



Napájecí systém modelu solárního letadla

Power System of Solar Airplane Model

bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, Multimédia a Elektronika

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Lubor Jirásek CSc.

2016

Jiří Vávra



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum 10. 1. 2016

.....

Podpis bakalanta

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **V Á V R A Jiří**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Napájecí systém modelu solárního letadla**

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu týkající se problematiky řešení napájecích soustavy solárních letadel. Zaměřte se speciálně na optimalizaci zpracování energie ze solárních panelů, možnosti uložení energie a vytvoření napájecí soustavy pro jednotlivé systémy letadla. Zároveň zajistěte sledování zásoby energie.
2. Na základě podle 1) navrhnete a realizujete napájecí systém modelu solárního letadla s případnou kontrolou z řídicí jednotky.
3. Navrhnete postup vhodný pro ověření funkce přístroje.
4. Provedte ověřovací měření na zařízení.
5. Zhodnotte dosažené výsledky.
6. Publikování výsledků dosažených v této práci je možné pouze se svolením zadavatele.

Seznam odborné literatury:

- [1] Husák, M.: Mikrosenzory a mikroaktuátory. Academia, Praha 2008.
- [2] Reese, R., B.: Microprocessors from Assembly Language to C. Da Vinci Engineering Press, Hingham Massachusetts 2005.
- [3] Krejčířík, A.: Napájecí zdroje I.-III. Ben, Praha 1996 a pozdější vydání.
- [4] Katalogové listy součástek a aplikační poznámky výrobců.

Vedoucí: **Ing. Lubor Jirásek, CSc.**

Platnost zadání: 31. 8. 2016

L.S.

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2015



Anotace:

Tato bakalářské práce se zabývá řešením napájecího systému pro model solárního letadla. Práce se zabývá problematiku solárních panelů, zpracování energie z panelů do dvoučládkových LiPol baterií, funkci a druhy stejnosměrných měničů a zpracování pracovního napětí z baterií na potřebné napětí k napájení ostatní elektroniky. Dále je zde popsán návrh a realizace obvodu pro konkrétní model letadla.

Klíčová slova: Solární panel, model letadla, baterie, měnič napětí, mikrokontrolér

Abstract: This Bachelor thesis deals with the solution of a power system for a model of the solar airplane. Work deals with an issue of solar panels, processing power from panels to double-cell LiPol battery, operation and the types DC converters and processing power from the battery to required voltage to power other electronics. Hereafter this Bachelor thesis describes a draft and realization of circuit for a particular model of aircraft.

Key words: Solar panel, airplane model, battery, voltage converter, microcontroller



Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, Ing. Luboru Jiráskovi, CSc., za pomoc při vedení bakalářské práce a modeláři, Petru Procházkovi, za pomoc s výběrem modelu letadla a baterií.



Obsah

Úvod	8
1 Solární panel.....	9
1.1 Fotovoltaický jev	9
1.2 PN přechod	9
1.3 Výhody a nevýhody solárních článků	10
1.4 Druhy solárních panelů	11
1.4.1 Monokrystalické.....	11
1.4.2 Polykrystalické	11
1.4.3 Tenkovrstvé panely – CIS, CIGS	12
1.4.4 Mikromorfní	13
1.5 Základní parametry solárních panelů	13
1.6 Náhradní schéma solárního panelu	14
1.7 Voltampérová charakteristika	15
2 LiPol Akumulátor	16
2.1 Parametry	16
2.2 Výhody a nevýhody LiPol článků	17
2.3 Nabíjení akumulátorů	17
3 Mikrokontrolér.....	19
3.1 Harvardská architektura.....	19
3.2 Von Neumannova architektura.....	20
3.3 RISC	20
3.4 CISC	21
3.5 Základní struktura mikrokontroléru	21
4 DC/DC měnič.....	23
4.1 Základní parametry	24
4.2 Zapojení	25
4.2.1 Snižující měnič (Buck)	25
4.2.2 Zvyšující měnič (Boost).....	26
4.2.3 Zvyšující a snižující měnič (Buck-Boost).....	27
4.2.4 Akumulující měnič (Flyback)	28
5 Návrh obvodu	30
5.1 Podmínky pro obvod.....	30
5.2 Vstupní obvod.....	32
5.2.1 Baterie	32
5.2.2 Solární panel.....	33
5.2.3 Vstupní měnič	38
5.2.4 Přepínací obvod	40
5.2.5 Výstupy z obvodu.....	41
5.3 Výstupní obvod.....	41
5.3.1 Vstupní přepínací obvod	41
5.3.2 Mód pro obě baterie	43
5.3.3 Měnič na 3,3V a 5V.....	43
5.3.4 Mikrokontrolér.....	44
5.3.5 Měnič 1,8V	45



5.3.6	Měnič 15V	46
5.3.7	Výstupy z obvodu.....	47
6	Závěr.....	48
	Literatura.....	49
	Přílohy	52
	Seznam tabulek	56
	Seznam obrázků	56
	Seznam symbolů a zkratek	57
	Seznam součástek	59



Úvod

Žádný elektrický model auta, letadla či lodi se neobejde bez elektrické energie. Ta bývá nejčastěji uložena v baterii, která je umístěná v modelu. U modelů letadel se chce, aby zůstalo co nejdéle ve vzduchu, a toho se dá dosáhnout tím, že bude mít vysokou kapacitu baterie. Jenže s větší kapacitou roste velikost a tím také hmotnost baterie. S vyšší hmotností je pak potřeba vyšší tah motoru a tím roste spotřeba energie. Z tohoto hlediska ztrácí vyšší kapacita baterie smysl. Prodloužení letu se dá dosáhnout dobíjením (během letu) baterií pomocí solárních panelů.

Tato bakalářská práce shrnuje problematiku solárních panelů, dobíjení baterií a zpracování energie z baterií pro elektroniku letadla. Je zde také popsán princip měničů, jejich typy a řízení obvodu pomocí mikrokontroléru.

Cílem této práce je návrh a realizace obvodu pro zpracování energie ze solárních panelů, nabíjení baterií a zpracování energie z baterií pro vnitřní elektroniku v konkrétním modelu letadla.



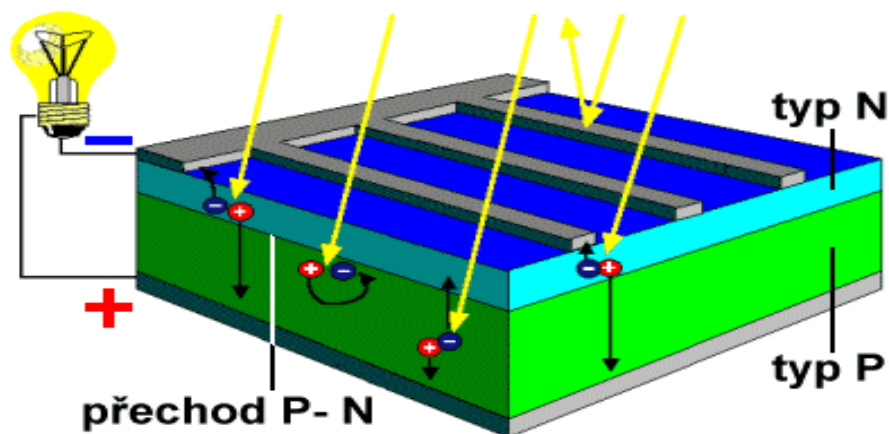
1 Solární panel

1.1 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 Alexandr Edmond Becquerel. Jev je založen na vzájemném působení slunečního záření a polovodiče. Slunečním zářením (fotony) na plochu článku se v polovodiči uvolní elektrony. [1]

1.2 PN přechod

Solární článek je tvořen velkoplošnou polovodičovou diodou. Jádro tvoří plátek krystalického křemíku typu P. Na spodní straně je vytištěna stříbrná vodivá mřížka. Na horní ploše se při výrobě vytvoří vrstva typu N. Na této vrstvě jsou vytvořeny úzké vodivé kontakty. Mezi oběma vrstvami vznikne PN přechod. Přechod PN způsobí, že elektrony uvolněné v horní vrstvě polovodiče N nemohou přecházet do vrstvy P a nahromadí se proto ve vrstvě N. Osvětlením (fotony) se elektrony v P vrstvě uvolní a mohou se pohybovat přes PN přechod do vrstvy N. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi vrstvami elektrické napětí a článek pak můžeme použít jako zdroj. [2][3]



Obr. 1 – PN přechod (převzato z [2])

1.3 Výhody a nevýhody solárních článků

Porovnání výhod a nevýhod s ostatními zdroji elektrické energie.

Výhody:

- Nevyčerpatelný zdroj energie
- Není hlučný při výrobě energie
- Při výrobě energie nevznikají žádné škodlivé látky

Nevýhody:

- Použitelný jen ve dne
- Nízká účinnost
- Kolísavá intenzita solárního záření
- Dopad na životní prostředí při výrobě



1.4 Druhy solárních panelů

Solární panel je tvořen několika desítkami, v sérii zapojených solárních článků. Solární články se dělí podle technologie vrstev a to na tlusté (monokrystalické, polykrystalické), tenké (CIS, CIGS) a vícevrstvé (mikromorfnní).

1.4.1 Monokrystalické

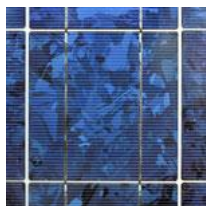
Monokrystalické články se vyrábí z jednotlivých ingotů křemenných krystalů. Ty se pak nařezou na jednotlivé wafery a ty jsou podrobeny difúzním procesům, které jsou potřebné pro správnou funkci panelu. Protože tento ingot vzniká, jako jeden velký krystal, je jeho struktura velice čistá. Panely mívají obvykle tmavší odstín do hněda až černa. Jejich účinnost se pohybuje mezi 17-20 % (nejúčinnější) při přímém osvětlení. Mají úzký vstupní úhel. [4][5][7][15]



Obr. 2 – monokrystalický panel (převzato z [4])

1.4.2 Polykrystalické

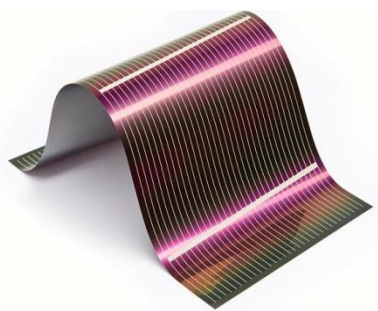
Pro výrobu polykrystalického ingotu stejné velikosti se používá jiný postup. Vykrytalizují se menší křemíkové krystaly, ze kterých se vyrobí substrát a ten se slisuje do jednoho celku. Další postup je pak stejný jako u monokrystalických článků. Tento proces výroby je mnohem jednodušší, rychlejší, levnější a proto jsou tyto druhy článků nejrozšířenější. Ovšem touto technologií nelze docílit takové čistoty materiálu. Mají nejčastěji modrý odstín a jejich účinnost je kolem 14 %. Mají širší vstupní úhel (20-50°). [5][6][7][15]



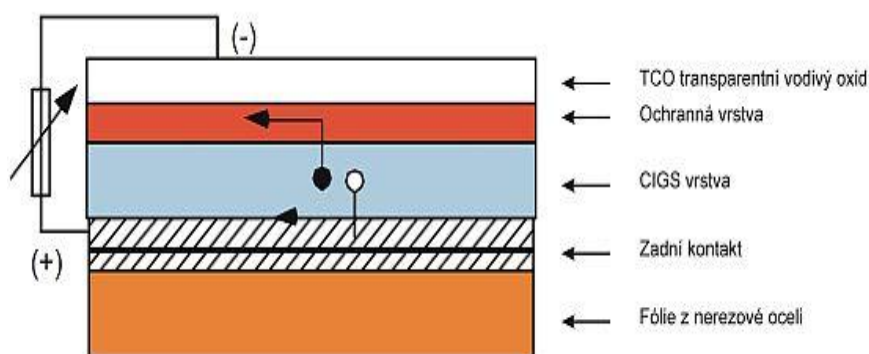
Obr. 3 – polykrystalický panel (převzato z [15])

1.4.3 Tenkovrstvé panely – CIS, CIGS

Jedná se o tenkovrstvé materiály druhé generace. Patří sem panely CIS (Copper, Indium, Diselenide – měď, indium, diselen) a CIGS (Copper, Indium, Gallium, Selenide – měď, indium, galium, selenid). Jednotlivé vrstvy panelů jsou nanášeny patentovanou napařovací technologií. Při jejich výrobě dochází k úspoře materiálu – křemíku. Panely dosahují tloušťky v řádech jednotek μm . Mezi hlavní výhody panelu patří jeho schopnost reagovat na červenou složku světla, která převládá při zatažené obloze nebo mlze. Další výhody CIGS panelů jsou dlouhá životnost a nízká cena. Nevýhoda je malá účinnost kolem 10 % (nejvyšší dostupná 14,3 %) a rychlejší degradace výkonu panelu. [15][16][17]



Obr. 4 – tenkovrstvý panel (převzato z [17])



Obr. 5 – princip CIGS panelu (převzato z [17])

1.4.4 Mikromorfní

Technologie třetí generace. Oproti monokrystalickým a polykrystalickým solárním článkům mají mikromorfní články řadu výhod. Hlavní výhodou je vysoká flexibilita, absorpce světla a velké napětí naprázdno. Další výhodou je nízká spotřeba materiálu při výrobě. Naopak největší nevýhodou mikromorfních článků je velice nízká účinnost, a to kolem 6 %. Jsou vyráběny z více tenkovrstvých materiálů, jako například tandemový mikromorfní panel. Výroba probíhá sloučením křemíku, který je stlačen ve vodíkové atmosféře. Výkon těchto článků zpočátku klesá, až časem se ustálí na 80 % původní hodnoty. Je to způsobeno tím, že křemík nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje i nepatrné množství vodíku. Užívají se v oblasti malých výkonů. [8][15]

1.5 Základní parametry solárních panelů

- Účinnost – kolik % sluneční energie je schopen solární článek přeměnit na energii elektrickou
- Maximální výkon M_{pp} (maximal power peak)
- Napětí naprázdno U_{oc}
- Zkratový proud I_{sc}



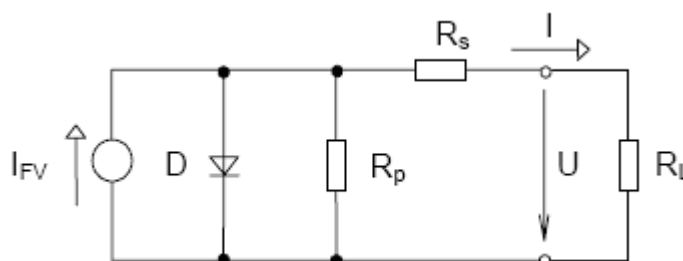
- Paralelní odpor R_p
- Sériový odpor R_s

Porovnání panelů

Technologie	Krystalické materiály		Tenkvrstvé materiály	Vícevrstvé materiály
	Mono	Poly	CIGS	Micromorph
Účinnost	+++	++	--	-
Teplotní závislost	--	--	+	+++
Vliv úhlu natočení	--	-	++	++
Absorpce difuzního světla	--		+	+++
Stabilita výkonu	++	+	-	-
Hmotnost	+	+	-	-
Cena	-	-	+	+

Obr. 6 – porovnání panelů (převzato z [15])

1.6 Náhradní schéma solárního panelu

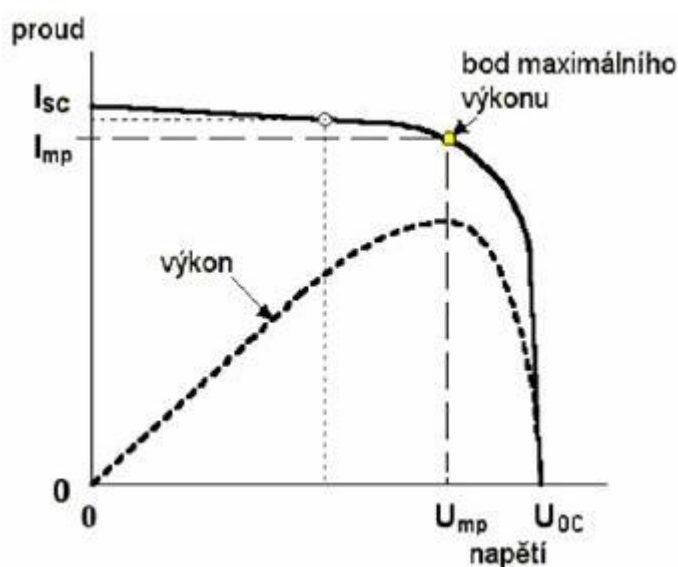


Obr. 7 – náhradní schéma (převzato z [9])



K dosažení maximálního výstupního výkonu je třeba dosáhnout co nejvyššího proudu I_{FV} , minimalizovat sériový odpor R_s a maximalizovat svodový odpor R_p . [9]

1.7 Voltampérová charakteristika



Obr. 8 – voltampérová charakteristika (převzato z [10])

Voltampérová charakteristika, kde I_{sc} je zkratový proud, U_{oc} je napětí naprázdno, I_{mp} je proud maximálního výkonu a U_{mp} je napětí maximálního výkonu. Výkon je počítán jakou součin U_{oc} a I_{sc} . Jeho hodnota je ovlivněna vlivy jako – intenzita záření, spektrum světla a teplota článku. Solární článek je potřeba zatěžovat tak, aby se přímka nacházela v pracovním bodě, a tím se dosáhne maximálního výkonu. [10]



2 LiPol Akumulátor

Lithium-polymerový akumulátor je typ elektrického akumulátoru. Používá se téměř ve všech osobních elektronických zařízeních. Byl vyvinut z lithium-iontových akumulátorů. Článek je složen z anody (LiCoO_2 nebo LiMn_2O_4), elektrolytu (polyethyleneoxid) a katody (lithium).

Většina LiPol akumulátorů je složena ze dvou a více článků, které jsou zapojené buď sériově nebo paralelně v tzv. „akupacích“. Tím se zvedá napětí nebo kapacita akumulátoru. [11][12]



Obr. 9 – LiPol baterie (převzato z [11])

2.1 Parametry

- Kapacita akumulátoru C_{aku}
- Napětí akumulátoru U_a
- Počet článků v „akupacku“
- Nabíjecí proud I_n
- Maximální trvalý vybíjecí proud I_{tv}
- Maximální špičkový vybíjecí proud $I_{\text{šv}}$
- Vnitřní odpor R_i



2.2 Výhody a nevýhody LiPol článků

Porovnání výhod a nevýhod s ostatními akumulátory.

Výhody:

- Nemají paměťový efekt
- Nabíjení vysokým proudem
- Nepřehřívají se
- Při nevyužívání se nemusí vybíjet

Nevýhody:

- Náchylné na mechanické poškození
- Při vybití pod hodnotu 2,7V na článek hrozí nenávratné poškození
- Složité nabíjení

2.3 Nabíjení akumulátorů

U LiPol článků se určují 3 hodnoty napětí:

- Maximální napětí 4,2V pro jeden článek
- Nominální napětí 3,7V pro jeden článek
- Minimální napětí 2,7V pro jeden článek

Při vybíjení LiPol článků se nesmí dostat hodnota napětí pod 2,7V, jinak hrozí nevratné poškození a nafouknutí článku a v krajním případě i exploze akumulátoru.

Nabíjení jednoho článku je jednoduché. Článek se nabíjí maximálním nabíjecím proudem, který je určen tzv. „céčkem“.



Podle vzorce:

$$I_n = C * C_{aku} \quad (1)$$

kde C je počet „céček“ a C_{aku} je kapacita baterie v Ah. „Céčka“ bývají zadána v informacích, ale lze je i vyjádřit vzorcem:

$$C = \frac{0,37}{R_l * C_{aku}} \quad (2)$$

kde 0,37 je 10 % z nominálního napětí.

U nabíjení více článkových akumulátorů se musí nabíjet jednotlivé články vyváženě. To znamená, že u konce nabíjení se sníží nabíjecí proud a nabíječka pomalu srovnává napětí jednotlivých článků. K tomu slouží balanční konektory, které má každý akumulátor. [12][13]

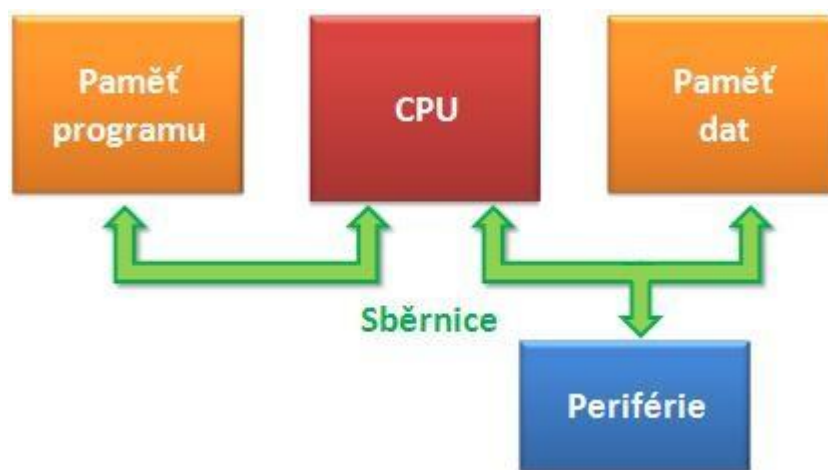


3 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér v překladu jednočipový počítač. Mikrokontrolér slouží v obvodu pro vyhodnocování dat z měřících senzorů a následné řízení ovládacích prvků nebo komunikaci s jinými zařízeními. Data může zpracovávat buď v analogové či digitální formě. Mikrokontroléry se rozdělují podle architektury (von Neumannova, Harvardská) a podle použitého instrukčního souboru (RISC, CISC). [14][18]

3.1 Harvardská architektura

Harvardská architektura má oddělený paměťový prostor pro data a pro program. Největší výhodou této architektury je možnost jiné šířky pro programové a datové sběrnice. Další výhodou je rychlost instrukcí, protože lze data i instrukce číst v jeden okamžik. Nevýhodou je větší technologická složitost z důvodů tvorby dvou sběrnic. [19][20][21]



Obr. 10 – Harvardská architektura (převzato z [23])



3.2 Von Neumannova architektura

U von Neumanovy koncepce je paměť pro data i program společná. Tato architektura má výhodu v tom, že nepotřebuje rozlišovat instrukce pro data a paměť a to vede ke zjednodušení vlastního čipu.

Další výhodou je to, že je potřeba jen jedna sběrnice pro přenos obou typů dat. Nevýhodou je rychlost přenášení dat a tím pádem pomalejší rychlost celého čipu. [19][20][21]



Obr. 11 – von Neumannova architektura (převzato z [23])

3.3 RISC

Koncepce RISC (Reduced Instruction Set Computer) používá omezený počet a zjednodušené kódové instrukce. Díky tomu jsou jednodušší řídicí obvody a zkracuje se doba zpracování instrukcí. Řídicí obvody zabírají pouze 10 % místa na čipu. Výhodou je rychlost a jednoduchost. Nevýhodou je, že pro zakódování instrukce je potřeba více místa, a tím klesá hustota kódu. [14][22]



3.4 CISC

CISC (Complex Instruction Set Computer) má delší a složitější instrukční sadu. Koncepce díky tomu podporuje mnoho formátů a druhů instrukcí. Výhodou je více místa v programové paměti. Nevýhodou je komplikovanější dekodér instrukcí a pomalejší zpracování. Řídící obvody zabírají na čipu přibližně 60 % místa. [14][22]

3.5 Základní struktura mikrokontroléru

- Procesor – taktovací kmitočet – jednotky až stovky MHz.
- Operační paměť – typu RAM
- Paměť programu – typu ROM
- Oscilátor – RC nebo krystal
- Vstupní/výstupní porty
 - Paralelní
 - Sériové
 - Porty komunikačních sběrnic
 - A/D a D/A převodníky
 - PWM výstupy

Periferie:

- Řadič přerušení
- Watchdog timer
- Čítače



- Časovače
- Řadič displeje, klávesnice



4 DC/DC měnič

DC/DC měniče jsou samostatná skupina zdrojů a obecně jakýkoliv obvod, který mění (zvyšuje i snižuje) velikost vstupního napětí. Oblast jejich použití je velice široká. Základní hledisko je výstupní výkon měniče. Tento výkon částečně určuje konstrukci měniče a oblast jeho nasazení. Měniče, které mají výstupní výkon kolem 10W, jsou konstruovány jako obvody určené pro montáž plošného spoje. [24][25]

Měniče se rozdělují na:

- Měniče s lineárními obvody
 - Užívají se jen pro snižování napětí
 - Nevýhodou je malá účinnost
- Měniče se spínanými kondenzátory
 - Generují i více výstupních napětí
- Měniče s indukčností
 - Typické spínané zdroje
 - Vysoká účinnost
 - Zvyšující, snižující i invertující měniče
 - Pouze jedno výstupní napětí, z kterého lze vytvořit více nižších napětí
- Měniče s transformátory
 - Možnost více kombinací výstupního napětí



- Nejvíce vyráběné obvody

Dle zapojení:

- Snižující měnič (Buck)
- Zvyšující měnič (Boost)
- Zvyšující a snižující měnič (Buck-Boost)
 - Zvyšující a snižující měnič (Cuk)
 - Invertující měnič
- Akumulující měnič (Flyback) [24][25]

4.1 Základní parametry

Vstupní parametry:

- Účinnost – definovaná jako poměr výstupního výkonu P_{out} a vstupního příkonu P_{in}
- Vstupní napěťový rozsah
- Vstupní proud
- Maximální hodnota vstupního přepětí – hodnota, která může být přivedena na vstup měniče, aniž by ho poškodila
- Spínací frekvence



Výstupní parametry:

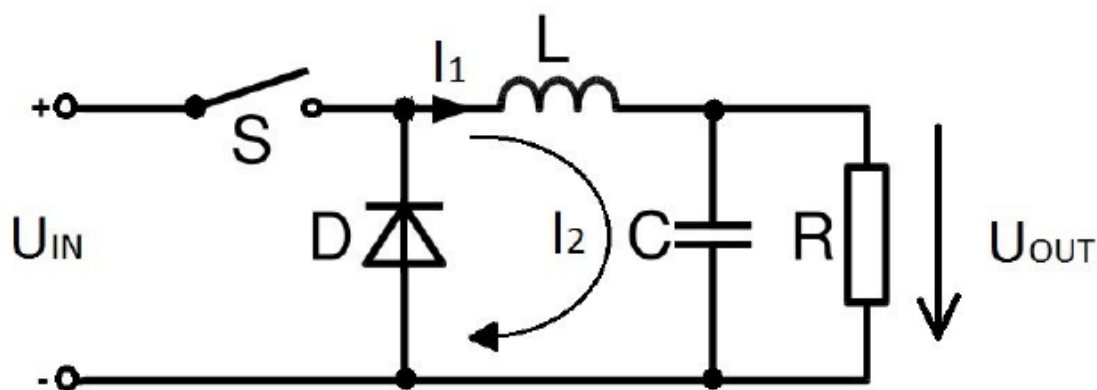
- Výstupní napětí
- Převodní charakteristika
- Zatěžovací charakteristika
- Odezva na změnu
- Výstupní zvlnění
- Přepět'ová ochrana [24]

4.2 Zapojení

Na základě požadavků pro tvorbu měniče a parametrů jsou uvedena možná zapojení DC/DC měničů.

4.2.1 Snižující měnič (Buck)

Snižující měnič je zapojen tak, že z vyšší hodnoty vstupního napětí vytvoří nižší výstupní napětí. Snižující měniče se vytváří z řídících spínacích měničů s indukčností. Ty mají účinnost kolem 95 %. Obsahují alespoň dva polovodičové spínače (dioda, tranzistor) a alespoň jeden prvek pro ukládání energie (kondenzátor, cívka). K výstupu měniče se přidávají filtrační kondenzátory kvůli snížení výstupního zvlnění. [26][27][28]

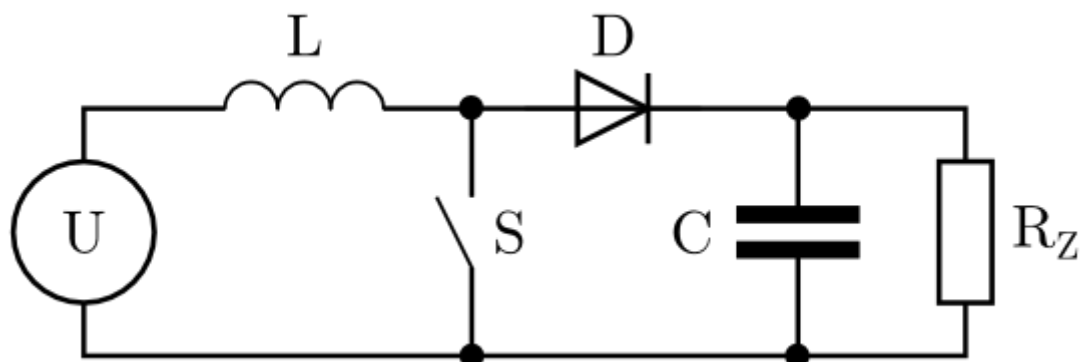


Obr. 12 – snižující měnič

Při sepnutí spínače se nabíjí kondenzátor a roste proud tekoucí cívkou. Až napětí dosáhne potřebné výstupní úrovně, spínač se rozezne. Proud tekoucí cívkou se začne uzavírat přes rekuperační diodu. Proud cívkou klesá a kondenzátor se vybíjí do zátěže. Když výstupní napětí klesne, řídicí logika opět sepne spínač a celý cyklus se opakuje. [27]

4.2.2 Zvyšující měnič (Boost)

Měnič s výstupním napětím vyšším než je hodnota jeho vstupního napětí. Osazení součástek je totožné jako u předchozího snižujícího zapojení. [24][25]



Obr. 13 – zvyšující měnič (převzato z [29])



Nejprve se kondenzátor při rozepnutí spínači nabije na vstupní napětí. Při sepnutí spínače roste proud tekoucí cívkou. Po určité době, aby se cívka nepřesytla, se spínač rozepne. Na cívce se indukuje napětí, které se přičítá ke vstupnímu napětí. Proud tekoucí cívkou potom musí téct přes diodu, nabíjí kondenzátor a teče do zátěže. Proud cívkou postupně klesá, kondenzátor se vybíjí do zátěže. Až napětí klesne pod předem nastavenou hodnotu, řídicí logika opět zapne spínač a celý cyklus se opakuje. [27]

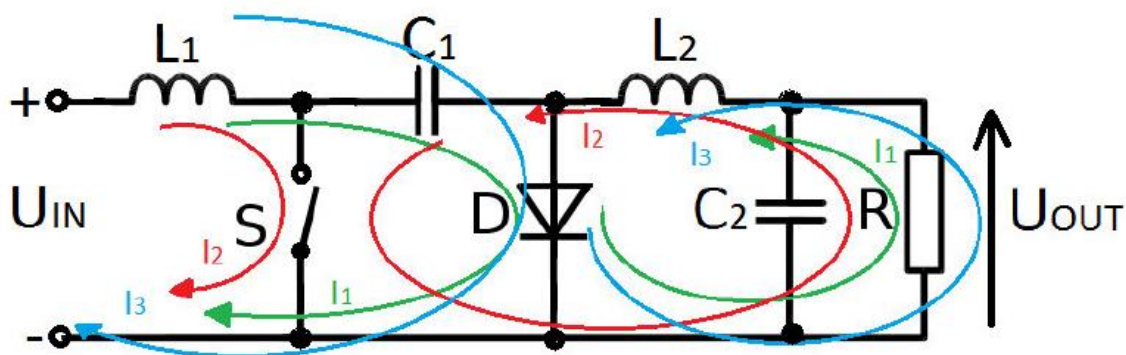
4.2.3 Zvyšující a snižující měnič (Buck-Boost)

Měnič, který má velikost výstupního napětí vyšší nebo nižší, než je hodnota vstupního napětí. Využívají se dva typy (Cuk, invertující). [25][29]

4.2.3.1 Zvyšující a snižující měnič (Cuk)

Měnič, který má hodnotu výstupního napětí vyšší nebo nižší, než je hodnota napětí na vstupu. Výstupní napětí má opačnou polaritu než vstupní napětí.

Jde o složitější zapojení, které se využívá v případech, kdy je hodnota vstupního napětí nejdříve vyšší a pak nižší než výstupní napětí. [25][29]



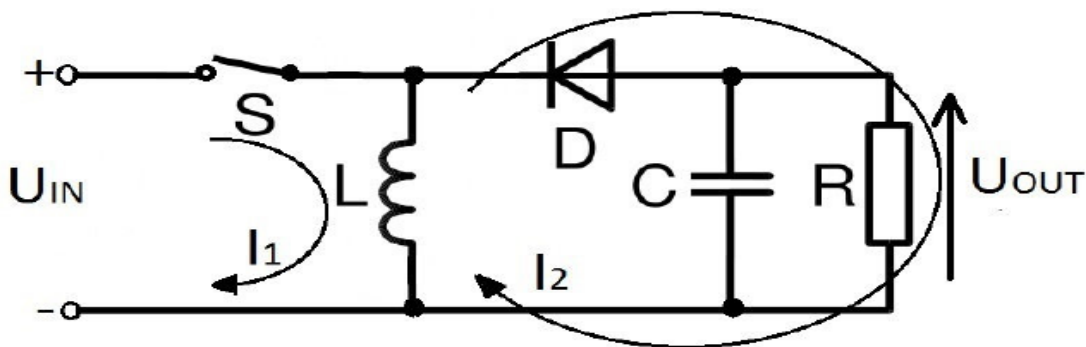
Obr. 14 – měnič Cuk (převzato z [24])



Zelená barva představuje tekoucí proud v případě rozepnutého spínače, červená je pro případ sepnutého spínače a modrá znázorňuje proud v době dalšího rozepnutí spínače. [24][28]

4.2.3.2 Invertující měnič

Výstupní hodnota napětí je opačné polarity, než je hodnota vstupního napětí. Jde o spínaný zdroj, který se zapojením podobá snižujícímu i zvyšujícímu měniči. Výstupní napětí je nastavitelné na základě pracovního cyklu spínacího tranzistoru. [25][28]

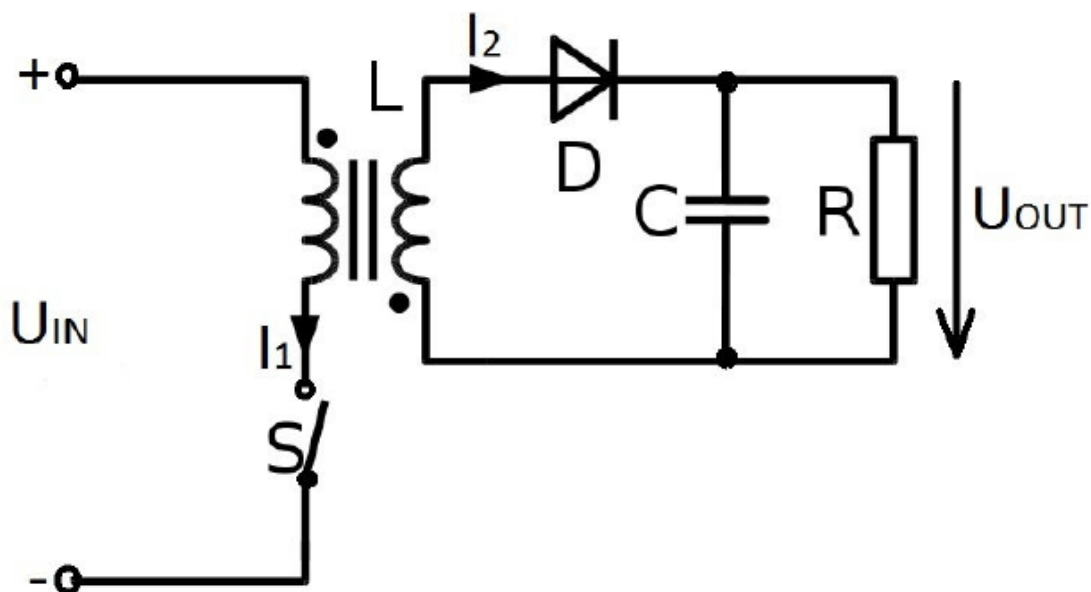


Obr. 15 – invertující měnič (převzato z [24])

Při sepnutí spínače roste proud tekoucí cívkou. Potom se spínač rozezne. Na cívce se indukuje napětí opačné polarity. Proud tekoucí cívkou se začne uzavírat přes rekuperační diodu. Kondenzátor se nabije záporným napětím. Účinnost tohoto zapojení měniče je maximálně 60 %. [27][28]

4.2.4 Akumulující měnič (Flyback)

Akumulující měnič se používá pro převod DC/DC s galvanickým oddělením mezi vstupem a výstupy, ale také pro převod AC/DC. Výstupní napětí může být vyšší i nižší než vstupní hodnota napětí. [24][26].



Obr. 16 – akumulující měnič (převzato z [24])

Když teče proud primárním vinutím, sekundární vinutí je polarizováno vzhledem k polaritě výstupní diody tak, že proud neteče. Energie se ukládá v poli transformátoru. Ve chvíli, kdy přestane téci proud primárním vinutím, začne téct proud sekundárním vinutím. Primární i sekundární vinutí jsou navinuta stejným směrem. Nevýhodou je omezený rozsah výstupního výkonu a nutnost ochrany tranzistoru proti průraznému napětí. [24][26]

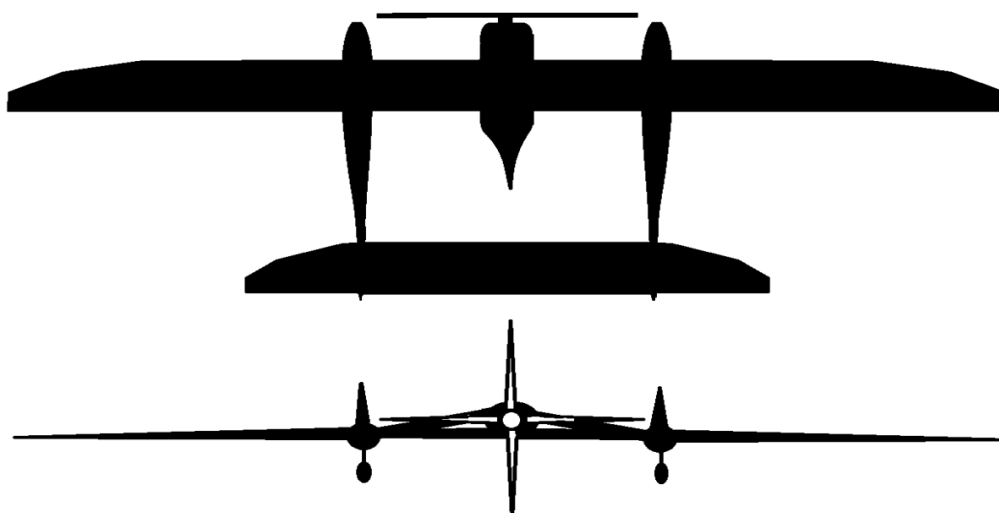


5 Návrh obvodu

V této části je popsána volba a výpočty součástek, návrh obvodů a realizace pro napájecí systém solárního modelu letadla. Práce řeší zapojení solárních panelů do obvodu, nabíjení LiPol baterií a výstupní napájení vyvedené z baterií pro ostatní elektroniku letadla. Celé řešení je rozděleno na dva obvody (vstupní, výstupní).

5.1 Podmínky pro obvod

První návrh solárního letadla byl uvažován s tím, že letadlo bude celé napájené jen ze solárních panelů. Návrh by to byl dobrý, kdyby neměl spoustu nevýhod. První z nich je účinnost panelů. Nejúčinnější panely mají účinnost pod 20 %. Ovšem tyto panely jsou velice drahé a pro naše letadlo těžké a neflexibilní. Kvůli malé účinnosti by na modelu také muselo být mnoho článků, aby pokryly potřebný výkon, a to by velikostí už nebyl model, ale normální osobní letadlo. Proto byl původní návrh zamítnut. Reálnější bylo poupravení nápadu tak, že model letadla bude obsahovat napájecí baterie, které budou pomocí solárních panelů dobíjené, a bude se tím prodlužovat dobu letu. Dalším krokem bylo zvolení typu letadla. Letadlo je dvoutrupý plachtící model s jedním tažným motorem uprostřed.



Obr. 17 – model letadla



Model bude vyroben ze dvou modelů letadel Falco EVO 3.



Obr. 18 – model Falco EVO 3 (převzato z [30])

Rozměry letadla Falco EVO 3:

- Rozpětí: 2060mm
- Délka trupu: 1137mm
- Plocha křídla: 36,4dm²
- Hmotnost: 1500g – bez zátěže

Vypočtené rozměry našeho letadla:

- Rozpětí: 3000mm
- Délka trupu: 1137mm
- Délka středního křídélka: 1000mm



- Plocha křídla: $36,4\text{dm}^2$
- Plocha středního křídélka: 25dm^2
- Hmotnost: 3600g – bez zátěže

Kvůli těmto rozměrům jsou plošné spoje omezeny velikostí, aby se vešly do trupu letadla (400 x 100 mm) a váhou. Z těchto důvodů byly voleny součástky SMD.

5.2 Vstupní obvod

Vstupní obvod obsahuje připojení solárních panelů, měnič napětí pro nabíjení baterií a připojení baterií.

5.2.1 Baterie

V každém trupu letadla bude vložena jedna 10000mAh baterie. Takže celý obvod bude napájen dvěma bateriemi. Jde o EZPOWER LIPO 7.4V. Tuto baterii jsme zvolili po doporučení zkušeným modelářem.

Technické parametry:

- Počet článků: 2
- Kapacita: 10000mAh
- Napětí: 7,4V
- Maximální trvalý vybíjecí proud: 400A (40C)
- Maximální nabíjecí proud: 10A (1C)



- Rozměry: 137 x 40 x 44 mm
- Hmotnost: 484 g



Obr. 19 – použitá baterie (převzato z [31])

5.2.2 Solární panel

Dle vypočtených rozměrů letadla byl zvolen solární panel typu CIGS Nanosolar NanoCell 2,6 Watt. Jde o flexibilní solární panel.



Obr. 20 – solární panel (převzato z [32])

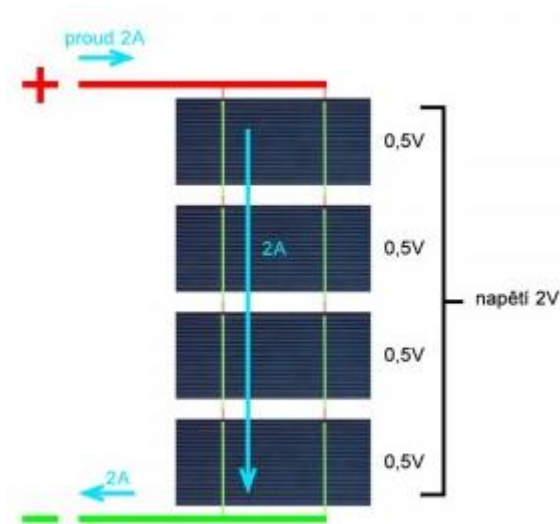
Technické parametry:

- Rozměry: 165 x 135 x 0,4 mm
- Maximální výkon: 2,6W
- Špičkové napětí $V_{mš}$: 0,45V



- Špičkový proud $I_{mš}$: 5,8A
- Napětí naprázdno V_n : 0,61V
- Zkratový proud I_z : 6,7A

Důvody pro zvolení těchto panelů byly cena, hmotnost, flexibilita a držení výkonu i za špatného počasí díky CIGS technologii. Nevýhodou těchto panelů je malá účinnost. Panely mají bohužel malé napětí, které zvýšíme měničem a zapojením panelů do série.

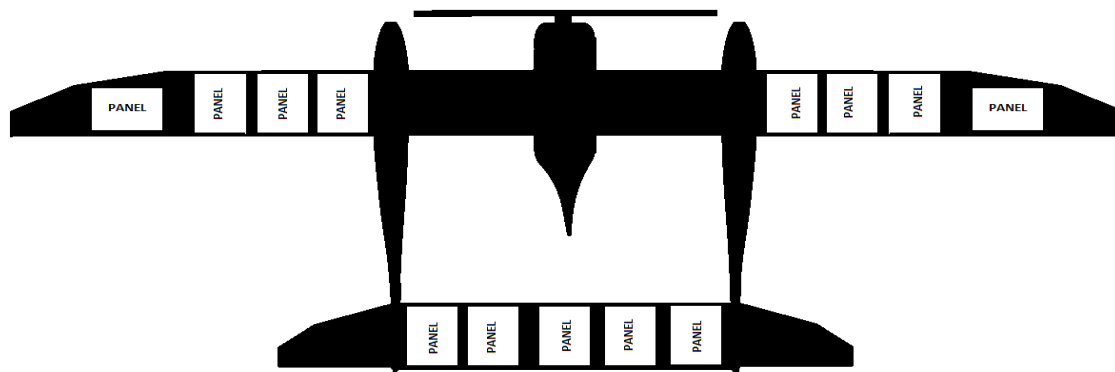


Obr. 21 – sériové zapojení (převzato z [33])

Tím však nastává problém při zastínění panelů. Při zastínění panelů klesá jejich výkon a celkový proud je pak určený „nejslabším“ panelem v obvodu. Panely budou na letadle ve stejné pozici a při natáčení se budou postupně stínit. Tento problém se ošetří přidáním ochranné diody ke každému panelu.



V našem letadle bude celkem 13 panelů.



Obr. 22 – letadlo s panely

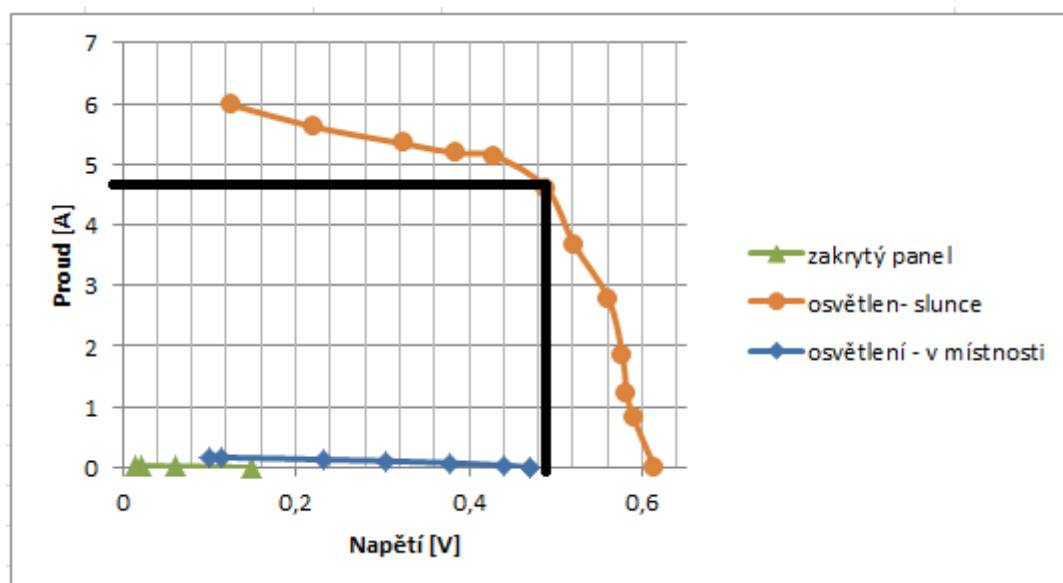
Bohužel kvůli tvaru panelů nelze zakrýt celou plochu křídla, zadní okrajová křídélka jsou malá na jeden panel a na střední křídla z důvodu jiného naklonění panely umisťovat nebudeme.

Výsledné hodnoty při počtu 13 panelů:

- Výkon: 33,8W
- Špičkové napětí: 5,85V
- Špičkový proud: 5,8A

5.2.2.1 Měření panelů

Byla provedena dvě měření, jedno proběhlo v laboratoři pod umělým osvětlením a druhé za jasného světla kolem 13. hodiny. Přiložen graf měření a tabulky:



Obr. 23 – graf měření solárních panelů



Denní světlo			
U[V]	I[A]	P[W]	R[Ω]
0,614	0	0	
0,59	0,82	0,4838	0,719512195
0,582	1,231	0,716442	0,472786353
0,577	1,85	1,06745	0,311891892
0,561	2,783	1,561263	0,201581028
0,521	3,681	1,917801	0,141537626
0,489	4,61	2,25429	0,106073753
0,429	5,14	2,20506	0,083463035
0,386	5,181	1,999866	0,074502992
0,324	5,34	1,73016	0,060674157
0,221	5,615	1,240915	0,03935886
0,125	5,98	0,7475	0,02090301

Tabulka 1 – měření za denního světla

Umělé osvětlení – laboratoř			
U[V]	I[A]	P[W]	R[Ω]
0,47	0	0	
0,47	0,1	0,047	4,7
0,441	3,5	1,5435	0,126
0,377	7,3	2,7521	0,051644
0,303	10,6	3,2118	0,028585
0,232	13	3,016	0,017846
0,115	16,6	1,909	0,006928
0,1	17,2	1,72	0,005814

Tabulka 2 – měření za umělého osvětlení

Zakryto – laboratoř			
U[V]	I[A]	P[W]	R[Ω]
0,15	0	0	
0,062	1,7	0,1054	0,036470588
0,022	2,5	0,055	0,0088
0,015	2,6	0,039	0,005769231

Tabulka 3 – měření při zakrytí



5.2.2.2 Zatěžovací kondenzátor

Pro udržení výkonu solárních panelů v pracovním bodě je potřeba na výstup připojit kondenzátor, který se bude určitou frekvencí spínat a tím bude udržovat pracovní bod.

$$t * I = C * U \quad (3)$$

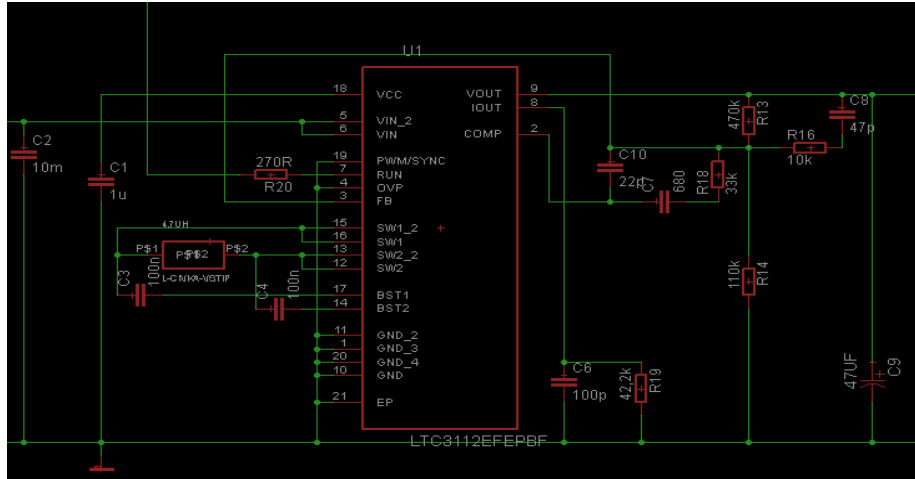
$$\frac{1}{f} * I = C * U \quad (4)$$

$$f = \frac{I}{C * U} = \frac{5,8}{10 * 10^{-3} * 5,85} = 10kHz \quad (5)$$

kde f je spínací frekvence, C je velikost kapacity, U je napětí na panelech a I je proud z panelů. Pro udržení napětí 5,85V a nabíjecího proudu 5A a zvoleném kondenzátoru 10mF musí být frekvencí 10kHz. Při poklesu napětí na panelech se sníží spínací frekvence, aby se udržel nastavený pracovní bod.

5.2.3 Vstupní měnič

Získané napětí z kondenzátoru je třeba přeměnit v nabíjecí napětí pro baterie (4,2V). Pro tuto část byl zvolen měnič LTC3112EFE. Tento měnič byl zvolen pro vysoký výstupní proud a možnost volit spínací frekvenci, která bude spínat kondenzátor u panelů. V obvodu bylo použito doporučené schéma.



Obr. 24 – schéma vstupního měniče

Pro nastavení výstupního napětí byl potřeba vypočítat poměr děliče.

$$U = U_{fb} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 0,8 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (6)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U - U_{fb}}{U_{fb}} = 4,25 \quad (7)$$

kde U_{fb} je napěťová konstanta pro zpětnou vazbu, R_1 , R_2 jsou odpory na děliči a U je vstupní napětí. Pro tento poměr byly zvoleny odpory 470kΩ a 110kΩ. Spínací frekvenci řídí mikrokontrolér.

Výpočet výstupního proudu, který počítá mikrokontrolér a posílá do hlavního mikrokontroléru.

Když je vstupní napětí nižší než výstupní.

$$I = \frac{U_{in}}{f * L} * \frac{U_{out} - U_{in}}{U_{out}} \quad (8)$$

Když je vstupní napětí vyšší než výstupní.

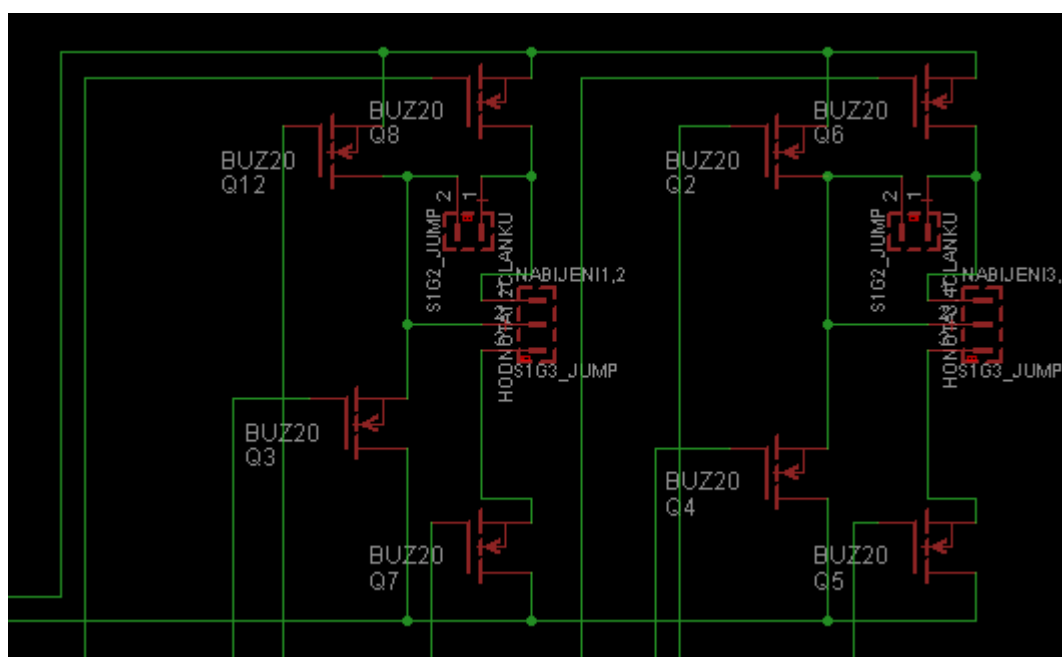
$$I = \frac{U_{out}}{f * L} * \frac{U_{in} - U_{out}}{U_{in}} \quad (9)$$



kde U_{in} je vstupní napětí, U_{out} je výstupní napětí, f je spínací frekvence, L je cívka u měniče a I je výstupní proud.

5.2.4 Přepínací obvod

Velikost výstupního napětí je stejná, jako maximální velikost každého článku v bateriích. Toto napětí může vždy nabíjet pouze jeden článek. Toho je docíleno přepínacím obvodem.



Obr. 25 – přepínací obvod

Jde o zapojení tranzistorů tak, že se vždy nastaví pro jeden článek a pro zbylé tři se uzavře. Program v mikrokontroléru pak články nabíjí vyvažováním. To znamená, že přepíná mezi články jedné baterie a nabíjí střídavě každý článek. Kdyby se články nabíjely nevyváženě, tak hrozí poškození baterie. Vždy je nabíjena pouze jedna baterie. Druhá napájí výstupní obvod. Při poklesu napětí z panelů pod určitou hladinu se nabíjení vypne. Hodnoty článků jsou měřeny a podle toho je určováno nabíjení konkrétní baterie.



Tranzistory IRLZ34N byly zvoleny proto, že jimi může protékat vysoký proud. Protože takto příliš vysokých proudů v obvodu ani nedosahují, není třeba k tranzistorům přidávat chladiče. Tyto tranzistory jsou řízeny optočleny TLP124.

5.2.5 Výstupy z obvodu

Vstupní obvod obsahuje tyto výstupy:

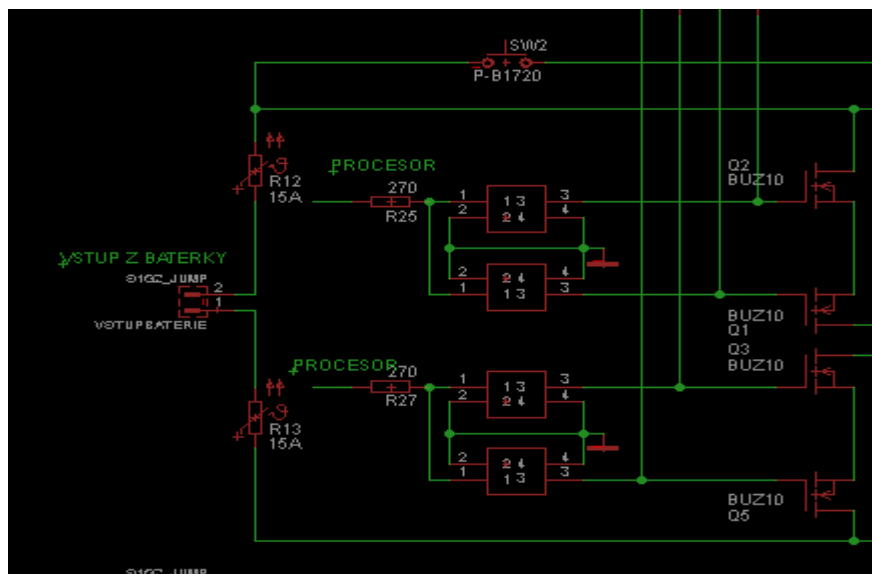
- Výstupy pro připojení panelů
- Výstup pro měření hladiny panelů
- Výstup pro spínací frekvenci
- Spínání nabíjení
- Napájení tranzistorů
- Výstupy pro měření hodnot napětí na bateriích
- Výstupy pro řízení přepínání článků
- Výstupy pro připojení článků
- Výstup pro propojení společného uzemnění s výstupním obvodem

5.3 Výstupní obvod

Na výstupním obvodu se nachází řídicí mikrokontrolér, měniče pro výstupní napětí k ostatní elektronice a výstupy pro připojení elektroniky.

5.3.1 Vstupní přepínací obvod

Na vstup obvodu je přivedeno napětí z obou baterií, které jsou připojeny k obvodu pro přepínání.



Obr. 26 – vstupní přepínací obvod

Přepínací obvod je složen ze 4 Nmosfet tranzistorů IRLZ34N (dva ke každé baterii) a 4 optočleny TLP124. K vstupu optočlenu je připojen procesor, který řídí spínání tranzistoru. Dva tranzistory jsou spojeny Sourcingem, aby při vypnutí tranzistoru nešel zpětný proud z druhé baterie do první a tím se nepoškodila. Takto zapojeny jsou i tranzistory na vstupním obvodu pro vypínání nabíjení. Mezi tranzistor a baterii je přidána proudová pojistka pro ochranu při zkratu obvodu.

K první baterii je připojen spínač pro spouštění obvodu. Spínač je zde kvůli prvotnímu sepnutí. Pro sepnutí obvodu se musí tranzistory otevřít, ty se ale otevřou až po připojení napětí na Gate. Toto napětí se generuje až za tranzistory. Z tohoto důvodu se tranzistory nesepnou, a tím se obvod nespustí. Spínač obchází tranzistory a dostane napětí na měnič pro tranzistory a až potom se můžou tranzistory sepnout a obvod je zapnutý. To oznámí informační LED dioda, která se rozsvítí. Je zde i celkový vypínač pro úplné vypnutí obvodu.

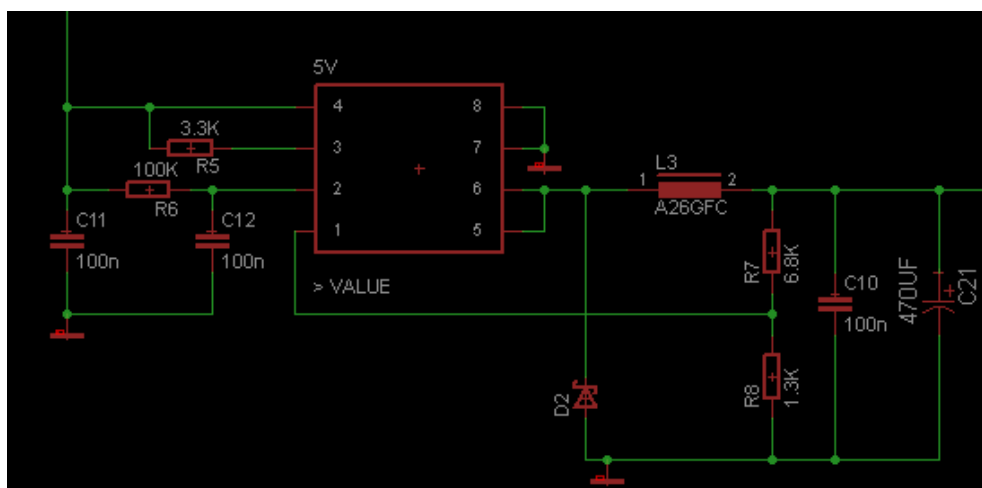


5.3.2 Mód pro obě baterie

Pro rychlé vzletnutí se dá sepnout mód obou baterií. Signál pro sepnutí se dostane z řídicího mikrokontroléru (v řídicím obvodu; není v této bakalářské práci). Při tomto signálu se vypne nabíjení baterií a na výstupní obvod se připne druhá baterie. U připojeného motoru vzroste výkon a zvýší se otáčky. Letadlo pak vzletne do vzduchu rychleji. Vše je řízeno mikrokontrolérem, který hlídá proudy z baterií a vyvažuje baterie tak, aby se navzájem nepřebíjely. Při poklesu hladiny napětí na bateriích pod určitou hodnotu nebo přijmutím dalšího signálu z řídicího mikrokontroléru se mód vypne. Tento mód je pouze pro vzlet.

5.3.3 Měnič na 3,3V a 5V

Pro ostatní připojenou elektroniku je nastaveno výstupní napětí 5V a 3,3V. Toho napětí mění výstupní měniče z napětí baterií. Zvoleny byly měniče AP1533SG-13 od firmy Diodes. Zapojeny jsou podle doporučeného schématu.



Obr. 27 – měnič na 5V a 3,3V



Pro nastavení výstupního napětí byl potřeba vypočítat poměr děliče:

$$U = U_{fb} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 0,8 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (10)$$

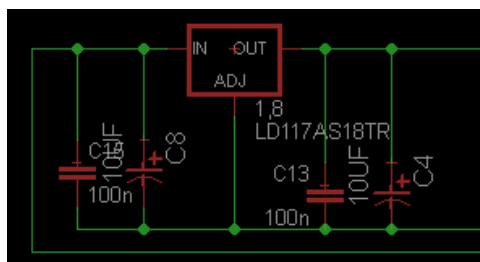
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U - U_{fb}}{U_{fb}} = 5,2 \text{ pro } 5V \quad (11)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U - U_{fb}}{U_{fb}} = 3,1 \text{ pro } 3,3V \quad (12)$$

kde U_{fb} je napěťová konstanta pro zpětnou vazbu, R_1 , R_2 jsou odpory na děliči a U je vstupní napětí. Pro poměr při 5V byly zvoleny odpory 6,8kΩ a 1,3kΩ a pro 3,3V odpory 6,2kΩ a 2kΩ. Spínací frekvenci řídí mikrokontrolér. Pro vnitřní obvod slouží 5V k napájení mikrokontroléru a 3,3V pro napájení 1,8V měniče.

5.3.4 Mikrokontrolér

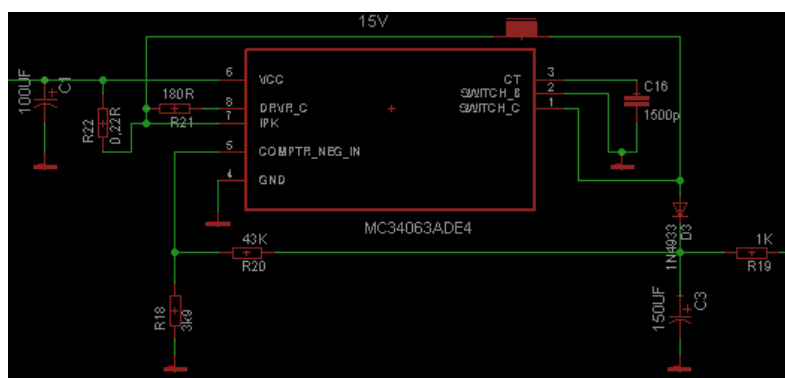
Toto je „mozek“ celého obvodu. Řídí veškeré přepínání v obvodu, měření napětí přes A/D převodník, počítání a vyhodnocování. Je zde nastavena komunikace pro hlavní mikrokontrolér řízení, kterému posílá hodnoty hladin napětí na člancích. Všechny kódy programu jsou přiloženy v CD na zadní straně desek. Mikrokontrolér byl zvolen PIC16F877A.



Obr. 29 – měnič 1,8V

5.3.6 Měnič 15V

15V měnič je v obvodu primárně pro otevírání tranzistorů. Je napájen přímo z baterií. Jde o typ MC34063AD zapojený podle doporučeného boost schématu.



Obr. 30 – měnič 15V

Pro nastavení výstupního napětí byl potřeba vypočítat poměr děliče:

$$U = U_{fb} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (13)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U - U_{fb}}{U_{fb}} = 11 \quad (14)$$

kde U_{fb} je napěťová konstanta pro zpětnou vazbu, R_1 , R_2 jsou odpory na děliči a U je vstupní napětí. Pro tento poměr byly zvoleny odpory 3,9kΩ a 43kΩ. Spínací frekvenci řídí mikrokontrolér.



5.3.7 Výstupy z obvodu

Výstupní obvod obsahuje tyto výstupy:

- Výstupy pro připojení elektroniky s 1,8V, 3,3V, 5V a 15V
 - K pěti 5V výstupům jsou přidány kolíky pro PWM modulaci.
Jsou zde pro jednodušší připojení servomotorů a motoru.
- Výstup pro uzemnění ze vstupního měniče
- Vstupy pro připojení baterií
- Výstupy pro I2C komunikaci s řídicím mikrokontrolérem
- Výstupy pro měření hladiny napětí na člancích a panelech
- Řídicí výstup pro vypínání nabíjení a spínací frekvenci na vstupní obvod
- Řídicí výstupy pro přepínání nabíjení článků
- Výstup pro napájení tranzistorů na vstupním obvodu
- Výstup pro připojení motoru



6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem napájecí soustavy modelu solárního letadla. V úvodu práce jsme se seznámili s problematikou solárních panelů, nabíjení baterií, funkcí mikrokontroléru a druhy napěťových měničů.

Cílem práce bylo navrhnout a sestavit funkční napájecí systém, který se podařilo splnit. Prvotní úkol byl určit model letadla a k němu příslušné solární panely. Model bude dvoutrupý plachtící letoun, sestavený ze dvou modelů typu Falco EVO 3. K tomuto letounu byly zvoleny solární panely CIGS pro jejich nízkou cenu a flexibilitu. Výkon těchto panelů byl změřen ve dvou měřeních. První laboratorní měření nebylo příliš účinné, protože umělé osvětlení nedosahovalo ani desetiny osvětlení jako slunce. Druhé měření už bylo díky přímému slunečnímu záření úspěšnější a podařilo se změřit voltampérovou křivku. Pro přesnější určení by bylo lepší provést více měření, která se ale z časových důvodů nestihla.

Volbou modelu letadla byly určeny podmínky pro návrh plošného spoje. Plošný spoj musel být omezen velikostí a hmotností.

Po změření výkonu panelů byl vypočítán zatěžovací kondenzátor a určen měnič pro nabíjení článků baterií a to energií získanou z panelů. Pro nabíjení článků byl navrhnout obvod, který slouží k vyvažování nabíjení článků. Toto celé bylo vloženo do samostatného vstupního obvodu.

Druhý navrhnutý obvod slouží jako výstupní pro připojení a napájení veškeré elektroniky v modelu. Je zde připojení pro baterie a k nim připojená proudová pojistka pro ochranu obvodu při zkratu. Za těmito pojistkami je připojen přepínací obvod pro připojení a odpojení baterií. Poté následují měniče napětí pro 1,8V, 3,3V, 5V a 15V. Tato napětí slouží k napájení zbytku elektroniky.



Literatura

- [1] Fotovoltaický jev. *CEZ* [online]. 2006 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [2] Fotovoltaika. *CEZ* [online]. 2006 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [3] Solární energie. *slatinský* [online]. 2008 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.slatinsky.eu/jak-elektrarna-funguje.html>
- [4] Fotovoltaika. *Complet energy* [online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.completenergy.cz/modules.php?name=News&file=print&sid=15>
- [5] Fotovoltaické solární panely. *Solarni energie* [online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/fotovoltaicke-solarni-panely-kolektory.php>
- [6] Solární panely. *Solar liglass*[online]. 2009 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/85-rozdil-mono-poly.html>
- [7] Solární panely. *Joyce energie*[online]. 2014 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: http://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf
- [8] Druhy solárních panelů. *Apolo solar*[online]. 209 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.apolosolar.cz/druhy-solarnich-clanku/>
- [9] Solární články. *TZB info*[online]. 2006 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiiky>
- [10] Jak elektrárna funguje. *TZB slatinský*[online]. 2008 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.slatinsky.eu/jak-elektrarna-funguje.html>
- [11] LiPol akumulátor. *wikipedia*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [12] Přejchod na lipo. *Moje modely*[online]. 2013 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: http://www.mojemodely.cz/clanky/prechod_na_lipo.htm



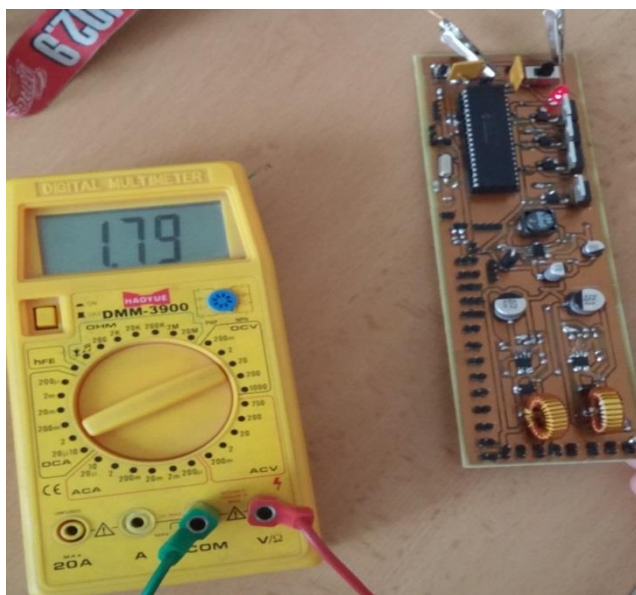
- [13] LiPol baterie. *Lipol baterie*[online]. 2016 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.lipolbaterie.cz/lipol-baterie/>
- [14] RISC versus CISC. *AVR*[online]. 2000 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: http://avr.hw.cz/architektura/risc_cisc.html
- [15] Volba technologie. *abot*[online]. 2011 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.abot.cz/cs/vase-investice/volba-technologie>
- [16] Tenkovrstvé panely. *protext*[online]. 2011 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.protext.cz/zprava.php?id=12676>
- [17] Technologie CIGS. *Solární noviny*[online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010032102&rm=29#.VoqN4LbhBdg>
- [18] Jednočipové mikropočítače. *CUNI*[online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap9/jednocipoc.html>
- [19] Procesory CISC a RISC. *poli*[online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/procrisc.pdf>
- [20] Uvod do jednočipů. *soom*[online]. 2014 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.soom.cz/clanky/1005--Uvod-do-jednocipu>
- [21] Jednočipový počítač. *wikipedia*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jedno%C4%8Dipov%C3%BD_po%C4%8D%C3%ADta%C4%8D
- [22] Procesory CISC a RISC. *poli*[online]. 2010 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/procrisc.pdf>
- [23] Procesory. *Wiki SPS-PI*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: http://wiki.sps-pi.com/index.php/Hlavn%C3%AD_strana
- [24] KREJČIŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. Praha: BEN, 2001. ISBN 80-7300-045-8.49
- [25] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I*. Praha: BEN, 1996. ISBN 80-86056-02-3.
- [26] Switched-mode power supply. *Wikipedia* [online]. 2014[cit. 2016-01-08]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode_power_supply
- [27] Měníče napětí. *TZB-info*[online]. 2008 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4263-menice-napeti-a-spinane-zdroje-teoreticka-zakladna>



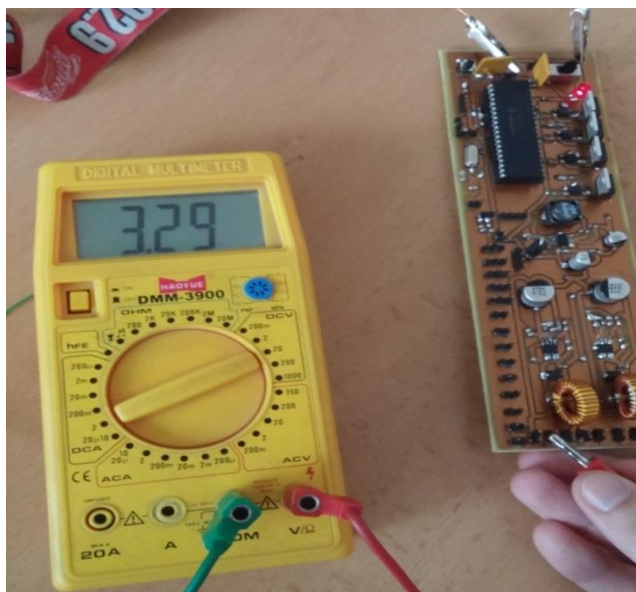
- [28] Měníče. *danyk*[online]. 2012 [cit. 2016-01-08] Dostupné z:
<http://danyk.cz/menice.html>
- [29] DC-DCMěníče. *uart*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z:
<http://uart.cz/952/dc-dc-menice/>
- [30] Model falco EVO 3. *uart*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z:
<http://www.produce.va-models.com/cs>
- [31] Model lipo baterie. *Rc king*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z:
<http://www.rcking.eu/cs/auta/70095-ezpower-lipo-74v-10000mah-40c-trx.html>
- [32] CIGS solar panels. *Direct voltage*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z: <http://directvoltage.com/flexible-solar-cells/25-nanosolar-nanocell-26-watt-flexible-cigs-solar-cell.html>
- [33] Jak zapojit články. *Filutova dílna*[online]. 2015 [cit. 2016-01-08] Dostupné z:
<http://www.filutovadilna.cz/panely/jak-clanky-zapojit>



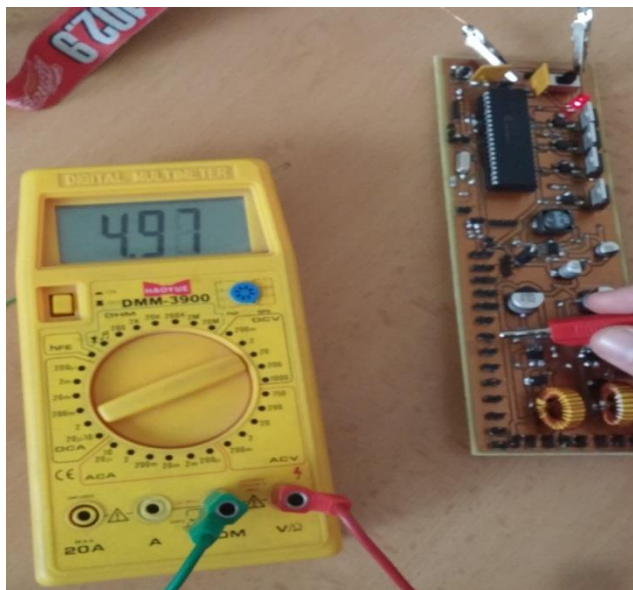
Přílohy



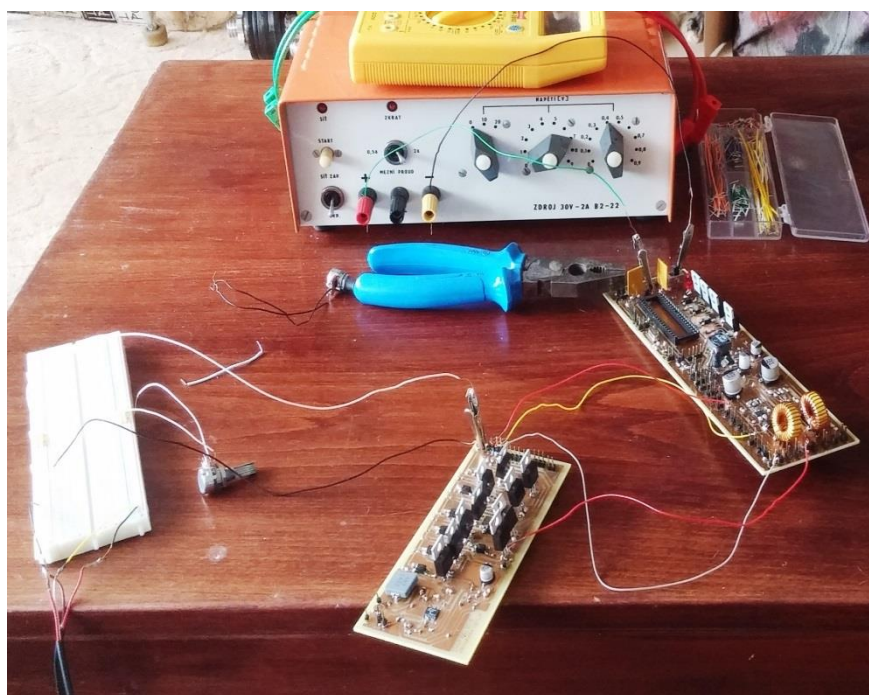
Obr. 31 - výstup 1,8V



Obr. 32 - výstup 3,3V



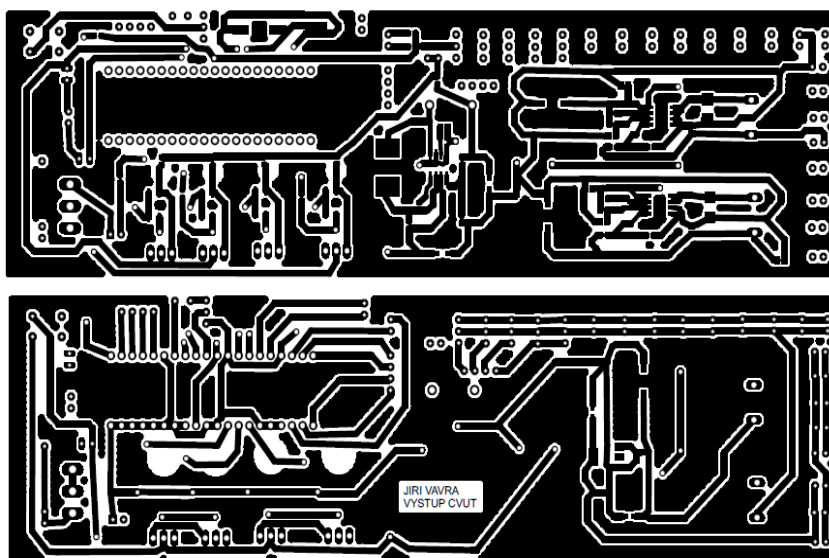
Obr. 33 - výstup 5V



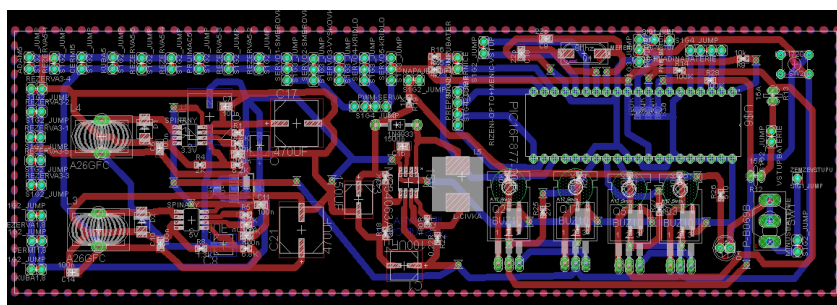
Obr. 34 - měření celého obvodu



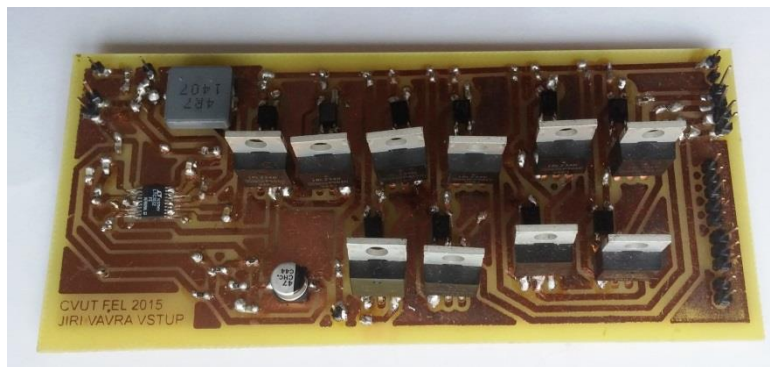
Obr. 35 - výstupní obvod



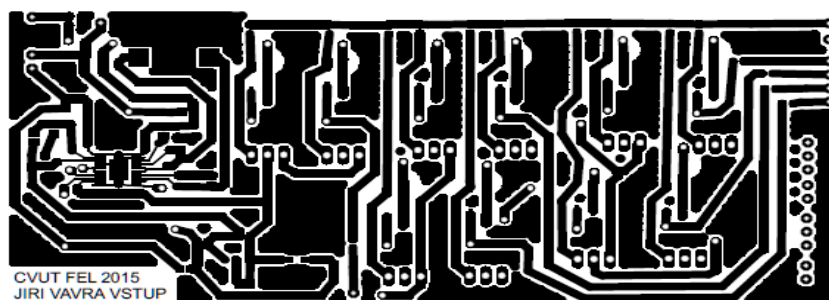
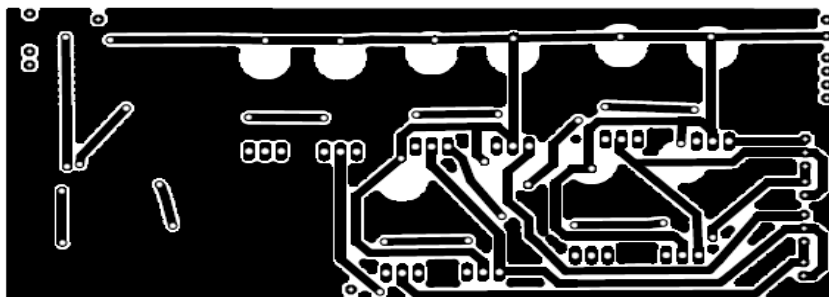
Obr. 36 - šablona výstupního obvodu



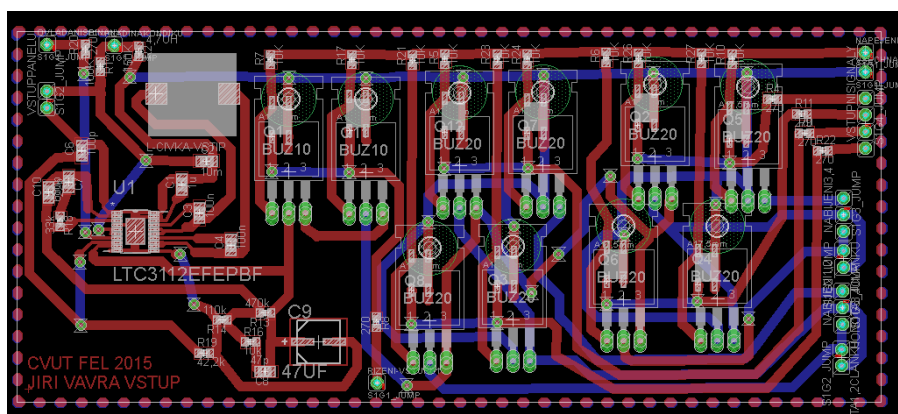
Obr. 37 - návrh výstupního obvodu



Obr. 38 - vstupní obvod



Obr. 39 - šablona vstupního obvodu



Obr. 40 - návrh vstupního obvodu



Seznam tabulek

Tabulka 1 – měření za denního světla

Tabulka 2 – měření za umělého osvětlení

Tabulka 3 – měření při zakrytí

Seznam obrázků

Obr. 1 – PN přechod (převzato z [2])

Obr. 2 – monokrystalický panel (převzato z [4])

Obr. 3 – polykrystalický panel (převzato z [15])

Obr. 4 – tenkovrstvý panel (převzato z [17])

Obr. 5 – princip CIGS panelu (převzato z [17])

Obr. 6 – porovnání panelů (převzato z [15])

Obr. 7 – náhradní schéma (převzato z [9])

Obr. 8 – voltampérová charakteristika (převzato z [10])

Obr. 9 – LiPol baterie (převzato z [11])

Obr. 10 – Harvardské architektura (převzato z [23])

Obr. 11 – von Neumannova architektura (převzato z [23])

Obr. 12 – snižující měnič (převzato z [29])

Obr. 13 – zvyšující měnič (převzato z [29])

Obr. 14 – měnič Cuk (převzato z [24])

Obr. 15 – invertující měnič (převzato z [24])

Obr. 16 – akumulující měnič (převzato z [24])

Obr. 17 – model letadla

Obr. 18 – model Falco EVO 3 (převzato z [30])

Obr. 19 – použitá baterie (převzato z [31])

Obr. 20 – solární panel (převzato z [32])

Obr. 21 – sériové zapojení (převzato z [33])

Obr. 22 – letadlo s panely

Obr. 23 – graf měření solárních panelů

Obr. 24 – schéma vstupního měniče

Obr. 25 – přepínací obvod



- Obr. 26 – vstupní přepínací obvod**
Obr. 27 – měnič na 5V a 3,3V
Obr. 28 – schéma mikrokontroléru
Obr. 29 – měnič 1,8V
Obr. 30 – měnič 15V
Obr. 31 – výstup 1,8V
Obr. 32 – výstup 3,3V
Obr. 33 – výstup 5V
Obr. 34 – měření celého obvodu
Obr. 35 – výstupní obvod
Obr. 36 – šablona výstupního obvodu
Obr. 37 – návrh výstupního obvodu
Obr. 38 – vstupní obvod
Obr. 39 – šablona vstupního obvodu
Obr. 40 – návrh vstupního obvodu

Seznam symbolů a zkratek

μ	Účinnost
A/D	Analogový/digitální
ALU	Aritmeticko logická jednotka
C	„céčka“
C	Kapacita, kondenzátor
C_{aku}	Kapacita akumulátoru
CIS	Copper, Indium, Diselenide – měď, indium, diselen
CISG	Copper, Indium, Gallium, Selenide – měď, indium, galium, selenid
CISC	Complex Instruction Set Computer
CPU	Centrální procesová jednotka
D	Dioda
D/A	Digitální/analogový
DC	Direct current – stejnosměrný proud
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
f	Frekvence
I2C	Dvoudrátové rozhraní sběrnice
I	Proud
I_{FV}	Proud fotovoltaiickým článkem
I_{mp}	Proud maximálního výkonu
$I_{mš}$	Špičkový proud
I_n	Nabíjecí proud



I_{sc}	Zkratový proud
$I_{šv}$	Maximální špičkový vybíjecí proud
I_{tv}	Maximální trvalý vybíjecí proud
I_z	Zkratový proud
L	Cívka, indukčnost
LED	Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo
M_{pp}	Maximální výkon
P	Výkon
P_{in}	Vstupního příkonu
P_{out}	Výstupního výkonu
PWM	Pulzní šířková modulace
R	Odpor
R_1	Odpor
R_2	Odpor
RAM	Random-access memory, - paměť s přímým přístupem
RC	Odpor, kondenzátor
R_i	Vnitřní odpor
RISC	Reduced Instruction Set Computer
ROM	Read-Only Memory
R_p	Paralelní odpor, svodový odpor
R_s	Sériový odpor
R_z	Odporová zátěž
S	Spínač
SMD	Mikro součástka
t	Čas
U	Napětí
U_a	Napětí akumulátoru
U_{fb}	Napětí zpětné vazby
U_{in}	Vstupní napětí
U_{mp}	Napětí maximálního výkonu
U_{oc}	Napětí naprázdno
U_{out}	Výstupní napětí
$V_{mš}$	Špičkové napětí
V_n	Napětí naprázdno



Seznam součástek

Označení	Druh součástky	Hodnota/typ
Výstup		
R12,R13	pojistka	AGRF800
R25,R27	odpor	270 Ω
O1,O2,O3,O4	optočlen	TLP124
SW2	spínač	TD-03XB
R10,R11,R23,R24	odpor	10k Ω
Q1,Q2,Q3,Q5	tranzistor	IRLZ34N
SW1	přepínač	SL19-121
R14,R28,R30	odpor	100k Ω
R17,R29,R31	odpor	150k Ω
M1	měníč 5V	AP1533SG
C10,C11,C12	kondenzátor	100nF
D2	dioda	SK310B
R6	odpor	100k Ω
R5	odpor	3,3k Ω
L3	cívka	p611
R8	odpor	1,3k Ω
R7	odpor	6,8k Ω
C21	kondenzátor	470 μ F
M2	měníč 3,3V	AP1533SG
C5,C6,C7	kondenzátor	100nF
D1	dioda	SK310B
R2	odpor	100k Ω
R1	odpor	3,3k Ω
L4	cívka	p611
R3	odpor	6.2k Ω
R4	odpor	2k Ω
C17,C20	kondenzátor	470 μ F



P1	mikrokontrolér	PIC16F877A
C14	kondenzátor	100nF
C9,C1	kondenzátor	22pF
Q4	krystal	HC49S
R26	odpor	510Ω
D4	dioda	P511
R9	odpor	10kΩ
R15,R16	odpor	4,7kΩ
M3	měníč 1,8V	SOT22
C13,C15	kondenzátor	100nF
C4,C8	kondenzátor	10μF
M4	měníč 15V	MC34063AD
C1	kondenzátor	100μF
R22	odpor	0,22Ω
R21	odpor	180Ω
R20	odpor	43kΩ
R19	odpor	3,9kΩ
L5	cívka	MSS1260-184KLD
C3	kondenzátor	150μF
D3	dioda	1N5819
C16	kondenzátor	1,5nF
R19	odpor	1kΩ
kolíky	kolíky	SLG36
Vstup		
R2	odpor	150kΩ
R1	odpor	100kΩ
C2	kondenzátor	10μF
C1	kondenzátor	1μF
C3,C4	kondenzátor	100nF
L1	cívka	SRP1238A-4R7M
R20	odpor	270Ω



M1	měníč	LTC3112EFE
C6	kondenzátor	100pF
R19	odpor	42,2k Ω
C10	kondenzátor	22pF
C7	kondenzátor	680pF
R18	odpor	33k Ω
R13	odpor	470k Ω
R16	odpor	10k Ω
R14	odpor	110k Ω
C8	kondenzátor	47pF
C9	kondenzátor	470 μ F
Q1,Q11	tranzistor	IRLZ34N
O1,O2	optočlen	TLP124
R8	odpor	270 Ω
R7,R17	odpor	10k Ω
Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8,Q12	tranzistor	IRLZ34N
R4,R9,R11,R22	odpor	270 Ω
O3,O11	optočlen	TLP124
R5,R6,R10,R21,R23,R24,R26,R27	odpor	10k Ω
kolíky	kolíky	SLG36