



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

ZÁLOŽNÍ ZDROJ SE SOLÁRNÍM DOBÍJENÍM

BACKUP POWER SUPPLY WITH SOLAR PANEL CHARGING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL KŘEPELA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KUBÍČEK, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Pavel Křepela

ID: 120698

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Záložní zdroj se solárním dobíjením

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte záložní zdroj pro mobilní zařízení s akumulátorem s možností nabíjení pomocí solárního panelu i síťového zdroje. Seznamte se s vlastnostmi moderních solárních článků a akumulátorů. Vyberte pro danou aplikaci vhodný typ solárního článku i akumulátoru. Navrhněte blokovou strukturu zdroje, vyberte jeho klíčové komponenty a navrhněte kompletní schéma zapojení.

Navrhněte plošný spoj pro záložní zdroj. Zdroj realizujte, oživte a ověřte jeho parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČÍŘÍK, A.: Moderní spínané zdroje, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 1999

[2] NOVOTNÝ, V.: Napájení elektronických zařízení. Skriptum. Brno: VUT FEI v Brně, 1999

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

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

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem tvorby záložního zdroje se solárním dobíjením pro malé mobilní přenosné zařízení (zařízení s USB konektorem). Cílem je vytvořit solární nabíječku, která bude uschovávat energii pro externí zařízení v akumulátoru, ten se bude nabíjet přes solární panel nebo externí napájení. V úvodu se práce zabývá teorií solárních článků a akumulátorů. Dále je popsán výběr vhodných součástek a návrh zapojení. Nakonec je popsána konstrukce a měření vlastností.

KLÍČOVÉ SLOVA

Solární panel, Sluneční energie, Shockley Queisserův limit, Účinnost, Fotovoltaický jev, Monokrystalový článek, Polykystalový článek, Tenkovrstvý článek, Článek kvantovacích teček, Bod maximálního výkonu, SLA, NiCd, Li-ion, NiMH, Li-pol, USB, LTC3105, MAX1811, LTC1308A, nabíjení, měnič, akumulátor, baterie, zdroj.

ABSTRACT

This bachelor's thesis aims to create a backup power source with solar charging for small mobile devices (through USB connector). The charger should store power in a battery that is charged either from external power source or the solar panel. In the introduction, the work deals with the theory of solar cells and batteries. Furthermore, it described the selection of suitable components and design diagram. At the end, it described the construction and properties measurement.

KEYWORDS

Solar panel, solar energy, Shockley Queisser limit, Efficiency, Photovoltaic effect, Monocrystalline cell, Polycrystalline cell, Thin-film cell, Quantum Dot cell, Maximum power point, SLA, NiCd, Li-ion, NiMH, Li-pol, USB, LTC3105, MAX1811, LTC1308A, charging, converter, battery, power supply.

KŘEPELA, P. *Záložní zdroj se solárním dobíjením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Kubíček, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Záložní zdroj se solárním dobíjením jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální 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 ...30.5.2014....

....Křepela.....
(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 30.5.2014.....

..... Křepela.....
(podpis autora)

OBSAH

OBSAH	VI
SEZNAM OBRÁZKŮ	VII
SEZNAM TABULEK	VIII
ÚVOD	- 9 -
1 TEORETICKÉ POZNATKY	- 10 -
1.1. Sluneční energie	- 10 -
1.2. Fotovoltaický článek	- 10 -
1.3. Fotovoltaický jev	- 11 -
1.4. Výpočet účinnosti článku	- 12 -
1.4.1. Shockley Queisserův účinnostní limit	- 13 -
1.5. Typy fotovoltaických článků	- 14 -
1.5.1. Monokrystalové křemíkové články (mono-Si nebo single-crystal-Si)	- 15 -
1.5.2. Polykrytalové křemíkové články (polysilicon nebo multi-crystalline silicon)	- 15 -
1.5.3. Tenko-vrstvé články (thin-film)	- 16 -
1.5.4. Články kvantovacích teček (Quantum Dot Solar Cells)	- 17 -
1.6. Bod maximálního výkonu (MPP)	- 18 -
1.7. Akumulátor	- 18 -
1.7.1. Uzavřený oloveno-kyselinový akumulátor (SLA)	- 19 -
1.7.2. Niklo-kadmiové akumulátory (NiCd)	- 20 -
1.7.3. Lithium-iontové kobaltové akumulátory (Li-ion CoO ₂)	- 20 -
1.7.4. Niklo-metal-hydridové akumulátory (NiMH)	- 21 -
1.7.5. Lithium-polymerové akumulátory (Li-pol)	- 21 -
1.8. Paměťový efekt	- 22 -
2 NÁVRH	- 23 -
2.1. Blokové schéma	- 23 -
2.2. Výběr součástek	- 23 -
2.2.1. Nabíjení pomocí solárního článku	- 24 -
2.2.2. Nabíjení z externího síťového zdroje	- 25 -
2.2.3. Měnič na USB výstup	- 26 -
2.3. Nabíjení Li-ion akumulátorů	- 27 -
2.4. Linear Technology LTC3105	- 28 -
2.5. Maxim Integrated MAX1811	- 30 -
2.6. Linear Technology LT1308A	- 31 -
2.7. DC/DC měnič	- 33 -
2.7.1. Zvyšující měnič	- 33 -
2.8. Výběr RLC a polovodičových součástek	- 34 -
3 REALIZACE	- 36 -
3.1. Kontrolní měření	- 36 -
4 ZÁVĚR	- 41 -
POUŽITÁ LITERATURA	- 42 -
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	- 44 -
SEZNAM PŘÍLOH	- 45 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Roční úhrn záření [1]	- 10 -
Obrázek 2. Fotovoltaický jev [3].....	- 12 -
Obrázek 3. Vývoj a výzkum účinnosti solárních článků [8]	- 14 -
Obrázek 4. Monokrystalový článek [11].....	- 15 -
Obrázek 5. Polykrystalový článek [10]	- 16 -
Obrázek 6. Tenko-vrstvý článek [12].....	- 17 -
Obrázek 7. Graf zjištění MPP [14].....	- 18 -
Obrázek 8. Blokové schéma.....	- 23 -
Obrázek 9. Nabíjení Li-ion akumulátoru [27].....	- 28 -
Obrázek 10. Blokové schéma LTC3105 (čísla souhlasí s jiným pouzdem)[21].....	- 29 -
Obrázek 11. Průběhy režimů LTC3105 [21].....	- 30 -
Obrázek 12. Blokové schéma MAX1811 [23].....	- 31 -
Obrázek 13. Blokové schéma LT1308A [26]	- 32 -
Obrázek 14. Zvyšující měnič	- 34 -
Obrázek 15. Součástky a vodivé cesty	- 36 -
Obrázek 16. Absolutní hodnota výstupního napětí v závislosti na zátěži.....	- 37 -
Obrázek 17. Výstup naprázdno, akumulátor na 4 V	- 37 -
Obrázek 18. Zatížený výstup, akumulátor 4 V.....	- 38 -
Obrázek 19. Výstup naprázdno, akumulátor 3,5 V	- 38 -
Obrázek 20. Zatížený výstup, akumulátor 3,5 V.....	- 38 -
Obrázek 21. Účinnosti výstupního měniče v závislosti na zátěži	- 39 -
Obrázek 22. Účinnost měniče ze solárního článku do akumulátoru pro různé hodnoty osvětlení	- 39 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Srovnání článků předních výrobců pro rok 2012 [5]	- 11 -
Tabulka 2. Porovnání typů akumulátorů pro rok 2011 [15].....	- 19 -
Tabulka 3. Časy nabíjení článku pro různé zdroje	- 40 -
Tabulka 4. Provozní doby výstupního měniče	- 40 -

ÚVOD

Cílem této práce je pojednat o možnostech zapojení záložního zdroje se solárním dobíjením (dále jen záložní zdroj) pro zařízení napájené pomocí USB konektoru. Hlavním cílem je výběr vhodných součástí, konstrukce a ověření navrhovaných vlastností.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole je rozebrán fotovoltaiický jev, typy fotovoltaiických článků a akumulátory. Následně jsou vybrány vhodné součástky, solární článek, akumulátor a navrženo zapojení obvodu. V závěru je rozepsána konstrukce zařízení a ověření navrhovaných vlastností.

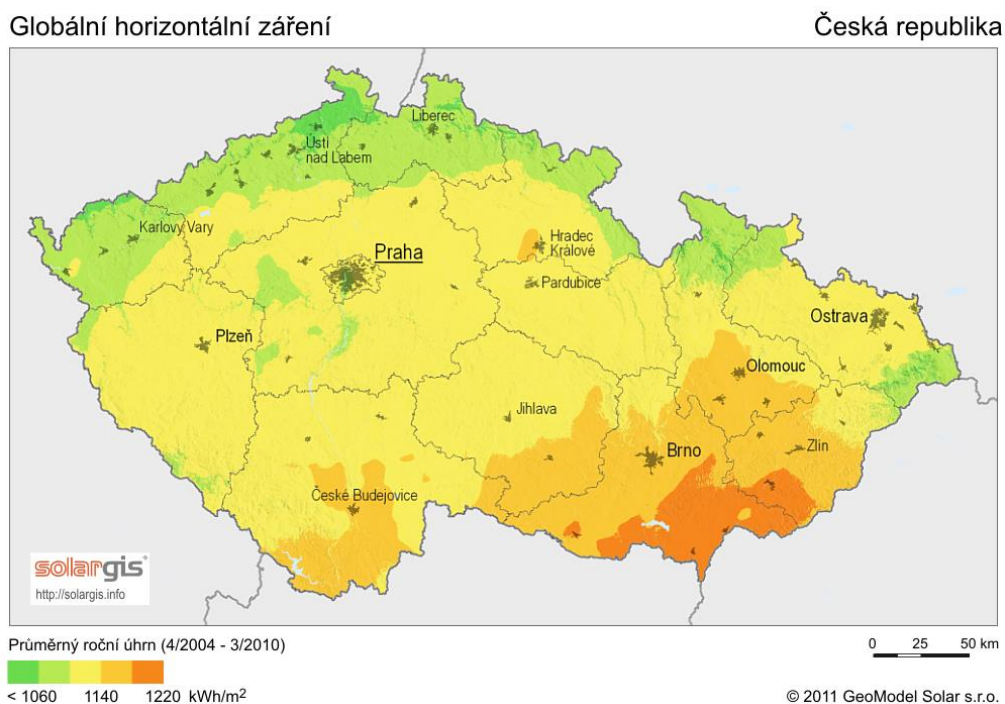
1 TEORETICKÉ POZNATKY

Záložní zdroj se solárním dobíjením bude primárně získávat energii ze slunečního záření pomocí solárního článku. Touto energií se bude dobíjet vnitřní akumulátor. Ten pak bude napájet výstupní měnič, který umožní nabíjet malé přenosné zařízení pomocí USB konektoru. Akumulátor může být nabit i přes měnič z externího síťového zdroje.

1.1. Sluneční energie

Sluneční energie je energií elektromagnetického záření. Vzniká jadernými přeměnami v nitru Slunce. Vzhledem k tomu, že vyčerpání zásob vodíku na Slunci je očekáváno až v řádu miliard let, je tento zdroj energie označován jako obnovitelný. Pro naše účely využijeme jen část infračerveného spektra směrem ke gama záření (bude vysvětleno níže).

Příkon záření dopadajícího na povrch zemské atmosféry činí $1\,367\text{ W/m}^2$. Toto množství se nazývá solární konstanta. Na našem území dosahuje průměrná intenzita slunečního záření hodnoty kolem 620 W/m^2 . Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje kolísání ve velikosti solární konstanty přibližně 3 % (asi 40 W/m^2). Malé změny solární konstanty jsou též spjaté s cykly sluneční aktivity, ty ale dosahují maximálně desetin procenta. Skutečná hodnota této konstanty dopadající na povrch země je 51% její hodnoty. [1]



Obrázek 1. Roční úhrn záření [1]

1.2. Fotovoltaický článek

Fotovoltaický (nebo-li solární či sluneční) článek je obecně složen z mnoha polovodičových diod, na jejíž PN přechod může dopadat sluneční záření. Základem je krystalický křemík typu P, vespod je vodivá mřížka. Nahoře se difúzí vytvoří několik nanometrů tlustá vrstva

polovodiče typu N. Na této vrstvě jsou sítotiskem vytvořeny kontakty. Ve vrstvě N je přebytek záporných elektronů, ve vrstvě P jich je nedostatek, tomuto jevu se říká tzv. kladné díry. Mezi těmito vrstvami je přechod PN. Ten brání přechodu elektronů mezi vrstvami. Základem PN přechodu je to, že volné elektrony mohou snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, ale v opačném směru ne. Tuto strukturu vidíme v první části Obrázek 2.

Tabulka 1. Srovnání článků předních výrobců pro rok 2012 [5]

Výrobce	Účinnost	Typ článku
Sunpower	22.5%	Maxeon Cell Technology
Sanyo Electric	20.2%	HIT Solar Cell Structure
JA Solar	20.0%	JAC M6SL Secium
Suntech	19.7%	Pluto Cell
Suniva	19.4%	ARTisun Select
Shinsung Solar Energy	19.4%	SH-1940S3
E-Ton	19.3%	Mono Cell 3BB
Motech	19.2%	XS156B3-200R X-Cells
Neo Solar Power	19.2%	Perfect 19
Solartech Energy	19.1%	SR-156-3

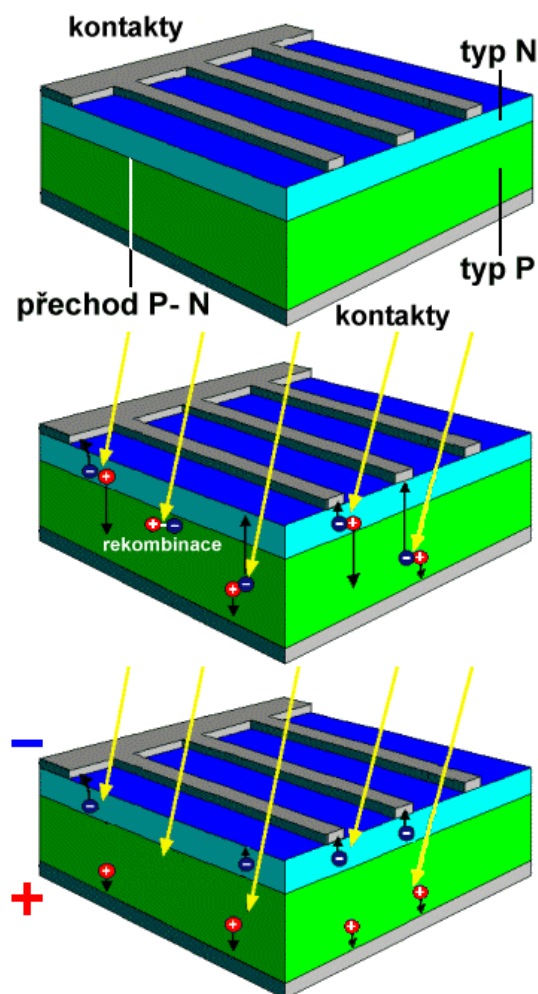
1.3. Fotovoltaický jev

Foton je elementární částicí elektromagnetického záření. Jeho energie závisí na vlnové délce. Pro uvolnění elektronů z krystalové křemíku musí mít fotony minimální energii o hodnotě 1,12 eV. Této energii dle vzorce 1 odpovídá vlnová délka 1 105 nm - infračervené záření. Fotony o menší vlnové délce mají dostatek energie a mohou elektrony uvolnit. Záření o větší vlnové délce fotovoltaický jev nevyvolá.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad [\text{eV}] \quad (1)$$

kde: E – energie fotonu (minimum 1,12 eV), h - Planckova konstanta ($4,1357 \cdot 10^{-15}$ eVs),
c – rychlost světla ve vakuu ($299792458 \text{ ms}^{-1}$), λ – vlnová délka (maximum $1,105 \cdot 10^{-6}$ m).

Dopadá-li elektromagnetického záření na povrch fotočlánku, předávají fotony energii atomům v krystalovém křemíku a uvolňují z ní elektrony. Kdyby zde nebyl PN přechod, přecházely by elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku, fotočlánek by nefungoval jako zdroj. Elektrony by se spojovaly s děrami, docházelo by k rekombinaci. Přechod PN zabraňuje volnému přechodu elektronů vrstvy N do vrstvy P, ty se hromadí ve vrstvě N. Elektrony uvolněné elektromagnetickým zářením ve vrstvě P mohou přes přechod PN přecházet do vrstvy N a počet elektronů se v ní dále zvyšuje. To je zobrazeno v druhé části Obrázek 2. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi vrstvami elektrické napětí o velikosti kolem 0,6 V. Viz poslední část Obrázek 2.



Obrázek 2. Fotovoltaický jev [3]

Připojíme-li mezi kontakty fotočlánku spotřebič, tak elektrony nahromaděné v horní vrstvě projdou přes spotřebič ke spodnímu kontaktu, obvodem začne procházet elektrický proud, jak je zobrazeno na poslední části Obrázek 2. Fotovoltaický jev [3] Proud teče obvodem do doby, dokud se uvolňují elektrony, nebo-li dokud na povrch fotočlánku dopadá elektromagnetického záření.

1.4. Výpočet účinnosti článku

Účinnost článku je dána poměrem maximálního možného výkonu článku k světelnému výkonu dopadajícího na článek dle vztahu:

$$\eta = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_s(x)} \quad [\%] \quad (2)$$

kde J_{sc} je ftoproud nakrátko, V_{oc} je fotonapětí naprázdno, FF je faktor plnění, P_s světelný výkon dopadající na článek pro vzdálenost x . Ftoproud nakrátko určíme:

$$J_{sc} = q \int b_s(E) QE(E) dE \quad [A] \quad (3)$$

kde q je elektrický náboj ($1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), $b_s(E)$ je dopadající spektrální hustota toku fotonů (počet fotonů v rozsahu E až $E + dE$), $QE(E)$ je pravděpodobnost, že dopadající foton energie doručí jeden elektron do externího obvodu (QE je kvantová účinnost - závisí na absorpčním koeficientu materiálu solárního článku, účinnosti nabíjecí separace a účinnosti nabíjecího sběru), E je energie fotonu. Pro výpočet účinnosti potřebujeme znát i fotonapětí naprázdno:

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{J_{SC}}{J_0} + 1 \right) \quad [\text{V}] \quad (4)$$

kde J_0 je konstanta, k je Boltzmannova konstanta ($8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}$), T je teplota v K. Dále potřebujeme znát faktor plnění:

$$FF = \frac{J_M V_M}{J_{SC} V_{OC}} \quad [-] \quad (5)$$

kde J_M je maximální fotoproud, V_M je maximální fotonapětí. A poslední neznámou je Světelný výkon dopadající na článek pro vzdálenost x :

$$P_s(x) = S \cdot p(\text{ref}) \cdot \frac{J_{SC}(x)}{J_{SC}(\text{ref})} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde S je plocha článku, p je intenzita osvitů daná pro referenční vzdálenost.

Nejvyšší vliv na účinnost článku má tedy polovodičový materiál a PN přechod.

1.4.1. Shockley Queisserův účinnostní limit

V roce 1961 pánové William Shockley a Hans Queisser vypočetli limit účinnosti vyráběných článků, jakožto procenta konvertovaného světelného výkonu slunce do elektrické energie při standardních testovacích podmínkách. Tato podmínka znamená odpolední slunce na jaře nebo podzimu na území USA. Hodnota je tedy 33% pro křemíkové solární články. Nejmodernější křemíkové články dosahují účinnosti 25% (Universita v New South Wales v Sydney). Komerčně prodávané články dosahují 20% účinnosti.

Kam se vytratí zbylých 67% účinnosti?

- 47% solární energie je přeměněno na teplo.
- 18% projde skrz solární článek.
- 2% se ztratí v rekombinaci děr a elektronů.

Omezující faktory SQ limitu:

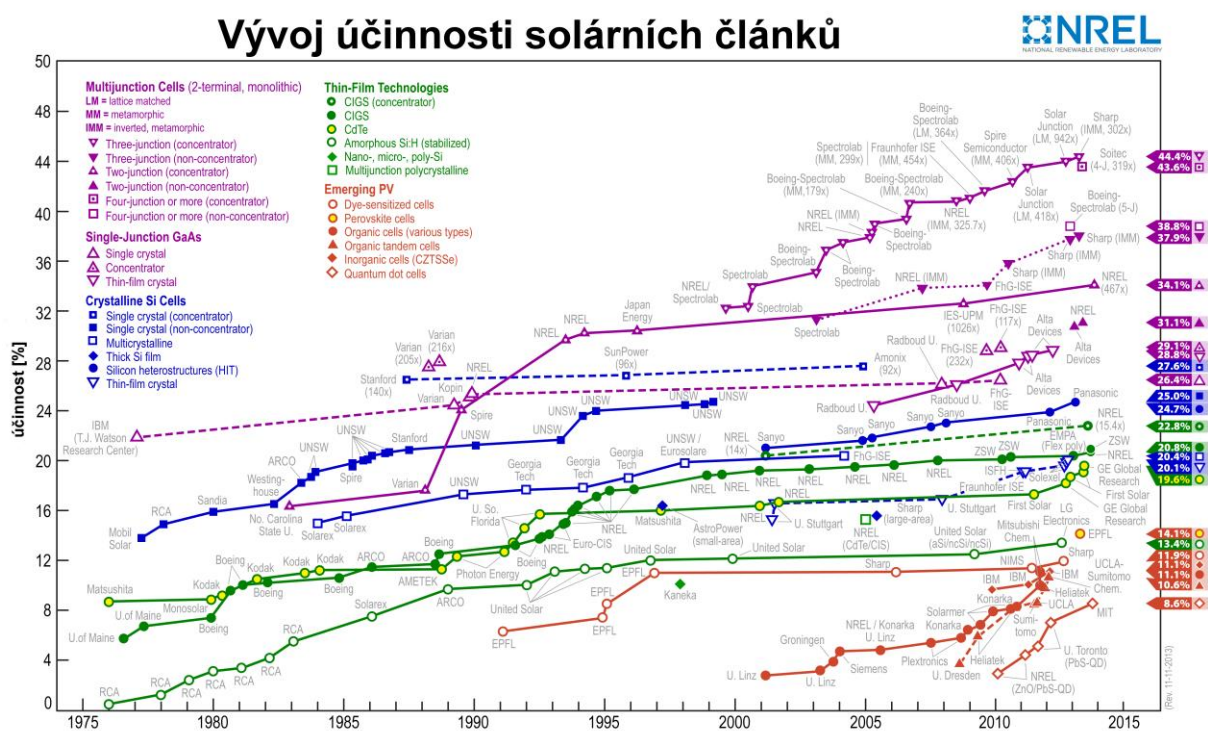
- Jeden použitý polovodičový materiál
- Jeden PN přechod na článek.
- Sluneční záření není koncentrované.
- Energie je přeměněna na teplo z fotonů o větší energii, než je limit.

Způsoby překročení SQ limitu:

- Využití Tandemových článků (s více přechody) – možnost dosažení až 49% účinnosti u tří-přechodových článků.
- Koncentrace okolního slunečního světla jen na solární článek – dosažení až 50% účinnosti.
- Kombinace fotovoltaiky s tepelnou technologií, tzv. PETE (fotonově vylepšená termionická emise) – pro vysoké teploty, lze dosáhnou účinnosti až 45%.
- Využití Kvantovacích teček v polovodiči – technologie budoucnosti, spodní limit účinnosti je 30%.

Aktuálně zkoumané technologie:

- Více přechodové články
- Jedno-přechodové GaAs články
- Tenko-vrstvé technologie
- Organické články
- Články kvantovacích teček
- Další speciální



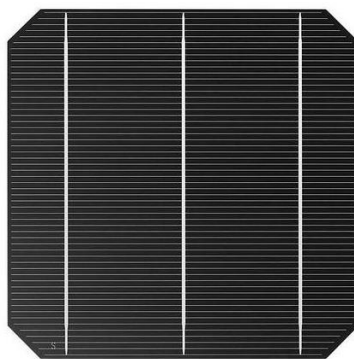
Obrázek 3. Vývoj a výzkum účinnosti solárních článků [8]

1.5. Typy fotovoltaických článků

Téměř 90% světových fotovoltaických článků je založeno na bázi křemíků. První generace panelů byla tvořena z křemíku nebo germania, které byly obohaceny fosforem nebo bórem v PN přechodu. Křemík měl vysokou účinnost, ale vyžadoval velkou čistotu – cena byla velmi vysoká vůči účinnosti.

1.5.1 Monokrystalové křemíkové články (mono-Si nebo single-crystal-Si)

Články jsou tvořeny z jedno-krystalového křemíku. Vyžadují velmi čistý křemík. Vyrábějí se z křemíkových ingotů válcovitého tvaru. Pro optimalizaci výkonu a ceny jednoho článku jsou čtyři strany válcovitého ingotu uříznuty k vytvoření křemíkové desky.



Obrázek 4. Monokrystalový článek [11]

Výhody

- Mají vysokou účinnost a to díky vysoké čistotě křemíku. V rozsahu od 15% do 21%.
- Jsou prostorově efektivní, v poměru dodávaného výkonu na plochu panelu.
- Mají nejdelší životnost a to až 25 let.

Nevýhody

- Jsou nejdražší.
- Velice náchylné na zakrytí stínem, špínou, sněhem nebo listí.
- Výroba Czochralského procesem má vysokou míru odpadu (stříhání).
- Teplotně náchylné – účinnost se mění s teplotou okolí.

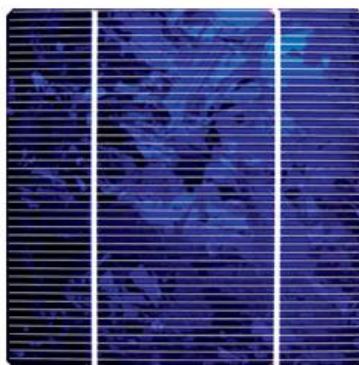
Např. Suniva ARTsun 19.20

- Technologie: monokrystalová
- Rozměry: 156x156 mm
- Max. výkon: 4,6 W při 0,54 V a 8,54 A

Do druhé generace patří i amorfní křemíkové články. U nich se do křemíku zavádí vodík pro snadnější obohacování bórem a fosforem. Vrstvy jsou vytvořené od shora v tomto pořadí: kovový kontakt, N vrstva, vnitřní vrstva, P vrstva, průhledný kontakt, skleněný substrát. Tyto články jsou velmi drahé a účinnost klesá, pokud jsou vystaveny slunečnímu svitu, to způsobuje vnitřní vrstva. Tento efekt lze zmírnit vytvořením několika tenkých vrstev.

1.5.2. Polykrystalové křemíkové články (polysilicon nebo multi-crystalline silicon)

Tyto více-krystalové křemíkové články byly představeny v roce 1981. Využívají antireflexní vrstvu, která zachycuje záření s větší vlnovou délkou, než je velikost článku. To je provedeno pomocí materiálů s texturovaným povrchem přední i zadní části článku. Světlo tedy změní směr a je odraženo. Pro výrobu není potřeba Czochralského procesu. Křemík se roztaví a nalije do čtvercové formy, pak se ochladí a rozřeže na čtvercové desky.



Obrázek 5. Polykrystalový článek [10]

Výhody

- Proces výroby polykrystalu je jednodušší a levnější.
- Jsou méně náchylné na teplotu okolí, narozdíl od monokrystalů.

Nevýhody

- Účinnost je menší vůči monokrystalu a to 13% až 16% - nepoužívá se tak čistý křemík.
- Nejsou prostorově efektivní.
- Esteticky nezapadají do okolí.

Např. **Solarland SLP005-12**

- Technologie: polykrystalová
- Rozměry: 222x270 mm
- Max. výkon: 5 W při 17,0 V a 0,29 A

Jedna z technologií výroby polykrystalů je řetězo-pásková (string ribbon) technologie, kdy je do roztaveného křemíku vložen teplotně odolný drát. To vytvoří tenké křemíkové pásy. Výhodou je poloviční spotřeba křemíku oproti monokrystalům, na pohled vypadají jako monokrystalové články, ale jsou nejméně prostorově efektivní. Firma používající tuto technologii, Evergreen Solar, zbankrotovala.

1.5.3. Tenko-vrstvé články (thin-film)

Vznikají uložení jedné nebo několika tenkých vrstev fotovoltaického materiálu na substrát. Dle tohoto materiálu se dělí na:

- Amorfni křemíkové (a-Si)
- Kadmium teluridové (CdTe)
- Měděno indium galium selenidové (CIS nebo CIGS)
- Organicko fotovoltaické (OPC)

Jejich účinnost se dle technologie pohybuje v rozmezí od 7% až do 13% (budoucí články až 16%).



Obrázek 6. Tenko-vrstvý článek [12]

Výhody

- Masové produkce je jednoduchá a levná.
- Jsou estetické.
- Mohou být vytvořeny i ohebné.
- Nejsou náchylné na stín a teplotu okolí.

Nevýhody

- Jsou velmi prostorově náročné – při stejné ploše jsou méně efektivní než ostatní technologie.
- Malá životnost.

Např. **PowerFilm PT15-300**

- Technologie: tenko-vrstvá
- Rozměry: 325x270 mm
- Max. výkon: 3 W při 15,0 V a 0,2 A

Kadmium teluridové články jsou více finančně efektivní, než polykrystalové technologie. Jejich účinnost je 10%. Měděno indium galium selenidové obsahují nejméně toxických látek ze všech tenko-vrstvých technologií, účinnost je 11%. Mnoho tenko-vrstvých technologií je stále ve výzkumu a mají velice velký potenciál pro budoucí využití.

Třetí generace je zatím jen zkoumaná, prognózy ale říkají, že dosáhnou účinnosti až 44% a to použitím například: více-přechodových článků (využijí různé vlnové délky), užitím neorganických materiálů nebo Galium-Arsenidu.

1.5.4. Články kvantovacích teček (Quantum Dot Solar Cells)

Vyrábějí se z polovodičů (křemíku) povlečených velmi tenkou vrstvou kvantovacích teček – krystalů v průměru několika nanometrů. Tyto krystaly jsou smíchány v roztoku a umístěny na kus křemíku, který velmi rychle rotuje. Krystaly se pak šíří ven v důsledku odstředivé síly. Důvod pozornosti této technologie je, že normálně jeden foton vytrhne jeden elektron a ten vytvoří jeden elektrono-děrový pár. Ztracená energie je rovna originální energii fotonu minus energii potřebné k odtržení elektronu. Pokud ale foton zasáhne kvantovací tečku vyrobenou ze stejného materiálu, může vytvořit několik elektrono-děrových párů, většinou dva až tři, ale byl zaznamenán i počet 7.

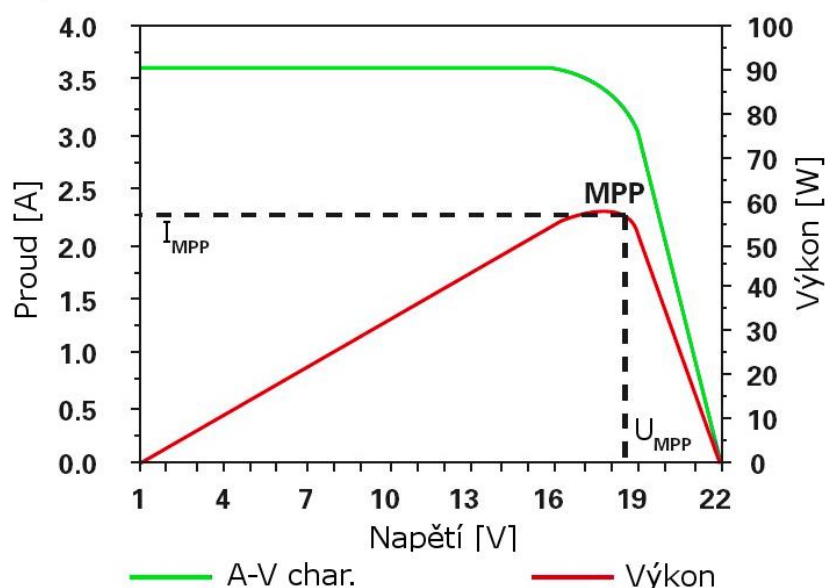
1.6. Bod maximálního výkonu (MPP)

Výkon dodaný fotovoltaickým systémem jednoho nebo více článků je závislý na ozáření, teplotě a proudu článku. Sledování bodu maximálního výkonu (MPPT) je použito pro dosažení maximálního výkonu z těchto systémů pro napájení elektromotorů, nabíjení baterií nebo dalších zátěží. Existuje několik metod sledování tohoto bodu:

- Konstantním napětím (nejjednodušší, nastaví se jedno napětí, využije kolem 80% max. výkonu, možno i teplotně kompenzovat termistorem)
- Napětím naprázdno (k výpočtu napětí je použito napětí naprázdno, teplotní i ozařovací kompenzace)
- Proudem nakrátko (krátké pulzy proudu nakrátko, potřeba sekundárního zdroje napětí)
- Záchvěvy a sledováním (sledování změny výstupního výkonu změnou vstupního napětí nebo proudu, nebezpečí oscilace a nastavení špatného bodu při slabém ozáření, ozařovací kompenzace)
- Inkrementací konduktance (maximální výkon je dodán, když je okamžitá konduktance rovna negativní hodnotě inkrementace konduktance, vhodné pro rychlé změny ozáření, náchylné na šum)
- Teplotou
- Teplotními parametry

Spousta systémů používá kombinaci těchto metod ať už pro nalezení počátečních podmínek nebo pro různé hodnoty ozáření. Nejlepší volbou je vždy přesnější metoda, než rychlejší, rychlé metody často neurčí maximum přesně a to kvůli šumu ve výkonových obvodech.

Amper-Voltová charakteristika fotovoltaického článku



Obrázek 7. Graf zjištění MPP [14]

1.7. Akumulátor

Jelikož se na sluneční záření nelze spolehnout, jsou do solárních záložních zdrojů přidávány akumulátory. Systém funguje tak, že přes den se nabíjí akumulátor, ten uchovává energii. Připojené zařízení je tak nabíjeno jak ze solárního článku, tak i z akumulátoru, který dodává velkou část energie – nabíjení je proto rychlejší. Jelikož má být solární záložní zdroj

přenosný, lze vybrat z několika druhů (technologií) akumulátorů: SLA (olověné), Ni-MH, Ni-Cd, Li-Ion nebo Li-Pol.

Tabulka 2. Porovnání typů akumulátorů pro rok 2011 [15]

Specifikace	Jednotka	Olověné	NiCd	Li-ion (Co)	NiMH	Li-pol
Měrná energie	Wh/kg	30 - 50	45 - 80	150 - 260	60 - 120	110 - 200
Vnitřní odpor	mΩ	<100 (12V)	100 - 200 (6V)	150 - 300 (7,2V)	200 - 300 (6V)	200 - 300 (7,2V)
Počet dobíjení 1)	cykly	200 - 800	1000 - 2000	500 - 1500	300 - 100	300 - 1000
Rychlé nabíjení	hodiny	8 - 16	1	2	2 - 4	2 - 4
Přebíjecí tolerance		Velká	Střední	Malá	Malá	Malá
Samovybíjení 2)	%/měsíc	3 - 20	10 - 20	5 - 10	2 - 30	5 - 10
Nominální napětí článku	V	2	1,2	3,7	1,2	3,7
Ukončovací nabíjecí napětí 3)	V/článek	2,4	Vlastní detekce	4,2	Vlastní detekce	4,2
Ukončovací vybíjecí napětí 3)	V/článek	1,75	1	2,5 - 3	1	2,5 - 3
Špičkový zatěžovací proud	C	5	20	>3	5	>2
Teplota nabíjení	°C	-20 až 50	0 až 45	0 až 45	0 až 45	0 až 45
Teplota vybíjení	°C	-20 až 50	-40 až 70	-20 až 60	-20 až 65	0 až 60
Nutnost údržby 4)		3 až 6 měsíců	30 až 60 dnů	není potřeba	3 až 6 měsíců	není potřeba
Ochrana 5)		teplotní stabilizace	tep. stab., fuzní ochrana	napětíová	tep. stab., fuz. ochr.	napětíová
Vynalezen		1859	1899	1970	1989	1997
Toxicita		Velmi vysoká	Velmi vysoká	Malá	Malá	Malá

Poznámky:

1. Pro pokles kapacity na 80%.
2. Olověné: plné nabití, NiCd: největší samovybíjení je hned po nabití, tato hodnota je vysoká při prvních 24 hodinách, pak se pohybuje pod 10% za měsíc a je velmi závislé na teplotě.
3. Napětí, při kterém má být článek odpojen.
4. Olověné: plné nabití, NiCd a NiMH: vybití a nabití.
5. Ochrana proti poškození článku nebo zařízení. U lithiových článků hrozí při překročení max. nebo min. napětí exploze.

1.7.1. Uzavřený olověno-kyselinový akumulátor (SLA)

Nejstarší druh akumulátorů je olověný. Olovo jako záporná elektroda, kyslíčník olova jako kladná elektroda, jako náplň kyselina sírová. Vhodnou konstrukcí desek a separačních vložek se podařilo dosáhnout vysoké odolnosti proti otřesům. Použitím slitin PbCa se omezily ztráty vody a tedy nutnost jejího doplňování. Bylo zavedeno centrální odvětrávání s ochranou proti výbuchu. Skutečný průlom bylo nahrazení tekutého elektrolytu gelem a řada dalších vnitřních úprav, takže pouzdro bylo možné hermeticky uzavřít.

Výhody

- Jednoduchá výroba, malá cena, velký dodávaný výkon.
- Jednoduchá technologie, při správném použití vydrží dlouho.
- Malé sebe-vybíjení, dlouhé období mezi údržbou.

Nevýhody

- Nelze skladovat vybité, malý poměr energie/váha.
- Jedovaté, pouze málo plně vybíjecích cyklů.
- Velké teploty při nabíjení, nelze je přebíjet.

Např. **Panasonic LC-R064R5P**

- Kapacita: 4500 mAh
- Nominální napětí: 6 V
- Doba nabíjení: 2 – 20 h
- Samovybíjení: 9% za 3 měsíce
- Rozměry: výška – 102 mm, šířka – 48 mm, délka – 70mm
- Cena: 252 Kč

1.7.2. Niklo-kadmiové akumulátory (NiCd)

Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, záporné elektrody hydroxid kademnatý. Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH), rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy separátory, které oddělují kladný a záporný elektrodový systém a současně slouží jako nosič elektrolytu. V hermetických akumulátorech se využívá schopnosti záporné elektrody vázat kyslík uvolňující se na kladné elektrodě při přebíjení.

Výhody

- Jednoduché a rychlé nabití i po dlouhém skladování.
- Vysoký počet nabíjecích cyklů, dlouhá životnost.
- Dobrá funkce při nízkých teplotách. Jednoduché skladování a přesun.
- Ekonomicky příznivý, různé druhy tvarů.

Nevýhody

- Malý poměr energie/váha, paměťový efekt.
- Jedovaté, velké samovybíjení.
- U nás zakázané pro komerční využití (výjimkou jsou alarmy, nouzové osvětlení a přenosné nářadí - viz směrnice 2006/66/EC).

Např. **Sanyo KR-DHL**

- Kapacita: 4000 mAh
- Nominální napětí: 1,2 V
- Doba nabíjení: 14 – 16 h
- Samovybíjení: 20% za 3 měsíce
- Rozměry: výška – 58,4 mm, průměr – 32,3 mm
- Cena: 260 Kč

1.7.3. Lithium-iontovo kobaltový akumulátor (Li-ion CoO₂)

Anoda je vyrobena z uhlíku, katoda je oxid kobaltu a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Největší předností tohoto akumulátoru je potlačení paměťového efektu, který se projevuje u tohoto druhu akumulátorů téměř nulově, proto se tento akumulátor může nabíjet při jakémkoliv stavu vybití. Tyto akumulátory nalezneme dnes u většiny mobilních telefonů, notebooků a malých komerčních zařízení. Při používání těchto

baterií je nutné dodržovat bezpečnostní pravidla, při porušení těchto pravidel může dojít při extrémním přebití akumulátoru k reálné explozi a při extrémním vybití dojde k okamžitému a nenávratnému poškození. Nové akumulátory jsou vybaveny obvody, které kontrolují napětí, proud a teplotu a zabrání při nabíjení a vybíjení extrémům. Tyto akumulátory se neustále vyvíjejí.

Výhody

- Vysoký poměr energie/váha, malé samovybíjení.
- Téměř bez údržbové – není je třeba vybíjet, nemají paměťový efekt.

Nevýhody

- Nutnost ochranných obvodů, skladování v chladném prostředí je poškozuje.
- Střední dodávaný výkon, státy kontrolovaný vývoz baterií.
- Drahá výroba, nejsou čistě přírodní.

Např. **Panasonic NCA-596080**

- Kapacita: 4000 mAh
- Nominální napětí: 3,7 V
- Doba nabíjení: 5 - 7 h
- Rozměry: šířka – 60 mm, výška – 80 mm, tloušťka – 5,9 mm
- Cena: 500 Kč

1.7.4. Niklo-metal-hydridové akumulátory (NiMH)

Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů. Záporná elektroda obsahuje jako elektrochemicky aktivní látku kovovou slitinu, která je schopná během nabíjení a vybíjení vázat a uvolňovat vodík.

Výhody

- Dobrý poměr energie/váha, malý paměťový efekt.
- Jednoduché skladování a převoz, přijatelné pro životní prostředí.

Nevýhody

- Menší životnost, malý dodávaný výkon.
- Složitý proces nabíjení, samovybíjení.
- Malá potřeba údržby, drahé, nutno skladovat v chladném prostředí.

GP GP380AFH

- Kapacita: 3800 mAh
- Nominální napětí: 1,2 V
- Doba nabíjení: 14 h
- Rozměry: výška – 67 mm, průměr – 17,5 mm
- Cena: 100 Kč

1.7.5. Lithium-polymerové akumulátory (Li-pol)

Nejmladší druh akumulátorů. Tento druh akumulátor se velmi podobá Li-Ion. Akumulátor neobsahuje kapalný roztok ale tuhý gel, jednotlivé články nemohou "vytéct".

Další výhodou gelového elektrolytu je, že akumulátor Li-Pol jsou tenké, malé a lehké a můžou nabývat libovolných tvarů. Paměťový efekt je u tohoto akumulátoru již potlačen a neprojevuje se. Neustále se vyvíjejí

Výhody

- Velmi malé, různé tvary, lehké, vylepšená ochrana.

Nevýhody

- Menší počet cyklů, drahá výroba.

Např. **Cellevia Batteries LP7035138**

- Kapacita: 4000 mAh
- Nominální napětí: 3,7 V
- Doba nabíjení: 4 - 7 h
- Rozměry: šířka – 35 mm, délka – 138 mm, tloušťka – 7 mm
- Cena: 550 Kč

1.8. Paměťový efekt

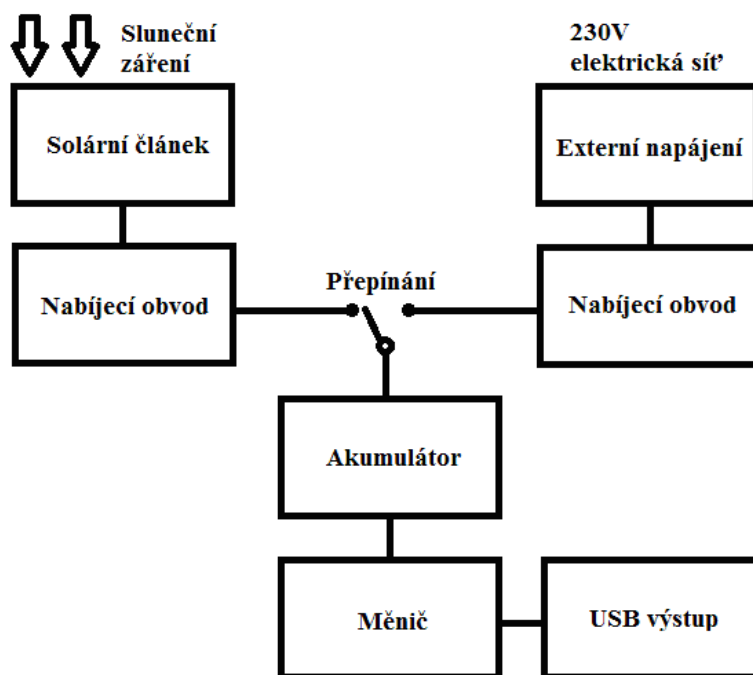
Způsobuje ztrátu maximální kapacity při častém nabíjení nebo částečném vybití, závisí na materiálu kontaktů a elektrolytu. Tento efekt postihuje hlavně NiCd a méně NiMH akumulátory. U NiCd akumulátorů to způsobovalo: přebíjení, nepravidelné a rozdílné vybíjení, vybití pod 1 V na článek. Dělí se na dočasné efekty (dlouhé přebíjení, oprava, vysoká nebo nízká teplota, poškozený nabíječ) a trvalé efekty (hluboké vybití, používání po maximální životnosti akumulátoru).

2 NÁVRH

Základem budou tři bloky součástek a to dva pro nabíjení akumulátoru a jeden pro výstup zařízení.

2.1. Blokové schéma

Akumulátor bude napájen ze dvou zdrojů: solárního článku a externí sítě. Mezi těmito zdroji se bude přepínat. Každý nabíjecí obvod bude obsahovat měnič. Hlavním prvkem napájení je akumulátor, neboť napájení přímo ze solárního článku je proměnlivé. Výstup bude přes měnič připojen na akumulátor.



Obrázek 8. Blokové schéma

2.2. Výběr součástek

Při tvorbě tohoto zařízení jsou použity dostupné integrované obvody pro správu napájení. Tímto se minimalizuje počet dalších součástek na desce plošných spojů.

Solární článek je vybrán polykrystalový Greenpower o výkonu 2,4 W. Rozměry jsou 165 mm na 135 mm.

Externího napájení bude řešeno pomocí USB konektoru typu B, pro externí napájení bude možné použít dnes hojně dostupné nabíječky s USB konektorem, ty se čím dál častěji dávají k moderním mobilním telefonům.

Akumulátor je zvolen lithium-iontový TrustFire o kapacitě 2500 mAh. Tento akumulátor obsahuje ochranné obvody proti zkratu, funkci odpojení při napětí 4,2 V a 2,75 V.

Výstup zařízení je konstruován pomocí USB konektoru typu A. Dnešní mobilní telefony využívají kabel pro nabíjení i přenos dat s koncovkami micro USB a USB typu A.

Jednotlivé nabíjecí obvody se budou automaticky přepínat při zapojení a odpojení externího síťového napájení.

2.2.1. Nabíjení pomocí solárního článku

V této kapitole jsou vypsány vhodné obvody pro napájení lithium-iontového akumulátoru ze solárního článku.

Texas Instruments BQ24210

Tento obvod je vysoce integrovaný lithiový lineární nabíječ, vhodný pro přenosné zařízení. Má velký rozsah vstupního napětí s ochranou proti přebití a podporuje neregulovatelné adaptéry. Programovatelná vstupní napěťová hranice je vhodná pro nabíjení ze solárních článků. K akumulátoru může být paralelně připojena systémová zátěž. Akumulátor je nabíjen ve třech fázích: kondicionáváním, konstantním proudem a konstantním napětím. Obvod je vybaven okruhem, který hlídá teplotu akumulátoru.

Obvod nabízí:

- Dynamickou správu vstupního napětí.
- Možnost sledování akumulátor k maximalizaci nabíjecí účinnosti ze solárního panelu.
- Zatěžovací mód k připojení zátěže.
- Až 20 V na vstupu s přebíjecí ochranou.
- 1% regulační přesnost napětí akumulátor.
- Až 800 mA nabíjecího proudu s 10 % nabíjecí přesností proudu.
- Teplotní regulační ochranu pro výstupní proudovou kontrolu.
- Nízký zpětný proud akumulátor.
- Ochranu proti zkratu akumulátoru.
- Vstup pro teplotní kontrolu akumulátor.
- Vlastní oscilátor s reset kontrolou.
- Indikaci nabíjení, připojení zdroje.
- Vhodný pro: Smart phony, PDA, MP3 přehrávače, pomocné solární nabíjení.

Linear Technology LTC3105

Integrovaný DC/DC měnič s vysokou účinností a rozsahem vstupního napětí. Obvod obsahuje kontrolu maximální vstupního výkonu, takže může pracovat i s nízkým napětím a vysokou impedancí – solárním článkem. Tím lze dosáhnout velkého zisku z jakéhokoliv zdroje. Samozřejmostí je i konverze výstupního proudu a napětí, aby byl obvod schopný pracovat za jakýchkoliv podmínek. Zajišťuje i teplotní kontrolu akumulátoru. Vhodný pro nabíjení lithiových akumulátorů.

Obvod nabízí:

- Funkčnost i při malém vstupním napětí 250 mV.
- Kontrolu maximálního výkonu.
- Velký rozsah vstupního napětí od 225 mV do 5V.
- Regulátor výpadku.
- Burs mód.
- Odpojení zdroje a proudový omezovač.
- Automatické navýšení výkonu.
- Softwarový start.
- Indikaci nabíjení.

- Vhodný pro: solární nabíjení baterií, sběr energie, bezdrátové průmyslové senzory, mobily, MP3 přehrávače, GPS moduly.

STMicroelectronics SPV1040

Nízko-příkonový zvyšující měnič s maximalizací výkonu generovaného z jednoho solárního článku. Obvod umožňuje nabíjení akumulátoru a má i kontrolu maximálního výkonu. Obvod má zabudovaný PWM modulátor a ochranu proti přepólování vstupního zdroje.

Obvod nabízí:

- Rozsah vstupního napětí od 0,3 V do 5,5 V.
- Synchronní usměrňovač.
- Výkonový přepínač.
- PWM se 100 kHz frekvencí.
- Kontrolu maximálního výkonu.
- Regulaci výstupního napětí.
- Ochranu proti vysokému výstupnímu proudu a teplotě.
- Ochranu vstupu proti přepólování.
- Softwarový start.
- Účinnost až 95%.
- Vhodný pro: Smart phony, GPS, bezdrátové zařízení, senzory, digitální fotoaparáty a hračky.

2.2.2. Nabíjení z externího síťového zdroje

V této části jsou vypsány vhodné obvody pro napájení lithium-iontového akumulátoru ze zdroje s výstupním USB konektorem.

Maxim Integrated MAX1811

MAX1811 je jednoduchý nabíječ Li-ion akumulátorů, který může být napájen přímo z USB portu PC (nebo z USB hubu), případně z externího zdroje 6.5V. Nabíječ vyžaduje minimum externích komponent. Má zabudován FET dovolující nabíjecí proud až 500mA. Velikost proudu, stejně tak konečné nabíjecí napětí je možné nastavit. Obvod neobsahuje kontrolu teploty akumulátoru.

Obvod nabízí:

- Nabíjení jednoho článku lithiového akumulátoru přímo z USB portu.
- 0,5 % celkovou nabíjecí přesnost.
- Minimum externích součástek.
- Nepotřebuje diodu na vstupu.
- Vnitřní teplotní regulace.
- „Ožívování“ vybitého akumulátor.
- Vhodný pro: Telefony, PDA, digitální fotoaparáty a MP3 přehrávače.

Texas Instruments LM3658

Obvod LM3658 umožňuje dvojí napájení (AC adaptér a USB). Pro obě napájení jsou vyhrazeny zvláštní vstupy, přepínání mezi nimi je automatické. Při napájení prostřednictvím

USB je možné volit mezi 100 mA a 500 mA. Koncové nabíjecí napětí je napevno nastaveno na 4.2 V. Obvod pracuje v několika režimech. Jako zdroj konstantního napětí, zdroj konstantního proudu, režim údržby a v případě připojeného AC adaptéru a odpojeného akumulátoru pracuje v režimu LDO regulátoru. Obvod disponuje vstupem pro termočlánek a množstvím čítačů pro různé režimy nabíjení. Vhodný pro nabíjení lithiových článků.

Obvod nabízí:

- Dva zdroje nabíjení.
- FET s teplotní regulací.
- Nabíjecí proud z USB od 100 do 500 mA
- Teplotní sledování akumulátoru.
- Indikátor nabíjení.
- Ochranu proti přebíjení a přehřátí akumulátoru.
- „Ožívání“ vybité akumulátoru.
- Vhodný pro: Smart phony, digitální fotoaparáty, PDA, MP3 přehrávače.

2.2.3. Měnič na USB výstup

V této části jsou vypsány vhodné obvody pro nabíjení výstupního zařízení z lithium-iontového akumulátoru.

Texas Instruments TPS63060

Tento měnič je navržen pro aplikace napájecí z akumulátorů. Výstup je typický pro USB spojení: 5V až při 2A. Je založen na pevné frekvenci s PWM. Výstupní napětí lze nastavit rezistorem. Při nízkém výstupním proudu se obvod přepne do nízko-odběrového módu.

Obvod nabízí:

- Až 93% účinnost.
- Nastavitelný výstup až 8 V nebo 2 A.
- Automatická změna na zvyšující/snižující měnič.
- Vstupní napětí v rozsahu 2,5 V až 12 V.
- Nízko-odběrový mód.
- Ochrana proti přehřátí a velkému napětí.
- Odpojení od zdroje ve vypnutém režimu.
- Vhodný pro: napájení z lithiových akumulátorů, mobilní aplikace, notebooky, tablety, videokamery.

Linear Technology LTC3529

DC/DC měnič s výstupem na 5 V vhodný pro zařízení s napájením přes USB. Je schopný pracovat i při nízkém vstupním napětí a to 1,8 V. Výstup je řízen PWM s pevnou frekvencí. Obsahuje ochrany proti přetížení, odpojení a zkratu. Při nízkém odběru se obvod automaticky vypne.

Obvod nabízí:

- Vytvořený pro napájení zařízení s USB konektorem.
- Výstup 5 V a 0,5 A.

- Účinnost až 95 %.
- Vstupní napětí v rozsahu 1,8 V až 5,25 V.
- Ochrana proti zkratu.
- Softwarový start.
- Úplné odpojení výstupu.
- PWM s pevnou frekvencí.
- Vhodný pro: osobní přehrávače, digitální fotoaparát nebo kamery, smart phony.

Linear Technology LT1308A

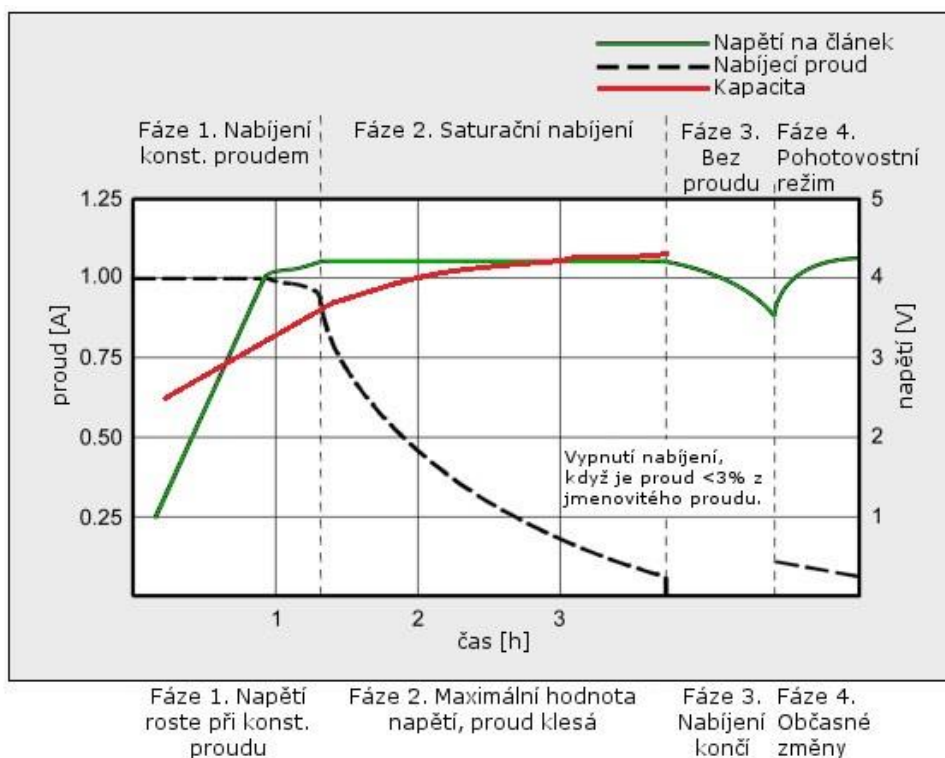
DC/DC měnič s výstupem až 1 A při 5 V z jednoho Li-Ion článku, vhodný pro napájení moderních zařízení přes USB. Výstup umožňuje přepínání mezi PWM s pevnou frekvencí nebo Bursts módem. Obvodu umožňuje úsporný režim při malé zátěži výstupu.

Obvod nabízí:

- Výstup 5 V při 1 A z jednoho Li-Ion článku.
- Automatický start při velké zátěži výstupu.
- Automatické přepnutí do úsporného režimu při 300 mV na 2 A.
- PWM s pevnou frekvencí nebo Burst mód.
- Detektor vybití akumulátoru při 200 mV.
- Velmi malý odběr 1 uA ve vypnutém stavu.
- Vhodný pro: digitální fotoaparáty, kamery, smartphon, GPS přijímače, záložní zdroje.

2.3. Nabíjení Li-ion akumulátorů

Nabíjení a vybíjení akumulátorů je chemická reakce, u lithiových akumulátorů se ale mluví o přenosu energie. Nabíjení těchto článků je podobné jako nabíjení olovnatých akumulátorů. Nabíjecí zařízení ale musí být přesné, tyto akumulátory nestrpí přebíjení. Většinou se nabíjejí na 4,2V/článek s tolerancí +/- 50mV/článek. Vyšší hodnota sice zvýší kapacitu, ale sníží životnost.



Obrázek 9. Nabíjení Li-ion akumulátoru [27]

Hodnota nabíjení je mezi 0,5 C a 1 C v první fázi a doba nabíjení je asi 3 hodiny. Účinnost nabíjení je kolem 98% a článek zůstává studený. Některé články se ohřejí o 5 °C při plném nabití, to způsobují ochranné obvody uvnitř akumulátor. Akumulátor je nabit, když dosáhne svého maximálního napětí nebo když nabíjecí proud nemůže jít níže. Zvýšení nabíjecího proudu nezrychlí nabíjení, fáze 1. se sice zrychlí, ale fáze 2. bude trvat déle. Akumulátory nevyžadují plné nabití, vysoké napětí akumulátor zatěžuje. Menší napětí prodlužuje životnost akumulátoru. Akumulátor není schopen absorbovat přebíjení, nabíjecí proud musí být odpojen. Po odpojení klesne napětí článku na hodnotu mezi 3,6 V a 3,9 V. Akumulátor, který dostal plné saturační nabíjení si udrží vyšší napětí déle. Některé nabíječky mohou kompenzovat tento pokles. Pokud je hodnota článku na 4,2 V, tak nenabíjí, ale pokud klesne na hodnotu 4,05 V, opět nabíje článek. Některé nabíječky článek nabíjí při poklesu na 4 V jen na 4,05 V – tím prodlouží životnost akumulátoru.

- **Přebití** – překročením hodnoty 4,3V/článek se stává akumulátor nestabilním, tlak v článku se zvyšuje. Při tlaku 1,380 kPa ochranné obvody odpojí proud. Pokud tlak přesáhne 3,4 kPa, tak některé akumulátory vypustí dioxid – zášleh plamenu.
- **Hluboké vybití** – Pokud napětí článku spadne pod 3V/článek. Ochranný obvod odpojí proud, při 2,7V/článek je akumulátor uveden do režimu spánku. Při této hodnotě je akumulátor nepoužitelný a spousta nabíječek jej není schopna dobít. Akumulátory jsou převáženy při 40% nabití. Nedoporučuje se nabíjet, pokud má článek napětí pod 1,5 V – hrozí zkrat a nabíjení je velmi nestabilní.

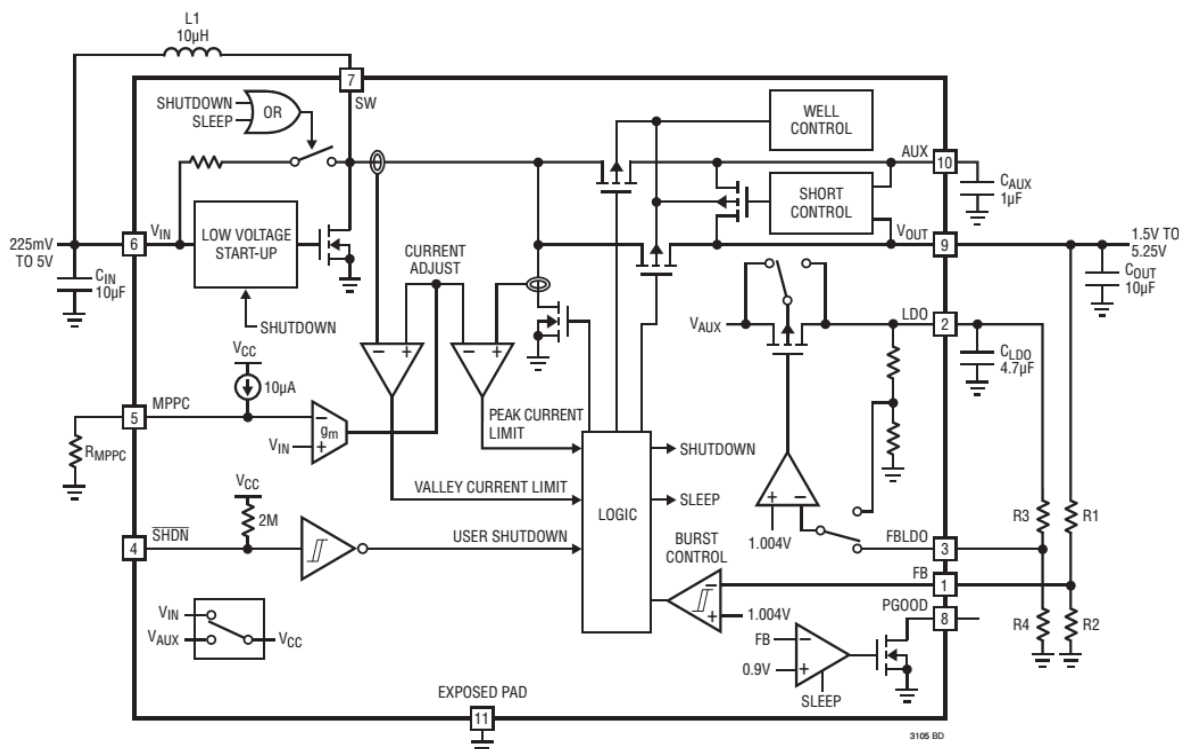
2.4. Linear Technology LTC3105

Tento obvod je vybrán pro nabíjení akumulátoru ze solárního článku. Důvody jsou takové: je schopný napájet akumulátor i z jednoho solárního článku, má kontrolu maximálního bodu

výkonu, obvod lze softwarově vypnout, je schopen napájet jedno-článekový Li-ion akumulátor, MSOP obal.

Obvod má 11 PINů:

1. **FB** – Vstup zvyšujícího se měniče. Připojený k pinu 9 rezistorem, odporový dělič pro nastavení výstupního napětí obvodu.
2. **LDO** – Výstup nízko-úrovňového regulátoru. Připojený k pinu 11 pomocí kondensátoru.
3. **FBLDO** – Zpětno-vazební vstup nízko-úrovňového regulátoru. Připojený k pinu 2 rezistorem nebo přímo na pin 11, odporový dělič pro nastavení výstupního napětí LDO.
4. **/SHDN** – Logicky kontrolovaný vstup vypnutí obvodu: L – vypnuto, H nebo nepřipojen – zapnuto.
5. **MPPC** – Vstup pro kontrolu maximálního bodu výkonu. Propojený rezistorem s pinem 11 pro nastavení bodu aktivace.
6. **GND** – Signálová a výkonová země.
7. **GND** – Signálová a výkonová země.
8. **V_{in}** – Vstup zdroje. Připojený k pinu 11 oddělovacím kondensátorem.
9. **SW** – Přepínací pin. Připojený k pinu 6 pomocí cívky. Když je obvod v režimu spánku nebo je vypnut, vnitřní přepínač spojí pin 6 a 7 z důvodu minimalizace elektromagnetického rušení.
10. **PGOOD** – Indikátor dobrého výkonu. Odpojen, když výstupní napětí obvodu dosáhlo definované úrovně nebo je obvod vypnut
11. **V_{out}** – Výstup zvyšujícího se měniče. Připojený k pinu 11 kondensátorem.
12. **AUX** – Pomocné napětí. Připojený k pinu 11 kondensátorem. Používán startovními obvody pro generování napětí k napájení vnitřních obvodů, dokud hlavní výstup nedosáhne regulace. Je vnitřně spojen s pinem 9, jakmile napětí pinu 9 přesáhne toto napětí.

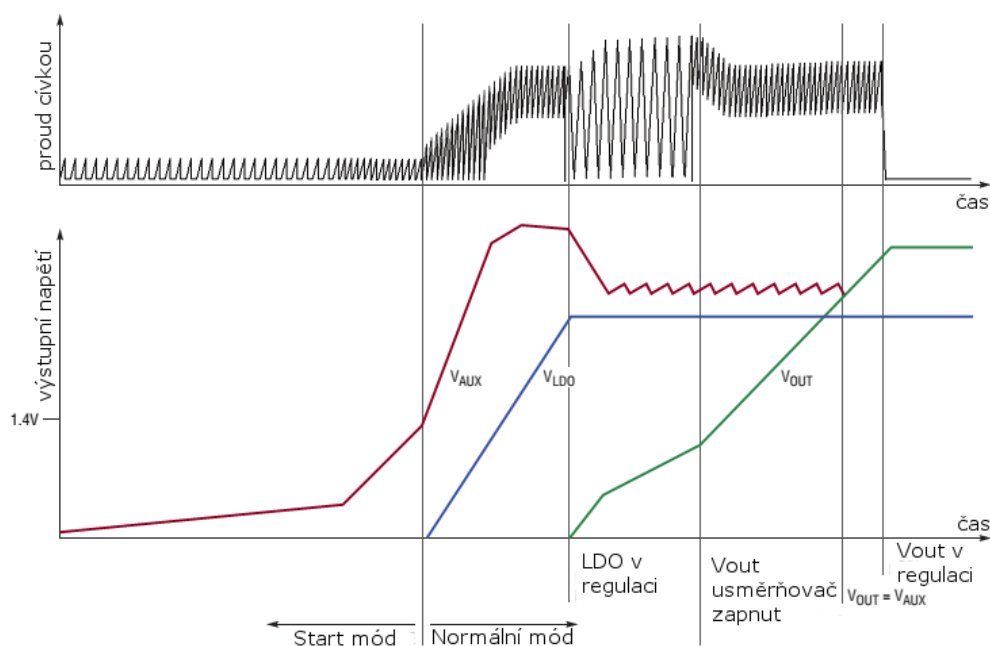


Obrázek 10. Blokové schéma LTC3105 (čísla souhlasí s jiným pouzdrém)[21]

Pracovní režimy:

1. **Start mód:** Obvod začne pracovat již při napětí 250 mV. AUX výstup je nabíjen. Při tomto módu je MPPC vypnuto ale proud je limitován na malou hodnotu pro start ze slabých zdrojů. LDO je vypnuto. Jakmile dosáhne 1,4 V, tak se obvod přepne do normálního módu.
2. **Normální mód:** Měnič nabíjí AUX výstup, dokud LDO nevstoupí do regulace. Pak začne obvod nabíjet Vout. Napětí AUX je udržováno na dostatečné úrovni, aby zajistilo LDO zůstat v regulaci. Pokud bude napětí AUX vyšší než LDO, nabíjení je přesunuto z AUX do Vout. Když je nižší, je proud přesměrován do AUX, místo do Vout. Jakmile napětí Vout přesáhne AUX, vnitřní přepínač spojí oba výstupy společně. Pokud je napětí Vin větší než Vout/AUX (nebo výstup menší než 1,2 V) je vnitřní usměrňovač vypnut. MOSFET mezi SW a GND je aktivován, dokud proud cívkou nedosáhne limitu. Pak je tranzistor vypnut a proud je vybit. To se neustále opakuje. Když je výstupní napětí větší než vstupní, je usměrňovač zapnut. MOSFET mezi SW a GND je aktivován a řízený výstup je zapnut. Tranzistor je vypnut, jakmile proud cívkou klesne na limitní mez. To se neustále opakuje. Jakmile dosáhne Vout regulace, jsou tranzistory vypnuty a měnič je přepnut do módu spánku.

Oba režimy jsou znázorněny na obrázku níže.



Obrázek 11. Průběhy režimů LTC3105 [21]

2.5. Maxim Integrated MAX1811

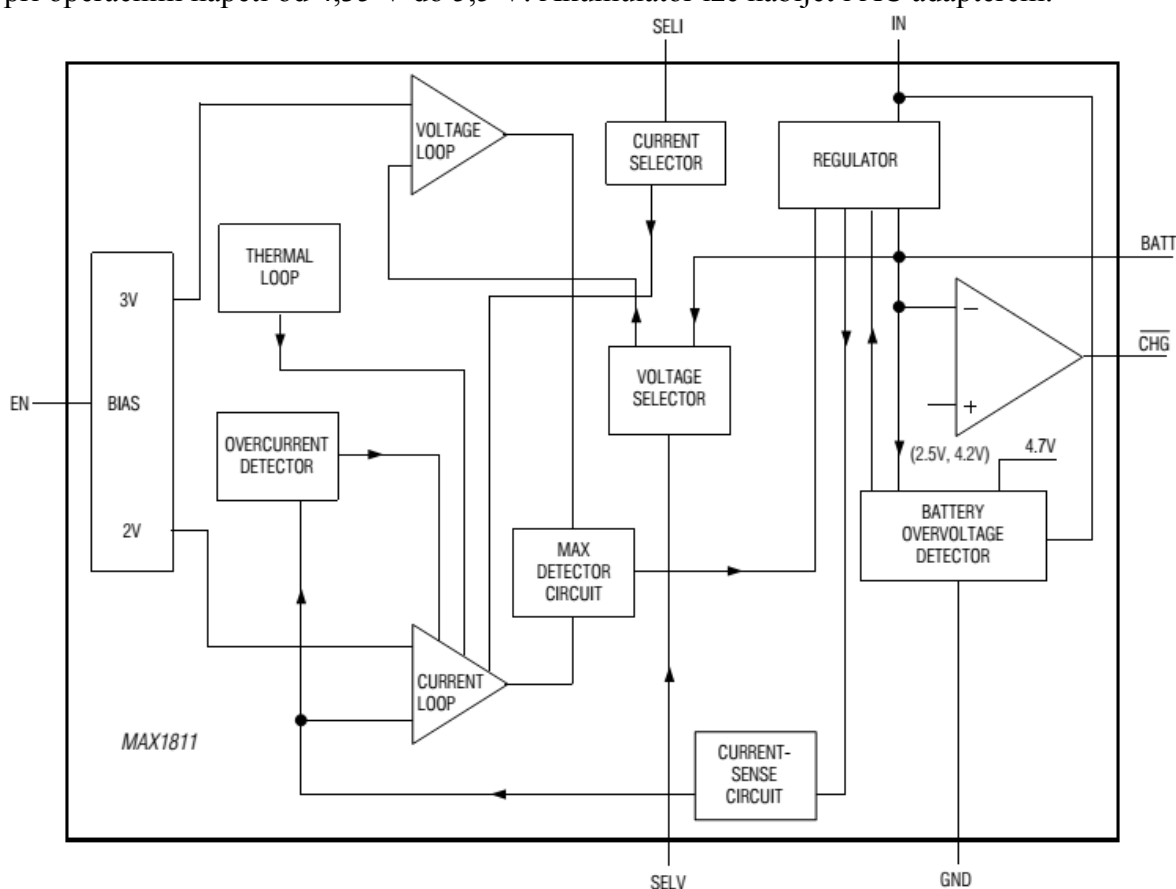
Tento obvod je vybrán pro nabíjení akumulátoru z externího zdroje. Velmi jednoduchý, malý a nenáročný obvod vytvořený přímo pro nabíjení Li-ion akumulátorů z USB konektoru s možností nastavení nabíjecího napětí a proudu.

Obvod má 8 PINů:

1. **SELV** – Regulace napětí na vstupu akumulátor: L – 4,1 V, H – 4,2 V.

2. **SEL1** – Regulace proud na vstupu akumulátoru: L – 100 mA, H – 500 mA. Není ošetřen diodou, může překročit vstupní hodnotu napětí.
3. **GND** – Signálová a výkonová země.
4. **IN** – Vstup zdroje. Připojený k pinu 3 kondensátorem.
5. **BATT** – Výstup na akumulátor. Připojený k pinu 6 kondensátorem. Vysoká impedance při vypnutí obvodu.
6. **GND** – Signálová a výkonová země.
7. **EN** - Logicky kontrolovaný vstup zapnutí obvodu: L – vypnut, H – zapnuto.
8. **/CHG** – Indikátor nabíjení. L – nabíjení.

Obvod umožňuje nastavení nabíjecího napětí i proudu. Teplotní a proudová kompenzace je obsažena v obvodu. Při velkém vybití akumulátoru obvod spouští předkondiční mód, který se přepne na normální při dosažení 2,5 V na akumulátoru. Výkonové ztráty obvodu v 8 pinovém SO paketu nepřesáhnou 1,4 W při 50 °C. Obvod může pracovat při operačním napětí od 4,35 V do 5,5 V. Akumulátor lze nabíjet i AC adaptérem.



Obrázek 12. Blokové schéma MAX1811 [23]

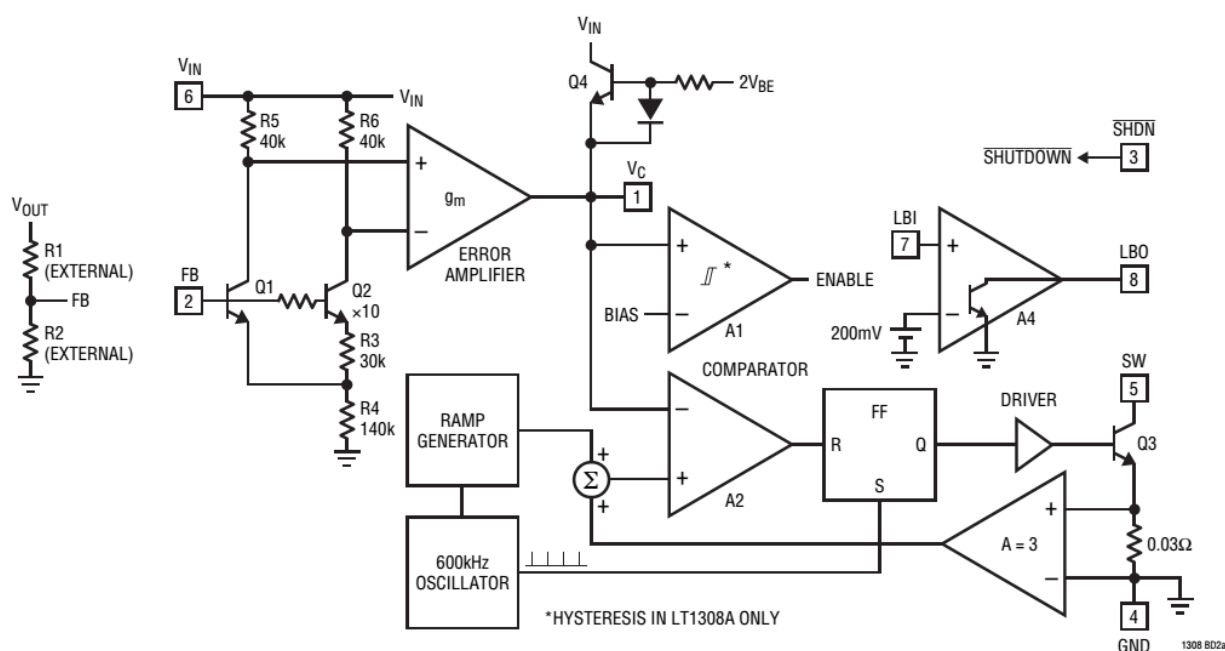
2.6. Linear Technology LT1308A

Tento obvod je vybrán pro napájení externích zařízení z akumulátoru pomocí USB konektoru. Měnič je přímo uzpůsoben pro napájení zařízení s USB konektorem přímo z lithiového akumulátoru. Má detekci zátěže a dostatečný výstupní proud 1 A. Obsahuje PWM nebo Burst mód, ochranou při vybití akumulátoru.

Obvod má 8 PINů:

1. **V_C** – Kompenzační pin pro chybový zesilovač. Propojený přes sérii RC k zemi.
2. **FB** – Zpětnovazební pin. Referenční napětí je nastavované dle odporového děliče.
3. **/SHDN** - Logicky kontrolovaný vstup vypínání obvodu. Při připojení na zem je přepínač vypnut, při hodnotě 1V nebo více zapnut.
4. **GND** – Zem a kanál pro odvod tepla.
5. **SW** – Přepínací pin pro připojení diody nebo cívky.
6. **V_{IN}** – Vstupní pin. Musí být připojen přes kondenzátor na zem.
7. **LBI** – Vstupní pin pro detekci malého napětí baterie. Napětí na pinu se musí pohybovat v rozmezí -100 mV až 1 V.
8. **LBO** – Výstupní pin pro detekci malého napětí baterie. Otevřený kolektor. Je ve stavu vysoké impedance, když je /SHDN připojeno na zem.

Obvod pracuje s PWM na frekvenci 600 kHz, automaticky se přepne do úsporného Burst módu při malé zátěži, kde spotřebovává jen 140 uA při žádné zátěži. Nepřetržitě přepínání při malé zátěži operuje při klidovém proudu 2,5 mA, Při vypnutí má obvod odběr menší než 1 uA. Detektor vybité baterie zapne měnič při 1 V nebo větší hodnotě.



Obrázek 13. Blokové schéma LT1308A [26]

Pracovní režimy:

Q1 a Q2 tvoří a odstup referenčního jádra, jehož smyčka je uzavřena okolo výstupu konvertoru. Pokud je V_{IN} 1 V, je zpětnovazební napětí 1,22 V s poklesem 80 mV na pomezí R5 a R6, následovaný klidovým proudem Q1 a Q2 bázově kolektorovým přechodem na 300 mV. Jelikož to není dostatečné napětí pro saturaci obou tranzistorů, může být FB na vyšším napětí než V_{IN} . Pokud není přítomna zátěž, stoupne FB nad 1,22 V, což způsobí pokles V_C . Jakmile V_C dosáhne napětí klidového proudu na hysterezním komparátoru A1, klesne jeho výstup a vypne všechny obvody kromě vstupních, chybového zesilovače a detektoru nízkého napětí baterie. Celkový spotřebovaný proud v tomto stavu je 140 uA. Jakmile výstupní zátěž sníží napětí FB, výstup A1 se zvýší a obnoví všechny obvody. Přepínací proud je omezen na přibližnou počáteční hodnotu 400 mA, jakmile je zvýšený výstup A1.

1. Pokud je zátěž malá, výstupní napětí (i na FB) se zvyšuje, dokud se nesníží výstup A1, a ten vypne zbytek obvodu LT1308A. Nízko-frekvenční napěťové zvlnění bude na výstupu. Frekvence zvlnění závisí na proudu zátěží a výstupním kondensátorem. Burst mód udržuje výstup regulovaný a redukuje průměrný proud obvodu, což způsobuje vysokou efektivitu, i když je výstupní proud 1 mA nebo menší.
2. Pokud je zátěž na výstupu zvýší, výstup A1 zůstane vysoko, obvod neustále pracuje. Pokud pracuje, špičkový přepínací proud je kontrolován pomocí V_c , tím se reguluje výstupní napětí. Přepínač je zapnut na začátku každého přepínacího cyklu. Když suma signálů reprezentující přepínací proud a rampový generátor (vyhnout se subharmonickým oscilacím při střídě lepší než 50%) převyší V_c signál, komparátor A2 změní stav, restartuje klopný obvod a vypne přepínač. Výstupní napětí se zvýší, jakmile se zvýší přepínací proud. Výstup, utlumený napěťovým děličem, zůstane na pinu FB, uzavře celou smyčku. Frekvenční kompenzace je zajišťována pomocí externího sériového zapojení RC, připojeného mezi piny V_c a zemi.

Otevřený kolektorový výstup detektoru malého napětí baterie (LBO) klesne, pokud napětí na LBI klesne pod 200 mV. Na A4 není hystereze, takže může být v některých aplikacích použit jako zesilovač.

2.7. DC/DC měnič

Měnič je elektronický obvod, který mění stejnosměrný proud z jedné hodnoty napětí na druhou. Nejčastěji se používá v přenosné elektronice, kde mění napětí z akumulátoru pro jednotlivé obvody v zařízení. Existuje několik metod přeměny:

- Elektronické (lineární, spínací), magnetické (s transformátorem nebo bez)
- Kapacitní, elektromechanické a elektrochemické

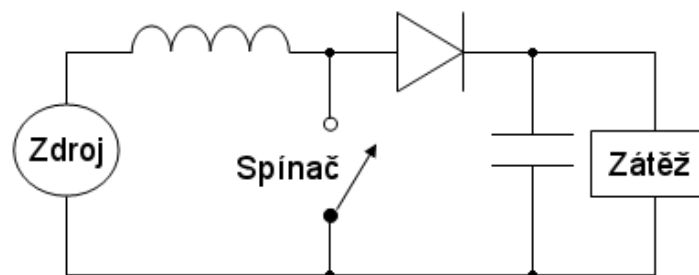
Měniče můžeme rozdělit na několik druhů:

- Zvyšující (boost - zvyšuje napětí, snižuje proud)
- Snižující (buck - snižuje napětí, zvyšuje proud)
- SEPIC (zvyšující i snižující)

2.7.1. Zvyšující měnič

Je to druh spínaného zdroje, ten musí obsahovat minimálně dvě polovodičové součástky a jednu součástku na ukládání energie.

Nejjednodušší zapojení je zobrazeno na Obrázek 14. Zvyšující měnič Když je spínací prvek sepnut, cívkou prochází proud a cívka kumuluje energii. Když je spínací prvek vypnut, tak cívka působí jako zdroj energie, její napětí se přičte k napětí zdroje. Kondensátor se nabíjí přes diodu na toto vyšší napětí. Jakmile se spínací prvek znovu sepne, tak nabitý kondensátor předá energii do zátěže. Kondensátor zároveň redukuje výstupní zvlnění.



Obrázek 14. Zvyšující měnič

2.8. Výběr RLC a polovodičových součástek

Většina hodnot je doporučena výrobcí, jiné si volíme dle požadované aplikace.

U obvodu LTC3105 by měla cívka L1 u nabývat hodnot od 4,7 uH do 30 uH. Pro většinu operací je doporučena cívka o indukci 10 uH. Pokud je vstupní napětí malé, větší hodnota cívky zvyšuje účinnost a snižuje startovní napětí. Cívka musí mít malý odpor, dostatečnou saturační proudovou charakteristiku a malou stejnosměrnou impedanci.

Vstupní vyhlazovací kondensátor C1 je velice důležitý při malých napětích a vysokých impedancích systému. Pro většinu aplikací je doporučen keramický kondensátor 10 uF zapojený mezi Vin a GND. Při použití velkého vstupního kondensátoru, který má velký sériový odpor, je vhodné připojit paralelně kondensátor o malé hodnotě a co nejbližší k pinům obvodu.

Mezi AUX a GND by měl být připojen keramický kondensátor C2 o velikosti 1uF. Malá hodnota snižuje startovní dobu.

Kondensátor C3 je doporučen připojit výrobcem obvodu a velikost má být 4,7 uF.

Vyhlazovací keramický kondensátor C4 s nízkým sériovým odporem by měl být připojen mezi Vout a GND. Hodnota může být 10 uF nebo větší. Při použití velkého vstupního kondensátoru, který má velký sériový odpor, je vhodné připojit paralelně kondensátor o malé hodnotě a co nejbližší k pinům obvodu.

Pro zmenšení výstupního zvlnění a zlepšení přechodové charakteristiky zátěže je doporučeno připojit keramický kondensátor C10 o hodnotě 22 pF paralelně k rezistoru R2.

Rezistor R1 nastavuje MPPC hranici. MPPC obvod kontroluje proud cívkou pro zachování Vin při napětí na pinu MPPC. To se může nastavit rezistorem zapojeným mezi MPPC a GND. K výpočtu musíme znát MPP solárního článku. Hodnota napětí je vypočtena dle vzorce:

$$V_{MPPC} = 10\mu A \cdot R_{MPPC} \quad [V] \quad (7)$$

Maximální výkon vybraného solárního panelu je 2,4 W při 3,6 V. R1 tedy bude 360 kΩ.

Rezistory R2 a R3 konfiguruji zvyšující se měnič a určují výstupní napětí dle vzorce:

$$V_{OUT} = 1,004V \cdot \left(\frac{R_2}{R_3} + 1 \right) \quad [V] \quad (8)$$

Na výstupu je požadováno napětí o hodnotě 4,1 V pro Li-Ion akumulátor, rezistor R2 bude dle řady 1200 kΩ a R3 390 kΩ.

Pro nastavení výstupního napětí LDO můžou být použity dvě metody. Napěťový dělič zapojený mezi LDO a FBLDO nebo může být FBLDO připojeno přímo na GND a LDO bude nastaven na nominální hodnotu 2,2 V. Tento výstupní pin není použit, bude připojen k GND.

U obvodu LT1308A tvoří cívka L2 a schottkyho dioda D1 základní součásti zvyšujícího měniče. Cívka je doporučena na hodnotu 4,7 uH pro výstupní napětí 5 V, dioda musí vydržet proud $I_f = 1$ A minimálně při 5 V. Dioda je vybrána MBRS130LT3G.

Rezistor R5 a kondensátor C8 kompenzují a zlepšují přechodové odezvy. Hodnoty jsou doporučeny na 47 k Ω a 100pF.

Rezistory R6 a R7 nastavují výstupní napětí přes pin FB. Pro 5V jsou doporučené hodnoty 309 k Ω a 100 k Ω .

Kondensátory C7 a C9 jsou vyhlazovací kondensátory. Doporučené jsou tantalové o kapacitě 220 uF a 47 uF. Pro zmenšení výstupního zvlnění a zlepšení přechodové charakteristiky zátěže je doporučeno připojit keramický kondensátor C11 o hodnotě 22 pF paralelně k C7.

U obvodu MAX1811 je potřeba připojit vyhlazovací kondensátory C5 a C6 o kapacitě 10 uF mezi BATT - GND a IN – GND, vybrány jsou keramické.

Pro signalizaci nabíjení je připojena do série LED1 a rezistor R4 dle vzorce:

$$R = \frac{U_{CC} - U_D}{I_D} \quad [\Omega] \quad (10)$$

LED je zvolena 5 mm červená o napětí 2,3 V a proudu 15 mA, rezistor tedy bude o hodnotě 180 Ω . Jsou připojeny je mezi pin /CHG a IN. Při nabíjení je /CHG pin uzemněn a LED bude svítit.

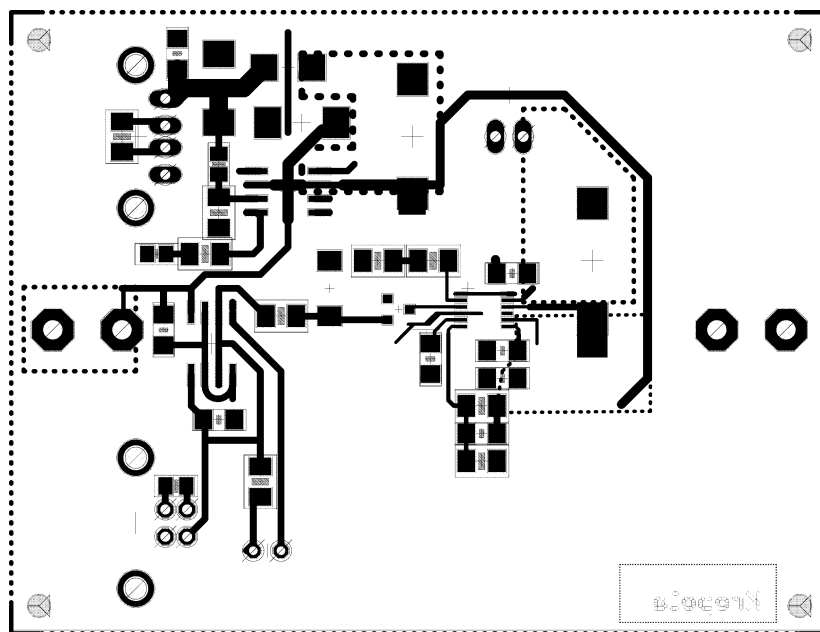
Přepínání nabíjecích měničů je řešeno pomocí unipolárního N kanálového tranzistoru T1 TSM2302CX RF. Obvod LTC3105 je vypnut při aktivaci obvodu MAX1811. Rezistor R9 je zapojen pro omezení rušení, hodnota je 10 k Ω . Ochranným prvkem tranzistoru je bipolární transil TR1 o hodnotě propouštěcího napětí 6,8 V.

Rezistor R8 je zvolen 200 Ω a připojen mezi datové piny USB, umožňuje nabíjecí proud 1A. Tato hodnota je vybrána Evropskou unií pro jednotné nabíječky mobilních telefonů.

Kompletní schéma zapojení je přiloženo v příloze A.

3 REALIZACE

Tato kapitola je zaměřena na samotnou realizaci zařízení a jeho měření. Deska plošných spojů je jednovrstvá. Jednotlivé součástky jsou SMD. Konektory a indikační LED se nachází na druhé straně desky. Největší plochu na desce zabírá akumulátor o rozměrech 1,7 cm na 6,85 cm. Rozložení součástek na desce podléhá kritériím pro zdroje napájení, všechny výkonové cesty musí být co nejkratší a dostatečně široké. Tím se zajistí dostatečné chlazení, odstínění a zamezí se rušení a zvlnění. Rozložení součástek a vodivých cest na spodní straně je zobrazeno na Obrázek 15. Součástky a vodivé cesty



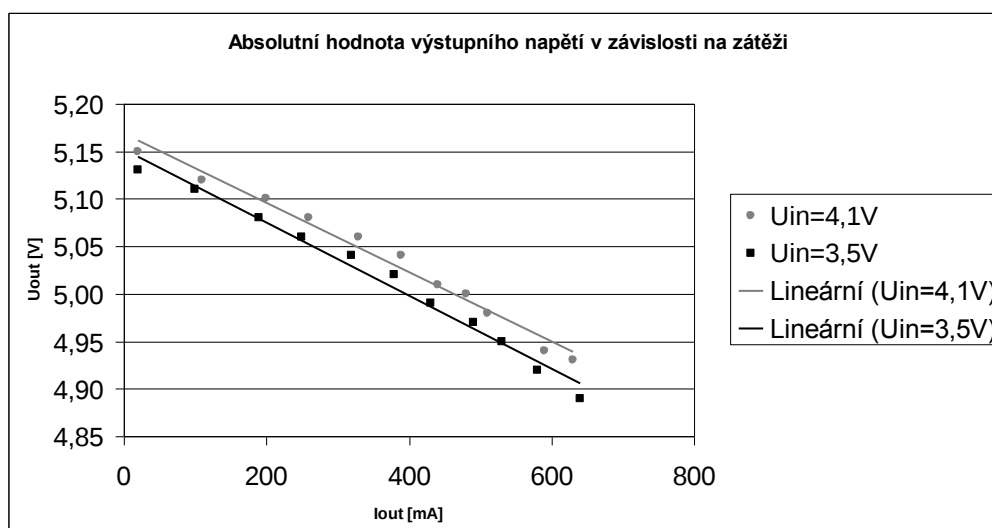
Obrázek 15. Součástky a vodivé cesty

Deska byla vytvořena ve školní dílně, pasta byla nanесena šablonovým tiskem přes měděnou šablonu vytvořenou leptáním, SMD součástky byly osazeny vakuovou zdvihací jehlou. SMD součástky byly pájeny na topné desce, konektory ručně mikropáječkou.

3.1. Kontrolní měření

Výrobek je považován za zdroj napájení, proto je potřeba ověřit jeho vlastnosti, jako u každého zdroje.

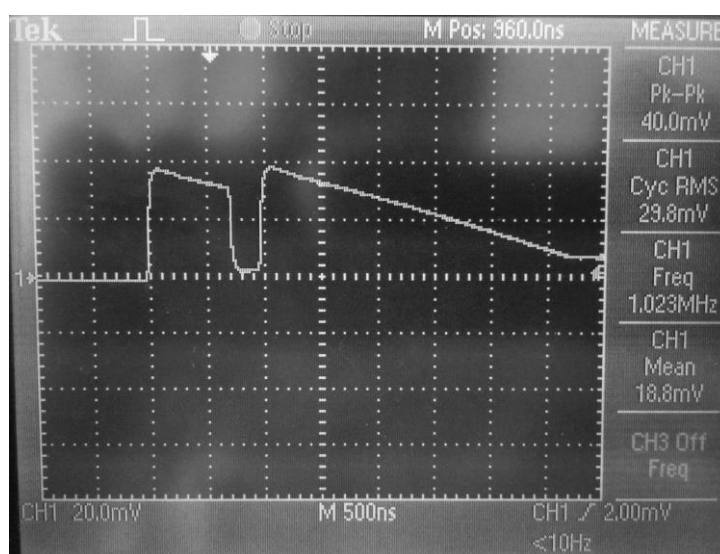
První měření zobrazuje vliv výstupního proudu na výstupní napětí výstupního obvodu na USB konektoru, zobrazeno na Obrázek 16. Absolutní hodnota výstupního napětí v závislosti na zátěži



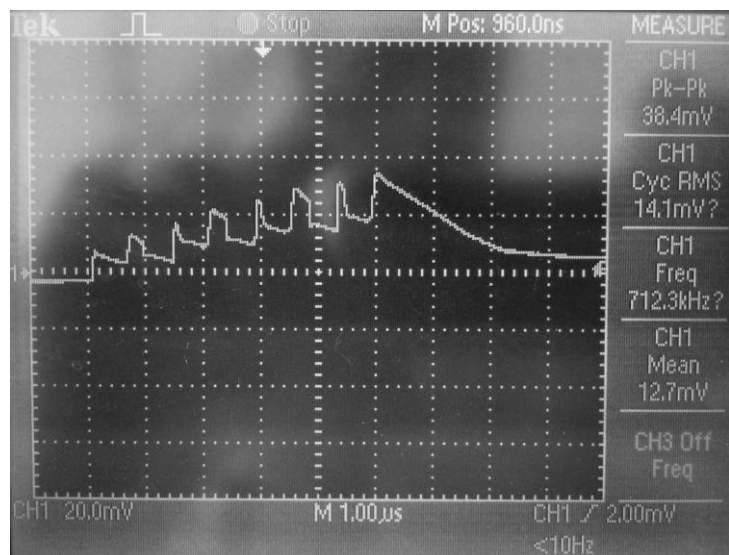
Obrázek 16. Absolutní hodnota výstupního napětí v závislosti na zátěži

Hodnoty jsou naměřeny pro různé úrovně nabití akumulátoru. Pokles napětí je lineární vůči výstupnímu proudu. Hodnota poklesu je 0,8 V na 200 mA.

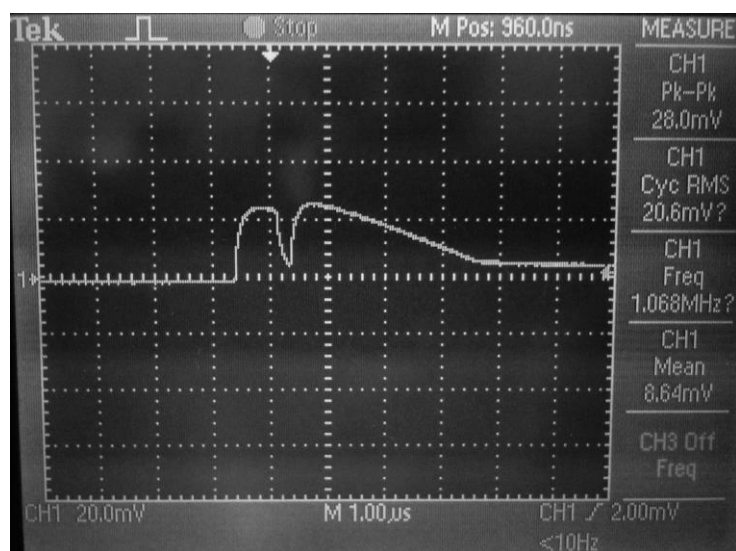
Dalším důležitým faktorem je zvlnění na výstupu zařízení. To je měřeno na výstupním tantalovém kondensátoru. Měření probíhalo při různých hodnotách napětí na akumulátoru a při zatížení nabíjením mobilního telefonu. Tyto průběhy jsou zobrazeny na obrázcích níže.



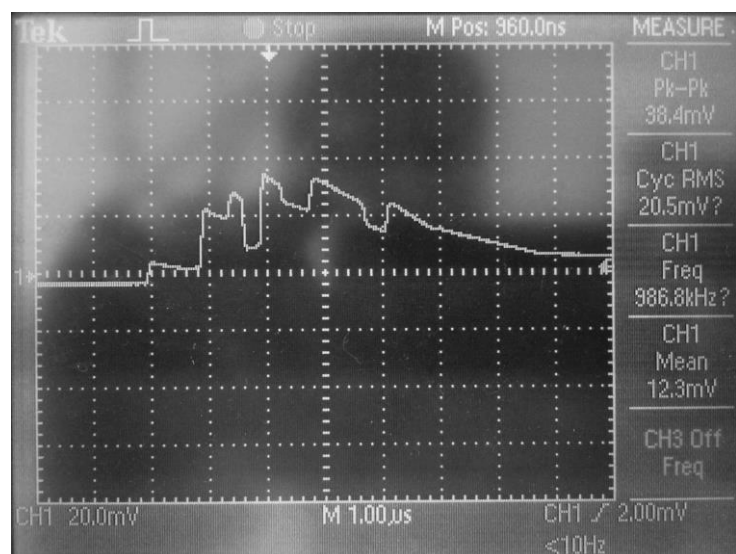
Obrázek 17. Výstup naprázdno, akumulátor na 4 V



Obrázek 18. Zatížený výstup, akumulátor 4 V



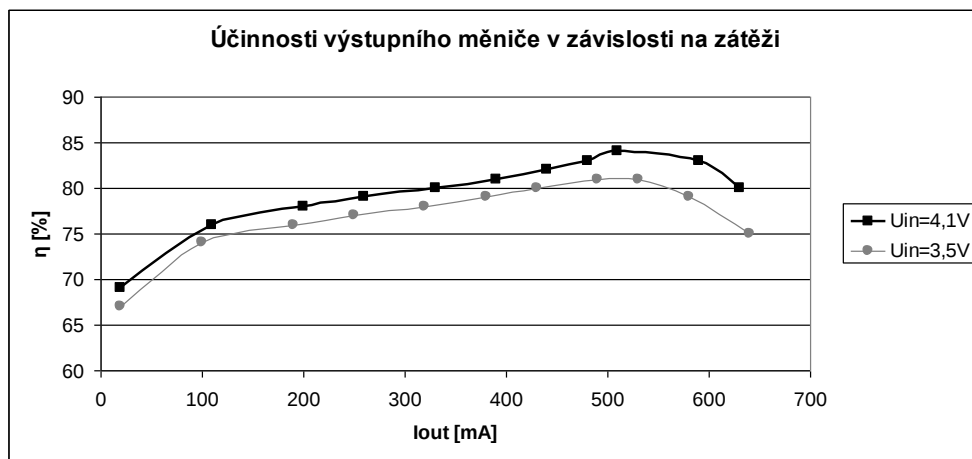
Obrázek 19. Výstup naprázdno, akumulátor 3,5 V



Obrázek 20. Zatížený výstup, akumulátor 3,5 V

Zvlnění při zatíženém výstupu se pohybovalo okolo 40 mV špičkových hodnot. U nezatížených výstupů bylo kolem 30 mV a průběh je podobný průběhům u integračního článku.

Dále je zobrazena účinnost výstupního měniče v závislosti na zátěži pro různé vstupní napětí, jež je zobrazeno na Obrázku 21.

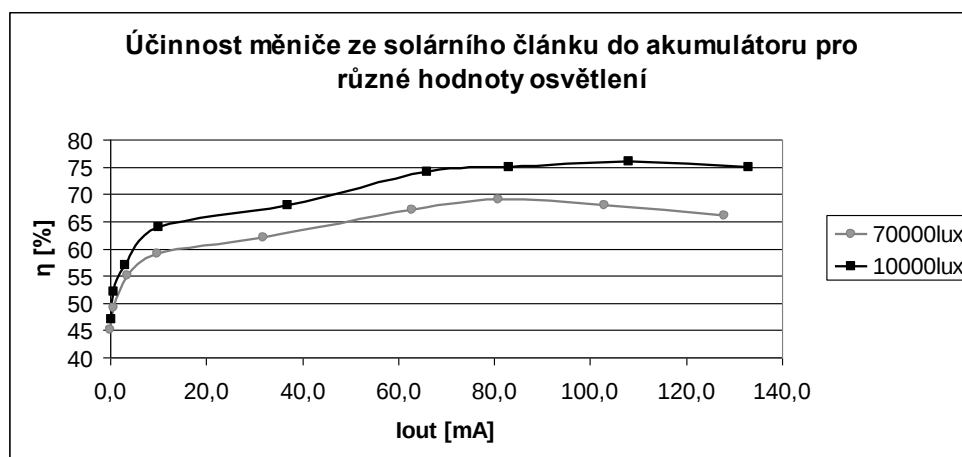


Obrázek 21. Účinnosti výstupního měniče v závislosti na zátěži

Maximální účinnost je o 5% menší než udávaná hodnota obvodu. Pokles účinnosti je způsoben použitím výstupního kondensátoru o větší hodnotě ESR. Obvod se při lehké zátěži přepne do tzv. Burt módu, v tomto módu byl naměřen proudový odběr jen 220 μA .

Účinnost měniče z externího napájení do akumulátoru lze jednoduše odvodit. Hodnoty proudu a napětí jsou téměř konstantní. Obvod přijímá proud 500 mA při 5 V. Na výstupu byla naměřena hodnota 480 mA při 4,06 V. Účinnost je 80%.

Důležitým grafem je i účinnost měniče ze solárního článku do akumulátoru pro různé hodnoty osvětlení.



Obrázek 22. Účinnost měniče ze solárního článku do akumulátoru pro různé hodnoty osvětlení

Při malém vstupním proudu pracuje obvod v Burt módu. Maximální účinnost je o 13% menší než udávaná hodnota obvodu. Pokles účinnosti je způsoben použitím výstupního kondensátoru o větší hodnotě ESR. Hodnoty intenzity osvětlení nejsou přesně změřené ale odhadnuté dle tabulek. 70 000 lux je pro jasný letní den a 10 000 lux je pro dešťový den pod mraky.

Dalším důležitým údajem jsou doby nabití lithiového akumulátoru zařízením. Hodnoty jsou vztažené pro kapacitu akumulátoru 2500 mAh.

Tabulka 3. Časy nabíjení článku pro různé zdroje

Zdroj	Hodiny	Minuty
externí zdroj USB	6	30
solární článek 70 klx	25	0
solární článek 10 klx	33	45

Vypočtená doba pro solární články odpovídá času, po který působí stejná intenzita osvětlení. Skutečná doba tedy může být několik dní, neboť v létě trvá noc kratší dobu než v zimním období. Hodnoty jsou vypočteny z kapacity akumulátoru, dobíjecího proudu a účinnosti měniče zcela vybitého akumulátoru dle vzorce:

$$t = \frac{\text{kapacita}}{\text{proud}} \cdot (1 + 1 - \text{ucinnost}) \quad [\text{h}] \quad (11)$$

Posledním vypočteným údajem je doba provozu výstupu pro různé zátěže a různé kapacity akumulátoru do úplného vybití.

Tabulka 4. Provozní doby výstupního měniče

Kapacita	Odběr	Výdrž	
[mAh]	[mA]	Hodiny	Minuty
2500	700	5	0
2500	400	6	15
2200	700	3	9
2200	400	5	30
1500	700	2	9
1500	400	3	45

4 ZÁVĚR

Cílem této práce je pojednat o možnostech zapojení záložního zdroje se solárním dobíjením pro zařízení napájené pomocí USB konektoru. Hlavním cílem je výběr vhodných součástek, konstrukce a ověření navrhovaných vlastností.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole jsou teoreticky rozebrány fotovoltaické články a akumulátory. Následně jsou vybrány vhodné součástky, solární článek, akumulátor a navrženo zapojení obvodu. V závěru je rozepsána konstrukce zařízení a ověření navrhovaných vlastností.

V prvním části práce jsou popsány typy solárních článků, typy vhodných akumulátorů a fotovoltaický jev. U každé typu je přidán příklad.

Druhá část práce se zabývá návrhem zapojení: výběrem vhodných integrovaných obvodů, solárního článku a akumulátoru. Seznam vybraných součástek obsahuje: polykrystalový solární článek o výkonu 2,4 W, Li-ion akumulátor o kapacitě 2500 mAh, externí napájení bude využívat nabíječku s USB konektorem. Nabíjení akumulátoru solárním článkem zajistí integrovaný měnič Linear Technology LTC3105, nabíjení akumulátoru externím napájením měnič Maxim Integrated MAX1811 a výstupní měnič bude Linear Technology LT1308A. Ovládání nabíjecích integrovaných obvodů zajistí unipolární tranzistor.

V poslední kapitole je rozebrána konstrukce a měření obvodu. Skutečné rozměry desky jsou 75 mm na 58 mm. Maximální účinnost obvodu LTC3105 dosahovalo 84%. U obvodu LT1308A 76% a MAX1811 konstantně 80%. Výstupní zvlnění zapojení nepřesáhlo 40 mV špičkové hodnoty. Obvod byl ověřen na několika mobilních telefonech různých výrobců a různého stáří.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Sluneční energie: Dopad sluneční energie na Zemi. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie
- [2] KUSALA, Jaroslav. ČEZ, a. s. O ZÁŘENÍ: Životodárné Slunce [online]. 2006. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k12.htm>
- [3] KUSALA, Jaroslav. ČEZ, a. s. Fotovoltaický jev [online]. 2006. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [4] NOVOTNÝ, V.: Napájení elektronických zařízení. Skriptum. Brno: VUT FEI v Brně, 1999
- [5] SOLAR PLAZA. Top 10 World's Most Efficient Solar PV Mono-Crystalline Cells [online]. 2012. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.solarplaza.com/top10-monocrystalline-cell-efficiency/>
- [6] The physics of solar cells. [online]. s. 16 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.solarfreaks.com/download/file.php?id=281>
- [7] Solar cell central: Solar efficiency limits. [online]. 2011. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://solarcellcentral.com/limits_page.html#
- [8] Solar cell: Reported timeline of solar cell energy conversion efficiencies. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. 2013. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- [9] Energy informative: Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film. MAEHLUM, Mathias Aarre. [online]. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- [10] Norwegian University of Science and Technology: Solar cells. LUND, H. [online]. 2008. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://org.ntnu.no/solarcells/pages/generations.php>
- [11] EC21: Monocrystalline Solar Cell 3-busbar. [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://cetcsolar.en.ec21.com/Monocrystalline_Solar_Cell_3_busbar--3520316.html
- [12] Sunconnect: Types of Solar Panels. [online]. 2011. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.sunconnect.com.au/solar-panel-info/types-of-solar-panels/>
- [13] FREEMAN, Dave. Introduction to Photovoltaic Systems Maximum Power Point Tracking. In: [online]. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva446/slva446.pdf>
- [14] Solar home: MPPT controllers. [online]. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.solarhome.ru/en/control/mppt/>

- [15] Battery university: What's the Best Battery?. [online]. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery
- [16] Hw.cz: Akumulátory SLA. SULC, Vladimír. [online]. 2002. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/produkty/akumulatory-sla-sealed-lead-acid.html>
- [17] Battex: NiCd. [online]. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>
- [18] Battex: Li-ion. [online]. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/princip>
- [19] Battex: NiMH. [online]. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory/princip>
- [20] TEXAS INSTRUMENTS. Bq24210. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24210.pdf>
- [21] LINEAR TECHNOLOGY. LTC3105. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3105fa.pdf>
- [22] STMICROELECTRONICS. SPV1040. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00287506.pdf>
- [23] MAXIM INTEGRATED. MAX1811. 2003. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1811.pdf>
- [24] TEXAS INSTRUMENTS. LM3658. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3658.pdf>
- [25] TEXAS INSTRUMENTS. TPS63060. 2013. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63060.pdf>
- [26] LINEAR TECHNOLOGY. LT1308. 2010. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.linear.com/docs/2616>
- [27] Battery university: Charging Lithium-ion. [online]. 2010 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [28] KREJČÍŘÍK, A.: Moderní spínané zdroje, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 1999
- [29] Csg network: Battery Charge Time Variable Efficiency Calculator [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: <http://www.csgnetwork.com/batterychg2calc.html>
- [30] KŘEPELA, P. Záložní zdroj se solárním dobíjením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014

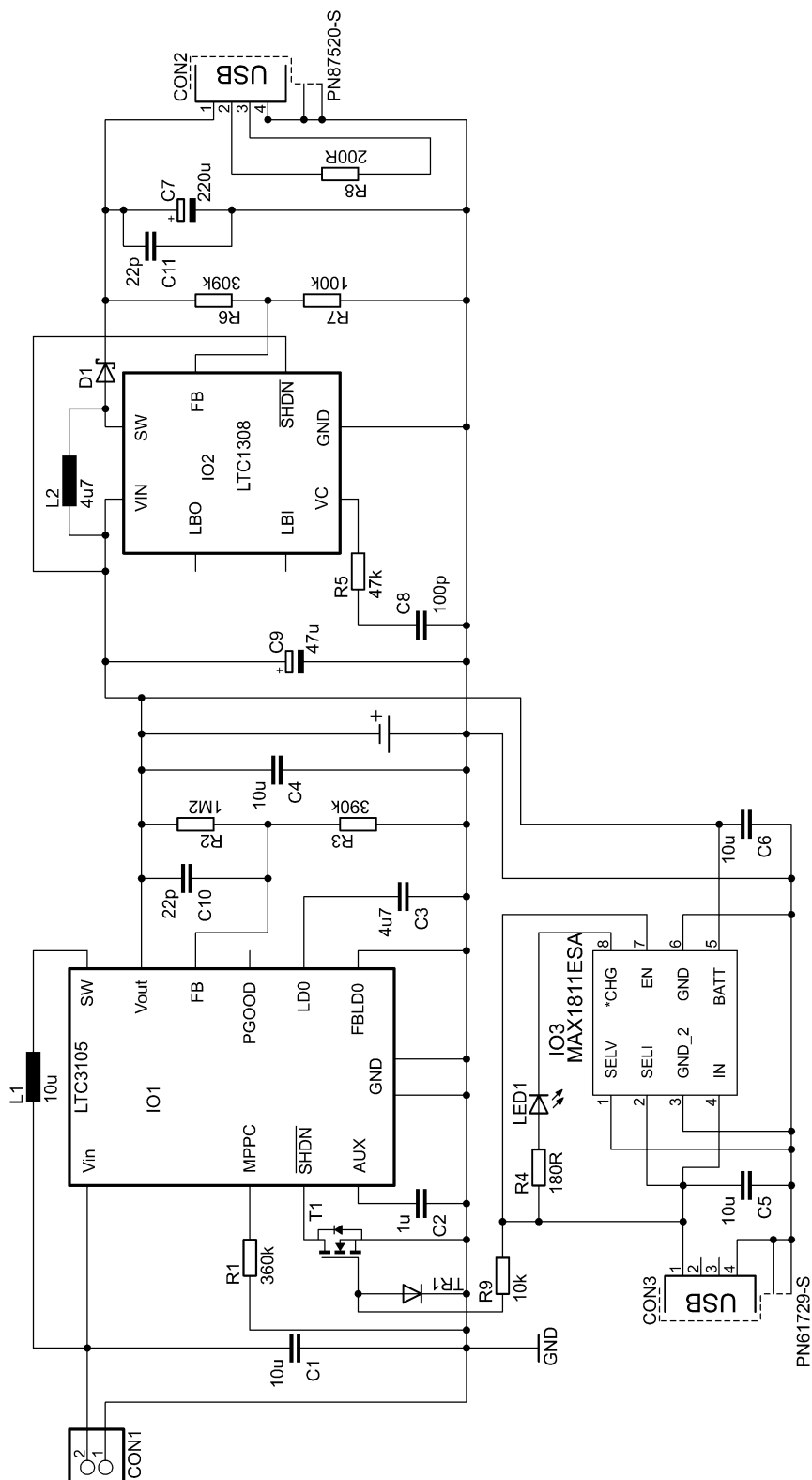
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AC	alternating current - střídavý proud
DC	direct current – stejnosměrný proud
DPS	deska plošný spojů
ESR	equivalent series resistance – ekvivalentní sériová rezistence
FET	field-effect transistor - tranzistor řízený elektrickým polem
GND	uzemnění
GPS	global positioning system
Li-Ion	lithium-iontový akumulátor
Li-Pol	lithium-polymerový akumulátor
MP3	formát ztrátové komprese zvukových souborů
MPP	maximum power point – bod maximálního výkonu
MPPC	maximum power point tracking – sledování bodu maximálního výkonu
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrickým polem s vodivostním kanálem
Ni-Cd	niklo-kadmiový akumulátor
Ni-MH	niklo-metal-hydridový akumulátor
PDA	personal digital assistant – osobní digitální pomocník
PETE	photon enhanced thermionic emission - fotonově vylepšená termionická emise
PN	přechod polovodičů typu P a N
PWM	pulse-width modulation - pulzně šířková modulace
SEPIC	single-ended primary-inductor converter
SLA	sealed lead–acid – uzavřený olověný akumulátor
SMD	surface mount device - součástky určené pro povrchovou montáž
USB	universal serial bus - univerzální sériová sběrnice

SEZNAM PŘÍLOH

A Schéma zapojení obvodu	- 46 -
B Fotodokumentace	- 47 -
B.1 Akumulátor	- 47 -
B.2 Solární článek	- 47 -
B.3 Nabíječka s kabelem	- 48 -
B.4 Horní strana DPS	- 48 -
B.5 Dolní strana DPS	- 49 -
C Seznam součástek	- 50 -

A Schéma zapojení obvodu

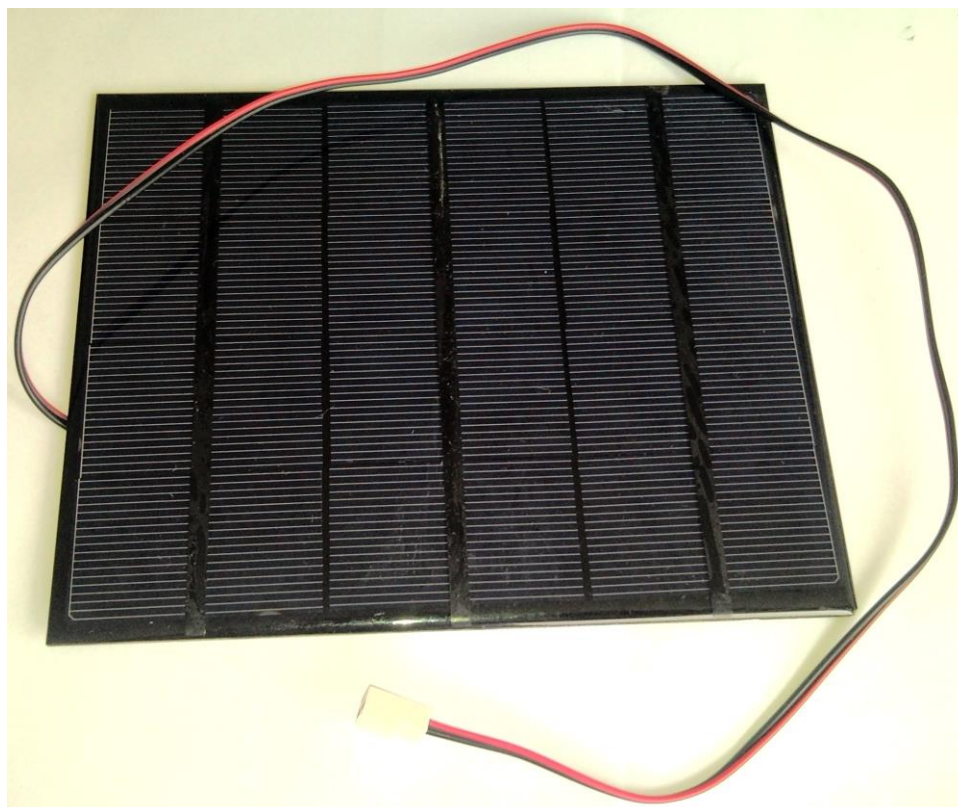


B Fotodokumentace

B.1 Akumulátor



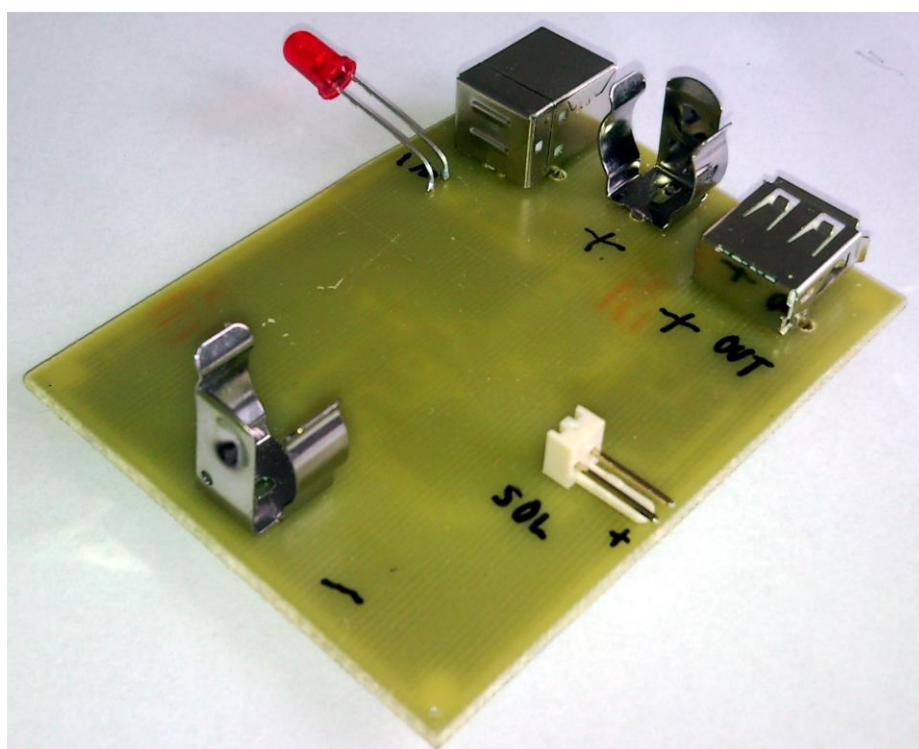
B.2 Solární článěk



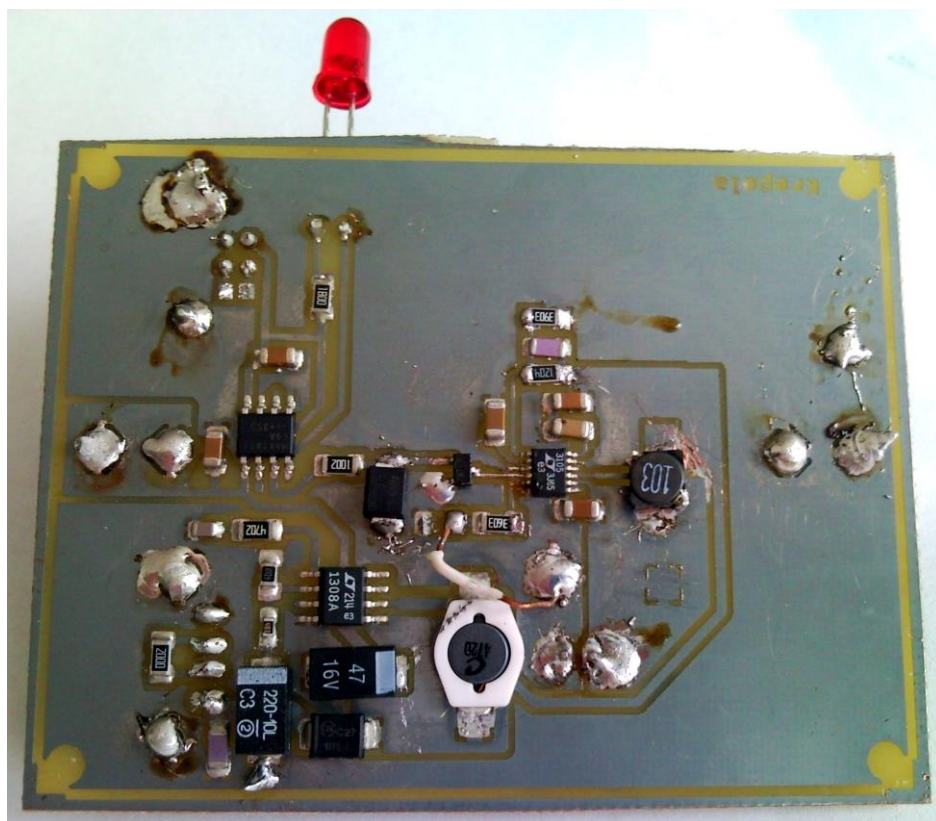
B.3 Nabíječka s kabelem



B.4 Horní strana DPS



B.5 Dolní strana DPS



C Seznam součástek

Název	Hodnota	Typ	Pouzdro
LED1	červená	5mm	T-1 3/4
C1	10u	keramický	1206
C10	22p	keramický	1206
C11	22p	keramický	1206
C2	1u	keramický	1206
C3	4u7	keramický	1206
C4	10u	keramický	1206
C5	10u	keramický	1206
C6	10u	keramický	1206
C7	220u	tantalový	D
C8	100p	keramický	805
C9	47u	tantalový	D
CON1		konektor solárního článku	
CON1		konektor solárního článku	
CON1		konektor solárního článku	
CON2		konektor USB B	
CON3		konektor USB A	
D1	schottkyho	MBRS130LT3G	SMB
IO1		LTC3105	
IO2		LT1308A	
IO3		MAX1811	
L1	10u	MSS5131-103M	
L2	4u7	MSS5131-472MLB	
R1	360k		1206
R10	30k		1206
R2	1M2		1206
R3	390k		1206
R4	180R		1206
R5	47k		1206
R6	309k		603
R7	100k		1206
R8	200R		1206
R9	10k		1206
T1	n-mosfet	TSM2302CX RF	SOT23
TR1	6,8V	transil	
		držák baterie 2x	