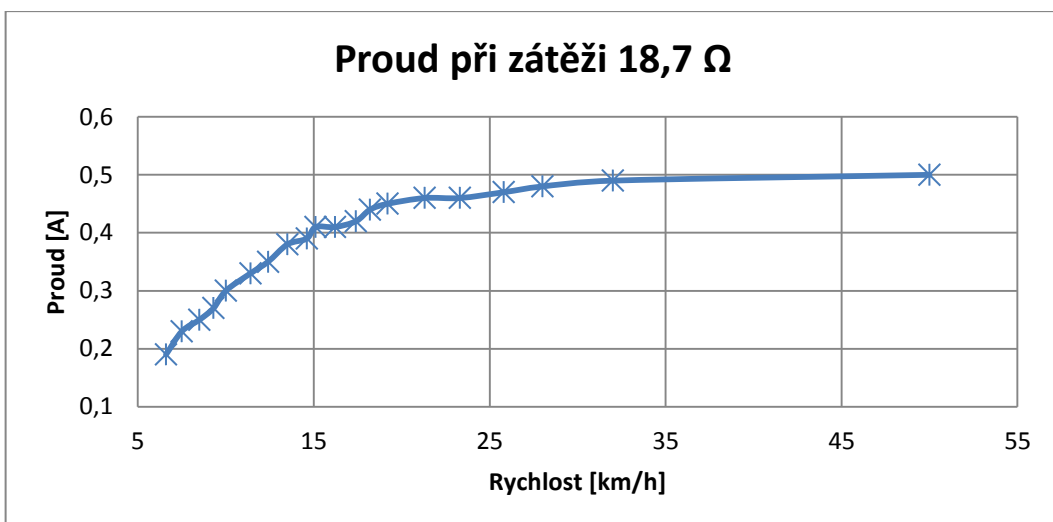
Na následujících grafech (obr. číslo 8,9,10) jsou zobrazeny hodnoty naměřených napětí a proudů v závislosti na rychlosti a zatížení. Modré body v grafu, kromě rychlosti 50 km/h, byly měřeny pomocí vrtačky s nástavcem. Na grafu, (obr. 10) je vynesena rovnice lineární přímky (1), jejíž pomocí dokážeme orientačně zjistit, jaké bude napětí naprázdno při dané rychlosti.

$$y = 0,8067x * 1,1004 \quad (1)$$

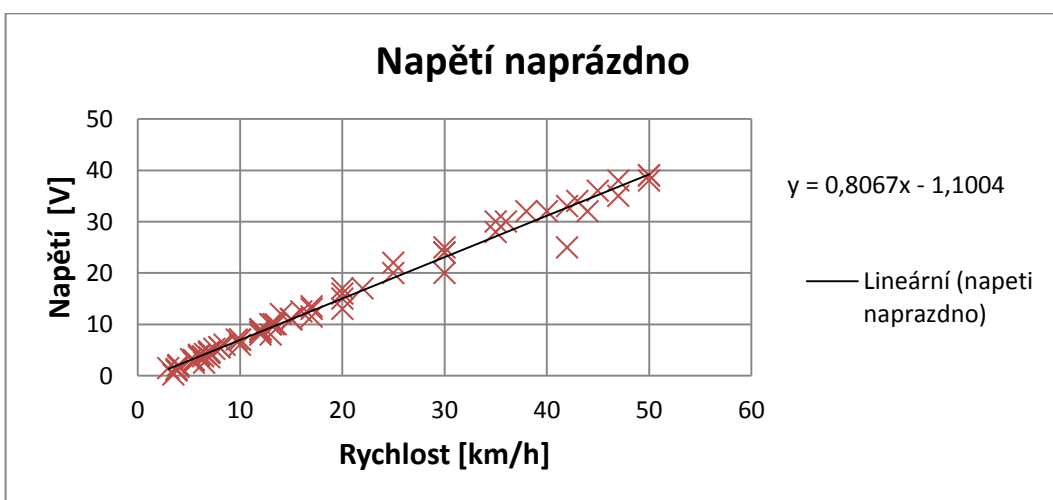
Kde y představuje napětí a x představuje rychlost.



Obr. 8 Závislost výstupního napětí na rychlosti



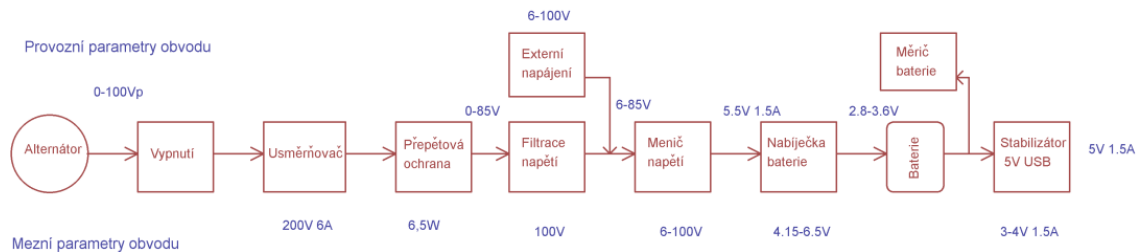
Obr. 9 Závislost výstupního proudu na rychlosti



Obr. 10 Závislost výstupního napětí naprázdno na rychlosti

3 ELEKTRONICKÉ SUBSYSTÉMY

V této kapitole jsou detailněji představeny bloky a součástky použité v nabíječce. Podrobné blokové schéma je na obrázku č. 11



Obr. 11 Schéma nabíječky s vyznačenými úrovněmi napětí a proudu

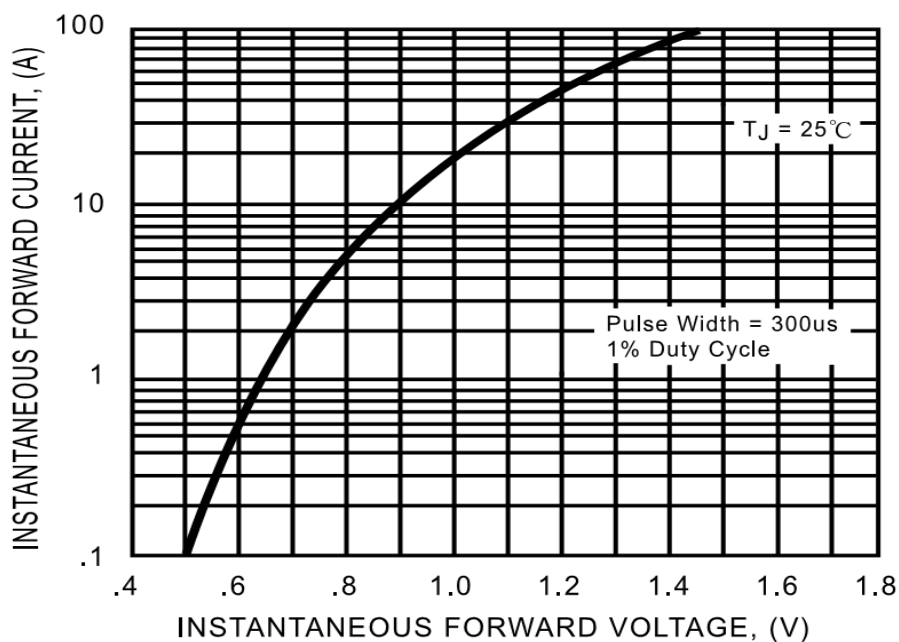
3.1 Usměrňovač s filtračním kondenzátorem a přepět'ovou ochranou

3.1.1 Usměrňovač

Při výběru vhodného usměrňovače je ideální splnit podmínku, aby na výstupu usměrňovače byly obě půlvlny. Jediná vhodná možnost připadá na použití dvojcestného usměrňování pomocí Graetzova můstku. Pomocí jednocestného usměrňovače by byla získána na výstupu pouze každá druhá půlvlna. Nejdůležitějším parametrem ve zvoleném zapojení je úbytek napětí v propustném směru. Nejzásadnější problém nastává při pomalé jízdě, kdy výstupní napětí se v důsledku úbytku napětí na usměrňovači snižuje přibližně o 1,2 V. Vstupní měnič začíná fungovat až od 6 V, to znamená, že na generátoru musí být 7,2 V. Tohoto napětí dosáhneme od rychlosti 11 km/h. Pro sepnutí obvodu je tato rychlost příliš vysoká, jako ideální hranice byla zvolena rychlost od 6 km/h do 8 km/h. Z tohoto důvodu je nutno použít usměrňovač s nízkým úbytkem napětí. Pokud by byl navíc obvod plně zatížen a usměrňovač by musel usměrnit 0,5 A, tak ztráty na usměrňovači vychází kolem 0,6 W. Úbytek by představoval 12 % z maximálního výkonu. Při nižších proudech by již ztráty nebyly tak vysoké. Proto bylo nutné projít všechny usměrňovače a z technických listů vyčíst, které mají při proudu 0-0,5A nejmenší úbytek v propustném směru. Dále bylo nutné, aby usměrňovač zvládal usměrnit napětí minimálně 100 V a proud kolem 1 A. Kvůli nízkému požadovanému úbytku napětí bylo zároveň nutno zvolit usměrňovač, který zvládá mnohem větší proudy. Usměrňovače na větší proudy se vyznačují nižším úbytkem napětí při stejném proudovém zatížení jako usměrňovače na menší proud. Nejvhodnější usměrňovač je RS603, jeho úbytek napětí při proudech 0-0,5 A je 0,5-0,6 V, viz obrázek č. 12. Hlavní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Technické parametry Usměrňovače RS603

Technické parametry	
Max. závěrné napětí	200V
Jmenovitý proud	6A
Pouzdro	KBU
Max. impulsní proud	175A
Montáž	THT



Obr. 12 Závislost úbytku napětí v propustném směru na procházejícím proudu (převzato z [8]).

3.1.2 Kondenzátor

Pro výpočet filtračního kondenzátoru se zpravidla používá zjednodušený vzorec (2).

$$C = \frac{I \times 0,5 \times T}{U_{br}} \quad (2)$$

U_{br} = zvlnění napětí; [V]

C = kapacita filtračního kondenzátoru; [F]

T = perioda; [s]

I = proud; [A]

Výstupní napětí z alternátoru nemá čistě sinusový průběh, proto zmíněný vzorec nelze použít. Bylo nutné pomocí osciloskopu proměřit zvlnění výstupního napětí s různými kapacitami kondenzátoru. Při kapacitě kondenzátoru 0,8 mF a rychlosti 10 km/h se zvlněné napětí pohybovalo od 4,4 V do 8,1V. Při kapacitě kondenzátoru 4,7 mF se zvlněné napětí pohybovalo od 6,1 V do 7,2 V. Takováto extrémní velikost zvlnění je zapříčiněna tím, že frekvence alternátoru byla při takovéto nízké rychlosti pouze 18,7 Hz a průběh napětí má spíše Gaussův tvar než sinusový (viz obrázek č. 7). Jako dostatečná kapacita, která má přijatelné zvlnění, byla zvolena 4,7 mF. Tato kapacita byla také zvolena kvůli svým rozměrům. Ideální z pohledu zvlnění by bylo použití 2 paralelních kondenzátorů této kapacity, to by zabralo mnohem více místa. Nejlepší je použití kondenzátoru, který má maximální napětí 160 V. Kondenzátor s požadovanou kapacitou je velmi špatně dostupný a je příliš rozměrný, proto byl zvolen kondenzátor s nižším mezním napětím. V tabulce č. 8 jsou popsány technické parametry kondenzátoru E4700M/100V .

Tab. 8 Technické parametry kondenzátoru

Technické parametry		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Typ	Standardní	[-]
Kapacita	4700	[μ F]
Napětí	100	[V]
Tolerance	20	[%]
RM	10	[mm]
Průměr	35	[mm]
Délka	40	[mm]
Max. teplota	85	[°C]

3.1.3 Transil

Kvůli ochraně citlivých elektronických součástek bylo nutno na vstup připojit přepěťovou ochranu. Nejvhodnější ochranou funkci má transil, který je hlavně konstruován na velké impulzní proudy. Při velkém přetížení se nepřerušuje, ale na rozdíl od pojistky se zkratuje, díky tomu ochrání připojené obvody před přepětím. Vůči krátkodobým špičkám by stačil obyčejný transil se špičkovým výkonem 600 W, ten nemá dostatečný trvalý ztrátový výkon, proto bylo nutno zvolit výkonnější. Transil se špičkovým výkonem 1,5 kW již dokáže v trvalém režimu na sobě protopit 6,5 W, tato hodnota je již dostatečná k trvalé ochraně elektroniky před zničením. V tabulce č. 9 jsou popsány technické parametry zvoleného transilu.

Tab. 9 Technické parametry transilu

Technické parametry		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Unipolární/Bipolární	Unipolární	[-]
U_{br}	82	[V]
$P_{impulzni}$	1500	[W]
$P_{trvalý}$	6,5	[W]
Vratné napětí	70,1	[V]
Průrazné napětí	82± 10%	[V]
Pouzdro	DO201	[-]

3.2 Snižující měnič

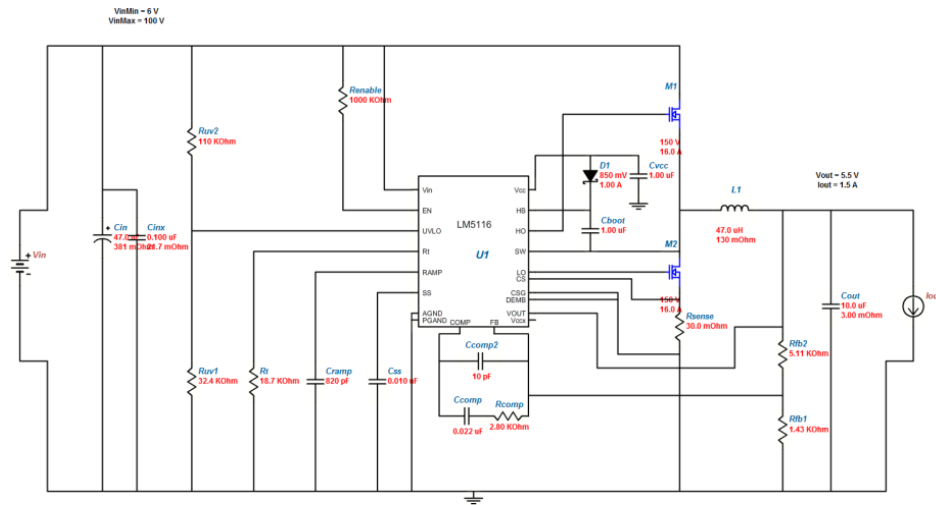
Jako vstupní snižující měnič byl vybrán obvod, který dokáže pracovat do napětí 100 V. Ideální by bylo, aby obvod fungoval již od 6 V s nastavitelnou spodní hranicí vstupního napětí. Na stránkách výrobců integrovaných měničů zpravidla nelze zadat maximální napětí vyšší jak 75 V. Jediní dva výrobci, kteří vyrábí obvody do 100 V s nízkým minimálním napětím je firma Linear Technology a firma National Semiconductor. Nevýhodou obvodu firmy Linear je fakt, že je konstruován pro napětí od 15 V. Požadované parametry splňuje pouze obvod LM5116 firmy National Semiconductor. LM5116 dokáže pracovat od 6 V do 100 V při výstupním napětí 5,5 V, které je požadováno jako napájecí napětí nabíječky LiFePO₄ akumulátoru. Pomocí odporového děliče R_{UV1}, R_{UV2} na vstupu UVLO se dá měnit minimální zapínací napětí. Díky tomu je dosaženo toho, že při rychlostech do 8km/h je obvod odpojen a nabíječka zbytečně nezatěžuje cyklistu. Schéma zapojení snižujícího měniče bylo navrženo pomocí Power Managementu na stránkách výrobce, viz obrázek 14. Schéma zapojení je dle americké normy. Grafy parametrů byly převzaty z návrhového Power Managementu výrobce, viz obrázek 15-19. Pokud je obvod zatížen a na alternátoru je napětí kolem 10 V, tak účinnost měniče je 93 %. Se zvyšujícím se napětím a klesajícím proudem účinnost velmi prudce klesá. Při vstupním napětí 53 V a proudu 0,15 A je účinnost jen 43 %. Hlavní přednosti obvodu jsou popsány níže.



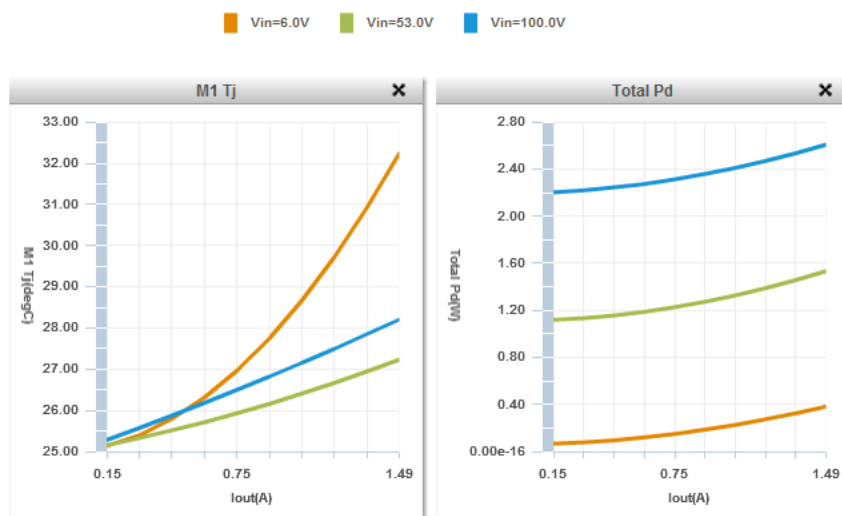
Obr. 13 Pouzdro obvodu LM5116 (převzato z [9]).

Parametry obvodu LM5116 :

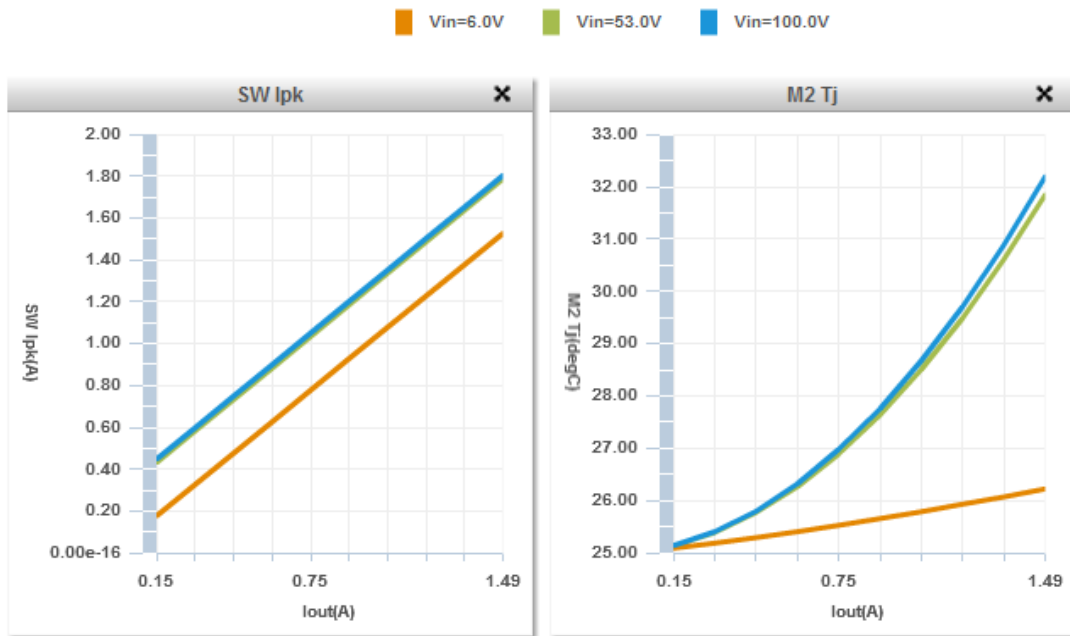
- Široký provozní rozsah až 100 V
- Nízký proud ve vypnutém stavu (<10 uA)
- Robustní 3,5 A špičkový výstupní člen
- Free-run nebo synchronní provoz až 1 MHz
- Programovatelný výstup od 1,215 V do 80 V
- Precizní 1,5 % napěťová reference
- Programovatelná proudová ochrana
- Programovatelný soft-start
- Programovatelné podpěťové vypnutí
- Vypnutí při přehřátí



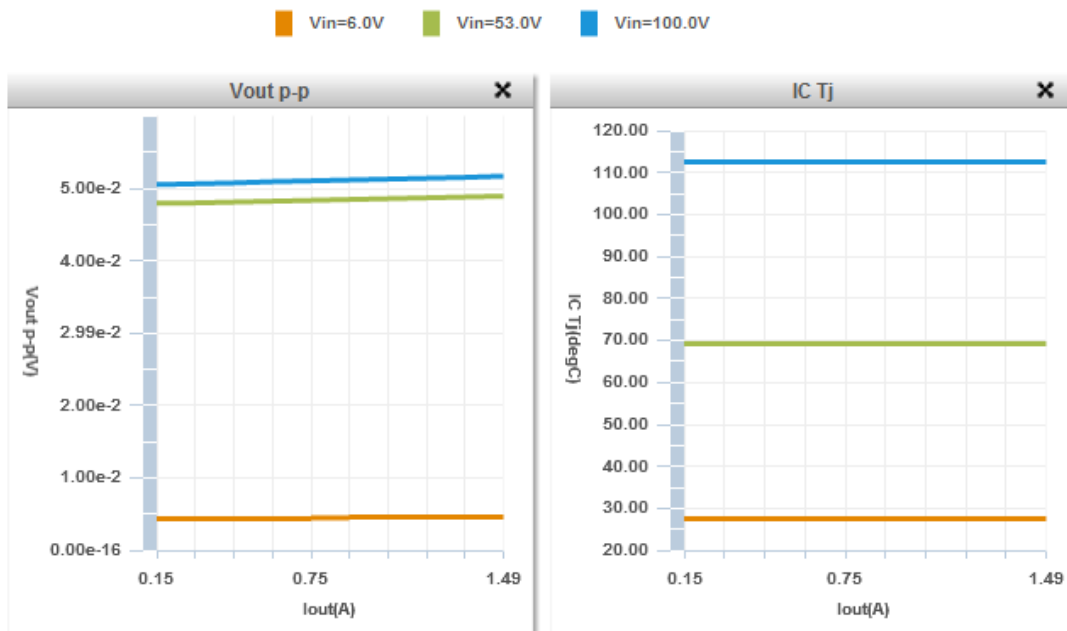
Obr. 14 Schéma snižujícího měniče navrženého pomocí programu od National Semiconductor (převzato z [10]).



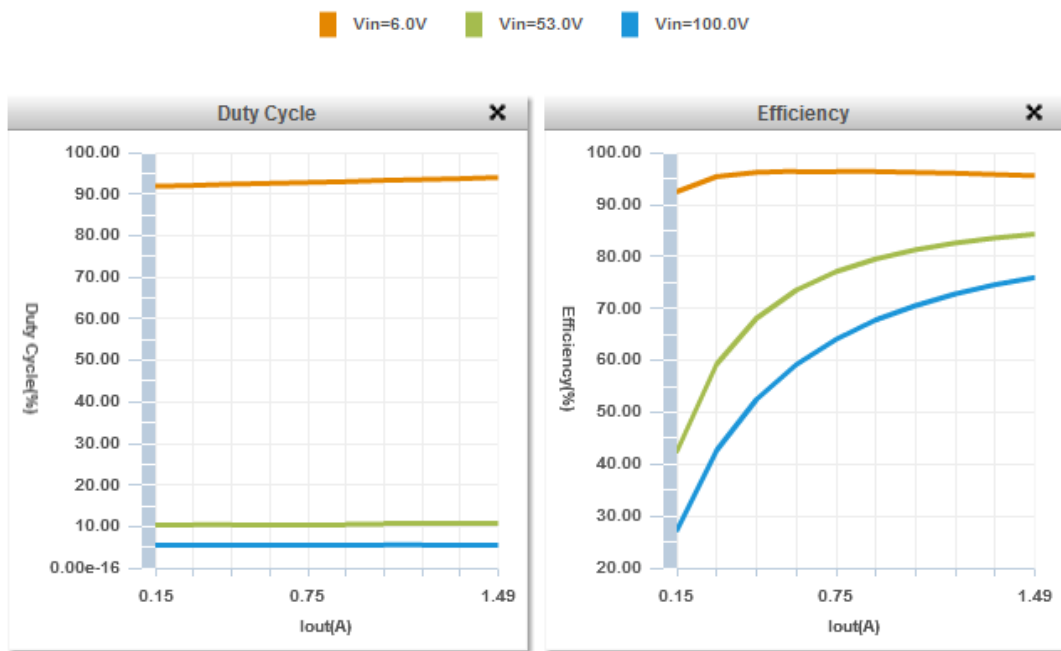
Obr. 15 Grafy teploty tranzistoru M1 a celkového ztrátového výkonu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [10]).



Obr. 16 Grafy spínacího proudu a teploty tranzistoru M2 v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).

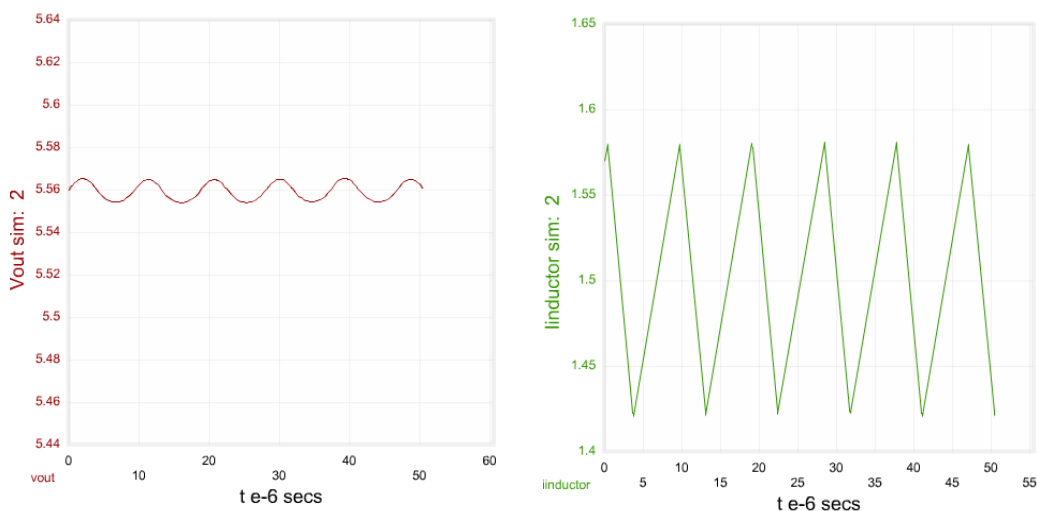


Obr. 17 Grafy zvlnění výstupního napětí a teploty řídicího obvodu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).



Obr. 18 Grafy střídy a účinnosti v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [10]).

V tabulce 10 jsou popsány vývody obvodu LM5116 a jejich význam. Z grafu, který je na obrázku č. 17, je zřejmé, že se zvětšujícím se vstupním napětím velmi roste teplota řídicího obvodu. Při 100 V dosahuje teplota obvodu 117 °C, maximální provozní teplota obvodu je 125 °C a k zásahu tepelné ochrany dojde až při 170 °C. Z grafu číslo, který je na obrázku č. 18, je patrné, že při vysokém vstupním napětí účinnost velmi klesne. Na obrázku č. 19 je vidět zvlnění výstupního napětí V_{out} a proudu procházejícího cívkou $I_{inductor}$. V tabulce 11 jsou vypsány nejdůležitější obvodové parametry navrženého měniče pomocí návrhového programu. Největší ztráty v obvodu jsou na řídicím obvodu (IC Pd) a na cívce (L Pd), dále následují tranzistory (M Pd).



Obr. 19 Grafy zvlnění výstupního napětí a proudu cívkou (převzato z [10]).

Tab. 10 Tabulka pinů obvodu LM5116 (převzato z [11]).

Pin	Název	Funkce
1	Vin	Pin napájení obvodu
2	ULVO	Nastavení podpětí. Pokud je na pinu nižší napětí jak 1,215 V tak se obvod přepne do úsporného režimu
3	RT	Pin frekvenčního nastavení. Frekvence oscilací se nastavuje rezistorem, který je připojený na tento pin.
4	EN	Zapínací pin, pokud je na pinu méně než 0,5V obvod se přepne do režimu nízké spotřeby
5	RAMP	Pin nastavení sklonu náběhu proudové kontroly
6	AGND	Analogová zem
7	SS	Vstup pro připojení kondenzátoru pro vnitřní 10 uA zdroj
8	FB	Pin vazby. Výstupní napětí je nastaveno použitím odporového děliče, který zajistí na tomto pinu 1,215 V.
9	COMP	Výstup vnitřního chybového zesilovače
10	VOUT	Sledování výstupního napětí
11	DEMB	Monitorování napětí na spodním tranzistoru
12	CS	Pin pro snímaný proud.
13	CSG	Pin pro snímaný proud
14	PGND	Výkonová zem
15	LO	Řízení spodního tranzistoru
16	VCC	Vstup pro kapacitní oddělení od výkonové země
17	VCCX	Volitelný vstup pro externí VCC, pokud nepoužitý připojit na zem
18	HB	Pin pro připojení kondenzátoru k hornímu tranzistoru
19	HO	Řízení horního tranzistoru
20	SW	Pin pro uzel tranzistorů
EP	EP	Termální ploška, připájet k zemi pro lepší odvod tepla

Tab. 11 Parametry navrženého obvodu pomocí programu výrobce (převzato z [10]).

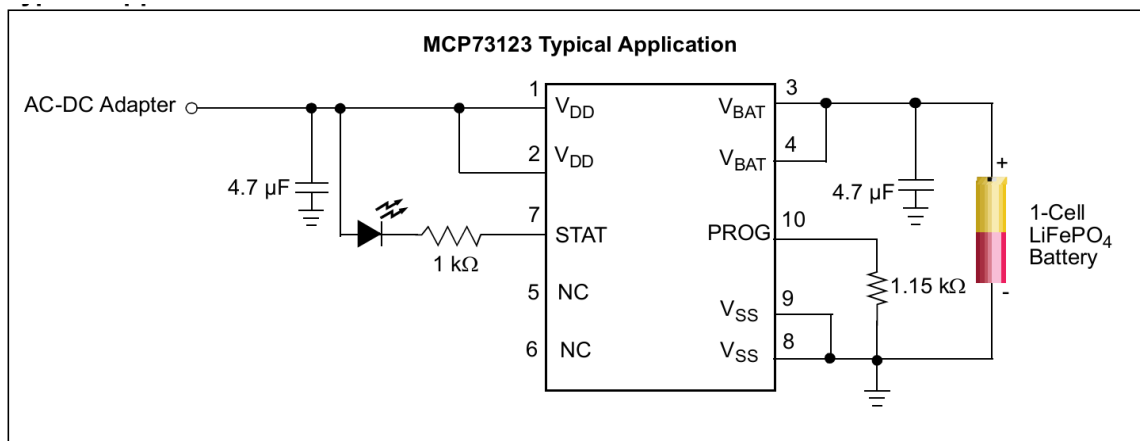
Name	Value	Description
IOUT_OP	1.5A	Iout operating point
Pout	8.25W	Total output power
Efficiency	85.5%	Steady state efficiency
Frequency	73.4KHz	Switching frequency
Duty Cycle	5.66%	Duty cycle
Vout p-p	0.05V	Peak-to-peak output ripple voltage
Cin IRMS	0.34A	Input capacitor RMS ripple current
Cout IRMS	0.17A	Output capacitor RMS ripple current
L Ipp	0.60A	Peak-to-peak inductor ripple current
SW Ipk	1.80A	Peak switch current
Cin Pd	0.04W	Input capacitor power dissipation
Cout Pd	46.0uW	Output capacitor power dissipation
L Pd	0.11W	Inductor power dissipation
IC Pd	0.98W	IC power dissipation
M1 PdSw	0.05W	M1 MOSFET switching losses
M1 PdCond	7.31mW	M1 MOSFET conduction losses
M1 Pd	0.06W	M1 MOSFET total power dissipation
M2 PdSw	0.01W	M2 MOSFET switching losses
M2 PdCond	0.12W	M2 MOSFET conduction losses
M2 Pd	0.13W	M2 MOSFET total power dissipation
Rsns Pd	0.06W	Current Limit Sense Resistor Power Dissipation
IC Tj	64.3degC	IC junction temperature
M1 Tj	28.2degC	M1 MOSFET junction temperature
M2 Tj	32.2degC	M2 MOSFET junction temperature
Mode	CCM	Conduction Mode
L1 Irms	1.51A	Inductor ripple current
M1 Irms	0.35A	MOSFET RMS ripple current
M2 Irms	1.46A	MOSFET RMS ripple current
M1 Rdson	0.05Ohm	Drain-Source On-resistance
M2 Rdson	0.05Ohm	Drain-Source On-resistance
IC_Icc_Nom	1.94mA	IC Icc gate driver current
FootPrint	1.48Kmm2	Total Foot Print Area of BOM components
Input Load Capacitance	47.1uF	Input load capacitance seen by upstream circuit
Total BOM	6.67\$	Total BOM Cost
Total Pd	1.40W	Total Power Dissipation

3.3 Nabíječka akumulátorů

V dnešní době je velmi omezené množství integrovaných obvodů pro nabíjení LiFePO₄ akumulátorů. Mezi nejvhodnější patří obvod BQ25070 firmy Texas instrument, který má vstupní napětí až 30 V a výstupní proud 1 A. Nevýhodou tohoto obvodu je nutnost pulzního řízení nabíječky, které udává nabíjecí proud. Toto řešení je nevhodné, jelikož je nutné mít další obvod, který generuje řídicí pulzy, což by prodražilo projekt a zvedla by se i velikost výsledného zapojení. Vhodnější integrovaný obvod je MCP73123 od firmy Microchip. Maximální vstupní napětí je 18 V a výstupní proud až 1,1 A, který je také programovatelný jako v předešlém obvodu, ale nastavuje se pomocí odporu. Vhodný odpor dle technického listu výrobce je pro maximální proud 1 k Ω . Obvod je v pouzdře DFN-10 (3 mm x 3 mm) viz obrázek č. 20, toto je bezvývodové pouzdro a má pouze pájecí plošky. Výhodou zmíněného obvodu z pohledu pájení je propojení některých pájecích plošek a obvod je připojen pouze pomocí pěti cest na desce plošného spoje místo deseti. To je vidět dle typického zapojení na obrázku 21.



Obr. 20 Pouzdro obvodu MCP73123 (převzato z [12]).



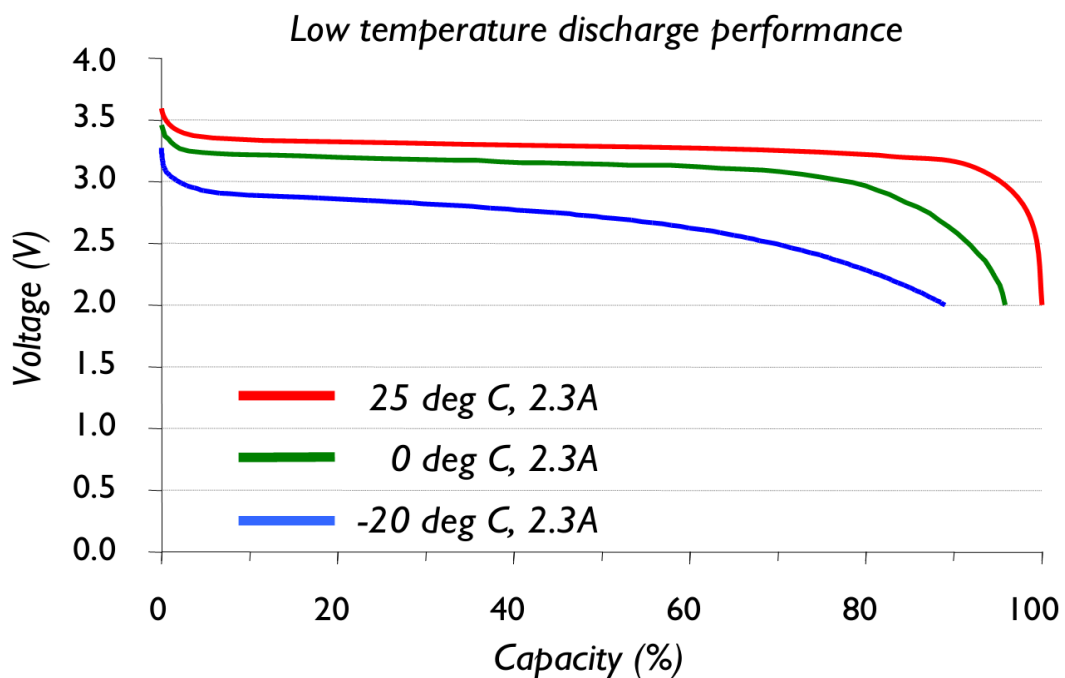
Obr. 21 Typické zapojení nabíječky (převzato z [13]).

3.4 Akumulátor

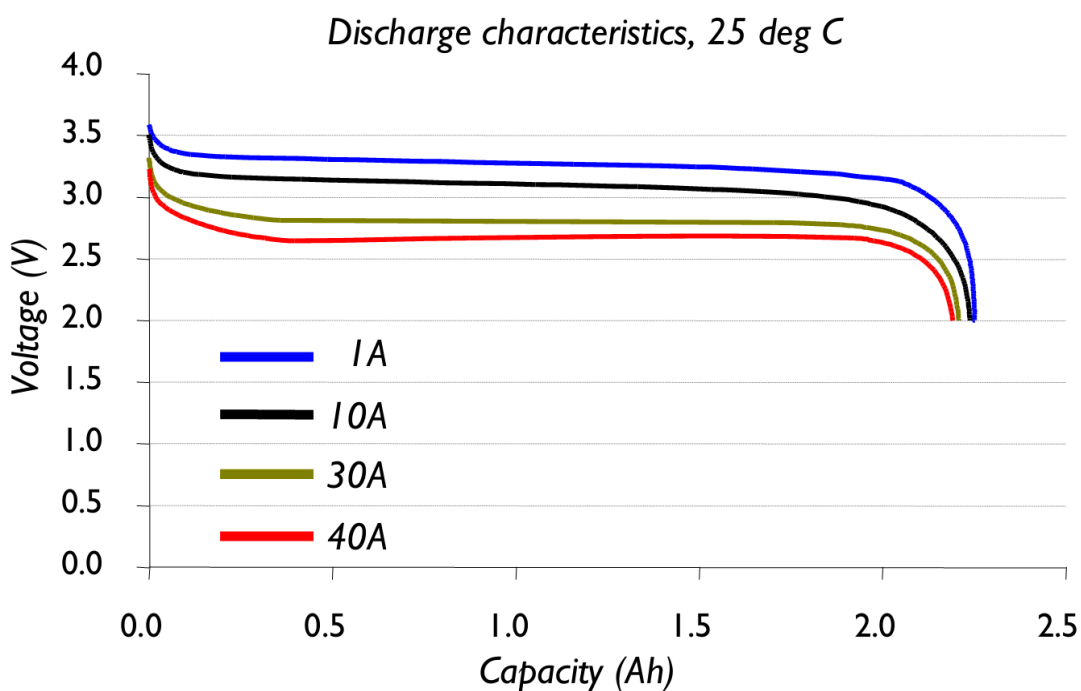
Jako jediný dostupný akumulátor typu LiFePO_4 je ANR26650 firmy A123, který je vidět na obrázku 18. Firma A123 dodává baterie i největší automobilce světa GM, která je používá u svých elektromobilů. Z obrázku číslo 24 je vidět, že i při 40 A zatížení napětí prudce neklesá. Ale drží se kolem 2,8 V. Z obrázku číslo 25 lze určit, že při vybíjení proudem 2,3 A a nabíjení proudem 2,3 A klesne kapacita akumulátoru po 1000 cyklech jen o zanedbatelných 5 %. Pokud budeme nabíjet a vybíjet baterii nižším proudem tak vydrží dokonce ještě více cyklů. V tabulce číslo 12 jsou popsány základní mechanické a elektrické vlastnosti akumulátoru.



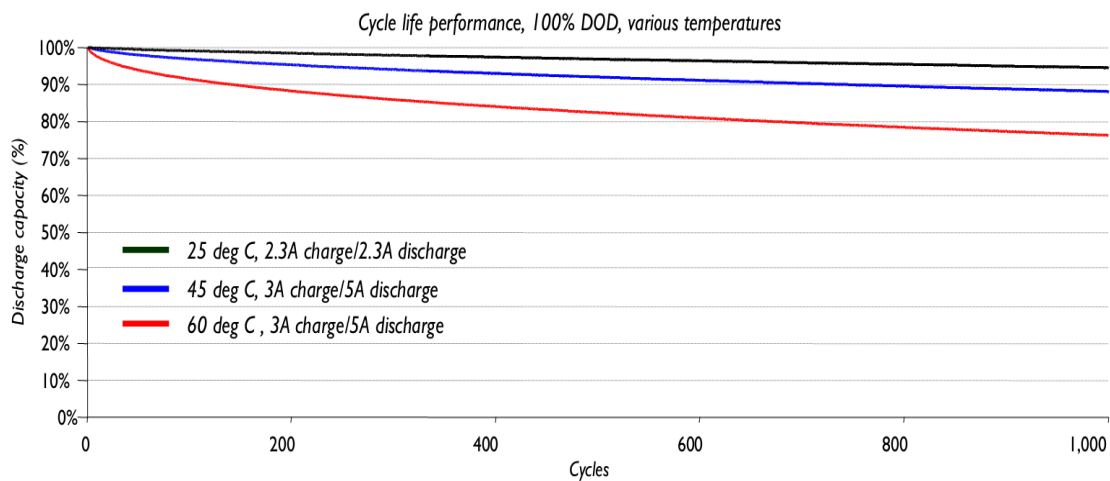
Obr. 22 LiFePO_4 : ANR26650 (převzato z [14]).



Obr. 23 Graf výstupního napětí v závislosti na provozní teplotě (převzato z [15]).



Obr. 24 Graf výstupního napětí v závislosti na výstupním proudu (převzato z [15]).



Obr. 25 Počet cyklů pro různé proudy a teploty (převzato z [15]).

Tab. 12 Základní parametry akumulátoru ANR26650 (převzato z [15]).

ANR26650MI-B specifikace článku	
Velikost článku (mm)	26 x 65
Váha článku (g)	76
Kapacita článku (nominální/minimální, Ah)	2.5/2.4
Napětí (nominální, V)	3.3
Vnitřní Impedance (1kHz AC typická, mΩ)	6
10.s maximální vybíjecí výkon 50% SOC	200 W
Doporučené parametry pro standardní nabíjení	1C to 3.6V CCCV, 45 min
Doporučené parametry pro rychlé nabíjení do 80% SOC	4C to 3.6V CC, 12 min
Maximální trvalý vybíjecí proud (A)	70
Maximální pulzní vybíjecí proud (10s, A)	120
Počet vybíjecích cyklů při 10C vybíjení, 100% DOD	>1,000 cyklů
Rozsah pracovních teplot	-30°C to 55°C
Rozsah skladovacích teplot	-40°C to 60°C

3.5 Měřič kapacity interního akumulátoru

3.5.1 Princip měření akumulátoru

Z obrázku číslo 23 lze vyčíst, že při pokojové teplotě a kapacitě článku 5-90% je velikost napětí skoro konstantní. Toto je velmi vhodné pro napájená zařízení, velmi obtížně se kvůli tomu měří zbytková kapacita akumulátoru. Měření akumulátoru je realizováno pomocí 2 komparátorů a napěťové reference, po přepnutí do režimu měření bude na komparátor přivedeno napětí. Jako výstup slouží 2 LED diody. Pokud je napětí vyšší než 3,2 V, rozsvítí se obě diody. V případě vyššího napětí než 3,1 V se rozsvítí 1 dioda. Pokud napětí poklesne pod 3,1 V, nebude již svítit žádná indikační dioda. Jako napěťová reference je použit obvod TL431, jehož referenční napětí je 2495 mV. Pro komparátor je použit obvod MCP6562, který má integrované 2 komparátory, jeho pracovní rozsah napětí je od 1,8 V do 5,5 V a maximální výstupní proud je 50 mA.

3.5.2 Výpočet komparátoru

U zdroje reference je potřeba umístit omezující odpor, který nastaví proud referencí na hodnotu 1-100 mA. Při napájecím napětí přibližně 3 V a proudu 10 mA hodnota omezovacího odporu podle vzorce č. 3 vychází 300 Ω.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0,01} = 300\Omega \quad (3)$$

Napětí z baterie je přivedeno na neinvertující vstupy operačních zesilovačů, kde je porovnáváno s referenční hodnotou 2495 mV, která je přivedena na invertující vstupy. Aby bylo možné porovnávat napětí akumulátoru s referenčním napětím, je nutné snížit napětí z akumulátoru na požadovanou hodnotu. To je realizováno pomocí napěťových děličů. Pokud je požadováno, aby zelená LED svítila při napětí akumulátoru 3,4-3,2 V, je potřebné, aby na komparátoru A při napájecím napětí 3,2 V bylo dosaženo 2,495 V. Dělicí poměr komparátoru A je 0,78 - viz vzorec č. 4. Pro malé proudy a hodnoty součástek řady E24 vychází odpor RA1 = 56 kΩ a RA2 = 200 kΩ. Pro komparátor B, který spíná červenou LED, je mez zapnutí 3,1 V. Pro tento komparátor jsou vhodné odpory řady E24 18 kΩ pro RB1 a 75 kΩ pro RB2.

$$\frac{U_{komp}}{U_{aku}} = \frac{2,495}{3,2} = 0,78 \quad (4)$$

Obě LED diody jsou 10 mA. Úbytek napětí na komparátoru v sepnutém stavu je 0,7 V.

U zelené diody se napájecí napětí pohybuje od 3,2 V do 3,4 V. Kvůli úbytku na komparátoru je dosaženo napájecího napětí diody 2,5-2,7 V. Předřadný odpor pro LED je vypočten pomocí vzorce č. 5

$$R = (U_{napájecí} - U_{LED}) / I_{LED} \quad (5)$$

Pro napětí 2,5 V vychází hodnota odporu $R = (2,5 - 2,2) / 0,01 = 30 \Omega$

Pro napětí 2,7 V vychází hodnota odporu $R = (2,7 - 2,2) / 0,01 = 50 \Omega$

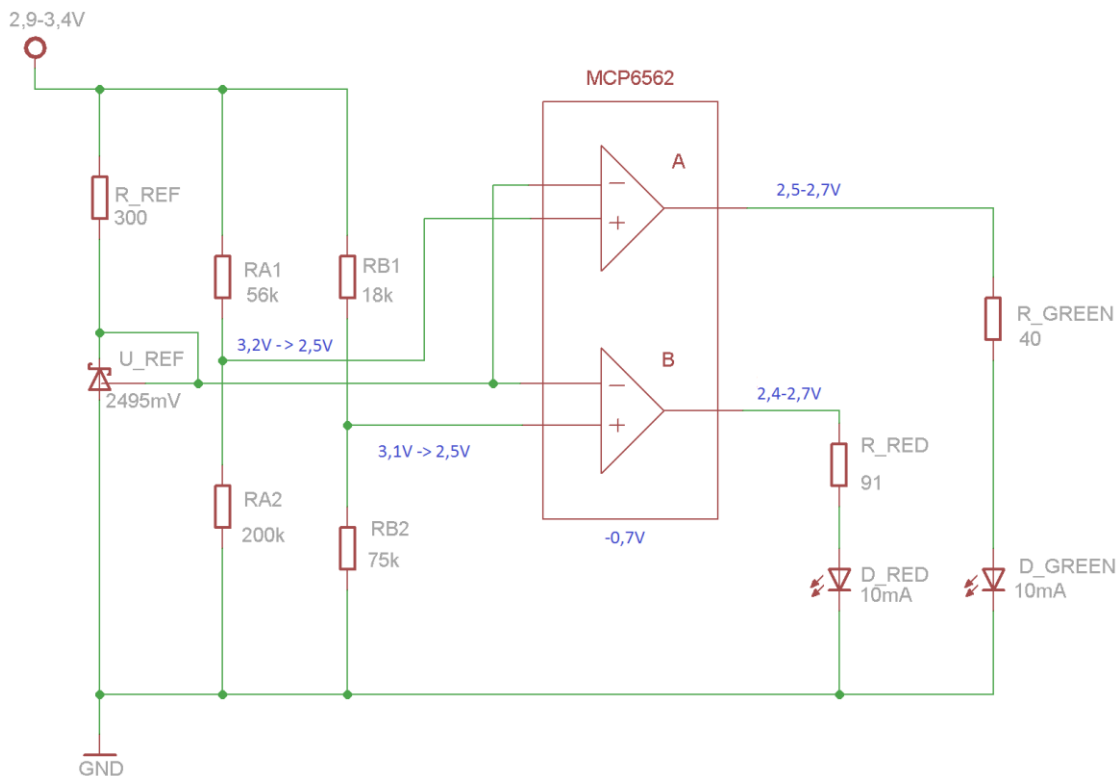
Proto byla zvolena hodnota 40 Ω. Hodnota proudu LED diodou se bude pohybovat od 7,5 mA do 12,5 mA.

U červené diody se napájecí napětí pohybuje od 3,1 V do 3,4 V. Kvůli úbytku na komparátoru je dosaženo napájecího napětí diody 2,4-2,7 V. Předřadný odpor pro LED vypočteme pomocí vzorce č. 5

Pro napětí 2,4 V vychází hodnota odporu $R = (2,4 - 1,7) / 0,01 = 70 \Omega$

Pro napětí 2,7 V vychází hodnota odporu $R = (2,7 - 1,7) / 0,01 = 100 \Omega$

Proto byla zvolena hodnota řady E24 91 Ω. Hodnota proudu LED diodou se bude pohybovat od 7,5 mA do 11,1 mA.



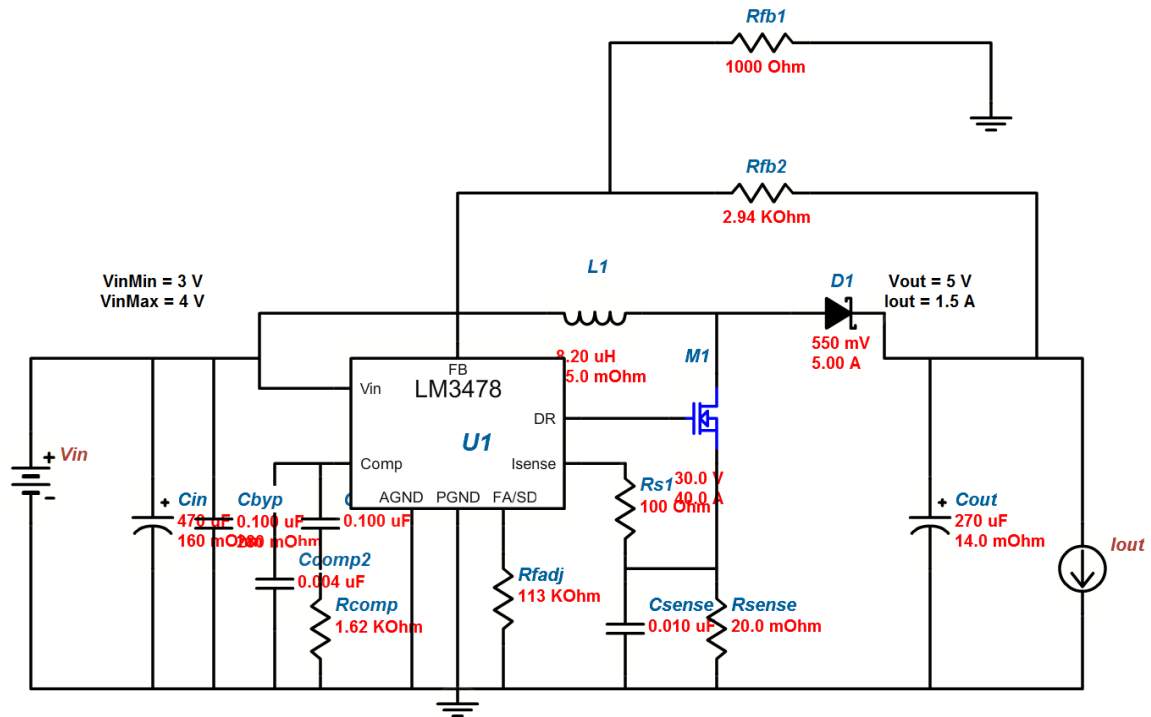
Obr. 26 Schéma komparátoru s referenčním zdrojem napětí a indikací pomocí LED

3.6 Výstupní člen pro USB

Jako výstupní zvyšující měnič, byl zvolen obvod LM3478. Ten transformuje napětí 3V-3,6 V z akumulátoru na 5 V, které je potřebné jako napájecí napětí pro USB. Obvod je navržen tak, aby fungoval od 3 V, což je napětí, když je akumulátor již skoro vybitý. Nabíjecí napětí akumulátoru se může pohybovat až do 3,6 V a je nutno počítat s určitou rezervou, proto je maximální vstupní napětí 4 V. Maximální výstupní proud je 1,5 A. Schéma zapojení měniče bylo navrženo pomocí Power Managementu na stránkách výrobce, viz obrázek 27. Schéma zapojení je dle americké normy. Grafy parametrů byly převzaty z návrhového Power Managementu výrobce. Účinnost se v celé oblasti použitého proudu a napětí moc nemění a pohybuje se od 85 do 89 %.

Klíčové vlastnosti obvodu LM3478:

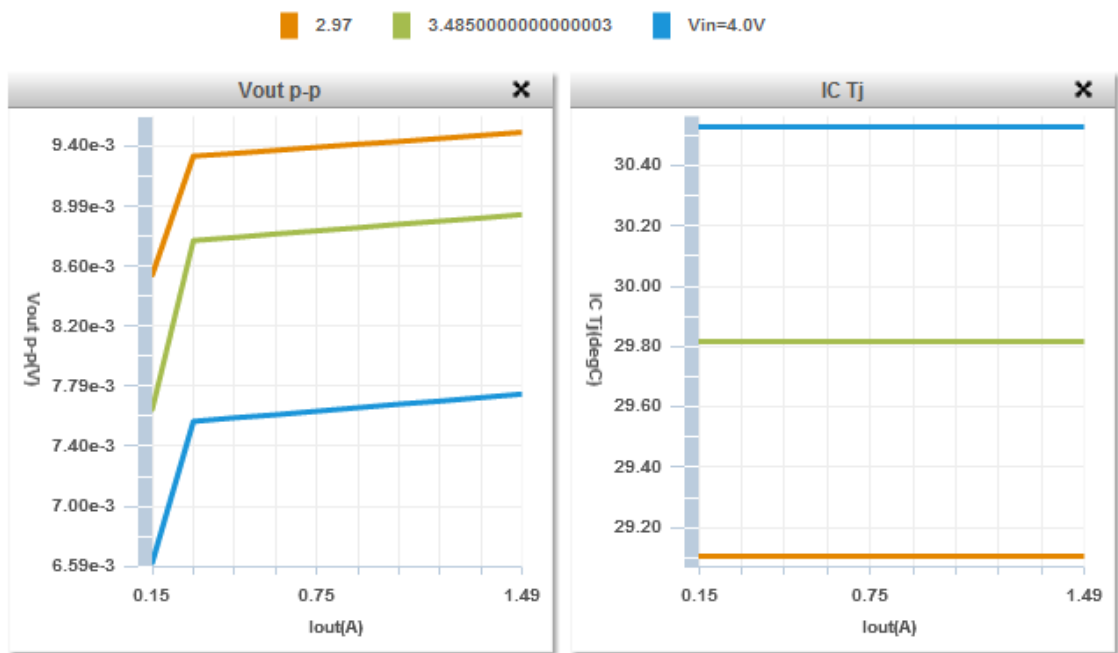
- Široký rozsah napájecího napětí od 2,97 V do 40 V
- Nastavitelná frekvence spínání 100 kHz až 1 MHz
- Interní reference $\pm 2,5$ %
- Nízký proud ve vypnutém stavu 10 μ A



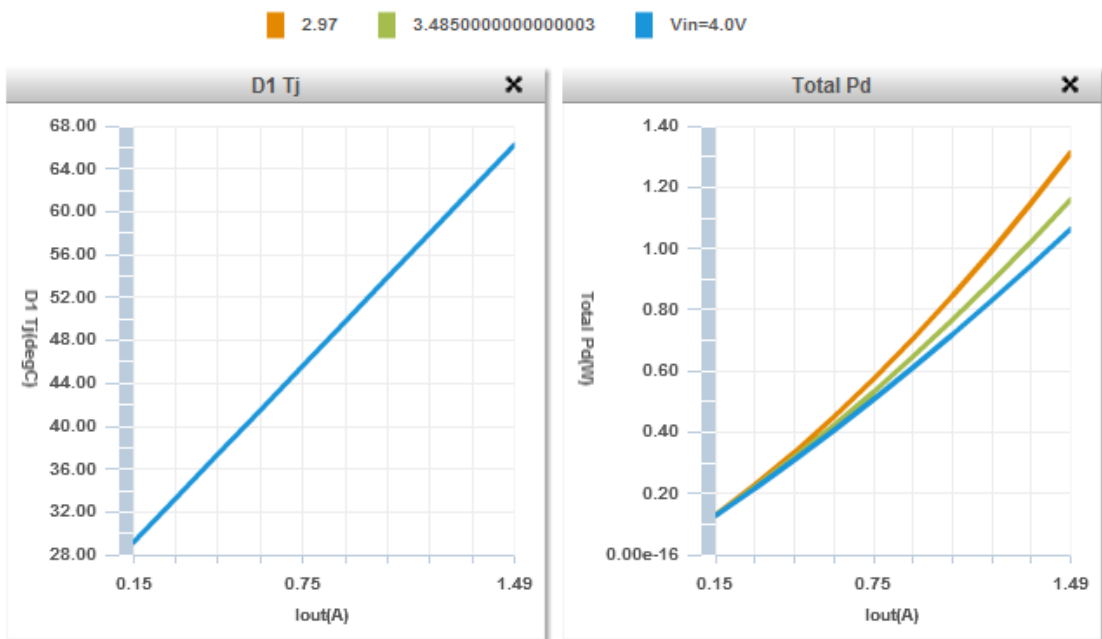
Obr. 27 Schéma výstupního stabilizátoru navrženého pomocí programu od National Semiconductor (převzato z [16]).

Měnič pracuje ve dvou cyklech – v prvním cyklu je tranzistor otevřen a cívka se nabíjí. Během tohoto cyklu je dioda v závěrném směru a proud do zátěže je dodáván pouze pomocí výstupního kondenzátoru C_{out} , proto musí mít tento kondenzátor velmi malé ESR. Ve druhé části cyklu je tranzistor uzavřen a dioda je v propustném směru. Energie z induktoru je nyní přenesena na výstup měniče a do výstupního kondenzátoru. Proto je nutno nedimenzovat součástky na proud výstupu, ale na přibližně dvounásobné proudy. Průměrná hodnota proudu Schottkyho diodou je rovna průměrné hodnotě proudu zátěží, špičkový proud Schottkyho diodou je roven maximálnímu proudu cívky. Špičkové napětí je rovno výstupnímu napětí měniče. Výstupního napětí je nastaveno pomocí odporového děliče, který je umístěn mezi výstup a pin odezvy (FB).

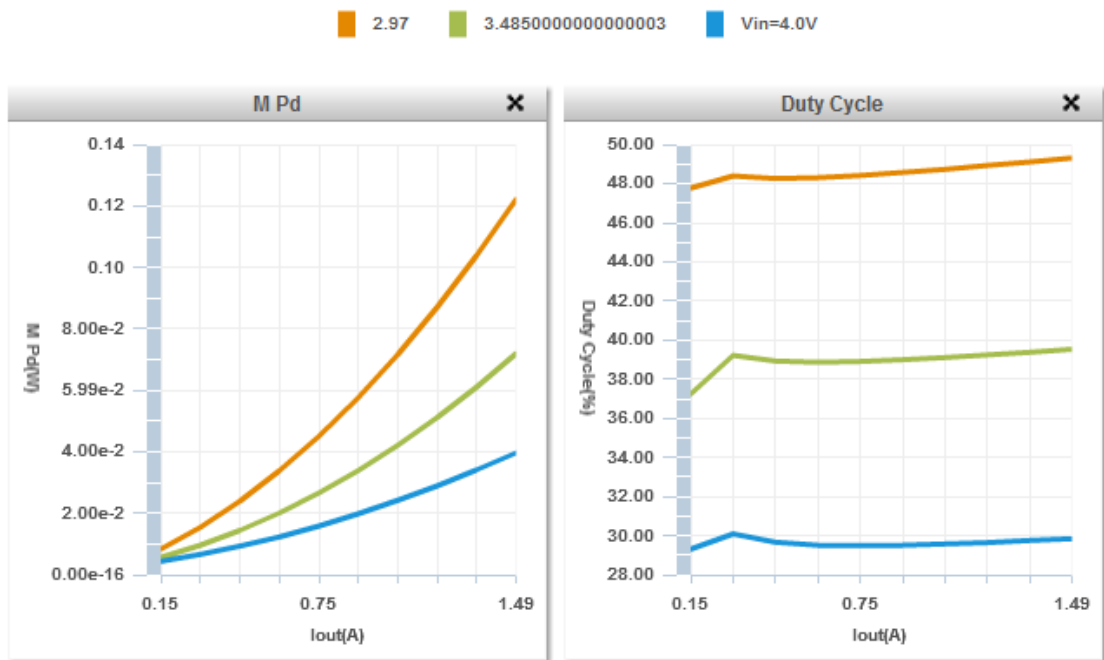
V tabulce 13 jsou popsány vývody obvodu LM3478 a jejich funkce. Z grafů, které jsou na obrázku č. 28 až 31 lze vyčíst, že největší teplotu bude mít Schottkyho dioda. Z grafu, který je na obrázku č. 31, je patrné, že spínací proud bude až 3A. Na obrázku č. 32 je vidět zvlnění výstupního napětí V_{out} a spínací proud I_{Switch} . V tabulce 14 jsou vypsány nejdůležitější obvodové parametry navrženého měniče pomocí návrhového programu. Největší ztráty v obvodu jsou na diodě (Diode Pd) a na cívce (L Pd), ztrátový výkon na odvodu LM3478 (IC Pd) je vůči obvodu LM5116 zanedbatelný.



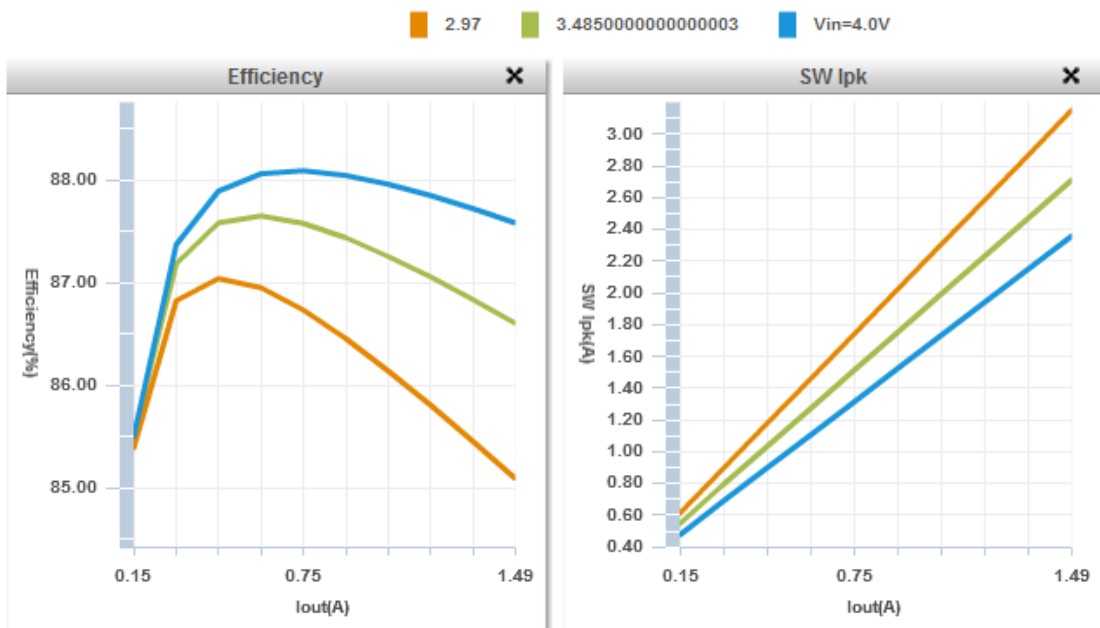
Obr. 28 Grafy zvlnění napětí a teploty řídicího obvodu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [16]).



Obr. 29 Grafy teploty diody a celkového ztrátového výkonu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu (převzato z [15]).



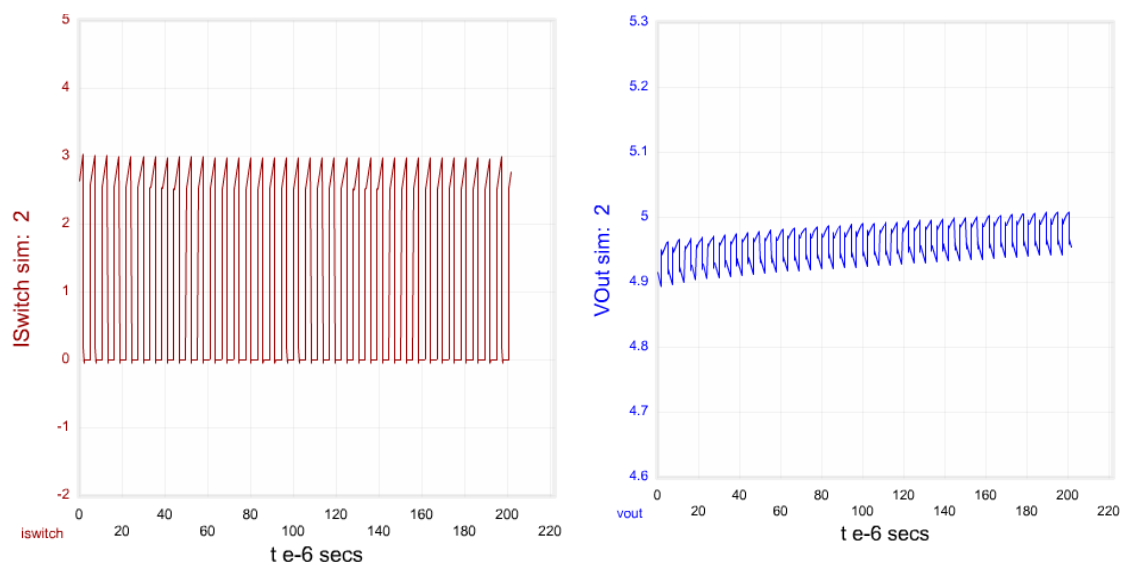
Obr. 30 Grafy ztrátového výkonu tranzistoru a střidy v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [16]).



Obr. 31 Grafy účinnosti a spínacího proudu v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudem (převzato z [16]).

Tab. 13 Tabulka pinů obvodu 3478 (převzato z [17])

Pin	Název	Funkce
1	Isense	Pin pro snímaný proud. Na tento pin je přiváděno napětí generované přes snímací rezistor.
2	COMP	Kompenzační pin. Kombinace rezistoru a kondenzátoru připojených na tento pin, poskytují kompenzaci pro kontrolní smyčku.
3	FB	Pin vazby. Výstupní napětí je nastaveno použitím odporového děliče, který zajistí na tomto pinu 1,26 V.
4	AGND	Analogová zem.
5	PGND	Výkonová zem.
6	DR	Řídící pin pro tranzistor. Na tento pin je připojena báze externího tranzistoru.
7	FA/SD	Pin frekvenčního nastavení. Frekvence spínání je nastavována rezistorem, který je připojený na tento pin.
8	Vin	Pin napájení obvodu.



Obr. 32 Grafy spínacího proudu a zvlnění výstupního napětí (převzato z [16])

Tab. 14 Parametry navrženého obvodu pomocí programu výrobce (převzato z [16])

Name	Value	Description
VIN_OP	3V	Vin operating point
Vout OP	5V	Operational Output Voltage
IC Tolerance	0.02V	IC Feedback Tolerance
IOUT_OP	1.5A	Iout operating point
Cin IRMS	0.15A	Input capacitor RMS ripple current
Cin Pd	6.41mW	Input capacitor power dissipation
Cout IRMS	1.40A	Output capacitor RMS ripple current
Cout Pd	0.03W	Output capacitor power dissipation
Duty Cycle	49.0%	Duty cycle
Efficiency	84.8%	Steady state efficiency
Frequency	173KHz	Switching frequency
IC Tj	29.2degC	IC junction temperature
ICThetaJA	200degC/W	IC junction-to-ambient thermal resistance
L Ipp	0.54A	Peak-to-peak inductor ripple current
L Pd	0.25W	Inductor power dissipation
IC Pd	0.02W	IC power dissipation
Diode Pd	0.82W	Diode power dissipation
D1 Tj	66.3degC	D1 junction temperature
Pout	7.5W	Total output power
Iin Avg	2.95A	Average input current
SW Ipk	3.06A	Peak switch current
Mode	CCM	Conduction Mode
Vout p-p	8.70mV	Peak-to-peak output ripple voltage
M Vds Act	0.02V	M Vds
L1 Irms	2.79A	Inductor ripple current
M Irms	2.73A	MOSFET RMS ripple current
M Pd	0.11W	MOSFET power dissipation
M ThetaJA	60degC/W	MOSFET junction-to-ambient thermal resistance
M TjOp	32.1degC	MOSFET junction temperature
M Rdson	8.32mOhm	Drain-Source On-resistance
Rfb Pd	6.25mW	Rfb Power Dissipation
M1 PdCond	0.06W	M1 MOSFET conduction losses
M1 PdSw	0.05W	M1 MOSFET switching losses
Total Pd	1.34W	Total Power Dissipation

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Elektronika

Elektronika byla umístěna v krabičce U-KP43B, která má rozměry 142x90x55 mm a její velikost je vhodná pro umístění do kapsy ve středu rámu kola. Na přední straně krabičky jsou umístěny konektory pro řídicí panel, napájení a USB výstup. Otvor pro konektory byl napřed odměřen pomocí posuvného měřidla, následně pomocí rýsovacího zařízení byl na boční díl narýsován přesný obrys vyříznutí. Do požadovaného obrysu se napřed udělalo několik otvorů pomocí děrovače, následně byl výřez rozšířen pomocí frézky. Rohy byly zapilovány do pravého úhlu pomocí pilníků.

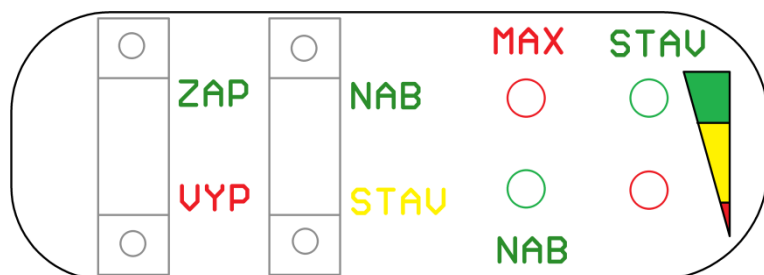
Při návrhu desky pro elektroniku již bylo nutno rozmyslet, jak vhodně upevnit velké součástky jako kondenzátor a akumulátor k desce. Na desce bylo navrženo několik otvorů, kterými se protáhne provaz, a součástka se uchytí k desce plošného spoje. Z důvodu dobrého uchycení desky ke krabičce bylo nutno vysoké součástky osadit z vrchu desky. Z důvodu odzkoušení jednotlivých bloků obvodu byly obvody navrženy na jedné desce plošného spoje, ale každý blok byl samostatný. Z důvodu problémů popsanych v kapitole „Problémy během řešení projektu“ byl externí výstupní měnič navržen na nové desce plošného spoje a součástky byly umístěny pouze na jedné straně desky, aby šla jednoduše přilepit na místo původního měniče.

Při návrhu vstupního 100 V měniče byl největší problém sehnat snímací 20 m Ω odpor. Nejprve byla snaha nahradit daný odpor odporovým drátem. Nejmenší dostupná hodnota odporového drátu byla 4,2 Ω /m. Odpor by musel mít 7 mm, ten by se velmi špatně zapojoval a délkou drátu by byla vnesena velká chyba. Odporový drát byl tedy nahrazen tenkým měděným drátem, kterému byl pomocí RCL metru změřen odpor. Postupně byl drátek zkracován, tak aby měl hodnotu 20 m Ω . Takovéto malé odpory se ovšem velmi špatně měří. Přestože byla použita čtyřvodičová metoda, stále dochází k ovlivňování změřené veličiny přechodovým odporem a odporem samotných měřicích kabelů. To způsobilo, že drát byl zřejmě špatně změřen, a docházelo při vysokých proudech nad 1,2 A k poklesu výstupního napětí. Proto byl nakonec ze společnosti Farnell objednan SMD snímací odpor s přesnou hodnotou odporu. Stejně byl řešen i problém se snímacím odporem u výstupního měniče.

Při odpájení součástek z výstupního měniče došlo u SMD kondenzátorů k destrukci boční vodivé plošky, z toho důvodu nemohly být již znovu použity. Kondenzátory v externím měniči byly nahrazeny rezervními, ovšem v pouzdře 0806. Také ploška pro Schottkyho diodu je větší, jelikož je univerzální jak pro diodu v pouzdře velikosti SMC tak i pro novou diodu v pouzdře SOD-128.

Na závěr byla také ověřována možnost přídavného napájení pomocí různých fotovoltaických článků viz obrázek 58, 59. Toto řešení bylo zavřeno, výstupní parametry panelů byly nedostatečné. Panel na obrázku 58 dával naprázdno výstupní napětí 7,9 V, ovšem po zatížení 120 Ω odporem kleslo napětí na 1,9V. V případě panelu z obrázku 59 bylo napětí naprázdno 4 V, při zatížení 120 Ω odporem kleslo na 3 V. Tohoto bylo dosaženo při velké sluneční intenzitě a ideálním úhlu natočení. Výstupní výkon v případě článku z obrázku 58 byl 33 mW a z článku na obrázku 59 je 75 mW. Tyto napětí a výkony jsou nedostačující pro napájení interního akumulátoru.

4.2 Řídicí panel



Obr. 33 Rozložení prvků na ovládacím panelu

ZAP - VYP = Zapnutí a vypnutí nabíječky.

NAB - STAV = Přepínač mezi nabíjením a měřením kapacity interního akumulátoru.

MAX = Vstupní usměrněné napětí přesáhlo 68 V, což je rovno 60 km/h při nulové zátěži.

NAB = Indikátor nabíjení interního akumulátoru.

STAV (stupnice) = Svítí-li zelený indikátor společně s červeným, je napětí akumulátoru větší než 3,2 V. Svítí-li pouze červený indikátor, je napětí vyšší než 3,1 V. Nesvítí-li žádný indikátor, je napětí nižší než 3,1 V.

Jako krabička pro řídicí panel byl použit starý obal od 4,5 V baterie, kde byly vnitřní příčky z části vyřezány, aby se dovnitř vlezla kabeláž, ale ne zcela, aby obal držel tvar. Do oddělovacího vrchního krytu byly vloženy přepínače a informační LED diody. Řídicí panel je k říditkům připevněn pomocí suchého zipu z důvodu jednoduché montáže a demontáže. Konstrukční provedení panelu je vidět na obrázcích 48, 49.

Tab. 15 Tabulka popisu vodičů v konektoru řídicího panelu

Barva drátu	Prvek
modrá	Komparátor
červená	Zapnutí vstupu
oranžová	Zapnutí vstupu
růžová	LED zelená - 2mA
bílá	LED červená 2mA
hnědá	LED zelená 10mA
žlutá	LED červená 10mA
šedá	Společná zem pro LED
černá	Akumulátor
fialová	Nabíjení akumulátoru
světle zelená	LED zelená 2mA

5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ

5.1 Usměrňovač

V tabulce číslo 16 jsou uvedeny naměřené parametry usměrňovače společně se vstupním filtračním kondenzátorem. Měření bylo prováděno při stejnosměrném napětí, jelikož nebyl k dispozici žádný regulovatelný střídavý zdroj.

V tabulce číslo 17 a 18 jsou uvedeny naměřené parametry usměrňovače společně se vstupním filtračním kondenzátorem. Měření bylo prováděno při střídavém napětí dodávaném malým transformátorem 12 V/ 2 A napájeného z elektrické sítě přes oddělovací transformátor. K měření byl použit jak osciloskop, tak přesný multimetr.

Tab. 16 Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při stejnosměrném napětí

Vstupní napětí [V]	Napětí za usměrňovačem [V]	Proud zátěží [A]	Úbytek napětí [V]
5,250	4,683	0	0,567
21,663	20,998	0	0,665
12,005	11,353	0	0,652
11,900	10,991	0,5	0,909
11,790	10,750	1	1,040

Tab. 17 Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při střídavém napětí, měřeno osciloskopem

Vstupní napětí [V _{rms}]	Vstupní napětí [V _{amp}]	Výstupní napětí [V]	Úbytek [V]	Zvlnění výstupního napětí [V _{pp}]	Proud zátěží [A]
11,22	15,87	14,20	1.1	1	0
10,7	15,13	12,52	2.1	1,35	0,5
10,49	14,84	11,76	3.1	1,9	1

Tab. 18 Tabulka úbytku napětí na usměrňovači při střídavém napětí, měřeno přesným měřicím přístrojem

Vstupní napětí [V _{rms}]	Vstupní napětí [V _{amp}]	Výstupní napětí [V]	Úbytek [V]	Proud zátěží [A]	Průměrný ztrátový výkon [W]
11,17	15,80	13,77	2,03	0	/
10,74	15,19	12,22	2,97	0,5	1,40
10,52	14,88	11,46	3,42	1	3,25

5.2 Vstupní měnič

V tabulce číslo 19 je změřen příkon vstupního měniče bez zatížení. V tabulce 20 jsou parametry celého vstupního bloku, jako snímací odpor R_{sense} byl použit drát. V tabulce 21 jsou finální parametry výstupního měniče včetně účinnosti.

Tab. 19 Tabulka příkonu vstupního měniče bez zatížení

Vstupní napětí [V]	Vstupní proud [A]	Příkon[W]
18,40	0,01	0,20

Tab. 20 Tabulka celého vstupního bloku, R_{sense} pomocí drátu

Vstupní napětí [V]	Napětí za usměrňovačem [V]	Napětí za vstupním měničem [V]	Proud zátěží [A]	Odpor zátěže [Ω]	Úbytek napětí na usměrňovači [V]
5,65	4,43	0,14	0,00	∞	1,22
5,93	4,75	2,30	0,00	∞	1,18
7,13	5,88	2,54	0,00	∞	1,25
7,47	6,21	4,62	0,00	∞	1,26
7,82	6,55	5,29	0,00	∞	1,27
19,80	18,50	5,29	0,00	∞	1,30
62,20	60,90	5,28	0,00	∞	1,30
6,98	5,65	0,58	0,03	30	1,33
7,43	5,85	5,11	0,18	30	1,58
10,55	9,03	5,27	0,19	30	1,52
62,50	61,10	5,26	0,19	30	1,40
7,28	5,40	4,16	0,66	6,5	1,88
7,43	5,55	4,38	0,68	6,5	1,88
7,91	5,95	4,84	0,76	6,5	1,96
8,16	6,20	5,04	0,82	6,5	1,96
8,51	6,55	5,18	0,84	6,5	1,96
9,61	7,72	5,18	0,83	6,5	1,89
12,87	11,05	4,78	0,77	6,5	1,82
62,50	61,00	5,18	0,82	6,5	1,50
9,07	7,00	5,14	1,16	5,5	2,07
11,42	9,67	4,25	0,91	5,5	1,75
19,60	17,92	4,59	1,03	5,5	1,68
35,00	33,40	5,00	1,15	5,5	1,60
8,04	6,00	4,71	1,06	4,5	2,04
9,74	7,68	5,12	1,32	4,5	2,06

Tab. 21 Tabulka parametrů vstupního měniče s R_{sense} pomocí SMD odporu

Vstupní napětí [V]	Proud zdroje [A]	Příkon [W]	Výstupní napětí [V]	Proud zátěží [A]	Výkon na zátěži [W]	Ztrátový výkon [W]	Účinnost [%]
4,30	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	/
5,30	0,02	0,11	0,20	0,01	0,00	0,10	1,89
5,40	0,03	0,16	0,27	0,00	0,00	0,16	0,00
6,00	0,29	1,74	5,22	0,27	1,41	0,33	80,92
6,40	1,23	7,87	4,55	1,28	5,82	2,05	73,93
7,10	0,27	1,92	5,32	0,28	1,49	0,43	77,76
8,60	0,82	7,05	5,30	1,01	5,35	1,70	75,92
9,00	0,76	6,84	5,56	1,01	5,62	1,22	82,13
9,40	1,09	10,25	5,35	1,53	8,18	2,06	79,86
11,30	0,81	9,15	4,58	1,41	6,46	2,70	70,55
12,80	0,59	7,55	5,28	1,01	5,33	2,22	70,61
15,10	0,13	1,96	5,33	0,28	1,49	0,47	75,96
18,40	0,59	10,86	5,29	1,53	8,10	2,76	74,61
19,00	0,25	4,75	5,56	0,65	3,62	1,13	76,11
22,00	0,35	7,70	5,35	1,01	5,40	2,30	70,18
29,00	0,10	2,90	5,35	0,34	1,82	1,08	62,68
29,10	0,34	9,89	5,21	1,35	7,03	2,87	71,03
29,30	0,23	6,74	5,24	0,90	4,71	2,02	69,95
31,90	0,09	2,87	5,35	0,28	1,50	1,37	52,21
31,90	0,24	7,66	5,30	1,01	5,35	2,30	69,91
31,90	0,35	11,17	5,27	1,53	8,06	3,10	72,22

5.3 Nabíječka interního akumulátoru

V tabulce 22 jsou uvedeny parametry zapnutí nabíječky interního akumulátoru.

Tab. 22 Tabulka zapnutí nabíječky interního akumulátoru

	Vstupní napětí [V]	Napětí za usměrňovačem [V]	Napětí na nabíječce [V]
Vypnutí nabíjení	7,28	6,02	4,09

5.4 Komparátor

V tabulce 23 jsou parametry úrovní nabití akumulátoru. V tabulce 24 jsou velikosti úrovní napětí, při kterých se zapnou indikační diody na řídicím panelu. V tabulce 25 jsou proudy indikačních diod.

Tab. 23 Tabulka zbývající kapacity baterie

Napětí akumulátoru [V]	Dodaná energie [Ah]	Zbytková energie [%]
2,7	2,2	0
3,1	2,1	5
3,2	1,8	20

Tab. 24 Tabulka zapnutí LED diod a napětí na referenčním zdroji

LED Dioda	Spínací napětí [V]
Červená	3,115
Zelená	3,195
Reference	2,4926

Tab. 25 Tabulka proudu LED diodami

Dioda	Proud diodou [mA]	
Zelená	12,5	0
Červená	13	11
Napájecí napětí	3,4V	3,1V

5.5 Externí výstupní měnič

V tabulce 26 jsou zobrazeny parametry zapnutí a vypnutí výstupního měniče. V tabulce 27 jsou parametry externího výstupního měniče včetně střídy spínání tranzistoru a frekvence spínání tranzistoru, to je zobrazeno i na obrázku 35. V měření byla ovšem chyba, jelikož zařízení bylo napájeno slabými kabely s velkým odporem. V tabulce 28 jsou parametry finálního výstupního měniče včetně velikosti napěťových špiček na výstupu, které jsou vidět i na obrázku 55, 56. Na obrázku č. 34 jsou vidět velikosti účinnosti v závislosti na vstupním napětí a na výstupním proudu.

Tab. 26 Tabulka napětí pro zapnutí a vypnutí obvodu LM3478

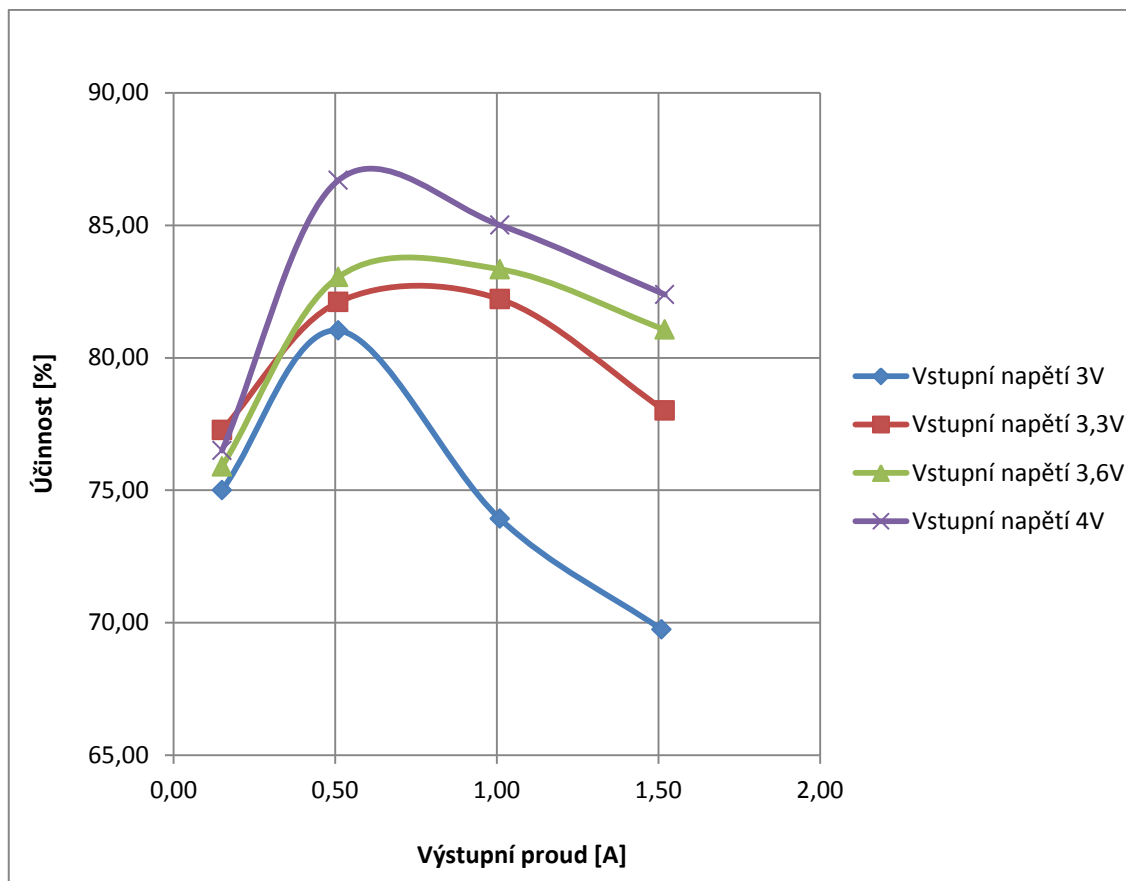
Vypnutí			Zapnutí		
Vstupní napětí [V]	Výstupní proud [A]	Výstupní napětí [V]	Vstupní napětí [V]	Výstupní proud [V]	Výstupní napětí [V]
2,81	0,15	2,55	2,91	0,15	5,08

Tab. 27 Tabulka parametrů externího výstupního měniče, špatné napájecí kabely

Vstupní napětí [V]	Proud ze zdroje [A]	Příkon [W]	Výstupní napětí [V]	Proud zátěží [A]	Výstupní výkon [W]	Účinnost [%]	Frekvence spínání tranzistoru [KHz]	Střída [%]	Napětí na Isense [mV]
3,0	0,26	0,78	5,121	0,10	0,51	0,66	164,0	/	/
3,0	0,47	1,41	5,118	0,20	1,02	0,73	164,0	/	/
3,0	0,50	1,50	3,300	0,23	0,76	0,51	7,0	16,6	80
3,3	0,44	1,45	5,125	0,21	1,08	0,74	164,0	45,0	30
3,3	0,77	2,54	5,117	0,36	1,84	0,72	164,0	50,0	50
3,3	0,90	2,97	5,120	0,42	2,15	0,72	164,0	55,0	50
3,3	1,11	3,66	4,490	0,45	2,02	0,55	12,3	31,0	100
3,6	0,37	1,33	5,124	0,20	1,02	0,77	165,0	37,0	30
3,6	0,89	3,20	5,117	0,45	2,30	0,72	164,0	42,5	50
3,6	1,42	5,11	5,116	0,69	3,53	0,69	164,0	50,0	80
3,6	1,81	6,52	4,827	0,72	3,48	0,53	12,4	/	130
4,0	0,41	1,64	5,124	0,25	1,28	0,78	165,0	31,0	30
4,0	0,80	3,20	5,124	0,47	2,41	0,75	165,0	35,0	50
4,0	1,64	6,56	5,117	0,87	4,45	0,68	164,0	45,0	75
4,0	2,60	10,40	4,607	1,00	4,61	0,44	12,6	63,0	140

Tab. 28 Tabulka parametrů externího výstupního měniče

Vstupní napětí [V]	Proud ze zdroje [A]	Příkon [W]	Výstupní napětí [V]	Výstupní proud [A]	Výstupní výkon [W]	Účinnost [%]	Minimální výstupní napětí [V]	Maximální výstupní napětí [V]
3,0	0,34	1,02	5,10	0,15	0,77	75,00	4,94	5,12
3,3	0,30	0,99	5,10	0,15	0,77	77,27		
3,6	0,28	1,01	5,10	0,15	0,77	75,89		
4,0	0,25	1,00	5,10	0,15	0,77	76,50		
3,0	1,07	3,21	5,10	0,51	2,60	81,03	4,89	5,22
3,3	0,96	3,17	5,10	0,51	2,60	82,10		
3,6	0,87	3,13	5,10	0,51	2,60	83,05		
4,0	0,75	3,00	5,10	0,51	2,60	86,70		
3,0	2,30	6,90	5,05	1,01	5,10	73,92	4,80	5,37
3,3	1,88	6,20	5,05	1,01	5,10	82,21		
3,6	1,70	6,12	5,05	1,01	5,10	83,34		
4,0	1,50	6,00	5,05	1,01	5,10	85,01		
3,0	3,63	10,89	5,03	1,51	7,60	69,75	4,71	5,49
3,3	2,97	9,80	5,03	1,52	7,65	78,01		
3,6	2,62	9,43	5,03	1,52	7,65	81,06		
4,0	2,32	9,28	5,03	1,52	7,65	82,39		



Obr. 34 Graf účinnosti v závislosti na výstupním proudu pro různá vstupní napětí u výstupního měniče

5.6 Rozbor a řešení kritických problémů

Mezi technické problémy při stavbě nabíječky patří velmi špatná dostupnost nábojového dynama. Vybraný typ dynama, který má ideální poměr výkon/cena, měly skladem pouze 2 internetové obchody. V klasickém cyklo-servisu nedokázali zboží sehnat ani na objednání. Další nevýhodou je, že při vypletení kola se musí použít kratší špiče z důvodu většího průměru středu s dynamem vůči obyčejnému středu. Jiná velikost výpletu způsobila, že se již nedal magnet tachometru připevnit na stejné místo jako u normálního výpletu, proto byl posunut blíže k okraji kola. To mělo za důsledek, že magnet již byl hodně vzdálen od indukčního senzoru a tachometr nefungoval. Posunutí magnetu blíže ke středu kola zase způsobilo velmi malou mezeru mezi snímačem a výpletem. Daný problém byl řešen po malých krocích přesným nastavováním snímací hlavy dostatečně blízko k magnetu, ale nikoliv příliš, aby nedošlo ke kontaktu výpletu s čidlem. Během samotného měření nastal problém v pomalé změně měřené veličiny na tachometru, hlavně v nižších otáčkách. Velikost měřeného kmitočtu, napětí a proudu nebyla konstantní a s rychlostí otáčení se měnila. Proto bylo nutné velmi rychle odečítat měřené veličiny. Při výběru vhodných integrovaných obvodů byl problém s velkou miniaturizací pouzder. Většina moderních obvodů je již v bezvývodovém pouzdře QFN které má při rozměrech 4*4 mm 24 kontaktů. Takovéto malé rozteče kontaktních plošek by nebylo možné ve škole zapájet, navíc bezvývodové

spoje se velmi těžko opravují.

Při oživování vstupního měniče vyvstal problém, že při připojení i malé zátěže a vstupním napětím větším jak 15 V docházelo k poklesu výstupního napětí. To bylo zapříčiněno velkou hodnotou odporu R_{sense} a docházelo k omezení výstupního proudu. Problém byl vyřešen zmenšením odporu R_{sense} . Při proudu větším jak 1,3 A docházelo k opětovnému poklesu výstupního napětí, proto byl drát nahrazen přesným SMD odporem. Měnič již dokáže bez problému pracovat i při výstupním proudu 1,5 A. Zhoršené změřené parametry mohou být zapříčiněny i tím, že vstupní napájecí kabely měly velký odpor vodičů a značný přechodový odpor, z toho důvodu mohlo docházet u větších proudů k poklesu napájecího napětí. Vstupní napětí bylo totiž měřeno na zdroji a ne přímo na vstupu obvodu, mohlo tak při výpočtech dojít k poklesu účinnosti.

Výstupní měnič bez zátěže fungoval dobře, ovšem při připojení i 10 % jmenovité zátěže se spínací frekvence tranzistoru snížila ze 170 kHz na 10-20 kHz, to mělo za následek pokles výstupního napětí. Špatná funkčnost byla zřejmě způsobena špatně navrženou deskou plošného spoje, kde nebyly kritické cesty dostatečně krátké a silné a výkonová zem byla příliš dlouhá. Měřením osciloskopem bylo zjištěno, že na zemi je velmi silné rušení, to zapříčinilo, že na vstupu I_{sense} se ze země dostalo napětí větší než 325 mV a docházelo k poklesu spínací frekvence.

S ohledem na výše zmíněné problémy byl navržen externí výstupní měnič, kde byly vzdálenosti kritických cest minimalizovány a výkonové cesty byly dostatečně dimenzovány. Byla také zakoupena dioda s menším úbytkem napětí. Výstupní měnič ovšem stále nefungoval dobře, protože po překročení určitého výstupního proudu docházelo k razantnímu poklesu napětí, což je patrné z tabulky 27. Velikost výstupního napětí byla velmi závislá na napájecím napětí. Byl vyměněn řídicí obvod, změněny hodnoty součástek v obvodu kompenzace, byly přidány i různé odrušovací kondenzátory, případně zkratován snímací odpor. Žádná ze změn nepřinesla výsledek. Zapojení precizně fungovalo do určité hodnoty výstupního proudu a následně došlo k výraznému poklesu výstupního napětí. Následně bylo zjištěno, že pokud jsou na zdroji 4 V, tak při vysoké zátěži jsou na vstupu obvodu méně jak 3 V. Tento stav způsobovaly nedostatečně dimenzované přívodní vodiče ze zdroje, na kterých v důsledku velkého proudu vznikal velký úbytek napětí. Protože napětí na měniči pokleslo pod 3 V, které je minimální pro správnou funkčnost měniče, docházelo k jeho vypnutí. Jestliže byl měnič připojen přímo ke zdroji silnými vodiči, fungoval v pořádku i při proudu 1,5 A.

6 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo prozkoumat možnosti nabíjení elektrických zařízení na jízdním kole a navrhnout nabíječ akumulátorů s optimální účinností. Úkoly zadání se povedlo úspěšně splnit. Bylo zakoupeno nábojové dynamo, které bylo důkladně proměřeno. Ze změřených charakteristik bylo poté navrženo optimální zapojení nabíječky. Následně byla vyrobena deska plošného spoje, osazena, oživena a byly změřeny parametry nabíječe. Nabíječ je plně funkční a lze jej napájet jak střídavým tak také stejnosměrným napětím nezávisle na polaritě. Teoretická účinnost nabíječky při maximálním zatížení je 73 %, se zvyšujícím se vstupním napětím účinnost klesá. Změřená účinnost při vstupním napětí 10 V a výstupním proudu 1 A je 60 %. Při vstupním napětí 30 V a výstupním proudu 0,5 A je účinnost 48 %.

LITERATURA

- [1] Cell Chemistries. The Electropaedia [online]. Woodbank Communications [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm#Energy_density
- [2] Lithium-železo-fosfátový akumulátor. Wikipedie [online]. San Francisco (Kalifornie): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [3] Generátor. Wikipedie [online]. San Francisco (Kalifornie): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_gener%C3%A1tor
- [4] Dynamo. Vysoká škola báňská- technická univerzita Ostrava. Studijní materiály. [online]. Kolektiv autorů. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/data/ae/Dynamo%20a%20alternator.pdf>
- [5] Dynamo. Wikipedie [online]. San Francisco (Kalifornie): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dynamo>
- [6] Alternátor. Wikipedie [online]. San Francisco (Kalifornie): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Altern%C3%A1tor>
- [7] Fahrradlicht Licht fuer Schwarzfahrer. Test.de [online] [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://www.test.de/themen/freizeit-reise/test/Fahradlicht-Licht-fuer-Schwarzfahrer-1348408-1348962/default.ashx>
- [8] DC COMPONENTS, katalogové listy RS603 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/rs603/mustky-jednofazove-diodove-ploche/dc-components/#>
- [9] Farnell, stránka produktu LM5116 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/national-semiconductor/lm5116mh/ic-buck-control-sync-powerwise/dp/1342345>
- [10] National Semiconductor, Power Management produktu LM5116 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: http://www.national.com/webench5/power/webench5.cgi?lang_chosen=en_US&VinMin=6&VinMax=100&O1V=5.5&O1I=1.5&op_TA=25
- [11] LM5116, technické listy obvodu LM5116 [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5116.pdf>
- [12] Farnell, stránka produktu MCP73123 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/microchip/mcp73123-22si-mf/batt-charger-li-iron-phosph-10dfn/dp/1800229?Ntt=73123>
- [13] Microchip, katalogové listy MCP73123 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22191D.pdf>
- [14] A123, stránka produktu 26650 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://www.a123systems.com/products-cells-26650-cylindrical-cell.htm>
- [15] A123, katalogové listy 26650 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: http://www.tme.eu/dok/27_baterie_akumulatory_ladowarki/A123.pdf
- [16] National Semiconductor, Power Management produktu LM3478 [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupné z:

http://www.national.com/webench5/power/webench5.cgi?lang_chosen=en_US&VinMin=3&VinMax=4&O1V=5&O1I=1.5&op_TA=25

- [17] LM3478, technické listy obvodu LM5116 [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3478.pdf
- [18] Shimano, katalogové listy DH-3N20 [online]. [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: http://cycle.shimano-eu.com/media/techdocs/content/cycle/EV/bikecomponents/DH/EV-DH-3N20-2602A_v1_m56577569830677489.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

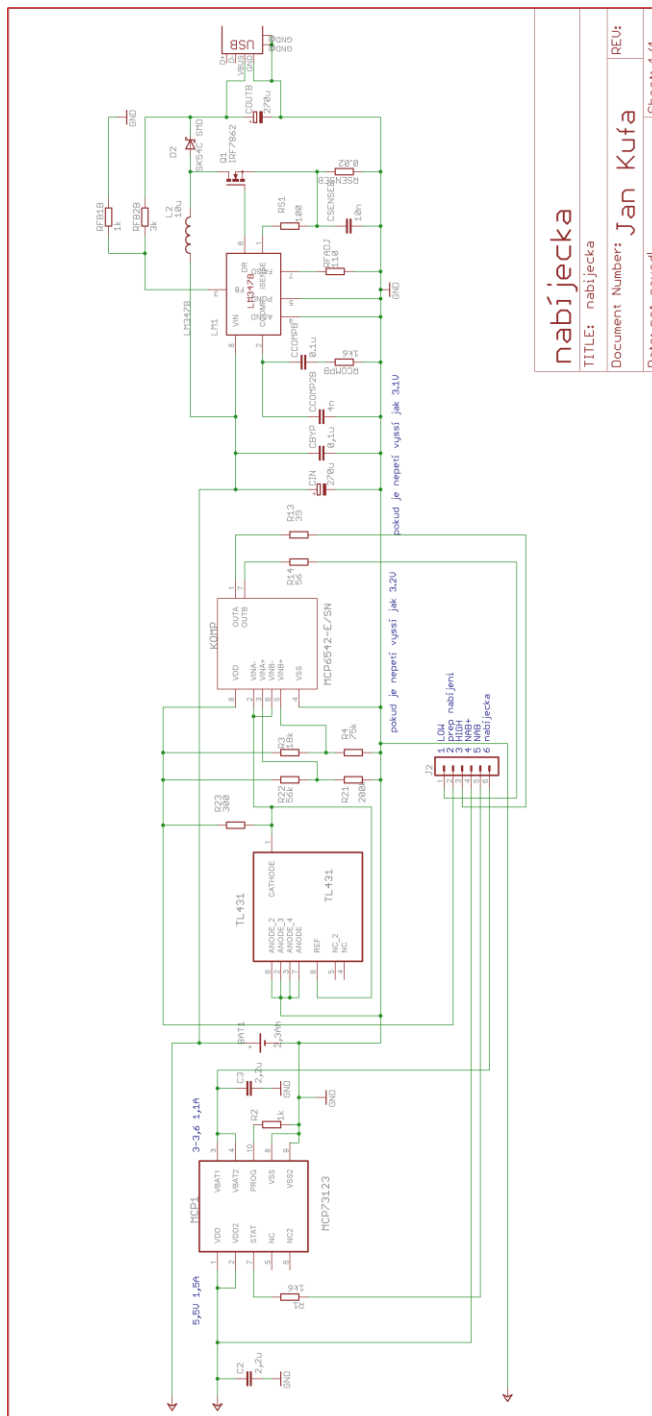
SOC	State Of Charge = stav nabití
DOD	Dept of Discharge = hloubka vybití
NICD	Nikl-kadmiový akumulátor
NIMH	Nikl-metal hydridový akumulátor,
Li-Pol	Lithium-polymerový akumulátor
Li-Ion	Lithium-iontový akumulátor
LiFePO ₄	Chemický popis Lithium-železo-fosfátový akumulátor
LiCoO ₂	Chemický popis Lithium-iontového akumulátoru
PVDF	Polyvinylidenfluorid
LiClO ₄	Lithium perchlorate
V-Brake	Špalíkové brzdy
ESR	Ekvivalentní sériový odpor
DPS	Deska plošného spoje
OSC	Osciloskop

SEZNAM PŘÍLOH

A	Výkresová dokumentace	49
A.1	Obvodové zapojení vstupu.....	49
A.2	Obvodové zapojení nabíječky a výstupu	50
A.3	Deska plošného spoje vrstva TOP	51
A.4	Deska plošného spoje vrstva BOTTOM.....	52
A.5	Vnitřní uspořádání alternátoru	53
B	Seznam součástí	54
C	Fotodokumentace	55
D	Cenová bilance nabíječky	64

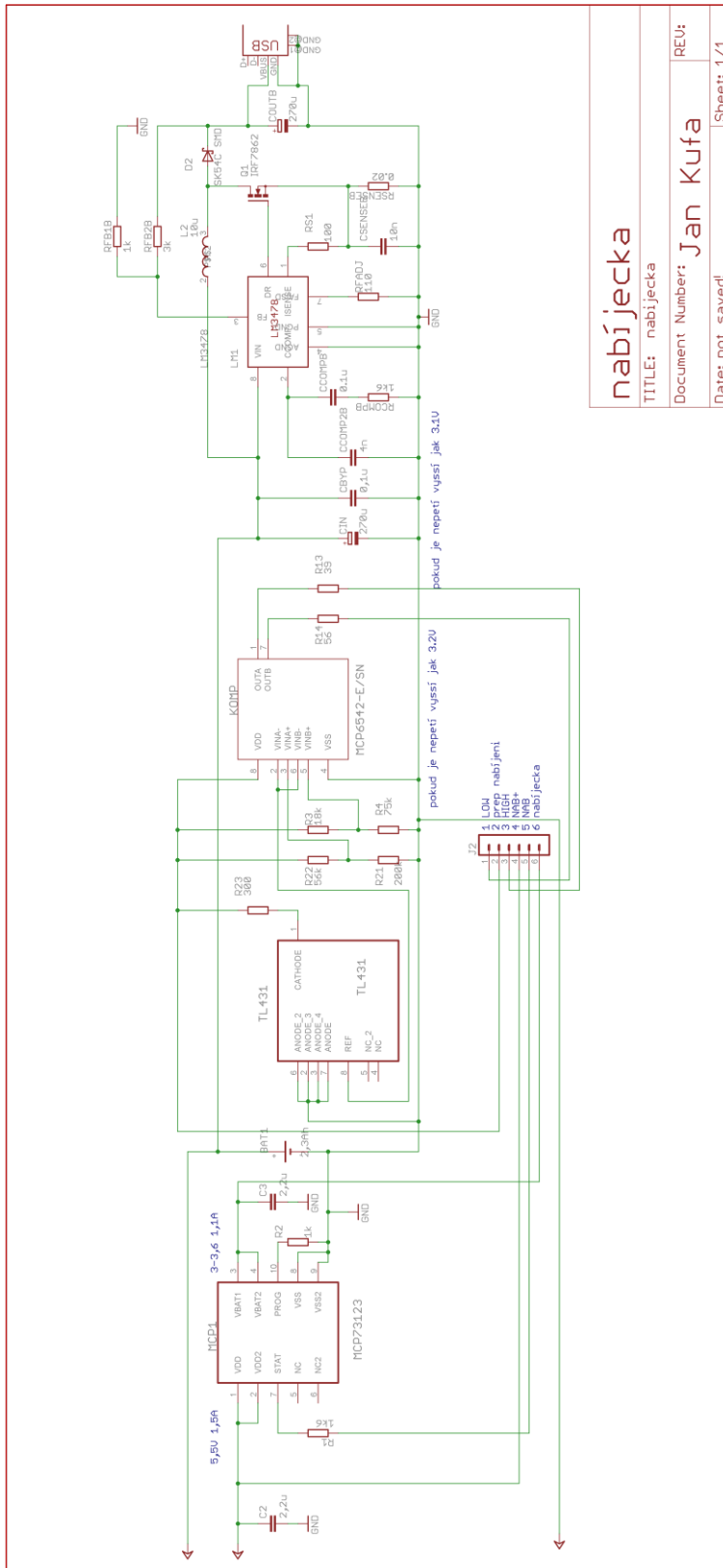
A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

A.1 Obvodové zapojení vstupu



Obr. 35 Schéma zapojení vstupu

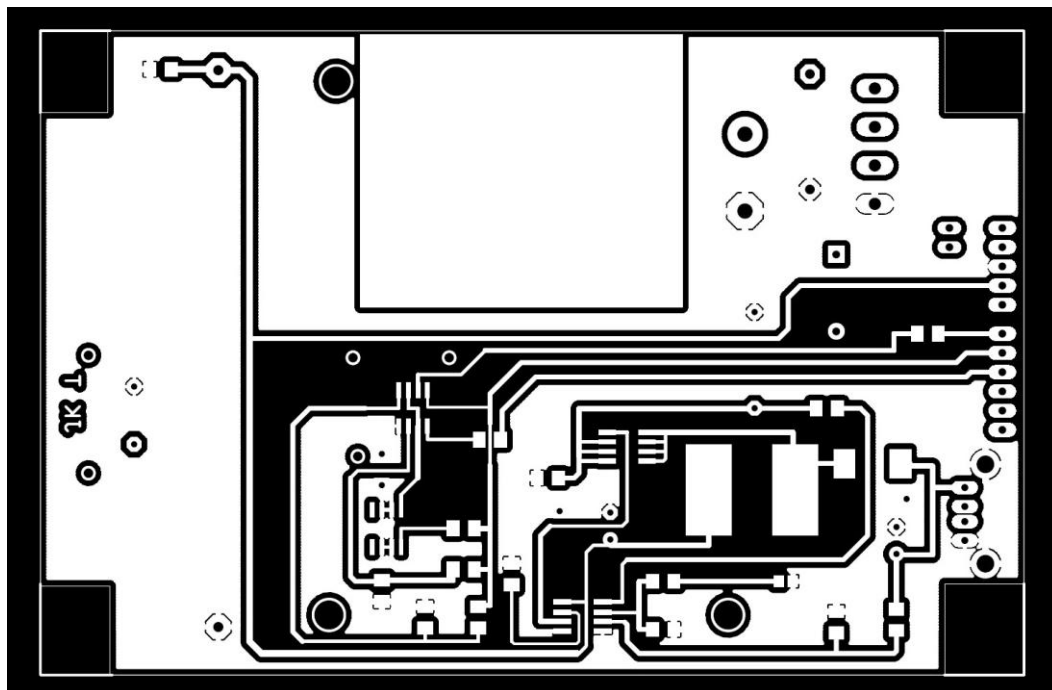
A.2 Obvodové zapojení nabíječky a výstupu



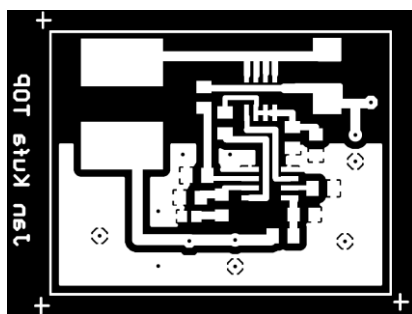
nabíječka	
TITLE: nabíječka	
Document Number: Jan Kufa	REV:
Date: not saved!	Sheet: 1/1

Obr. 36 Schéma zapojení nabíječky a výstupu

A.3 Deska plošného spoje vrstva TOP

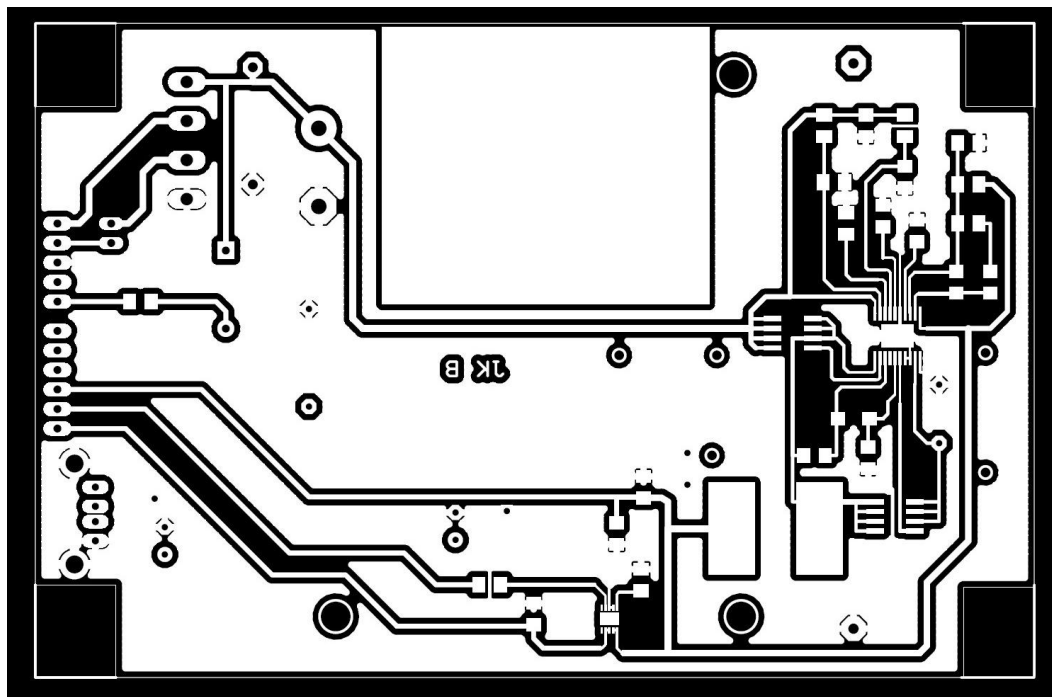


Obr. 37 Deska plošného spoje vrstva TOP (ozrcadleno) Rozměr desky 127 x 86 [mm], měřítko M1:1



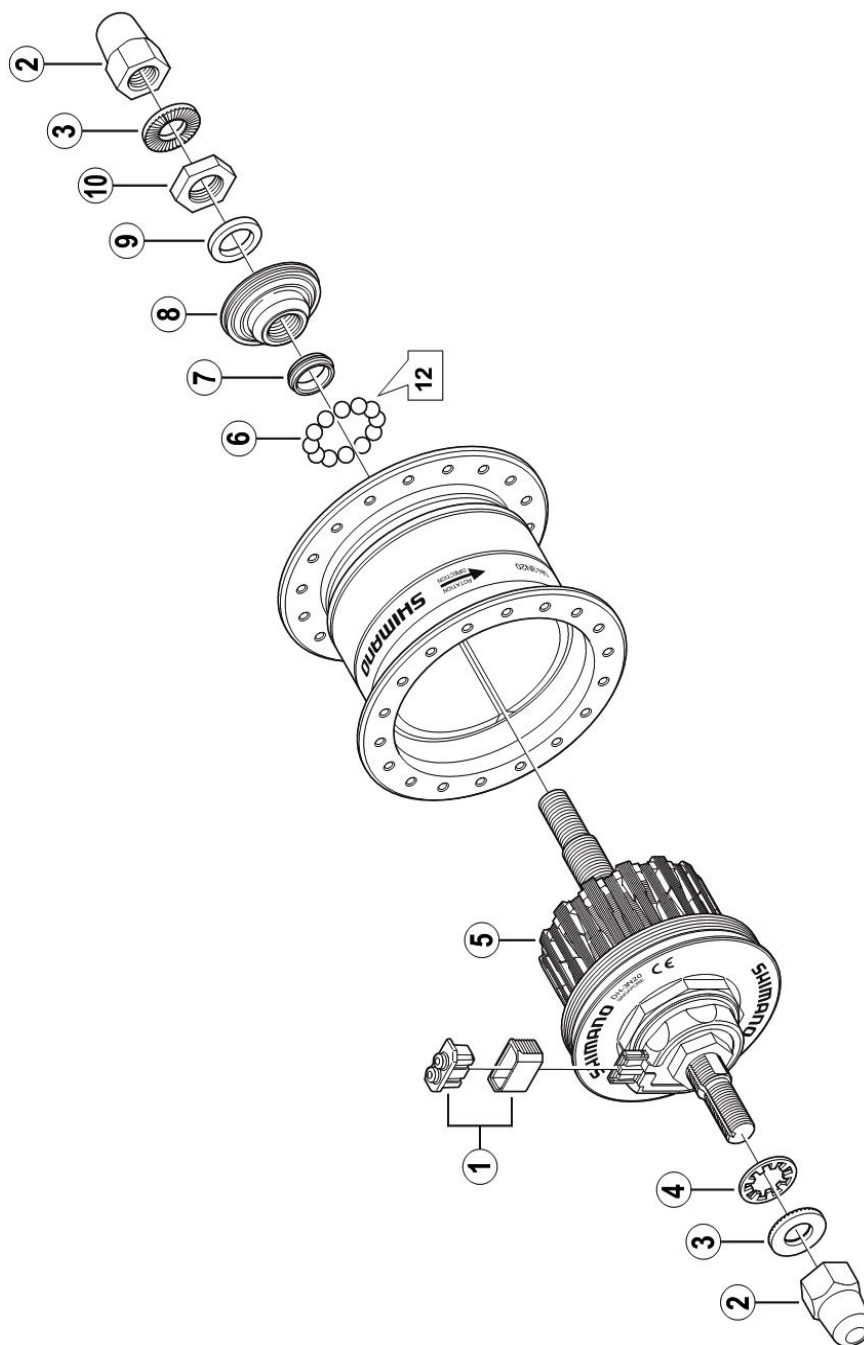
Obr. 38 Deska plošného spoje vrstva TOP externí měnič (ozrcadleno) Rozměr desky 43 x 34 [mm], měřítko M1:1

A.4 Deska plošného spoje vrstva BOTTOM



Obr. 39 Deska plošného spoje vrstva BOTTOM Rozměr desky 127 x 86 [mm], měřítko M1:1

A.5 Vnitřní uspořádání alternátoru



Obr. 40 Vnitřní uspořádání alternátoru (převzato z [18]).

Popis:

1 Kryt konektoru a konektor
2 Matice
3 Podložka
4 Ozubená podložka
5 Cívky alternátoru

6 Ložisko
7 Promazávací kroužek
8 Těsnění proti prachu
9 Distanční podložka
10 Pojistná matice

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Partlist

Název	Hodnota	TYP	Pouzdro	Knihovna	Mnozství
B1	RS603	RECTIFIER-KBU	KBU	rectifier	1
BAT1	2,3Ah	LIFEPO4_2665	LIFEPO4_26*65	battery	1
C1	4m7	CPOL-EUE10-35	EB35D	rc1	1
C2	2,2u	C-EUC1206	C1206	rc1	1
C3	2,2u	C-EUC1206	C1206	rc1	1
CBOOT	1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CBYP	0,1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CCOMP	22n	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CCOMP2	10p	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CCOMP2B	4n	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CCOMP3	0,1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CENBLE	0,1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CIN	270u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	rc1	1
CINX	0,1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
COUT	10u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
COUTB	270u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	rc1	1
CRAMP	820p	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CSENSEB	10n	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CSS	10n	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
CVCC	1u	C-EUC1206	C1206	rc1-2	1
D1	10MQ100N	SCHOTTKY_SMA	SMA	casovac	1
D2	SK54C SMD	SCHOTTKY-DIODESMC	SMC	diode	1
D3	1,5KE82	1,5KE440CA	DO201AE_BIP	transily	1
DZ1	BZY068	D-ZENEROVA_2W_BZY	DO41	#PaJa_30	1
IC1	LM5116	LM5116	TSSOP20-PAD	newchips	1
J1		70543-05	70543-05	con-molex-c-grid	1
J2		70543-06	70543-06	con-molex-c-grid	1
KOMP	MCP6542-E/SN	MCP6542-E/SN	SOIC127P600X175-8N	mcp6542	1
L1	47u	SC105	SC105	SC105	1
L2	10u	SC105	SC105	SC105	1
LM1	LM3478	LM3478	LM3478	3478	1
MCP1	MCP73123	MCP73123	DFN-10__3*3	MCP73123	1
Q1	IRF7862	N-MOSFET-SO8S	SO-08	transistor-power	1
Q2	IRF7492PBF	N-MOSFET-SO8S	SO-08	transistor-power	1
Q3	IRF7492PBF	N-MOSFET-SO8S	SO-08	transistor-power	1
R1	1k6	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R2	1k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R3	18k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R4	75k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R12	66k5	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R13	39	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R14	56	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R21	200k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R22	56k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
R23	300	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
RCOMP	2k7	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RCOMPB	1k6	R-EU_R0805	R0805	rc1	1
RENEBLE1	1M	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RFADJ	110	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
RFB1	1k5	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RFB1B	1k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
RFB2	5.11k	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RFB2B	3k	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
RS1	100	R-EU_M1206	M1206	rc1	1
RSENSE	0.03	R-EU_0207/7	0207/7	rc1	1
RSENSEB	0.02	R-EU_0207/12	0207/12	rc1	1
RT	18k	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RUV1	33k	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
RUV2	110k	R-EU_M1206	M1206	rc1-2	1
TL431	TL431	TL431ACD	SOIC127P600X175-8N	t1431	1
USB1	USB-A-H	USB-A-H	USB-A-H	con-usb-2	1
~ALTERNATOR	~ALTERNATOR	PINHD-1X2	1X02	pinhead	1

C FOTODOKUMENTACE



Obr. 41 Velikost středu v porovnání s rukou



Obr. 42 Porovnání normálního středu a moderního dynama



Obr. 43 Kolo s měřícím přístrojem připraveno na rychlostní zkoušku



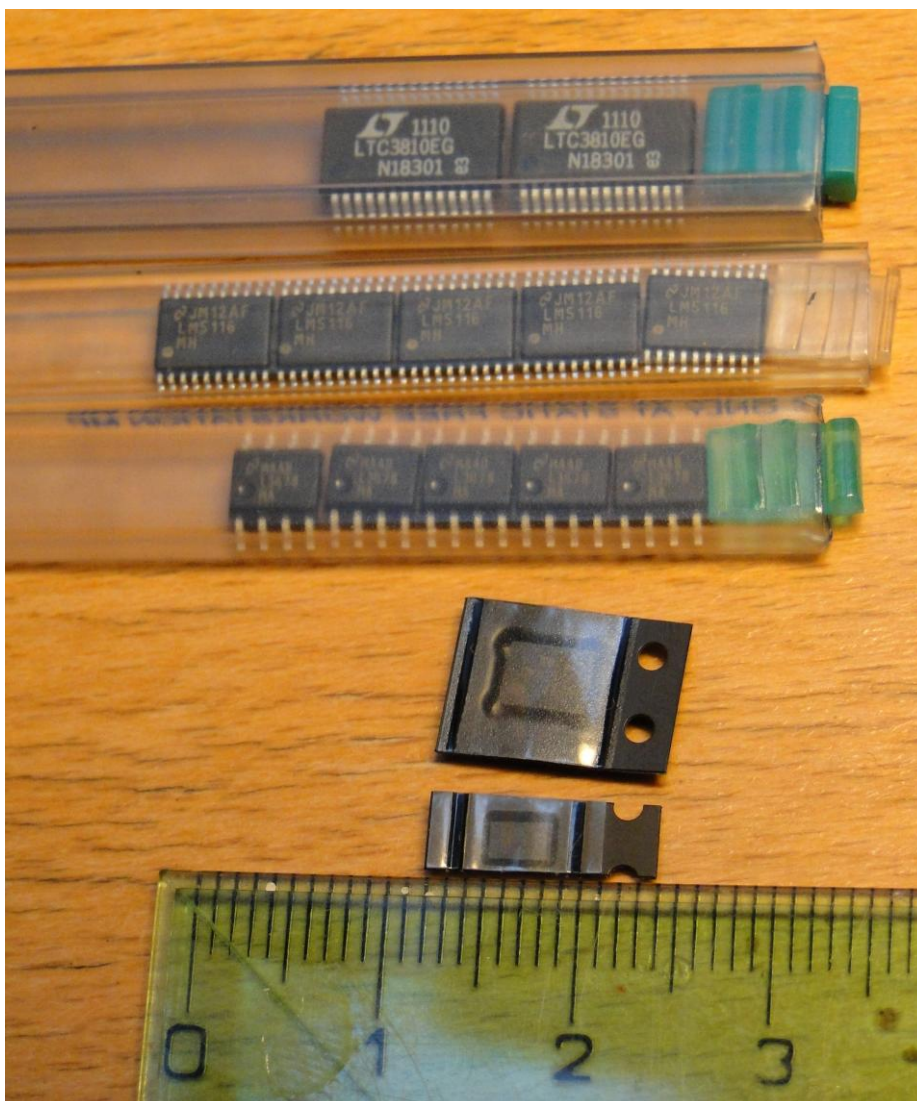
Obr. 44 Vrtačka s násadou pro pohon předního kola



Obr. 45 Násada na vrtačku



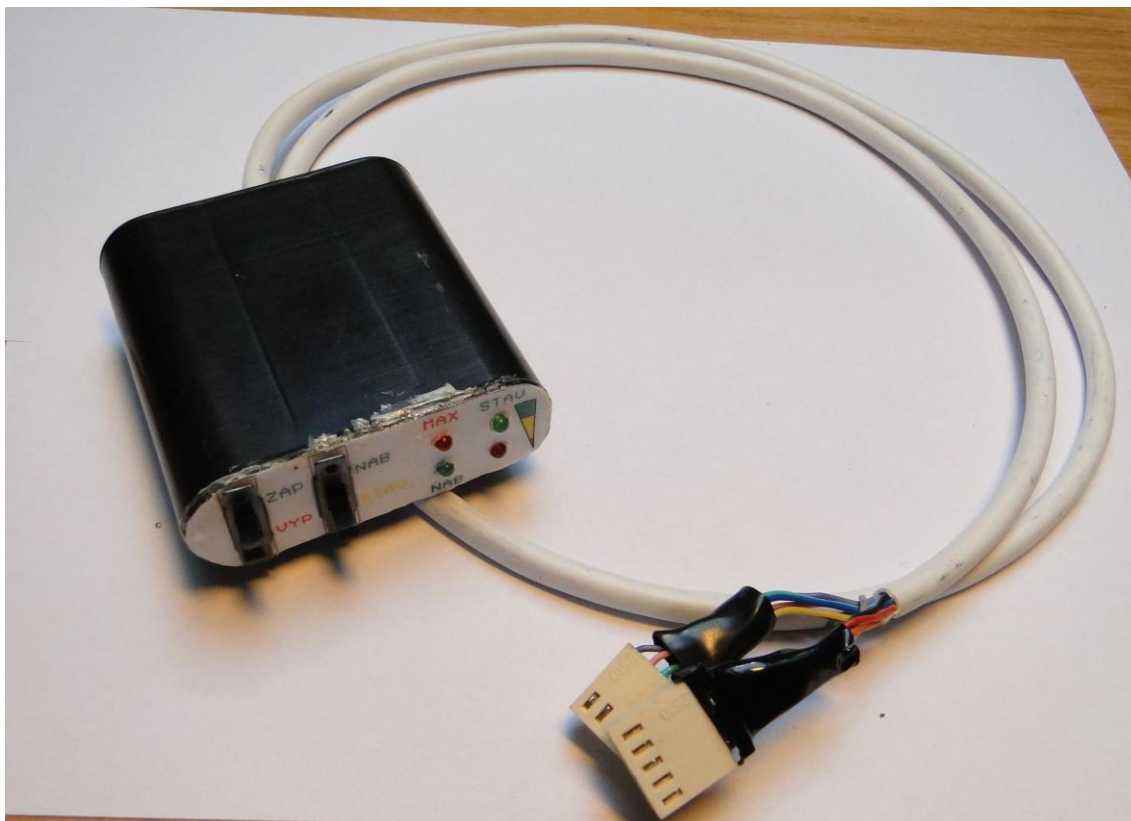
Obr. 46 Měření s osciloskopem



Obr. 47 Foto integrovaných obvodů



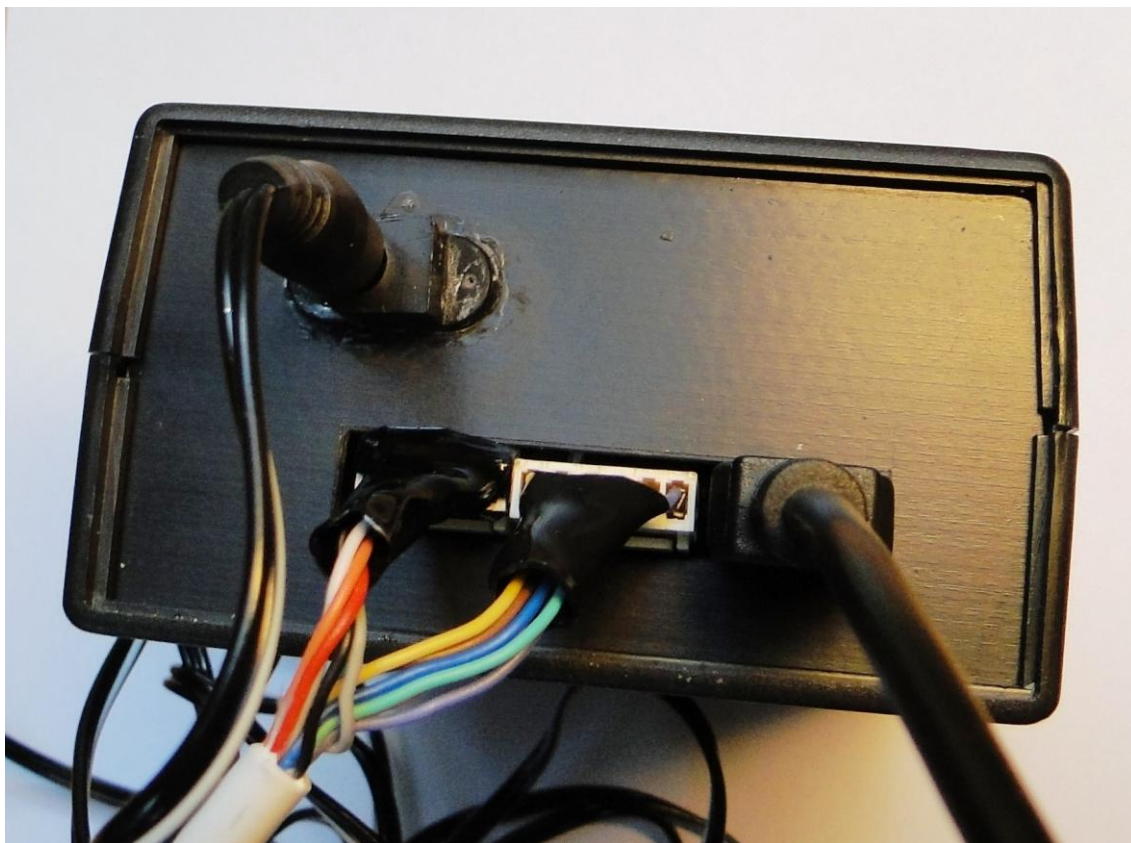
Obr. 48 Řídící panel



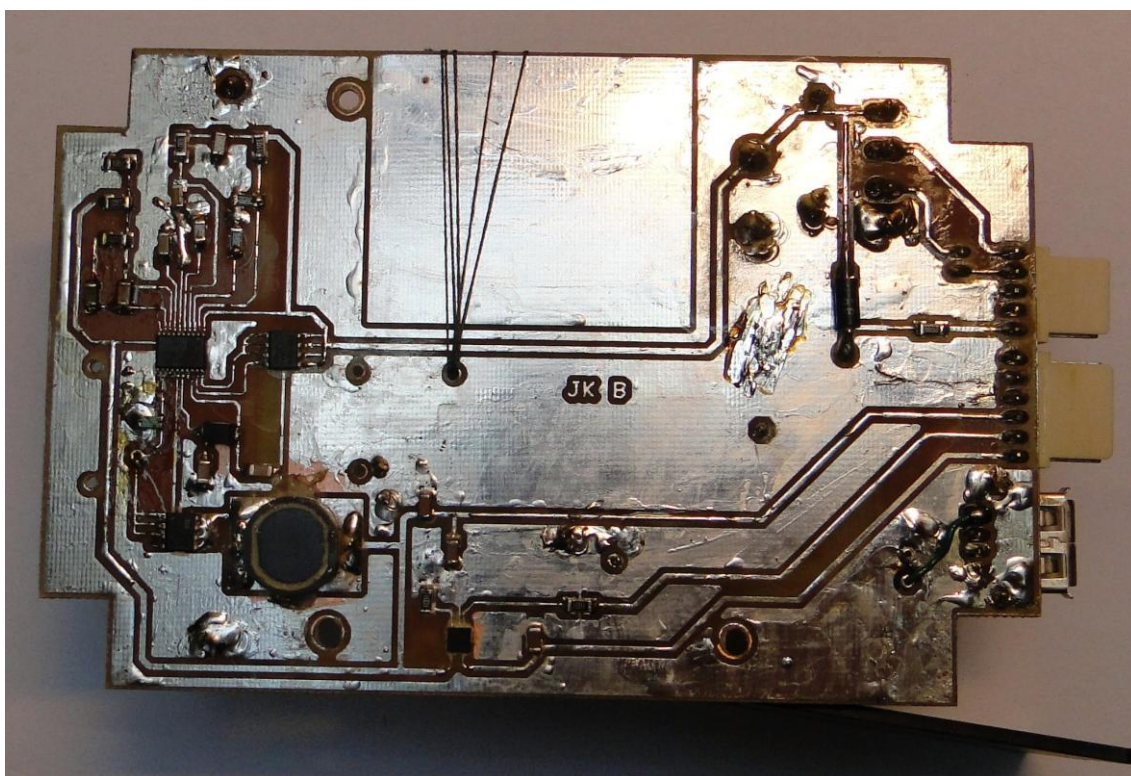
Obr. 49 Řídící panel s konektory



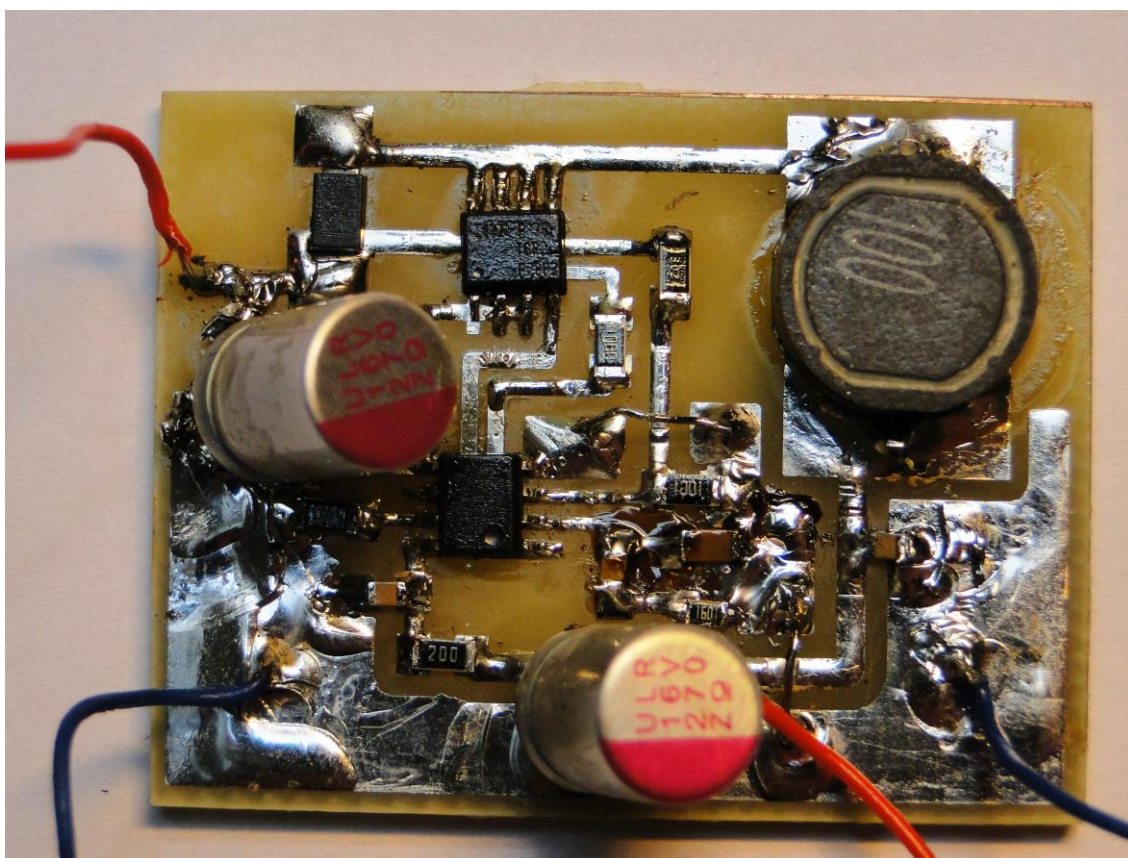
Obr. 50 Pohled na krabičku s konektory



Obr. 51 Elektronika s připojenými konektory



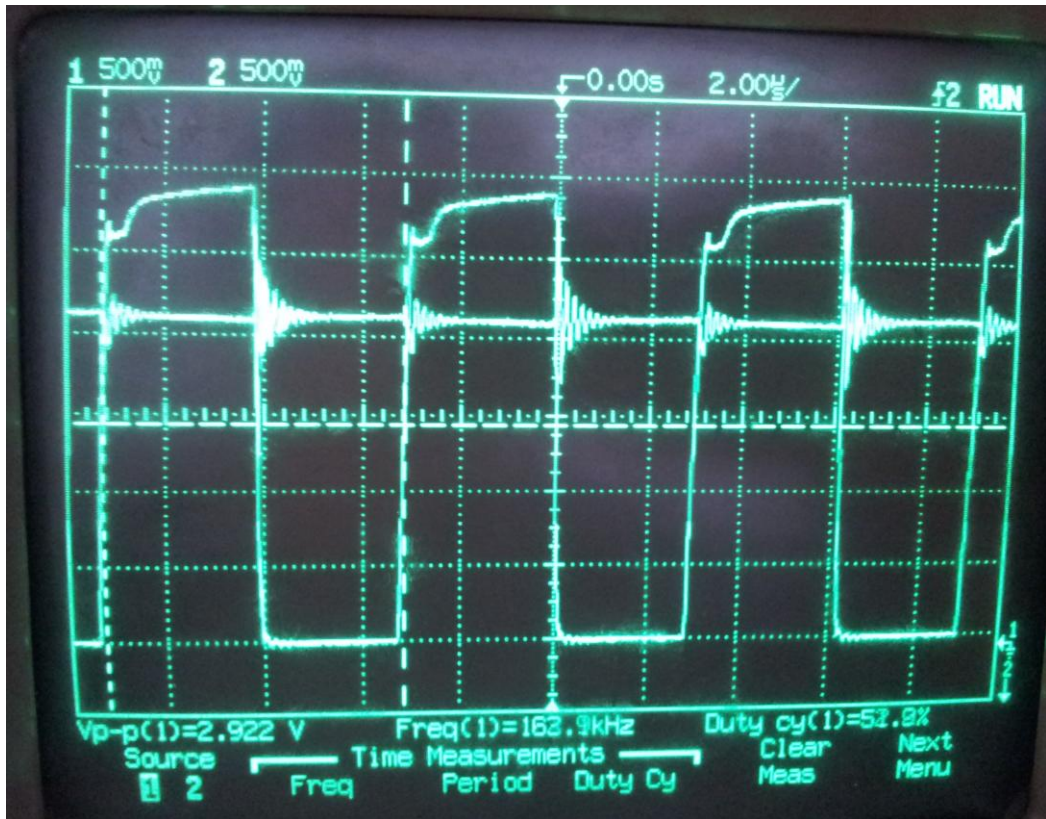
Obr. 52 Elektronika, pohled ze spodu



Obr. 53 Externí výstupní měnič



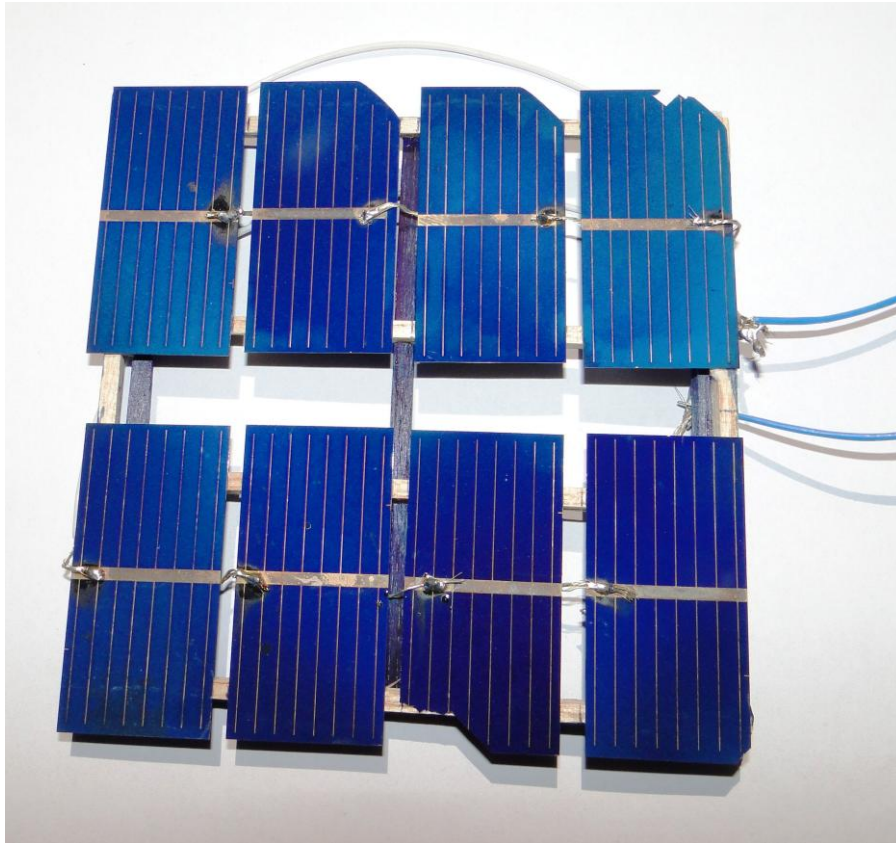
Obr. 54 Elektronika, pohled z vrchu



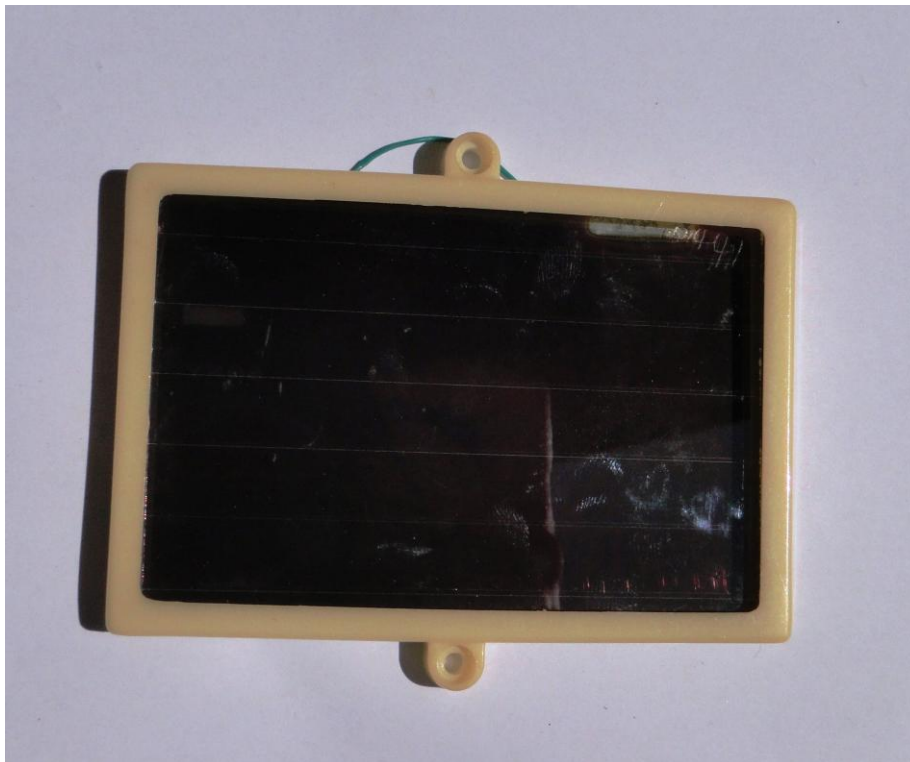
Obr. 55 Průběhy napětí na výstupu DR u LM3478 (kanál 1) a zvlnění na výstupu (kanál2)



Obr. 56 Průběh zvlnění napětí na výstupu externího měniče



Obr. 57 Fotovoltaický panel



Obr. 58 Fotovoltaický panel zalitý ochranným sklem a v ochranném rámečku

D CENOVÁ BILANCE NABÍJEČKY

Tab. 29 Cena komponentů

Komponenta	Cena [Kč]
Nábojové dynamo	750
Ráfek	140
Duše	70
Plášť	160
Výplet+ Špice	85
Práce	120
LM5116	200
LM3478	75
MCP73123	30
Akumulátor	300
Mosfet 3*	75
Filtrační kondenzátor	100
Další součástky	475
Kryt	70
Poštovné 2*	250
Náhradní součástky	100
Celkem	3000