



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV RADIOTELEKTRONIKY**  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

**MALÁ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA**  
SMALL SOLAR POWER PLANT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE** Patrik Šimůnek  
AUTHOR

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

**BRNO 2017**

## Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**  
Ústav radioelektroniky

**Student:** Patrik Šimůnek

**ID:** 173756

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

### Malá solární elektrárna

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte systém malé domácí solární elektrárny. Systém bude založen na akumulátoru, který bude primárně dobijen solárním panelem s možností dobíjení z veřejného síťového rozvodu. Vyberte klíčové komponenty systému a navrhněte obvodové zapojení klíčových prvků systému. Proveďte návrh integrace elektrárny do domácnosti (osvětlení, napájení malých spotřebičů).

Realizujte navržený systém, ověřte jeho funkčnost a efektivitu, proveďte jeho optimalizaci. Zaměřte se na maximální využití solární energie s využitím techniky MPP tracking.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PRESSMAN, A.I., BILLINGS, K.H., MOREY, T. Switching power supply design. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, c2009. ISBN 0071482725.

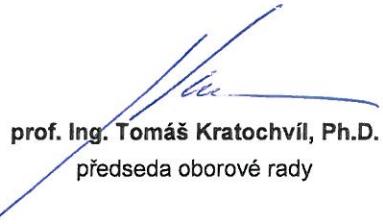
[2] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-56-2.

**Termín zadání:** 6. 2. 2017

**Termín odevzdání:** 30.5.2017

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

**Konzultant:**

  
prof. 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 návrhem malé solární elektrárny s akumulátorem, která bude napájet menší domácí spotřebiče. Informace o stavu zařízení bude možné sledovat přímo na zařízení a také ve veřejné tabulce na internetu. Práce obsahuje teoretický návrh a praktickou realizaci celého systému jako funkčního kompletu, návrh MPPT regulátoru a návrh zapojení a desky plošného spoje. V práci jsou uvedeny i výsledně naměřené hodnoty na zrealizovaném zařízení.

# **KLÍČOVÁ SLOVA**

MPPT, zdroj, solární elektrárna, baterie, WiFi, ESP8266, BQ24650

# **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the design of a small solar power-station utilizing a lead-acid battery. Its purpose is to provide power for small household appliances. This project consists of a theoretical design of the system, detailed design of MPPT regulator and a design of schematic circuitry and PCB. Finally, actual measured parameters of the whole system are presented.

# **KEYWORDS**

MPPT, power supply, solar power plant, baterry, WiFi, ESP8266, BQ24650



ŠIMŮNEK Patrik *Malá solární elektrárna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2017. 62 s., 21 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

# **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Malá solární elektrárna jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne ..... ....

(podpis autora)

# **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji především panu vedoucímu práce Ing. Michalu Kubíčkovi, Ph.D, který byl ochotný mi pomoci s problémy, a dal mi několik rad jak se vypořádat s problémy se kterými jsem se při práci setkal, děkuji také kamarádům a kolegům, kteří mi pomáhali hledat užitečné informace pro lepší zpracování semestrální práce a v neposlední řadě

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>x</b>
<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ INFORMACE</b>	<b>12</b>
1.1 Výroba elektrické energie ze slunečního záření .....	12
1.1.1 Křemíkový solární panel.....	12
1.1.2 Organický solární panel .....	13
1.1.3 Fotovoltaické fólie .....	13
1.2 Uchování elektrické energie .....	13
1.2.1 Uchování energie v mechanické podobě .....	13
1.2.2 Uchování energie v elektrochemické podobě .....	14
1.3 DC/DC konvertory .....	14
1.3.1 Zvyšující měnič (BOOST) .....	15
1.3.2 Snižující měnič (BUCK).....	15
1.3.3 Invertující měnič (BUCK-BOOST) .....	16
<b>2 NÁVRH ELEKTRÁRNY</b>	<b>17</b>
2.1 Blokové schéma elektrárny .....	17
2.2 Denní zatížení solární elektrárny .....	18
2.3 Informace o stavu zařízení .....	18
2.4 Bezpečnost .....	18
<b>3 VÝBĚR KOMPONENTŮ</b>	<b>19</b>
3.1 Výběr solárního panelu .....	19
3.2 Výběr akumulátoru .....	21
3.3 MPPT regulátor.....	24
3.4 Výběr řídicího systému .....	26
3.5 Výběr displeje .....	27
3.6 Výběr měřidla elektrických veličin.....	29
3.7 Měnič pro nabíjení telefonu .....	30

3.8	Měnič pro notebook .....	31
<b>4</b>	<b>NÁVRH ELEKTRONICKÉ a mechanické ČÁSTI, REALIZACE</b>	<b>33</b>
4.1	Návrh DC/DC měniče s jednoduchým MPPT .....	33
4.1.1	Typické zapojení .....	33
4.1.2	Upravené zapojení.....	34
4.1.3	Výsledné zapojení a výběr součástek.....	36
4.1.4	Testování navrženého a sestaveného DC/DC měniče.....	38
4.2	Úprava DC/DC měniče pro automatický MPPT .....	40
4.2.1	Popis zakoupeného měniče .....	40
4.2.2	Popis úpravy měniče .....	41
4.2.3	Chlazení měniče a montáž na základní desku.....	43
4.2.4	Měření měniče .....	45
4.3	Návrh nabíječky pro notebook .....	45
4.3.1	Měření nabíječky pro notebook .....	46
4.4	Základní deska .....	48
4.5	Kompletní zařízení.....	49
<b>5</b>	<b>Programová část</b>	<b>51</b>
5.1	Program pro ESP8266.....	51
5.2	Program pro zapisování do tabulky (Google script) .....	56
5.3	Ukázka přijatých dat v tabulce.....	56
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>57</b>
<b>Literatura</b>		<b>58</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratek</b>		<b>60</b>
A.1	Obvodové zapojení MPPT regulátoru .....	62
A.2	Deska plošného spoje MPPT regulátoru horní strana .....	63
A.3	Deska plošného spoje MPPT regulátoru spodní strana.....	64
A.4	Osazovací plán spoje MPPT regulátoru horní strana.....	65
A.5	Osazovací plán spoje MPPT regulátoru spodní strana .....	66
A.6	Realizovaný MPPT regulátor horní strana.....	67
A.7	Realizovaný MPPT regulátor spodní strana .....	68
A.8	Obvodové zapojení základní desky elektrárny .....	69
A.9	Deska plošného spoje základní desky elektrárny spodní strana .....	70

A.10	Osazovací plán základní desky elektrárny horní strana .....	71
A.11	Osazovací plán základní desky elektrárny spodní strana .....	72
A.12	Obvodové zapojení nabíječky na notebook .....	73
A.13	Deska plošného spoje nabíječky na notebook spodní strana .....	74
A.14	Osazovací plán desky nabíječky na notebook spodní strana .....	75
A.15	Osazovací plán desky nabíječky na notebook horní strana .....	76
A.16	Obvodové zapojení digitálního potenciometru .....	77
A.17	Deska plošného spoje digitálního potenciometru horní strana .....	78
A.18	Osazovací plán desky digitálního potenciometru horní strana .....	78
B.1	Seznam součástek pro MPPT regulátor .....	79
B.2	Seznam součástek pro základní desku elektrárny .....	81
B.3	Seznam součástek pro desku digitálního potenciometru .....	82
B.4	Seznam součástek pro desku nabíječky pro notebook .....	82

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 - Volt-ampérová charakteristika fotodiody [2].....	12
Obrázek 1.2 - Zjednodušené schéma zvyšujícího měniče [9].....	15
Obrázek 1.3 - Zjednodušené schéma snižujícího měniče [9].....	16
Obrázek 1.4 - Zjednodušené schéma invertujícího měniče [9].....	16
Obrázek 2.1 - Blokové schéma solární elektrárny .....	17
Obrázek 3.1 - Poloha slunce v místě a autorova bydliště .....	19
Obrázek 3.2 - Velikost vyrobené energie solárním panelem SoloSol 150 CS [10].....	20
Obrázek 3.3 - Velikost vyrobené energie 50W solárním panelem [10] .....	21
Obrázek 3.4 - Graf závislosti kapacity aku. na počtu cyklů dané hloubky vybití [11]... <td>22</td>	22
Obrázek 3.5 - Nabíjecí charakteristika pro cyklický režim [11].....	23
Obrázek 3.6 - Nabíjecí charakteristika pro stacionární režim [11] .....	23
Obrázek 3.7 - Vybraný akumulátor CSB GPL 121000 .....	24
Obrázek 3.8 - Integrovaný obvod ESP8266 [12] .....	26
Obrázek 3.9 - Vývojový kit LoLin NodeMCU V3 s ESP8266 .....	27
Obrázek 3.10 – Alfanumerický LCD displej .....	28
Obrázek 3.11 - Pohled na připojený rozšiřovač portu k LCD displeji.....	28
Obrázek 3.12 - Zapojení INA226 do elektrického obvodu [18] .....	29
Obrázek 3.13 - Osazená INA226 na měřicí DPS .....	30
Obrázek 3.14 - Zapojení INA219 do elektrického obvodu [19] .....	30
Obrázek 3.15 - Měnič pro nabíjení telefonu .....	31
Obrázek 3.16 - Vnitřní zapojení UC3843 [20] .....	32
Obrázek 3.17 - Schéma zapojení nabíječky pro notebook.....	32
Obrázek 4.1 - Typické zapojení BQ24650 [14] .....	33
Obrázek 4.2 - Nabíjecí charakteristika typického zapojení BQ24650 [14] .....	34
Obrázek 4.3 - Upravené zapojení BQ24650 [13] .....	35
Obrázek 4.4 - Nabíjecí charakteristika upraveného zapojení BQ23650 [13] .....	35
Obrázek 4.5 - Teplotní závislost výstupních napětí zdroje [13] .....	37
Obrázek 4.6 - Oživování MPPT regulátoru .....	39
Obrázek 4.7 .....	41
Obrázek 4.8 - Zakoupený měnič s MPPT .....	41

Obrázek 4.9 - Oscilogram komunikace SPI.....	43
Obrázek 4.10 - Nahrazení trimrů digitálním potenciometrem .....	43
Obrázek 4.11 - Vyroběný chladič pro MPPT regulátor .....	44
Obrázek 4.12 - Rozměry chladiče pro MPPT regulátor .....	44
Obrázek 4.13 - Realizovaná nabíječka pro notebook .....	46
Obrázek 4.14 .....	48
Obrázek 4.15 - Osazená základní deska zamontovaná v elektroinstalační krabici.....	49
Obrázek 4.16 - Kompletní zařízení .....	50
Obrázek 5.1 - Vývojový diagram inicializace procesoru.....	52
Obrázek 5.2 - Vývojový diagram hlavní smyčky programu.....	53
Obrázek 5.3 - Vývojový diagram rutiny přerušení .....	54

# **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1.1 - Porovnání levných solárních panelů [4] .....	13
Tabulka 1.2 - Porovnání solárních panelů průměrné kvality [5] .....	13
Tabulka 1.3 - Porovnání charakteristických vlastností jednotlivých druhů aku. [8] .....	14
Tabulka 2.1 - Tabulka průměrného denního zatížení akumulátoru .....	18
Tabulka 3.1 - Parametry akumulátoru CSB GPL 121000 [11].....	22
Tabulka 3.2 - Porovnání jednotlivých zdrojů s MPPT .....	25
Tabulka 4.1 - Hodnoty RTC v závislosti na teplotě (R-T charakteristika 2003) [15].....	36
Tabulka 4.2 - Hodnoty klíčových součástek silové části zdroje [14] .....	38
Tabulka 4.3 - Naměřené hodnoty na sestaveném měniči.....	39
Tabulka 4.4 – Závislost napětí v bodě MPP na výstupním výkonu měniče .....	40
Tabulka 4.5 - Naměřené hodnoty na upraveném digitálním potenciometru .....	42
Tabulka 4.6 – Naměřené hodnoty na měniči s MPPT .....	45
Tabulka 4.7 - Naměřené hodnoty na nabíječce na notebook .....	47
Tabulka 5.1 - Módy při startu ESP8266 .....	51
Tabulka 5.2 - Přijatá data v tabulce na internetu.....	56

# ÚVOD

Tato bakalářská práce spadá do kategorie napájení elektronických zařízení pomocí obnovitelných zdrojů. Hlavním cílem této práce je navrhnout systém malé solární elektrárny. Systém bude založen na akumulátoru, který bude primárně dobýjen solárním panelem s možností dobýjení z veřejného síťového rozvodu. Dále pak možnost sledovat stav elektrárny pomocí veřejné tabulky na internetu. V práci je uveden výběr klíčových komponentů systému a obvodové zapojení u vybraných částí. Práce obsahuje návrh integrace elektrárny do domácnosti. Domácí stanice bude odpovídat potřebám uživatele, který denně používá notebook v omezené časové míře, svítí si světlem a popřípadě přes noc nabíjí mobilní telefon.

Nápad, že si autor postaví malou domácí stanici se solárním panelem a akumulátorem vznikl již dříve. Hlavním důvodem byly časté výpadky dodávky elektrické energie v jeho bydlišti v Krkonoších v obci Horní Branná.

Na trhu existují různé varianty solárních systémů do domácnosti [1], které však nejsou vhodné z několika hledisek. Z velké části je to jejich vysoká cena a někdy systém neobsahuje ani akumulátor. O sledování vyrobené elektrické energie není ve velké četnosti ani zmínka. Trh takové systémy nabízí v malém počtu variant a většinou se neshodují s požadavky autora. Právě i tento důvod patří ke klíčovým, proč se zabývá vlastním řešením.

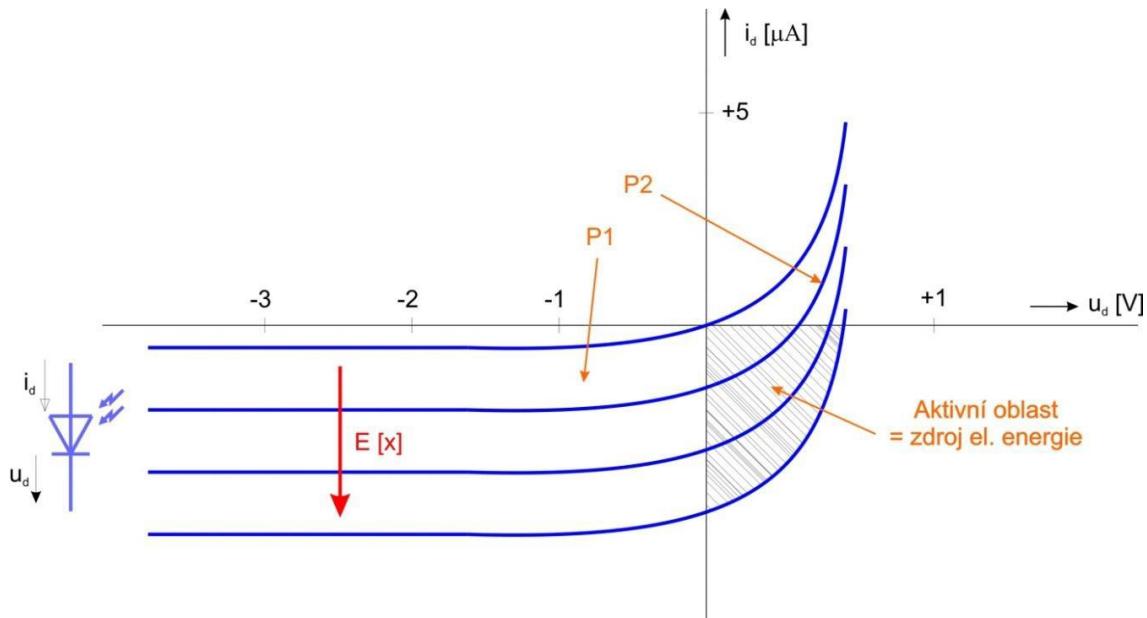
# 1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

V následujícím textu autor uvede důležité informace ohledně výroby elektrické energie, uchovávání energie, a jejího bezpečného použití.

## 1.1 Výroba elektrické energie ze slunečního záření

Výroba energie ze světelného záření je možná několika způsoby. Můžeme například ohřívat zářením vodu, která se začne vařit a vytvářet tak tlak. Tlakem páry můžeme pohánět parní turbínu. Díky své složitosti je toto řešení vhodné spíše pro průmyslové použití. V rámci mého projektu se proto touto metodou nebudu zabývat.

Elektrická energie ze slunečního svitu se dá také získat z fotovoltaického článku – fotodiody. Kde sluneční záření vstupuje přímo do přechodu PN a generuje nosiče v oblasti prostorového náboje. Tato funkce je i patrná z volt-ampérové charakteristiky zobrazené na obrázku 1.1. [2]



Obrázek 1.1 - Volt-ampérová charakteristika fotodiody [2]

### 1.1.1 Křemíkový solární panel

Současné solární panely jsou vyráběny především z křemíku. Nabízí se nám několik variant: Polykrystalický, monokrystalický a amorfni. Polykrystalický panel se hodí na stacionární systémy, má vysokou účinnost a nezáleží tolik na orientaci vůči světelnému toku. Monokrystalický panel má většinou lepší účinnost, ale je citlivý na natočení oproti Slunci. Proto se spíše hodí na polohovací zařízení. Amorfni panel má oproti těmto dvěma provedením výhodu v tepelné stabilitě, vyšší účinnosti při zatažené obloze, ale celková účinnost nedosahuje takových hodnot. V tabulce 1.1 jsou uvedeny levnější varianty s nižším výkonem a v tabulce 1.2 varianty s vyšším výkonem a kvalitou. [3]

Tabulka 1.1 - Porovnání levných solárních panelů [4]

Provedení	P <sub>max</sub> [W]	U [V]	I [A]	U <sub>0</sub> [V]	I <sub>k</sub> [A]	S [m <sup>2</sup> ]	h [kg]	η [%]
Polykrytal	50	17,64	2,84	21,42	3,21	0,44	5,5	11-15
Monokrytal	50	20,2	2,48	24,6	2,81	0,37	4,4	12-17

Tabulka 1.2 - Porovnání solárních panelů průměrné kvality [5]

Provedení	Výrobce	P <sub>max</sub> [W]	U [V]	I [A]	U <sub>0</sub> [V]	I <sub>k</sub> [A]	S [m <sup>2</sup> ]	h [kg]	η [%]	Cena [Kč]
Amorfní	Sharp	130	44	2,33	60,4	3,41	1,4	26	9,6	3419
Polykrystalické	IBC solar	150	18,36	8,17	23,19	8,73	1	12,5	15,3	5443
Monokrystalické	TUV NORD	140	27,8	5,04	32,7	5,56	1	11	14,44	4076

### 1.1.2 Organický solární panel

Novinka technologie výroby solární energie pomocí fotosyntézy pochází od vědců z Telavivské univerzity. Základem funkce jsou geneticky zkonstruované bílkoviny, které využívají fotosyntézu na výrobu elektrické energie. Velkou výhodou je cena, která má být 200krát menší než u keramických solárních panelů. Účinnost těchto panelů má dosahovat až na 25 %. Bohužel tyto panely ještě nejsou k dostání, proto je není možné pro tento projekt použít. [3]

### 1.1.3 Fotovoltaické fólie

Tenkovrstvé solární články mají být nanášeny podobnou technologií jako je tisk inkoustu na fólii. Vytíštěná polovodičová vrstva je silná asi jeden mikrometr. Tento článek má 10krát nižší účinnost než klasický polykrystalický nebo monokrystalický článek. Výhoda tohoto článku spočívá v jeho hmotnosti. To znamená že se hodí na přenosné a dočasné systémy, nebo na systémy kde máme dostatečnou plochu a nemáme vysokou nosnost konstrukce. Z důvodu nízké účinnosti tato technologie solárních panelů nebude v této práci použita. [3]

## 1.2 Uchování elektrické energie

Z důvodu, že systém je napájen z nekontinuálního zdroje energie, kdy se s časem velmi mění jeho síla je nutné energii uchovávat. Většinu vyrobené energie bude z valné části uživatel využívat ve večerních hodinách.

### 1.2.1 Uchování energie v mechanické podobě

Ve velkých objemech se nejčastěji používají přečerpávající elektrárny, kdy přes noc, při malé spotřebě elektrické energie se přečerpává voda z jedné nádrže do druhé, která je ve vyšší nadmořské výšce. Tím energii do systému dodáváme. Naopak při vyšší spotřebě energie přes den fungují vodní nádrže jako vodní elektrárna a potenciální energie se mění v turbínách zpět na elektrickou.

Dalším způsobem je uchování energie v podobě kinetické energie. Na to slouží

takzvané vysokootáčkové setrvačníky, kde se při dodávání energie setrvačník roztáčí, a naopak při odebírání energie pomocí elektro-generátoru setrvačník „zpomalujeme“. Pro moji aplikaci ale takovýto velký objem akumulované energie není potřeba, proto se jím nebudu zabývat. [6][7]

### 1.2.2 Uchování energie v elektrochemické podobě

Nejčastěji používané uchování energie v malých objemech je v dnešní době zaručeno pomocí elektrochemických zdrojů. Nejznámější typy jsou uvedeny v porovnávací tabulce 1.3.

Tabulka 1.3 - Porovnání charakteristických vlastností jednotlivých druhů akumulátorů [8]

<b>Typ</b>	<b>[Wh/kg]</b>	<b>[Wh/Kč]</b>	<b>[Wh/l]</b>	<b>Efektivita [%]</b>	<b>Životnost [cyklů]</b>	<b>Nap. čl. [V]</b>
Pb	33-42	0,13-0,7	60-110	50-95	500-800	2,1
NiCd	40-60	0,01-0,03	50-150	70-90	<2000	1,2
NiMH	60-120	0,01-0,03	140-300	55-70	500-2000	1,2
Li-ion	100-265	0,02-0,05	250-676	80-90	400-1200	3,6
Li-Pol	100-265	0,02-0,05	250-730	80-90	<2000	3,3
LiFePO4	90-110	0,01-0,05	220	80-95	2000-3000	3,2

Pokud porovnáme jednotlivé typy akumulátorů, tak vidíme že s poměrem energie k ceně je na tom nejlépe olověný akumulátor. Jeho hlavní nevýhodou je ale poměrová hmotnost. Do jednoho kilogramu se nám dokáže akumulovat pouze ~35Wh energie. To je oproti lithiovým akumulátorům skoro 6krát méně. I přesto se olověné akumulátory ve stacionárních a trakčních systémech využívají, a to kvůli jejich ceně. Další výhoda je jeho částečná recyklovatelnost. Co se týče náročnosti nabíjecího zařízení, olověný akumulátor opět vede, protože nepotřebuje balancovat sériově zapojené články. Lithiové akumulátory se v dnešní době používají hlavně v přenosných zařízeních jako jsou telefony, notebooky apod. Hlavním důvodem je jejich hmotnost na jednotku energie. Nevýhodou je ale potřeba balancování sériově nabíjených článků. Lithiové baterie oproti olověným článkům můžeme i rychleji nabíjet a vybíjet. Snesou vyšší proudy při stejně životnosti.

## 1.3 DC/DC konvertory

Z důvodu odlišného napětí na akumulátoru a solárním panelu v závislosti na podmínkách, jako je osvětlení panelu, nabité baterie, teploty a podobně je potřeba napětí převádět co nejfektivnějším způsobem. K této funkci slouží právě stejnosměrné měniče, které nejčastěji pomocí vlastní indukčnosti cívek, či transformátoru na vysoké frekvenci vytváří jiné napětí. V dnešní době tyto zdroje dosahují účinnosti i více než 98 %. Mezi základní typy patří snižující, zvyšující a invertující zdroje. Součástí většiny spínaných zdrojů je zpětná vazba. Jejím úkolem je hlavně nastavovat stridu spínaní výkonových prvků tak, aby stabilizovala výstupní napětí. Důležité je také sledovat proud procházející skrz cívku, abychom ji nepresytili jádro, či ji zbytečně nepřehrál. Může pak dojít k překročení Curieho teploty a tím se nám rapidně sníží vlastní indukčnost cívky (z důvodu snížení permeability jádra). Teoreticky se ale jedná o bezeztrátový obvod, pro který platí následující rovnosti 1.1 a 1.2.

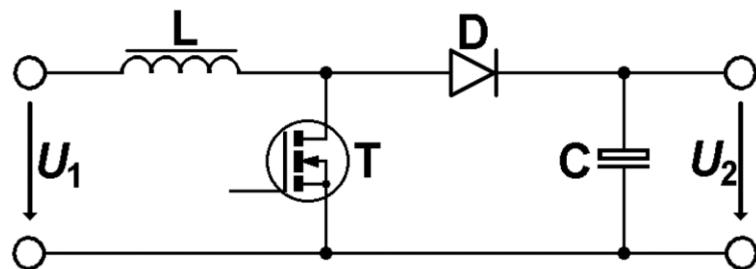
$$P_{in} = P_{out} \quad (1.1)$$

$$U_{in} \cdot I_{in} = U_{out} \cdot I_{out}, \quad (1.2)$$

kde  $P_{in}$  je vstupní výkon,  $P_{out}$  je výstupní výkon,  $U_{in}$  vstupní napětí,  $I_{in}$  vstupní proud,  $U_{out}$  výstupní napětí a  $I_{out}$  výstupní proud.

### 1.3.1 Zvyšující měnič (BOOST)

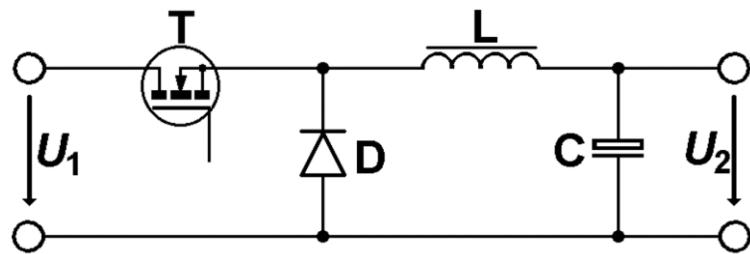
Jedním ze základních DC/DC měničů je zvyšující měnič. Jako každý s těchto třech základních variant propracují ve dvoustavovém cyklu, kde se tlumivka L v prvním stavu při sepnutém tranzistoru T nabíjí a při rozpojení T se většina její energie „přelije“ přes diodu D do kondenzátoru C. Díky tomuto obvodovému upořádání je možné zvyšovat napětí, protože při rozpojení obvodu L-T se cívka snaží nadále setrvačností do obvodu dostávat stejný proud, jaký tekl před rozpojením tranzistoru. To znamená že se na ni objeví napětí opačné polarity a o takové velikosti, aby uzavřenou smyčkou ten daný proud „protlačila“. Střídou spínání tranzistoru je potřeba nastavit tak, abychom dosáhli požadovaného výstupního napětí. Logicky při vyšší výstupní zátěži je potřeba střídou rozširovat (tranzistor bude déle v sepnutém stavu). Schéma základního zapojení je na obrázku 1.2. [9]



Obrázek 1.2 - Zjednodušené schéma zvyšujícího měniče [9]

### 1.3.2 Snižující měnič (BUCK)

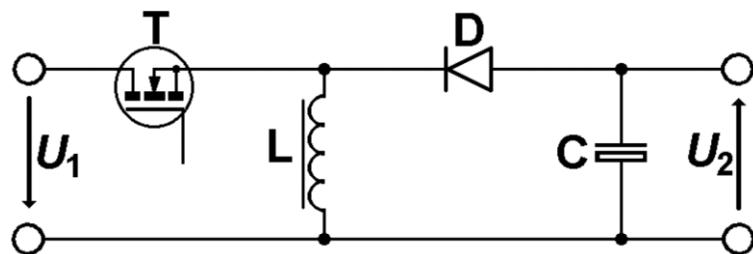
Pro snadnou konverzi napětí směrem dolů je vhodné využít snižující měnič. Toto uspořádání připomíná klasický PWM regulátor s výstupním LC filtrem. Základní funkcí je opět akumulace proudu v cívce L. V první fázi se cívka nabíjí proudem, který vznikne díky rozdílu výstupního a vstupního napětí. V druhé fázi se tranzistor rozpojí, cívka změní svoji polaritu a postupně se vybije do zátěže uzavřeným obvodem skrz diodu D. Kondenzátor slouží k akumulaci energie a také slouží jako filtr proti zvlnění výstupního napětí. Střídou spínání tranzistoru opět řídíme výstupní napětí jako u ostatních dvou topologií zdrojů. Schéma základního zapojení je na obrázku 1.3. [9]



Obrázek 1.3 - Zjednodušené schéma snižujícího měniče [9]

### 1.3.3 Invertující měnič (BUCK-BOOST)

Invertující měnič má oproti předchozím dvěma měničům hlavní výhodu. Lze měnit výstupní napětí „nahoru“ i „dolu“. Výsledné napětí je ale bohužel opačné polarity, což v některých případech ale nevadí. V prvním taktu se energie opět akumuluje do cívky, a po rozpojení tranzistoru se začne kondenzátor přes diodu nabíjet opačným napětím, které vytvořila cívka. Výsledná velikost výstupního napětí je opět přímo úměrná střídě, kterou je spínán tranzistor. Schéma základního zapojení je na obrázku 1.4. [9]



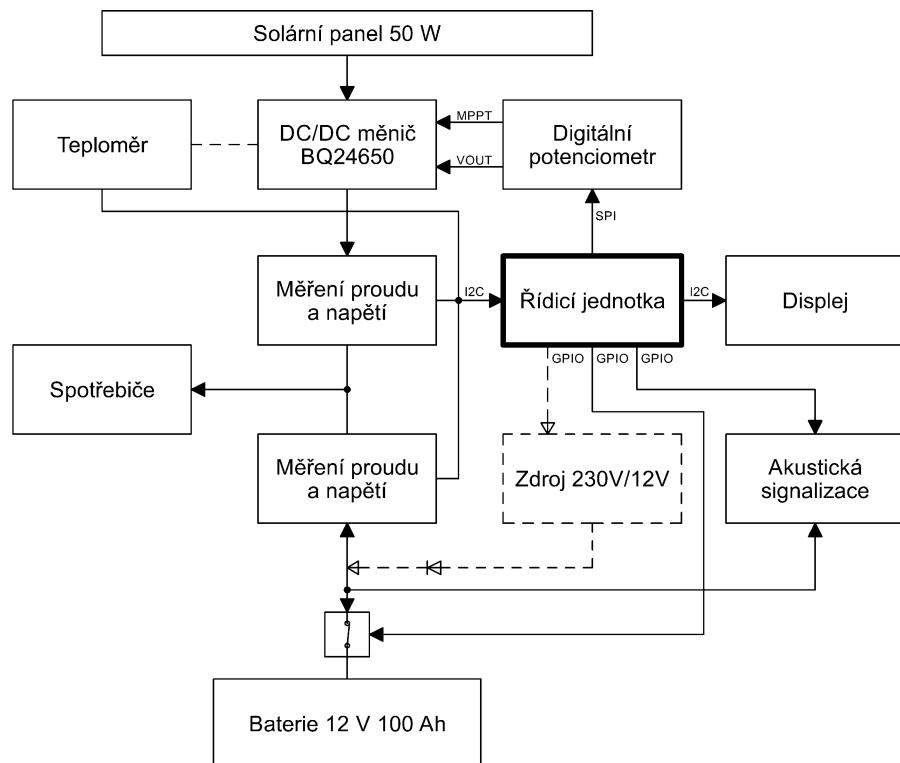
Obrázek 1.4 - Zjednodušené schéma invertujícího měniče [9]

## 2 NÁVRH ELEKTRÁRNY

Tato kapitola se zabývá návrhem klíčových komponentů solární elektrárny.

### 2.1 Blokové schéma elektrárny

Na základě požadavků autora bude elektrárna obsahovat tyto části (vizte obrázek 2.1). Jádrem systému bude řídicí jednotka založená na mikrokontroleru, která bude přijímat data ze zařízení měřicích napětí a proud panelu, i baterie. Jejím úkolem bude také obsluha displeje, digitálního potenciometru a relátek. V řídicí jednotce se budou provádět výpočty energetického charakteru a jejich výsledky budou posílány jednou za hodinu do tabulký na internetu. Při vybití baterie bude možné spotřebiče napájet pomocí Záložního zdroje 230/12 V, který za normálních okolností nebude potřeba, protože daná kapacita baterie by měla vystačit pro běžnou denní spotřebu elektrické energie.



Obrázek 2.1 - Blokové schéma solární elektrárny

## 2.2 Denní zatížení solární elektrárny

Na základě těchto hodnot z tabulky 1.1 budou zvoleny parametry akumulátoru pro jeho výběr.

Tabulka 2.1 - Tabulka průměrného denního zatížení akumulátoru

Spotřebič	Příkon [W]	Aktivní doba [h]	
Wi-Fi router	5	24	
Poziční osvětlení	20	0,3	
Notebook	50	3	
USB nabíječka	7	4	Celková denní spotřeba: 304 Wh

## 2.3 Informace o stavu zařízení

O aktuálním stavu elektrárny se uživatel dozví z displeje, na kterém je zobrazen jak vstupní ( $P_i$ ), tak výstupní ( $P_o$ ) výkon ve Wattech, nabíjecí proud ( $I_b$ ), proud zátěže ( $I_o$ ), teplotu měniče a odhadovanou zbývající energii v akumulátoru ( $E_a$ ). Tyto údaje se aktualizují každou sekundu. Ostatní údaje jako je vyrobená, nebo spotřebovaná, energie za hodinu, opět napětí baterie a teplota jsou postupně ukládány do veřejné tabulky Google. Z těchto hodnot pak lze jednoduše vytvořit graf, statistiku apod. Z tohoto důvodu je potřebné mít ke stanici připojení k internetu pomocí WiFi.

## 2.4 Bezpečnost

Na bezpečnost je kladen důraz z toho důvodu, že ke stanici bude možné připojít jednotlivé spotřebiče jako jsou například notebook, domácí osvětlení a podobně. Tato zařízení jsou pro běžného uživatele normálně přístupna, bude se jednat o takzvané normální prostředí. V sestavě se bude nacházet síťový zdroj, který musí splňovat kritéria zdroje bezpečného napětí.

Důležité je také zabezpečit, aby teplota zařízení nepřesáhla nebezpečnou mez. Teplota je hlídána procesorem a při překročení teploty začne pípat akustická signalizace. Veškeré zdroje napětí musí mít ochranu proti zkratu, alespoň pomocí tavné pojistky. To nám zabrání problému například při poškození jednotlivých vodičů, které budou připojovány k sestavě.

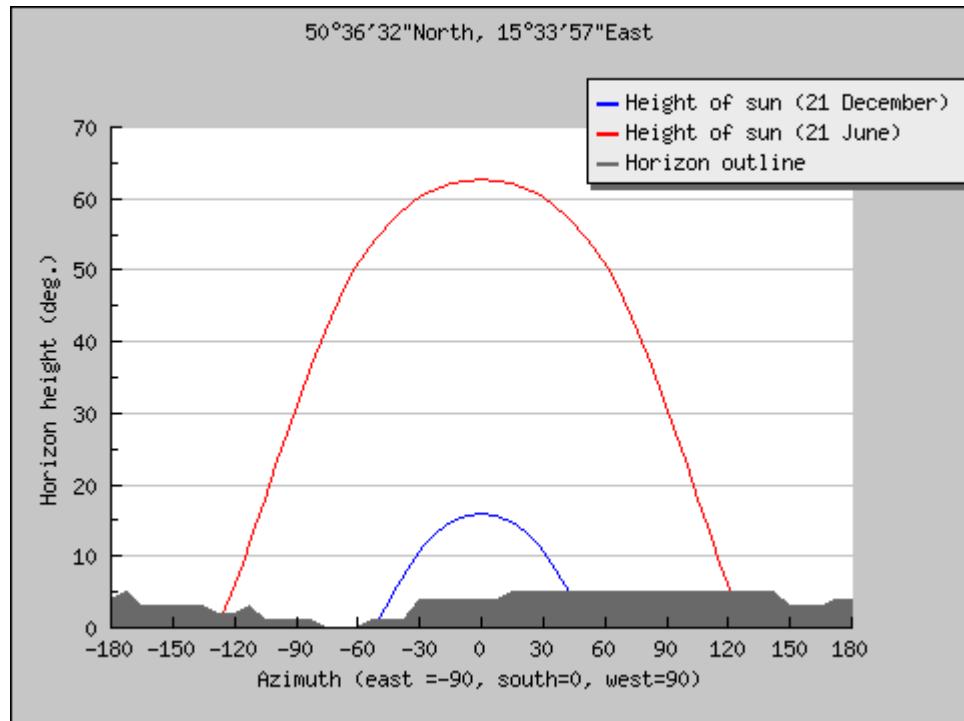
### 3 VÝBĚR KOMPONENTŮ

Tato kapitola se zabývá výběrem klíčových komponentů solární elektrárny.

#### 3.1 Výběr solárního panelu

Klíčovou součástí je právě solární panel, který bude celé zařízení napájet. Odvíjí se od něj celková výdrž sestavy a jejím naddimenzováním zařízení dosáhne dlouhých let provozu. Při jeho výběru je nejdůležitějším parametrem, kolik energie dokáže přes den vyrobit. Požadavek na každodenní spotřebu elektrické energie je 304 Wh, to znamená, bude nutné tuto energii předat skrze měnič do akumulátoru. Tím že energie bude předávána skrze měnič, který bude mít nejméně účinnost 90 % a efektivita vybití/nabití akumulátoru bude také ~90 %, vychází nám tedy, že se přibližně 20 % energie promění v teplo. Na základě těchto odhadových výpočtů solární panel musí dodat systému každý den 120 % energie, kterou následně uživatel spotřebuje. Musíme tedy přes den vyrobit alespoň 365 Wh.

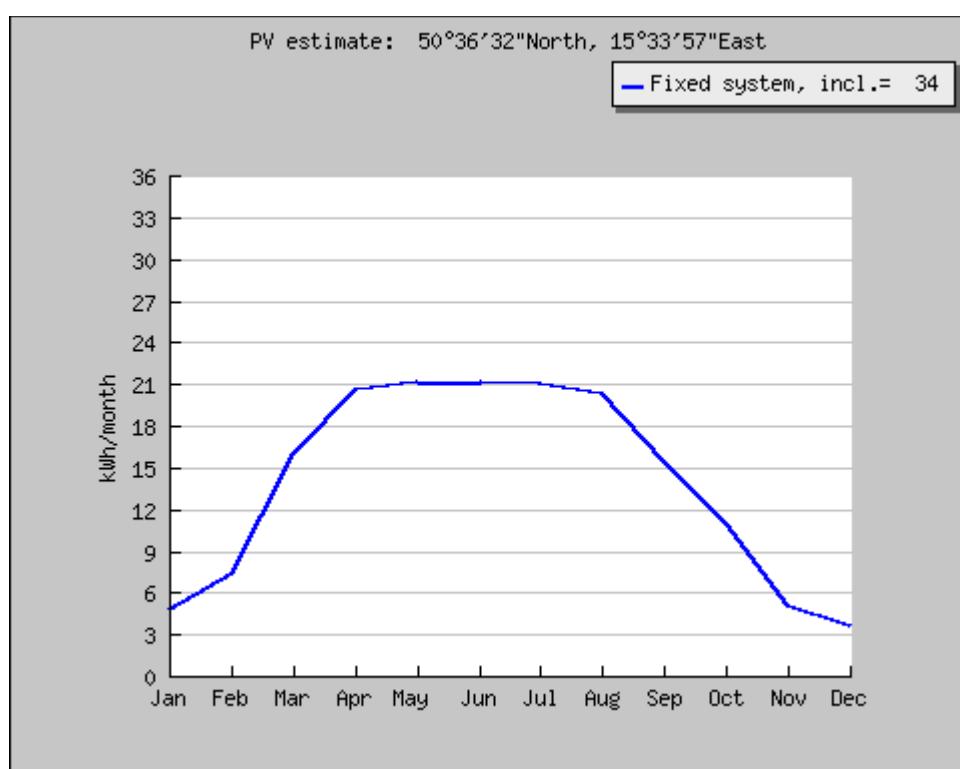
Pro cílovou destinaci bylo pomocí internetové kalkulačky [10] vypočteno jakou měrou bude místo, kde se solární panel bude nacházet, osvětleno sluncem a jakou energii dokáže panel přes celý rok vyrábět. Na obrázku 3.1 je zobrazena trajektorie slunce na obzoru při letním slunovratu červenou čarou a při zimním slunovratu modrou.



Obrázek 3.1 - Poloha slunce v místě autorova bydliště

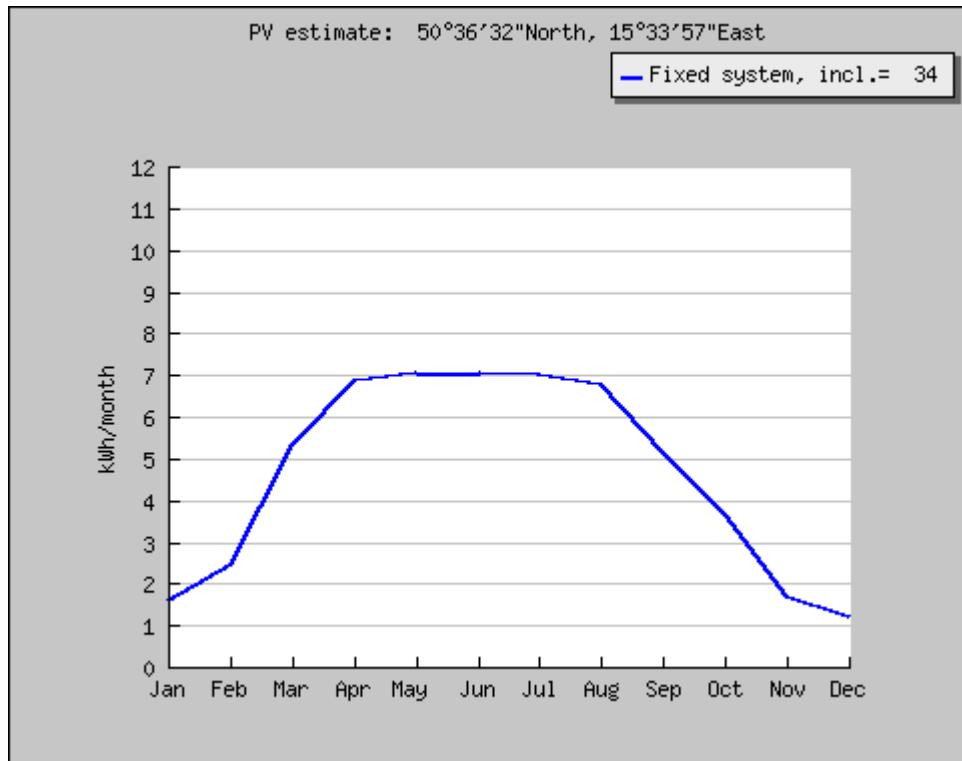
Na základě těchto světelných podmínek je vybrán jako vhodný solární panel IBC SoloSol 150 CS, který dokáže maximálně dodat výkon 150 W. Má dobrou účinnost (15,3 %), přiměřené rozměry a na rozdíl od čínských dodavatelů má podrobný datový list s většinou důležitých údajů. Výrobce IBC solar se zaručuje 12letou životností s poklesem dodávaného výkonu na 90 %. Podrobné hodnoty jsou uvedeny na druhém rádku v tabulce 1.2.

Obrázek 3.2 zobrazuje teoretickou míru vyrobené energie tímto panelem za 30 dní v závislosti na kalendářním měsíci. Výpočty z kalkulačky [10] dále vrátily hodnotu celkové roční vyrobené energie která je 167 kWh. Vydělením počtu dnů v roce dostaneme hodnotu 457 Wh teoretické vyrobiteľné energie na den. Solární elektrárna musí denně vyrobit alespoň 365 Wh. Tudíž budou energetické přebytky v měsících březen až říjen a nedostatky v měsících listopad, prosinec, leden a únor.



Obrázek 3.2 - Velikost vyrobené energie solárním panelem SoloSol 150 CS [10]

Můžeme také ušetřit mnoho finančních nákladů například zakoupením použitého solárního panelu, který již nemá takovou účinnost, jako nový. To ale pouze v případě, že pokryje denní spotřebu a naopak, že nepřesáhne maximální vstupní napětí a proud zdroje. V rámci bakalářské práce použiji solární panel, který jsem zakoupil před dvěma roky na testování. Jeho maximální výkon je 50 W a podrobnější parametry jsou uvedeny na druhém rádku v tabulce 1.1. Při použití tohoto slabšího solárního panelu nebude možné splnit požadavky pro denní spotřebu energie. Na obrázku 3.3 je zobrazena vyrobená energie použitym 50W panelem.



Obrázek 3.3 - Velikost vyrobené energie 50W solárním panelem [10]

### 3.2 Výběr akumulátoru

Akumulátor bude sloužit k uchování veškeré nastřádané elektrické energie, která se přes den vyrobí. Jeho primárním požadavkem je, aby dokázal dodat denně 304 Wh. Dalším požadavkem je zaručená životnost minimálně 3 roky provozu.

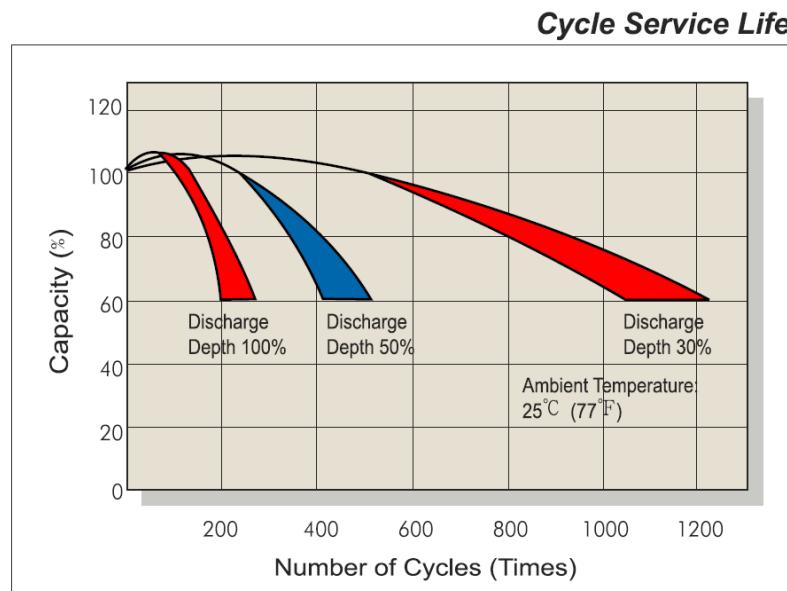
Jak již bylo nastíněno v úvodu, akumulátorů je několik typů. Akumulátor se hlavně vybírá podle daných požadavků, kterými jsou: Hmotnost, objem, maximální nabíjecí proud, maximální vybíjecí proud, životnost a jmenovité napětí. Protože nejsem nijak omezen hmotností akumulátoru a jde mi zejména o poměr energie ku ceně, zvolil jsem olověný bezúdržbový akumulátor. Lithiový akumulátor je ve srovnání dražší a v této aplikaci se jeho použití nevyplatí. Díky denní spotřebě okolo 300 Wh je vhodné vybrat takovou kapacitu baterie, aby se vybíjel pouze z 30 %. Hloubka vybití je totiž klíčový parametr pro stálost akumulátoru. Čím hlouběji bude akumulátor vybíjen, tím více bude s vybíjecími cykly ztrájet kapacitu. Z toho důvodu zvolím kapacitu baterie na 100 Ah při napětí 12 V. Dalším kritériem je hmotnost akumulátoru. Ta napovídá, jak moc výrobce na baterii šetřil. Logicky čím lehčí baterie, tím tenčí desky elektrod. [11]

Vybraný akumulátor je od výrobce CSB typ GPL 121000. Akumulátory od firmy CSB jsou vysoce kvalitní čemuž napovídá její hmotnost 33,5 kg. Autor sám má s tímto výrobcem dobrou zkušenosť. Vlastní totiž akumulátor CSB typ GP 1272 o datu výroby 8. 2010 a pořád má jmenovitou kapacitu. Zde v tabulce 3.1 jsou uvedeny stěžejní parametry vybraného akumulátoru. [11]

Tabulka 3.1 - Parametry akumulátoru CSB GPL 121000 [11]

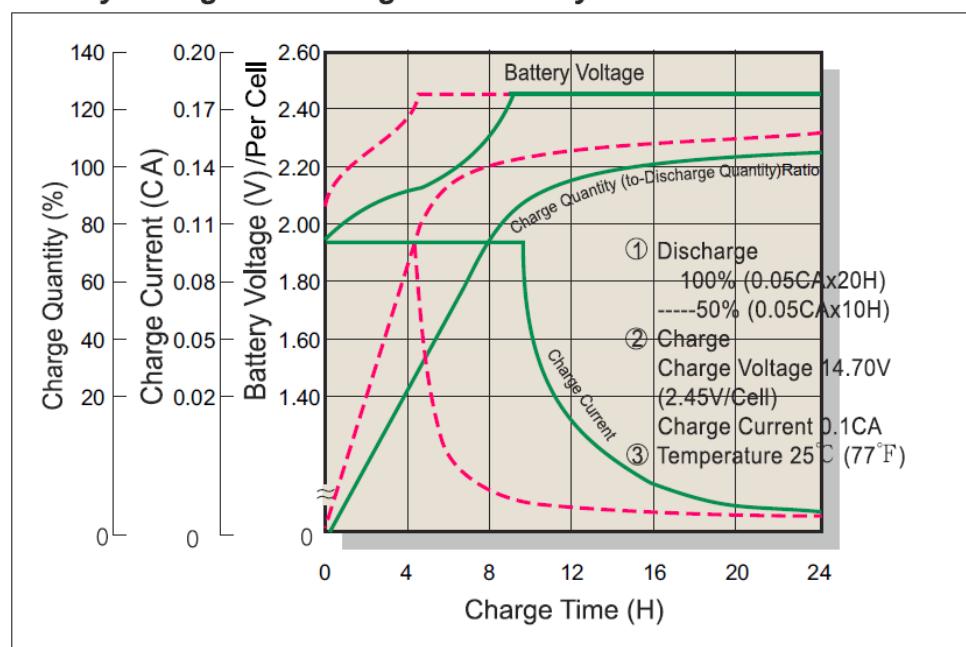
CSB GPL 121000	
Počet článků	6
Jmenovité napětí	12 V
Kapacita	100 Ah
Hmotnost	33,5 kg
Maximální vybíjecí proud	800 A
Vnitřní sériový odpor	3,5 mΩ
Maximální nabíjecí proud	30 A
Svorky	M6

Na následujících grafech (obrázek 3.4 obrázek 3.5 obrázek 3.6) je vidět, jak klesá životnost akumulátoru s hloubkou jeho vybití a nabíjecí charakteristiky pro cyklický a stacionární režimy.



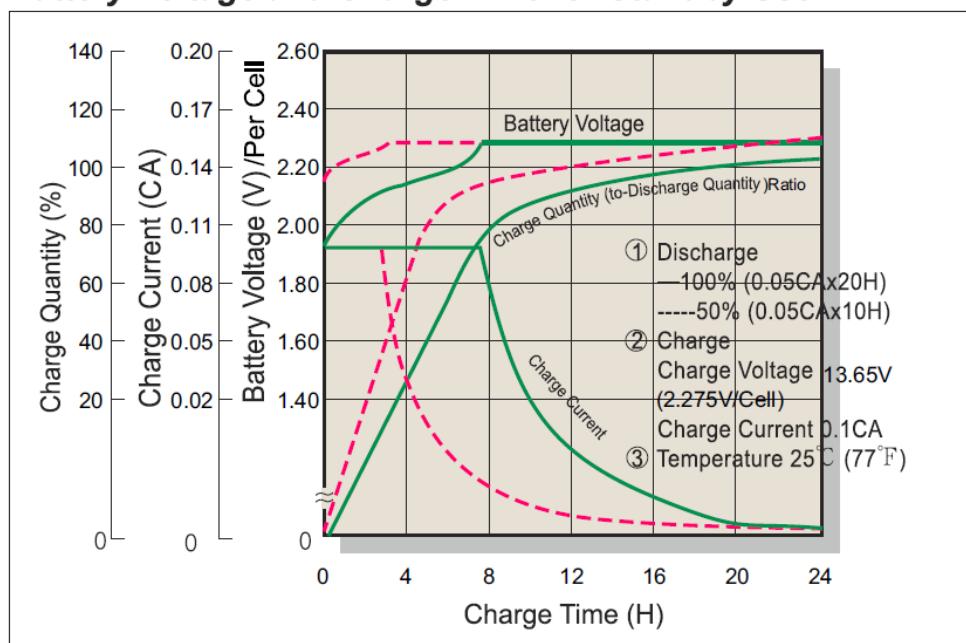
Obrázek 3.4 - Graf závislosti kapacity akumulátoru na počtu cyklů dané hloubky vybití [11]

### Battery Voltage and Charge Time for Cycle Use



Obrázek 3.5 - Nabíjecí charakteristika pro cyklický režim [11]

### Battery Voltage and Charge Time for Standby Use



Obrázek 3.6 - Nabíjecí charakteristika pro stacionární režim [11]



Obrázek 3.7 - Vybraný akumulátor CSB GPL 121000

### 3.3 MPPT regulátor

Hlavními kritérií pro výběr vhodného zdroje jsou jeho účinnost, cena a výsledná složitost. Z těchto kritérií jednoznačně vyplívá, že nebude absolutně vhodné použít lineární zdroj. Představme si případ, kdy bude na solární panel v létě svítit slunce okolo poledních hodin a panel bude dodávat maximální výkon. Výstupní hodnoty z vybraného solárního panelu budou 18,36 V a 8,17 A. Na baterii bude při nabíjení pro příklad přibližně 14 V. Provedeme tedy výpočet ztrát a účinnosti tohoto pomocí následujících vztahů:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I_{in} = 18,36 \cdot 8,17 = 150 \text{ W} \quad (3.4)$$

$$P_{bat} = U_{bat} \cdot I_{bat} = 14 \cdot 8,17 = 114,4 \text{ W} \quad (3.5)$$

$$\eta = \frac{P_{bat}}{P_{in}} \cdot 100 \% = \frac{114,4}{150} \cdot 100 \% = 76,3 \% \quad (3.6)$$

kde  $P_{bat}$  je výkon vstupující do akumulátoru,  $U_{bat}$  je napětí na akumulátoru,  $I_{bat}$  proud vstupující do akumulátoru a  $\eta$  je účinnost.

Ve výsledku by se nám ztrácelo necelých 40 W výkonu což je velká ztráta, zvlášť u takovéto malé stanice. Správná volba je tedy použití DC/DC měniče.

Zdroj, který bude měnit energii ze solárního panelu by měl umět zatížit článek takovým způsobem, aby z něj dostal co nejvyšší hodnotu výkonu. Tomuto způsobu proměnného zatěžování se říká Maximum power peak tracking (MPPT). Zdroj autor tedy vyhledával především podle tohoto kritéria. Navzdory očekávání nebylo hledání jednoduché. Autor nacházel především zdroje na malé proudy pro drobná zařízení

s malou spotřebou, na proudy 10 A a výše se trh s integrovanými obvody podporující MPPT značně zúžil.

Na základě podrobnějšího zkoumání autor přišel na to, že není MPPT jako MPPT. Výrobci jej mohou uvádět i když se o přesné sledování vstupního výkonu vůbec nejedná. Například BQ24650 má označení jako zdroj s MPPT jen díky tomu, že sleduje napětí na solárním panelu, a to se snaží udržovat na jakési hodnotě, kdy panel dává nejvyšší výkon. Což výsledně nemůže vést k nejvyššímu výkonu co, jaký dokáže dodat. Například při zastínění článku je bod maximálního výkonu na jiném napětí, než když je celý panel osvětlen při letním slunečném dni. Důležitým parametrem je také vlastní spotřeba, která je poznamenaná v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 - Porovnání jednotlivých zdrojů s MPPT

	<b>MPPT</b>	<b>auto MPPT</b>	<b><math>\eta</math> [%]</b>	<b><math>U_{in\_max}</math></b>	<b>Cena [Kč]</b>	<b>Vlastní spotřeba [mW]</b>	<b>Popis</b>
BQ24650	Ano	Ne	93	28	51	Napájen panelem	Jednoduché zapojení, dobrá cena
LT8490	Ano	Ano	95-99	80	384	300 (snad-by)	Kvalitní a účinný zdroj, složitější zapojení a vysoká cena
NCP1294	Ano	Ano	97	50	~25	-	Levný obvod, ale složité zapojení, které vede stejně k celkové vyšší ceně
Vlastní návrh	Ano	Ano	?	Zvolíme	?	?	Výhodou vlastní přizpůsobení parametrů
Modifikace BQ24650	Ano	Ano	93	28	51+	Napájen panelem	Dobrá cena, možnost přizpůsobení parametrů

V rámci bakalářské práce byl vybrán obvod BQ24650 od Texas Instruments z důvodu jednoduchosti zapojení a jeho ceny. Tento obvod byl testován jak v katalogovém zapojení s jednoduchým MPPT, tak s modifikovaným zapojením, kde je jeho výstupní napětí a zatěžovací napětí variabilní pomocí digitálního potenciometru. Tento potenciometr je ovládán z řídící jednotky, která vyhodnocuje, na jaké napětí panel zatíží. Bakalářská práce se zabývá kompletním návrhem DPS osazeným čipem BQ24650 s jednoduchým MPPT. V této práci je také popsána úprava hotového a osazeného modulu od čínského prodejce tak, aby obvod disponoval vlastností automatického MPPT. Parametry těchto dvou verzí budou porovnány a zhodnoceny tak, aby bylo zřejmé, jaká varianta je pro tuto aplikaci vhodnější. Integrovaný obvod se prodává pouze v jednom pouzdru S-PVQFN-N16. Jedná se o nevývodovou SMD součástku, která má oproti vývodovým součástkám speciální požadavky na osazení.

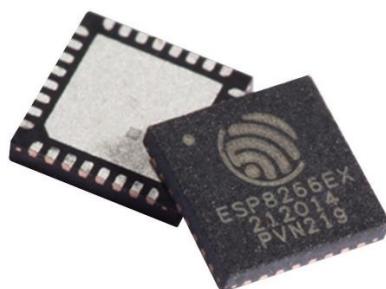
### 3.4 Výběr řídicího systému

Řídicí systém bude mít na starost ovládání displeje, měření elektrických veličin pomocí čidel, odesílání dat do databáze, ovládání akustické signalizace, ovládání relátek na odpojení baterie, nebo připojení externího napájecího zdroje. V neposlední řadě ovládání dvojitého digitálního potenciometru, který bude ovládat DC/DC měnič, konkrétně jeho výstupní napětí a napětí, na které bude zatěžovat solární panel. Jeho požadavky jsou také malá spotřeba elektrické energie, snadná modifikovatelnost a nízká cena.

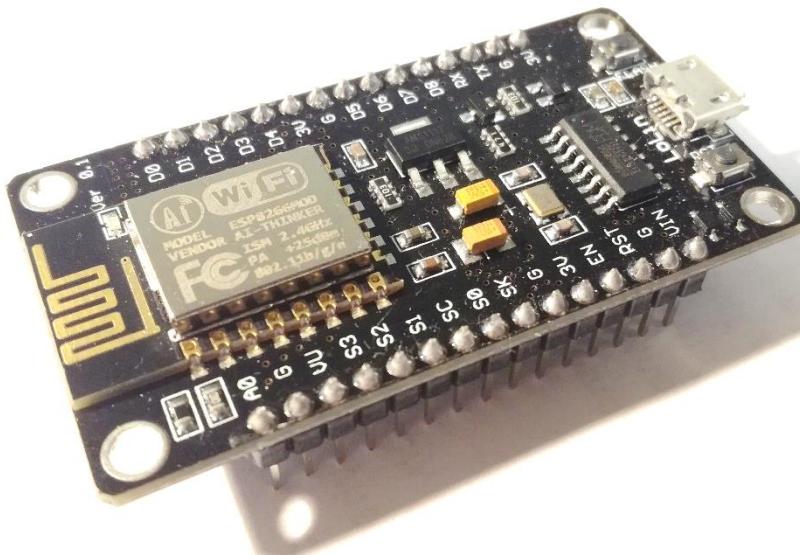
Pro snadnou kontrolu parametrů z elektrárny na dálku bude sloužit Google tabulka, do které se budou zapisovat jednotlivé naměřené hodnoty. Díky tomuto si uživatel může snadno vytvořit různé grafy průměrného výkonu a tvořit statistiky o výrobě a spotřebě elektrické energie.

Na základě těchto požadavků je možné použít například Raspberry Pi, který veškeré tyto věci hradce zvládne, ale je to zbytečně velká investice. Také spotřeba Raspberry Pi je relativně velká. Jako nejlepší řešení se jeví použít procesor ESP8266 (obrázek 3.8). Jednojádrový 32 bitový mikrokontroler s Wi-Fi periferií, který se dá samotný nastavit jako HTTP server, nebo jako HTTP klient, a zároveň může ovládat ostatní periferie. Toto řešení je z autorova pohledu nejčistší a nejlevnější. Jeho cena se pohybuje okolo 150 Kč kde je čip osazen na destičce s anténou a stíněním. Tento procesor je primárně využit jako periferie pro jiný řídicí procesor, ale nadšenci dokázali jeho firmware upravovat a přidávat do jeho vlastního kódu vlastní programy a vylepšení. Díky komunitě, co si tento čip oblíbila, vzniklo i mnoho knihoven do vývojového prostředí Arduino Ide a využívat jeho výpočetní výkon a kapacitu naplno. Toto přeprogramování vlastní paměti programu má výhodu v tom, že nám na celou elektrárnu vystačí pouze jeden procesor.

Modul s procesorem ESP8266 a anténou je osazen na vývojové desce, která obsahuje i programátor pro změnu firmwaru samotného mikrokontroléru. Programování mikrokontroléru je pomocí sériového portu. Jedná se o vývojový kit LoLin NodeMCU V3, který je zobrazen na obrázku 3.9. Modul bude osazen na základní desce na pinových lištách, aby se dal do budoucna snadno přeprogramovat.



Obrázek 3.8 - Integrovaný obvod ESP8266 [12]

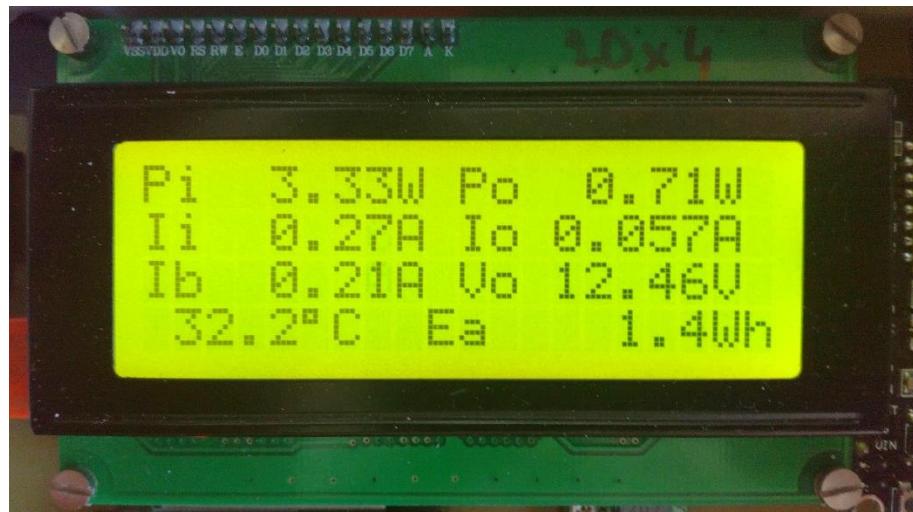


Obrázek 3.9 - Vývojový kit LoLin NodeMCU V3 s ESP8266

### 3.5 Výběr displeje

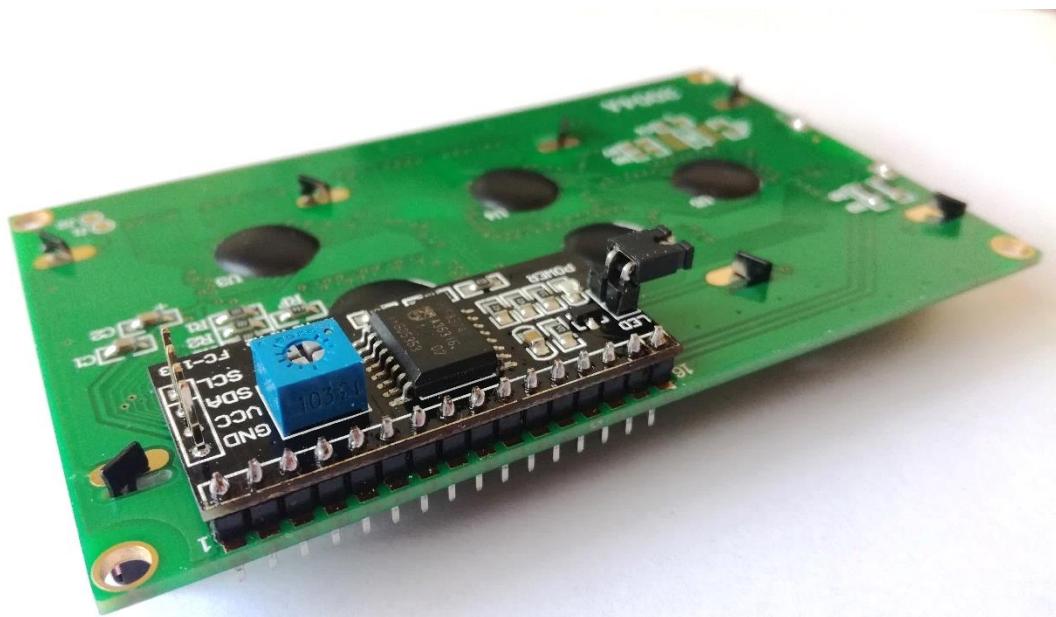
Displej na solární elektrárni zobrazuje aktuální hodnoty. Při zobrazení veškerých údajů, o kterých je řečeno v kapitole 2.2, bude nutné použít displej s minimálně 4x 20 znaky. Na prvním řádku je zobrazen vstupní ( $P_i$ ) a výstupní výkon ( $P_o$ ) solární elektrárny. Na posledním znaku z tohoto řádku se zobrazuje stříška „^“, která indikuje odesílání dat do tabulky Google. Na druhém řádku je vstupní proud do systému z DC/DC měniče ( $I_i$ ) a proud do zátěže ( $I_o$ ). Třetí řádek zobrazuje dopočítaný proud do baterie ( $I_b = I_i - I_o$ ). Záporný proud tedy značí, že se baterie vybíjí a kladný proud značí že se baterie nabíjí. K tomu napětí na výstupních svorkách pro zátěž ( $V_o$ ). Tato hodnota je téměř rovna napětí baterie. Na posledním čtvrtém řádku je zobrazena přibližná teplota DC/DC měniče a zbývající energie, která je možná použít ( $E_a$ ). Tato veličina bude podrobně popsána v chodu programu.

Vybraný displej (obrázek 3.10) je alfanumerický LCD typem 2004A 4x 20 znaků, který se dá koupit za přibližně 100 Kč [16]. Displej má také podsvícení, protože stanice nemusí být vždy umístěna na osvětleném místě. Toto provedení zobrazuje černé znaky, za kterými svítí zelené podsvícení. Toto podsvícení lze aktivovat, nebo deaktivovat při programování řídicí desky. Podsvícení lze deaktivovat bez programování ESP8266 rozpojením propojky na zadní části displeje.



Obrázek 3.10 – Alfanumerický LCD displej

Vzhledem k tomu, že modul s ESP8266 nemá dostatek vstupů a výstupů pro ovládání tohoto displeje je potřeba použít převodník z I2C na paralelní komunikaci s displejem, který je sestaven z rozšiřovače portu PCF8574T. Tento převodník lze koupit u čínských prodejců za řádově 20-30 Kč [17]. Pro tento převodník je na internetu i knihovna, která pak přes I2C ovládá displej, jako by byl paralelně připojen. Osazená deska disponuje pájitebními mosty, kterými lze upravit pro potřeby slave address, kdyby se na sběrnici I2C vyskytli další zařízení se stejnou adresou. Kontrast displeje se nastavuje osazeným trimrem. LED, která indikuje přítomnost napájecího napětí se může libovolně vypájet, protože tato indikace je v této aplikaci nemá účel a zbytečně by brala elektrickou energii. Deska rozšiřovače portu je na displej připájena pomocí pinové lišty tímto způsobem:



Obrázek 3.11 - Pohled na připájený rozšiřovač portu k LCD displeji

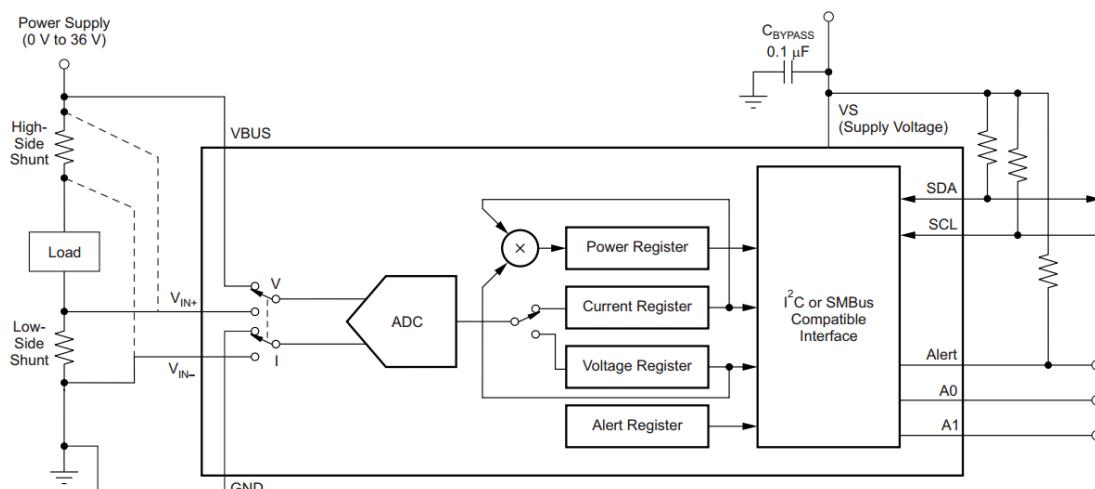
Samozřejmě, že zařízení by bylo funkční i bez displeje, ale to bychom příšli o zpětnou vazbu se stanicí, což by vedlo například k neefektivnímu využívání energie, kterou jsme vyrobili pomocí solárního panelu. Například by se mohlo stát, že uživatel bude stanici natolik zatěžovat, že se baterie nestihne nikdy nabít, což vede ke zkrácení její životnosti a celkové neefektivitě zařízení.

Vlastní spotřeba displeje s podsvícením je přibližně 30 mA, bez podsvícení je spotřeba displeje zanedbatelná.

### 3.6 Výběr měřidla elektrických veličin

Pro měření elektrických veličin jako je proud a napětí je potřeba použít opět čidla, která umožňují posílat hodnoty přes sběrnici buď SPI nebo I<sup>2</sup>C. Jako vhodný se jeví modul s integrovaným obvodem INA226. (obrázek 3.13) Ten je vyvinut přímo pro bateriové aplikace, kde se měří energie s potřebou hlídat určité meze napětí, proudu apod. Dobrou vlastností tohoto obvodu je průměrování naměřených hodnot. Hodnoty se dají průměrovat v počtu exponentů dvou až do hodnoty 1024 zprůměrovaných hodnot. Tento integrovaný obvod se dá u čínských prodejců koupit osazený na destičce s 0,1 Ω bočníkem. Ten je nahrazen za bočník o hodnotě odporu 0,01 Ω. To nám umožní měřit proud přibližně do 10 A špičkově až do 20 A s přesností na několik mA. INA226 komunikuje po sběrnici I<sup>2</sup>C, tudíž je potřeba zkontolovat, zda nedochází ke kolizi adres slave s displejem a ostatními. Hotová destička má pro tento případ pájitelné dvě plošky, které jdou přemostit k Vcc a tím změnit adresu slave. Jak se INA226 zapojuje do elektrického obvodu můžeme vidět na obrázku 3.12.

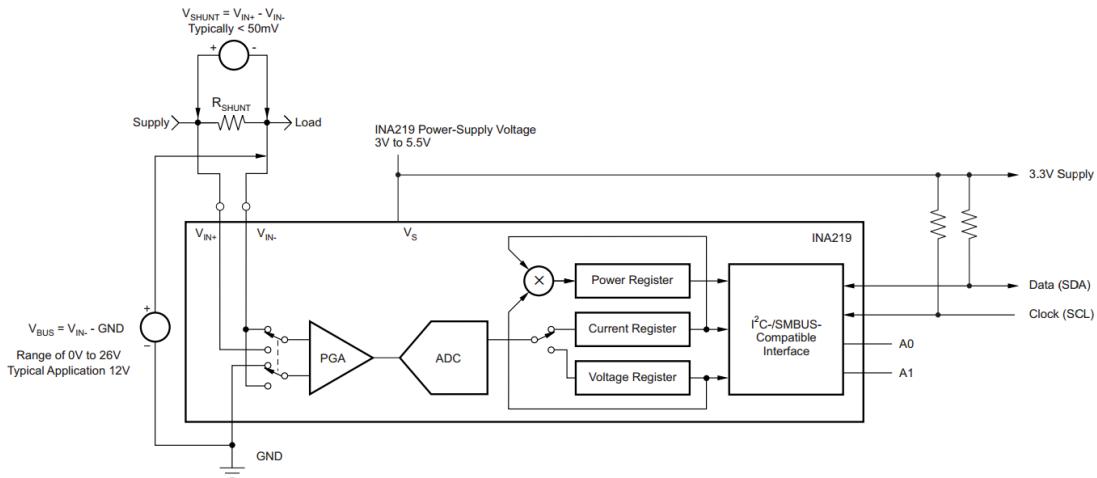
Po naměření a odzkoušení autor zároveň objevil i INA219, která je levnější a pro tuto aplikaci by byla také dostačující. Nedisponuje ale programovatelným vývodem ALERT, který se sepne při nastavených mezi proudu, napětí anebo výkonu. Zapojení INA219 je pro porovnání s INA226 na obrázku 3.14.



Obrázek 3.12 - Zapojení INA226 do elektrického obvodu [18]



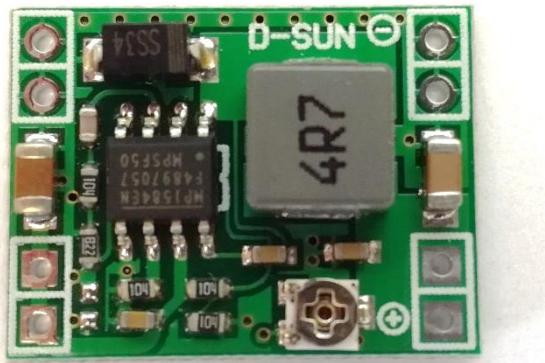
Obrázek 3.13 - Osazená INA226 na měřicí DPS



Obrázek 3.14 - Zapojení INA219 do elektrického obvodu [19]

### 3.7 Měnič pro nabíjení telefonu

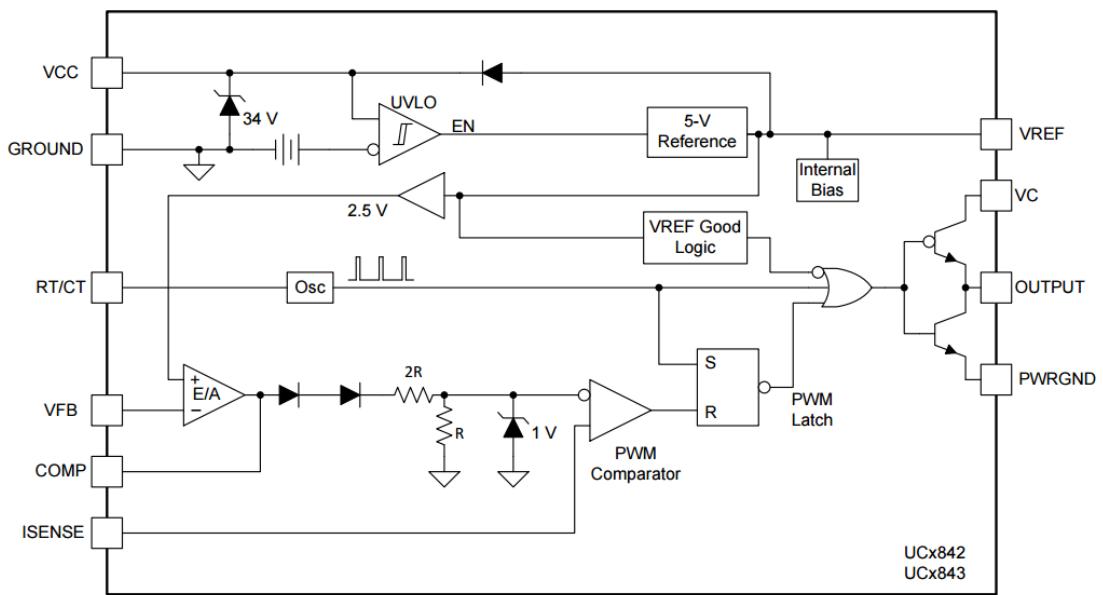
Pokud bude chtít uživatel pomocí solární elektrárny nabíjet telefon dnešní standardní USB nabíječkou, je základní deska vybavena jedním pulsním zdrojem typu BUCK s vyvedenými konektory pro připojení. Na krabici pak stačí vyvrtat otvor pro panelovou USB zásuvku. V elektrárně se tyto zdroje nachází dva. Jeden je pro logiku a druhý právě pro USB nabíjení. Jedná se o hotový modul z Číny s driverem MP1584. Zobrazen na obrázku 3.15. Takový modul se nevyplatí pro kusovou výrobu elektrárny vyvijet a stavět vlastní. Důvodem je hlavně cena. Prodejce uvádí že dokáže dodat do zátěže až 3 A. Použití DC/DC měniče je opět vhodné kvůli účinnosti. Ve výsledku tento měnič vyjde ještě levněji, protože nepotřebuje chladič. Tento zdroj má také výhodu v tom, že jej lze trimrem přenastavit na jiné napětí, například na 9 V pro router, či LED pásek.



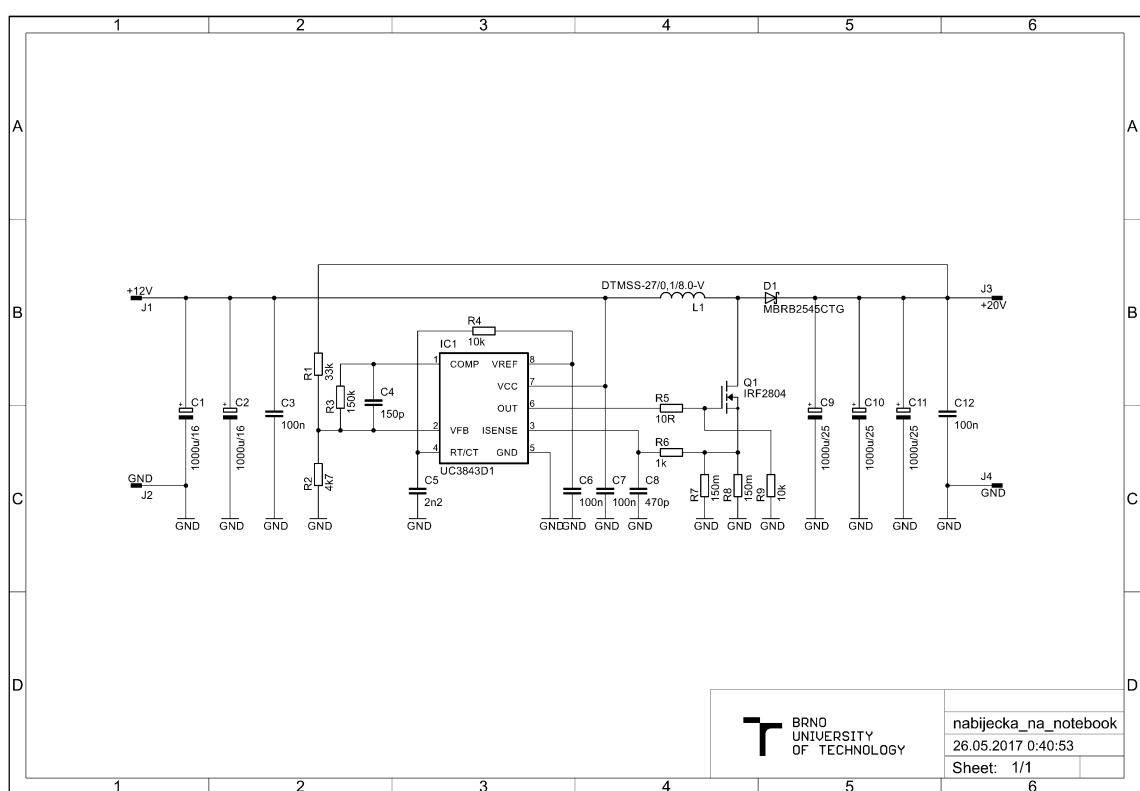
Obrázek 3.15 - Měnič pro nabíjení telefonu

### 3.8 Měnič pro notebook

Největší zátěž pro elektrárnu bude jednoznačně notebook, který spotřebuje průměrně 50 W (špičkově až 80 W). Většina notebooků jsou napájeny napětím 20 V, na které musí být postaven spínaný DC/DC měnič. Autor práce má dobrou zkušenosť s měničem založeném na driveru UC3843, který používá jako nabíječku notebooku do auta. Rozhodl se tedy toto zapojení předělat a upravit tak, aby zvýšil její účinnost. Původní zapojení obsahuje spínací tranzistor IRLZ34N, který je v provedení THT a proto byl nahrazen tranzistorem v SMD provedení v pouzdře D2PAK. Zde pak odpadá práce s instalací chladiče a vrtání děr. Tento tranzistor má také desetkrát menší odpor v sepnutém stavu než předchozí. Celé zapojení je upraveno na osazení SMD součástek kromě cívky, kondenzátorů a konektorů. To nám ušetří spoustu práce při osazování součástek, které nemusí mít vyvrstané díry v pájecích ploškách. Odvod tepla z výkonových prvků zaručí dostatečně velká plocha rozlévané mědi na desce plošného spoje. Na obrázku 3.16 můžeme vidět vnitřní zapojení UC3843 a na obrázku 3.17 schéma zapojení celé nabíječky.



Obrázek 3.16 - Vnitřní zapojení UC3843 [20]



Obrázek 3.17 - Schéma zapojení nabíječky pro notebook

# 4 NÁVRH ELEKTRONICKÉ A MECHANICKÉ ČÁSTI, REALIZACE

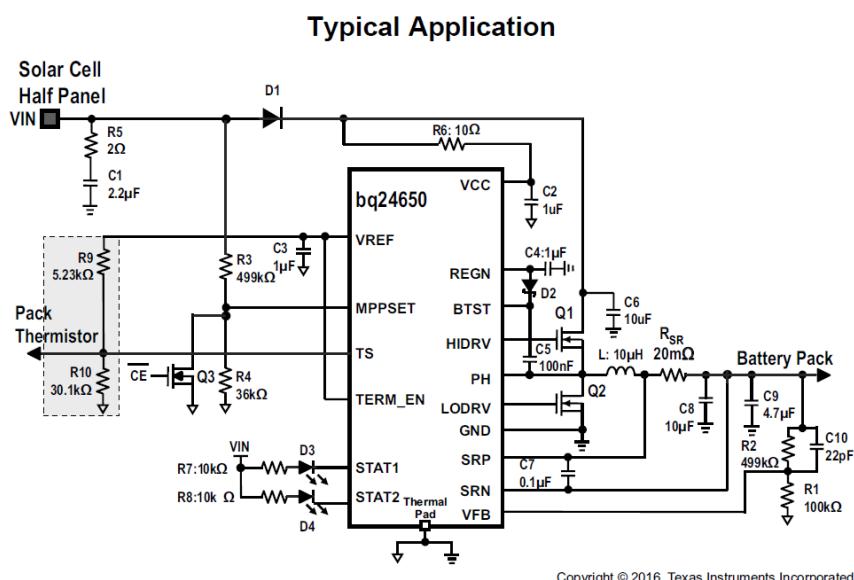
Tato kapitola se zabývá návrhem elektronické části solární elektrárny.

## 4.1 Návrh DC/DC měniče s jednoduchým MPPT

Na základě vybraného integrovaného obvodu BQ24650 je práce inspirována aplikační zprávou přímo od Texas Instruments. Návrh celého zdroje se odvíjí od použité olověné AGM baterie. Tato baterie má svůj způsob nabíjení a k tomu je nutné upravit datovým listem nabízené typické zapojení. [13]

### 4.1.1 Typické zapojení

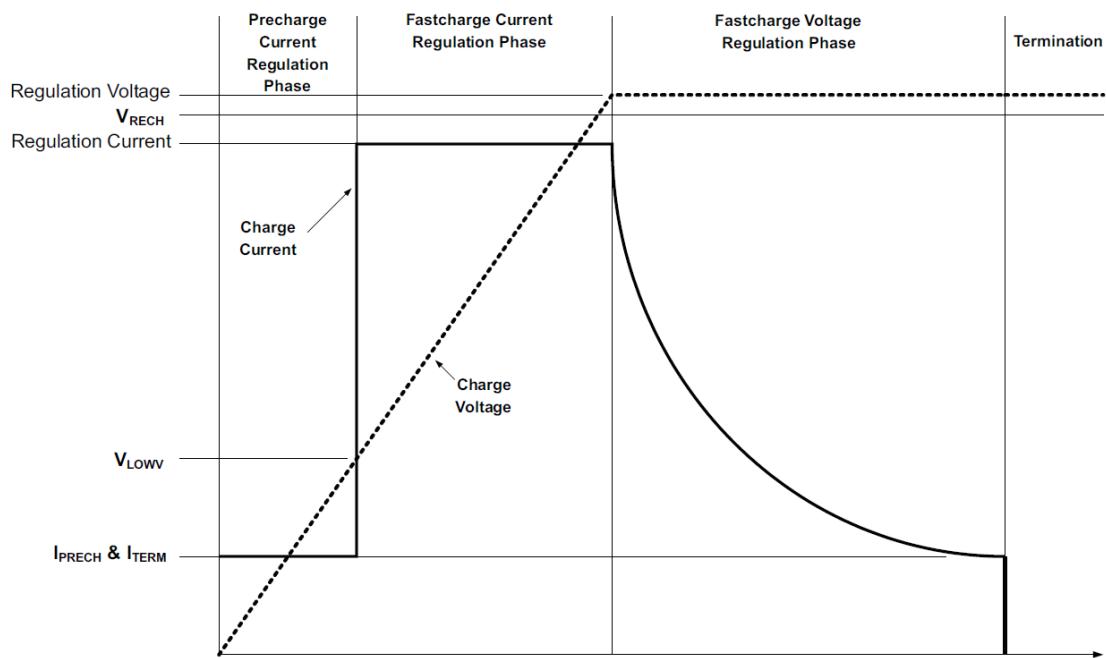
Když se podíváme na obrázek 4.1 schématu základního zapojení integrovaného obvodu, tak zjistíme, že napěťová zpětná vazba z výstupních svorek je nemenná. Při použití olověného akumulátoru je toto řešení není vhodné, protože nelze obvod přepnout do tzv. udržovacího režimu. Jedná se o mód, který nám po nabíjení baterie přepne obvod tak, že bude napětí na baterii stabilizovat na tzv. udržovacím napětí  $U_{tresh}$ . Při nabíjení z vybitého stavu je napětí vyšší z důvodu rychlosti nabíjení. Toto napětí označujeme  $U_{bulk}$ . V obvodu se nachází další dva napěťové děliče, které zaručují správný chod zařízení. Dělič sestavený z rezistorů  $R_3$  a  $R_4$  nám slouží k sledování napětí na solárním článku, podle kterého se nastavuje MPPT. Dále dělič sestavený s  $R_9$  a  $R_{10}$ , kde  $R_{10}$  má být paralelně připojen k termistoru, který se bude nacházet u akumulátoru. Slouží k bezpečnostnímu snížení nabíjecího proudu při přehřátí nebo podchlazení baterie. [14]



Solar Panel 21 V, MPPT = 18 V, 2-cell,  $I_{CHARGE} = 2$  A,  $I_{PRECHARGE} = I_{TERM} = 0.2$  A,  $TS = 0 - 45^\circ\text{C}$

Obrázek 4.1 - Typické zapojení BQ24650 [14]

Na dalším obrázku (4.2) je zobrazen graf nabíjecí charakteristiky typického zapojení integrovaného obvodu BQ24650. Z grafu je patrné, že nabíjení akumulátoru pracuje ve třech krocích. Prvním krokem je takzvaný „precharge“, kdy je baterie vybitá pod mez běžného pracovního napětí. Integrovaný obvod tedy rozpozná, že baterie byla vybita pod tuto mez a snaží se ji pomalu nabít desetinou běžného nabíjecího proudu ( $I_{\text{prech}}$ ). Druhým krokem je samotné nabíjení typu „constant-current“ kdy se udržuje stanovený proud do té doby, než napětí na baterii nedosáhne maximální povolené hodnoty pro nabíjení. V třetí fázi se toto napětí stabilizuje a systém pracuje v režimu „constant-voltage“. Zde je právě ta nevýhoda, kde je akumulátor pořád připojen na nabíjecí napětí a tím pádem může začít elektrolyt v baterii plynovat.

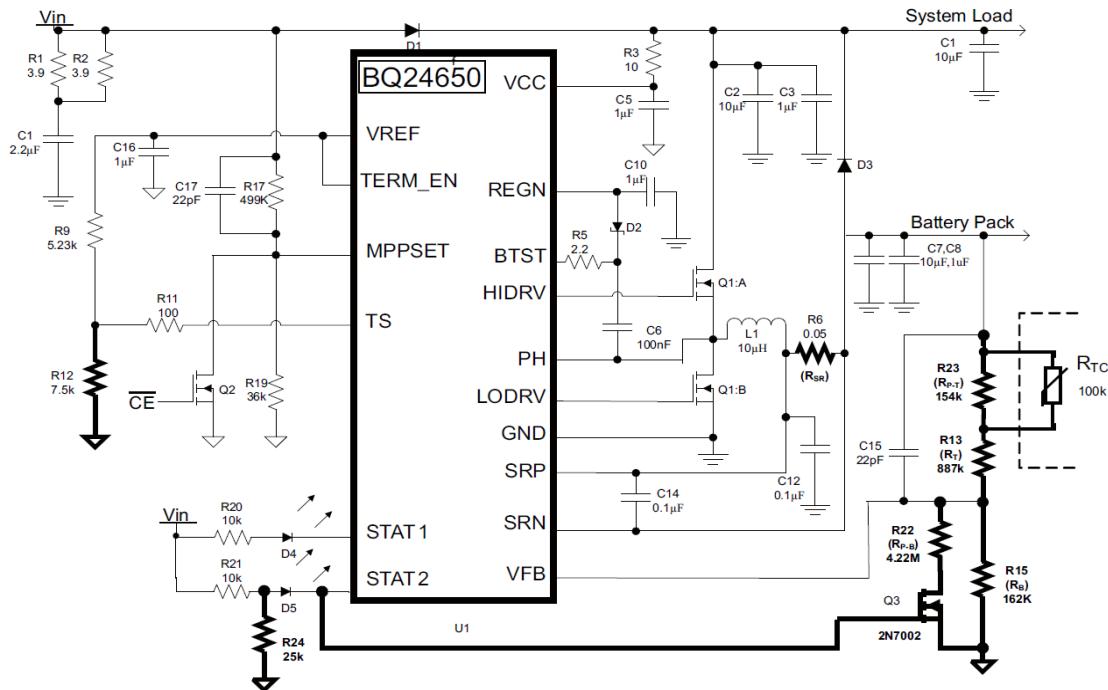


Obrázek 4.2 - Nabíjecí charakteristika typického zapojení BQ24650 [14]

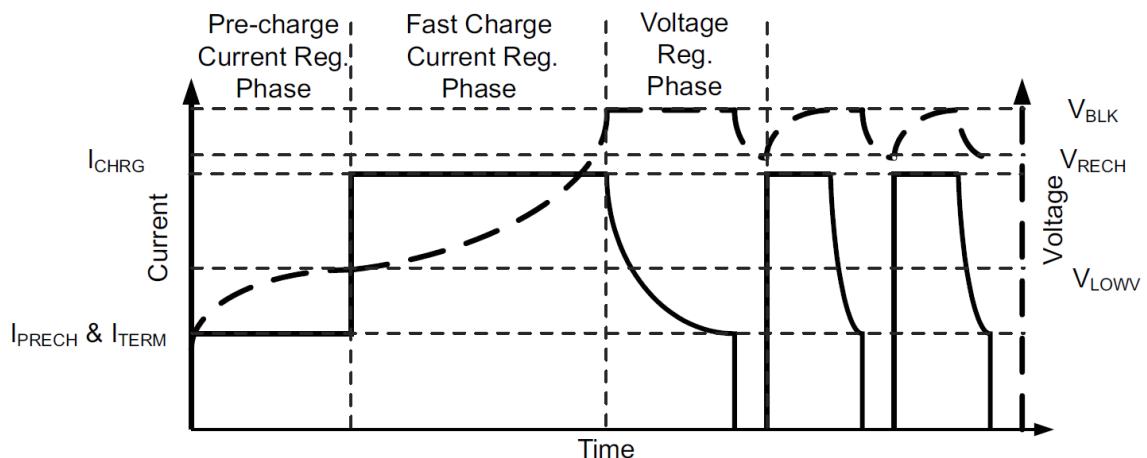
#### 4.1.2 Upravené zapojení

Jak bylo uvedeno výše, na olověné AGM akumulátory se typické zapojení, co uvádí výrobce integrovaného obvodu, nehodí. Mnohem lepší je varianta, kde se přepíná zpětná vazba na základě nabití baterie. Upravené schéma je na obrázku 4.3. Základní zapojení je tedy upraveno, kde výstup STAT2 je připojen k hradlu unipolárního tranzistoru, který přepíná napěťovou zpětnou vazbu. Oproti předchozí variantě je i vyřazena teplotní ochrana která hlídala teplotu akumulátoru. Tato ochrana je nahrazena vložením termistoru do zpětné vazby, tudíž při zvýšení teploty akumulátoru se bude snižovat jak nabíjecí, tak udržovací napětí. Celková funkce je následující: Napětí solárního panelu je připojeno na vstup  $V_{\text{in}}$ , k solárnímu panelu je připojen paralelní filtr, který funguje jako dolní propust. Zamezuje se tak rozkmitání obvodu na vysoké frekvenci. Dále je pomocí děliče ( $R17$  a  $R19$ ) přivedeno napětí na vstup MPPSET, na kterém se pomocí zatěžování panelu udržuje napětí 2,1V. Dioda  $D1$  zamezuje toku proudu z akumulátoru zpět do solárního panelu v případě, že nebude osvětlen. Jádrem obvodu je takzvaný poloviční

můstek snižujícího měniče, který je založen na dvou unipolárních tranzistorech typu N-MOSFET. Můstek využívá akumulované energie kondenzátorů C2 a C3. Ty slouží k pokrytí proudových špiček, které vytváří pulzní zdroj. Dioda D3 není použita, systémová zátěž je připojena přímo na baterii. Proudové omezení výstupu je nastaveno pomocí rezistoru R6, na kterém si BQ24650 měří úbytek napětí. Výslednou nabíjecí charakteristiku tohoto upraveného obvodu můžeme vidět na obrázku 4.4.



Obrázek 4.3 - Upravené zapojení BQ24650 [13]



Obrázek 4.4 - Nabíjecí charakteristika upraveného zapojení BQ23650 [13]

### 4.1.3 Výsledné zapojení a výběr součástek

Pro výsledný návrh celého zapojení bylo nutné přesně vypočítat hodnoty součástek a k tomu upravit celkové zapojení podle technických požadavků. Začneme nastavením napětí  $V_{MPPSET}$ , které má být rovno napětí na solárním panelu při maximálním výkonu. Z parametrů solárního panelu vyčteme že toto napětí je přibližně 17,64 V. Pro výpočet slouží vztah 4.7. Při použití součástek z řady E24 napětí přibližně odpovídá 17,2 V. Toto zaokrouhlení nám nevadí. [14]

$$V_{MPPSET} = 1,2 \cdot \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right) = 1,2 \cdot \left( 1 + \frac{360k}{27k} \right) = 17,2V \quad (4.7)$$

Další výpočty (4.8 a 4.9) jsou pro nastavení stabilizace výstupních napětí pro finální nabíjecí režim „constant-voltage“. Výpočty jsou uvedeny pro teplotu 25 °C, kdy má termistor hodnotu 100 kΩ. (R-T charakteristika 2005 uvedena v tabulce 4.1) Tyto výpočty jsou dva z důvodu rozlišení nabíjecího napětí a udržovacího napětí. Hodnoty rezistorů jsou opět voleny z řady E24. [14]

$$V_{threshold} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{R_{13} + R_{23} || R_{TC}}{R_{15}} \right) \quad (4.8)$$

$$V_{threshold} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{820k + 150k || 100k_{20^\circ C}}{160k} \right) = 13,65V$$

$$V_{bulk} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{R_{13} + R_{23} || R_{TC}}{R_{15} || R_{22}} \right) \quad (4.9)$$

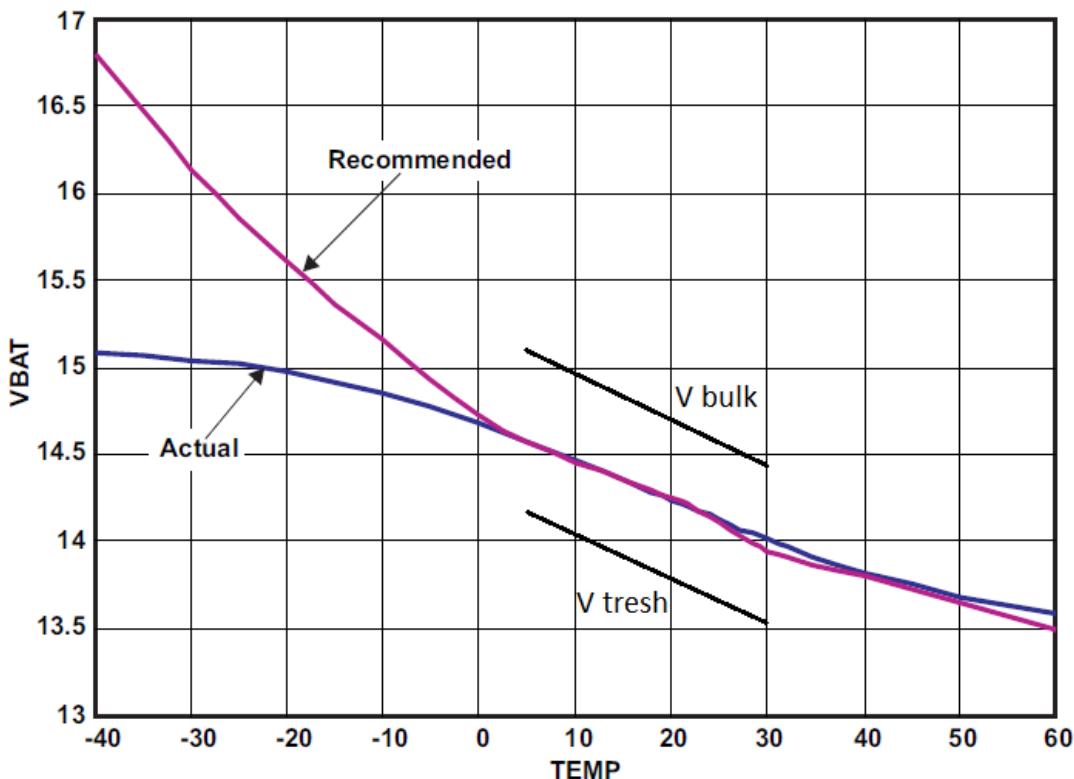
$$V_{bulk} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{820k + 150k || 100k_{20^\circ C}}{160k || 2M} \right) = 14,57V,$$

kde  $V_{threshold}$  je udržovací napětí a  $V_{bulk}$  je nabíjecí napětí.

Tabulka 4.1 - Hodnoty  $R_{TC}$  v závislosti na teplotě (R-T charakteristika 2003) [15]

<b>t [°C]</b>	<b>R<sub>TC</sub> [kΩ]</b>
5	279,4
10	213,9
15	165,0
20	128,2
25	100,0
30	78,4

Na základě takto zvolených součástek se nám bude výstupní napětí měnit v závislosti na teplotě způsobem zobrazeným na obrázku 4.5. [13]



Obrázek 4.5 - Teplotní závislost výstupních napětí zdroje [13]

Dalším parametrem je maximální výstupní proud, který nám určuje sériový měřicí rezistor RSR. Nabíjecí proud je stanoven na 4 A z důvodu osazení 50 W výkonného solárního panelu. Hodnotu RSR rezistoru vypočítáme z rovnice 4.10. Mezních hodnot tedy dosáhne velmi zřídka při maximálním osvětlení. Rezistor RSR také určuje, při jakém proudu se nám bude jevit akumulátor jako nabité. [14]

$$I_{charge} = \frac{40mV}{R_{SR}} = \frac{0,04}{0,01} = 4A \quad (4.10)$$

$$I_{precharge} = \frac{4mV}{R_{SR}} = \frac{0,004}{0,01} = 0,4A, \quad (4.11)$$

kde  $I_{charge}$  je nabíjecí proud a  $I_{precharge}$  je hranice proudu při kterém se ukončí nabíjení. Je shodná s nabíjecím proudem, kterým se akumulátor nabíjí při velmi nízkém napětí na akumulátoru.

Výběr indukční cívky probíhal na základě výběru z tabulky 4.2, kterou vytvořil výrobce integrovaného obvodu. Nastavený nabíjecí proud jsou 4 A tudíž autor použil cívku s parametry 6,8  $\mu$ H / 20 A. V tabulce 4.2 jsou také uvedeny hodnoty měřicího rezistoru RSR a k tomu velikost výstupního kapacitního filtru. Výstupní kapacita filtru se dá také vypočítat z upraveného Thomsonova vztahu (4.12), kde rezonanční frekvence výstupního filtru má být více než desetinásobně menší, než je pracovní frekvence spínaného zdroje. [14]

$$C_o > \frac{\frac{1}{(f_0 \cdot 2\pi)^2}}{L_o} = \frac{\frac{1}{(15000 \cdot 2\pi)^2}}{6,8 \cdot 10^{-6}} = 16,6 \mu F, \quad (4.12)$$

Kondenzátory jsou na základě doporučení výrobce použity keramické s dielektrikem X5R. [14]

Tabulka 4.2 - Hodnoty klíčových součástek silové části zdroje [14]

Nabíjecí proud [A]	0,5	1	2	4	8	10
Indukčnost cívky [ $\mu H$ ]	22	15	10	6,8	3,3	3,3
Výstupní kapacita [ $\mu C$ ]	7	10	15	20	40	40
odpor rezistoru RSR [ $\Omega$ ]	80	40	20	10	5	4

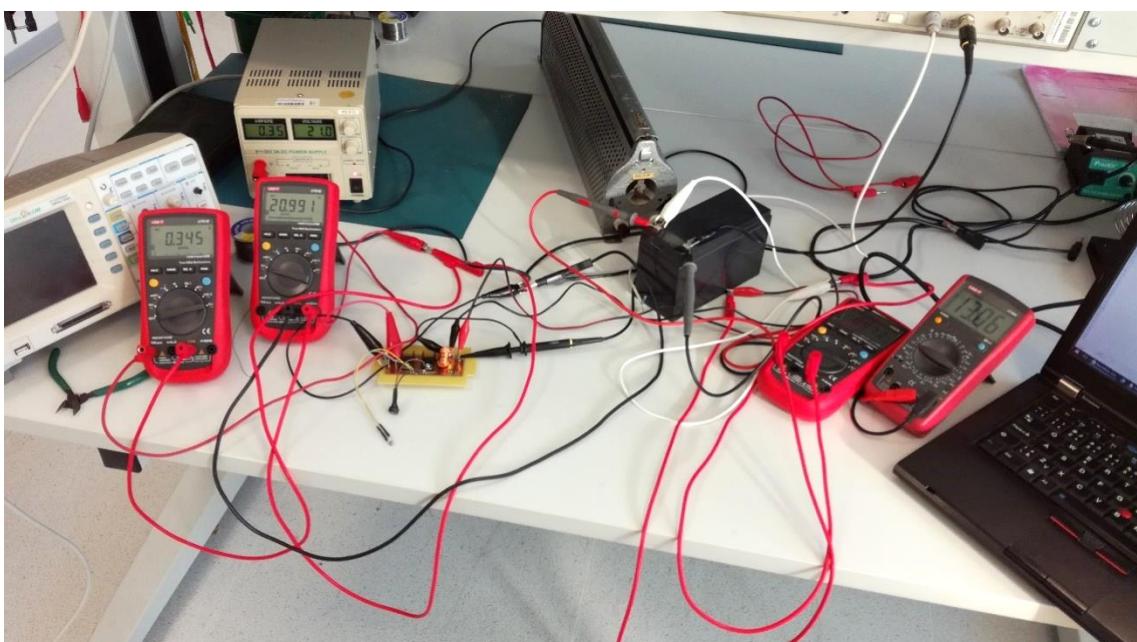
#### 4.1.4 Testování navrženého a sestaveného DC/DC měniče

Po teoretickém návrhu byl obvod sestaven a následoval pokus o oživení. Při prvních zkouškách (vizte obrázek 4.6) bylo zjištěno, že se zdroj nechová podle očekávání. Zdroj byl napájen proměnným napětím od 0 V až po 22 V a při zvyšování vstupního napětí se začal měnič aktivovat až přibližně na 17,5 V. Do té doby se zdroj choval velice nepředvídatelně a nestabilně. 17,5 V odpovídá nastavenému napětí pro MPPT, je jen otázkou, zda byla tato anomálie způsobena napájecím zdrojem, nebo chybou v zapojení. Také při měření na vstupu VFB bylo v signálu velké množství překmitů, což by odpovídalo chybné topologii cest desky plošného spoje. Dále bylo zvláštní, že zdroj dodával do záťaze hodnotu proudu daleko nižší, než je hodnota nastavená. V tabulce 4.3 jsou uvedené naměřené hodnoty.

Tabulka 4.3 - Naměřené hodnoty na sestaveném měniči

$U_{in}$	$I_{in}$	$U_{out}$	$I_{out}$	$\eta [\%]$
14,0	0,003	12,60	0,007	-
14,5	0,004	12,60	0,007	-
15,0	0,004	12,60	0,007	-
15,5	0,004	12,60	0,007	-
16,0	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-
17,0	-	-	-	-
17,5	1,250	13,44	1,410	86,63
18,0	0,967	13,37	1,114	85,57
18,5	0,585	13,18	0,720	87,68
19,0	0,720	13,24	0,892	86,33
19,5	0,450	13,11	0,578	86,35
20,0	0,415	13,09	0,530	83,59
20,5	0,350	13,06	0,470	85,55
21,0	0,344	13,06	0,473	85,51

Díky těmto chybám se autor rozhodl vyzkoušet koupit zdroj hotový od čínského výrobce. Ten se nabízí ke koupi za přibližně 400 Kč a ušetří práci s výrobou měniče. Díky tomu že lze využít zdroj hotový, je provedena jeho úprava k automatickému MPPT. O tomto bude psáno v následující kapitole.



Obrázek 4.6 - Oživování MPPT regulátoru

## 4.2 Úprava DC/DC měniče pro automatický MPPT

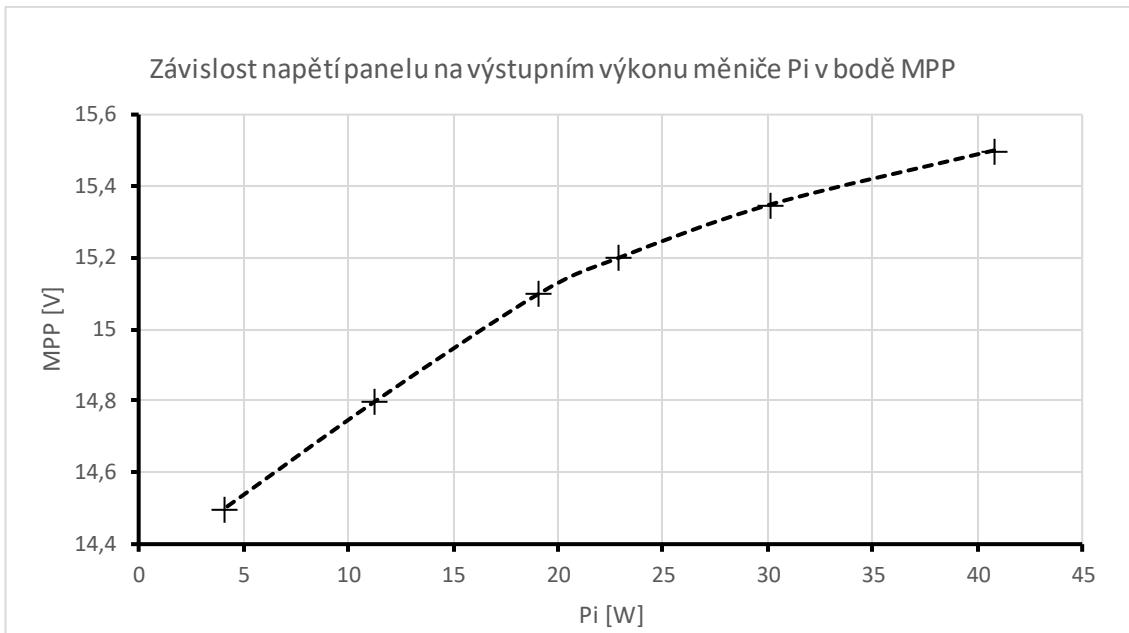
Z důvodu, že vlastní stavba měniče se nezdařila tak, jak bylo předpokládáno, se autor rozhodl zakoupit měnič hotový, který nabízí čínský prodejce za necelých 330 Kč. Tento měnič je zobrazen na obrázku 4.8. Tento měnič podstoupí úpravy, díky kterým bude možno jej ovládat pomocí řídicí desky s ESP8266.

### 4.2.1 Popis zakoupeného měniče

Měnič je dodáván s dvěma osazeními vysokootáčkovými trimry, které nastavují výstupní napětí měniče v režimu CV a napětí, na které měnič zatěžuje solární panel. Toto napětí se nastavuje na takovou hodnotu, aby v průměru za celý den dostalo ze solárního panelu co nejvíce energie. Problém je ale v tom, že bod maximálního výkonu solárního panelu je proměnný s dopadajícím osvětlením. Je to i patrné z teoretického úvodu. Použitý solární panel, který autor použil, byl experimentálně změřen na slunci a byla vytvořena závislost zatěžovacího napětí na výstupním výkonu v bodě MPP. Díky tomu, že měření nebylo prováděno laboratorním osvětlením, ale přímo sluncem, nejsou hodnoty pravidelně odstupňovány. Dopadající světlo bylo nastavováno odkloněním solárního panelu od přímého úhlu dopadajícího světla. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.4 a graficky zobrazeny na obrázku 4.8. Měnič je také osazen jednou duální LED, která má barvu modrou a červenou. Červená barva značí, že měnič je napájen napětím. Když svítí červená led, tak se bud' nabíjí, nebo se čeká až se objeví na panelu správné napětí. Modrá led značí, že je baterie nabítá.

Tabulka 4.4 – Závislost napětí v bodě MPP na výstupním výkonu měniče

MPP [V]	P <sub>i</sub> [W]
15,50	40,8
15,35	30,2
15,20	22,9
15,10	19,1
14,80	11,3
14,50	4,1



Obrázek 4.7



Obrázek 4.8 - Zakoupený měnič s MPPT

#### 4.2.2 Popis úpravy měniče

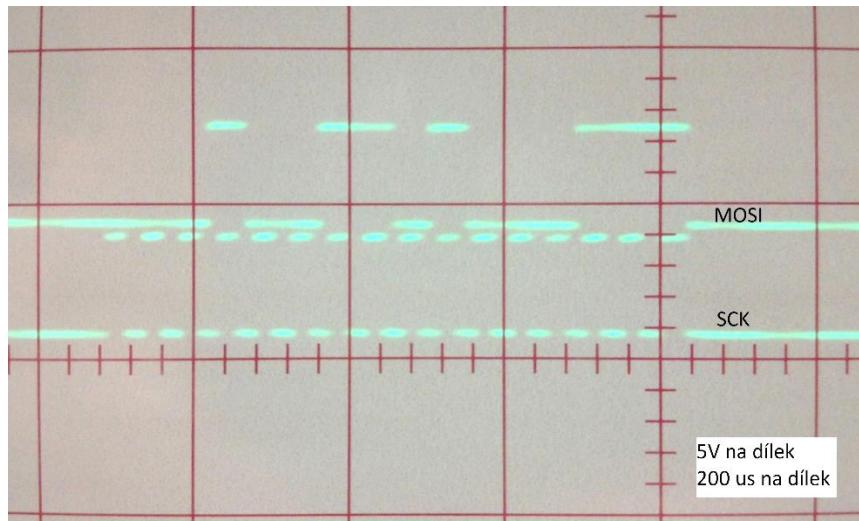
Návrh na úpravu měniče spočívá v použití digitálního duálního potenciometru o hodnotě  $100\text{ k}\Omega$  s přidanými rezistory  $47\text{ k}\Omega$  na koncích drah potenciometru, aby celková hodnota měla stejný odpor jako původní  $200\text{k}\Omega$  trimr. Tímto způsobem je možné dosáhnout jemnějšího kroku pro 1 LSB. Jeden z dvojice bude nastavovat napětí na které bude panel zatěžován a druhý bude nastavovat výstupní napětí v režimu CV. Což nám umožní přepnout napětí na baterii z nabíjecí hodnoty na hodnotu udržovací. To bude přínosné z hlediska životnosti akumulátoru, který se tak nebude přebíjet. Digitální potenciometr je osazen na destičce, která je zvlášť vedle desky měniče. Deska má v nejbližším místě k původním trimrům pájecí plošky pro vodiče. Vizte obrázek 4.10.

Ovládání potenciometru je přes komunikační protokol SPI. Tento protokol by měl být standardně použitelný na procesoru ESP8266, nicméně s rozjetím komunikace byl velký problém. Při hledání na internetu schopné knihovny, která bude ovládat SPI sběrnici, autor narážel na řadu problémů. Knihovny bud' měli nějaké chyby, jako jsou chybě pojmenované proměnné a podobně, nebo při spuštění piny MISO, MOSI, SCK nevykazovali žádnou aktivitu. Nezbývalo nic jiného než si vytvořit knihovnu vlastní. Díky tomu, že ESP8266 má vysokou taktovací frekvenci a vysoký výpočetní výkon, bylo možné vytvořit knihovnu softwarovou. Inspirace pocházela z datového listu pro MCP42100. [21] Tato knihovna je obsažena v kódu v přílohách k této bakalářské práci. Po spuštění této softwarové funkce bylo možné pozorovat tyto průběhy na výstupních pinech (obrázek 4.9). Na potenciometru byly naměřeny tyto hodnoty: (tabulka 4.5).

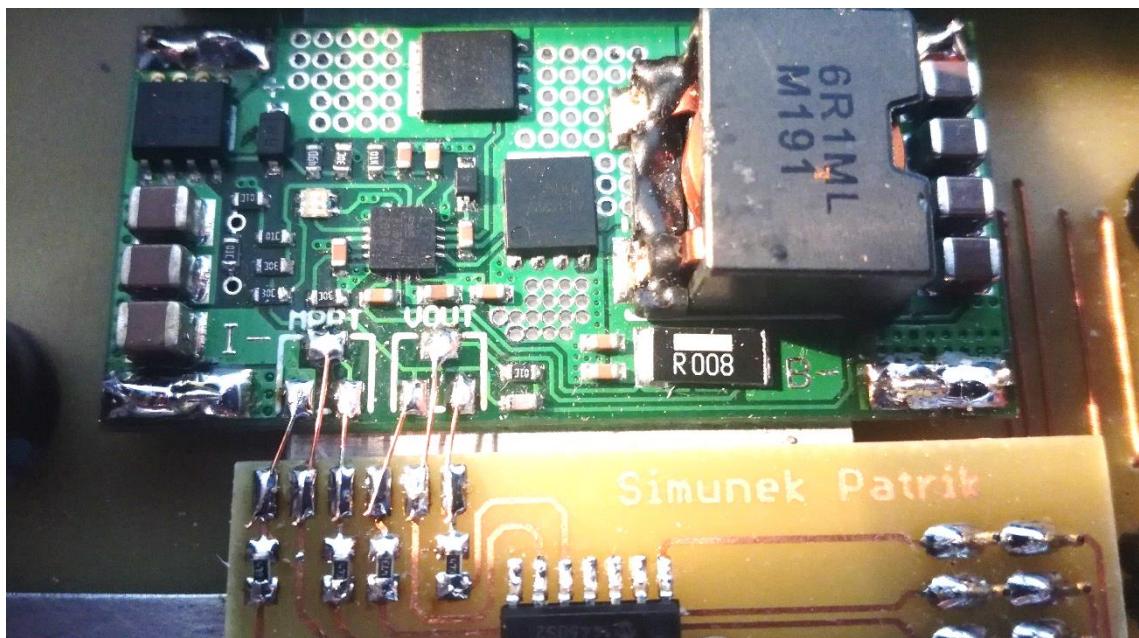
Autor neměl s digitálním potenciometrem doposud zkušenosť a při testování zapojení došlo bohužel k problému. Digitální potenciometr musí mít na svých pinech menší napětí, než je napájecí napětí integrovaného obvodu. To vedlo k nefunkčnosti číslicového potenciometru. Takto zapojený digitální potenciometr nejde použít. Jediná možná úprava zapojení je napojit jezdec potenciometru přímo ke vstupnímu pinu MPPTSET a VFB kde se nachází napětí přibližně okolo 1,5 V. Tato úprava zatím nebyla provedena z časových důvodů. Výhodnější by také bylo použít potenciometr s nižší hodnotou odporu, aby nedocházelo k velkému rušení napěťového děliče. Tento problém zabránil v realizaci automatické MPPT regulace. Realizace měniče tedy bude disponovat pouze jednoduchou MPPT regulací.

Tabulka 4.5 - Naměřené hodnoty na upraveném digitálním potenciometru

<b>Byte</b>	<b>R [kΩ]</b>	<b>Byte</b>	<b>R [kΩ]</b>
0	47	135	102
15	53	150	109
30	59	165	115
45	65	180	121
60	71	195	127
75	78	210	133
90	84	225	139
105	90	240	146
120	96	255	152



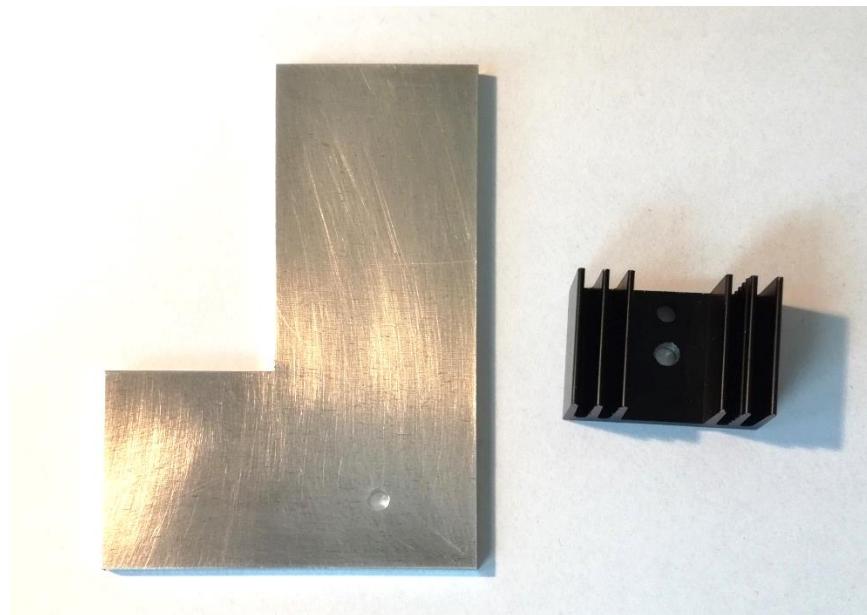
Obrázek 4.9 - Oscilogram komunikace SPI



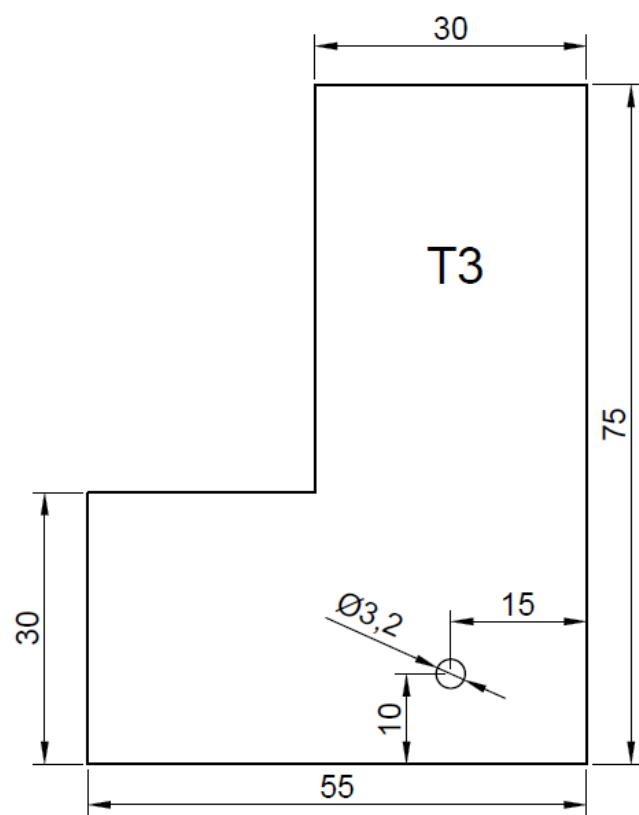
Obrázek 4.10 - Nahrazení trimrů digitálním potenciometrem

#### 4.2.3 Chlazení měniče a montáž na základní desku

Měnič je navržen tak, že většina tepla je přenášena na druhou část desky skrze skrzelovou prokrovou. Chladič je připevněn přes teplovodivou lepicí pásku na desku měniče ze zadní strany a je vyroben z 3 mm tlustého hliníkového plechu, který má tvar do L. Rozměry plechu jsou na obrázku 4.12. Na prázdném místě je ještě pro jistotu namontován černý chladič pro pouzdra TO220 zadní stranou přes teplovodivou pásku k sobě. Při testování bylo zjištěno že tento černý chladič nemusí být osazen, že se zařízení uchladí i bez něj. Vývody zdroje jsou pak propojeny drátovou propojkou se základní deskou.



Obrázek 4.11 - Vyrobený chladič pro MPPT regulátor



Obrázek 4.12 - Rozměry chladiče pro MPPT regulátor

#### 4.2.4 Měření měniče

Použitý měnič dokáže pracovat v několika režimech, ve kterých byl měnič měřen. Režim CV out znamená, že měnič stabilizuje výstupní napětí na konstantní hodnotu, kterou autor při měření přeladoval trimrem. V tomto režimu nám nejde až tak o účinnost, protože do tohoto režimu se měnič dostane pouze při přebytcích elektrické energie vyrobené solárním panelem. Do režimu CC out se měnič dostane při největším výkonovém zatížení. Proud v režimu CC out je nastaven pomocí bočníku umístěného vedle cívky na desce. Tento proud je dán vztahem 4.13. Proud v tomto režimu se nastavuje podle maximálního nabíjecího proudu baterie. U CSB GPL121000 je tento proud 30 A, takže se nemusíme bát, že proud přesáhneme. V praktické realizaci s 50W panelem se tohoto režimu nikdy nedosáhne. Což je dobré, protože v tomto režimu dochází opět k nevyužití elektrické energie, co panel vyrábí. Nejlepší režim z hlediska využité elektrické energie je CV in. V tomto režimu přeměňuje zdroj maximální možnou energii, co panel nabízí. Napětí, na které je panel zatěžován by mělo být hledáno pomocí MPPT smyčky programově.

$$I_{CCout} = \frac{40mV}{R_{SR}} = \frac{0,04}{0,008} = 5A \quad (4.13)$$

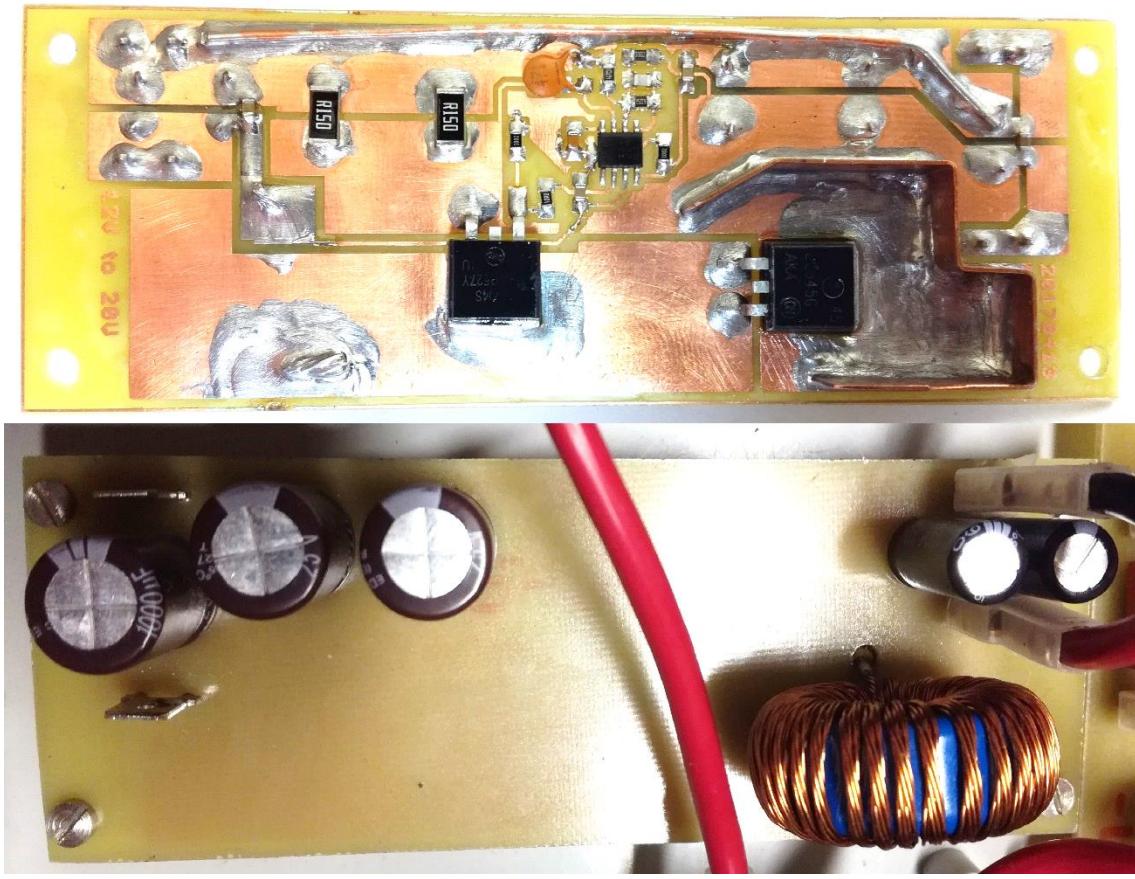
Tabulka 4.6 – Naměřené hodnoty na měniči s MPPT

<b>U<sub>in</sub> [V]</b>	<b>I<sub>in</sub> [A]</b>	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>	<b>I<sub>out</sub> [A]</b>	<b>P<sub>out</sub> [W]</b>	<b>η [%]</b>	<b>Režim</b>
16,50	1,18	13,32	1,34	17,85	91,7	CV out
16,36	1,68	13,43	1,94	26,05	94,8	CV out
16,11	2,52	13,60	2,86	38,90	95,8	CV out
16,73	4,27	13,99	4,92	68,83	96,4	CC out
14,69	1,95	13,34	2,04	27,21	95,0	CV in
15,05	1,95	13,35	2,10	28,04	95,5	CV in
15,58	1,96	13,36	2,14	28,59	93,6	CV in
16,17	1,96	13,38	2,24	29,97	94,6	CV in
16,56	1,96	13,39	2,30	30,80	94,9	CV in

### 4.3 Návrh nabíječky pro notebook

Z důvodu že nominální napětí solárního systému je 12 V, je pro napájení notebooku potřeba sestavit DC/DC měnič typu BOOST. Tento měnič nám zaručí přeměnu 12 V na napětí 20 V, ze kterého bude notebook napájen. Měnič je založen na integrovaném obvodu UC3843. Jedná se o jednoduché zapojení inspirované ze stránky danyk.cz [22]. Toto zapojení neobsahuje ochranu proti nadproudu, tak je potřeba jistit tavnou pojistikou o hodnotě 8 A.

Chlazení nabíječky je zaručeno pomocí tenkého měděného plechu (0,5 mm) který je napájen v okolí SCHÖTTKY diody přímo na rozlévanou měď. V tomto místě vzniká nejvíce tepla. Na výkonový tranzistor chlazení není nutné, nicméně by podobný způsob chlazení také neuškodil. Realizovaný zdroj je na obrázku 4.13.



Obrázek 4.13 - Realizovaná nabíječka pro notebook

#### 4.3.1 Měření nabíječky pro notebook

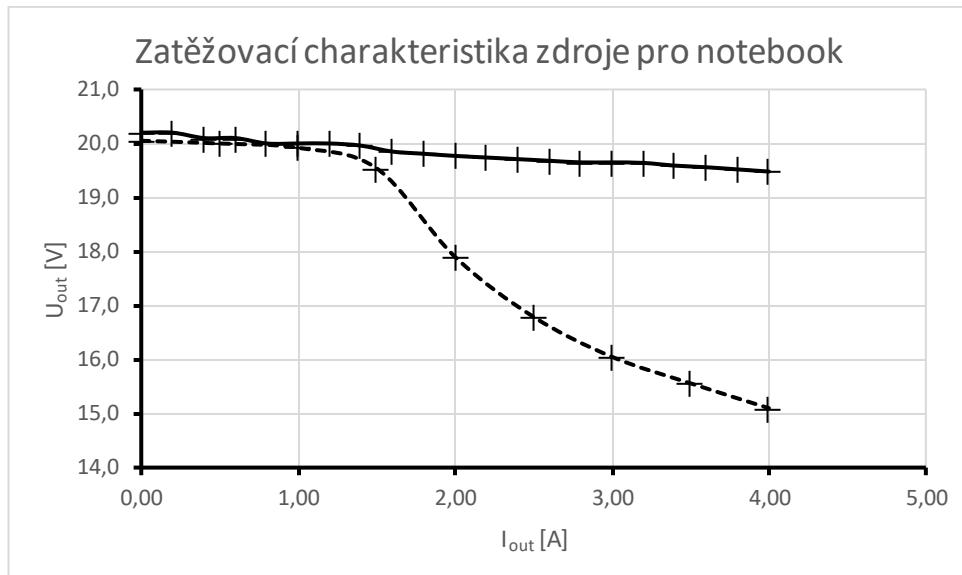
Po navrhnutí layoutu a sestavení celé desky se autor setkal s problémem, že nabíječka fungovala velmi sporadicky. Notebook byl napájen, ale při vyšší zátěži se nabíječka odpojovala připojovala. Nakonec byla chyba objevena v chybně osazeném kondenzátoru C5, který společně s rezistorem R4 ( $10\text{ k}\Omega$ ) tvoří časovací člen pro vnitřní oscilátor. Hodnota kondenzátoru pro pracovní frekvenci  $80\text{ kHz}$  byla přibližně  $2,2\text{ nF}$ , ale na desce byl osazen kondenzátor  $100\text{ nF}$ , což pracovní frekvenci posunulo o řád níž, na  $1700\text{ Hz}$ . Při měření si této chyby autor nevšiml, tak vznikla dvě měření se správným a špatným kondenzátorem. Hodnoty v levé části jsou před výměnou kondenzátoru a v pravé části po nahrazení. Vizte tabulku 4.7 a obrázek 4.14. Parametry nabíječky byly značně změněny. Výpočet pro oscilační frekvenci: 4.14 [20]

$$f_{osc} = \frac{1,72}{R4 \cdot C5} = \frac{1,72}{10000 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}} = 78,18\text{ kHz} \quad (4.14)$$

Kde R4 a C4 jsou hodnoty součástek ze schéma zapojení.

Tabulka 4.7 - Naměřené hodnoty zrealizované nabíječky na notebook  
(vlevo před a vpravo po opravě)

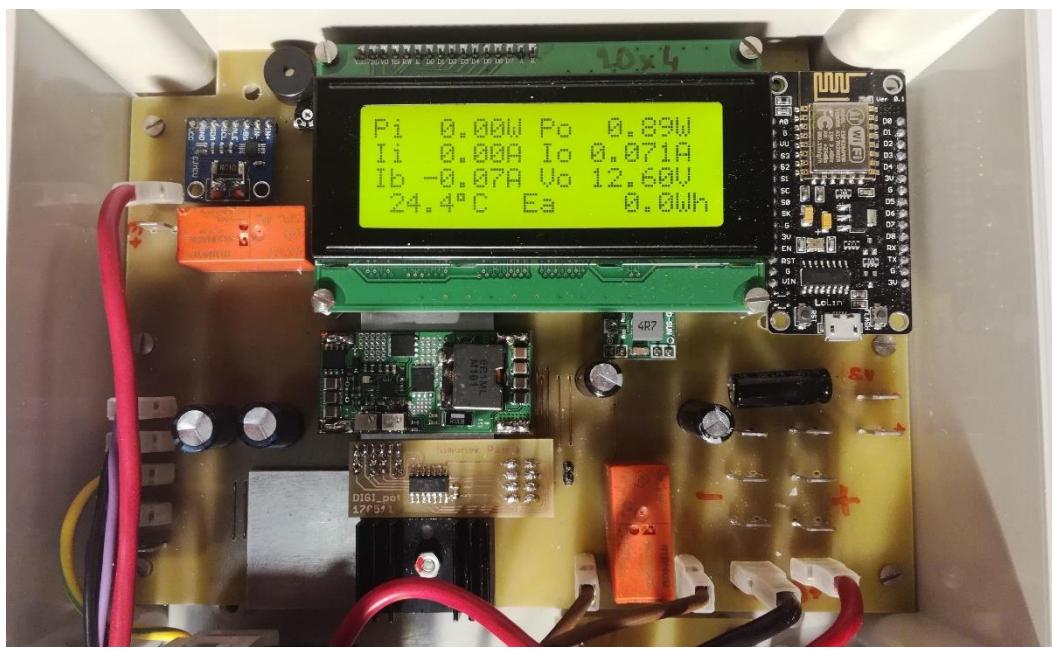
$U_{in} = 13,2V$				$U_{in} = 12,02V$			
$I_{in}$ [A]	$I_{out}$ [A]	$U_{out}$ [V]	$\eta$ [%]	$I_{in}$ [A]	$I_{out}$ [A]	$U_{out}$ [V]	$\eta$ [%]
0,01	0,00	20,05	-	0,016	0,00	20,2	-
0,81	0,50	20,00	93,53	0,38	0,20	20,2	88,4
1,63	1,00	19,92	92,58	0,73	0,40	20,1	91,6
2,42	1,50	19,54	91,75	1,07	0,60	20,1	93,8
2,98	2,00	17,90	91,01	1,41	0,80	20,0	94,4
3,45	2,50	16,79	92,17	1,77	1,00	20,0	94,0
3,95	3,00	16,05	92,35	2,11	1,20	20,0	94,6
4,44	3,50	15,56	92,92	2,46	1,40	19,96	94,5
4,95	4,00	15,10	92,44	2,81	1,60	19,85	94,0
				3,16	1,80	19,81	93,9
				3,52	2,00	19,77	93,5
				3,87	2,20	19,74	93,4
				4,21	2,40	19,71	93,5
				4,57	2,60	19,68	93,1
				4,92	2,80	19,65	93,0
				5,29	3,00	19,65	92,7
				5,64	3,20	19,64	92,7
				6,03	3,40	19,59	91,9
				6,36	3,60	19,56	92,1
				6,77	3,80	19,52	91,2
				7,17	4,00	19,48	90,4



Obrázek 4.14

#### 4.4 Základní deska

Pro usazení všech částí kromě těch, jako je například nabíječka pro notebook slouží základní deska. Na té je osazen řídící modul s ESP8266, měřicí desky s INA226, měnič s MPPT regulací, displej, relé a ostatní pomocné obvody. Deska byla zvolena jako jednostranná, protože je jednodušší na výrobu a je také levnější. Moduly na samostatné DPS jsou na desce buďto připájeny přes pinovou lištu, nebo pouze na pinové liště nasazeny. Displej je přimontován na distančních sloupkách. K připojení kabelů slouží konektory typu faston 6,3 mm. Deska s měničem je přilepena pomocí oboustranné teplovodivé pásky s lepidlem a vývody jsou prostrčeny skrze základní desku 0,5 mm tlustým drátem a zapájeny. Základní deska je upevněna pomocí šroubů M3 x 5 mm do připravených míst v krabici. Realizace je na obrázku 4.15.



Obrázek 4.15 - Osazená základní deska zamontovaná v elektroinstalační krabici

## 4.5 Kompletní zařízení

Kompletní zařízení se všemi komponenty je umístěno v elektroinstalační krabici s průhledným víkem typ: Z-95. Do krabice je možné namontovat ostatní komponenty jako je například nabíječka pro notebook, DIN lišta pro osazení držáků pojistek, nebo jističe a podobně. Na krabici je namontován kolébkový vypínač pro ovládání nabíječky pro notebook. V některých případech se totiž vyplatí nabíječku odpojit od napájení. Ve spodní části krabice jsou vyvráceny otvory pro kabelové průchodky. Ty slouží k protažení kabelů od baterie, solárního panelu a případných doplňkových spotřebičů. Kompletní zařízení je na obrázku 4.16.



Obrázek 4.16 - Kompletní zařízení

# 5 PROGRAMOVÁ ČÁST

V této kapitole bude vysvětlena funkce dvou kódů programu, která se stará o správný chod celého zařízení.

## 5.1 Program pro ESP8266

ESP 8266 se dá programovat v jazyku LUA, nebo pomocí prostředí Arduino IDE obohaceným o několik knihoven. Program pro mikroprocesor je psán v jazyku C a stará se o několik funkcí. Jedná se především o obsluhu měřicích obvodů, které měří proudy a napětí v elektrárně, pak o připojení do domácí WiFi sítě, odesílání dat v podobě json souboru do tabulky Google. V programu se využívá několik knihovních funkcí, které jsou uvedeny v příloze k tomuto dokumentu. Jedná se o knihovny `ESP8266WiFi.h`, `HTTPSRedirect.h`, `Wire.h`, `LiquidCrystal_I2C.h` a `stdint.h`. Úkolem programu je také ovládat relé pro odpojení baterie v případě moc vysokého napětí na baterii a zároveň připojení externího napájecího zdroje se správným napětím. Nesmíme opomenout také obsluhu displeje a ovládání digitálního potenciometru.

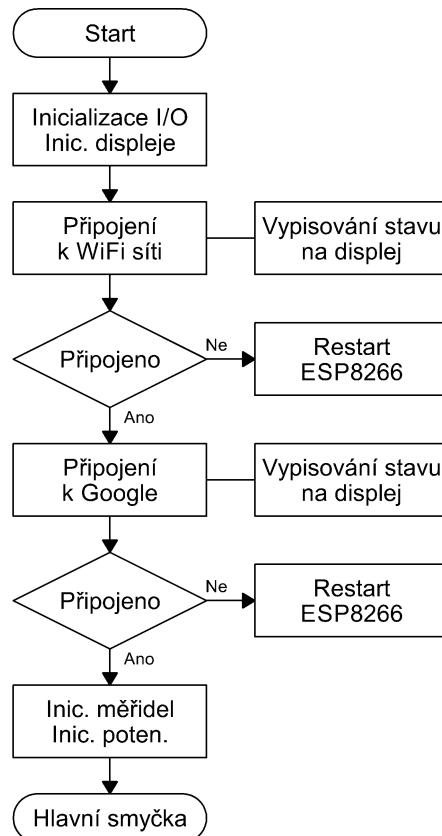
Kostra programu je inspirována z projektu, který vytvořil uživatel fóra Github `electronicsguy`, [23] kde se zabývá většina nadšenců problematikou ohledně procesoru ESP8266. Vytvořený kód, který uživatel napiše se pak přidá k původnímu firmware. To má své výhody, ale i nevýhody. Výhodou je, že program běží na jednom jádru a stačí pro kód jedna výpočetní jednotka. Nevýhodou je, že procesor nemá kvalitní dokumentaci a může docházek k neočekávaným resetování procesoru a chyba se pak velice špatně hledá. Zasahování do již tak složitého kódu cizím kódem může znamenat například zaseknutí a následnému resetu pomocí časovače watchdog. Programátor si také musí dát pozor na to, aby při resetu zařízení byly úrovně na výstupech v takových hodnotách, aby ESP8266 klasicky nabootoval, byl tedy v módu Boot sketch. Jednotlivé módy jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 - Módy při startu ESP8266

GPIO15	GPIO0	GPIO2	Mód
0V	0V	3,3V	UART bootloader
0V	3,3V	3,3V	Boot sketch
3,3V	x	x	SDIO mode (Není pro Arduino)

Na začátku programu se nachází přiřazení knihovních funkcí, které jsou v kódu použity. Následně jsou zde deklarovány globální proměnné, které jsou například Pole `ssid` a `password`. V těchto proměnných je uložen string, který obsahuje název WiFi sítě, ke které se má připojit společně s přístupovým heslem. Dále ve stringu `GScriptId` je identifikační číslo Google scriptu, který bude přijímat data přicházející k uložení do tabulky. Toto ID pochází z URL. Proměnná `payload_base` slouží jako hlavička pro generování json dat.

Pro inicializaci procesoru slouží funkce `setup()`; ve které je deklarace vstupů a výstupů na určitých GPIO. Tyto GPIO jsou přejmenovány na piny D0, D1, ... protože takto jsou pojmenovány na vývojovém kitu LoLin V3. V této sekci je i inicializace LCD displeje, na který se začíná vypisovat zpráva, že se procesor snaží připojit k dané WiFi síti s určeným názvem pomocí funkce `WiFi.begin(ssid, password)`. Následuje smyčka, která vypisuje na displeji tečky, dokud se procesor nepřipojí. Pokud se nepodaří připojit, vypíše se hláška, že se bude restartovat procesor na LCD a dojde k restartu. Před restartem je ještě nutné mít nastaveny správné hodnoty na GPIO15, GPIO0 a GPIO2. Restart procesoru se volá pomocí funkce `ESP.restart()`. Po úspěšném připojení k WiFi se začne ESP8266 vázat se serverem Google. Vypisování informací na displej probíhá obdobně jako u připojování k WiFi. Následuje inicializace časovače, který bude generovat přerušení každou sekundu. Při vyvolání přerušení se skočí do funkce `timer0_ISR()`. Pro lepší pochopení je tato funkce zobrazena ve vývojovém diagramu na obrázku 5.1.

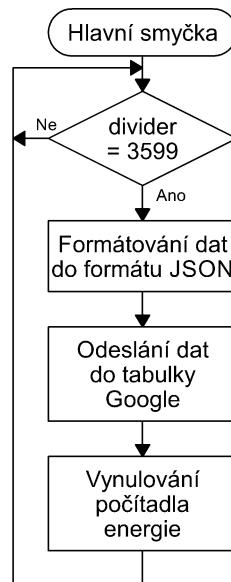


Obrázek 5.1 - Vývojový diagram inicializace procesoru

Hlavní smyčka `loop()`; obsahuje především odesílání dat do tabulky Google. Odesílání probíhá skrze HTTP protokol pomocí metody POST každou hodinu. O časování se stará přerušení plus softwarová dělička. Data se dají do tabulky posílat i přes metodu GET, ta má ale omezení ve velikosti odesílaných dat. Pomocí metody GET se data odesílají skrze url. Při metodě POST mají data při odesílání formát .json souboru. Odeslaný řetězec pak může vypadat takto:

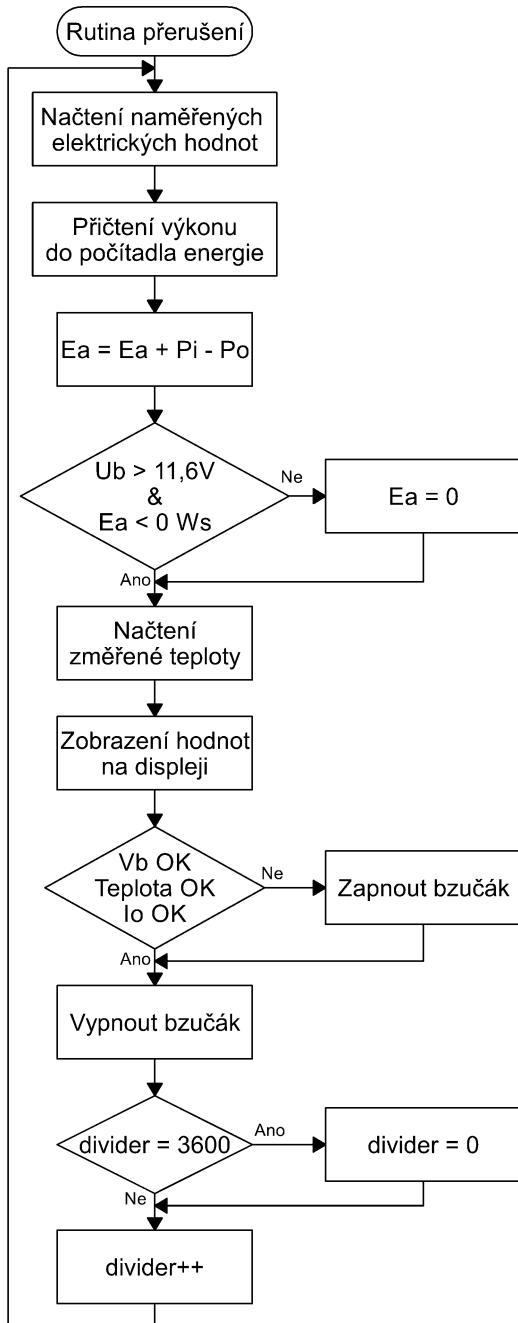
```
{"command": "appendRow", "sheet_name": "List 1", "values":  
", 1278951, 41831, 13327, 33.81"}
```

Tento odeslaný řetězec je pak dekódován pomocí Google scriptu a pomocí jej se data postupně vloží do tabulky. Google script se na základě hodnoty command rozhodne že přidá volný řádek do tabulky konkrétně do listu s názvem List 1 vloží do prvního sloupce prázdnou hodnotu (do tohoto sloupce se pak vkládá čas vložení), do druhého sloupce hodnotu 1278951, do druhého 41831, třetího 13327 a do posledního sloupce 33.81. Vývojový diagram je na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 - Vývojový diagram hlavní smyčky programu

Funkce `timer0_ISR();` slouží jako rutina přerušení. Tato funkce se spustí každou sekundu a chová se jako stavový automat. V této funkci dochází k měření elektrických veličin a teploty, počítá se zde zbývající energie v akumulátoru (Ea), k zobrazení veškerých hodnot na displeji a ke kontrole alarmových stavů. Měření veličin se zde provádí pomocí funkcí, které jsou uvedeny níže. Výpočet zbývající energie funguje tím způsobem, že pokud se baterie vybije a nemá napětí odpovídající vybité baterii tak se počítadlo nuluje. Pokud dochází stále k vybijení baterie i přes nesplněnou podmínu správného napětí baterie, tak se počítadlo dostává do záporných hodnot. Pokud se baterie nabíjí, do počítadla se hodnota přečítá. Hodnota, která do počítadla vstupuje, je průměrný výkon, který byl po dobu jedné sekundy odebrán ze zařízení. Zobrazení na displej se provádí pomocí funkce `lcd.printf();` do které vstupuje předpřipravený řetězec floatových hodnot společně s popisky hodnot jednotlivě řádek po řádku. Nakonec se kontroluje napětí, teplota a proudové přetížení elektrárny a pokud některá z těchto hodnot nesplňuje krajní hodnoty, tak se rozsvíčí akustická signalizace. V posledních řádcích této rutiny je přiřazení jedničky do proměnné divider, popřípadě nulování této proměnné při hodnotě 3600, což odpovídá tomu, že uběhla další hodina a v hlavní smyčce se můžou odeslat data do tabulky Google. Při odesílání se na displeji vpravo nahoru rozsvítí šípka (nahoru). Vývojový diagram je na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 - Vývojový diagram rutiny přerušení

Funkce `init_measurement()`; slouží i inicializaci měřidel elektrických veličin (INA226) a i inicializaci měřiče teploty (TCN75A) které jsou na sběrnici I2C. Ve funkci se začíná nahráváním hodnoty do konfiguračního registru pro měření proudu do zátěže. Tento registr je na adrese `0x00`. Velikost konfiguračního registru je 16 bitů. V tomto registru došlo k přepsání hodnot na bitech D11, D10, D9 oproti továrnímu nastavení. Pomocí těchto bitů se nastavuje průměrování hodnot při měření na 128 hodnot ( $D11 = 1$ ,  $D10 = 0$ ,  $D9 = 0$ ). Tato hodnota odpovídá přibližné době měření pod jednu sekundu, což časově vychází s dobou mezi přerušeními od časovače (1 s). To nám zaručí věrné vzorkování odebrané energie. Dalším registrum, který je pro správnou funkci potřeba

přepsat je kalibrační registr na adresu `0x05`. hodnoty se vypočítá podle těchto vztahů: [18]

$$CAL = \frac{0,00512}{Current\_LSB \cdot R_{SHUNT}} = \frac{0,00512}{0,001 \cdot 0,01} = 512 \quad (5.15)$$

Podle výpočtu by tedy mělo být do registru nahrána hodnota 512, po měření byla ale hodnota upravena na 456, tak, aby se proud měřil přesněji. Hodnota se lišila pravděpodobně z důvodu malé přesnosti měřicího rezistoru. Měření napětí není potřeba nijak kalibrovat.

Tento postup se opakuje pro měření elektrických veličin na baterii. Dále se ve funkci pokračuje v nastavení teploměru. Ten je na adrese `0b1001000` opět na sběrnici I2C. V této funkci se pouze zapisuje do konfiguračního registru na adresu `0x01` a bylo do něj zapsána bitová kombinace nastavující oproti výchozímu stavu 12 bitové rozšíření.

Funkce `meas_voltage()`; je vytvořena pro měření napětí jak na záteži tak na baterii. Tato napětí se ve většině případů budou téměř rovnat. Ve výpočtech energie se ale k nim přistupuje odděleně. Vstupní parametr je pouze jeden neznaménkový o hodnotě 8 bitů. Tento parametr je přímo slave address pro daný měřicí obvod. Pro měření napětí na baterii je to adresa `0b1000100` a pro měření napětí na záteži `0b1000000`. To, že je vstupní parametr osmibitový nevadí. Nula se zapíše před výsledné číslo a ve funkci do které vstupuje na ni není brán ohled. Funkce `meas_voltage()`; využívá dvě lokální proměnné, jednu znaménkovou 16 bitů reading a druhou typu float s názvem tmp. Postupně se koná posloupnost funkcí pro volání slave na dané adresu. Poté se z registru `0x02` vyčítá po 8 bitech 16 bitová hodnota do proměnné reading a následně přenásobíme koeficientem 1,25 a převedeme na milivoly. Funkce tedy vrací datový typ float.

Funkce `meas_current()`; funguje úplně stejně jako `meas_voltage()`; ale data bere z registru `0x04`.

Funkce `meas_temperature()`; je také obdobná s předchozíma dvěma funkcemi. S tím rozdílem že slave address je `0b1001000`.

Funkce `set_pot()`; se stará o ovládání digitálního potenciometru a i softwarové ovládání SPI. Autorovi se nepodařilo totiž pomocí dostupných knihoven na internetu ovládat hardwarové SPI, tak to vyřešil tímto způsobem. Procesor je dosti rychlý na to, aby tuto obsluhu zvládal. Funkce má dvě vstupní neznaménkové osmibitové proměnné, které ovládají buď jeden nebo druhý potenciometr. Hodnota 128 pak znamená, že potenciometr je „natočen“ do poloviny rozsahu. První v pořadí ovládá výstupní napětí měniče a druhý napětí na který je zatěžován solární panel. Funkce funguje tak, že postupně spíná výstupy GPIO takovým způsobem, aby probíhala jednosměrná komunikace SPI. Jednotlivé časové úseky jsou taktovány po jedné mikrosekundě. Zpráva se pak odešle přibližně za 650 µs. Postupné spínání výstupu MOSI je založeno na logickém posunu vstupního slova a maskování. Kód je přiložen k nahlédnutí v příloze. Odesílání dat probíhá na dvakrát pro každý potenciometr zvlášť.

## 5.2 Program pro zapisování do tabulky (Google script)

Skript začíná vytvořením proměnných, do kterých se načtou údaje jako jsou ID veřejné Google tabulky a název listu kam se hodnoty budou transportovat. Klíčovou částí kódu je funkce `doPost()`, která se spustí při příjetí dat metodou POST. Jakmile se spustí tato funkce, tak se vypíše hlavička tabulky do prvního řádku. Další klíčovou částí kódu je switch, který se rozhoduje na základě proměnné „command“, který byl obsažen v poslaných datech. Pro nás případ je tento příkaz jediný a to „appendRow“. V tomto případě se připraví číslo prvního prázdného řádku a data se přesunou do tabulky. Poté se do prvního sloupečku stejného řádku vepíše datum ve formátu:

```
"yyyyMMdd HH:mm:ss"
```

Ostatní funkce kódu jsou zakomentovány pro případné budoucí úpravy a dodělávky do budoucna. Veškeré funkce, které jsou použity jsou z návodů Google pro toto skriptování. [23]

## 5.3 Ukázka přijatých dat v tabulce

Tato podkapitola slouží k nahlédnutí, jak vypadá formát tabulky, která se postupně plní statistickými hodnotami ohledně spotřeby a výroby elektrické energie pomocí realizovaného zařízení. Z tabulky 5.2 je vidět, že došlo pouze k vybíjení baterie, a to průměrně výkonem 0,7 W, což se dá jednoduše z dat vypočítat.

Tabulka 5.2 - Přijatá data v tabulce na internetu

Date, time	Energy_in [mWs]	Energy_out [mWs]	Voltage_batt [mV]	Temerature [°C]
20170527 22:50:25	0	2494585	12538	25.31
20170527 23:51:18	0	2530598	12527	25.69
20170528 00:51:52	0	2523013	12516	25.56
20170528 01:52:36	0	2524369	12498	24.69
20170528 02:53:21	0	2521286	12483	24.69
20170528 03:54:04	0	2520768	12470	24.94
20170528 04:54:47	0	2522239	12456	24.81
20170528 05:55:30	0	2522430	12438	24.06
20170528 06:56:14	0	2523535	12427	25.25
20170528 07:56:58	0	2532876	12422	26.50

## **6 ZÁVĚR**

Bakalářská práce obsahuje teoretický návrh malé solární elektrárny a její praktickou realizaci, která bude napájet malé domácí spotřebiče. V práci se autor pozastavil nad MPPT regulátorem pro solární panel, který bude nabíjet olověný akumulátor. Tento regulátor byl sestaven a bylo na něm provedeno měření. Vytvořený regulátor nefungoval podle předpokladů, což je pravděpodobně způsobeno špatným návrhem rozmištění součástek na desce nebo vadnou součástkou. Problém byl vyřešen autorem koupí hotového měniče, který byl upraven pro možnost doprogramovat plně automatické MPPT pomocí procesoru, která je součástí řídícího systému, a digitálního potenciometru. Další položkou je podrobný návrh řídícího systému celé soustavy. Naměřená účinnost měniče je vyšší než 91,7 %.

Solární elektrárna dokáže po připojení k internetu odesílat každou hodinu údaje o spotřebě, vyrobené energii, napětí baterie a teploty měniče do tabulky Google. Díky tomu si pak může uživatel tvořit statistiky o stavu elektrárny a tvořit si z naměřených dat grafy. Součástí je i měření na solární elektrárně a ukázka zapsaných dat do tabulky na internetu pomocí řídícího systému. Práce obsahuje rovněž výpočet vyrobené energie pomocí vybraného solárního panelu.

Součástí zařízení je měnič pro nabíjení notebooku realizovaný autorem práce, který dosahuje účinnosti vyšší než 91,4 %. Notebook patří k největší záteži stanice elektrárny. Na jedno plné nabití baterie umožnuje elektrárna dodávat energii pro notebook v provozu až 20 hodin.

Ohledně ušetření poplatků za elektrickou energii, autor nepředpokládá, že by se náklady na stavbu v krátkém období vrátily. Díky složitosti a mnoha hodinám stráveným na vývoji a stavbě tohoto zařízení se investice s vysokou pravděpodobností nevrátí. Ovšem finanční návratnost tohoto projektu nebyla hlavním důvodem stavby. Jedná se o samostatný funkční systém, který není závislý na dodávce elektrické energie.

# LITERATURA

- [1] *Plebis.eu* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: [http://plebis.eu/product-cze-2362-Solarni-system-100W-300W-menic-nabijecka-univ.html?gclid=CjwKEAiAvZTCBRDvnoOaoa2j3xISJABxPjN9b1XEq1Gira7F\\_eqVZmuE\\_zUk8H7wB4D89lvHRHSmxxoCcijw\\_wcB](http://plebis.eu/product-cze-2362-Solarni-system-100W-300W-menic-nabijecka-univ.html?gclid=CjwKEAiAvZTCBRDvnoOaoa2j3xISJABxPjN9b1XEq1Gira7F_eqVZmuE_zUk8H7wB4D89lvHRHSmxxoCcijw_wcB)
- [2] BOUŠEK J., KOSINA P., MOJROVÁ B., *Elektronické součástky: Skripta*. Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, leden 2015.
- [3] Solar cell. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell)
- [4] *E-bay* [online]. [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://www.ebay.co.uk/itm/50w-PV-Solar-Panel-with-10A-PWM-Charger-Controller-for-12v-Battery-Caravan-Boat-/301848781689>
- [5] *Ecoproduct.cz* [online]. [cit. 2016-12-14].  
Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely>
- [6] Pumped storage hydroelectricity. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity)
- [7] Flywheel energy storage. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-14].  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel\\_energy\\_storage](https://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel_energy_storage)
- [8] Rechargeable battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-14].  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery)
- [9] KUBÍČEK M. *Napájení elektronických zařízení: Návod na laboratorní úlohu 4* Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky.
- [10] *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps* [online]. [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [11] *Datasheet CSB GPL 121000* [online]. [cit. 2016-12-14].  
Dostupné z: <http://www.batterysales.com/downloads/GPL121000.pdf>
- [12] *ESP8266* [online]. [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://gridconnect.com/esp8266-wifi-chip.html>
- [13] JEFF FALIN, CHARLES MAUNNEY, STEPHEN NORTMAN. *Using the bq24650 to Charge a Sealed, Lead-Acid Battery* [online] September 2010 [rev. October 2011] [cit. 2016-12-13] Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva437a/slva437a.pdf>
- [14] *bq24650 Synchronous Switch-Mode Battery Charge Controller for Solar Power With Maximum Power Point Tracking*, [online] July 2010 [rev. April 2016] [cit. 2016-12-13] Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24650.pdf>
- [15] *EPCOS R-T characteristics* [online]. 2009 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/d2c0cd422897666a9b6dbc1f345e707/B57164K.pdf>

- [16] *E-bay* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/2004A-20x4-Character-LCD-Display-Module-5V-Blue-Screen-For-Arduino-Professional-/26295689867?hash=item3d3973b70b:g:djEAAOSwT-FZAsIC>
- [17] *E-bay* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/IIC-I2C-TWI-SPI-Interface-Board-Module-PCF8574T-for-Arduino-1602-LCD-2004-L-B4B3-/252895647306?hash=item3ae1c1564a:g:lHsAAOSwHHFY~wPd>
- [18] *Datasheet INA226* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina226.pdf>
- [19] *Datasheet INA219* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>
- [20] *Datasheet UC3843* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3843.pdf>
- [21] *Single/Dual Digital Potentiometer with SPI™ Interface* [online]. 2003 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3843.pdf>
- [22] *Měnič 12V / 15-21V pro notebook* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://danyk.cz/noteb.html>
- [23] *HTTPSredirect.h* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <https://github.com/electronicsguy/ESP8266/tree/master/HTTPSRedirect>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

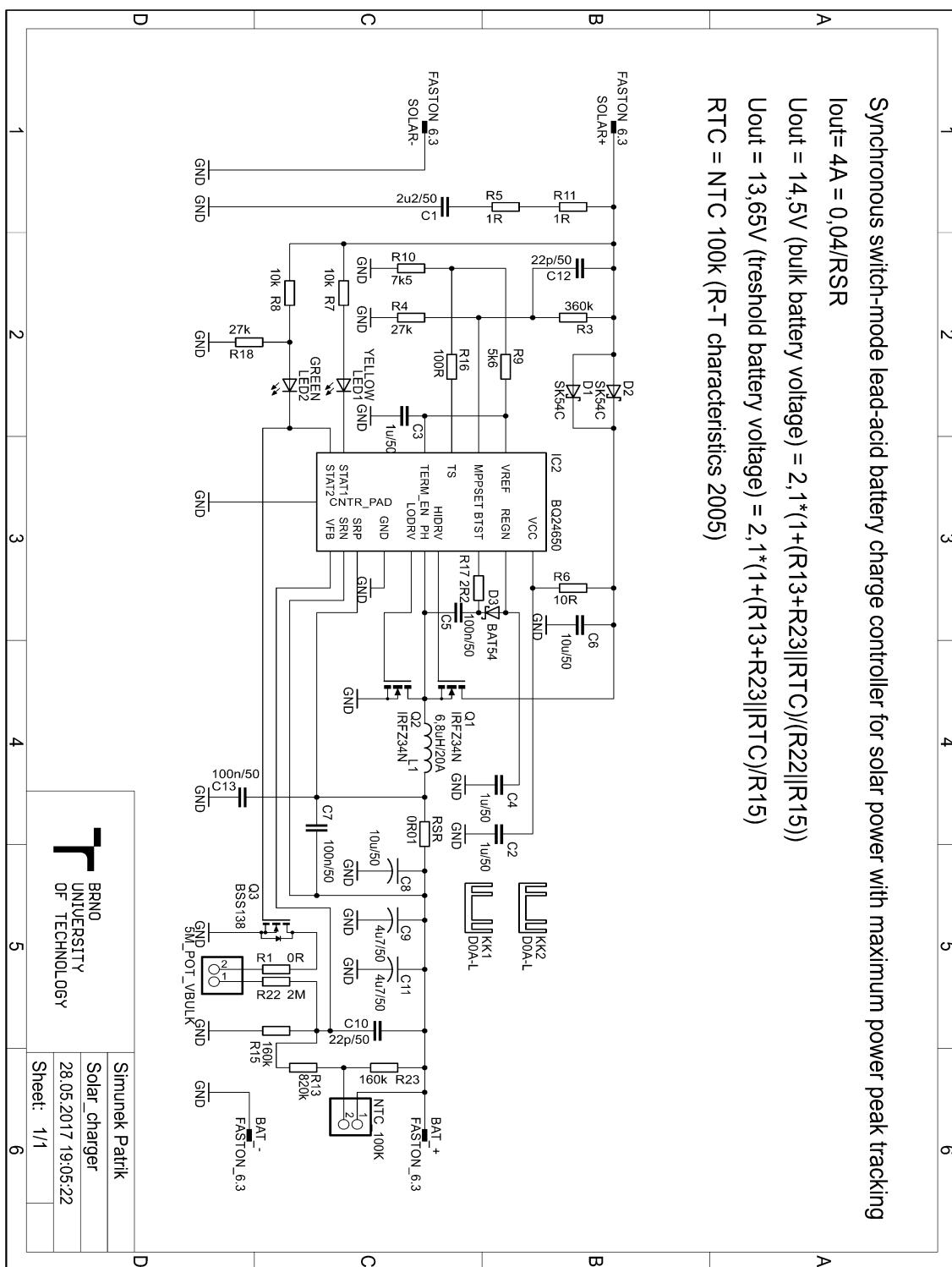
DC	Direct current, stejnosměrný proud
DPS	Deska plošného spoje
PCB	Deska plošného spoje
PWM	Pulse width modulation, pulzně šířková modulace
HTML	Hypertext markup language, hypertextový značkovací jazyk
HTTP	Hypertext transfer protokol, síťový protokol pro přenos hypertextu
IP	Internet protocol, protokol internetu
MPPT	Maximum power point tracking, sledování maximálního výkonu
IO	Integrovaný obvod
SMD	Surface mounted device, součástka pro povrchovou montáž
AGM	Absorbed glass mat, typ akumulátoru
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor, provedení tranzistoru
Pi	Input power, vstupní výkon do solární elektrárny (za měničem)
Ii	Input current, proud z měniče do systému
Ib	Battery current, proud baterie, záporná hodnota značí vybijení
Io	Output current, proud do zátěže
Po	Output power, výkon zátěže
Vo	Output voltage, napětí na svorkách pro zátěž
Vb	Battery voltage, Napětí baterie
Ea	Energy available, dostupná energie v baterii
JSON	Formát dat
GET	Metoda předávání dat na protokolu HTTP pomocí url
POST	Metoda předávání dat na protokolu HTTP
VFB	Vstup BQ24650
MPPTSET	Vstup BQ24650
MISO	Master in, slave out. Komunikační vodič SPI
MOSI	Master out, slave in. Komunikační vodič SPI
SCK	Časovací vodič komunikace SPI
SPI	Druh seriové komunikace
I2C	Druh seriové komunikace

CC	Constant current, režim konstantního proudu
CV	Constant voltage, režim konstantního napětí
WiFi	Bezdrátová síť
GPIO	Pin procesoru ESP8266
LCD	Druh displeje

# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení MPPT regulátoru

Synchronous switch-mode lead-acid battery charge controller for solar power with maximum power peak tracking  
 $I_{out} = 4A = 0.04/RSR$   
 $U_{out} = 14.5V$  (bulk battery voltage) =  $2,1*(1+(R13+R23||RTC)(R22||R15))$   
 $U_{out} = 13.65V$  (threshold battery voltage) =  $2,1*(1+(R13+R23||RTC)/R15)$   
 $RTC = NTC\ 100K$  (R-T characteristics 2005)



**T** BRNO  
UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

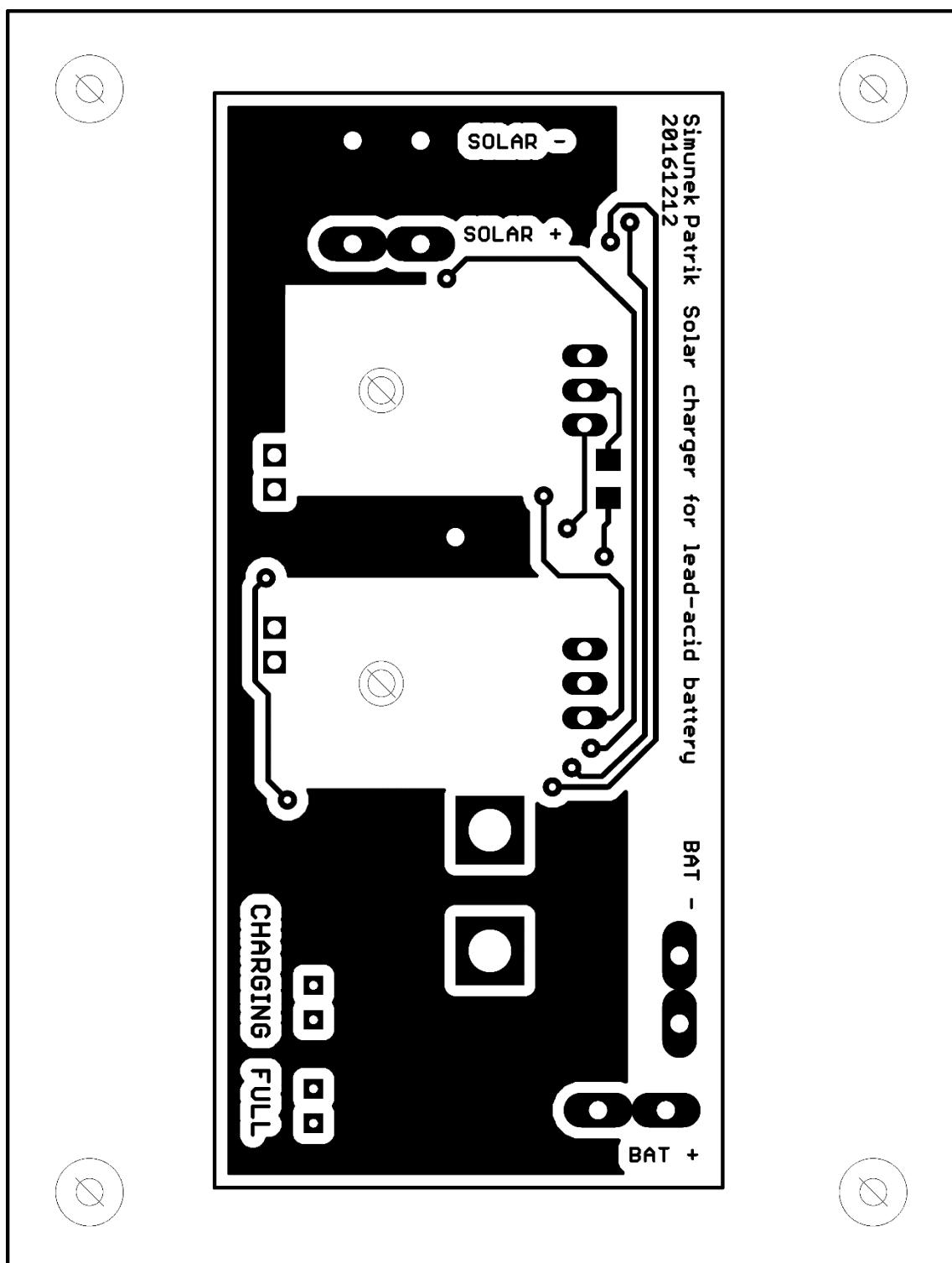
Simunek Patrik

Solar\_charger

28.05.2017 19:05:22

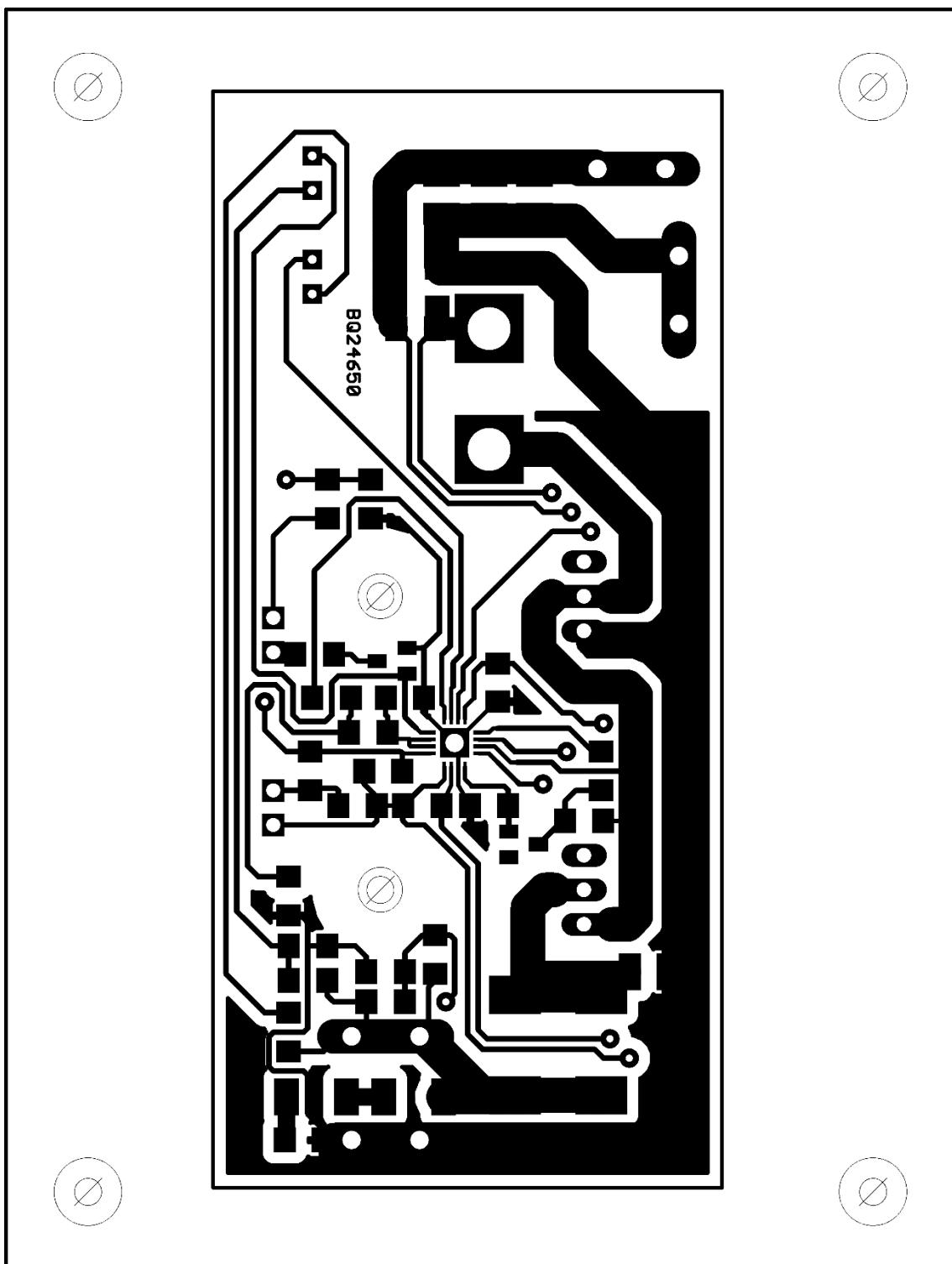
Sheet: 1/1

## A.2 Deska plošného spoje MPPT regulátoru horní strana



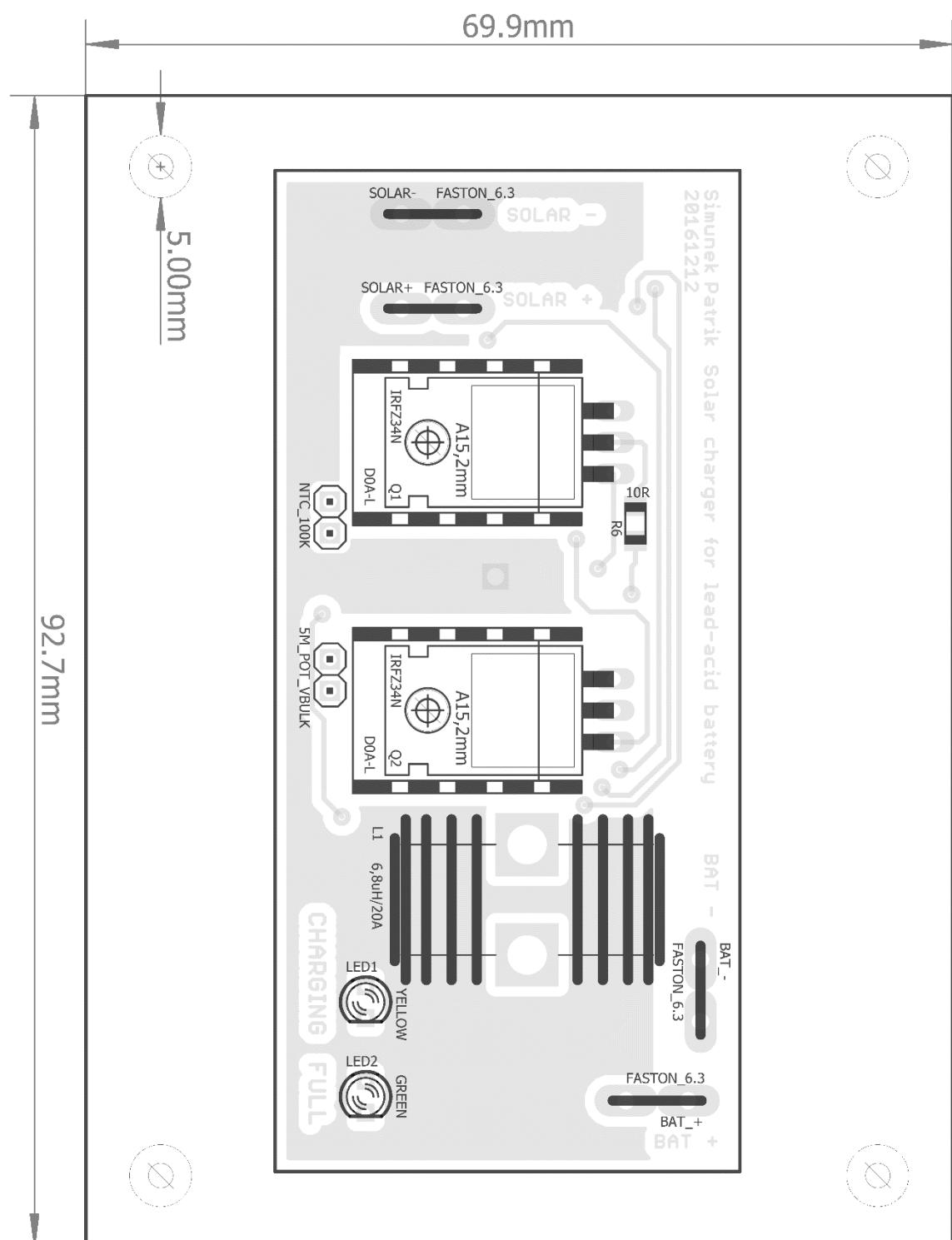
Rozměr desky 69,9 x 92,7 [mm]

### A.3 Deska plošného spoje MPPT regulátoru spodní strana

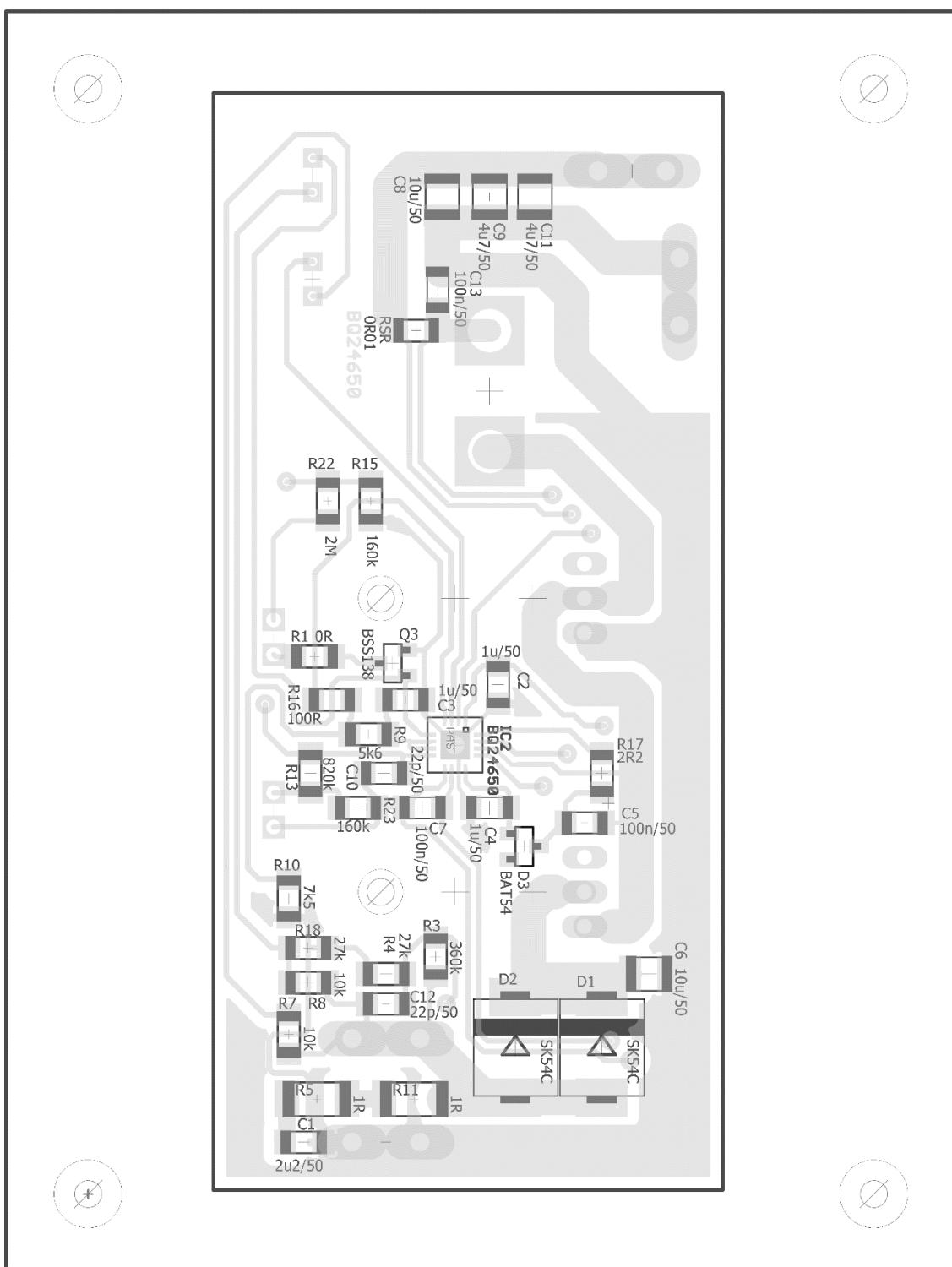


Rozměr desky 69,9 x 92,7 [mm]

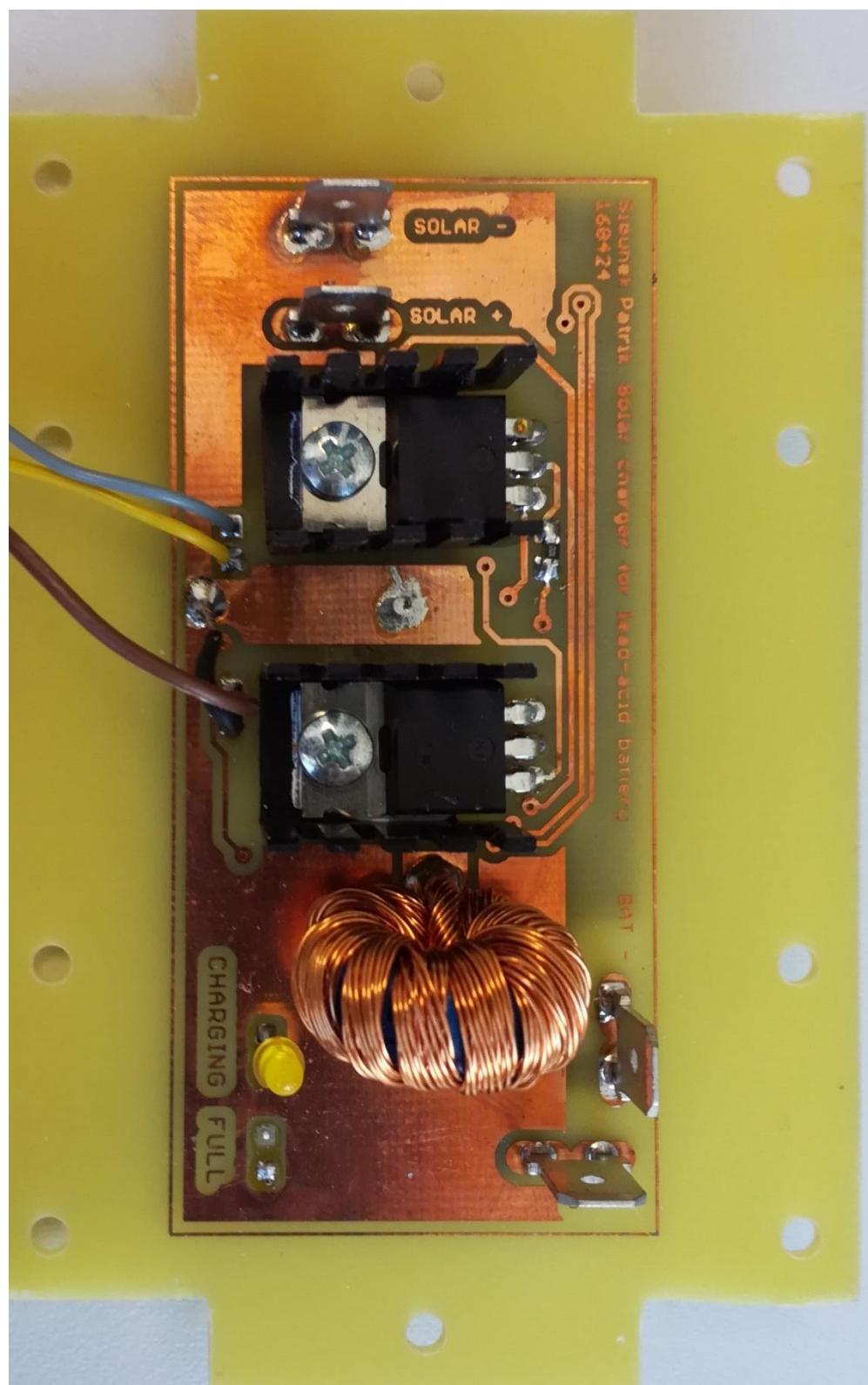
#### A.4 Osazovací plán spoje MPPT regulátoru horní strana



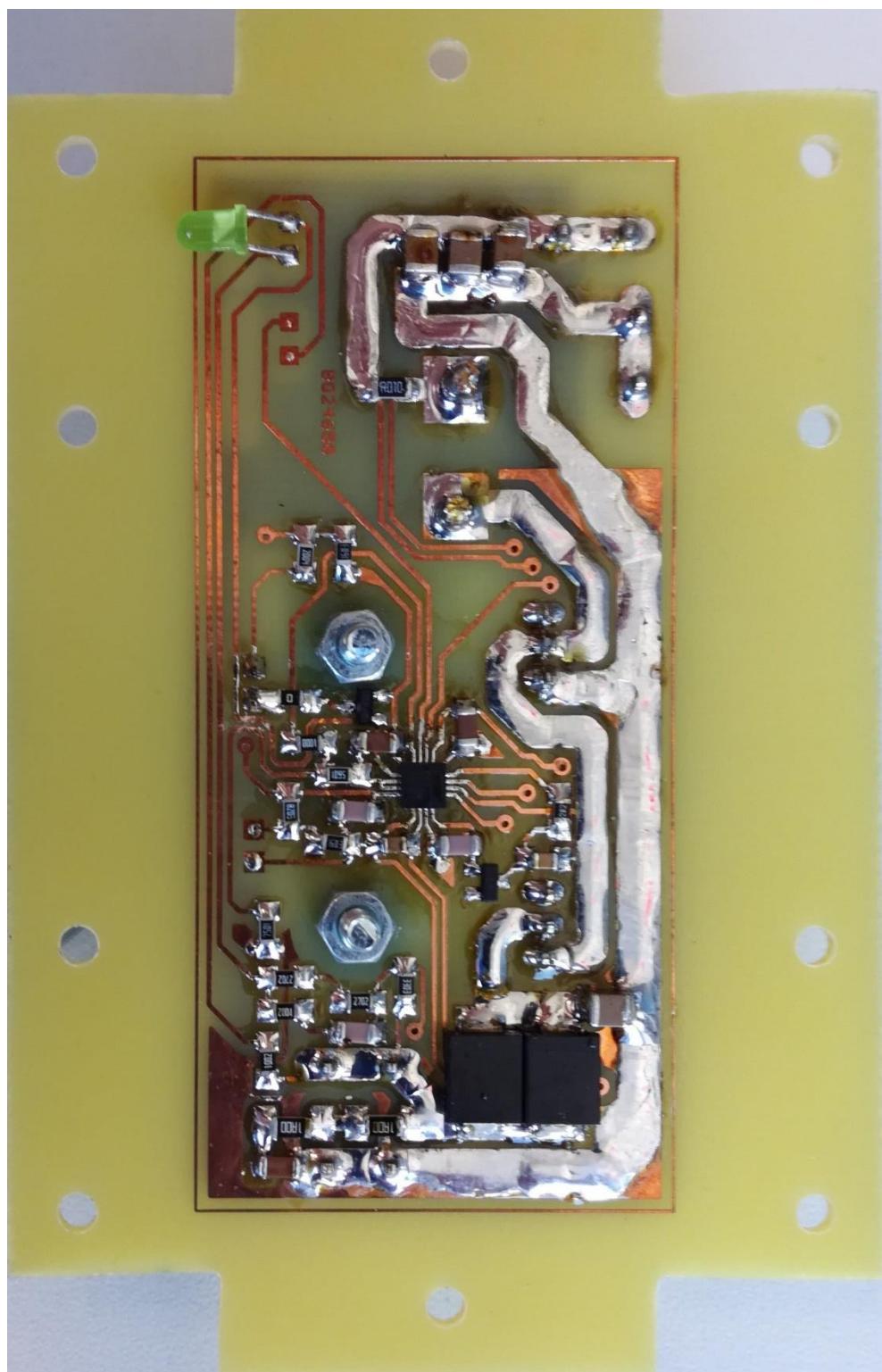
## A.5 Osazovací plán spoje MPPT regulátoru spodní strana



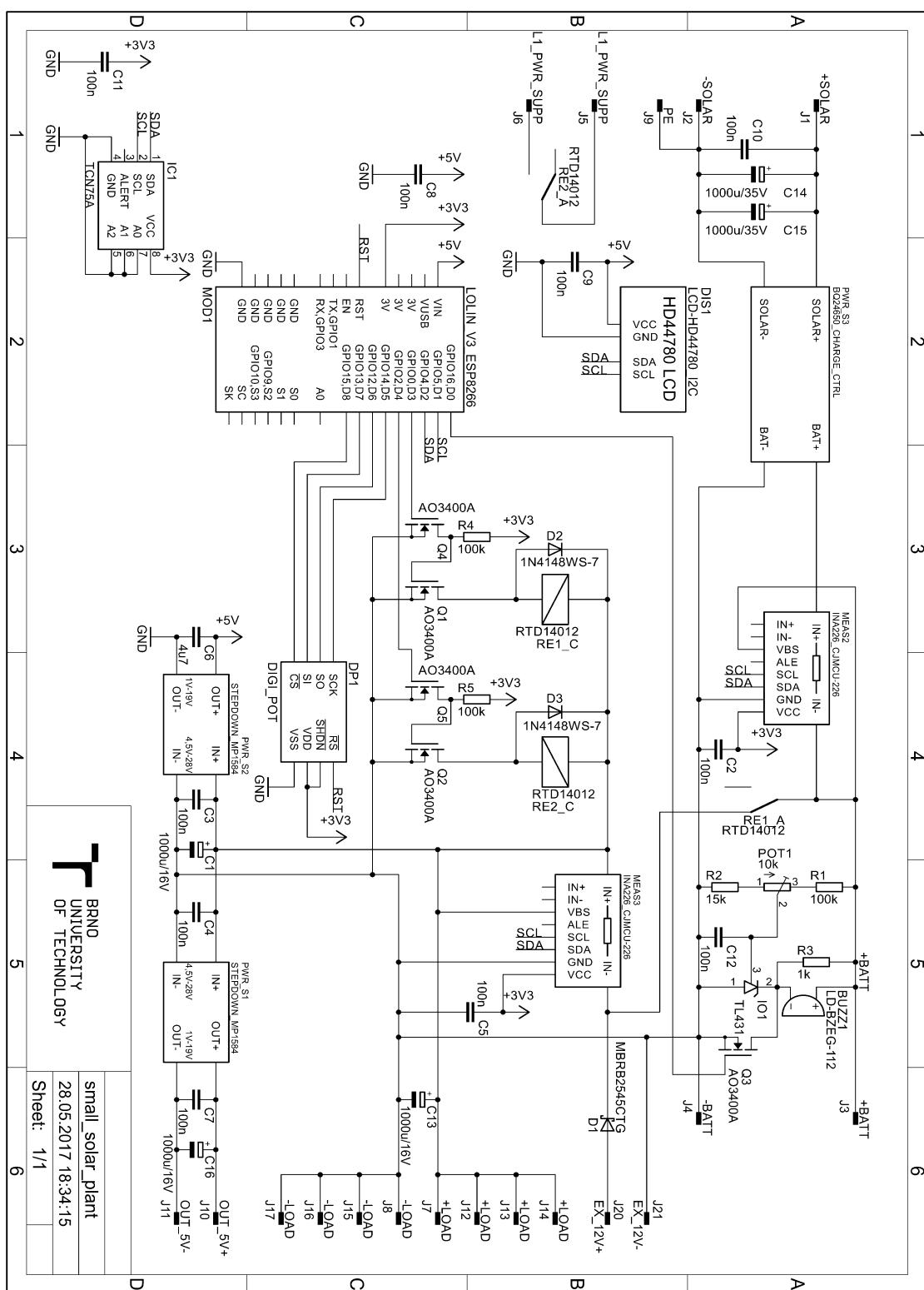
## A.6 Realizovaný MPPT regulátor horní strana



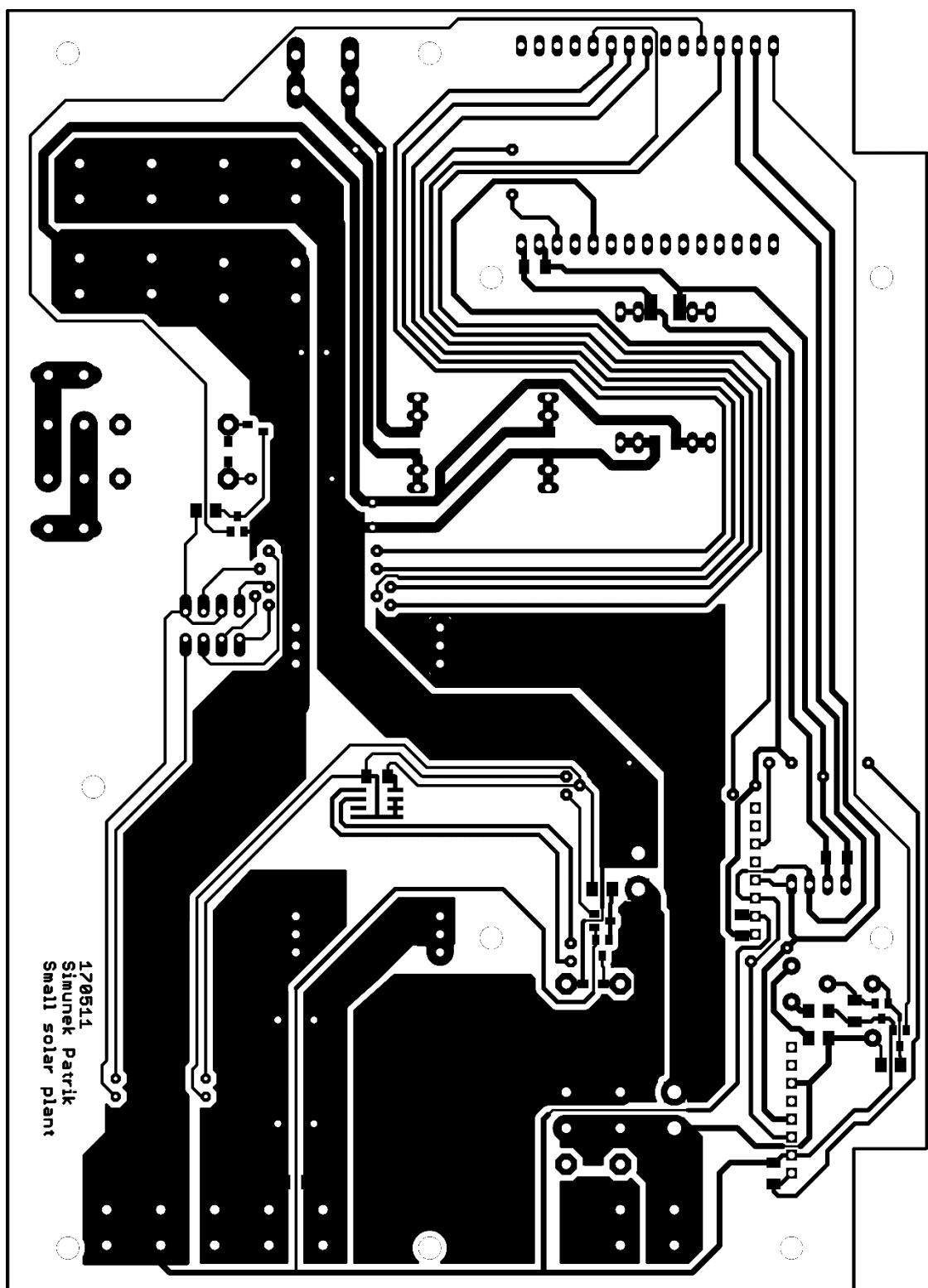
## A.7 Realizovaný MPPT regulátor spodní strana



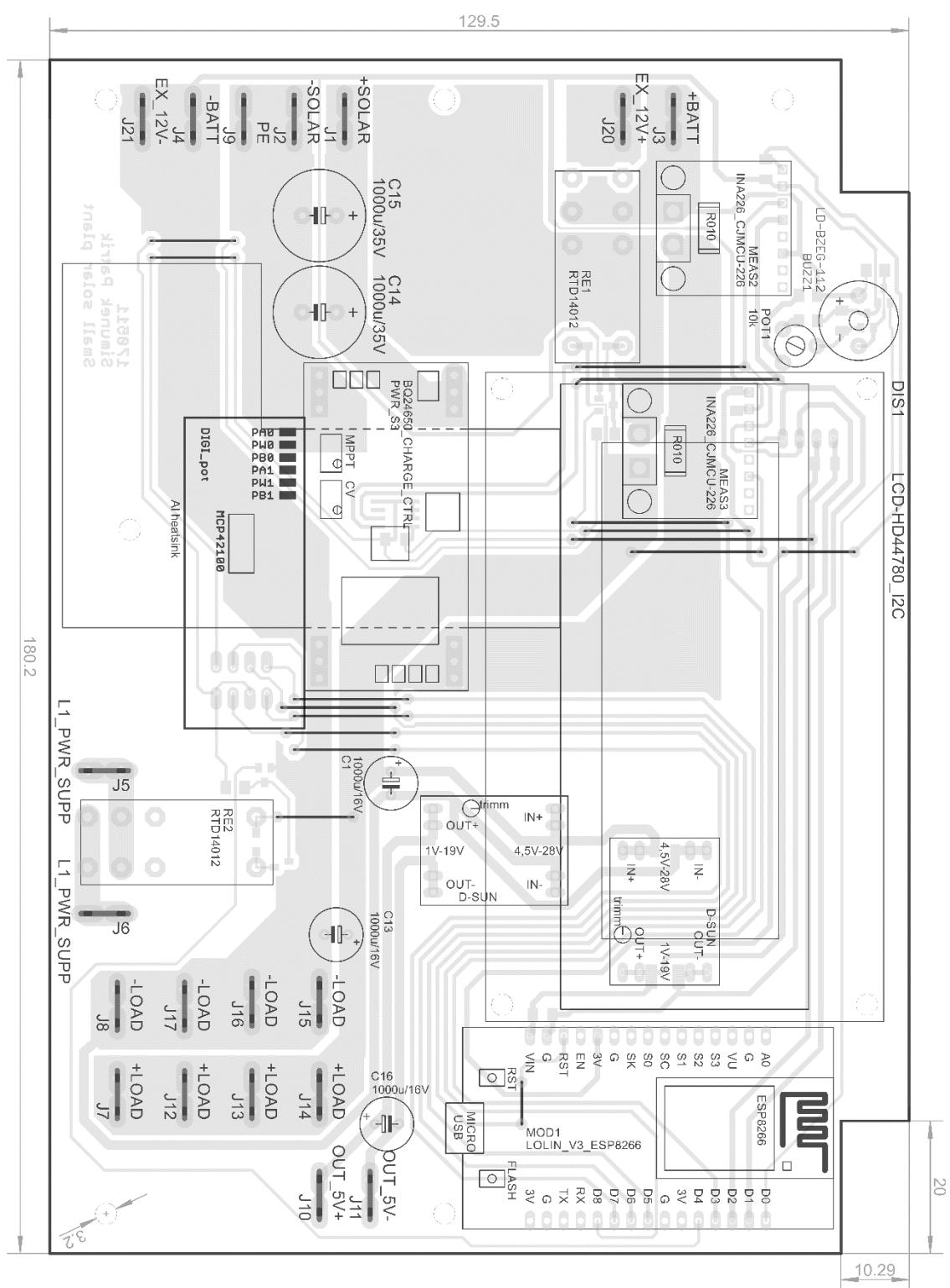
## A.8 Obvodové zapojení základní desky elektrárny



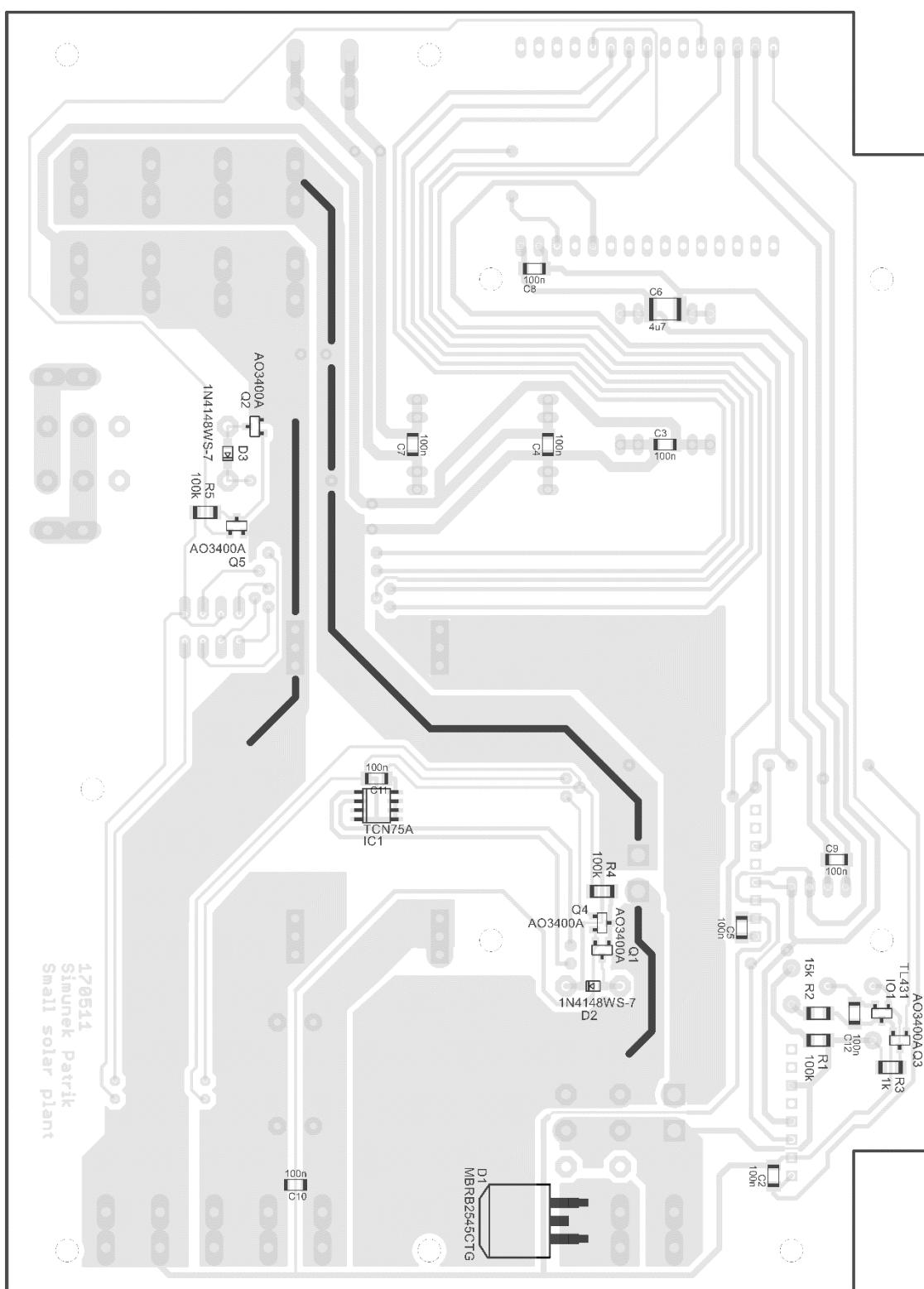
**A.9 Deska plošného spoje základní desky elektrárny  
spodní strana**



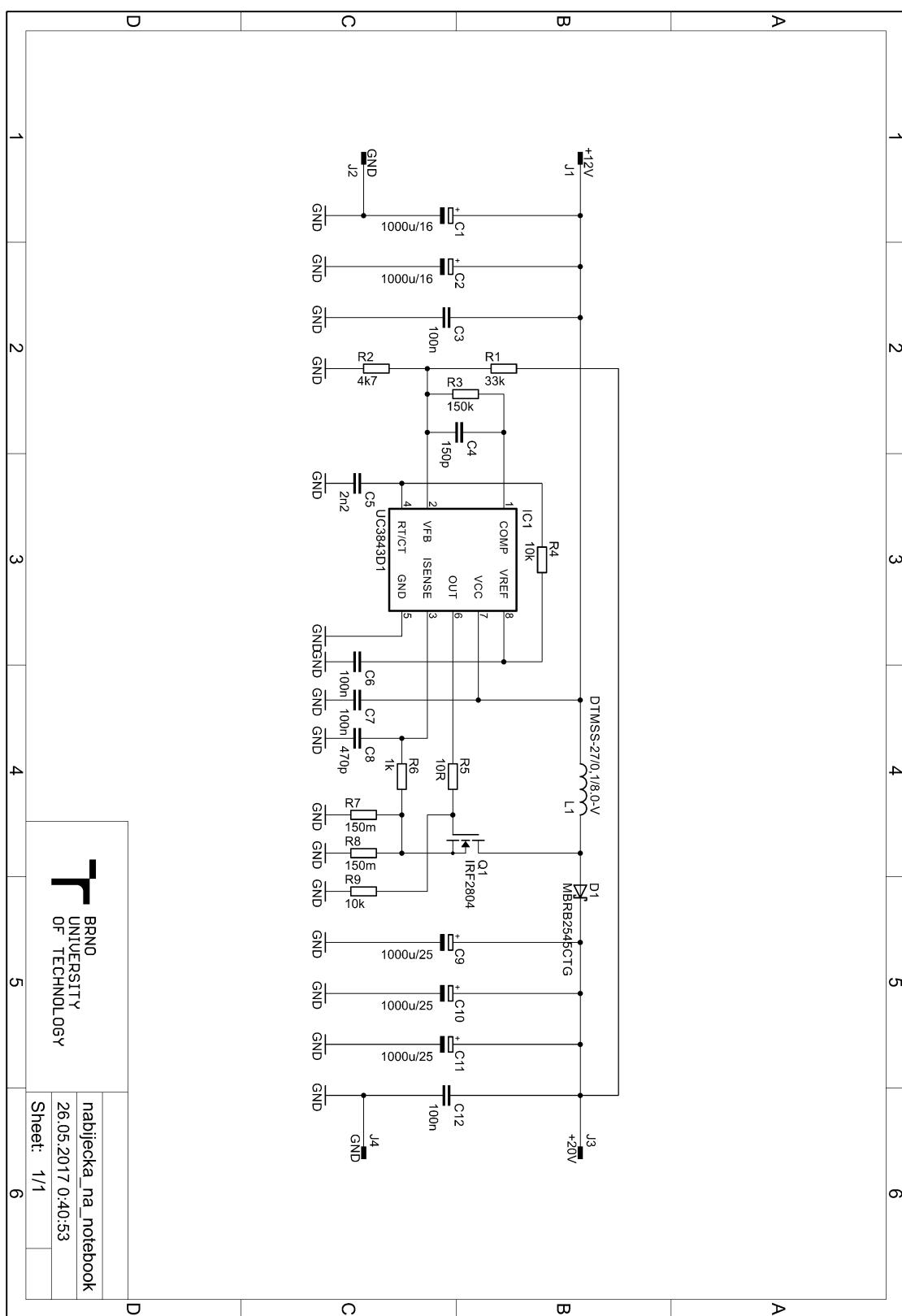
## A.10 Osazovací plán základní desky elektrárny horní strana



## A.11 Osazovací plán základní desky elektrárny spodní strana



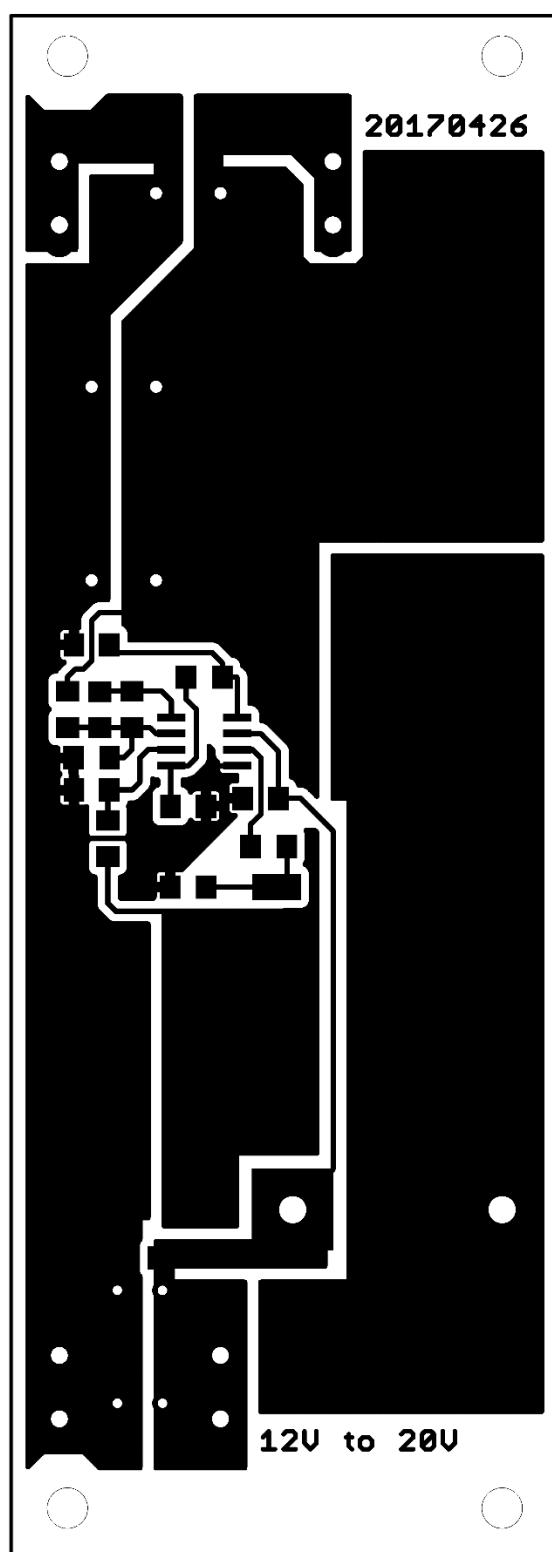
## A.12 Obvodové zapojení nabíječky na notebook



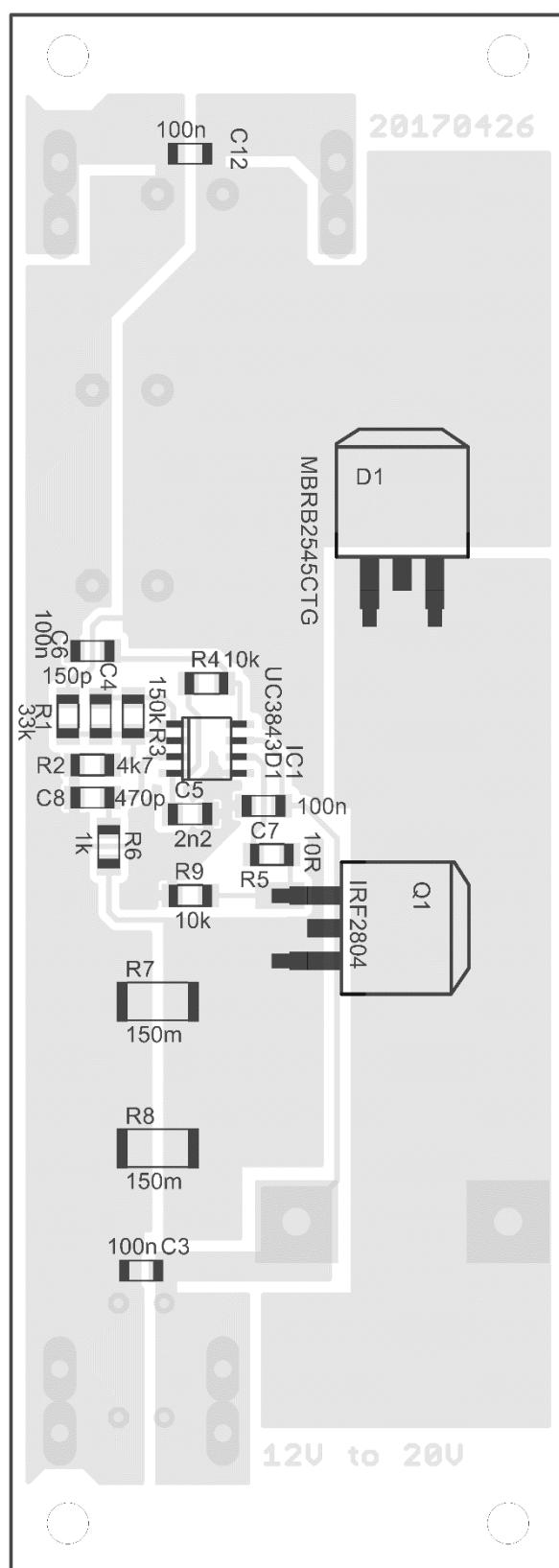
BRNO  
UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

nabijacka_na_notebook
26.05.2017 0:40:53
Sheet: 1/1

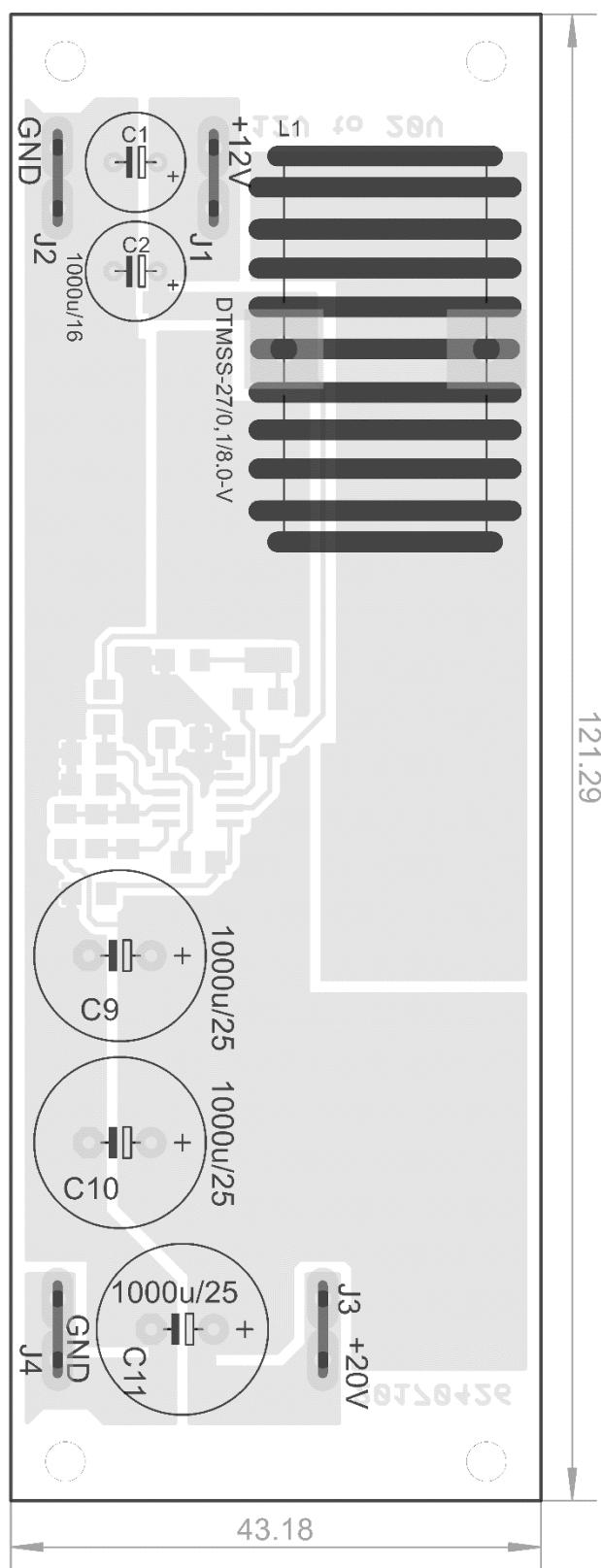
**A.13 Deska plošného spoje nabíječky na notebook  
spodní strana**



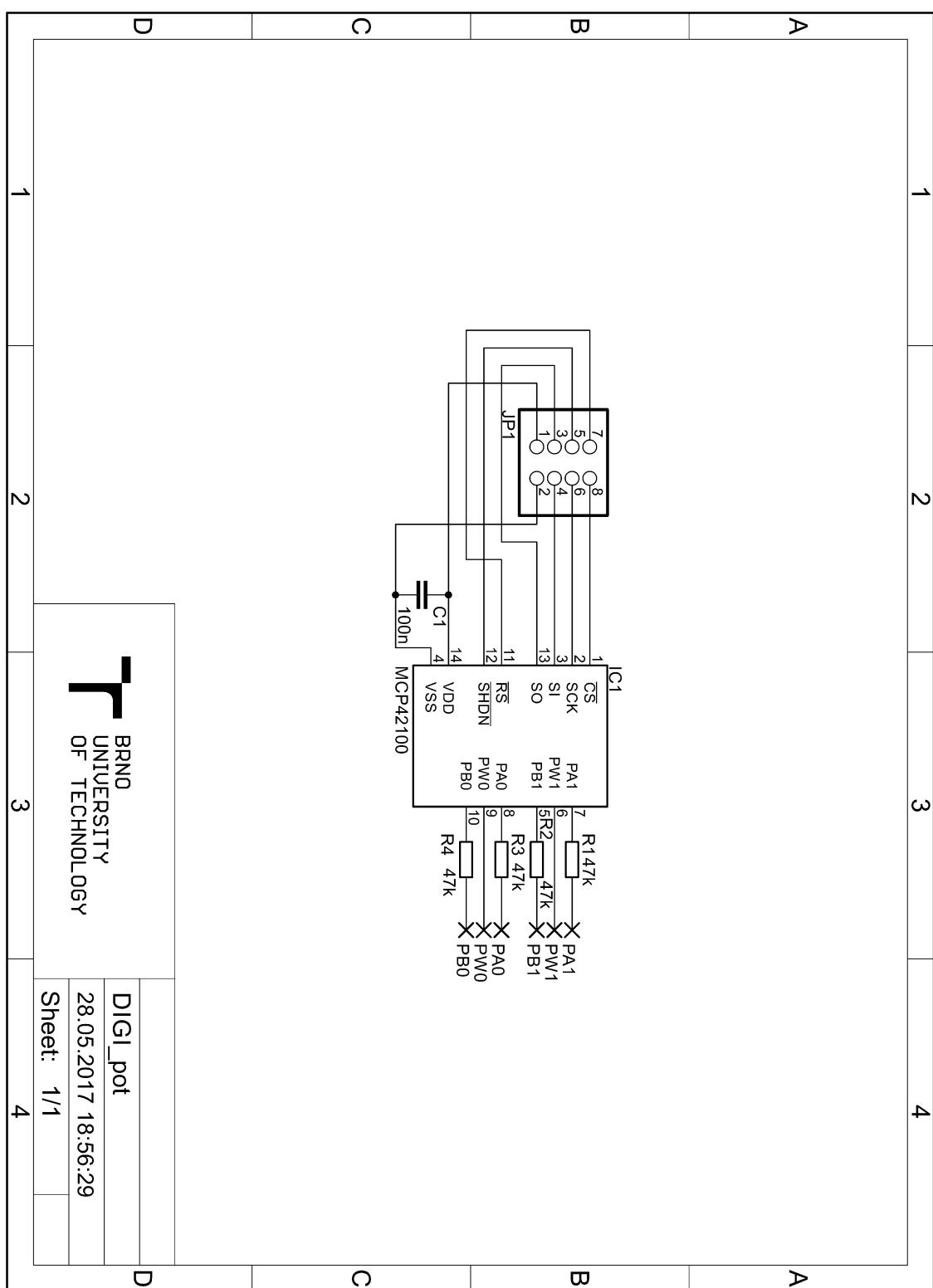
## A.14 Osazovací plán desky nabíječky na notebook spodní strana



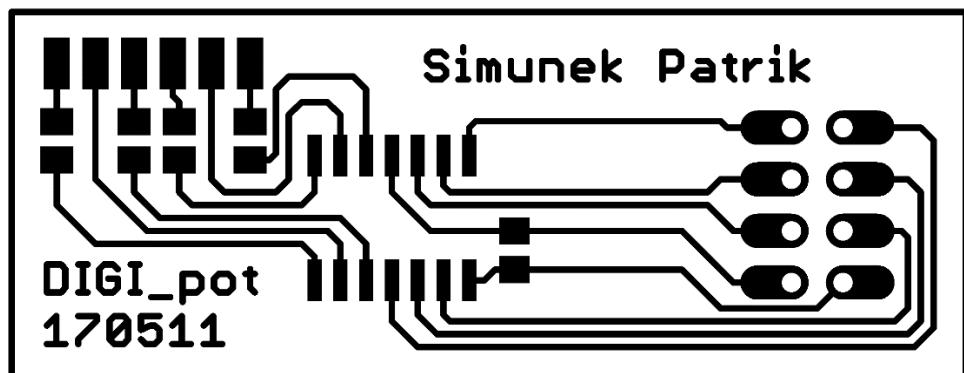
## A.15 Osazovací plán desky nabíječky na notebook horní strana



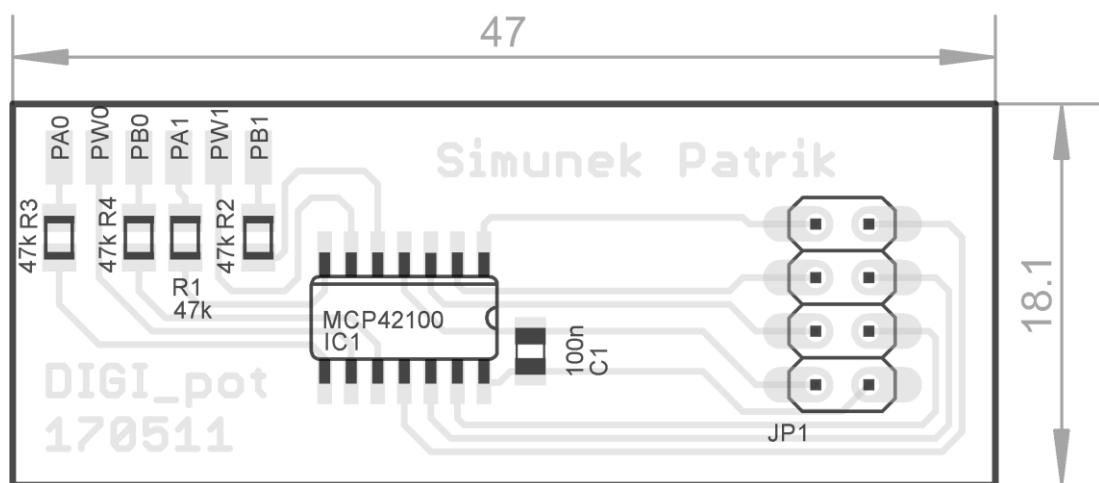
## A.16 Obvodové zapojení digitálního potenciometru



**A.17 Deska plošného spoje digitálního potenciometru horní strana**



**A.18 Osazovací plán desky digitálního potenciometru horní strana**



## B SEZNAM SOUČÁSTEK

### B.1 Seznam součástek pro MPPT regulátor

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
BAT_+	FASTON_6.3	F061.100	Konektor pro připojení baterie
BAT_-	FASTON_6.3	F061.100	Konektor pro připojení baterie
C1	2u2/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C2	1u/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C3	1u/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C4	1u/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C5	100n/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C6	10u/50	C1210	Keramický kondenzátor MLCC
C7	100n/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C8	10u/50	C1210	Keramický kondenzátor MLCC
C9	4u7/50	C1210	Keramický kondenzátor MLCC
C10	22p/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C11	4u7/50	C1210	Keramický kondenzátor MLCC
C12	22p/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
C13	100n/50	C1206	Keramický kondenzátor MLCC
D1	SK54C	SMC	Schottkyho dioda
D2	SK54C	SMC	Schottkyho dioda
D3	BAT54	SOT23	Schottkyho dioda
IC2	BQ24650	S-PVQFN-N16	Integrovaný obvod
L1	6,8uH/20A	VERTICAL9MM	Cívka s železoprašovým jádrem
LED1	YELLOW	LED3MM	Luminisenční dioda
LED2	GREEN	LED3MM	Luminisenční dioda
NTC_100K		1X02	Pin lišta pro připojení termistoru
Q1	IRFZ34N	TO220AHS	N-MOSFET
Q2	IRFZ34N	TO220AHS	N-MOSFET
Q3	BSS138	SOT23	N-MOSFET

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
R1	0R	R1206	SMD rezistor pouzdro 0805
R3	360k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0806
R4	27k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0807
R5	1R	R2010	SMD rezistor pouzdro 0808
R6	10R	R1206	SMD rezistor pouzdro 0809
R7	10k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0810
R8	10k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0811
R9	5k6	R1206	SMD rezistor pouzdro 0812
R10	7k5	R1206	SMD rezistor pouzdro 0813
R11	1R	R2010	SMD rezistor pouzdro 0814
R13	820k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0815
R15	160k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0816
R16	100R	R1206	SMD rezistor pouzdro 0817
R17	2R2	R1206	SMD rezistor pouzdro 0818
R18	27k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0819
R22	2M	R1206	SMD rezistor pouzdro 0820
R23	160k	R1206	SMD rezistor pouzdro 0821
RSR	0R01	R1206	SMD rezistor pouzdro 1206
SOLAR+	FASTON_6.3	F061.100	Konektor pro připojení panelu
SOLAR-	FASTON_6.3	F061.100	Konektor pro připojení panelu

## B.2 Seznam součástek pro základní desku elektrárny

Poč.	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
1	J3	+BATT	F061.100	Konektor FASTON
4	J7, J12, J13, J14	+LOAD	F061.100	Konektor FASTON
1	J1	+SOLAR	F061.100	Konektor FASTON
1	J4	-BATT	F061.100	Konektor FASTON
4	J8, J15, J16, J17	-LOAD	F061.100	Konektor FASTON
1	J2	-SOLAR	F061.100	Konektor FASTON
1	J10	OUT_5V+	F061.100	Konektor FASTON
1	J11	OUT_5V-	F061.100	Konektor FASTON
1	J9	PE	F061.100	Konektor FASTON
1	J20	EX_12V+	F061.100	Konektor FASTON
1	J21	EX_12V-	F061.100	Konektor FASTON
2	J5, J6	L1_PWR_SUPP	F061.100	Konektor FASTON
3	C1, C13, C16	1000u/16V	E3,5-8	Kondenzátor elektrolytický
2	C14, C15	1000u/35V	E5-13	Kondenzátor elektrolytický
3	R1, R4, R5	100k	M1206	Rezistor
10	C2, C3, C4, C5, C7, C8, C9, C10, C11, C12	100n	C1206K	Kondenzátor MLCC
1	POT1	10k	PT-5	Rezistor
1	R2	15k	M1206	Rezistor
2	D2, D3	1N4148WS-7	SOD323-W	Univerzální dioda
1	R3	1k	M1206	Rezistor
1	C6	4u7	C1812K	Kondenzátor MLCC
5	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	AO3400A	SOT23	N-MOSFET
1	PWR_S3			Měnič s MPPT
1	DP1	DIGI_POT	DIGI_POT	Deska digi. potenciometru
2	MEAS2, MEAS3			Měření napětí a proudu
1	DIS1		LCD-20X4-I2C	Alfanumerický LCD displej 4x20 znaků
1	BUZZ1	LD-BZEG-112	LD-BZEC-1212	Bzučák
1	MOD1		LOLIN_V3	Vývojový kit LoLin V3
1	D1	MBRB2545CTG	D2PACK	Schottky dioda
2	RE1, RE2	RTD14012	RT424005	Relé
2	PWR_S1, PWR_S2			Měnič
1	IC1	TCN75A	SOIC8	Teplohmér
1	IO1	TL431	SOT23	Napěťová reference

### B.3 Seznam součástek pro desku digitálního potenciometru

Poč.	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
1	JP1		2X04	Pinová lišta
1	C1	100n	C0805	Kondenzátor MLCC
4	R1, R2, R3, R4	47k	M0805	Rezistor
1	IC1	MCP42100	SO14	Integrovaný obvod

### B.4 Seznam součástek pro desku nabíječky pro notebook

Poč.	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
1	J1	+12V	F061.100	Konektor FASTON
1	J3	+20V	F061.100	Konektor FASTON
2	C1, C2	1000u/16	E3,5-8	Kondenzátor elektrolytický
3	C9, C10, C11	1000u/25	E5-13	Kondenzátor elektrolytický
4	C3, C6, C7, C12	100n	C1206	Kondenzátor MLCC
1	R5	10R	R1206	Rezistor
2	R4, R9	10k	R1206	Rezistor
1	R3	150k	R1206	Rezistor
2	R7, R8	150m	R2512	Rezistor
1	C4	150p	C1206	Kondenzátor MLCC
1	R6	1k	R1206	Rezistor
1	C5	2n2	C1206	Kondenzátor MLCC
1	R1	33k	R1206	Rezistor
1	C8	470p	C1206	Kondenzátor MLCC
1	R2	4k7	R1206	Rezistor
1	L1	100uH 8A 38.7mΩ	DTMSS-27/0.1/8.0-V	Cívka
2	J2, J4	GND	F061.100	Konektor FASTON
1	Q1	IRF2804	D2PACK	N-MOSFET
1	D1	MBRB2545CTG	D2PACK	Schöttky dioda
1	IC1	UC3843D1	SO-08	Integrovaný obvod