VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SOLÁRNÍ NABÍJEČKA S VESTAVĚNÝM AKUMULÁTOREM

SOLAR CHARGER WHIT BUILD-IN BATTERY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Petr Háněl
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Michal Kubíček, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO, 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Petr Háněl	***ID:***	115176
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Solární nabíječka s vestavěným akumulátorem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci, schéma zapojení, desku plošného spoje a mechanickou konstrukci pouzdra solární nabíječky s vestavěným akumulátorem. Nabíječka bude určena pro dobíjení a záložní napájení malých mobilních přístrojů se standardním napájecím vstupem s USB konektorem. Navrženou nabíječku realizujte a ověřte její vlastnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČIŘÍK, A.: Moderní spínané zdroje, 1. vydání. BEN - technická literatura, Praha 1999
[2] NOVOTNÝ, V.: Napájení elektronických zařízení. Skriptum. Brno: VUT FEI v Brně, 1999.

Termín zadání:	6.2.2012	***Termín odevzdání:***	25.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.
Konzultanti bakalářské práce:

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

Při dnešním rozvoji mobilních zařízení je nutné rozvíjet i způsoby jejich dobíjení. Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí cestovního nabíječe, který je nezávislí na rozvodné síti. Jedná se o koncepci s vestavěným akumulátorem, který je neustále dobíjen ze solárního panelu. Alternativně lze akumulátor dobíjet pomocí standardního rozhraní USB. Obvodová realizace musí být co nejjednodušší, aby se snížila pravděpodobnost poruchy a výrobní náklady na zařízení . Nabíječ by měl být schopen dobíjet jakékoli zařízení,které ke svému napájení používá standardní rozhraní USB.

Klíčová slova:

Solární nabíječ, baterie, nabíjení baterie Li-ion,Li-pol, DC/DC měnič

Abstract

The mobile devices are under rapid development today and thereby they put still more challenging requirements on charging technologies. The thesis deals with design and development of an off-line charger device for travel use. It is based on an accumulator that is being charged continuously using a solar cell. Alternatively the accumulator can be charged using a standard USB port. One of the key requirements on the device was simplicity of its circuitry in order to make the device cheaper and more reliable. The device is able to supply any mobile device that is using a standard USB port.

Key words:

Solar charger, battery, charging Li-ion, Li-pol, DC/DC converter

Háněl, P. ***Solární nabíječka s vestavěným akumulátorem***. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 12 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph. D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Solární nabíječka s vestavěným akumulátorem 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 2. ledna 2012 .....

podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne 2. ledna 2012 .....

podpis autora

Obsah

Úvod....12
1 Baterie....13
1.1 Dělení baterií....13
1.1.1 Primární články....13
1.1.2 Sekundární články....13
1.2 Dobíjecí články....14
1.2.1 Olověný akumulátor....15
1.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor....15
1.2.3 Nikl-metal hydridový akumulátor....16
1.2.4 Stříbro-zinkové akumulátory....17
1.2.5 Lithium iontový akumulátor....18
1.2.6 Lithium polymerové akumulátory....19
2 Fotovoltaický článek....19
2.1 Historie....19
2.2 Princip solárních článků....19
2.2.1 Různé technologie výroby....20
2.3 Výběr solárního článku....20
3 Nabíjení Lithiových baterií....21
3.1 Parametry nabíjení Li-ion baterií....21
3.2 Volba obvodu a zapojení....22
4 Napěťové měniče DC/DC....23
4.1 Spínané regulátory....23
4.1.1 Zvyšující DC/DC měniče....24
4.1.2 Princip funkce zvyšujícího měniče....25
4.2 Návrh měniče....27
5 Konstrukce a návrh plošného spoje....28
5.1 Návrh schématu....28
5.2 Návrh plošného spoje....30
6 Konstrukce krabičky....31
6.1 Materiál....31
6.1.1 Vlastnosti desek PSH....31
6.1.2 Možnosti zpracování materiálů PSH....32
6.2 Konstrukce krabičky....32
7 Měření....33
7.1 Solární článek....33
7.2 Nabíjení baterie....34
7.3 DC/DC měnič....37
7.3.1 Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče....37
7.3.2 Zvlnění na výstupu DC/DC měniče....37
7.3.3 Účinnost DC/DC měniče....38
8 Závěr....40
Literatura....41
Seznam symbolů, veličin a zkratek....42
Přílohy....43

Seznam Obrázků

Obr 1: Princip fotovoltaického článku (převzato z [5]....20
Obr 2: Katalogový list firmy Solartec (převzato z [7])....21
Obr 3: Průběh U a I nabíjení Li-ion (převzato z [8])....22
Obr 4: Katalogový list National Semiconductor (převzato z [9])....22
Obr 5: Typické zapojení obvodu LM3658 pro nabíjení Li-ion baterie (převzato z [8])....23
Obr 6: Jednoduchý zvyšující měnič....24
Obr 7: Nabíjecí část zvyšujícího měniče, průběh nabíjení cívky....25
Obr 8: Vybíjecí část zvyšujícího měniče, průběh vybíjení cívky....26
Obr 9: Zvyšující měnič s řízením pomocí PWM modulace (převzato z [10])....27
Obr 10: Schéma zapojení DC/DC měniče s obvodem LM2700LD-ADJ (převzato z [11])....27
Obr 11: Účinnost měniče s obvodem LM2700LD-ADJ (převzato z [11])....28
Obr 12: Schéma cestovní solární nabíječky s vestavěným akumulátorem....29
Obr 13: Návrh plošného spoje strana TOP, poměr velikosti 2:1....30
Obr 14: Graf výstupního výkonu solárního článku v závislosti na nastaveném pracovním bodu (zátěží) a intenzitě osvětlení....33
Obr 15: Graf výstupního výkonu solárního článku v závislosti na nastaveném pracovním bodu (zátěží) a intenzitě osvětlení....34
Obr 16: Závislost nabíjecího proudu na vstupním proudu při normální(spojitém) provozu nabíječe....35
Obr 17: Průběh nabíjecího proudu při nabíjení malým vstupním proudem....35
Obr 18: Závislost nabíjecího proudu na vstupním proudu při impulsním provozu nabíječe....36
Obr 19: Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče....37
Obr 20: Výstupní zvlnění DC/DC měniče pro výstupní napětí 5,17V a výstupní proud 100mA....38
Obr 21: Závislost zvlnění výstupního napětí na výstupním proudu....38
Obr 22: Závislost účinnosti na výstupním proudu....39

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled typů článků....14
Tab. 2 Vlastnosti olověného akumulátoru....15
Tab. 3 Vlastnosti NiCd akumulátoru....16
Tab. 4 Vlastnosti NiMH akumulátoru....17
Tab. 5 Vlastnosti AgZn akumulátoru....17
Tab. 6 Vlastnosti Li-ion akumulátoru....18
Tab. 7 Přehled topologií měničů....24
Tab. 8 Vlastnosti materiálu PSH....32
Tab. 9 Vlastnosti Li-ion akumulátoru (převzato z [13])....33
Tab. 10 Teoretická doba nabíjení při různém osvětlení během celého ruku....36

Úvod

S prudkým rozvojem mobilních zařízení vznikají i větší nároky na napájení, baterie a jejich nabíjení. Dnes je standardem nabíjení baterií z elektrické sítě. Konstruují se různé kapesní a cestovní nabíječky, které využívají některých vlastností baterií a umožňují rychlonabíjení. Stále jsou ale závislé na rozvodné síti. I přes poměrně vysoké pokrytí rozvodné energetické sítě se stále naleznou, při různých cestách, místa bez elektrické energie a je nutno použít alternativní napájecí zdroje.

Právě touto problematikou se budu v této práci zabývat. Jako alternativní zdroj energie použiji fotovoltaický článek, kterým budu nabíjet vestavěný akumulátor. Ten v případě potřeby bude napájet další mobilní zařízení.

Celé zařízení je provedeno jako cestovní, proto je nutné sledovat váhu jednotlivých částí. Zvolená koncepce nabíječe se skládá z dvou hlavních částí, kde každá část je řízena jedním integrovaným obvodem přímo určeným na danou aplikaci. První část se stará o získání energie ze solárního článku a úschově získané energie. Druhá část zajišťuje výstupní napětí takové, aby bylo kompatibilní s USB platformou.

Následující text je dělen do 7 částí. 1. kapitola se zabývá bateriemi a jejich vlastnostmi. 2. kapitola se věnuje solárním panelům a jejich funkci. O nabíjení vestavěného akumulátoru se dozvíte v 3. kapitole. Další kapitola se věnuje problematice DC/DC měničů a samotným návrhem měniče pro tuto aplikaci. V 5. kapitole je návrh schématu a plošného spoje. Předposlední kapitola se zabývám výběrem materiálu na krabičku navrženého zařízení. A ke konci práce jsou údaje z měření, vyhodnocení návrhu a případné návrhy na další zlepšení parametrů.

1 Baterie

Baterie je zařízení určené k výrobě nebo úschově elektrické energie. Jsou základním prvkem mnoha elektronických zařízení, používají se téměř ve všech přenosných elektronických zařízeních od mobilních telefonů až po přenosné počítače a různé přehrávače. Každé takové zařízení by bez baterií nemohlo fungovat. S prudkým nárůstem počtu přenosných a mobilních zařízení prudce stoupá i úloha baterií, což má za následek jejich rychlý technologický vývoj.

1.1 Dělení baterií

Díky obrovské poptávce po bateriích, které se využívají v mnoha různých zařízeních a aplikacích, musí splňovat různé požadavky a parametry. Proto existuje velké množství různých baterií a článků vyráběných různými technologiemi. To zahrnuje vše od jednoduchých jednorázových článků, až po skládané, alkalické či nabíjecí články. Proto si je teď rozdělíme na dvě základní skupiny. Rozdělíme články podle opakovatelnost použití na jednorázové primární články a na dobíjecí sekundární články. Základní přehled různých článků naleznete v tabulce Tab.1. Články jsou rozděleny podle opakovatelnosti použití i technologie výroby. Naleznete tam i jejich nominální napětí a základní použití.

1.1.1 Primární články

Jednorázové baterie jsou v podstatě takové, které nelze dobíjet. Jejich elektrochemický proces je nevratný. Když se v článku, vlivem používáním baterie, vyčerpají všechny chemické látky, tak je článek nevratně vybit a nelze jej znovu nabít. Jednorázové články jsou schopny dodávat elektrickou energii ihned po sestavení článku. Jsou schopny dodávat jen omezený proud a maximální hodnotu proudu určuje výrobce při sestavení článku. Z důvodu, že tyto baterie nelze použít vícekrát, tudíž že je nelze dobíjet, jsou pro tuto aplikaci zcela nepoužitelné a dále se jimi nebudeme zabývat.

1.1.2 Sekundární články

Jsou to články, které jsou schopny opakovatelnosti chemických procesů, které se dějí při jejich vybíjení. Jsou schopny dodávat do obvodů i značně velké proudy bez nevratných procesů. Po sestavení těchto článků je jejich potenciál na nule, je potřeba je nejprve nabít. Pro schopnost obnovitelnosti elektrochemických procesů jsou dobíjecí články vhodné pro tuto aplikaci. Podrobnější popis dobíjecích článků naleznete v dalších kapitolách.

Tab. 1 Přehled typů článků

Typ článku		nominální napětí [V]	Hmotnostní hustota energie [Wh/Kg]	Charakteristika
jednorázové články	Alkalický článek (Zn-MnO^2)	1,5	95	Široce dostupný, poskytuje velkou kapacitu, střední proud a dobu skladování až 5 let.
	Lithium-thionylcho-ridový článek	3,6	500	Poskytuje malý až střední proud, vysokou hustotu energie a dlouhou životnost.
	Lithiový článek (Li-Mno^2)	3,0	768	Poskytuje střední proud, vysokou hustotu energie a dlouhou životnost
	Rtuťový článek (HgO)	1,35	125	Používá se pro knoflíkové články, ale již jsou téměř vyřazeny, protože obsahují rtuť.
	Stříbro oxidový článek	1,5		Velká hustota energie, používá se hlavně pro knoflíkové články.
	Zinko-uhlíkový článek	1,5		Široce používaný pro spotřebitelské aplikace,. Nízká cena, střední kapacita. Fungují nejlépe při přerušovaném provozu.
	Zinko-vzdušný článek	1,4		Většinou se používá pro knoflíkové články. Má omezenou životnost, poskytuje malý proud, ale vysokou hustotu energie.
dobíjecí články	Nikl-kadmiový alkalický akumulátor (NiCd)	1,2	42	Dříve často využíván, dnes s ohledem na životní prostředí nahrazován NiMH. Díky nízkému vnitřnímu odporu může dodávat velké proudy, dlouhá životnost.
	Nikl-vodíkový alkalický akumulátor NiMH	1,2	49	Větší kapacita ale dražší než NiCd. Nabíjení musí být pečlivě regulováno. V mnoha aplikacích nahrazuje NiCd.
	Lithium-iontový akumulátor (Li-ion)	3,7	Až 150	Největší kapacita, široce využívaná v laptopech, mobilních telefonech, kamerách, atd. Nabíjení musí bát pečlivě regulováno, obvykle mají omezenou životnost (cca 300 cyklů nabití/vybití)
	Olověný akumulátor	2.0		Široce používaný jako autobaterie. Relativně levný, ale životnost relativně krátká.
	Lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol)	3,8	Až 150	Velmi velká kapacita, ve srovnání s Li-ion delší životnost. Lehký a malý článek. Používají se v mobilních zařízeních kde je kladen důraz na hmotnost a velikost a rovněž v aplikacích kdy jsou v zařízení pevně integrovány, tj. nevyměnitelné. Vyžadují specifické nabíjení.

1.2 Dobíjecí články

V předchozím rozdělení jsme si rozdělili články na primární a sekundární. Jak již bylo zmíněno dobíjecí články jsou založeny na vratných elektrochemických reakcích. Existuje mnoho různých technologií, které se využívají. Tedy abych byl přesnější - mnoho různých kombinací materiálů jednotlivých elektrod a elektrolytů v různém stavu, tekuté, práškové

i plynné. V následující kapitole bychom si měli rozebrat jednotlivé články, jejich vlastnosti a vhodnost použití.

1.2.1 Olověný akumulátor

Byl vynalezen ve Francii fyzikem Gastonem Planté. Jeho model se sestával ze dvou spirálových listů čistého olova oddělených plátnem, ponořené do sklenice s kyselinou sírovou. Toto sestavení vydrželo s menšími změnami až do dnes. Dnes se již nepoužívá čisté olovo, ale různé slitiny na bázi olova [1].

V nabitém stavu tvoří zápornou elektrodu houbovité olovo (Pb) a u kladné elektrody to je oxid olovičitý(PbO_2). Elektrolyt tvoří vodou ředěná kyselina sírová(H_2SO_4). Koncentrace je přibližně 35% u plně nabitého akumulátoru. Tento roztok může být z technických nebo bezpečnostních důvodů nasáknutý do vaty ze skelných vláken (AGM) nebo ztužený do formy gelu. Při vybíjení se aktivní hmota záporné i kladné elektrody přeměňuje na síran olovnatý ($PbSO_4$) a elektrolyt je ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu. Dochází tak k dalšímu ředění kyseliny sírové a akumulátor se vybíjí. Při procesu nabíjení se děje opačný proces. Ze síranu olovnatého se vlivem elektrolýzy stává kyselina sírová jak je uvedeno v [2].

V následující tabulce je přehled nejdůležitějších vlastností.

Tab. 2 Vlastnosti olověného akumulátoru

Jmenovité napětí článku [V]	2
Napětí při kterém se má ukončit vybíjení [V]	1,75
Počet cyklů nabití/vybití	350
Vnitřní odpor	V řádu mΩ
Nabíjecí proud	0,1C
Samo-vybíjení	3% za měsíc
Akumulátor je schopen dodávat krátkodobě velmi vysoké proudy, až stovky ampér	
Nevýhodou je jeho velká hmotnost	
Poměrně levný akumulátor	

Pozn.: hodnoty v tabulce jsou uvedeny na jeden článek, C je kapacita akumulátoru

Nejčastěji se u těchto akumulátorů využívá jejich malého vnitřního odporu a tím možnost dodávat velké proudy. Tato vlastnost se hodí pro startování motorů či pro jejich pohon. Používá se například i jako zdroj energie v golfových vozících. Dále se používá v UPS systémech, kde plní funkci záložního zdroje.

Tento akumulátor by byl dobrý pro svou velkou kapacitu a cenu, ale pro naši aplikaci je nepoužitelný kvůli svým rozměrům a velké měrné hmotnosti.

1.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor

Základní koncept tohoto článku navrhl a vyzkoušel švédský inženýr a vynálezce Waldmar Junger v roce 1899. Velký rozmach těchto článků byl především koncem 2. světové války a po ní v Německu a Francii. Používali se sintrované(spékané) elektrody, které byly baleny do niklové tkaniny a elektrolyt byl roztok hydroxidu draselného(KOH).

Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, záporné elektrody hydroxid kademnatý. Vedle elektrochemické aktivní složky obsahují elektrody

další materiály, které vytváření vodivou složku, nosný skelet a proudový kolektor. Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH), rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy separátory, které oddělují kladné a záporné elektrody a zároveň slouží jako nosič elektrolytu[2] a [3].

Tab. 3 Vlastnosti NiCd akumulátoru

Jmenovité napětí článku [V]	1,2
Napětí při kterém se má ukončit vybíjení [V]	0,8 - 1
Počet cyklů nabití/vybití	>200
Samo-vybíjení při 20°C [%/den]	0,7
Samo-vybíjení při 65°C [%/den]	12
Střední vybíjecí proud [A]	5
Pulsní vybíjecí proud [A]	10
Nabíjecí proud závisí na stylu nabíjení (viz. níže).	
Je dražší než olověný akumulátor.	
Při provozu dochází k znehodnocování elektrolytu a tím je postupně snižována kapacita akumulátoru.	
Pracuje dobře i za nízkých teplot	
Možnost nabíjet vyššími proudy	
Škodlivý pro životní prostředí	

Nabíjet tyto články je možno několika způsoby. Při normálním nabíjení se obvykle nabíjí proudem 0,1C až 0,2 krát kapacita. Do článku je nutno dodat 120% až 140% jejich kapacity, pokud je článek plně vybit, pro kompenzaci neefektivnosti nabíjení. Když chceme tento článek nabíjet trvale, tak se používá proud 0,1C - 0,2C do vzestupu napětí na hodnotu 1,43V/článek a dále se pokračuje nabíjení konstantním napětím 1,43V/článek. Konkrétní hodnoty uvádí výrobce. Docela oblíbené je v poslední době rychlo-nabíjení. U toho se podle konstrukce používá 0,3C až 2C, přičemž teplota článku nesmí přesáhnout +45°C a napětí 1,6V/článek.

U moderních nabíječek se používá automatické odpojení baterie od nabíječky. Tato funkce využívá vlastnosti, že ke konci nabíjení dojde k prudkému krátkodobému zvýšení proudu a následně snížení napětí akumulátoru. Současně se článek začíná zahřívat.

Tento článek je možné různě spojovat a propojovat, abychom získali ty parametry, které potřebujeme. Pro jeho malé rozměry, u knoflíkových akumulátorů, se hojně používají například v hodinkách, kalkulačkách a mnoho jiných přenosných zařízení. Používá se i v počítačích jako záložní baterie pro CMOS paměť. Je vyráběn i ve standardizovaných velikostech a díky tomu je možné ho využít v mnoha přenosných zařízeních, baterkách, atd. [3] a [4]

Tento článek má mnoho vlastností, které by se pro naše účely hodily. Například práce při velkém rozsahu teplot, možnost několika způsobů nabíjení atd. Bohužel samovybíjení je poměrně velké a počet nabíjecích cyklů je také malý. Z těchto důvodu ho také nepoužijeme.

1.2.3 Nikl-metal hydridový akumulátor

Intenzivní výzkum a vývoj tohoto článku byl zahájen v 80. letech minulého století. Hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu za škodlivé kadmium vhodnějším materiálem. Ke komerčnímu využití došlo v druhé polovině 90. let. První články ovšem nebyly moc kvalitní, měli velké samovybíjení, zhoršovala se jejich funkceschopnost během skladování,

nemluvě o jejich vysoké ceně. Velmi rychle se tyto vlastnosti zlepšily a stále se zlepšují. Akumulátory NiMH se staly běžným výrobkem v mobilní technice. Jsou vyráběny i různé speciální řady pro určité oblasti použití s upravenými vlastnostmi.

Záporná elektroda je tvořena speciální kovovou slitinou, která s vodíkem vytváří směs hydridů neurčitého složení. Tato slitina je většinou tvořena z niklu, kobaltu, manganu, případě hliníku a některých vzácných kovů jako lanthanu, ceru, neodymu, praseodymu. Kladná elektroda je z oxid-hydroxidu niklitého (NiO(OH)) a jako elektrolyt se používá vodný roztok hydroxidu draselného viz. [2], [3] a [4].

Tab. 4 Vlastnosti NiMH akumulátoru

Jmenovité napětí článku [V]	1,2
Napětí plně nabitého článku [V]	1,4
Napětí vybitého článku [V]	1,0
Počet cyklů nabití/vybití	>300
Samo-vybíjení při 20°C [%/den]	0,8
Samo-vybíjení při 65°C [%/den]	25
Střední vybíjecí proud [A]	4
Pulsní vybíjecí proud [A]	10
U článků se sníženým samo-vybíjením si i po půl roce zachová 90% své energie, po roce 85%	

Dnes je to asi nejpoužívanější akumulátor. Vyrábí se mnoho různých variací tohoto článku s upravenými vlastnostmi pro jednotlivé aplikace. Je základní řada, pro extrémně rychlé nabíjení, pro trvalé nabíjení, do zvýšených teplot, pro komerční účely, se zvýšenou kapacitou, s malým samo-vybíjením. Používají se například pro akumulátorové nářadí, pohon RC modelů, přenosné radiostanice, některé notebooky, pro nouzové osvětlení, atd. Vznikl jako náhrada za NiCd článek a tak se dá použít i pro všechny aplikace, kam byly určeny NiCd články.

Pro velké množství použitelných aplikací je tento článek dobrý i pro naši aplikaci, ale nepoužijeme ho, pro jeho hmotnost na jednotku kapacity a také pro poměrně malý počet cyklů nabití/vybití.

1.2.4 Stříbro-zinkové akumulátory

Kladná elektroda je oxid stříbra Ag_2O_3 a záporná elektroda je sintrovaný zinek. Jako elektrolyt se používá Hydroxid draselný (KOH), elektrolytu se používá tak málo, že obvykle je jen nasáknut do porézních elektrod. Při vybíjení se uvolňuje voda a tu lze měřit vodoznakem.

Tab. 5 Vlastnosti AgZn akumulátoru

Jmenovité napětí článku [V]	1,5
Napětí vybitého článku [V]	1,0
Počet cyklů nabití/vybití	>50
Pulsní vybíjecí proud [A]	Až 100
Jsou velice odolné proti mrazu a velkému teplu.	
Jsou velice lehké i při velké kapacitě.	
Velmi nízký vnitřní odpor a s vybíjením se ještě snižuje	

Používá se hlavně ve vojenství, kde se předpokládá jen jedno použití, například u torpéd, naváděných střel, a podobně [2].

Na tomto článku je velmi zajímavá měrná kapacita, která je až 70Ah/Kg. Díky tomu je možné dosáhnout velmi lehké baterie při poměrně vysoké kapacitě. Bohužel životnost tohoto článkuje tak malá, že je pro naši aplikaci zcela nepoužitelný.

1.2.5 Lithium iontový akumulátor

První články se objevovaly již v polovině 60.let minulého století a již od začátku se vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, velice nízkým samo-vybíjením a dalšími příznivými vlastnostmi. Nejprve byly vyráběny jako jednorázové články a později se ukázalo, že je možné je dobíjet. V polovině 70.let se upravovala kladná elektroda, byla tvořena sulfidy kovů a záporná elektroda byla tvořena kovovým lithiem. Ukázalo se ale, že dochází ke korozi elektrod a na povrchu se vytváří kompaktní vrstva sloučenin, která zabraňovala přísunu iontů. Pokusy nadále pokračovaly přes různé sloučeniny např. $LiWO_2$, $Li_6Fe_2O_3$ a mnoho dalších. Velký pokrok nastal roku 1990 na Mezinárodním semináři dobíjecích baterií, kde firma SONY představila novou technologii, která využívala jako aktivní materiál pro zápornou elektrodu směs grafitu obohaceného lithiem a polyolefinem.

Materiály dnes běžně používané jako aktivní hmoty kladné elektrody jsou $LiCoO_2$, $Li_xMn_2O_4$ a LiV_2O_5 popřípadě i další. Záporná elektroda je provedena stejně, jak byla představena v roce 1990, čili směs grafitu obohacená o lithium a polyolefin. Jako elektrolyt je v největší míře používána lithiová sůl $LiPF_6$ rozpuštěná v nepolárním rozpouštědle.

Tab. 6 Vlastnosti Li-ion akumulátoru

Jmenovité napětí článku [V]	3,7
Napětí úplně vybitého článku [V]	2,8
Počet cyklů nabití/vybití	>2000
Samo-vybíjení při 20°C [%/den]	0,2
Střední vybíjecí proud [A]	2
Střední vybíjecí proud u speciálních typů [A]	30
Nabíjecí napětí je konstantní [V]	4,2
Nabíjecí proud [A]	0,5 C
Pracovní teplota je do -20°C.	
Vysoká hustota energie → vysoká kapacita při nízké hmotnosti.	
Lze je vyrobit v jakém kolik tvaru.	
Velice náchylné na přesnost nabíjení	
Není třeba před použitím formovat	
Nemá paměťový efekt	
Vyšší pořizovací cena	
Šetrné k životnímu prostředí	

Dnes se tyto články používají hlavně pro svou vysokou kapacitu při nízké hmotnosti. Tudíž je můžeme nalézt v přenosných zařízeních jako jsou mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, GPS navigace, atd. [2] [4].

Tento článek je asi nejvhodnější pro naší aplikaci a to hned z několika důvodů. V naší

aplikaci se nám bude hodit vysoké nominální napětí, a hlavně vysoká kapacita při zachování nízké hmotnosti a malých rozměrech. Dále se bude hodit i to, že akumulátor netrpí paměťovým efektem. Nadále je i určující vysoká životnost, malé samo-vybíjení a vysoký počet opakování cyklů nabití/vybití.

1.2.6 Lithium polymerové akumulátory

Lithium polymerové články vychází z lithium iontových článků a vznikly z důvodů najít podobnou technologii jako Li-ion s levnějšími náklady na výrobu. Výsledkem toho je je Li-pol článek. Vědcům se podařilo dosáhnout velmi podobných parametrů a vlastností jako u Li-ion.

Rozdíl v provedení je, že lithiová sůl není v organickém rozpouštědle, ale v pevné polymerové struktuře a to jako polyethylenoxid nebo polyakrylonitril.

Výsledné vlastnosti se moc neliší od Li-ion, tak zde uvedu jen ty změněné. Li-pol akumulátory dosahují menší odolnost vůči mechanickému poškození, ale mají o něco větší hmotnost, počet cyklů nabití/vybití je nižší (asi 1000 cyklů), ale jsou cenově dostupnější než Li-ion [2] [4].

Tento článek je také vhodný pro naši aplikaci a to ze stejných důvodů jako u Li-ion akumulátor. Jediným parametrem, proč jsem se pro tento článek nerozhodl je, že má nižší počet cyklů nabití/vybití. Výměna baterie u uotdoorového provedení výrobku bude dosti obtížná.

2 Fotovoltaický článek

Solární energie patří mezi nejdostupnější zdroje energie, kterou lze využívat kdekoliv kde je výhled na nebe. Na zeměkouli dopadne každý rok záření, které má asi 8 000 krát větší energii než lidstvo spotřebovalo v roce 2004. Díky solárnímu zařízení máme i mnoho dalších zdrojů energie, jakou je třeba fosilní palivo (vzniklo z biomasy), vítr(vzniká rozdílným zahříváním planety), atd. Ale v této kapitole se budeme zabývat přímou přeměnou sluneční energie na elektrickou.

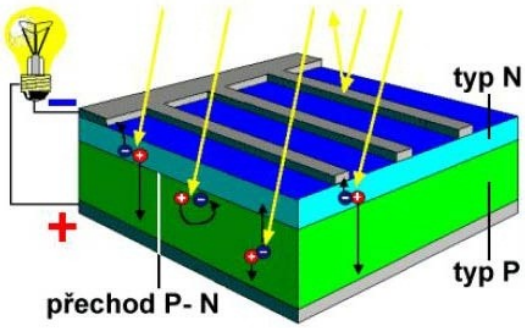
2.1 Historie

Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 fyzik Alexandre Edmond Bacquerel. První fotovoltaický článek však byl sestaven až v roce 1883 Charlesem Frittsem, který potáhl polovodičový selen velmi tenkou vrstvou zlata. Takovýto článek měl účinnost pouze 1%. Současná podoba solárních článků se zrodila až v roce 1954 v Bell Laboratories, při experimentech s dotovaným křemíkem. Výsledkem byla realizace článku s účinností 6%. Význam fotovoltaických článků se projevil u kosmonautiky jako způsob napájení pro umělé družice. První družicí s fotovoltaickými články byla sovětská družice Sputnik 3, vypuštěná roku 1958.

2.2 Princip solárních článků

Fotovoltaický článek je v podstatě polovodičová dioda. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Na ní je při výrobě vytvořena tenká vrstva polovodiče typu N. Obě vrstvy jsou odděleny přechodem P-N. Osvětlením článku vznikne v polovodiči vnitřní fotovoltaický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporně nabyté částice čili elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků zhruba 0,5V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii a po připojení spotřebiče do obvodu se začnou kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. Je-li potřeba větší napětí nebo proud, zapojují

se jednotlivé články sériově nebo paralelně a sestavují se z nich fotovoltaické panely. [5]



Obr 1: Princip fotovoltaického článku (převzato z [5]

2.2.1 Různé technologie výroby

- Technologie tlustých vrstev

  Fotovoltaický článek je tvořen polovodičovou P-N diodou. Tyto články se vyrábějí z křemíkových plátků, ať už z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. V současné době se touto technologií vyrábí 85% solárních článků na trhu [6].

- Technologie tenkých vrstev

  Fotovoltaický článek je tvořen nosnou plochou, například sklem, textilií a podobně. Na tuto nosnou plochu jsou napařeny velmi tenké vrstvy amorfního nebo mikrokrystalického křemíku. Množství materiálu, použitého pro výrobu tenkovrstvého fotovoltaického článku, je menší než u tlustých vrstev, takže články jsou lacinější. Nevýhodou současných tenkovrstvých fotovoltaických článků je nižší účinnost a nižší životnost [6].

- Ne křemíkové technologie

  Na rozdíl od předchozích dvou typů se pro konverzi světla na elektrickou energii nepoužívá tradiční P-N polovodičový přechod. Používají se různé organické sloučeniny, polymery a podobně. Tyto technologie jsou většinou ve stádiu výzkumu. Vzhledem k velkému rozmachu fotovoltaiky vývoj nadále pokračuje, protože články například s polymery jsou podstatně levnější na výrobu. V listopadu roku 2005 se podařilo zkonstruovat na University of California v Los Angles článek s účinností 4,4% [6].

2.3 Výběr solárního článku

Výběr solárního panelu pro naši aplikaci nebude jednoduché, protože požadujeme vysoký výkon při malých rozměrech. Mnoho výrobců se dnes zaměřuje pouze na výrobu velkých panelů pro domácí elektrárny.

Katalogový list firmy Solartec je zobrazen níže, obr. 2.Důležité parametry které nás budou zajímat při výběru solárního článku jsou napětí při nominálním výkonu, proud při nominálním výkonu a neposlední řadě také rozměry článku.

Typ	Nominální napěí (V)	Optimální napěí (V)	Optimální proud (mA)	Optimální výkon (Wp)	Délka (mm)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (kg)
SMP 12-350	12	17,4	340	6,0	504	125	8	0,8
SMP 12-180	12	17,1	180	3,2	311	125	8	0,5
SMP 8-350	8	9,5	340	3,3	293	125	8	0,5
SMP 8-180	8	9,5	180	1,8	183	125	8	0,3
SMP 6-350	6	7,5	340	2,6	240	125	8	0,4
SMP 6-180	6	7,5	180	1,4	152	125	8	0,3
SMP 3-350	3	3,9	340	1,3	129	125	8	0,2
SMP 3-180	3	3,8	180	0,7	85	125	8	0,2

Obr 2: Katalogový list firmy Solartec (převzato z [7])

Pro naši aplikaci vyhovuje panel SMP 6-180. Panel SMP 6-350 má pro nás lepší parametry, ale bohužel je moc velký pro přenosnou aplikaci.

Dalším kritériem také je i finanční stránka. Z tohoto důvodu jsme zvolil panel od firmy Flajzar s těmito parametry: jmenovité napětí 5,5V a jmenovitý proud 180mA a rozměrech 90x140x3 mm.

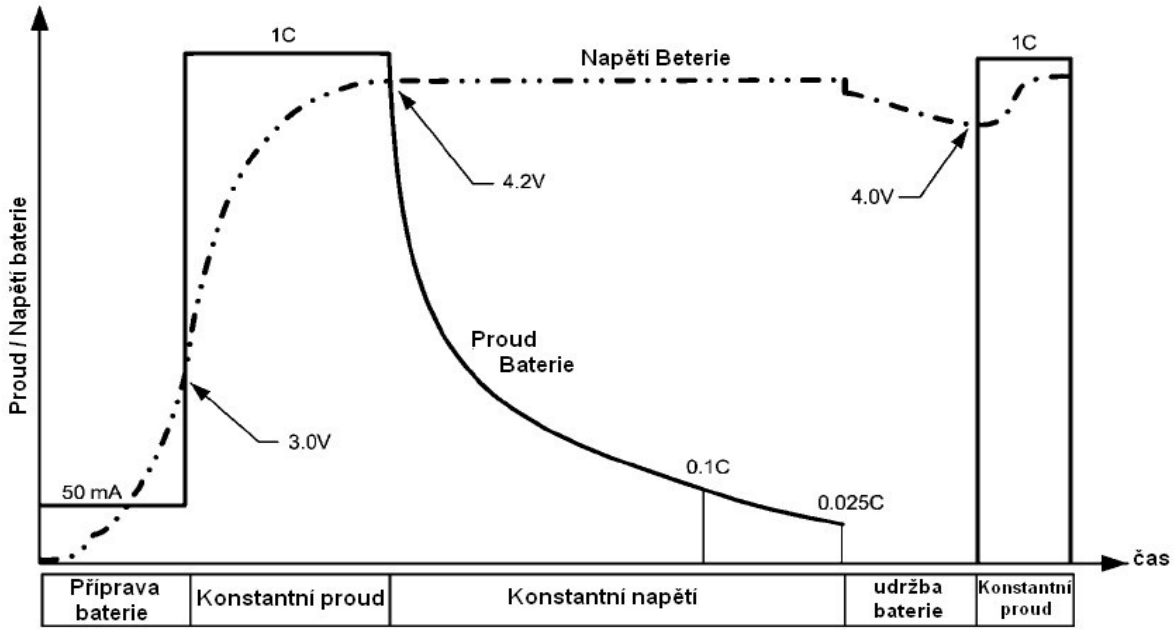
3 Nabíjení Lithiových baterií

V tomto bloku se seznámíme s omezeními jaké v sobě skrývají Lithiové baterie. Vyhledáme a určíme správné obvody pro nabíjení baterie v naší aplikaci.

3.1 Parametry nabíjení Li-ion baterií

Při nabíjení Lithiových baterií musíme dodržovat určitá pravidla, abychom nezničili nabíjený akumulátor a nebo zbytečně nezkracovali jeho životnost.

Způsob nabíjení Li-ion baterií se liší od způsobů nabíjení dřívějších NiCd baterií, u nich se sledoval jen proud tekoucí do baterie a teplota baterie. U Li-ion baterie také musíme hlídat tekoucí proud, teplotu baterie, ale ještě navíc musíme hlídat nabíjecí napětí. Napětí na jednom nabíjeném článku nesmí přesáhnout 4,2V. Pří překročení tohoto limitu baterii zkracujeme její životnost, klesá kapacita a počet cyklů opakování nabití/vybití. Jak jsem již zmínil, musíme zde hlídat i proud, který do baterie teče. Proud je závislý na kapacitě baterie. Na obrázku obr. 3 je znázorněný průběh nabíjení.



Obr 3: Průběh U a I nabíjení Li-ion (převzato z [8])

Na obrázku je několik různých jevů, příprava baterie na nabíjení, když je baterie zcela vybitá. Po skončení přípravné části teče do baterie konstantní proud až o velikosti její kapacity až do doby, kdy napětí na článku nestoupne na 4.2V. Poté klesne nabíjecí proud a udržuje se konstantní napětí, dokud nabíjecí proud neklesne pod prahovou hodnotu, která je v rozmezí 0,1C – 0,025C, dle nastavení a použitého obvodu pro nabíjení [8].

3.2 Volba obvodu a zapojení

Existuje celá řada integrovaných obvodů pro nabíjení Li-ion baterie, které hlídají všechny důležité parametry nabíjení a mají i základní obvody pro ochranu baterie. Na obrázku obr. 4 je výřez z nabídky obvodů výrobce National Semiconductor.

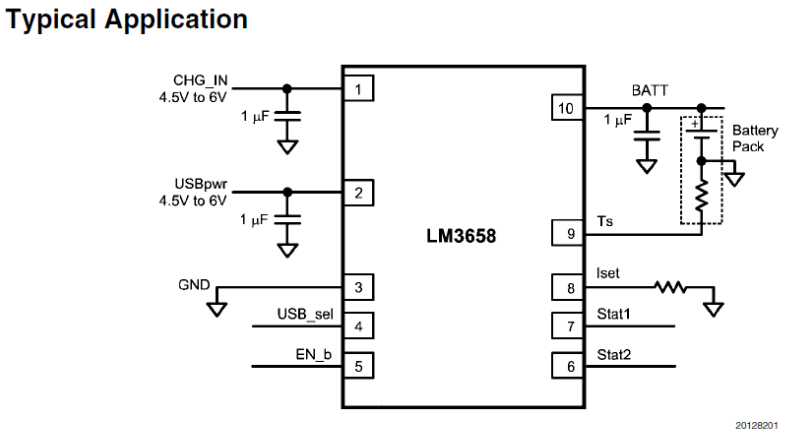
Part	Full Charge Vmax	Input Min Voltage (Volt)	Input Max Voltage (Volt)	Charge Current	Charge Modes
LP3918	4.4	3.0	5.5	50-950	CV/CC, maint
LM3622	8.2	4.5	24	Depends on external transistor - drive current is 25mA	CC, CV
LM3658	4.2	4.35	6	500 to 1000mA (Wall) or 100 or 500mA (USB)	Prequal, CC, CV, top-off, maintenance
LM3420	8.4		20		CC, CV
LP3921	4.2	3.0	5.5	100mA default, programmable 50-950mA	CC, CV, maintenance
LP3947	4.2	4.3	6	100 to 750mA (wall), 100 or 500mA (USB)	Prequal, CC, CV, maintenance
LP3974	4.2	4.5	6.75	100 to 800 mA	Prequal, CC, CV, maintenance

Part	Charge Modes	Special Features	Full Charge Vmin (Volt)
LP3918	CV/CC, maint	Charge Maqnagement, programmable outputs and control	4.1
LM3622	CC, CV	Analog CC/CV control, 1.2% tolerance, low-voltage battery detection, coke and gra	8.2
LM3658	Prequal, CC, CV, top-off, maintenance	Accepts either AC wall adapter (VinMin=4.5V) or USB power source (VinMin=4.35V),	4.2
LM3420	CC, CV	1% tolerance|0.5% tolerance	8.4
LP3921	CC, CV, maintenance	Li-Ion battery charger, Boomer Audio Amp	4.1
LP3947	Prequal, CC, CV, maintenance	Accepts either AC adapter or USB power source, includes battery temperature moni	4.1
LP3974	Prequal, CC, CV, maintenance	PMU, CHARGE management, Programmable outputs and control	

Obr 4: Katalogový list National Semiconductor (převzato z [9])

Z tohoto seznamu jsem zvolil obvod LM 3658, protože má všechny ochranné funkce, které jsou potřeba, jeho teplotní ochrana baterie která při zvýšení teploty baterie omezí nabíjecí proud, indikaci nabití baterie a má dva vstupy pro zdroj napájení jeden jako USB ,který použiji pro napájení z externího zdroje, a druhý pro proměnlivý zdroj, na který bude připojen solární panel.

Schéma zapojení obvodu použijeme doporučené zapojení z katalogového listu, které je i na obrázku obr. 5. V příloze je katalogový list, kde jsou uvedeny podrobné informace o použitém obvodu a jeho nastavení.



Obr 5: Typické zapojení obvodu LM3658 pro nabíjení Li-ion baterie (převzato z [8])

Jak je uvedeno i v katalogovém listu, tento obvod umožňuje nabíjet baterii ze dvou nezávislých zdrojů. A to buď z externího stejnosměrného zdroje s napětím 4.5V až 6V nebo ze stejnosměrného zdroje ve stejném napěťovém rozsahu. Obvod rozlišuje i způsob nabíjení z ohledem na odebíraný proud ze zdroje.

4 Napěťové měniče DC/DC

Používají se všude tam, kde je potřeba upravit velikost napětí, což je i náš případ. Napěťových měničů existuje celá řada, a jdou rozdělit do různých kategorií. Hlavním dělícím prvkem je směr úpravy napětí vůči vstupnímu. Měnič může napětí snižovat a nebo zvyšovat. Měnič také napětí stabilizuje a udržuje stálé výstupní napětí. V této práci se budu zabývat pouze měniči, které dokáží napětí zvyšovat.

4.1 Spínané regulátory

Jsou obvody, které používají spínače (diody a tranzistory) a akumulační prvky (cívky a kondenzátory) k transformaci napětí ze vstupu na výstup. Dnes to jsou asi nejpoužívanější regulátory, protože díky použitým FET tranzistorům se snížily ztráty obvodu a tak stoupla účinnost, která se dnes pohybuje v rozmezí 75 – 98%. Mají malé ztráty, malé komponenty a lepší tepelné vlastnosti(méně se zahřívají). Jejich nevýhodou je elektrické rušení, které vzniká při spínání.

Tab. 7 Přehled topologií měničů

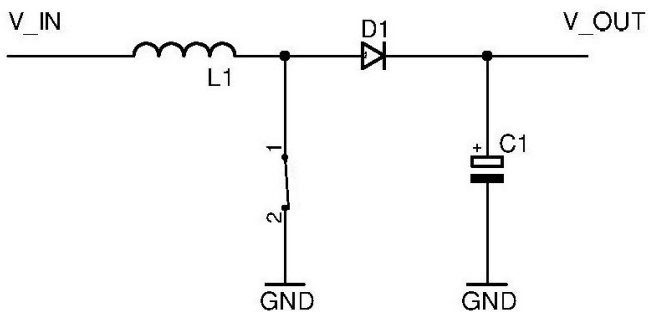
Topologie	Vlastnosti	Popis
Nábojová pumpa	Nízké rušení účinnost až 92%	Pro velmi nízké výkony, výhodou je konstrukce bez cívek (pouze kondenzátory)
Step-down	Minimum externích součástek účinnost až 94%	Někdy označovaný jako buck-konvertor, převádí napětí směrem dolů
Step-up	Jednoduchá konstrukce účinnost až 93%	Označován také jako boost-konvertor, jednoduchá konstrukce s jedno cívkou
Buck-boost	Invertuje polaritu výstupního napětí Účinnost až 96%	Umožňuje jak zvyšovat tak i snižovat napětí a obrací polaritu napětí na výstupu
SEPIC	Složitá konstrukce účinnost až 92%	Výstupní napětí může být vyšší nebo nižší než vstupní, polarita zůstává stejná

Při výběru topologie musíme uvážit, jaké výkony chceme přenášet, jaké požadavky máme na váhu a velikost celého obvodu, jeho složitost a také cenu. První volba bude jestli jako setrvačný prvek použijeme kondenzátor nebo cívku. Kondenzátory poskytují malé a jednoduché zapojení, ale umožňují přenášet jen malé proudy. Proto musíme zvolit jako setrvačný prvek cívku.

4.1.1 Zvyšující DC/DC měniče

Označovaný také jako boost-konvertor. Jedná se o zapojení, které mění hodnotu napětí směrem vzhůru, čili navyšuje ho. Pro tuto aplikaci je ho nutné použít, potřebujeme zvýšit napětí, které se pohybuje v rozmezí 3 - 4V, které má jeden článek Li-ion baterie, na požadované výstupní napětí, tj 5V.

Pro zvyšování napětí se používají různé topologie zapojení, nejčastěji to je nábojová pumpa, zvyšující měnič neboli steap-up či boost-converter a Buck Boost. Existuje jich mnohem více, ale tyto zapojení jsou nejčastější. V této aplikaci je potřeba transformovat napětí pouze jedním směrem, proto můžeme zvolit zapojení s topologií boost viz. obrázek obr. 6, protože jeho zapojení je jednodušší [10].



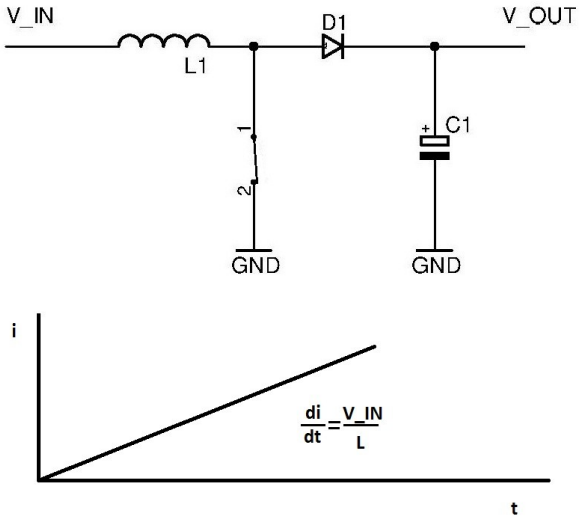
Obr 6: Jednoduchý zvyšující měnič

4.1.2 Princip funkce zvyšujícího měniče

Celý princip se dá rozdělit na dvě fáze na nabíjení a vybíjení cívky.

Nabíjení

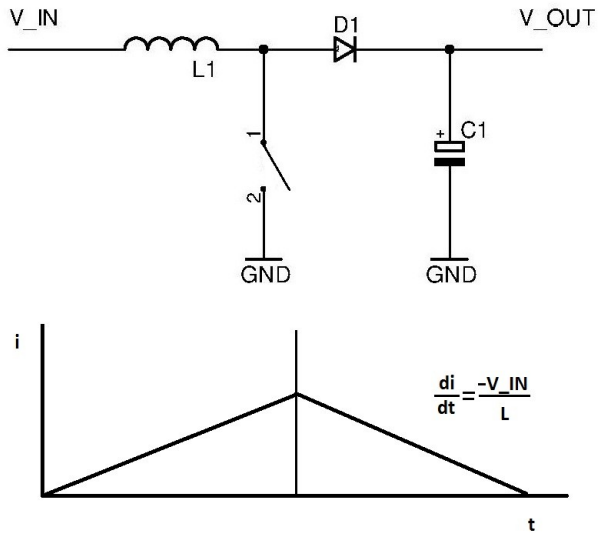
Základní princip zvýšení napětí, nabíjecí část, je na obrázku obr. 7. Budeme-li uvažovat, že je spínač rozpojen dlouhou dobu a zanedbáme úbytek napětí na diodě, tak výstupní napětí se v tomto stavu rovná vstupnímu napětí. Jakmile se spínač sepne, tak se uzavře obvod pro cívku a ta se začne nabíjet a dioda zabrání vybití kondenzátoru na výstupu. Protože vstupní napětí je stejnosměrné, tak se cívka nabíjí lineárně s časem. Sklon nabíjecí přímky je dán poměrem vstupního napětí V_{IN} a indukčnosti cívky L [10].



Obr 7: Nabíjecí část zvyšujícího měniče, průběh nabíjení cívky

Vybíjení

Opět je základní princip boost-converteru, vybíjecí část, na obrázku obr. 8. Když se spínač opět otevře, tak proud z cívky teče přes usměrňovací diodu na výstup a nabíjí se kondenzátor. Jak napětí na výstupu roste, dochází k vybíjení cívky a její indukční napětí klesá se stejnou strmostí jako se nabíjela. Výstupní napětí roste, dokud není dosaženo rovnováhy $V_L = L \cdot \frac{di}{dt}$, kde V_L je napětí na cívce, L je indukčnost cívky a $\frac{di}{dt}$ je změna proudu za jednotku času. V ustáleném stavu je střední hodnota napětí na cívce nulová, z toho vyplývá, že střední hodnota proudu procházející cívkou je stálá [10].



Obr 8: Vybíjecí část zvyšujícího měniče, průběh vybíjení cívky

S ohledem na tento fakt víme, že pro daný nabíjecí čas, t_{ON}, a daného vstupního napětí tu je i čas vybíjení t_{OFF}, pro dané výstupní napětí. Protože střední hodnota napětí na cívce musí být rovna nule platí rovnice $V_{IN} \cdot t_{ON} = t_{OFF} \cdot V_L$,

kde V_{IN} je vstupná napětí a V_L je napětí na cívce.

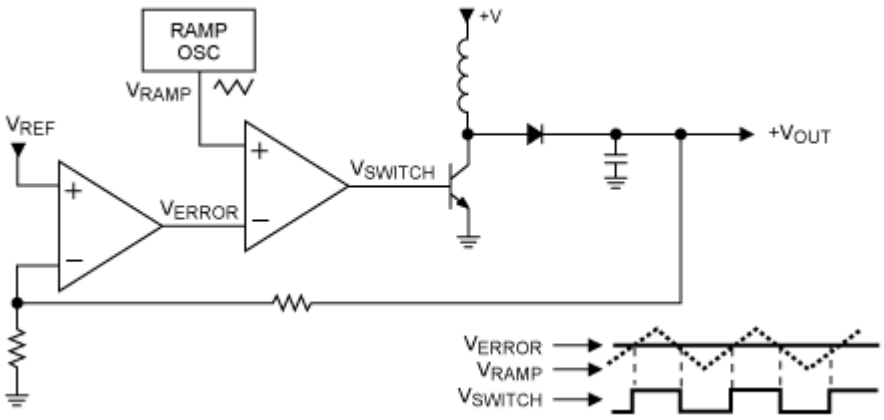
A protože $V_{OUT} = V_{IN} + V_L$

můžeme napsat $V_{OUT} = V_{IN} \cdot (1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}})$

a pomocí vztahu pro sřídu $D = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})}$

poté pro boost-converter dostaneme, že $V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{(1-D)}$

Z tohoto je zřejmé, že změnou sřídy D měníme výstupní napětí v závislosti na vstupním. K řízení se nejčastěji používá pulsně šířková modulace (PWM). Na obrázku obr. 9 je ještě jednou boost-converter s PWM řízením. Odebíraný vzorek u výstupu je porovnáván v komparátoru s referenční hodnotou. Na výstupu komparátoru je pak chybové napětí V_{ERROR}, které je v dalším komparátoru porovnáváno s napětím oscilátoru V_{RAMP}. Na výstupu tohoto komparátoru pak dostaneme PWM, kterým se spíná spínač obvodu tvořený tranzistorem. Takže když se změní výstupní napětí, tak se na komparátoru změní prahové hodnoty a v důsledku se změní i šířka pulsu, čímž dojde k úpravě výstupního napětí tak, aby chyba byla nulová [10].



Obr 9: Zvyšující měnič s řízením pomocí PWM modulace (převzato z [10])

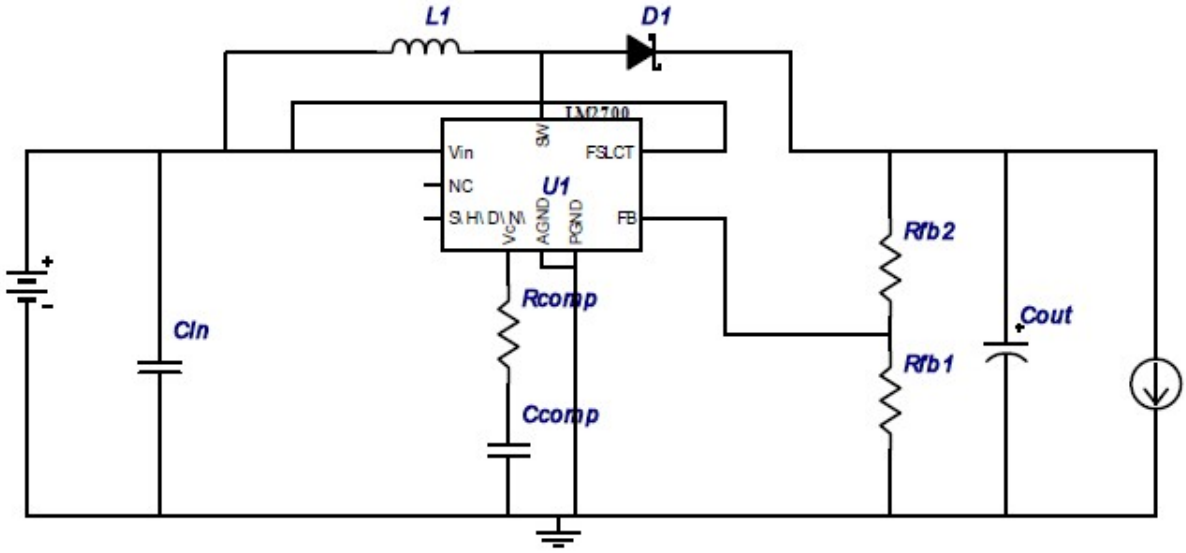
4.2 Návrh měniče

Je několik možností, jak navrhnout DC/DC měnič, jako například: ručně navrhnout celé zapojení, využít již sestaveného návrhu a jen ho přizpůsobit naší aplikaci, nebo využít některý z programů vytvořený pro automatický návrh. V tomto případě jsme zvolili návrhový program, který poskytuje výrobce součástek Texas Instruments na svých webových stránkách.

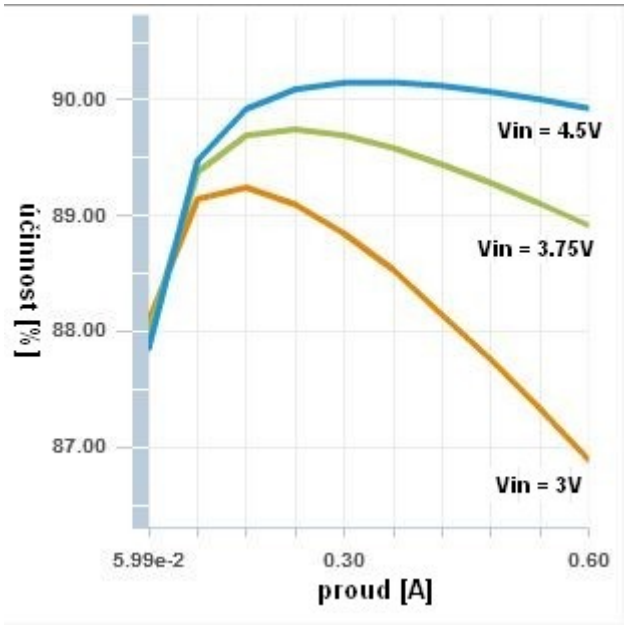
V tomto programu si nastavíme všechny parametry, které po obvodu vyžadujeme, jako je třeba rozsah vstupního napětí, výstupní napětí, výstupní proud, účinnost a další parametry, a program vygeneruje vhodné zapojení i s hodnotami okolních součástek. Pak už si jen stačí vybrat, který obvod a zapojení použijeme.

U každého návrhu je možnost ručně změnit hodnoty součástek, podrobně si prohlédnout různé simulované charakteristiky a některé obvody lze i přímo simulovat u připraveném prostředí.

Námi vybrané zapojení s obvodem LM2700LD-ADJ je na obrázku obr. 10. Zapojení je navržené pro vstupní napětí 3 – 4.5V, výstupní napětí 5V a maximální výstupní proud 700 mA.



Obr 10: Schéma zapojení DC/DC měniče s obvodem LM2700LD-ADJ (převzato z [11])



Obr 11: Účinnost měniče s obvodem LM2700LD-ADJ (převzato z [11])

Jak je vidět na obrázku obr. 11 účinnost měniče, při výstupním proudu 0.3A by měla být okolo 90%.

Jedním z problémů měniče je jeho vlastní spotřeba. Protože není požadováno, aby měnič byl spuštěn neustále tak se nabízí jednoduché řešení tohoto problému a to jeho odpojení či uvedení do úsporného režimu. Jak je vidět na schématu měniče, tak i když uvedeme obvod LM2700LD-ADJ do úsporného režimu obvod bude uzavřen přes cívku a rezistory Rfb1 a Rfb2 a interní baterie se bude touto cestou vybíjet. Účinnější bude odpojit celou část s měničem a připojovat jí pouze, když bude požadováno nabíjení externího zařízení. Nejvýhodnější a nejjednodušší odpojení bude měnič těsně za baterií. Odpojení je provedené mechanickým spínačem, který reaguje na otevření krytu konektorů.

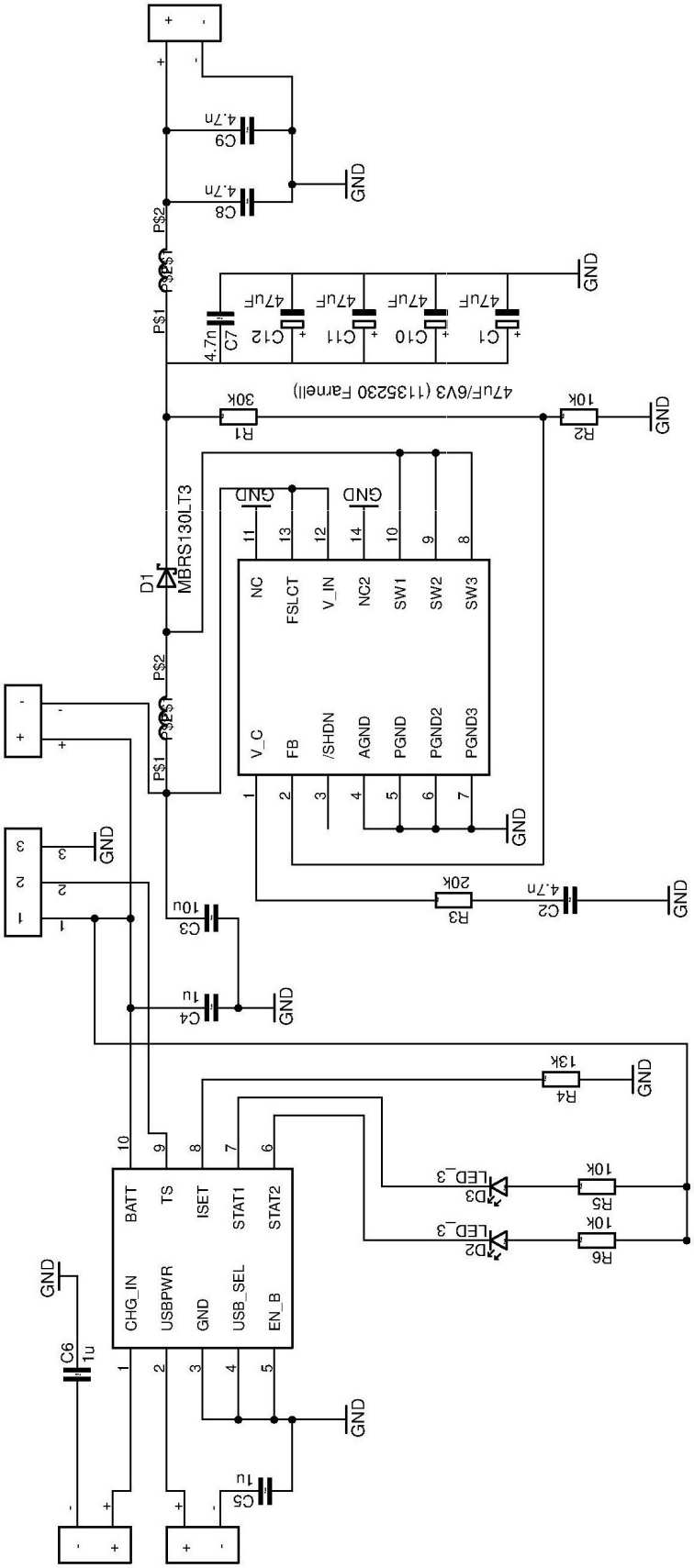
5 Konstrukce a návrh plošného spoje

V této kapitole se bude zabývat návrhem schématu, plošného spoje a jeho samotnou výrobou.

5.1 Návrh schématu

Při návrhu schématu celého zařízení vycházíme z návrhu jednotlivých bloků zařízení viz. výše. Jedná se v podstatě o sériové zapojení jednotlivých bloků s různými konstrukčními prvky jako jsou například konektory pro připojení solárního panelu, vstupních a výstupních konektorů.

Schéma je na obr.12 a je navrhováno v programu Eagle 6.0.0 Light Edition, která je dostupná zdarma na webových stránkách eagle.cz.



Obr 12: Schéma cestovní solární nabíječky s vestavěným akumulátorem

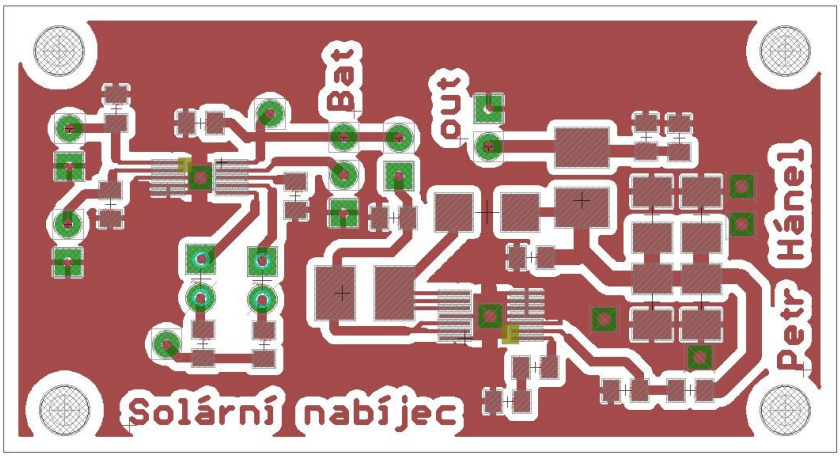
Ke konektoru KON_1 bude připojený solární panel, který bude dodávat energii a přes integrovaný obvod LM3658SD-A bude nabíjet baterii připojenou ke konektoru KON_3. Nabíjecí proud baterie je řízený jediným rezistorem R4. Ke konektoru KON_3 je také připojen termistor baterie který má za úkol chránit baterii před přehřátím. Nabíjení baterie je také možné přes externí zdroj který je možný připojit ke konektoru KON_2. Úpravu napětí, pro napájení mobilního zařízení zajišťuje DC/DC měnič, který je připojený na baterii přes konektor KON_4. Konektor KON_4 přerušuje připojení baterie k měniči, tím je zajištěno, že měnič bude pod napětím pouze, když bude potřeba nabíjet připojené mobilní zařízení. DC/DC měnič je zapojen v topologii boost. K obvodu LM2700LD-ADJ je připojena tlumivka a shottkyho dioda, které společně s výstupním kondenzátorem způsobují vlastní zvýšení napětí. Úroveň na kterou se napětí zvyšuje, určuje poměr rezistorů R1 a R2. Na samotném výstupu je LC článek, který vyhlazuje výstupní napětí. Výstupní napětí je na konektoru KON_5.

5.2 Návrh plošného spoje

U návrhu plošného spoje vycházíme z předchozího schématu. Při návrhu musíme dodržovat základní pravidla návrhu plošných spojů jako jsou například izolační vzdálenost mezi jednotlivými cestami, které musí být vyšší než 0,3mm, což u integrovaných obvodů nelze dodržet, takže z konstrukčních důvodů je izolační vzdálenost zmenšena na 0,27mm. Tyto pravidla pro návrh plošného spoje platí pro výrobu v dílně na ústavu UREL.

Dalším kritériem je délka cesty, kde dochází ke spínání proudu a tím tato část obvodu může tvořit rušivou soustavu s anténou a tím narušovat okolní přenosy na frekvencích blízkým spínanému kmitočtu měniče. Jak je vidět na obrázku obr. 13 kritická část vyzařovacího systému je cesta od integrovaného obvodu přes cívku, diodu a rezistor R1 která v podstatě tvoří anténu pro rušící část, proto je nutné aby tato cesta byla co nejkratší.

Návrh je dělaný opět v programu Eagle 6.0.0 Light Edition. Návrh plošného spoje je na obrázku obr. 13.



Obr 13: Návrh plošného spoje strana TOP, poměr velikosti 2:1

6 Konstrukce krabičky

V této kapitole se budeme zabývat výběrem materiálu, který lze použít na výrobu krabičky a poté samotnou konstrukcí a výrobou.

Na krabičku jsou kladeny nemalé nároky. Je třeba aby krabička byla vodě-odolná, musí být také dostatečně mechanicky odolná, aby chránila veškerou elektroniku. Nesmíme také zapomenout na váhu krabičky, která je také velice důležitá, protože se má jednat o přenosné zařízení.

6.1 Materiál

Výběr materiálu je důležitou částí stavby krabičky. Jsou dvě hlavní oblasti materiálů, mezi kterými musíme volit a to kov a plast. Kov pro tuto aplikaci není vhodný, protože by bylo dosti náročné zajistit aby spoje byly odolné proti dešti a navíc by celé zařízení bylo dosti těžké pro přenosné zařízení. Proto je vhodnější zvolit některý z plastových materiálů.

Z velkého výběru plastových materiálů jsem zvolil houževnatý, zdravotně nezávadný polystyren s názvem PSH určený pro hluboko tažné tvarování tvarování na technické dílce, obaly a technické výrobky. Vyznačuje se zvýšenou tepelnou odolností, výbornou trvanlivostí, zvýšenou odolností vůči poškození rázem, dobrým povrchovým vzhledem. Jedná se vlastně o nástupce plastu ABS, který je možná o něco známější. Rozdíl mezi těmito materiály je v chemické a tepelné odolnosti. PSH se také lépe tvaruje a na jeho zpracování není nutné používat agresivní aceton, takže práce s PSH je pro uživatele méně nebezpečná.

6.1.1 Vlastnosti desek PSH

Vlastnosti materiálu PSH je uveden v přehledné tabulce tab.7. Desky PSH jsou schválené a certifikované pro používání dle normy ČSN EN 2001:9001. Dle této normy jsou provedené i testy vlastností které jsou uvedeny níže dle zdroje [12].

<u>Chemická odolnost</u>

- Nepolární charakter styrenových polymerů /krastren 562/ je příčinou rozpouštění těchto materiálů v organických rozpouštědlech jakou jsou toluen, benzen, heptan, petrolej, terpentýn, aceton.
- Odolává polárním látkám jakou jsou zásady, kyseliny, alkoholy.

Tab. 8 Vlastnosti materiálu PSH

Vlastnosti	Zkušební podmínky	Jednotky
Specifická hmotnost	23ºC	1,04 g/cm^3
Nasákavost vody	-	0,10%
Vrubová houževnatost IZOD	23ºC	90 J/m
Rázová houževnatost IZOD	-	920 J/m
Rázová houževnatost CHARPY	23ºC	100 kJ/m^2
Pevnost při přetížení	23ºC	25 N/mm^2
Tažnost při přetížení	23ºC	40%
Modul elasticity - pevnost	23ºC	2070 N/mm^2
Max. napětí	23ºC	40 N/mm^2
Modul elasticity - pružnost	23ºC	2050 N/mm^2
Součinitel lineární tepelné roztažnosti	-	80 . 10-6/ºC
Tepelná odolnost VICAT a ČSN 64 0521	-	98,00%
Index toku taveniny	G 200ºC - 5kg	3,3 g/10min

6.1.2 Možnosti zpracování materiálů PSH

Desky PSH jde snadno zpracovat běžnými nástroji jako je odlamovací nůž a ocelové pravítko. Řezání pilou se moc nedoporučuje, protože se nástroj rychle zanáší. Desky jdou bez větších problémů vrtat, frézovat, brousit i lepit.

Lepení je nejlepší způsob jak tyto desky spojovat. Nejlepší lepidla jsou ta, která obsahují nepolární rozpouštědla. Naše krabička je lepena pomocí rozpouštědla s názvem technický Perchloretylen. Toto rozpouštědlo lehce naleptá povrch desky PSH a po krátké době se rozpouštědlo vypaří a deska opět zatuhne a spoj drží. [12]

6.2 Konstrukce krabičky

Celá krabička musí být navržena tak, aby bezpečně chránila desku plošného spoje, baterii a konektory proti vnějším vlivům, přitom musí splňovat všechny výše uvedené požadavky. Musí být dostatečně odolná vůči nárazům a otřesům, dále musí být dostatečně tepelně odolná, protože zařízená se bude vystavovat přímému slunečnímu záření. Velice důležitým parametrem pro návrh je vlastní váha krabičky, protože se jedná o přenosné cestovní zařízení, měla by být váha co možná nejmenší.

Rozměry krabičky jsou dány solárním článkem a vlastním plošným spojem, respektive velikostmi součástek. Celý výkres krabičky je kreslený v programu AutoCAD a je zobrazený v příloze A.

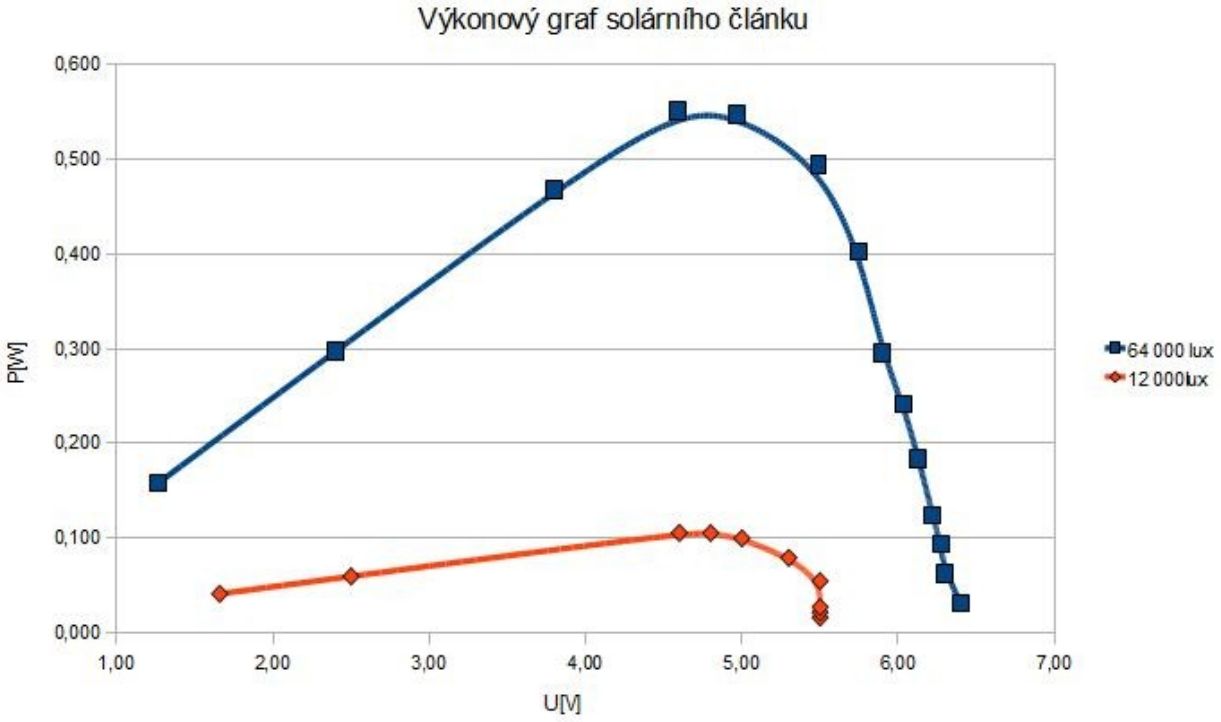
Samotná konstrukce finální krabičky je zobrazena v příloze A2 a celé zařízení váží 240g.

7 Měření

V této kapitole se budeme zabývat měřením a ověřováním jednotlivých parametrů dílčích částí solární nabíječky.

7.1 Solární článek

U solárního článku nás hlavně bude zajímat, jaké napětí a proud je schopný dodat při určité intenzitě světla. Solární článek se chová jako napěťový zdroj, ze kterého je možné odebírat určité nominální napětí a to při různém proudovém odběru. Takto to funguje až do zlomového (kritického) bodu, kde přechází do režimu zdroje proudu. Kritický bod je závislý na intenzitě osvětlení solárního článku viz obr. 14.

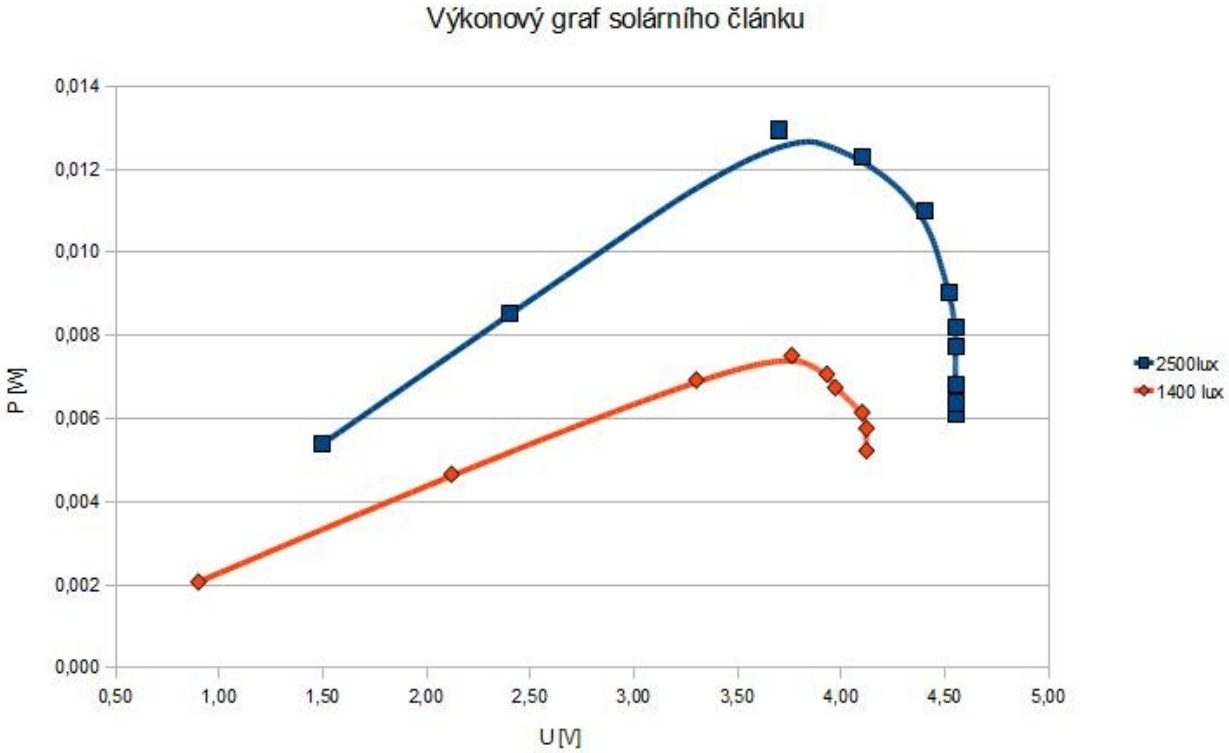


Obr 14: Graf výstupního výkonu solárního článku v závislosti na nastaveném pracovním bodu (zátěží) a intenzitě osvětlení

kde červená křivka znázorňuje výkon dodaný článkem při intenzitě světla 64 000lux, což je intenzita odpovídající plnému slunečnímu osvitu za jasného dne. Druhá křivka, čili modrá, ukazuje dodávaný výkon za intenzity osvětlení 12 000lux, což je intenzita odpovídající počasí, když je pod mrakem. Přehled intenzity osvětlení je v tabulce tab.9 . Dále je z grafu je patrné, že článek dává největší výkon při napětí cca 4,8V.

Tab. 9 Vlastnosti Li-ion akumulátoru (převzato z [13])

110 000 lx	Jasný slunečný den
(25 000 – 10 000) lx	Typický zatažený den (poledne)
500 lx	Požadované vnitřní osvětlení (školy)
200 lx	Extréme oblačno – bouřkové mraky (poledne)
0,25 lx	Měsíční svit (úplněk jasná noc)



Obr 15: Graf výstupního výkonu solárního článku v závislosti na nastaveném pracovním bodu (zátěží) a intenzitě osvětlení

7.2 Nabíjení baterie

V této části se se zaměříme hlavně na průběhy nabíjení a na to, jak se chová obvod při nabíjení malým proudem, který bude dodávat panel při nízké intenzitě osvětlení.

Nejprve se budeme zabývat normální funkcí nabíjení při dostatečně velkém proudu. Nabíjecí obvod LM3658 pracuje v normálním režimu při vstupním proudu nad 80mA. Jelikož jsem funkci tohoto obvodu rozebral již v teoretické části v kapitole 3, nebudu se zde již zabývat jednotlivými částmi samotného nabíjení. V grafu na obrázku obr. 15 je vynesena závislost vstupního proudu a nabíjecího proudu. Je vidět že průběh je lineární a nabíjecí proud je zmenšen jen o odběr samotného nabíjecího obvodu a to o 2 mA.

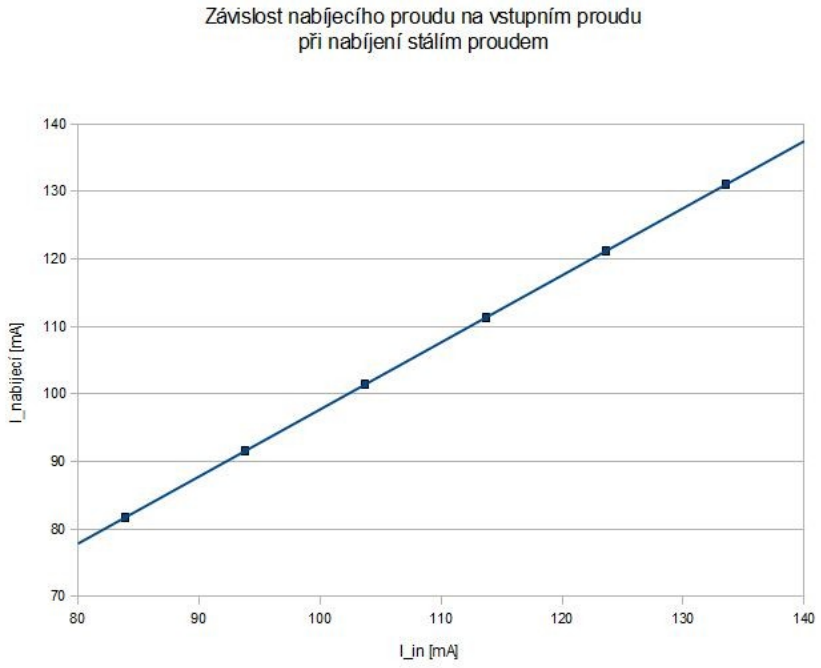
Pro výpočet přibližné doby nabíjení interní baterie s kapacitou 2000mAh postačí jednoduchý vzorec

$$\frac{X}{Y} \cdot 1.2 = \textit{přibližná doba nabíjení}$$

kde X je kapacita baterie v mAh a Y je proud dodávaný nabíječem.

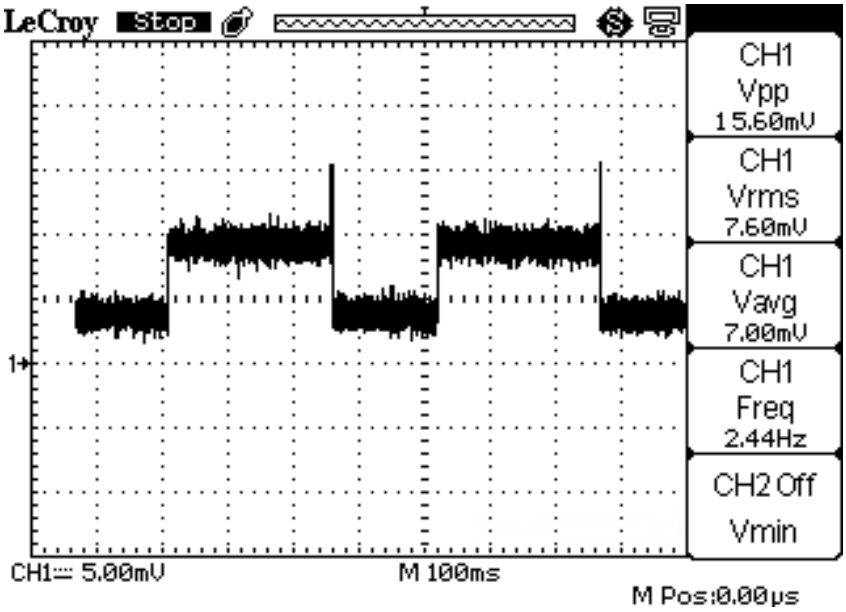
Při průměrném nabíjecím proudu 120mA bude výpočet následovný

$$\frac{X}{Y} \cdot 1.2 = \frac{2000}{120} \cdot 1.2 = 20\,hod$$



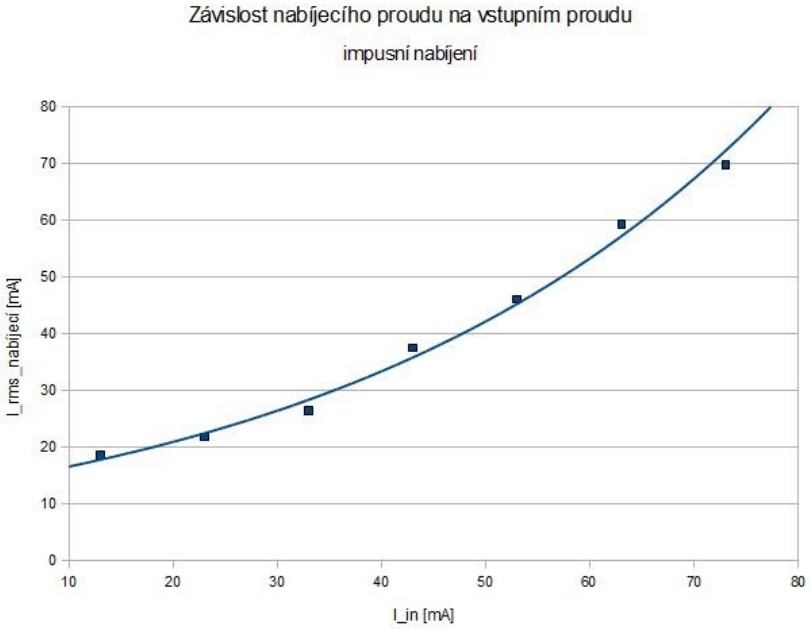
Obr 16: Závislost nabíjecího proudu na vstupním proudu při normální(spojitém) provozu nabíječe

Při malém vstupním proudu, kdy nabíjecí obvod už není schopný nabíjet stálým proudem se obvod přepne do impulsního režimu a nabíjí baterii impulsně. Impulsní průběh nabíjení při vstupním proudu 40mA je vidět na oscilogramu na obr. 16.



Obr 17: Průběh nabíjecího proudu při nabíjení malým vstupním proudem

Průběh je měřen přes pomocný rezistor s odporem 0.1Ω. Díky této funkci obvodu je možné dobíjet i velmi malými proudy a nejsme tudíž omezeni jen na dobré sluneční podmínky. I když při nabíjení takovýmto malým proudem bude plné nabití baterie trvat velice dlouho. Průměrné hodnoty nabíjecího proudu v závislosti na vstupním proudu je zobrazena na obrázku obr.17.



Obr 18: Závislost nabíjecího proudu na vstupním proudu při impulsním provozu nabíječe

Tabulka tab. 9 ukazuje teoretickou dobu nabíjení při různém osvětlení panelu. Hodnoty jsou uvedeny pro nabíjení zcela prázdné baterie a intenzita světla se během doby nabíjení nemění.

Tab. 10 Teoretická doba nabíjení při různém osvětlení během celého ruku

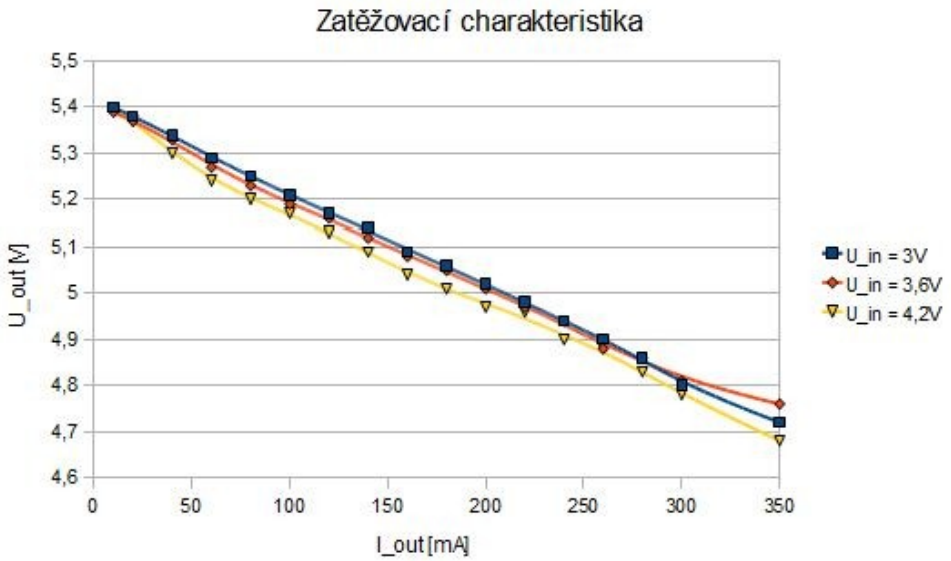
Délka dne v jednotlivých měsících			Počet dní do úplného nabití			
			Osvětlení [lux]			
Měsíc	Hod	min	64000 lux venku, jasno	12000 lux venku zataženo	2500 lux v místnosti u okna	1400 lux v místnosti dalko od okna
Leden	8	32	2,3	12,2	93,6	221
Únor	10	27	1,9	9,9	76,5	180
Březen	12	12	1,6	8,5	65,5	154
Duben	14	7	1,4	7,4	56,7	133
Květen	15	41	1,2	6,6	51	120
Červen	16	24	1,2	6,3	48,7	115
Červenec	15	45	1,2	6,6	50,7	119
Srpen	14	10	1,4	7,3	56,4	133
Září	12	18	1,6	8,4	65	153
Říjen	10	27	1,9	9,9	76,5	180
Listopad	8	28	2,2	11,6	90,9	214
Prosinec	8	4	2,4	12,9	99,2	234

7.3 DC/DC měnič

Zde se budeme zabývat ověřováním vlastností DC/DC měniče. Budou nás zajímat parametry, které se měří i u jakéhokoli zdroje, čili zatěžovací charakteristika, výstupní zvlnění a v neposlední řadě i účinnost měniče.

7.3.1 Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče

Nejprve se podíváme na zatěžovací charakteristiku na obrázku obr.18.



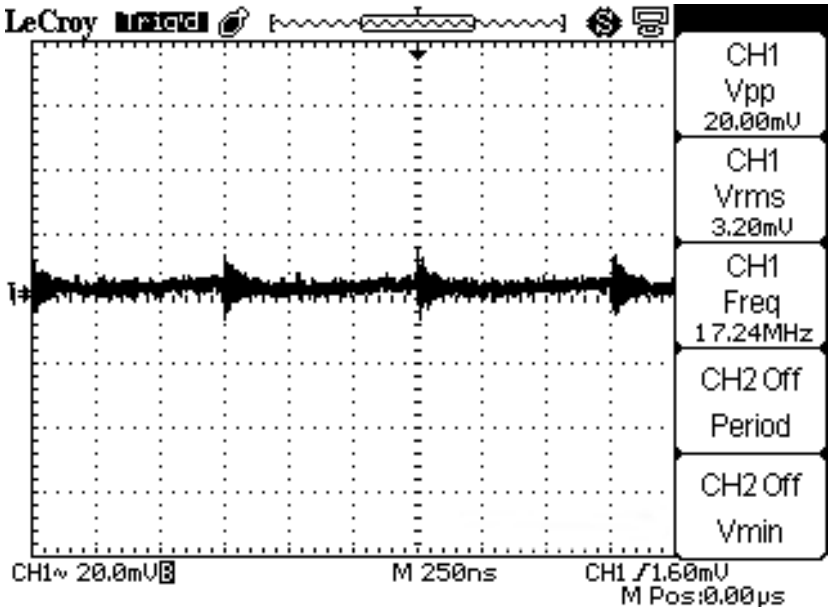
Obr 19: Zatěžovací charakteristika DC/DC měniče

Z grafu je patrno, že pokles výstupního napětí je lineární a klesá o 0,2V každých 100 mA. Vnitřní odpor tohoto zdroje je cca 2Ω. Nezávisle na velikosti vstupního napětí z baterie.

7.3.2 Zvlnění na výstupu DC/DC měniče

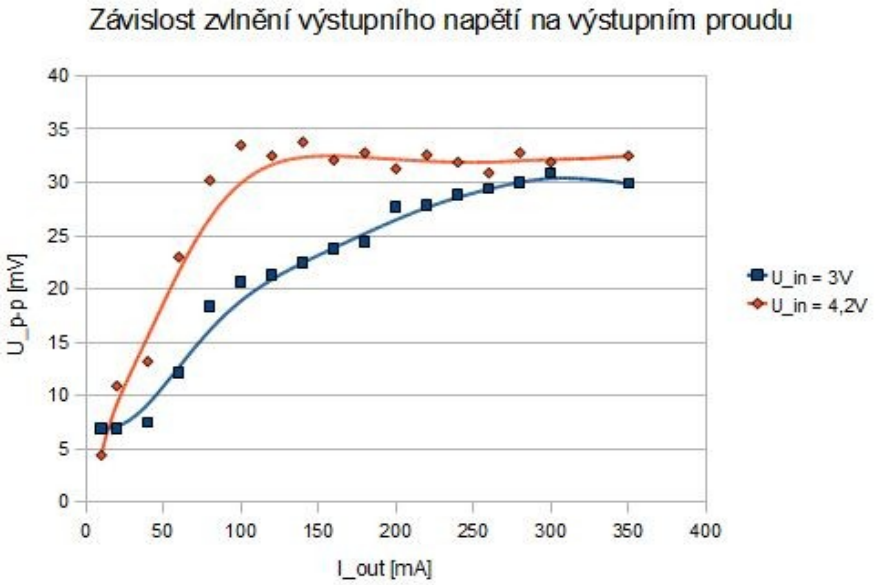
Zvlnění na výstupu měniče je důležitý parametr kvůli rozkmitu výstupního napětí. Kdyby zvlnění bylo moc velké, tak by díky napěťovým špičkám mohlo časem dojít ke zničení připojeného zařízení a také by mohlo vyzařovat rušení na radiových frekvencích vlivem dlouhých připojených vodičů.

Kvůli spínání cívky měniče a spínání celého obvodu se do výstupního signálu dostává rušení. Výstupní zvlnění společně s rušením je zobrazeno na obrázku obr.19. Maximální zvlnění se pohybuje okolo $30mV_{P-P}$. Toto maximální zvlnění se téměř shoduje se zvlněním u teoretického návrhu. Rušení měniče se přirozeně objevuje na výstupu v době sepnutí/rozepnutí tranzistoru s pracovní frekvencí měniče.



Obr 20: Výstupní zvlnění DC/DC měniče pro výstupní napětí 5,17V a výstupní proud 100mA

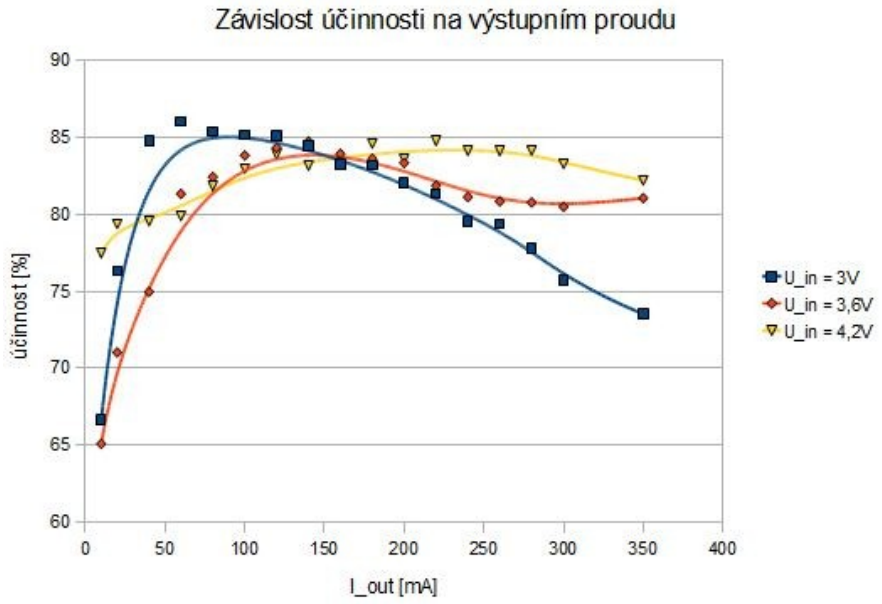
Jednotlivé hodnoty velikosti zvlnění při různém zatížení je zobrazeno v grafu na obrázku obr.20.



Obr 21: Závislost zvlnění výstupního napětí na výstupním proudu

7.3.3 Účinnost DC/DC měniče

Účinnost měniče je hodnota, která udává poměr vstupního a výstupního výkonu. U DC/DC je účinnost jedna z podstatných vlastností která se sleduje. Změřená účinnost měniče je v grafu na obrázku obr. 21.



Obr 22: Závislost účinnosti na výstupním proudu

Jak je vidět na obrázku obr. 21 účinnost dosahuje maximálně 85% a je závislá na odebíraném proudu. Hodnota 85% neodpovídá hodnotám v teoretickém návrhu, v teoretickém návrhu byla předpokládaná maximální účinnost okolo 90%. Tento pokles účinnosti je patrně způsobený vyhlazujícím LC filtrem, který v teoretickém návrhu není zohledněn a také použitím méně kvalitních součástek při výrobě, například výstupní kondenzátor má větší hodnotu ESR než je v návrhu a také je použita cívka s větším odporem vinutí.

8 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout funkční prototyp cestovní solární nabíječky s vestavěným akumulátorem pro nabíjení mobilních zařízení s platformou USB. Konstrukce zařízení musí být řešena tak, aby bylo možné celé zařízení snadno přenositelné a uživatel se o něj v průběhu dne nemusel starat.

Nejprve bylo nutné vybrat vhodnou baterii a nabíjecí obvod pro nabíjení malým proudem, ale tak, aby baterie mohla být neustále připojená k nabíjecímu obvodu. U baterie jsou kladeny požadavky hlavně na měrnou hmotnost a kapacitu. Vybral jsem baterii Li-ion s kapacitou 2000mAh, která poskytuje dostatečnou kapacitu při zachování malé hmotnosti. Tento typ baterií se sice obtížněji nabíjejí, protože je potřeba hlídat více parametrů při nabíjení. Ale tento problém se poměrně snadno vyřešil použitím integrovaného obvodu LM3658, který je přímo určen pro nabíjení Li-ion baterií. Nabíjecí obvod se stará o kompletní management baterie, od hlídání prahových napětí pro ochranu baterie, přes teplotní ochranu baterie až po její stav a nutnou výměnu. LM3658 začíná nabíjet od napětí 4,3V na vstupu a podle velikosti dodaného proudu bude nabíjet buď stálým proudem, nebo pomocí proudových impulzů. Disponuje také dvěma různými napájecími vstupy, čímž je vyřešeno i případné nabíjení interní baterie z rozvodné sítě.

Jak již bylo zmíněno na začátku, primárně se interní baterie bude nabíjet pomocí solárního článku. Největším problémem jen, že rozměrově malé solární články poskytují jen malý výkon. Vybral jsem solární článek od firmy Flajzar o výkonu 1W, který dle parametrů udávaných výrobcem dodává napětím 5,5V a proud 180 mA při rozměrech 90x140x3 mm. Těchto hodnot jsem však při měření parametru nedosáhl. Při plném osvitu za jasného dne je panel schopný dodat nabíjecímu obvodu proud 120 mA při napětí 4,76V.

Potřebné výstupní napětí pro USB platformu zajišťuje DC/DC měnič, který je poslední částí zařízení. Jedná se o měnič typu step-up neboli boost konvertor. Použitý obvod LM2700LD-ADJ spíná cívku s frekvencí 1,25MHz. Dle návrhu by měl mít měnič maximální účinnost okolo 90%. Realizovaný měnič bohužel takové maximální účinnosti nedosahuje. Dle měření měnič dosahuje maximální účinnosti okolo 85%. Pokles účinnosti může být způsobený použitím cívky s větším odporem vinutí a změnou výstupních kondenzátorů s vyšším ESR. Část ztrát je také způsobena použitým LC vyhlazovacím filtrem na výstupu měniče. Výstupní zvlnění dosahuje maximálně 34 $mV_{P-P.}$ Z výše uvedené zatěžovací charakteristiky je vidět, že se jedná o poměrně měkký zdroj napětí s vnitřním odporem 2Ω. Tudíž napětí klesá o 0,2V na každých 100 mA.

Krabička je vyrobena z houževnatého polystyrenového plastu s názvem PSH. Tento plast je dostatečně odolný a lehký pro použití u takovéto aplikace. Díky spojování pomocí leptání se snadno zajistí aby jednotlivé spoje byly odolné i proti vodě. Díky použitému plastovému materiálu PSH má zhotovené zařízení společně s krabičkou váhu pouze 240g.

Literatura

[1] Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D, kapitola 6. Olověné akumulátory. Dostupné z WWW: <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olov.pdf>

[2] Doc. Ing. Vlastislav Novotný, CSc, Napájení elektronických zařízení. Elektronické skriptum. Brno:FEKT VUT v Brně

[3] Jak na baterie NiCd a NiMH. Chip [online]. 2004, č. 7, [cit. 2011-12-20]. Dostupný z WWW: <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Jak-na-baterie/20>.

[4] Battex [online]. 2010 [cit. 2011-12-20]. Hermetické akumulátory. Dostupné z WWW: <http://www.battex.info/?id=4>.

[5] KOSMÁK, František. Princip fotovoltaického článku. Elektrika.cz : elektronické zpravodajství [online]. 3.9.2009, [cit. 2011-12-20]. Dostupný z WWW: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>.

[6] Fotovoltaický článek. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005, last modified on 2011 [cit. 2011-12-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>.

[7] Solartec - minipanely [online]. 2010 [cit. 2011-12-20]. Solartec. Dostupné z WWW: <http://www.solartec.cz/cs/vyroba/minipanely.html>.

[8] LM3658 Dual Source USB/AC Li Chemistry Charger IC for Portable Applications. [s.l.] : National Semiconductor, November 2006. 14 s. Dostupné z WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3658.pdf>.

[9] Texas Instruments [online]. [cit. 2011-12-20]. Battery management. Dostupné z WWW: <http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=analog&familyId=394&uiTemplateId=NODE_STRY_PGE_T>.

[10] DC - DC Converter Tutorial. MAXIM : Innovation Delivered [online]. Nov 29, 2011, TUTORIAL 2031, [cit. 2011-12-20]. Dostupný z WWW: <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/2031>.

[11] WEBENCH® Design Report LM2700LD-ADJ: Design 10 – LM2700LD-ADJ December 19,2011

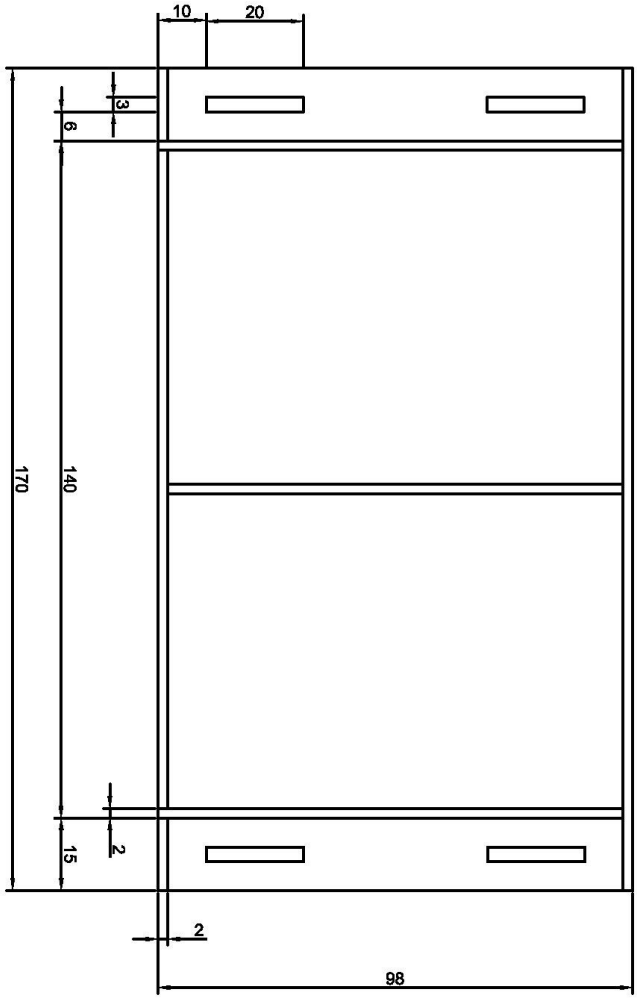
[12] Řempo.net: Informace o materiálech. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://www.technickematerialy.cz/picture/shop/file/Desky_PSH.pdf

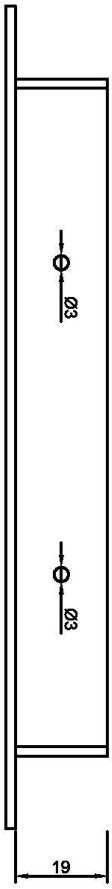
[13] Optika: Učební pomůcka pro studenty. [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://optics.upol.cz/userfiles/file/OPT_PO_CAST_I.pdf

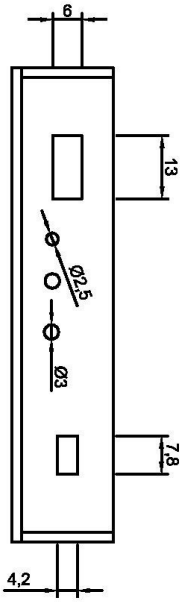
Seznam symbolů, veličin a zkratek

C	kapacita akumulátoru
V	jednotka napětí
A	jednotka proudu
V_L	napětí na cívce,
L	indukčnost cívky
$\frac{di}{dt}$	změna proudu za jednotku času.
t_{ON}	nabíjecí čas
t_{OFF}	vybíjecí čas
V_{IN}	vstupní napětí
V_{OUT}	výstupní napětí
D	pracovní cyklus

Příloha A: Konstrukce krabičky

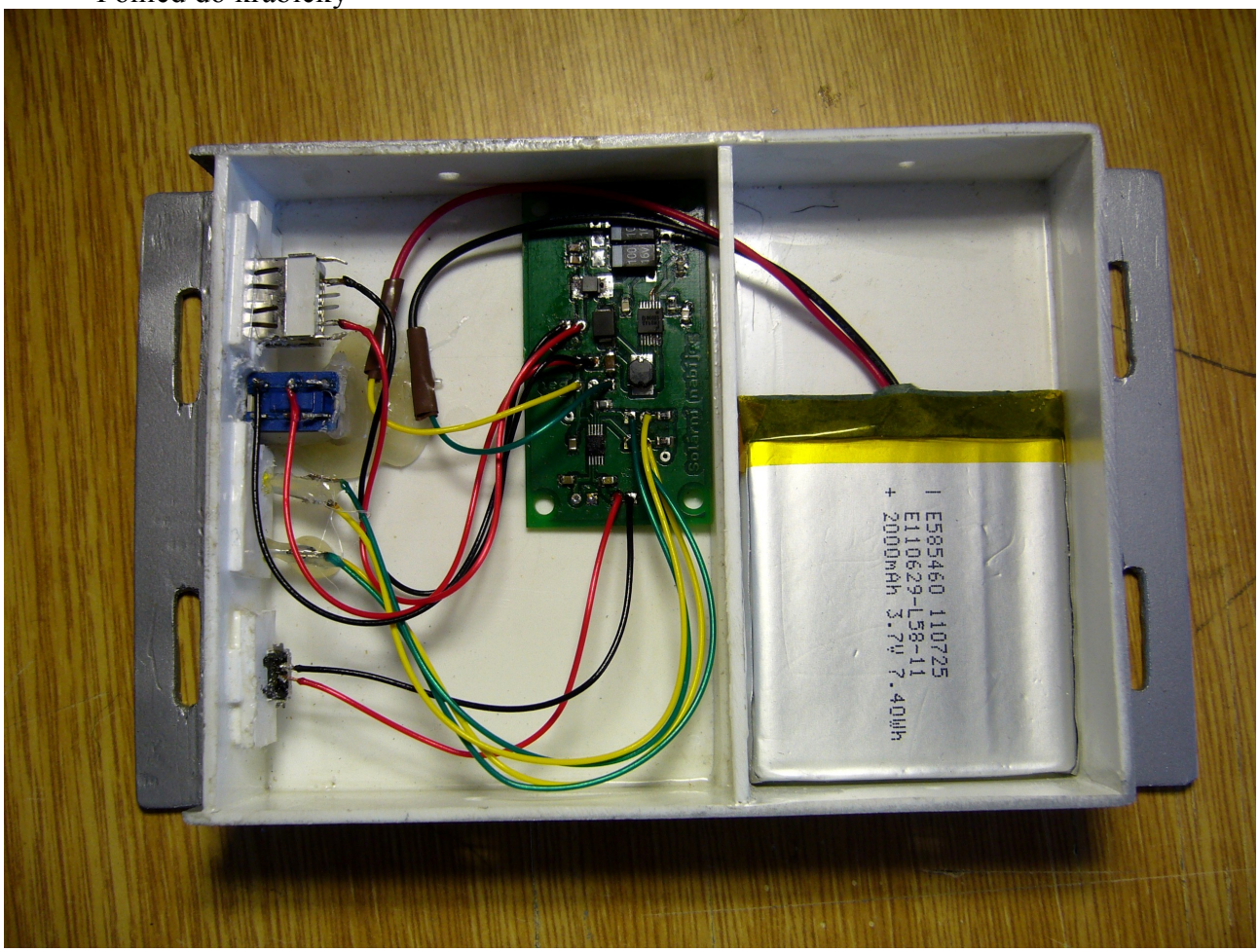




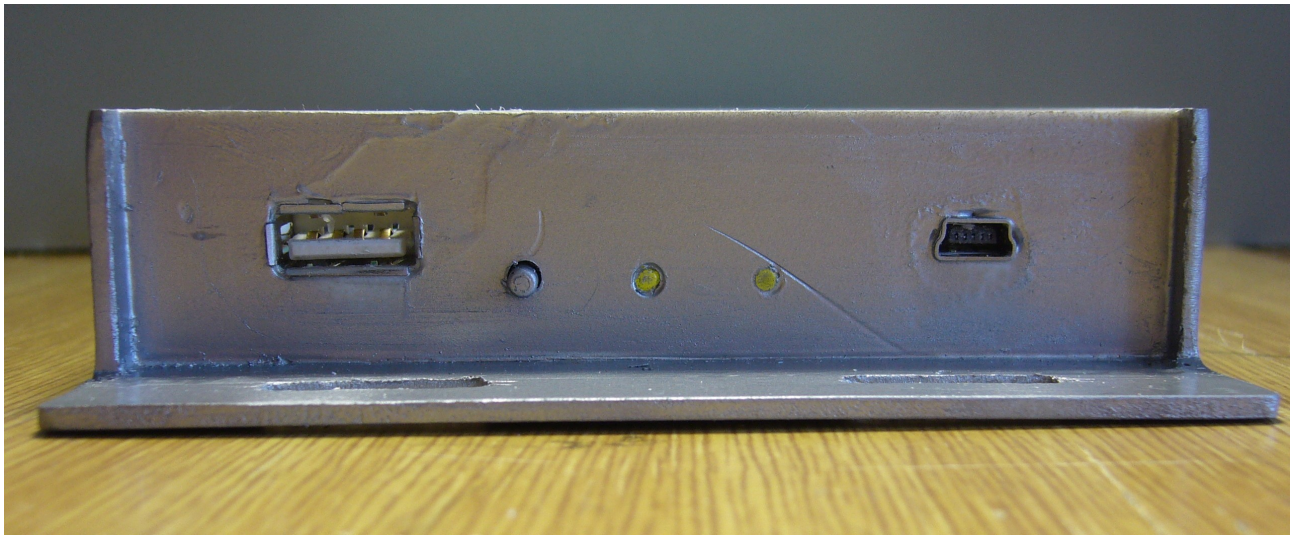


Příloha A2: Fotodokumentace krabičky

Pohled do krabičky



Panel konektorů



Celkový pohled na celé zařízení

Příloha C: Seznam součástek

Značka	Hodnota	pouzdro
C1, C10, C11, C12	47 uF	B/3528-21R
C2, C7, C8, C9	4,7 nF	0805
C3	10 uF	0805
C4, C5, C6	1 uF	0805
D1	STPS2L40U	SMB
D2, D3	led_3mm	led_3mm
L1	4.7 uH	SRR7032
L2	10 nH	SRR7032
R1	30kΩ	0805
R2, R5, R6	10kΩ	0805
R3	20kΩ	0805
R4	13kΩ	0805
IO1	LM2700LD-ADJ	LLP14
IO2	LM3658	LLP10