

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DC/DC měnič pro solární panel řízený mikrokontrolérem

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav TYRPEKL**
Osobní číslo: **E14B0275P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **DC/DC měnič pro solární panel řízený mikrokontrolérem**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní principy funkce DC/DC měničů vhodných pro aplikaci se solárním panelem.
2. Navrhněte obvodové řešení měniče řízeného mikrokontrolérem vhodný pro nabíjení akumulátoru.
3. Dle návrhu vyrobte prototyp měniče a naprogramujte příslušný firmware.
4. Zhodnoťte dosažené parametry měniče, změřte výslednou účinnost při různých pracovních podmínkách.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Žahour
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na návrh spínaného zdroje. Cílem této práce je dobíjet autobaterii ze solárního panelu. Pro dobíjení autobaterie je potřeba měnit napětí. Pro změnu napětí použijeme měnič, který řídíme pomocí mikrokontroléru. Řízení měniče je realizováno podle naměřených vstupních a výstupních veličin.

Klíčová slova

Solární panel, snižující měnič, zvyšující měnič, mikrokontrolér, regulace, autobaterie, A/D převodník, PWM modulace, LCD displej

Abstract

Bachelor thesis is focused on the design of switched mode power supply. The goal of this thesis is charging the automotive battery from a solar panel. For managing the recharge is necessary changing the voltage. For the changing the voltage we use the converter that is controlled by the microcontroller. The controlling of the converter is realised by the measuring of inputs and outputs.

Key words

Solar cell, decreasing converter, increasing converter, microcontroller, regulation, automotive battery, A/D converter PWM mode

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2015

Miroslav Tyrpekl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiří Žahourovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Matoušovi Bartlovi za cenné rady v návrhu DC/DC měnič.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	14
1 SOLÁRNÍ PANEL	15
2 DC/DC MĚNIČ	15
2.1 SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ	16
2.1.1 <i>Určení střídny</i>	17
2.1.2 <i>Určení proudu protékajícího cívkou</i>	20
2.1.3 <i>Výpočet indukčnosti</i>	21
2.1.4 <i>Výpočet cívky</i>	22
2.1.5 <i>Volba tranzistoru T1 a výpočet tepelných ztrát</i>	24
2.1.6 <i>Volba diody D1</i>	27
2.1.7 <i>Průběhy v závislosti na šířce pulzu</i>	27
2.1.7.1 <i>Napětí na cívce snižujícího měniče</i>	27
2.1.7.2 <i>Proud protékající cívkou snižujícího měniče</i>	28
2.1.7.3 <i>Napětí na vstupním kondenzátoru C1 snižujícího měniče</i>	28
2.1.7.4 <i>Proud na vstupním kondenzátoru C1 snižujícího měniče</i>	28
2.1.7.5 <i>Napětí na výstupním kondenzátoru C2 snižujícího měniče</i>	29
2.1.7.6 <i>Proud na výstupním kondenzátoru C2 snižujícího měniče</i>	29
2.2 ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ	30
2.2.1 <i>Určení střídny</i>	31
2.2.2 <i>Určení proudu protékajícího cívkou</i>	34
2.2.3 <i>Výpočet indukčnosti</i>	35
2.2.4 <i>Volba tranzistoru T2 a výpočet tepelných ztrát</i>	36
2.2.5 <i>Volba diody D2</i>	38
2.2.6 <i>Průběhy v závislosti na šířce pulzu</i>	38
2.2.6.1 <i>Napětí na cívce zvyšujícího měniče</i>	38
2.2.6.2 <i>Proud protékající cívkou zvyšujícího měniče</i>	39
2.2.6.3 <i>Napětí na vstupním kondenzátoru C1 zvyšujícího měniče</i>	39
2.2.6.4 <i>Proud na vstupním kondenzátoru C1 zvyšujícího měniče</i>	39
2.2.6.5 <i>Napětí na výstupním kondenzátoru C2 zvyšujícího měniče</i>	40
2.2.6.6 <i>Proud na výstupním kondenzátoru C2 zvyšujícího měniče</i>	40
2.3 KOMPENZACE MĚNIČŮ	41
2.3.1 <i>Vstupní kondenzátor</i>	42
2.3.2 <i>Výstupní kondenzátor</i>	43
3 BUDIČE TRANZISTORŮ	43
3.1 BUDIČ TRANZISTORU T1	44
3.2 BUDIČ TRANZISTORU T2	45
3.3 ODPOJENÍ BATERIE	45
4 HALLOVA SONDA	46
5 MĚŘENÍ NAPĚTÍ	48
6 MIKROKONTROLÉR A JEHO KOMPONENTY	49
7 OVLÁDÁNÍ POMOCÍ TLAČÍTEK	51
8 SIGNALIZACE PŘIPOJENÍ A ODPOJENÍ BATERIE	52

9	ODDĚLENÍ ZEMI ANALOGOVÉ A DIGITÁLNÍ.....	52
10	STABILIZÁTORY NAPĚTÍ.....	53
11	DISPLEJ.....	54
12	USB A JEHO KOMPONENTY	54
13	AUTOBATERIE.....	55
14	SOFTWARE	56
15	NATAČENÍ SOLÁRNÍHO PANELU	57
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

Seznam symbolů a zkratk

<i>DC/DC</i>	Měnič
T_1	Tranzistory typu P-Mosfet
T_2, T_3	Tranzistory typu N-Mosfet
<i>PWM</i>	Pulzně šířková modulace
<i>DsPic33</i>	Mikrokontrolér řady 33
<i>LCD</i>	Displej z tekutých krystalů (Liquid Crystals Display)
+3.3 V	Digitální napájení [V]
+5 V	Digitální napájení [V]
<i>USB</i>	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
<i>FV</i>	Fotovoltaický panel
δ	Sigma neboli šířka pulzu [-]
<i>T</i>	Doba periody [s]
ΔI_L	Zvlnění proudu na cívce [A]
Δt	Časový rozdíl [s]
U_L	Napětí na cívce [V]
U_1	Vstupní napětí [V]
U_2	Výstupní napětí [V]
δ_{MIN}	Minimální šířka pulzu neboli sigma [-]
δ_{MAX}	Maximální šířka pulzu neboli sigma [-]
I_{MIN}	Minimální proud tekoucí cívkou [A]
I_{MAX}	Maximální proud tekoucí cívkou [A]
<i>P</i>	Výkon [W]
<i>L</i>	Indukčnost [H]
I_1	Vstupní proud [A]
I_2	Výstupní proud [A]
P_1	Vstupní výkon [W]
P_2	Výstupní výkon [W]
<i>k</i>	koeficient zvlnění [-]

f	Frekvence [Hz]
J	Proudová hustota [A/m^2]
S	Průřez drátu [m^2]
R_m	Magnetický odpor [H^{-1}]
μ	Permeabilita [Hm^{-1}]
μ_R	Relativní permeabilita [-]
μ_0	Permeabilita vakua [Hm^{-1}]
$S_e = A_e$	Průřez železo-prachového jádra [m^2]
l_e	Délka železo-prachového jádra [m]
Poč.	Počet drátů [-]
δ_{vniku}	Hloubka vniku [m]
ρ	Měrný odpor [Ωm]
ω	úhlová frekvence [rad]
$S_{\delta_{vniku}}$	průřez hloubky vniku [m^2]
t_r	Doba zapnutí [s]
t_f	Doba vypnutí [s]
$R_{DS(ON)}$	odpor tranzistoru [Ω]
T_j	Provozní teplota [$^{\circ}C$]
R_{thj-c}	Přechod čip – záda pouzdra [$^{\circ}C/W$]
R_{thj-a}	Maximální teplota okolí [$^{\circ}C/W$]
P_{zap}	Ztrátový výkon při zapnutí [W]
P_{vyp}	Ztrátový výkon při vypnutí [W]
P_{on}	Ztrátový výkon při otevření [W]
P_{tot}	Celkový ztrátový výkon [W]
I_{SS}	Stejnoseměrný proud tekoucí tranzistorem [A]
T_t	Výsledná teplota na přechodu [$^{\circ}C/W$]
R_{p1}	První přechod [$^{\circ}C$]
R_{p2}	Druhý přechod [$^{\circ}C$]

R_p	Výsledný přechod [$^{\circ}C$]
C_{vst}	Vstupní kondenzátor [F]
$C_{výst}$	Výstupní kondenzátor [F]
I_{C1}	Proud na vstupním kondenzátoru [A]
I_{C2}	Proud na výstupním kondenzátoru [A]
U_{C2}	Výstupní napětí na kondenzátoru [V]
U_{C1}	Vstupní napětí na kondenzátoru [V]
I_{C_MAX}	Maximální proud na kondenzátoru [A]
ΔU_{C1}	Vstupní zvlňené napětí na kondenzátoru [V]
ΔU_{C2}	Výstupní zvlňené napětí na kondenzátoru [V]
U_{2_hall}	Výstupní napětí na hallově sondě [V]
R_1, R_2, R_3, R_4 ...	Ohmické odpory [Ω]
LSB	Nejmenší bit [V]
GND	Zem fotovoltaického panelu
$GND1$	Zem na akumulátorové baterii
$AGND$	Analogová zem
U_{FV}	Vstupní napětí na fotovoltaickém panelu [V]
U_{vst}	Vstupní napětí [V]
U_{ALU}	Výstupní napětí na autobaterii [V]
$U_{výs}$	Výstupní napětí [V]
I/O	Vstupní a výstupní porty
$RESET$	Tlačítko na resetování programu
$START$	Tlačítko na zapínání regulace obvodu
$STOP$	Tlačítko na vypínání regulace obvodu
$PREP$	Tlačítko na přepínání veličin na <i>LCD</i> displeji
LED	Dioda emitující světlo (Light Emitting Diode)
U_{PIC}	Napětí dodané mikrokontrolérem [V]
U_Z	Zenerovo napětí [V]
I_Z	Zenerovo proud [A]

UITX..... Port mikrokontroléru pro zápis dat na *USB* port
UIRX..... Port mikrokontroléru pro čtení dat na *USB* port
TXD..... Port *USB* pro zápis dat na portu mikrokontroléru
RXD..... Port *USB* pro čtení dat na portu mikrokontroléru
ALU..... Akumulátorová baterie
VDD Napětí za hallovou sondou dodané fotovoltaikou
A+3.3 V..... Analogové napájení [V]
12 V..... Napětí na baterii [V]

Úvod

Cílem bakalářské práce je postavit zařízení schopné dodávat elektrickou energii pro osvětlení zahrady. Za tím to účelem jsem se rozhodl postavit si svůj vlastní měnič. Měnič chci navrhnout, tak aby měl co největší účinnost. Odebíraný výkon z měniče je poměrně malý, proto bude dostatečně stačit solární panel o výkonu 50 W. Návrh je rozdělen na tři desky plošných spojů. Na konci bakalářské práce jsem udělal návrh natočení solárního panelu za slunečním zářením. Návrh jsem udělal nad rámec této bakalářské práce. Důvod byl ten, že návrh natočení solárního panelu jsem řešil jako semestrální práci.

Na první desce plošných spojů je *DC/DC* měnič, který vyžaduje výpočet poměru otevření tranzistorů (sigma) a s tím je spjaté zvlnění proudu. Dále vypočítám a určím cívku, diody, tranzistory a jejich ztráty. Ke konci kapitoly o *DC/DC* měniči určím vstupní a výstupní kondenzátory. V dalších kapitolách se budu věnovat budičům pro tranzistory T_1 a T_2 . Pak udělám návrh odpojovače od baterie za pomoci tranzistoru a jeho budiče. Na konci budu navrhovat obvod, který je potřebný k regulaci. Pro regulaci je nezbytné měřit vstupní a výstupní veličiny pomocí hallových sond a děličů napětí. Díky nim budu řídit tranzistory, a tím i regulovat výstupní napětí.

Druhá deska slouží k regulaci pomocí Mikrokontrolér řady *DsPic33*. Pro regulaci obvodu je potřebné odebírat vstupní a výstupní veličiny. Dále mi jednočipový procesor zobrazuje data na *LCD* displeji. Mikrokontrolér vyžaduje pro správnou funkčnost zapojení podle katalogového listu. Deska dále obsahuje tlačítka na ovládání mikrokontroléru, dvě *LED* diody na signalizaci odpojení a připojení baterie. Na desce je analogová a digitální zem. Pro napájení mikrokontroléru, *LCD* displeje a dalších součástek je potřeba dvou stabilizátorů napětí na 5 V a na 3,3 V.

Třetí deska obsahuje *USB* port a dvě *LED* diody. *LED* diody jsou zde použity, pro kontrolu funkčnosti obvodu. *USB* port slouží na propojení mikrokontroléru a počítače. Na počítači si pak můžu zobrazit průběhy, které *LCD* displej nezobrazí.

1 Solární panel

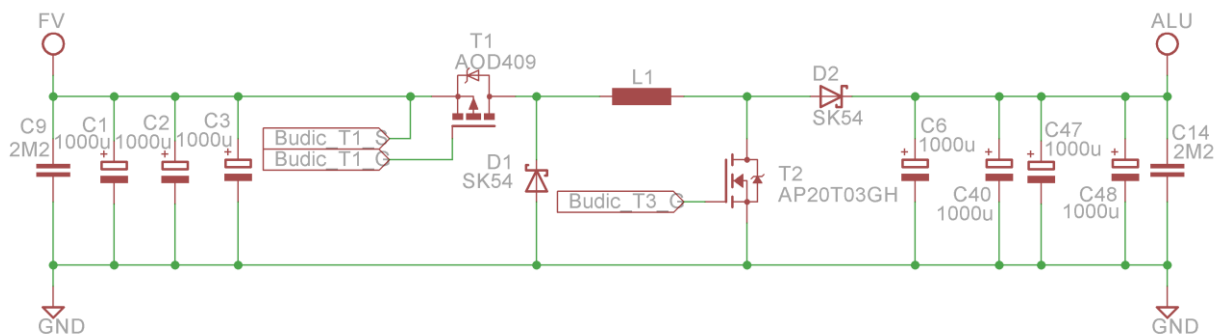
Solární panel slouží k přeměně slunečního záření na stejnosměrné elektrické napětí. Působením slunečního záření způsobí uvolnění elektronu v P-N přechodu, díky tomu vznikají volné elektrické náboje a vznikne elektrická energie. Solární panely nemají moc velkou účinnost. Účinnost u běžně dostupných panelů se pohybuje okolo 15 %. Panely jsou samozřejmě i s vyšší účinností, ty zde však zmiňovat nebudeme, je to z důvodu dostupnosti a ceny. Nejrozšířenějším materiálem pro výrobu panelu je křemík. Důvodem je dostupnost, cena a účinnost. Jsou tři základní typy solárních článků. Amorfní článek má základ napařenou křemíkovou vrstvou, jeho účinnost je kolem 5 %. Další typ je polykrystalický článek. Jeho základem je křemíková podložka. Účinnost polykrystalických článků je kolem 15 %. Poslední zde uvedený článek je monokrystalický, který je podobný polykrystalickému článku. Rozdíl mezi nimi je v technologii výroby. Polykrystalický článek se vyrábí s menších křemíkových krystalů a monokrystalický článek je z jednoho kusu krystalu křemíku. Další panely jsou speciální, jejich účinnost dosahuje kolem 35 %, ale jsou hodně drahé. Používají se na satelity, kde je potřeba co možná nejlepší účinnost. Účinnost všech solárních panelů se postupně zvyšuje díky technologii. Zde jsme použili monokrystalický článek o výkonu 50 W. [1]

2 DC/DC měnič

Při volbě měniče vycházíme z toho, aby měl co největší účinnost. Důvodem je malá účinnost solárního článku. Kvůli tomu jsme nevolili lineární měnič, který má právě malou účinnost, než je tomu u spínaných měničů. V našem případě použijeme spínaný DC/DC měnič.

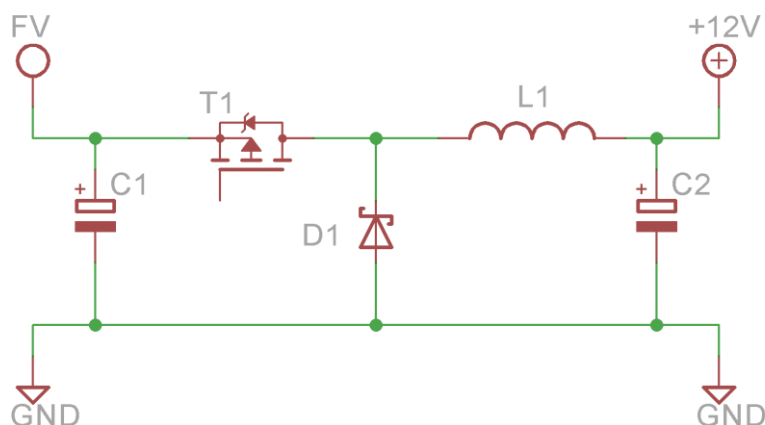
V tomto návrhu jsme použili snižující a zvyšující měnič, které využívají jednu cívku. Při větším vstupním napětí spíná snižující měnič a zvyšující měnič je zde trvale sepnut. Naopak, když máme na vstupu menší napětí než na výstupu, spíná se zvyšující měnič. Snižující měnič je trvale sepnut. Obvod lze postavit ze snižujícího a zvlášť ze zvyšujícího měniče. V tomto případě bychom museli použít dvě cívky, pro každý obvod zvlášť. To se z ekonomického hlediska nevyplatí. Při použití jedné cívky nám obvod funguje stejně dobře, jako kdybychom měli obvod rozdělený a byly použity dvě cívky. Obvod si ale přesto rozdělíme pro snazší

výpočty a pro určení součástek. Každý měnič má trochu jiné charakteristiky a jiné průběhy, které jsou uvedeny v dalších kapitolách. [2]



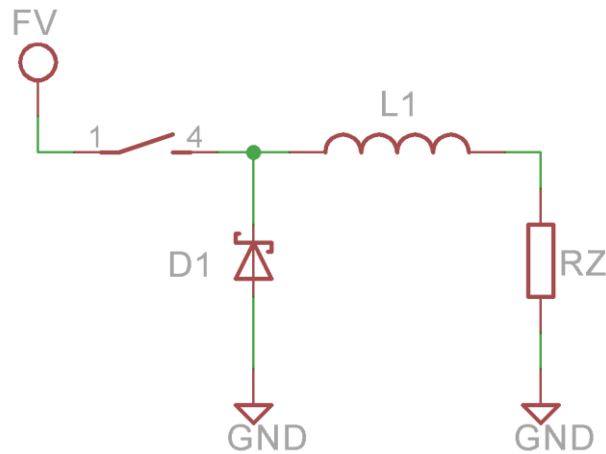
Obr. 1 DC/DC mění [2]

2.1 Snížující měnič



Obr. 2 Snížující měnič [2]

Pro vysvětlení funkce snížujícího měniče vynecháme vstupní a výstupní kondenzátory a tranzistor T_1 nahradíme spínačem. Obvod se skládá pouze ze spínače, cívky, diody a zátěže (Obr. 3). Spínač se sepne a proud z FV prochází přes cívku do zátěže. Cívka se začne nabíjet a spínač se rozpne. Nyní se cívka začne vybíjet přes zátěž. Proud klesá s vybíjející se cívku a opět se spínač sepne. Cívka se začne znovu nabíjet. Napětí na vstupu i výstupu je konstantní. Tedy napětí na cívce se bude měnit tak, aby vyrovnávalo napětí na výstupu. Výhoda snížujícího měniče je jednoduchost a cena. Naproti tomu nevýhoda je omezený rozsah výkonu a galvanické spojení. V našem případě ani jedna věc nás nemusí trápit. Důvodem je relativně malý výkon a bezpečné napětí.



Obr. 3 Zjednodušený snižující měnič [2]

2.1.1 Určení střídý

Spínané zdroje využívají obdélníkový průběh o různé frekvenci a různém poměru mezi sepnutím a vypnutím. Tento poměr udává δ (sigma). V našem případě tranzistor T_1 řídí sigma pomocí *PWM* signálu generovaný mikrokontrolérem. Sigma nabývá hodnot $\delta = \langle 0;1 \rangle$ z doby periody T . Sigma určujeme, protože pomocí ní určíme největší zvlnění proudu ΔI_L . Ze zvlnění proudu ΔI_L vypočteme maximální a minimální proud tekoucí cívkou. Nás spíše bude zajímat maximální proud, z důvodu dimenzování součástek. Tranzistor T_1 obvod rozdělí na dva obvody. V sepnutém a rozepnutém stavu.

a) Tranzistor T_1 v sepnutém stavu.

Proud dodaný FV prochází přes cívku do zátěže. Pomocí Kirchhoffova zákona určíme napětí na cívce (2.1.1.1) [3]. Za napětí U_L dosadíme rovnici pro napětí na cívce (2.1.1.2) [4]. Za napětí U_2 dosadíme rovnici pro snižující měnič v sepnutém stavu (2.1.1.3) [2]. Po dosazení dostaneme rovnici (2.1.1.4).

$$U_L = U_1 - U_2, \quad (2.1.1.1)$$

$$U_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}, \quad (2.1.1.2)$$

$$U_2 = U_1 \cdot \delta, \quad (2.1.1.3)$$

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = U_1 - U_1 \cdot \delta. \quad (2.1.1.4)$$

Dále se rovnice upraví následně, za di_L dosadíme ΔI_L a za dt dosadíme $T \cdot \delta$. Pro určení zvlnění budeme uvažovat, že $U_1 = 1V$, $T = 1s$ a $L = 1H$. Dosazené hodnoty jsou zde proto, abychom měli závislost zvlněného proudu na sigmě.

$$\Delta I_L = \delta - \delta^2 \quad (2.1.1.5)$$

b) **Tranzistor T1 v rozepnutém stavu.**

Proud z FV nám neprochází. Cívka má naakumulovanou energii a další energii nepřijímá. Postup pro určení zvlnění je stejný jako u tranzistoru v sepnutém stavu. Určíme si napětí na cívce pomocí Kirchhoffova zákona (2.1.1.6) [3]. Za napětí U_2 dosadíme rovnice pro snižující měnič (2.1.1.3) a za napětí U_L dosadíme rovnici pro napětí na cívce (2.1.1.2) [2,4].

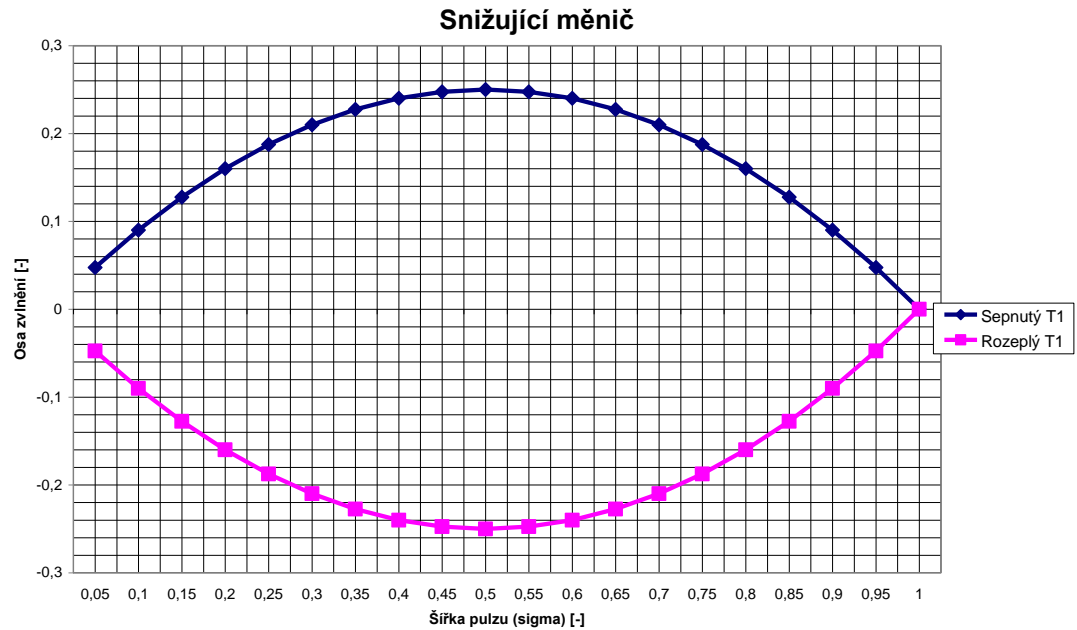
$$U_L = -U_2, \quad (2.1.1.6)$$

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = -U_1 \cdot \delta. \quad (2.1.1.7)$$

Pokračujeme stejnými úpravami jako v sepnutém stavu. Dostaneme stejnou rovnici jako u sepnutého stavu (2.1.1.5), ale s opačným znaménkem.

$$\Delta I_L = \delta^2 - \delta \quad (2.1.1.8)$$

Obě rovnice (2.1.1.5) a (2.1.1.8) vyneseme do grafu. Dostaneme graf zvlnění proudu ΔI_L v závislosti na sigmě pro snižující měnič.



Obr. 4 Graf zvlnění proudu snižujícího měniče

Hodnoty v grafu (obr. 4) nejsou důležité, jsou zde použity spíše orientačně. Důležitý je zde průběh funkce, ze které určíme maximální zvlnění ΔI_L . Nejhorší případ zvlnění nastane při $\delta = 0.5$. Pro určení δ_{MIN} a δ_{MAX} vycházíme ze vstupního a výstupního napětí snižujícího měniče (2.1.1.3). Vstupní napětí určuje solární panel *FV*. V našem případě napětí nabývá hodnot $U_1 = \langle 15; 20 \rangle$ V pro snižující měnič. Dolní hranice je nastavena na napětí $U_1 = 15$ V, protože při nižším napětí se bude spínat zvyšující měnič. Výstupní napětí určuje autobaterie, která se ideálně dobíjí napětím $U_2 = \langle 12.5; 14.5 \rangle$ V. Výstupní napětí upravíme na $U_2 = \langle 10; 15 \rangle$ V. Z důvodu rezervy. [2]

$$\delta = \frac{U_2}{U_1} \quad (2.1.1.9)$$

$$\delta_{MIN} = \frac{U_2}{U_{1MAX}} = \frac{15 \div 10}{20} = 0.5 \div 0.75, \quad (2.1.1.10)$$

$$\delta_{MAX} = \frac{U_2}{U_{1MIN}} = \frac{15 \div 10}{15} = 0.6\bar{6} \div 0.1. \quad (2.1.1.11)$$

2.1.2 Určení proudu protékajícího cívkou

Po určení sigmy můžeme určit proud protékající cívkou. Nejhorší případ nastane při $\delta = 0.5$ a z této podmínky budeme počítat I_{MAX} , I_{MIN} a ΔI_L . Dále vycházíme, že solární panel má výkon 50 W . Ze vzorce pro výkon určíme proud [3].

$$P = U \cdot I \quad (2.1.2.1)$$

Při úpravě vzorce a známém napětí dostaneme rovnici pro proud dodaný *FV*.

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{50}{20} = 2.5\text{ A} \quad (2.1.2.2)$$

Uvažujeme nulové ztráty na *DC/DC* měniči, potom výstupní výkon bude 50 W . Rovnici (2.1.2.2) upravíme tak, že ji budeme formulovat pro výstupní proud. Výstupní napětí jsme nastavili na 10 V , protože musíme splnit podmínku $\delta = 0.5$.

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{50}{10} = 5\text{ A} \quad (2.1.2.3)$$

Zvlnění na cívce si určíme z výstupního proudu I_2 (2.1.2.3) a koeficientu k , který si zvolíme. V našem případě jsme koeficient volili 0.2 z hodnoty výstupního proudu. Tento koeficient je doporučen. [2]

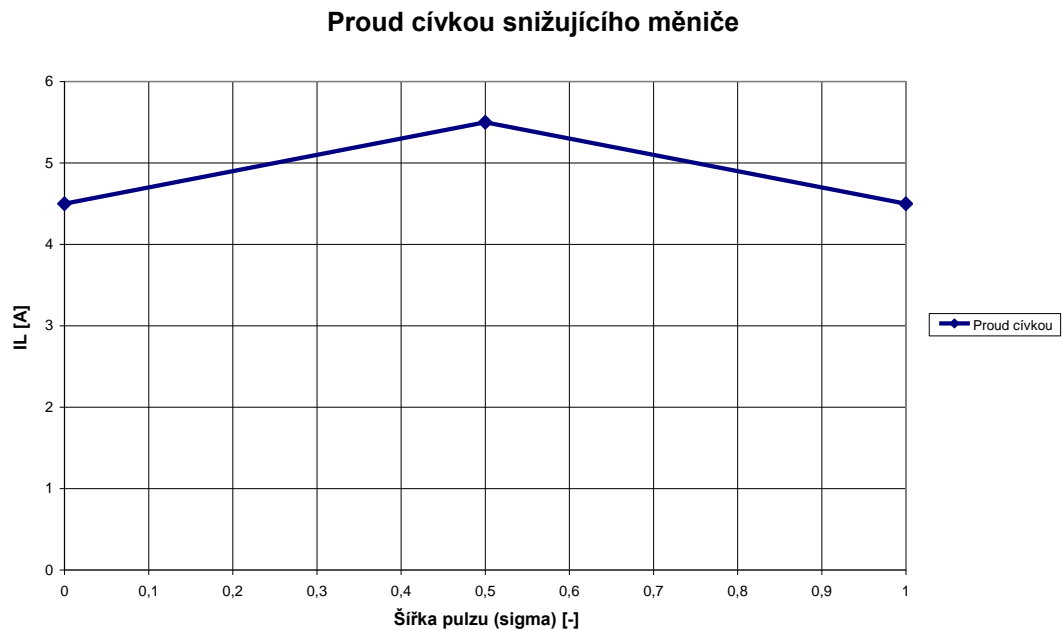
$$\Delta I_L = k \cdot I_2 = 0.2 \cdot 5 = 1\text{ A} \quad (2.1.2.4)$$

Když jsme si určili zvlnění na cívce, můžeme z něho vypočítat proudy I_{MAX} a I_{MIN} následovně. [2]

$$I_{MIN} = I_2 - \frac{\Delta I_L}{2} = 5 - \frac{1}{2} = 4.5\text{ A}, \quad (2.1.2.5)$$

$$I_{MAX} = I_2 + \frac{\Delta I_L}{2} = 5 + \frac{1}{2} = 5.5 \text{ A.} \quad (2.1.2.6)$$

Proudy I_{MAX} a I_{MIN} vyneseme do grafu. Graf ukazuje zvlnění proudu na cívce ΔI_L . Je vidět pilový průběh, který je dán nabíjením a vybíjením cívky.



Obr. 5 Graf proudu na cívce v závislosti na šířce pulzu sigma u snižujícího měniče

2.1.3 Výpočet indukčnosti

Pro výpočet indukčnosti vycházíme ze vzorce (2.1.1.2). Použitý vzorec upravíme a vyjádříme indukčnost L . [4]

$$L = \frac{U_L \cdot \Delta t}{\Delta I_L} \quad (2.1.3.1)$$

Za napětí na cívce dosadíme vzorec (2.1.1.1) a za Δt dosadíme $\delta \cdot T$. Kde sigma je šířka pulzu a T je perioda [3]. Pro výpočet si musíme zvolit frekvenci. Frekvenci volíme tak, aby nebyla příliš vysoká, kvůli tomu, že by se výrazně projevil spínací ztráty na tranzistoru. Moc malá frekvence by nám způsobila špatnou funkci měniče. Frekvence pro spínané zdroje se doporučuje od 100 kHz do 200 kHz. V našem případě jsme zvolili frekvenci 150 kHz. [2]

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{150000} = 6.67 \mu s \quad (2.1.3.2)$$

Za vstupní a výstupní napětí dosadíme hodnoty $U_1 = 20 \text{ V}$, $U_2 = 10 \text{ V}$. Za sigmu dosadíme $\delta = 0.5$ a za periodu dosadíme $T = 6.67 \mu s$. Vyjde nám nejvyšší možná indukčnost.

$$L = \frac{(U_1 - U_2) \cdot \delta \cdot T}{\Delta I_L} = \frac{(20 - 10) \cdot 0.5 \cdot 6.67 \cdot 10^{-6}}{1} = 33,35 \mu H \quad (2.1.3.3)$$

2.1.4 Výpočet cívky

Indukčnost cívky jsme si již určili. Dále potřebujeme určit průměr drátu, jádro, počet závitů a hloubku vniku.

a) Průměr drátu

Průměr drátu se vypočte z první Maxwellovy rovnice [4]:

$$I = \int J \cdot ds \quad (2.1.4.1)$$

Po úpravě dostaneme vztah pro průřez drátu. Proudovou hustotu $J = 4 \text{ A/m}^2$ volíme podle doporučení [2]. Drát volíme měděný kvůli dostupnosti a vyšší vodivosti než je u hliníku. Dále měděné dráty mají vyšší mechanickou pevnost.

$$S = \frac{I_{MAX}}{J} = \frac{5.5}{4} = 1.375 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.1.4.2)$$

b) Určení jádra

Volíme železoprachové toroidní jádro z důvodu lepšího sycení a magnetování, než je tomu u feritového jádra. Jádro volíme tak, aby vyhovovaly rozměry. Jádro jsme zvolili T106-26 [5]. Počet závitů určíme ze vzorce (2.1.4.3) [4].

$$L = \frac{N^2}{R_m}, \quad (2.1.4.3)$$

$$R_m = \int_l \frac{dl}{\mu \cdot S_e}. \quad (2.1.4.4)$$

Úpravou dostaneme rovnici pro výpočet počtu závitů.

$$N = \sqrt{\frac{L \cdot l_e}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot S_e}} \quad (2.1.4.5)$$

Hodnoty dosazené z katalogového listu pro jádro T106-26 [5].:

$$\begin{aligned} l_e &= 0.065 \text{ m} \\ L &= 33.35 \text{ } \mu\text{H} \\ \mu_r &= 75 \text{ [-]} \\ \mu_0 &= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} \\ S_e = A_e &= 69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$N = \sqrt{\frac{33.35 \cdot 10^{-6} \cdot 0.065}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 75 \cdot 69 \cdot 10^{-6}}} = 19 \text{ z.} \quad (2.1.4.6)$$

Další možnost určení počtu závitů je dána vztahem uvedeném v katalogovém listě pro železo prach, kde je uveden vztah $93nH / N^2$ [5]. Indukčnost už jsme stanovili (2.1.3.3). Tedy: $L = 33.35 \text{ } \mu\text{H}$. Po úpravě tohoto vztahu dostaneme vzorec pro výpočet závitů. Tím si můžeme ověřit správnost postupu při výpočtu závitů.

$$N = \sqrt{\frac{33350}{93}} = 19 \text{ z.} \quad (2.1.4.7)$$

c) Výpočet hloubky vniku

Hloubku vniku počítáme, protože u spínaných zdrojů využíváme vyšší frekvenci. Hloubka vniku nám říká, do jaké míry bude vodič využit. Čím větší frekvence, tím méně

využíváme vodič. Proto vodič nebude z jednoho drátu, ale budou poskládány z více drátů menšího průměru, tak zabráníme hloubky vniku [4].

$$\delta_{\text{vniku}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{\omega \cdot \mu}} \quad (2.1.4.8)$$

Dosazené hodnoty [2]:

$$\rho - \text{měrný odpor pro měď} = 0.0178 \cdot 10^{-6} \Omega m^2$$

$$f = 150 \text{ kHz}$$

$$\mu_r = \text{relativní permeabilita mědi} = 0.999 [-];$$

Dosazení:

$$\delta_{\text{vniku}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.78 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot \pi \cdot 150000 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.999}} = 173.5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0.1735 \text{ mm} \quad (2.1.4.9)$$

Dále počítáme průřez drátu. Předtím musíme hloubku vniku vynásobit dvěma, abychom dostali průměr.:

$$S_{\delta_{\text{vniku}}} = \pi \cdot (2 \cdot \delta_{\text{vniku}})^2 = 0.3783 \text{ mm}^2 \quad (2.1.4.10)$$

Pro výpočet počtu drátů vycházíme z průměru vodiče a hloubky vniku tedy:

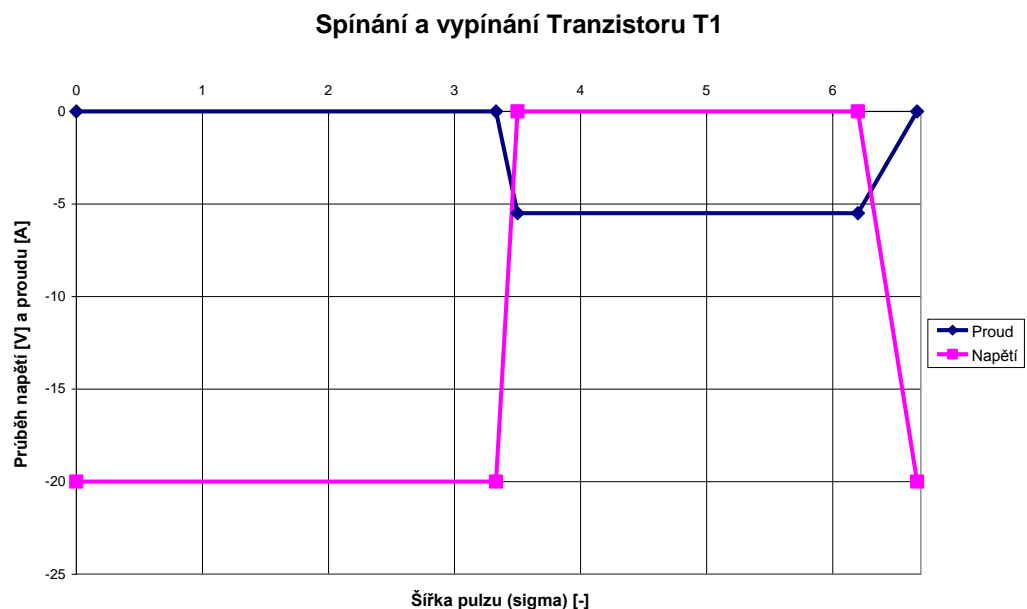
$$\text{poč.} = \frac{S}{S_{\delta_{\text{vniku}}}} = \frac{1.375}{0.3783} = 3.7 \approx 4 \text{ dráty} \quad (2.1.4.11)$$

Z výsledku vidíme, že cívka se bude vinout čtyřmi dráty zároveň.

2.1.5 Volba tranzistoru T1 a výpočet tepelných ztrát

Tranzistory ve spínaném režimu by měly být co nejrychlejší a měly by mít co nejmenší ztráty. Proto v naší aplikaci použijeme tranzistor typu *MOSFET*. Tranzistor T_1 není uzemněn. Kdybychom použili typ *N-MOSFET*, objevil by se na něm šum. To my nechceme, proto

volíme typ *P-MOSFET*. Dále jsme při určování tranzistoru T_1 vycházeli z maximálního proudu a maximálního napětí. Tranzistor proto volíme tak, aby nedošlo k poškození vlivem napětí a proudu. Tranzistor by měl být dostatečně rychlý. Je to proto, aby měl co nejmenší ztráty při spínání. Tranzistor *AOD409* dostatečně vyhovuje. Po zvolení tranzistoru na něm můžeme spočítat tepelné ztráty. Na jejich základě určíme chladič. Tepelné ztráty se určují z napětí, proudu, frekvence, doby zpoždění při zapnutí a vypnutí uvedené v katalogovém listě. Sestrojíme graf průběhu spínání a vypínání tranzistoru. Spínání a vypínání závisí na době periody. Průběh není obdélníkový, ale má určité zpoždění. Napětí a proud nám tvoří trojúhelníky, ze kterých vypočítáme spínací ztráty. Graf spínání je orientační. Je udělán, tak aby ukázal, že tranzistor má určité zpoždění. [6]



Obr. 6 Graf napětí a proudu na tranzistoru T1 (*P-MOSFET*) v závislosti na době periody

Napětí, proudy a doba periody dosazené do vzorců jsou odvozené a vypočtené v předešlých kapitolách. Doby t_r (zapnutí), t_f (vypnutí) a $R_{ds(on)}$ jsme dosadili z katalogového listu pro transistor T_1 . Výpočet spínacích ztrát u P_{on} je přibližný. Důvodem je odpor $R_{ds(on)}$ závisející na teplotě. V katalogovém listu tranzistoru je graf, ze kterého si můžeme odpovídající odpor při konkrétní teplotě vypočítat. V tomto případě jsme tak neučinili z důvodu rezervy, kterou jsme si vytvořili. Po určení celkových ztrát na tranzistoru T_1 z nich můžeme určit tepelné ztráty. [6]

Z katalogového listu pro tranzistor T_1 [6]:

T_j - provozní teplota 175 °C

R_{thj-c} - přechod čip – záda pouzdra 1.9 °C/W

R_{thj-a} - maximální teplota okolí 40 °C/W

Rezerva – volím 50 °C

tr – doba zapnutí 14.5 ns

tf – doba vypnutí 15 ns

Rds(on) – odpor tranzistoru 0.053 Ω

Výpočet spínacích ztrát provedeme následovně [7]:

$$\begin{aligned}
 P_{zap} &= \frac{U_1 \cdot I_{MIN} \cdot tr}{4 \cdot T} = \frac{20 \cdot 4.5 \cdot 14.5 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 6.67 \cdot 10^{-6}} = 0.05 \text{ W}, \\
 P_{vyp} &= \frac{U_1 \cdot I_{MAX} \cdot tf}{4 \cdot T} = \frac{20 \cdot 5.5 \cdot 15 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 6.67 \cdot 10^{-6}} = 0.062 \text{ W}, \\
 P_{on} &\approx I_{ss}^2 \cdot R_{DS(on)} \approx 5^2 \cdot 0.053 \approx 1.325 \text{ W}, \\
 P_{TOT} &= P_{zap} + P_{vyp} + P_{on} = 0.05 + 0.062 + 1.325 = 1.44 \text{ W}.
 \end{aligned}
 \tag{2.1.5.1}$$

Výpočet tepelných ztrát:

1) První přechod vzniká mezi čip – záda pouzdra:

$$R_{P1} = R_{thj-c} \cdot P_{TOT} = 1.9 \cdot 1.44 = 2.74 \text{ °C} \tag{2.1.5.2}$$

2) Odečteme přechody od maximální teploty:

$$R_{P2} = T_j - rezerva - R_{P1} = 175 - 50 - 2.74 = 122.3 \text{ °C} \tag{2.1.5.3}$$

3) Odečteme od výsledku teplotu okolí:

$$R_P = R_{P2} - R_{thj-a} = 122.3 - 40 = 82.3 \text{ °C} \tag{2.1.5.4}$$

4) Výsledná teplota:

$$T_t = \frac{R_p}{P_{TOT}} = \frac{82.3}{1.44} = 57 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.1.5.5)$$

Při této teplotě bude stačit chladič typu *FK 244 08 D PAK*, který nám uchladí $31.5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. [8]

2.1.6 Volba diody D1

Použili jsme schottkyho diodu, která má menší ztráty než je tomu u křemíkové diody. Je to způsobené přechodem kov-polovodič, který má úbytek napětí kolem $0.3 - 0.4 \text{ V}$. Použili jsme diodu *SK810* pro její velkou proudovou hodnotu. Dioda snese proud až 8 A . Dioda je popsána v katalogovém listu [9]:

2.1.7 Průběhy v závislosti na šířce pulzu

Zde jsou uvedeny průběhy proudu a napětí na cívce, vstupním kondenzátoru a výstupním kondenzátoru v závislosti na δ . Průběhy se rozdělí podle sigmy (spínání a vypínání tranzistoru T_1) na δ a $(1 - \delta)$ z doby periody T .

2.1.7.1 Napětí na cívce snižujícího měniče

Napětí na cívce určíme pomocí druhého Kirchhoffova zákona [3]. V první polovině průběhu se napětí na cívce vypočítá pomocí rovnice (2.1.1.1) a v druhé polovině průběhu se napětí na cívce vypočítá podle rovnice (2.1.1.6) [2,4]. Napětí na cívce je $\pm 10 \text{ V}$, je to způsobeno pohlcováním a dodáváním energie.

$$U_L = U_1 - U_2 = 20 - 10 = 10 \text{ V}, \quad (2.1.7.1)$$

$$U_L = -U_2 = -10 \text{ V}. \quad (2.1.7.2)$$



Obr. 7 Napětí na cívce u snižujícího měniče

2.1.7.2 Proud protékající cívkou snižujícího měniče

Graf proudu protékajícího cívkou je na obrázku číslo 5, v kapitole (2.1.2), kde jsme proud protékající cívkou počítali.

2.1.7.3 Napětí na vstupním kondenzátoru C1 snižujícího měniče

Napětí na kondenzátoru C_1 je konstantní, protože je paralelně připojen ke zdroji stejnosměrného napětí U_1 dodaného solárním panelem. Na kondenzátoru je téměř nulové zvlnění. Zvlnění na kondenzátoru C_1 si vyčíslíme později.

2.1.7.4 Proud na vstupním kondenzátoru C1 snižujícího měniče

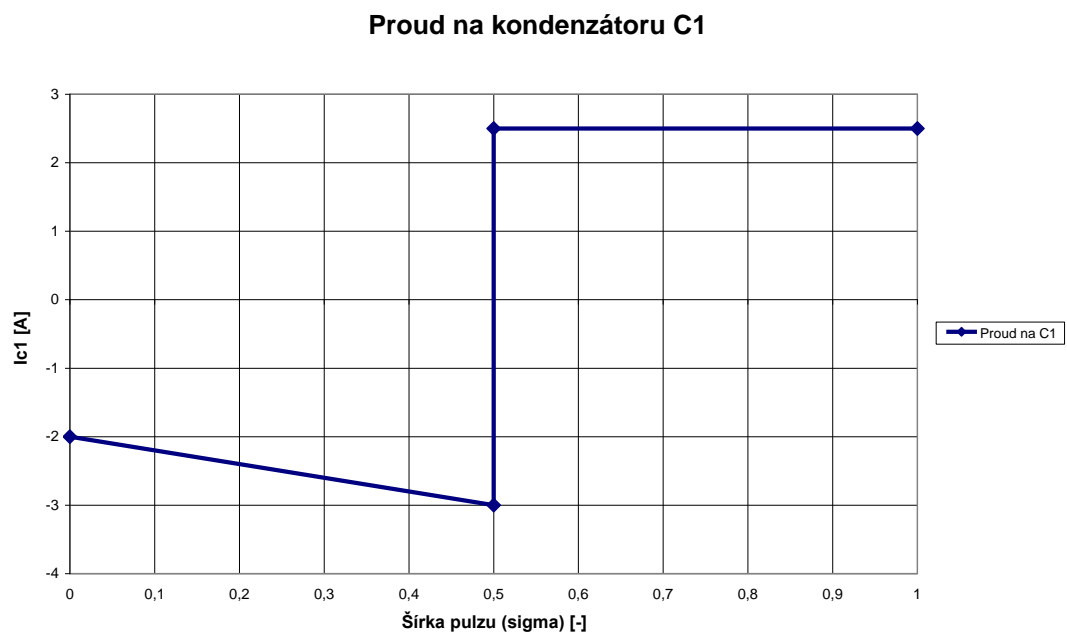
Proud na kondenzátoru C_1 se určuje podle prvního Kirchhoffova zákona pro proudy. Proud I_1 jsme si již vypočítali ze vstupního výkonu a napětí. [3]

Tranzistor T_1 je sepnutý:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_{C1} + I_L, \\
 I_{C1} &= I_1 - I_L, \\
 I_{C1} &= \frac{P}{U_1} - I_{L(MAX \div MIN)} = \frac{50}{20} - 4.5 \div 5.5 = 2.5 - 4.5 \div 5.5 = -2 \div -3 \text{ A}.
 \end{aligned}
 \tag{2.1.7.3}$$

Tranzistor T_1 se rozezne. Proud I_1 prochází přes kondenzátorem:

$$I_1 = I_{C1} = 2.5 \text{ A} \tag{2.1.7.4}$$



Obr. 8 Proud kondenzátorem C1 u snižujícího měniče

2.1.7.5 Napětí na výstupním kondenzátoru C2 snižujícího měniče

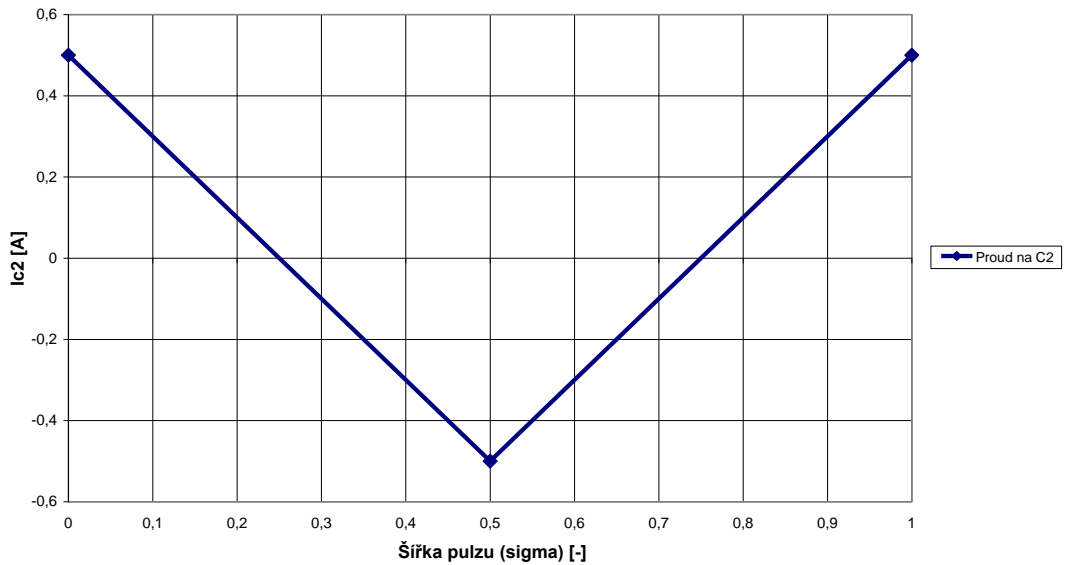
Napětí na výstupním kondenzátoru U_{C2} je konstantní se zanedbatelným zvlněním, protože je kondenzátor paralelně připojen k výstupu. Kondenzátor má stavovou veličinu napětí. To znamená, že má stejné napětí jak před sepnutím, tak i těsně po rozeznutí tranzistoru T_1 .

2.1.7.6 Proud na výstupním kondenzátoru C2 snižujícího měniče

Proud na kondenzátoru I_{C2} dodává a pohlcuje zvlnění proudu na cívce. Při výpočtu vycházíme z prvního Kirchhoffova zákona. [3]:

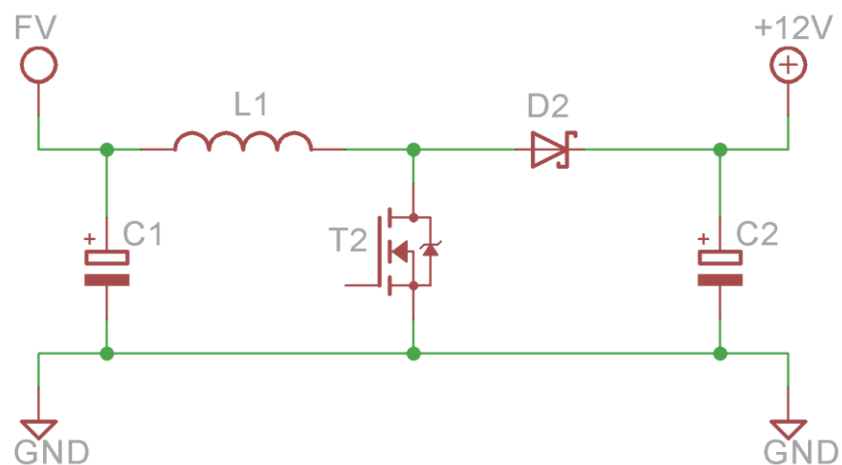
$$\begin{aligned}
 I_2 &= I_{C2} + I_L, \\
 I_{C2} &= I_2 - I_L, \\
 I_{C2} &= \frac{P}{U_2} - I_{L(MAX+MIN)} = \frac{50}{10} - 4.5 \div 5.5 = 5 - 4.5 \div 5.5 = 0.5 \div -0.5 \text{ A.}
 \end{aligned}
 \tag{2.1.7.5}$$

Proud na kondenzátoru C2



Obr. 9 Proud na kondenzátoru C2 u snižujícího měniče

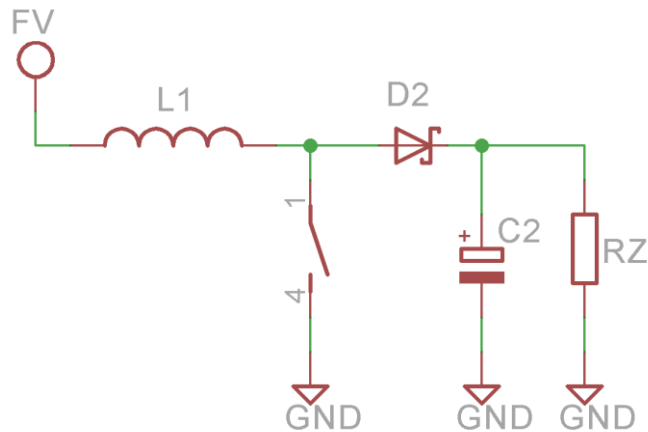
2.2 Zvyšující měnič



Obr. 10 Zvyšující měnič [2]

Pro vysvětlení obvod upravíme a zjednodušíme (Obr. 11). Vstupní kondenzátor zanedbáme, výstupní kondenzátor ponecháme z důvodu funkčnosti obvodu. Dále tranzistor T_2 nahradíme spínačem. Spínač je rozpojen, proud z FV teče přes cívku a diodu do

kondenzátoru a zátěže. Kondenzátor se začne nabíjet. Spínač se sepne, proud z FV jde přes cívku do země. Cívka se začne nabíjet a nabitý kondenzátor uvolňuje energii do zátěže. Spínač se rozepne, cívka má naakumulovanou energii, která se přičte k energii dodané z FV . Výsledné napětí se zvýší. [2]



Obr. 11 Zjednodušený zvyšující měnič [2]

2.2.1 Určení střídy

Střídu (sigma) určujeme ze stejného důvodu jako u snižujícího měniče v kapitole (2.1.1). Z důvodu určení zvlnění proudu na cívce ΔI_L . Obvod opět rozdělíme na dva obvody.

a) Tranzistor T_2 v sepnutém stavu.

Zanedbáme ztráty na tranzistoru T_2 . Proud z FV prochází přes cívku do země. Pomocí druhého Kirchhoffova zákona určíme napětí na cívce (2.2.1.1). Kde opět za napětí U_L dosadíme rovnici (2.1.1.2) [4]. Po úpravách a po dosazení (dosazujeme stejně jako u snižujícího měniče tedy: $U_1 = 1V$, $T = 1s$ a $L = 1H$) dostaneme rovnici pro zvlnění na zvyšujícím měniči (2.2.1.3) [2].

$$U_1 = U_L, \quad (2.2.1.1)$$

$$\Delta I_L = \frac{U_1 \cdot \delta \cdot T}{L}, \quad (2.2.1.2)$$

$$\Delta I_L = \delta. \quad (2.2.1.3)$$

Je patrné, že funkce není kvadratická, jako to bylo u snižujícího měniče. Funkce u zvyšujícího měniče je lineární.

b) Tranzistor T2 v rozepnutém stavu.

Proud neteče přes cívku do země, jako tomu bylo v sepnutém stavu. Proud z *FV* a cívky teče do zátěže. V obvodu budou dva zdroje napětí. Za pomoci Kirchhoffova zákona určíme napětí na cívce [3]. Opět dosadíme rovnici pro napětí na cívce (2.1.1.2), zde použijeme rovnici pro zvyšující měnič (2.2.1.5) [2,4].

$$U_L = U_1 - U_2, \quad (2.2.1.4)$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{1}{1-\delta}, \quad (2.2.1.5)$$

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = U_1 - U_1 \cdot \frac{1}{1-\delta}. \quad (2.2.1.6)$$

Dále upravujeme rovnici jako v předešlém případě s tím rozdílem, že $dt = (1-\delta) \cdot T$. Je to z důvodu, že se pohybujeme v druhé části periody, než tomu bylo v sepnutém stavu. Opět dosazujeme stejné hodnoty. Tedy: $U_1 = 1$, $T = 1$ a $L = 1$

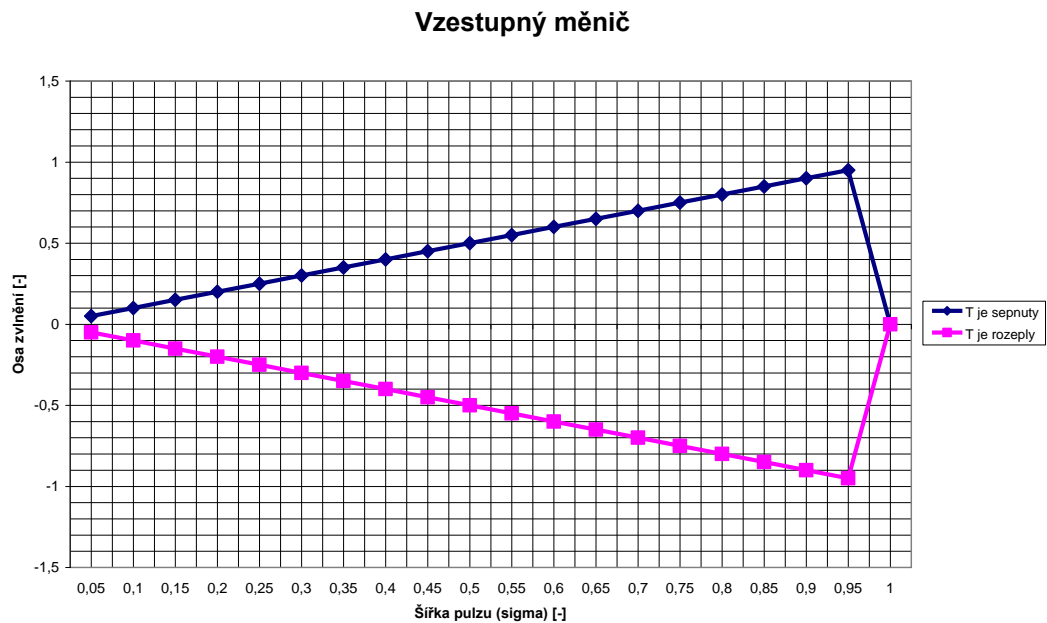
$$\Delta I = \frac{\left(U_1 - U_1 \cdot \frac{1}{1-\delta} \right) \cdot (1-\delta) \cdot T}{L} \quad (2.2.1.7)$$

$$\Delta I = \frac{\delta \cdot (-1 + \delta)}{1-\delta} \quad (2.2.1.8)$$

$$\Delta I = -\delta \quad (2.2.1.9)$$

Z výsledku v sepnutém a rozepnutém stavu uděláme graf zvlněných proudů na cívce v závislosti na sigmě. Funkce se opět liší ve znaménku. Zde je podmínka pro zvyšující měnič

$\delta \neq \pm 1$. Z rovnic (2.2.1.9) a (2.2.1.3) dostaneme graf zvlnění proudu pro zvyšující měnič (Obr. 12).



Obr. 12 Graf zvlnění proudu zvyšujícího měniče

Z grafu (Obr. 12) je vidět, že sigma nabývá hodnot $\delta = \langle 0 \div 1 \rangle$. Nejhorší případ zvlnění nastane při $\delta = \pm 0.99$ je to kvůli podmínce, tedy že $\delta \neq \pm 1$. Toho nikdy nedocílíme, protože bychom museli mít výstupní napětí nekonečně velké, nebo naopak vstupní napětí by se muselo přiblížit limitně k nule. Vypočítáme δ_{MIN} a δ_{MAX} z rovnice (2.2.1.5). Rovnici upravíme a dostaneme rovnici (2.2.1.10). Vstupní napětí určuje solární panel, napětí nabývá hodnot $U_1 = \langle 10; 14.5 \rangle$ V pro zvyšující měnič. Dolní hranice vstupního napětí je zvolena, protože při nižším napětí solární panel nedodá dostatek energie. Výstupní napětí určuje autobaterie, která se dobíjí napětím $U_2 = \langle 10; 15 \rangle$ V.

$$\delta = 1 - \frac{U_1}{U_2} \quad (2.2.1.10)$$

$$\delta_{MAX} = 1 - \frac{U_1}{U_2} = 1 - \frac{10}{15} = 0.3\bar{3}, \quad (2.2.1.11)$$

$$\delta_{MIN} = 1 - \frac{U_1}{U_2} = 1 - \frac{14.5}{15} = 0.03\bar{3}. \quad (2.2.1.12)$$

2.2.2 Určení proudu protékajícího cívkou

Po určení sigmy můžeme určit proud protékající cívkou. Nejhorší případ nastane při $\delta_{MAX} = 0,3\bar{3}$ a z toho budeme vycházet při počítání I_{MAX} , I_{MIN} a ΔI_L . Dále vycházíme z výkonu solárního panelu $P_1 = 50 \text{ W}$. Pro výpočet vstupního a výstupního proudu vycházíme z rovnice pro výkon (2.1.2.1) [3]. Při úpravě vzorce a známém napětí dostaneme podobnou rovnici pro proud jako u snižujícího měniče (2.1.2.2). S rozdílem, že vstupní napětí je 10 V. Samozřejmě je to při nulových ztrátách a za podmínky pro maximální sigmu $\delta = 0.3\bar{3}$.

$$I_1 = \frac{P_1}{U_{1MAX}} = \frac{50}{10} = 5 \text{ A}, \quad (2.2.2.1)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{50}{15} = 3.3\bar{3} \text{ A}. \quad (2.2.2.2)$$

Zvlnění na cívce si určíme ze vstupního proudu I_1 a koeficientu k , který si určíme. V našem případě je koeficient k stejný jako u snižujícího měniče. [2]

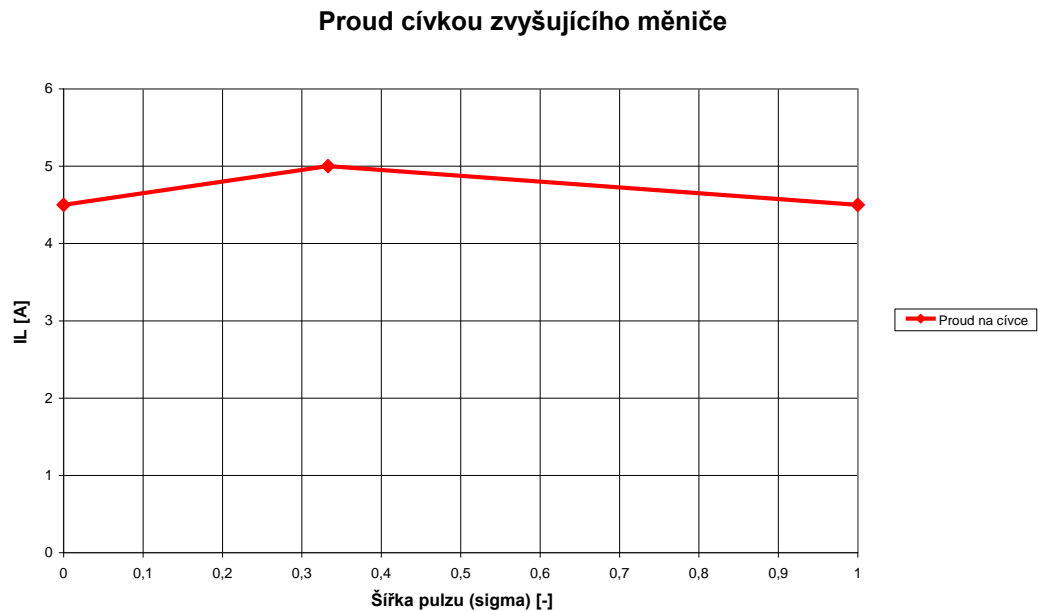
$$\Delta I_L = k \cdot I_1 = 0.2 \cdot 5 = 1 \text{ A} \quad (2.2.2.3)$$

Po určení zvlněného proudu můžeme určit maximální proud a minimální proud tekoucí cívkou. Určíme proudy ze stejných vzorců jako u snižujícího měniče. Tedy podle vzorců (2.1.2.5) a (2.1.2.6). Rozdíl je, že u snižujícího měniče jsme počítali s výstupním proudem. U zvyšujícího měniče počítáme se vstupním proudem.

$$I_{MIN} = I_1 - \frac{\Delta I}{2} = 5 - \frac{1}{2} = 4.5 \text{ A}, \quad (2.2.2.4)$$

$$I_{MAX} = I_1 + \frac{\Delta I}{2} = 5 + \frac{1}{2} = 5.5 \text{ A.} \quad (2.2.2.5)$$

Proudy I_{MAX} a I_{MIN} vyneseme do grafu (Obr. 13). Graf ukazuje zvlnění proudu na cívce ΔI_L . Je vidět pilový průběh, který je dán nabíjením a vybíjením cívky. [2]



Obr. 13 Graf proudu na cívce v závislosti na šířce pulzu sigma u zvyšujícího měniče

2.2.3 Výpočet indukčnosti

Pro výpočet indukčnosti použijeme opět vzorec pro napětí na cívce (2.1.1.2). Poté upravíme vzorec jako u snižujícího měniče. Dosadíme hodnotu periody $T = 6.67 \mu\text{s}$. Za vstupní a výstupní napětí dosadíme hodnoty $U_1 = \langle 10; 14.5 \rangle \text{ V}$, $U_2 = \langle 10; 15 \rangle \text{ V}$ a sigma δ_{MIN} , δ_{MAX} . [2]

$$L = \frac{U_{1MAX} \cdot \delta_{MIN} \cdot T}{\Delta I} \quad (2.2.3.1)$$

$$L = \frac{U_{1MIN} \cdot \delta_{MAX} \cdot T}{\Delta I} \quad (2.2.3.2)$$

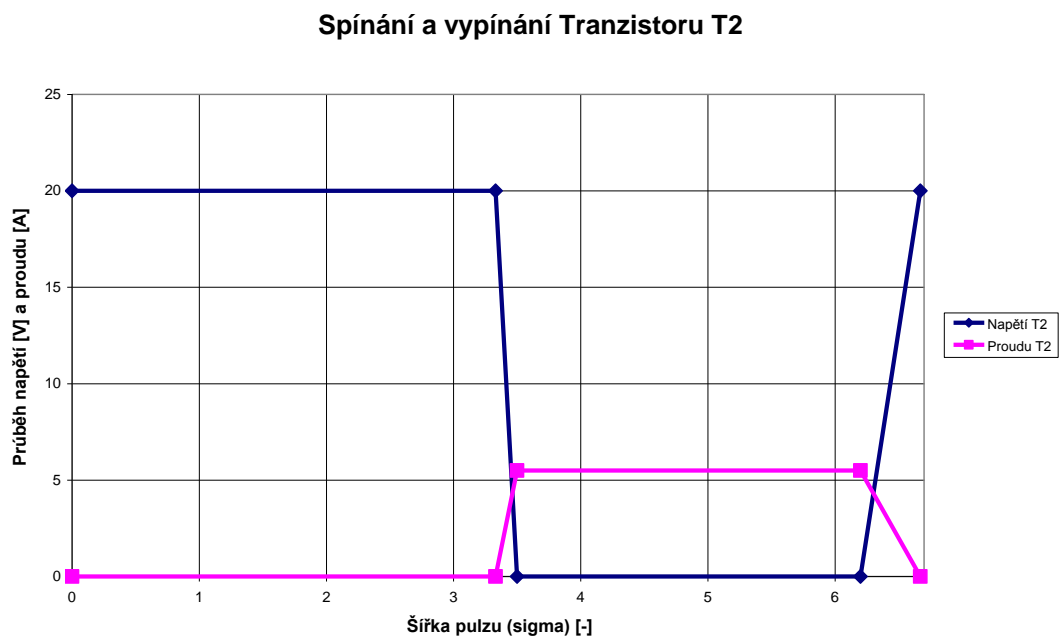
Nejvyšší možná indukčnost vyjde po dosažení těchto hodnot:

$$L = \frac{U_{\text{MIN}} \cdot \delta_{\text{MAX}} \cdot T}{\Delta I} = \frac{10 \cdot 0,33 \cdot 6,67 \cdot 10^{-6}}{1} = 22,01 \mu\text{H} \quad (2.2.3.3)$$

Indukčnost u zvyšujícího měniče vyšla menší než u snižujícího měniče při stejných proudech. Kdyby vyšel vyšší proud u zvyšujícího měniče, museli bychom s ním počítat v dalších výpočtech. Konstrukci a indukčnost použijeme ze snižujícího měniče, proto zde nebudeme počítat konstrukci cívky a použijeme výpočty ze snižujícího měniče.

2.2.4 Volba tranzistoru T2 a výpočet tepelných ztrát

Tranzistor T_2 je typu *N-MOSFET*, protože *source* je spojen se zemí. Při určování typu tranzistoru vycházíme z maximálních proudů a napětí. V našem případě bude dostatečně vyhovovat tranzistor *AP20T036GH*. Tepelné ztráty se určují z napětí, proudu, frekvence, doby zpoždění při zapnutí a vypnutí. Uděláme zde graf spínání tranzistoru T_2 (Obr. 14). Graf spínání je orientační. Je udělán, tak aby ukázal, že tranzistor má určité zpoždění [10].



Obr. 14 Graf napětí a proudu na tranzistoru T2 (*N-MOSFET*) v závislosti na periodě

Z katalogového listu pro tranzistor T_2 [10]:

T_j - provozní teplota 150 °C

R_{thj-c} - přechod čip – záda pouzdra 10 °C/W

R_{thj-a} - maximální teplota okolí 62.5 °C/W

Rezerva – volím 50 °C

tr – doba zapnutí 30 ns

tf – doba vypnutí 3 ns

$R_{ds(on)}$ – odpor tranzistoru 0.05 Ω

Výpočet spínacích ztrát tranzistoru T_2 : [7]

$$\begin{aligned}
 P_{zap} &= \frac{U_1 \cdot I_{MIN} \cdot tr}{4 \cdot T} = \frac{14.5 \cdot 4.5 \cdot 30 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 6.67 \cdot 10^{-6}} = 0.07 \text{ W}, \\
 P_{vyp} &= \frac{U_1 \cdot I_{MAX} \cdot tf}{4 \cdot T} = \frac{14.5 \cdot 5.5 \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 6.67 \cdot 10^{-6}} = 0.01 \text{ W}, \\
 P_{on} &\approx I_{ss}^2 \cdot R_{DS(on)} \approx 5^2 \cdot 0.05 \approx 1.25 \text{ W}, \\
 P_{TOT} &= P_{zap} + P_{vyp} + P_{on} = 0.07 + 0.01 + 1.25 = 1.33 \text{ W}.
 \end{aligned}
 \tag{2.2.4.1}$$

Výpočet tepelných ztrát:

1) První přechod vzniká mezi čip – záda pouzdra:

$$R_{P1} = R_{thj-c} \cdot P_{TOT} = 10 \cdot 1.33 = 13.3 \text{ °C} \tag{2.2.4.2}$$

2) Odečteme přechody od maximální teploty:

$$R_{P2} = T_j - rezerva - R_{P1} = 150 - 50 - 13.3 = 87 \text{ °C} \tag{2.2.4.3}$$

3) Odečteme od výsledku teplotu okolí:

$$R_P = R_{P2} - R_{thj-a} = 87 - 62.5 = 24 \text{ °C} \tag{2.2.4.4}$$

4) Výsledná teplota:

$$T_t = \frac{R_p}{P_{TOT}} = \frac{24}{1.33} = 18^\circ\text{C}/\text{W} \quad (2.2.4.5)$$

Při této teplotě bude stačit použití stejného chladiče jako u tranzistoru T_2 . Použijeme chadič *FK 244 08 D PAK*. [8]

2.2.5 Volba diody D2

Použili jsme schottkyho diodu, stejnou jako u snižujícího měniče (2.1.5) [6]. Tedy diodu SK810. [9]

2.2.6 Průběhy v závislosti na šířce pulzu

Zde jsou uvedeny průběhy proudu a napětí na cívce, vstupním kondenzátoru a výstupním kondenzátoru v závislosti na sigmě. Sigma je $\delta = 0.33$ pro největší zvlnění. Průběhy se rozdělí podle sigmy (spínání a vypínání tranzistoru T_2) na δ a $(1 - \delta)$. [2]

2.2.6.1 Napětí na cívce zvyšujícího měniče

Napětí na cívce určíme pomocí druhého Kirchhoffova zákona pro napětí, kde na výstupu musíme mít stále stejné napětí. Proto v jednu chvíli cívka pohlcuje a v druhé chvíli dodává napětí. V prvním okamžiku (v sepnutém stavu) je napětí na cívce rovno vstupnímu napětí rovnice (2.2.1.1) a v rozepnutém stavu je napětí na cívce rovno rozdílu napětí na vstupu a výstupu. Vstupní napětí je menší než výstupní napětí, proto napětí na cívce půjde do záporných hodnot rovnice (Obr. 15).



Obr. 15 Napětí na cívce u zvyšujícího měniče

2.2.6.2 Proud protékající cívkou zvyšujícího měniče

Proud cívkou jsme si už vypočítali v kapitole (2.2.2). Graf proudu protékající cívkou je na obrázku číslo 13.

2.2.6.3 Napětí na vstupním kondenzátoru C1 zvyšujícího měniče

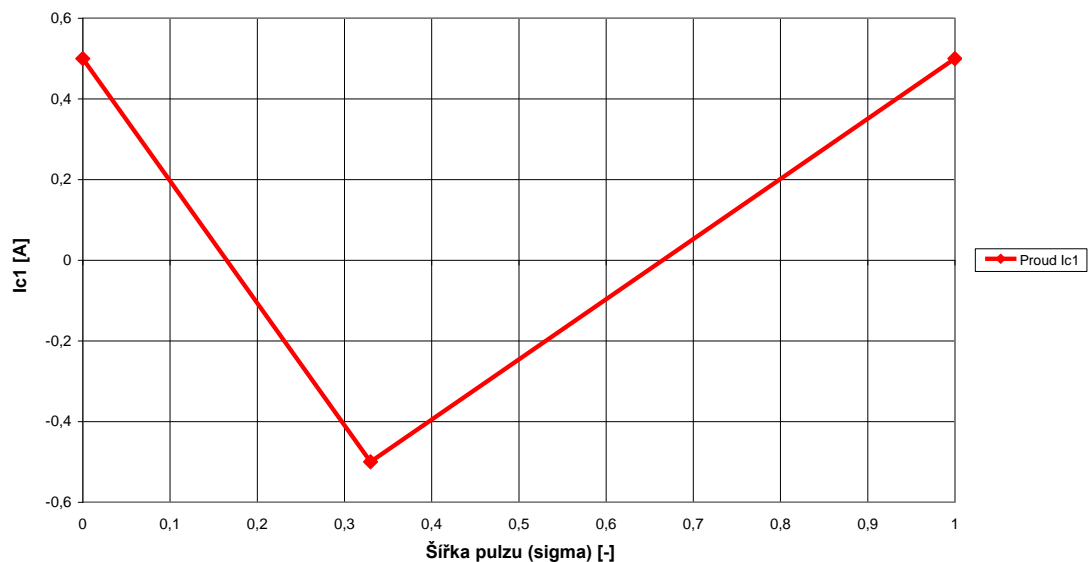
Napětí na kondenzátoru C_1 je konstantní. Konstantní je proto, že je paralelně připojen ke zdroji stejnosměrného napětí U_1 dodaného solárním panelem. Na kondenzátoru je takřka nulové zvlnění.

2.2.6.4 Proud na vstupním kondenzátoru C1 zvyšujícího měniče

Proud na kondenzátoru I_{C1} dodává a pohlcuje zvlnění proudu na cívce. Opět vycházíme z prvního Kirchhoffova zákona pro proud. Rovnice je stejná jako rovnice snižujícího měniče u proudu na kondenzátoru C_2 (2.1.7.3). Rozdíl je, že zde máme vstupní proudy a jedná se o vstupní kondenzátor C_1 . Proto rovnici (2.1.7.3) upravíme [3] :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_{C1} + I_L, \\
 I_{C1} &= I_1 - I_L, \\
 I_C &= \frac{P}{U_1} - I_{L(MAX+MIN)} = \frac{50}{10} - 4.5 \div 5.5 = 5 - 4.5 \div 5.5 = 0.5 \div -0.5 \text{ A}.
 \end{aligned}
 \tag{2.2.6.1}$$

Proud na kondenzátoru C1



Obr. 16 Proud na kondenzátoru C1 u zvyšujícího měniče

2.2.6.5 Napětí na výstupním kondenzátoru C2 zvyšujícího měniče

Napětí na kondenzátoru U_{C2} je konstantní se zanedbatelným zvlněním. Konstantní je, protože je kondenzátor připojen paralelně k výstupu. Kondenzátor má stejné napětí jak před sepnutím, tak i těsně po rozepnutí tranzistoru T_1 . Tedy uchovává v sobě energii.

2.2.6.6 Proud na výstupním kondenzátoru C2 zvyšujícího měniče

Proud na výstupním kondenzátoru se určuje pomocí prvního Kirchhoffova zákona pro proudy [3]. Tranzistor T_2 je sepnutý, velikost proudu se určí podle rovnice (2.1.7.2) s rozdílem, že se zde jedná o výstupní proud a rovnice bude mít opačné znaménko, tedy:

$$I_{C2} = -I_2,$$

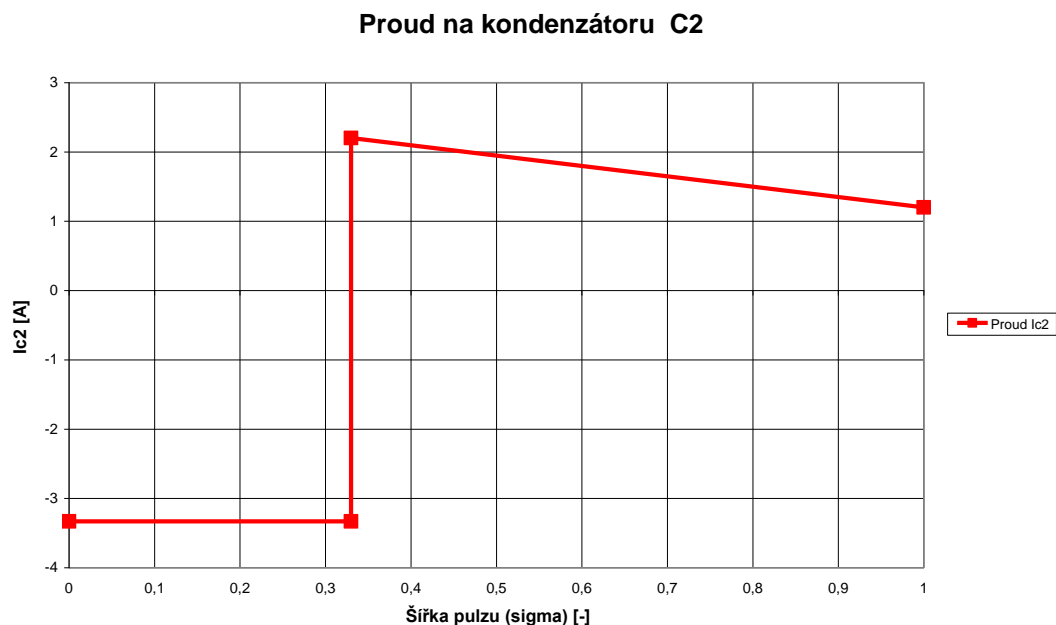
$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{50}{15} = 3,3\bar{3} \text{ A.} \quad (2.2.6.2)$$

Tranzistor T_2 je rozepnutý, velikost proudu se určí podle podobné rovnice jako (2.1.7.1). S rozdílem, že se zde opět jedná o výstup.

$$I_L = I_{C2} + I_2,$$

$$I_{C2} = I_L - I_2, \quad (2.2.6.3)$$

$$I_C = I_{L(MAX+MIN)} - \frac{P}{U_1} = 4,5 \div 5,5 - \frac{50}{15} = 4,5 \div 5,5 - 3,3\bar{3} = 1,2 \div 2,2 \text{ A.}$$



Obr. 17 Proud na kondenzátoru C2 u zvyšujícího měniče

2.3 Kompenzace měničů

Cívku použijeme ze snižujícího měniče, protože má vyšší indukčnost než zvyšující měnič. Tranzistory zůstávají z předchozích výpočtů. Budeme tedy pouze počítat vstupní a výstupní kondenzátory, a to z grafů, které mají největší zvlnění proudu. To nastává u snižujícího měniče v případě vstupního kondenzátoru (Obr. 8) a u zvyšujícího měniče v případě výstupního kondenzátoru (Obr. 17). V obou případech vyšel proud 5.5 A (špička – špička). Na vstupu volíme s rezervou napětí do $U_{C1} = 35 \text{ V}$ a na výstupu do $U_{C2} = 35 \text{ V}$.

Proud na vstupu a výstupu zvýšíme o 10 % k maximálnímu proudu. Volíme tak z důvodu rezervy.

$$I_C = I_{C_MAX} \cdot 0.1 + I_{C_MAX} = 0.55 + 5.5 = 6.05 \approx 6 \text{ A} \quad (2.3.1.1)$$

V katalogovém listu elyt kondenzátoru najdeme kondenzátory na požadované napětí a podle „ripple current“, nebo-li zvlněného proudu si určíme kondenzátory. Pokud nám vyjde větší proud, než je udáván v katalogovém listě, dáme kondenzátory paralelně a kapacita se tak zvětší. Kondenzátory vydrží teplotu 105 °C. [11]

2.3.1 Vstupní kondenzátor

Vstupní kondenzátor volíme podle požadovaného vstupního napětí a podle vypočítaného proudu (2.3.1.1). V katalogovém listě elyt si najdeme kondenzátor na požadované napětí a požadovaný proud. V našem případě jsme zvolili kondenzátor o kapacitě 1000 μF , který odpovídá proudu 1.9 A. Pro splnění proudu musíme dát kondenzátory paralelně k sobě, tedy [11]:

$$C_{vst} = C + C + C = 1000 + 1000 + 1000 = 3000 \mu F \quad (2.3.1.2)$$

Pro určení zvlněného napětí na kondenzátoru použijeme vzorec [3]:

$$i_c = C_{vst} \cdot \frac{du_c}{dt} \quad (2.3.1.3)$$

Po úpravě dostaneme zvlněné napětí:

$$\Delta U_C = \frac{I_C \cdot \delta \cdot T}{C_{vst}} \quad (2.3.1.4)$$

Za δ dosadíme pro snižující měnič $\delta = 0.5$ a zvlněné napětí na vstupu odpovídá:

$$\Delta U_{C1} = 6.34 \text{ mV} \quad (2.3.1.5)$$

V podkapitole (2.1.7.3) je zmíněno, že napětí je konstantní s nepatrným zvlněním. Zde jsme si zvlnění vyčíslili.

2.3.2 Výstupní kondenzátor

Výstupní kondenzátor volíme podle požadovaného výstupního napětí a podle vypočítaného proudu (2.3.1.1). V katalogovém listě elyt si najdeme kondenzátor na požadované napětí a požadovaný proud. Výstupní kondenzátor jsme našli o kapacitě $1000 \mu F$, to odpovídá proudu 1.65 A. Pro splnění proudu musíme dát kondenzátory paralelně k sobě, tedy [11]:

$$C_{\text{výst}} = C + C + C + C = 1000 + 1000 + 1000 + 1000 = 4000 \mu F \quad (2.3.1.6)$$

Pro určení zvlnění napětí na kondenzátoru použijeme vzorec (2.3.1.4). Po úpravě a dosazení pro zvyšující měnič $\delta = 0.33$, $U_{C2} = 35 V$ dostaneme zvlněné napětí na výstupu.

$$\Delta U_{C2} = 3.63 mV \quad (2.3.1.7)$$

V podkapitole (2.2.6.5) je zmíněno, že napětí je konstantní s nepatrným zvlněním. Zde jsme si zvlnění vyčíslili.

Elektrolytické kondenzátory nemají moc dobré frekvenční vlastnosti, z tohoto důvodu přidáme ještě paralelně k elektrolytickým kondenzátorům fóliový kondenzátor, který pokryje proudové špičky. Elektrolytické kondenzátory se nebudou tolik zatěžovat a jejich životnost se zvýší. V našem případě zvolíme fóliový kondenzátor o kapacitě $2.2 \mu F$.

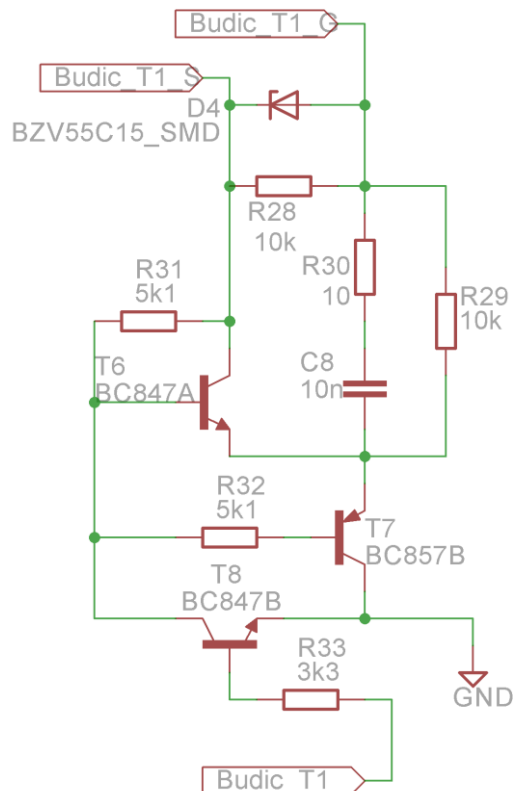
3 Budiče tranzistorů

Všechny použité budiče mají podobné zapojení. Liší se pouze tím, jestli jsou v integrovaném pouzdře, nebo jsou sestaveny. Budiče slouží k rychlejšímu přeběhu ze stavu zapnuto do stavu vypnuto. Pomocí budičů jsou tranzistory rychlejší a mají menší přepínací ztráty. To zajišťují dva tranzistory spojené emitory. Zapojení se společným kolektorem zajistí

větší zesílení proudu a zesílení napětí bude menší než jedna. Tranzistory jsou typu *NPN* a *PNP*. Mikrokontrolér vyšle kladný signál, tranzistor typu *NPN* se sepne. Když mikrokontrolér nepošle žádný signál, sepne se tranzistor typu *PNP*. Tranzistor typu *PNP* se sepne přivedením proudu do báze přes odpor hodnoty $5.1\text{ k}\Omega$. To má za následek strmější průběh spínání. Dále se k budiči zapojuje velký odpor a paralelně k němu malý odpor s kondenzátorem. Při špičkovém impulzu projde signál přes kondenzátor a malý odpor. Jinak proud prochází přes odpor $10\text{ k}\Omega$. Zenerova dioda nám omezuje napětí na tranzistorech, aby se tranzistory nezničily.

3.1 Budič tranzistoru T1

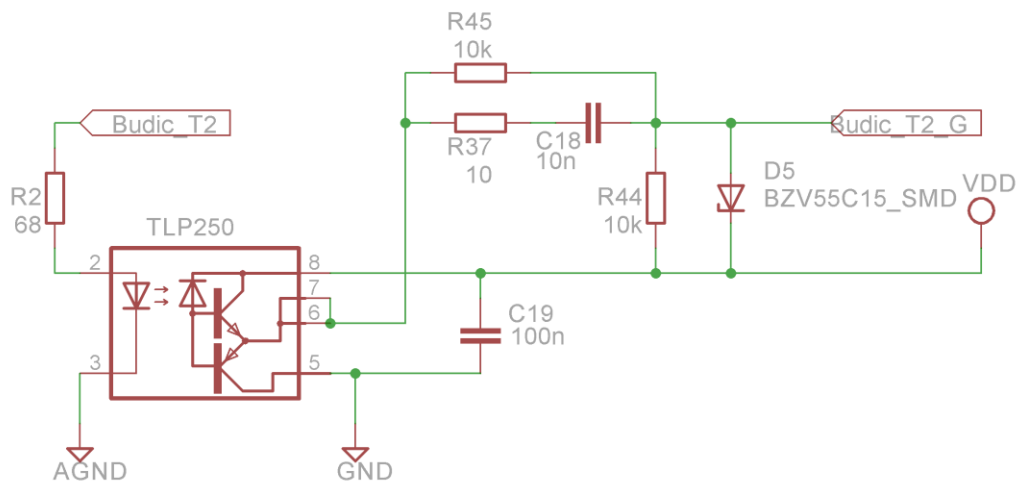
Budič tranzistoru T_1 je sestavený, z důvodu neuzemnění tranzistorů T_1 . Při použití budiče v integrované podobě, by docházelo k rušivým vlivům. Označení „Budic_T1“ ve schématu je zapojeno na mikrokontrolér a označení „Budic_T1_G“ a „Budic_T1_S“ ve schématu je připojeno na tranzistor T_1 .



Obr. 18 Budič tranzistoru T1

3.2 Budič tranzistoru T2

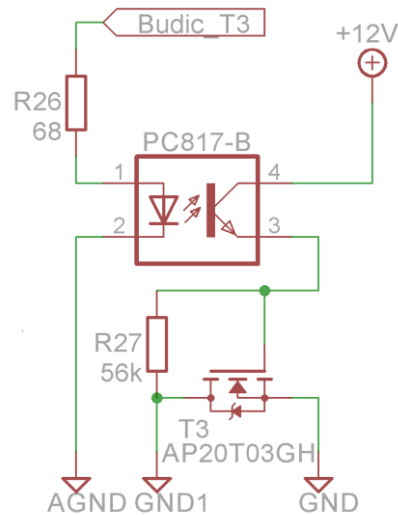
Tranzistor T_2 je uzemněn, proto použijeme integrovaný budič *TLP250* [12]. Vnitřní zapojení integrovaných budičů se skládá z optočlenu, který galvanicky odděluje obvod. K budiči připojíme stejný obvod jako u budiče tranzistoru T_1 (Obr. 18). To je zenerova dioda, odpor, kondenzátor v sérii s odporem a paralelně k nim velký odpor. Dále mezi svorky 8 a 5 připojíme kondenzátor, který zajistí stabilitu. V obvodu jsou dvě zemi-analogová a digitální. Důvod je uveden v kapitole 10. Označení „Budic_T2“ ve schématu je zapojeno na mikrokontrolér a označení „Budic_T1_G“ ve schématu je připojeno na tranzistor T_1 .



Obr. 19 Budič tranzistoru T2

3.3 Odpojení baterie

Tranzistor T_3 odpojuje DC/DC měnič od baterie. Použili jsme stejný tranzistor jako tranzistor T_2 [10]. Budič je integrovaný typu *PC817-B* [13]. Budič má jeden tranzistor na výstupu. Je to z důvodu, že tranzistor T_3 nevyužívá PWM modulaci. Tedy nezáleží zde na rychlosti přeběhu. Odpojení nastane, když vstupní napětí klesne pod úroveň 10 V. Mohli jsme si vybrat, jestli budeme odpojovat zem nebo napájení. Kdybychom vybrali odpojení kladného potenciálu, měli bychom zde stejný problém jako u tranzistoru T_1 . Tedy, že máme plovoucí potenciál. Opět označení ve schématu „Budic_T3“ je zapojeno na mikrokontrolér.



Obr. 20 Odpojení baterie

4 Hallova sonda

Hallova sonda slouží pro měření proudu. Využívá magnetického pole, které proud ve vodiči vyvolá. Při výběru hallovy sondy vycházíme z proudu a napětí, které jsme si určili v předchozích kapitolách. V našem obvodu bude stačit hallova sonda typu *ACS712*. Je dostupná, levná a pro naši aplikaci vhodná. Hallova sonda potřebuje svoje vlastní napájení a dva kondenzátory, které slouží jako filtry, viz návod na zapojení v katalogovém listu [14].

Na vývodu číslo 7 z výstupu hallovy sondy, který je zapojen na mikrokontrolér. Musíme zmenšit napětí, aby nedošlo ke zničení mikrokontroléru. To uděláme pomocí jednoduchého napěťového děliče (4.1.1.1). Napěťový dělič spočítáme na výstupní napětí $U_{2_halí} = 2.56 V$ [3]. Napětí $U_{2_halí} = 2.56 V$ je dáno mocninou dvěma 2^8 . Je to z důvodu snažšího výpočtu jednoho čísla, které nám dá 10_bitový převodník mikrokontroléru, takzvaně nejnižší číslo napětí (4.1.1.4). Dále zapojíme RC člen jako dolní propust. Dolní propust používáme z důvodu omezení šumu. Dolní propust si můžeme teoreticky vypočítat (4.1.1.3), ale prakticky RC člen musíme upravit, protože nikdy předem nevíme, jaké bude zvlnění a jestli RC člen bude vyhovovat k pokrytí šumu [4]. Nakonec zapojíme diodový omezovač sloužící k ochraně mikrokontroléru. V obvodu můžou vzniknout nežádoucí špičky. Když je napětí větší než 3.3 V, otevře se horní dioda a špičkové napětí neprojde do mikrokontroléru.

To samé nastane při záporné špičce, kdy se otevře spodní dioda. Ve schématu budeme mít dvě hallové sondy. Jednu na vstupu, která měří proud dodaný fotovoltaickým panelem a druhá na výstupu, která měří proud dodaný do zátěže (autobaterie). Výsledky měření pomocí hallových sond se zobrazí na LCD displeji.

Výpočet děliče:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \cdot \frac{3900}{120 + 3600 + 3900} = 2.56 \text{ V} \quad (4.1.1.1)$$

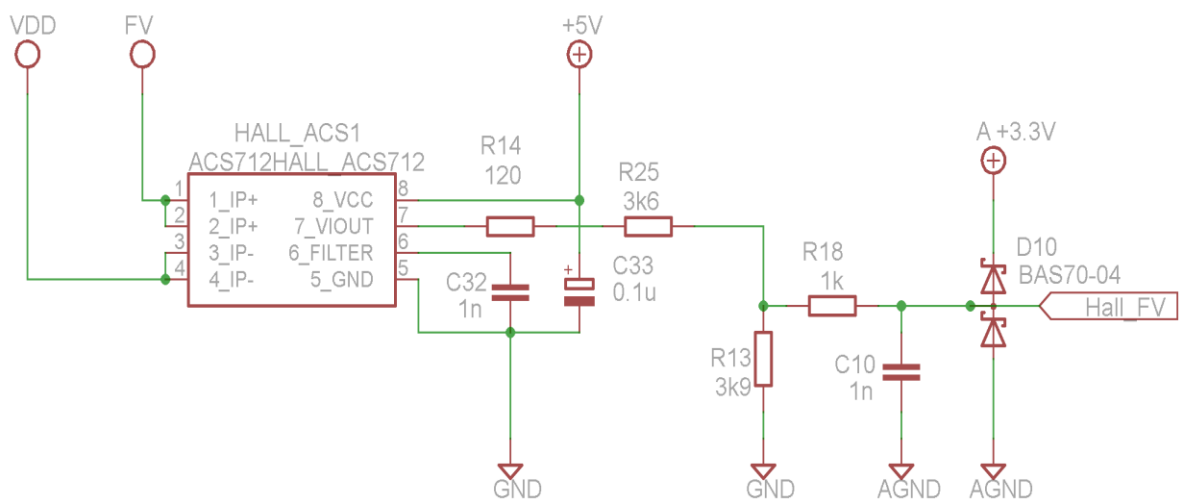
Výpočet RC členu:

$$\omega \cdot R \cdot C = 1 \quad (4.1.1.2)$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_4 \cdot C_3} \quad (4.1.1.3)$$

Výpočet nejnižšího čísla:

$$LSB = \frac{\text{referenční napětí}}{10\text{-bitový převodník}} = \frac{2.56}{1024} = 2.5 \text{ mV} \quad (4.1.1.4)$$



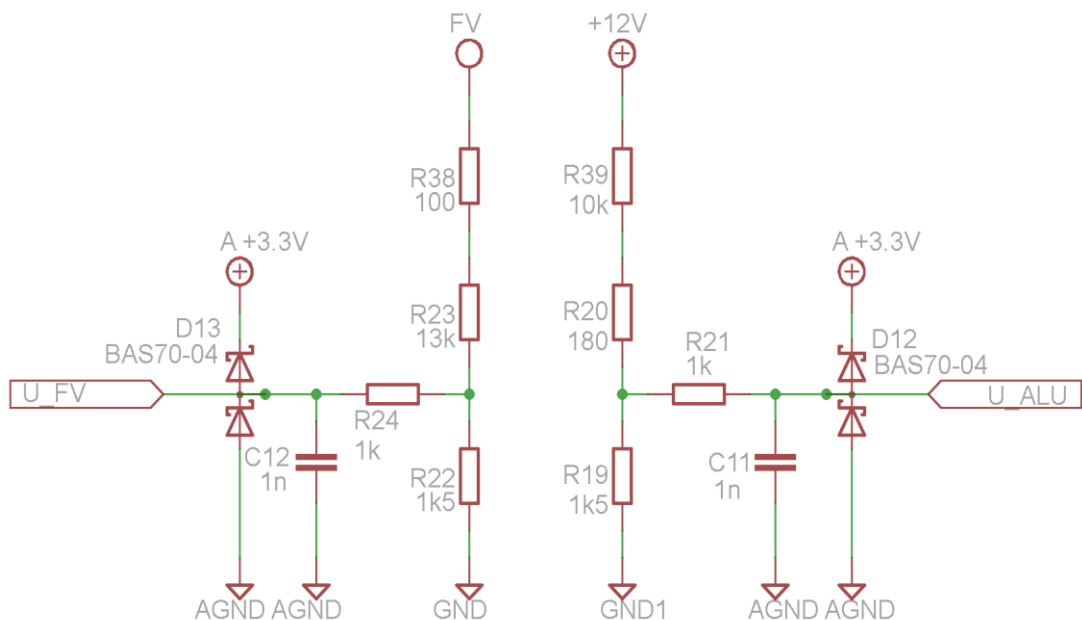
Obr. 21 Hallova sonda

5 Měření napětí

Měření napětí provádíme na vstupu i výstupu, abychom mohli regulovat obvod. Pro měření napětí použijeme dělič napětí, výpočet provedeme podle vzorce (4.1.1.1) s tím rozdílem, že se mění napětí [3]. Na fotovoltaickém panelu volíme napětí 25 V a na autobaterii 20 V. Bereme maximální napětí plus rezerva. Rezervu zde dáme kvůli špičkám. Špičky nastávají vlivem přechodových dějů při zapnutí, vypnutí a poruše. Porucha může nastat při neodborném zacházení. Zem *GND* je zem od fotovoltaického panelu, zem *GND1* je zem na autobaterii a *AGND* je analogová zem. Dolní propust můžeme orientačně vypočítat podle vzorce (4.1.1.3), ale jak bylo řečeno v předešlé kapitole je to pouze orientačně. Nakonec dáme opět diodový omezovač.

$$U_{FV} = U_{VST} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 25 \cdot \frac{1500}{100 + 13000 + 1500} = 2.57 \text{ V} \quad (4.1.1.1)$$

$$U_{ALU} = U_{VYS} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 20 \cdot \frac{1500}{10000 + 180 + 1500} = 2.57 \text{ V} \quad (4.1.1.2)$$



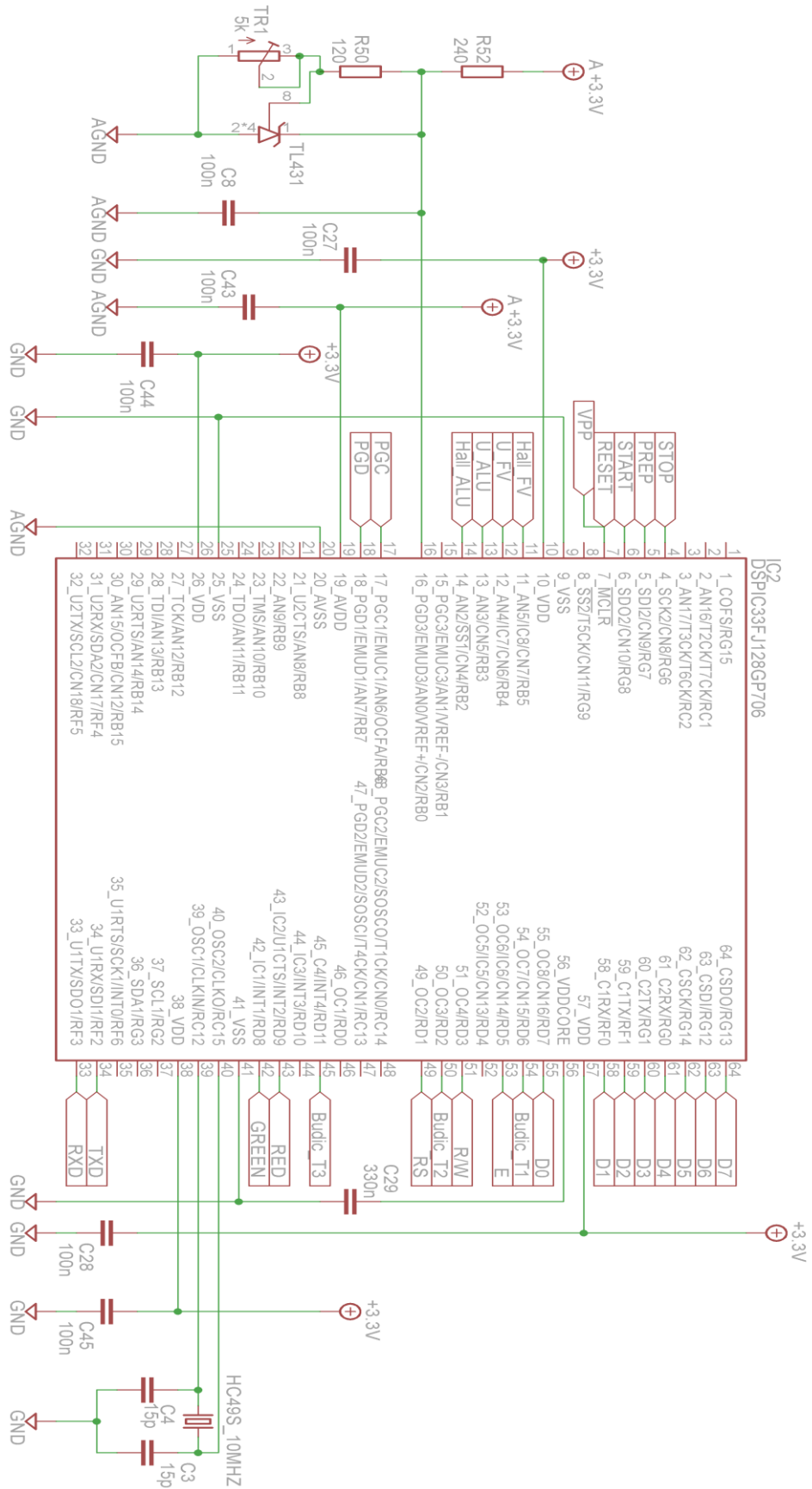
Obr. 22 Měření napětí

6 Mikrokontrolér a jeho komponenty

Pomocí mikrokontroléru měříme vstupní a výstupní veličiny pomocí nich ovládáme PWM signál. Mikrokontrolér volíme tak, aby pro aplikaci měl dostatečný počet pinů, rychlost, dostupnost, cenovou přijatelnost, aby měl požadovaný počet *PWM* výstupů a analogových a digitálních *I/O* portů. Mikrokontrolér jsme zvolili *DSpic33FJ128GP706A*, který pro naši aplikaci bude vyhovovat. Bližší informace jsou v katalogovém listu [15]. Kondenzátory musí být co nejbližší k mikrokontroléru. A to z důvodu, že deska plošného spoje tvoří nežádoucí indukčnosti a špičky, které chceme kondenzátory odstranit. K mikrokontroléru je přiveden krystal, který generuje obdélníkový signál o předepsané frekvenci. Mikrokontrolér má připojené referenční napětí. Referenční napětí by mělo být co nejpřesnější a stabilní. Je to z důvodu přesnosti, jak mikrokontrolér bude obvod regulovat. Pomocí referenčního napětí a převodníku jsme si vypočetli nejnižší bit ve 4 kapitole - vzorec (4.1.1.4). Požadované referenční napětí jsme si zvolili 2.56 V. Součástka *TL431* nám s dostatečnou přesností zajistí kladné referenční napětí. K obvodu *TL431* jsou zapojeny odpory a pomocí nich určíme požadované referenční napětí. [15, 16]

Parametry mikrokontroléru [15]:

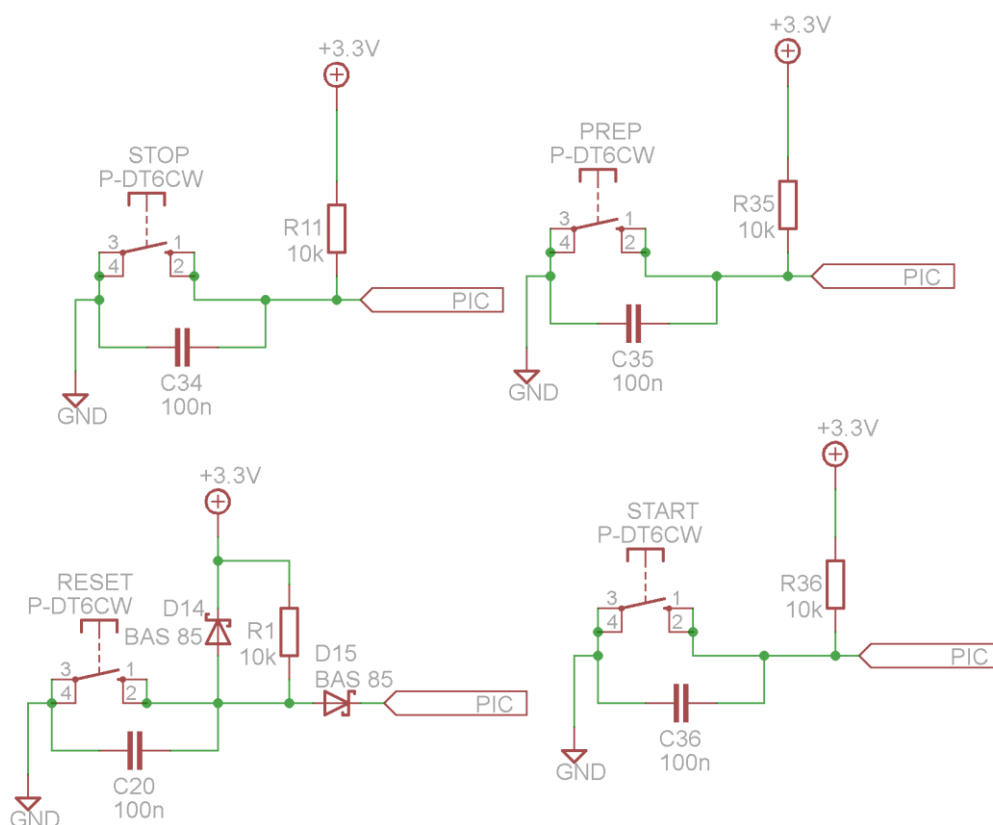
- Vyroben technologií CMOS
- Paměť programu – flash (256 Kbytes)
- 64 - I/O portu
- Napájení 3 - 3.6 V
- 16-bit časovače – 8 kanálů
- 16-bit PWM – 8 kanálů
- 10-bit ADC převodník – 18 kanálů
- Pouzdro TQFP (10x10x1 mm)
- Výběr oscilátoru a nastavení předděličky



Obr. 23 Mikrokontrolér a jeho komponenty

7 Ovládání pomocí tlačítek

K tlačítkům je zapojen odpor, který omezuje proud. Odpor jsme si zvolili $10\text{ k}\Omega$, aby proud tekoucí do země nebyl příliš velký. Kondenzátor je připojen paralelně k přepínači. Po sepnutí přepínače se začne kondenzátor vybíjet a impedance klesá. Při rozpojení přepínače se kondenzátor začne nabíjet a impedance vzrůstá. Tedy v tomto případě kondenzátor slouží k jemnému přechodu mezi stavy zapnuto a vypnuto. Diody u tlačítka *RESET* slouží jako ochrana. Tlačítko *START* zapíná regulaci obvodu a tlačítko *STOP* ji vypíná. Tlačítko *PREP* přepíná u displeje měřené veličiny. Tlačítko *RESET* nám resetuje program nahraný v mikrokontroléru.

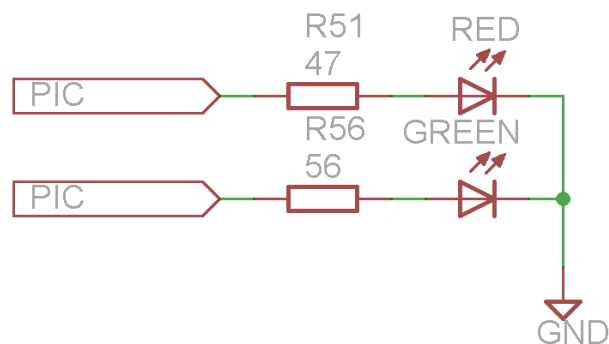


Obr. 24 Ovládání

8 Signalizace připojení a odpojení baterie

Signalizace je dána dvěma *LED* diodami. Červená signalizuje odpojení baterie. Zelené signalizuje připojení baterie. *LED* diody jsou napájeny z mikrokontroléru a omezení napětí na nich je dáno v sérii zapojeným odporem. Výpočet vychází z Ohmova zákona [3].

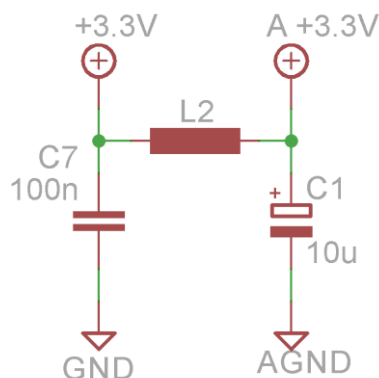
$$R = \frac{U_{PIC} - U_Z}{I_Z} \quad (9.1.1.1)$$



Obr. 25 Signalizace připojení a odpojení baterie

9 Oddělení zemi analogové a digitální

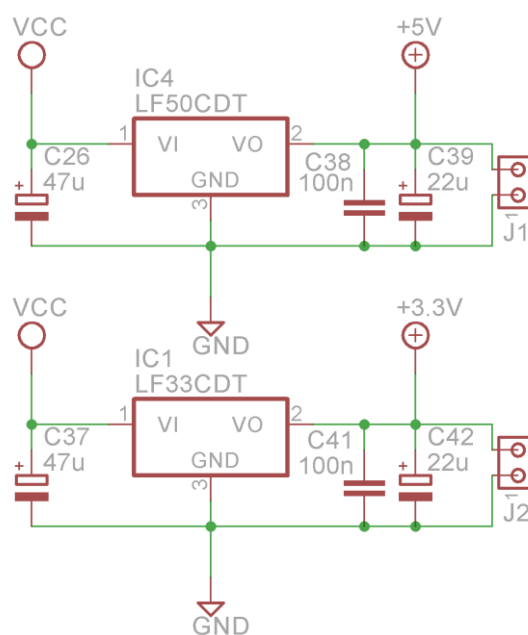
Analogové a digitální signály se oddělují z důvodu, aby nevznikaly rušivé signály. Analogové signály jsou náchylné na rušení od digitálních signálů, proto se musejí od sebe oddělit. Oddělení provedeme pomocí cívky a dvou kondenzátorů. Kondenzátor, který jde na analogovou zem je tantalový. Kondenzátor *C7* je zde z důvodu doporučení. Na každém vstupu by měl být kondenzátor.



Obr. 26 Oddělení analogové a digitální zemi

10 Stabilizátory napětí

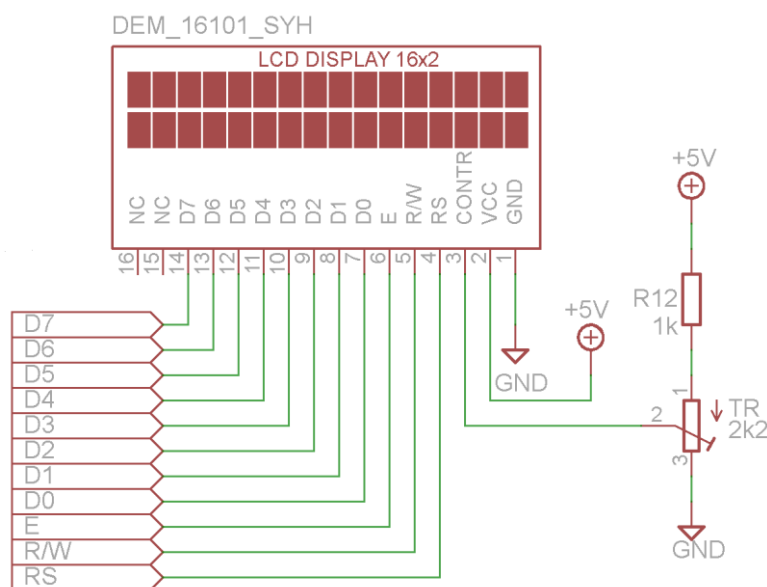
Stabilizátory napětí slouží pro napájení mikrokontroléru, LCD displeje a Hallových sond. V našem případě potřebujeme dva stabilizátory. Stabilizátor na napětí 3.3 V a na 5 V. Stabilizátory jsou integrované z důvodu větší zatžitelnosti a lepší stability, oproti stabilizaci jednoduché zenerovy diody. K integrovaným stabilizátorům se dávají na vstup a výstup kondenzátory. Kondenzátory nám snižují zvlnění a zlepšují stabilitu. Hodnotu kondenzátorů nalezneme v katalogovém listě [17, 18]. Stabilizátory mají ztrátový výkon, který se uvolňuje ve formě tepla, proto stabilizátory musíme chladit. Použijeme chladič *FK 244 13*, který uchladí $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ [8].



Obr. 27 Stabilizátory napětí

11 Displej

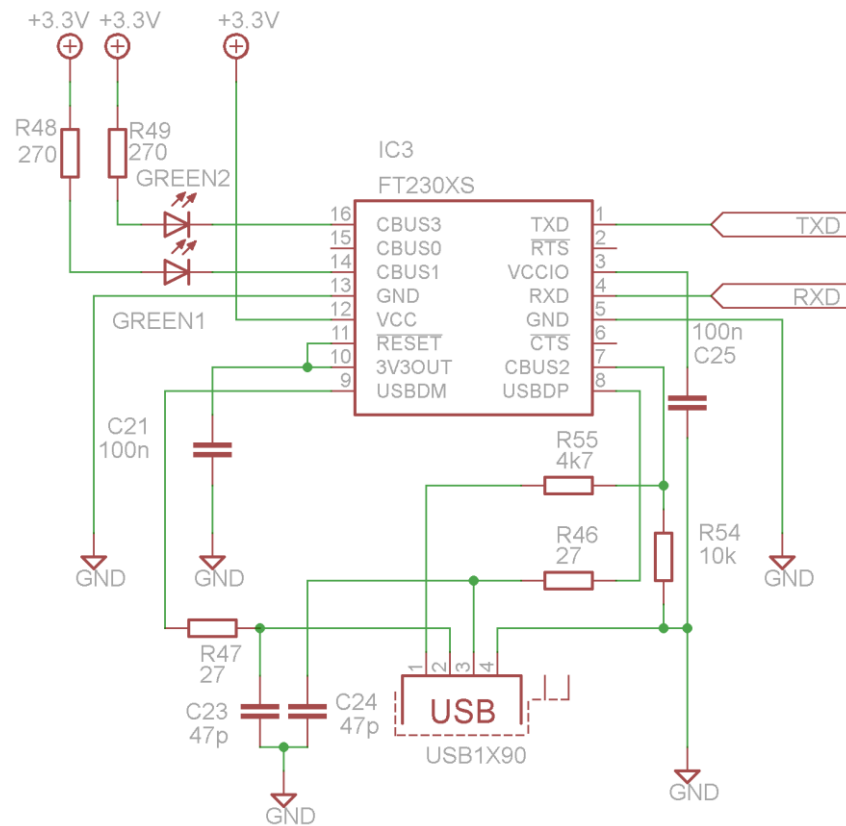
Displej jsme volili z důvodu kontroly měřených údajů, bude zobrazovat vstupní a výstupní veličiny, které měříme. Displej je dvou řádkový typu *DEM16101* [19]. Displej je ovládán pomocí mikrokontroléru a jeho kontrast je ovládán pomocí odporového trimru. Displej je napájen pěti volty, zbylé vývody vedou do mikrokontroléru.



Obr. 28 Displej

12 USB a jeho komponenty

USB port slouží jako komunikace a propojení s počítačem. K tomu slouží integrovaný obvod *FT230*. Integrovaný obvod *FT230* zapojíme podle katalogového listu [20]. Dvě zelené led diody slouží k signalizaci, jestli *FT230* data přímá nebo vysílá. Mikrokontrolér zapojíme na *I/O* porty *UITX* (zápis) a *UIRX* (čtení). Porty *I/O* u obvodu *FT230* zapojíme na *TXD* (zápis) a *RXT* (čtení). Obojí propojíme mezi sebou opačně. Jinak řečeno, kde budeme zapisovat, tak na druhé straně obvodu budeme číst a naopak.

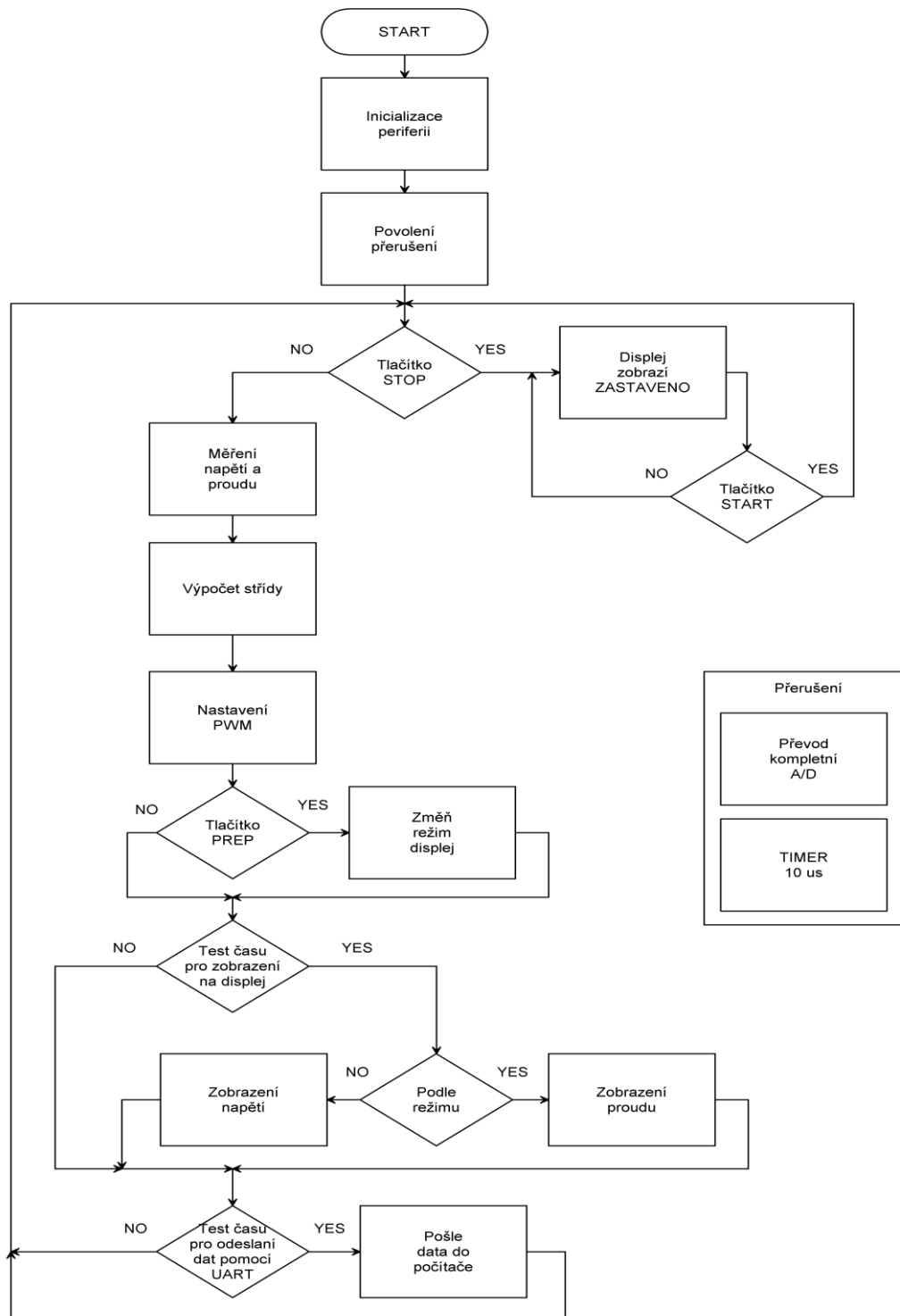


Obr. 29 USB a jeho komponenty

13 Autobaterie

Autobaterie se skládá ze dvou olověných destiček, které jsou ponořené do zředěné kyseliny sírové. Při nabíjení připojíme autobaterii na zdroj, v našem případě na *FV*, a začne probíhat elektrolýza. Začnou se vytvářet další molekuly kyseliny a elektrolyt začne houstnout. Při odpojení od zdroje a při připojení na zátěž nám vznikne opačný děj. V našem případě jsme použili *AKUMA 12 V 44 Ah*, ze které budeme napájet spotřebiče na zahradě [21].

14 Software



Obr. 30 Bokový diagram

Na obrázku číslo 30 je blokový diagram popisující program. Pro naprogramování mikrokontroléru jsme volili *Microchip MpLab* od výrobce mikrokontrolerů *PIC* [22]. Na začátku programu jsme nastavili mikrokontrolér, pak jsme se věnovali inicializaci *LCD* displeje, který jsme provedli pomocí katalogového listu od výrobce [19]. Program je přiložený na *CD* disku.

15 Natáčení solárního panelu

Natáčení solárního panelu je na samostatné desce plošného spoje a není spojená se zbytkem návrhu. Na solární panel jsou připojeny čtyři fotovoltaické diody pod úhlem 45° do každého rohu jeden. Fotovoltaické diody jsou zapojeny na svorky *SN_x*. Mikrokontrolér typu *Freescale MC9S08MP16VLC* vyhodnotí nejmenší odpor fotovoltaických diod a pomocí dvou servo-motorů se panel natočí. Servo-motory jsou zapojeny na svorky *MOT_x*. Servo-motory jsou ovládány pomocí h-můstku typu *L6204D*. Pro činnost mikrokontroléru je potřeba přivést napětí o hodnotě 5 V pomocí stabilizátoru napětí *78M05*. Mikrokontrolér a h-můstek jsou zapojeny podle katalogových listů [24, 25]. Schéma a návrh desky je v příloze pod názvem *čtvrtá deska*.

Závěr

Hardwarová část bakalářské práce byla úspěšně navržena. V hardwarové části došlo k jistým komplikacím, které způsobili zničení prvního návrhu desky plošného spoje. Druhý návrh jsem rozdělil na tři desky, z důvodu zamezení zničení celého návrhu. Druhý návrh pracuje podle předpokladů, ale není odzkoušeno všechno. Je to z důvodu, že není kompletní softwarová část. Softwarovou část jsem nestihl vyřešit, protože jsem se zabýval druhým návrhem. Udělal jsem blokový diagram programu, kde je patrné jak by měl celý program fungovat. Návrh mi vyšel na 1200 Kč, což je poměrně hodně. Cenu navyšuje například použitý mikrokontrolér, LCD displej, USB port a hallovy sondy. Bakalářská práce navíc obsahuje návrh natočení solárního panelu, je to, ale jen návrh deska není odzkoušena.

Bakalářská práce byla poměrně náročná a rozsáhlá. Nejnáročnější na bakalářské práci bylo navrhnout DC/DC měnič. Jsou zde použity dva DC/DC měniče, které mají odlišné vlastnosti, proto jsem byl nucen navrhovat dva měniče. Vybrat z nich jejich nejhorší vlastnosti a určit nejhorší situace, které mohou nastat. Návrh obsahoval určení nejhorší střídy a tím i největší zvlnění na cívce. Návrh dále obsahuje určení použitých tranzistorů a jejich tepelné ztráty. Ke konci návrhu DC/DC měniče určím vstupní a výstupní kondenzátory a jejich možné zvlnění. Pro funkčnost měniče je potřebné ho řídit. Proto je zde použit mikrokontrolér, budiče, měření napětí a proudu. V návrhu jsem použil LCD displej a UART port. Použil jsem to z důvodu pro vyhodnocení výsledku měření vstupních a výstupních veličin. Návrh desek plošných spojů jsem dělal v programu zvaném Eaglu. Desky plošných spojů mi vyrobili ve škole na školní fréze. Následně jsem desky osadil a ručně zapájel. Poté jsem se věnoval softwarové části. Prvotně jsem inicializoval mikrokontrolér a LCD displej. Nastavil jsem TIMER a přerušení a zobrazil znaky na LCD displej. Zbytek programu bohužel chybí, z důvodu zničení prvního návrhu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HENZE, Andreas a HILLEBRAND, Werner. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi: technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2000. 129 s. ISBN 80-86167-12-7.
- [2] FAKTOR, Zdeňek. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. 243 s. ISBN 80-86056-91-0.
- [3] MAYER, Daniel. *Úvod do teorie elektrických obvodů*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1981. 688 s.
- [4] BENEŠOVÁ, Zdeňka a MAYER, Daniel. *Základní příklady z teorie elektromagnetického pole*. 2.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 167 s. ISBN 978-80-7043-737-7.
- [5] T106-26: Jádru. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.amidoncorp.com/t106-26/>
- [6] AOD409: Tranzistor. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.aosmd.com/pdfs/datasheet/AOI409.pdf>
- [7] Spínací ztráty. [online]. 2012/2013. Liberec [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: www.fm.tul.cz/esf0050/index.php?download=158
- [8] FK 244 .. D PAK: Chadič. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/17626.pdf>
- [9] SK810: Schottkyho dioda. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/920/063/sk810-datasheet-1.pdf>
- [10] AP20T03GH: Tranzistor. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.ryoway.com.hk/UploadFiles/2010112134423566.pdf>
- [11] Elyt: Kondenzator. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/e/exr.pdf>
- [12] TLP250: Optočlen. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/523/128/tlp250-datasheet-1.pdf>
- [13] PC817-B: Optočlen. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/k/kb817b.pdf>
- [14] ACS712: Hallova sonda. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/75af175f80c090e9b8f9078a0b0b2409/ACS712.PDF>
- [15] DsPIC33FJ128GP706: Mikrokontrolér. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70593d.pdf>
- [16] TL431: Ref. napětí. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/a/az431.pdf>
- [17] LF50CDT: Stabilizátor. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/934/039/lf50cdt-datasheet-1.pdf>
- [18] LF33CDT: Stabilizátor. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/934/038/lf33cdt-datasheet-1.pdf>
- [19] DEM16101 SYH: Displej. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: http://www.soselectronic.hu/a_info/resource/d/dem/dem16101syh.pdf
- [20] FT230x: USB. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/93b0911297f91fbab90e758d2cc33bdf/DS_FT230X.pdf
- [21] AKUMA-12V-44Ah: Autobaterie [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.autobaterie.cz/auto/eshop/0/0/5/3-Akuma-12V-44Ah-420A-Komfort>
- [22] MPLAB: Software. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>

- [23] EAGLE: Software. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://www.eagle.cz/>
- [24] MC9S08MP16VLC: Mikrokontrolér. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z:
http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08MP16DS.pdf
- [25] L6204D: H-můstek. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000090.pdf>

Seznam příloh

Příloha 1 – Schéma zapojení první desky

Příloha 2 – První deska plošného spoje – TOP

Příloha 3 – První deska plošného spoje – BOTTOM

Příloha 4 – První deska plošného spoje rozmístěný součástek

Příloha 5 – Schéma zapojení druhé desky

Příloha 6 – Druhá deska plošného spoje – TOP

Příloha 7 – Druhá deska plošného spoje – BOTTOM

Příloha 8 – Druhá deska plošného spoje rozmístěný součástek

Příloha 9 – Schéma zapojení třetí desky

Příloha 10 – Třetí deska plošného spoje – TOP

Příloha 11 – Třetí deska plošného spoje – BOTTOM

Příloha 12 – Třetí deska plošného spoje rozmístěný součástek

Příloha 13 – Schéma zapojení čtvrté desky

Příloha 14 – Čtvrtá deska plošného spoje – TOP

Příloha 15 – Čtvrtá deska plošného spoje – BOTTOM

Příloha 16 – Čtvrtá deska plošného spoje rozmístěný součástek

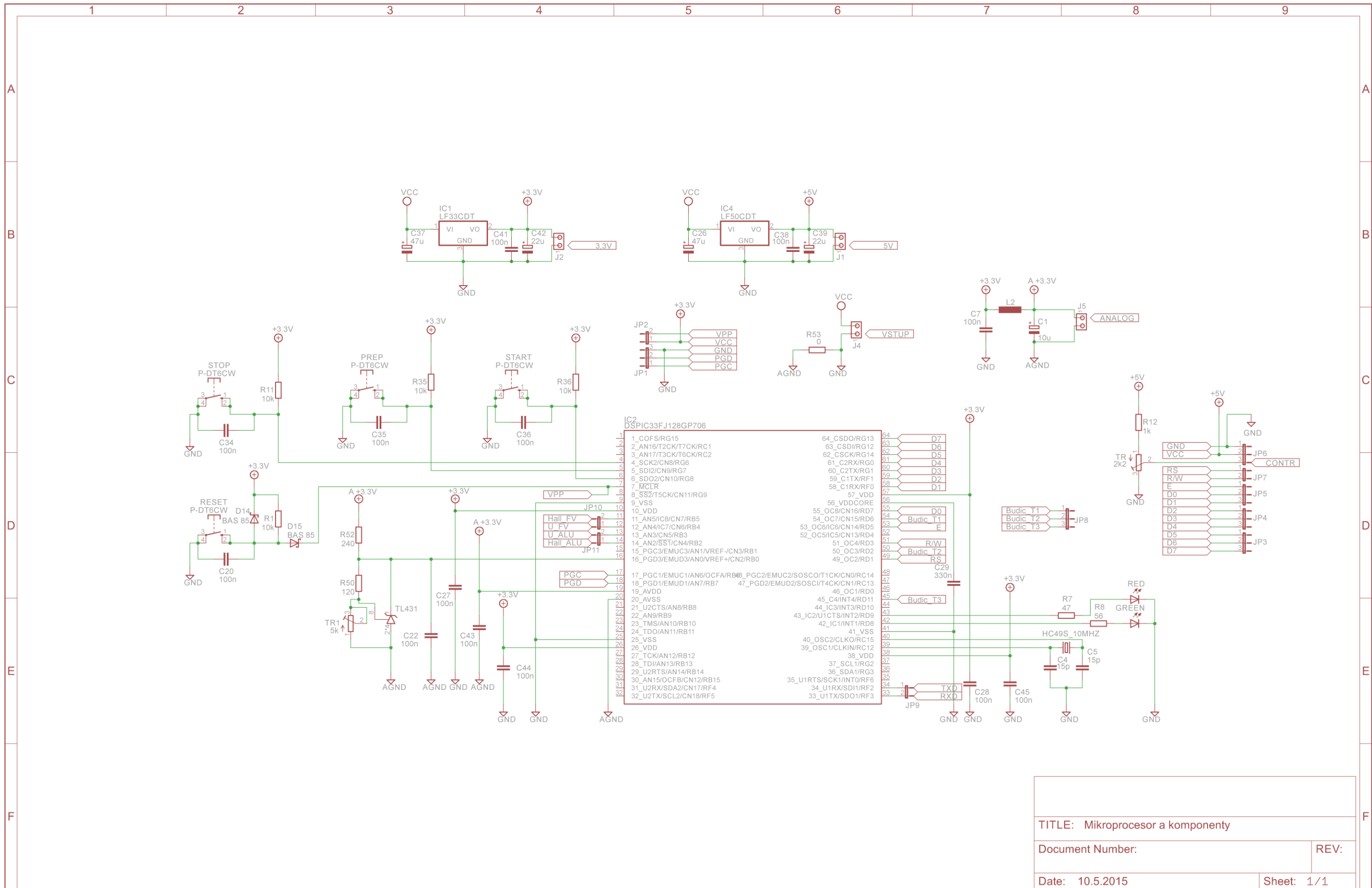
Příloha 17 – Fotka první desky plošného spoje

Příloha 18 – Fotka druhé desky plošného spoje

Příloha 19 – Fotka třetí desky plošného spoje

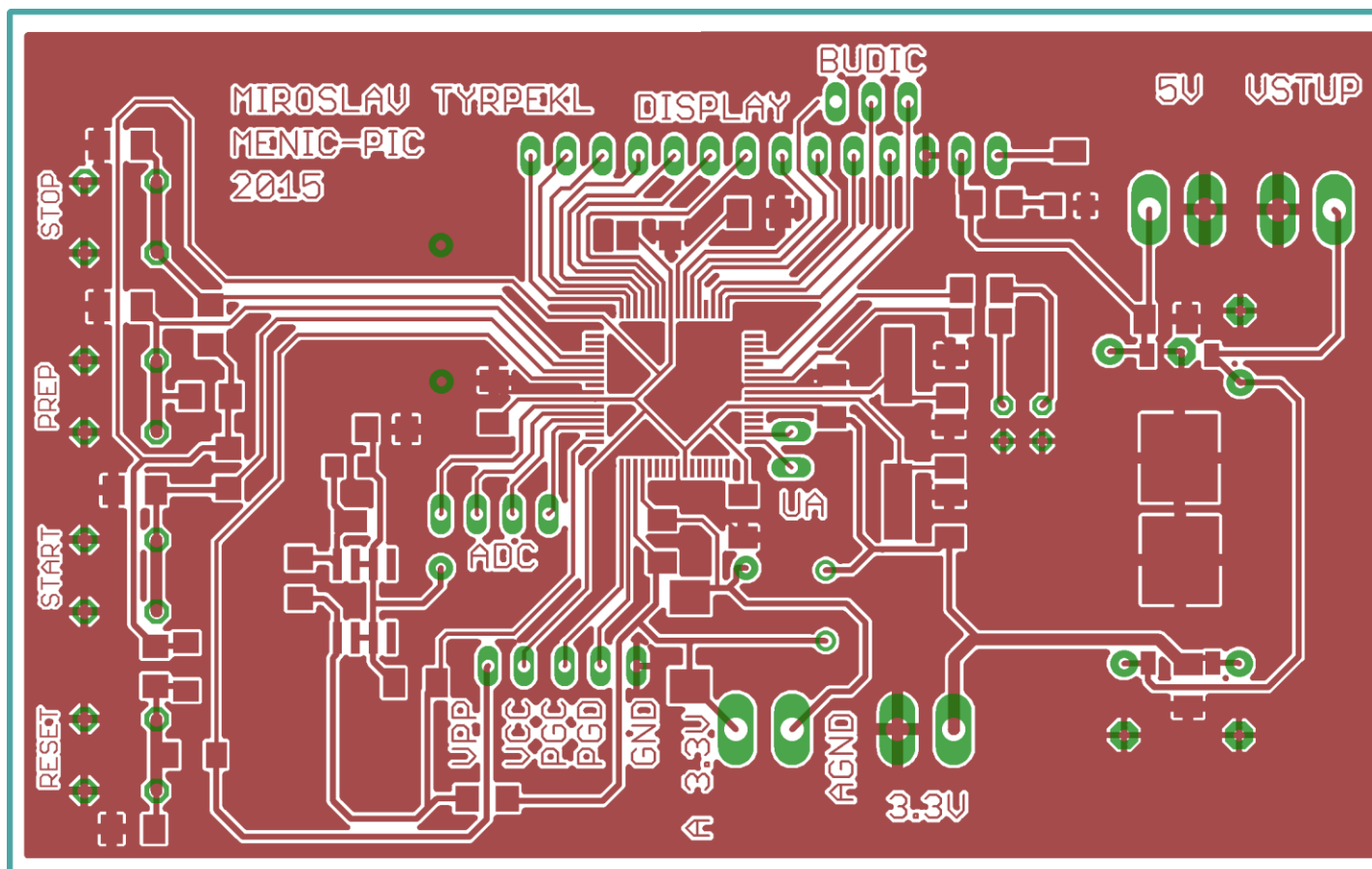
Příloha 20 – Fotka čtvrté desky plošného spoje

Příloha 21 – Seznam součástek

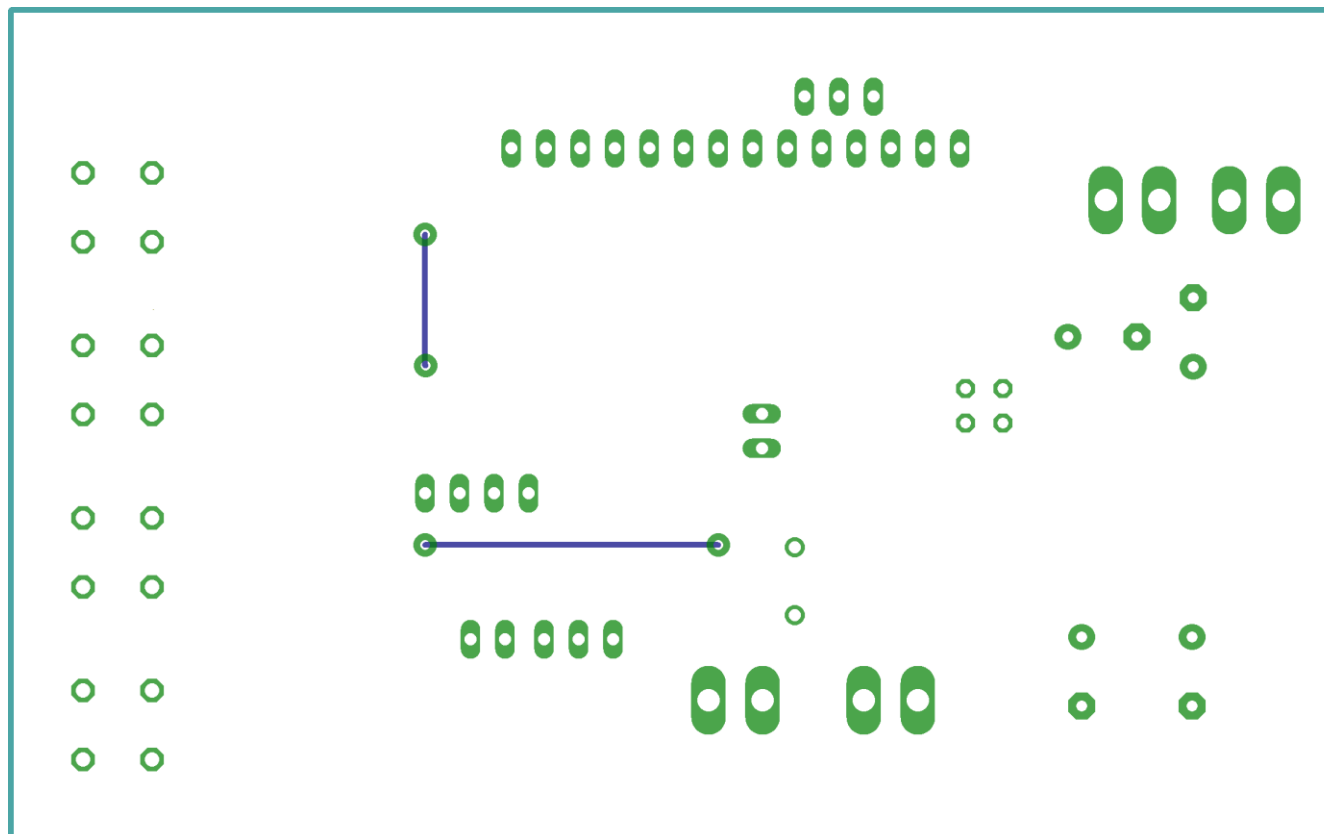


TITLE: Mikroprocesor a komponenty	
Document Number:	REV:
Date: 10.5.2015	Sheet: 1/1

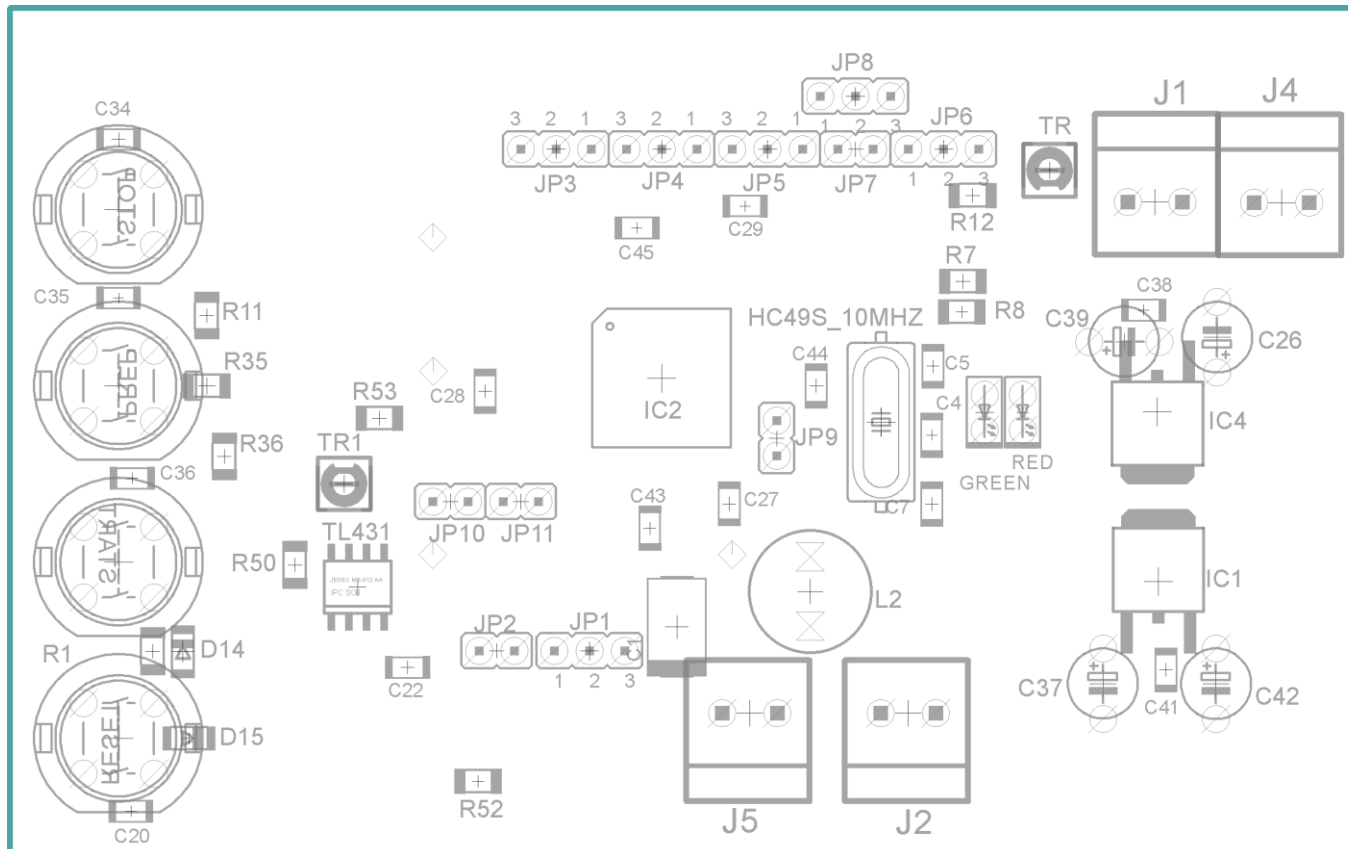
Rozměry první desky 9.5 x 6 cm

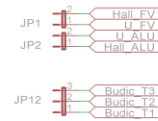
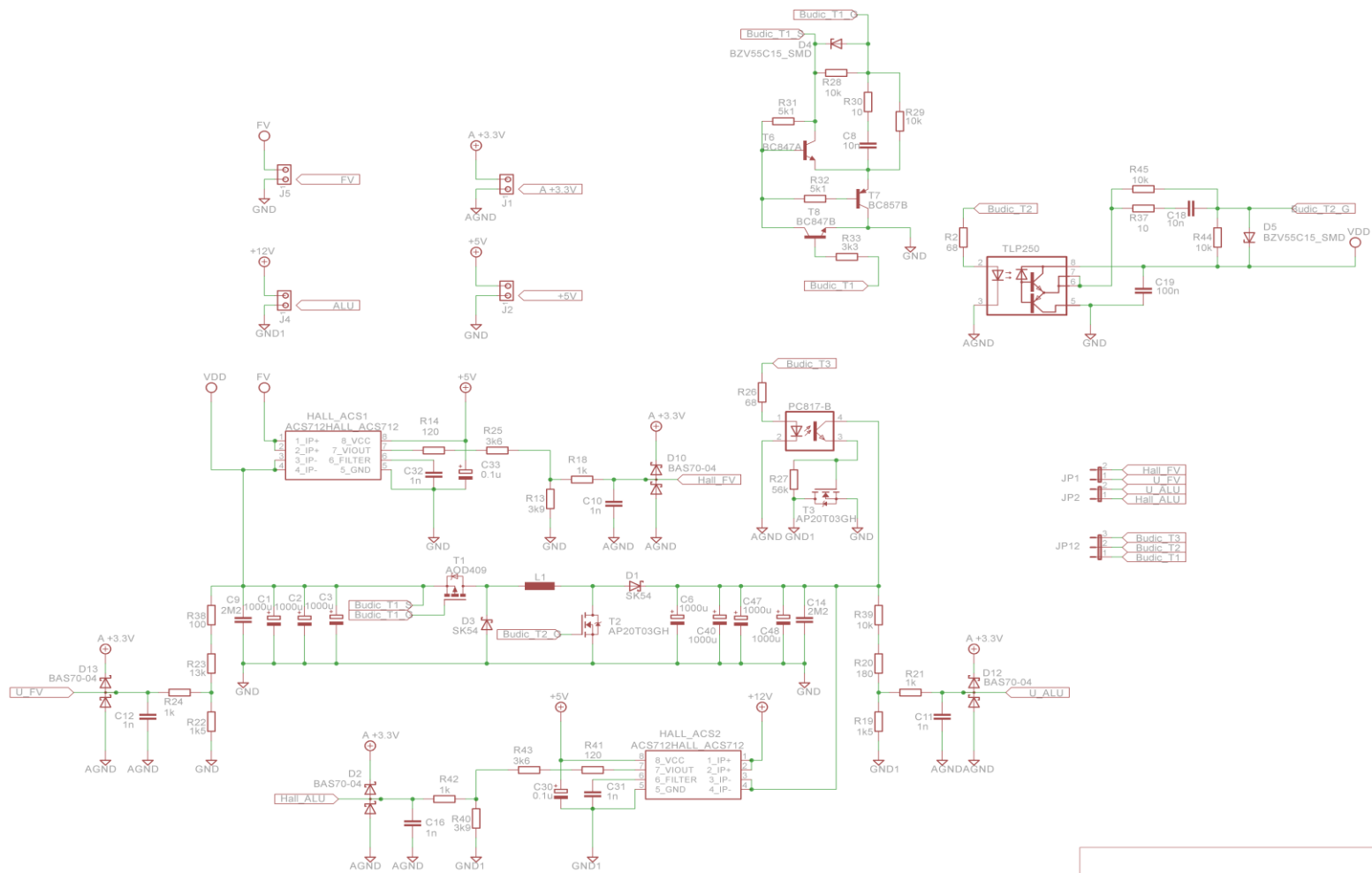


Rozměry první desky 9.5 x 6 cm



Rozměry první desky 9.5 x 6 cm





TITLE: DC/DC měnič

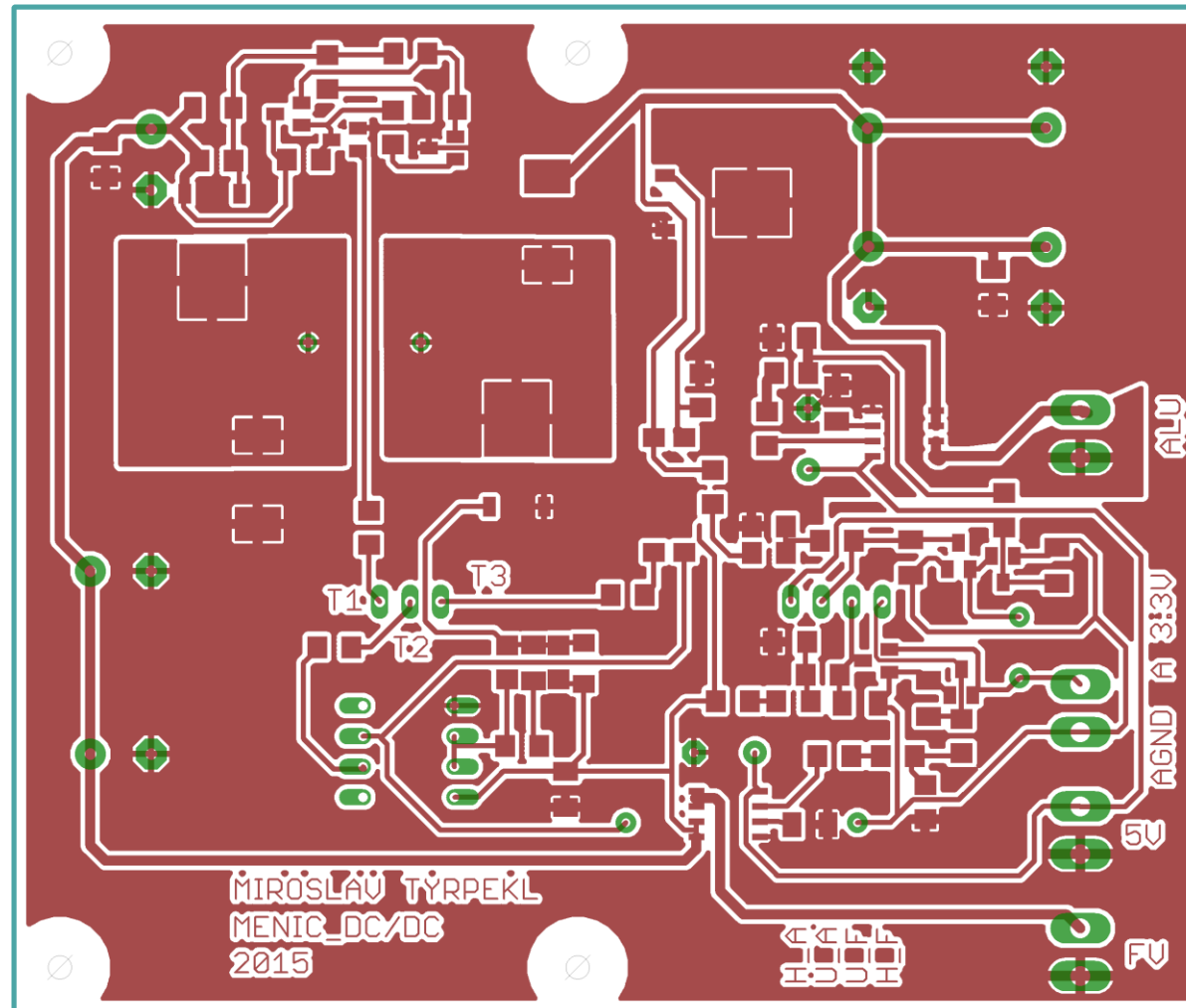
Document Number: 2

REV:

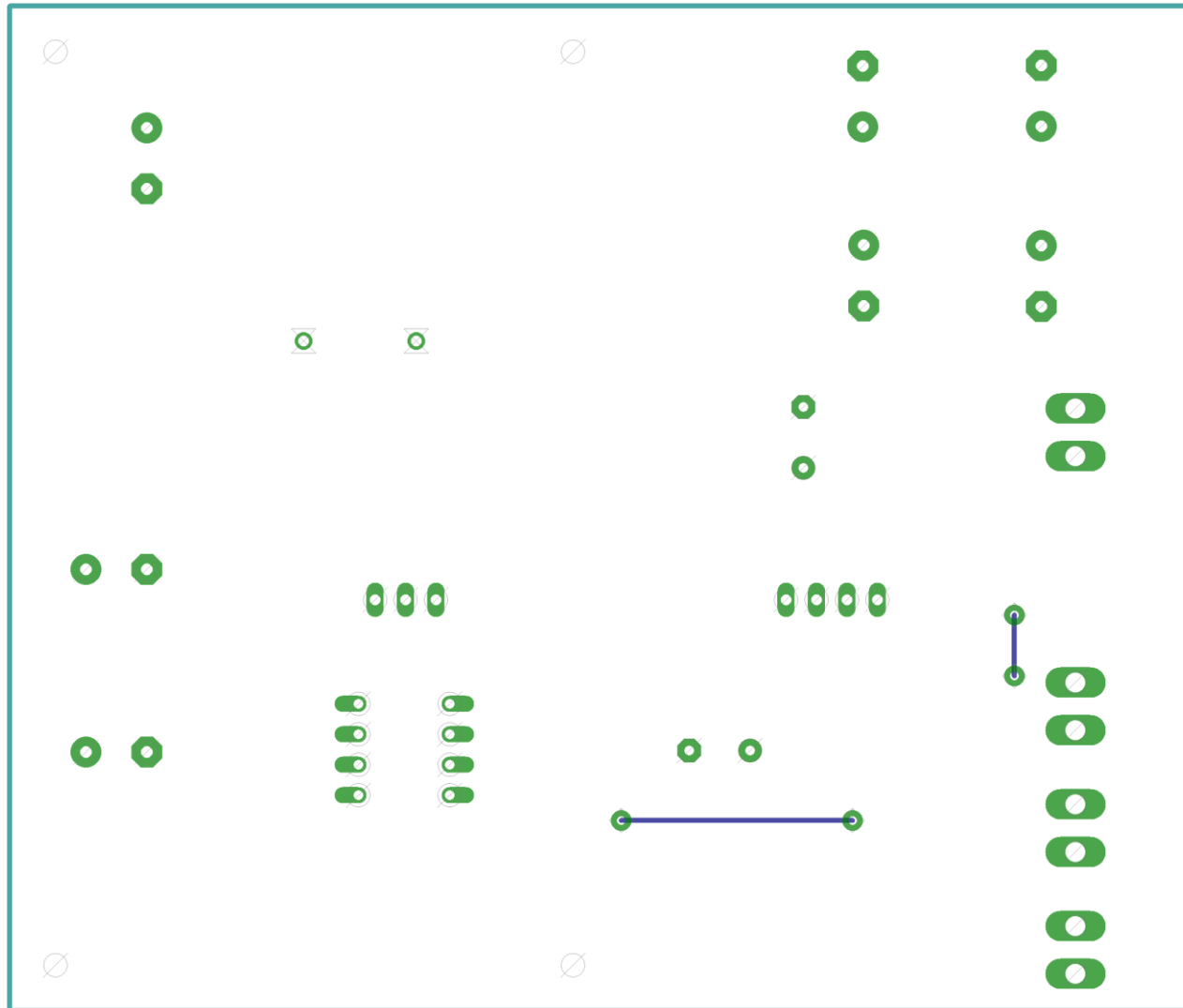
Date: 10.5.2015

Sheet: 1/1

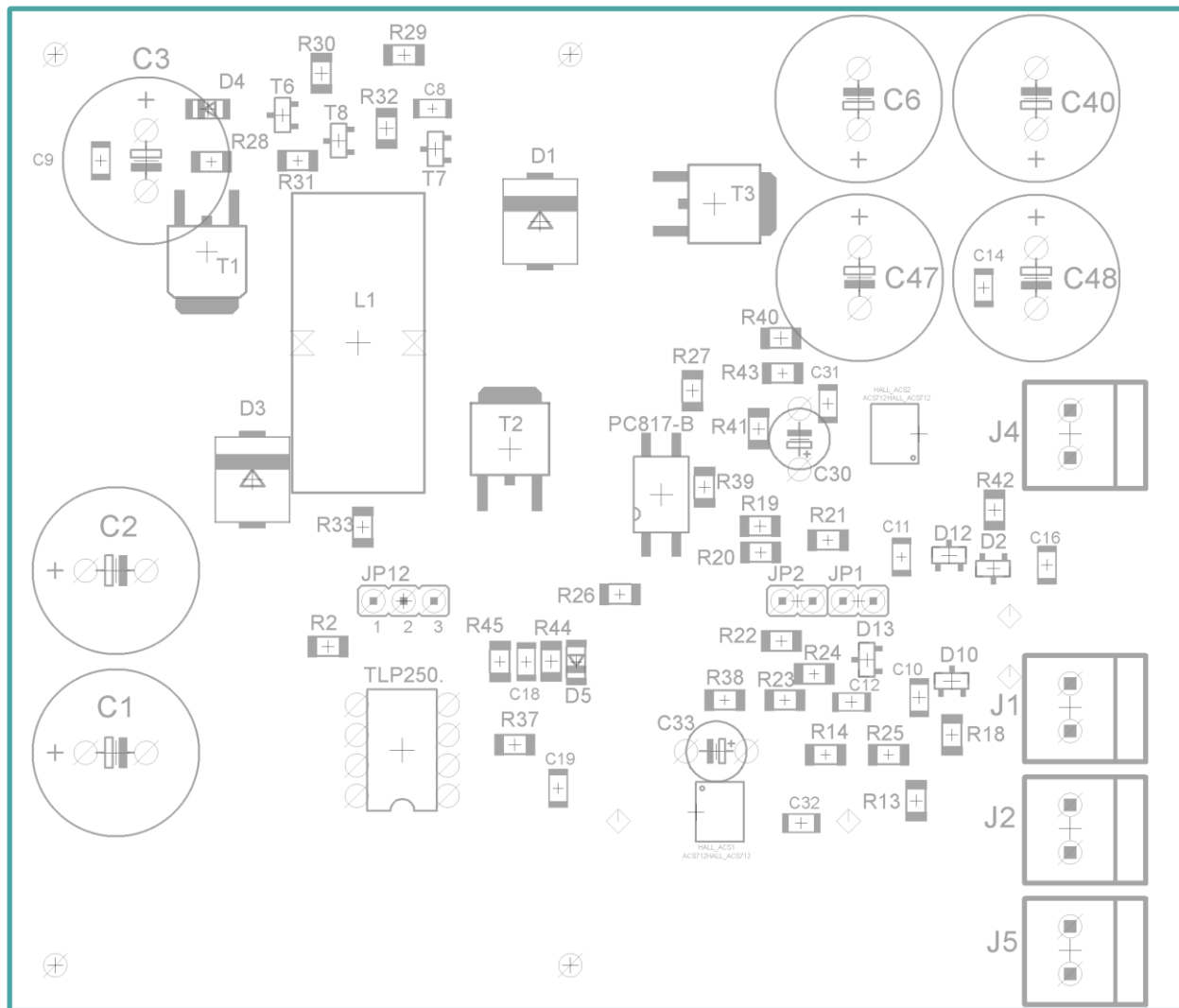
Rozměry druhé desky 10 x 8.5 cm

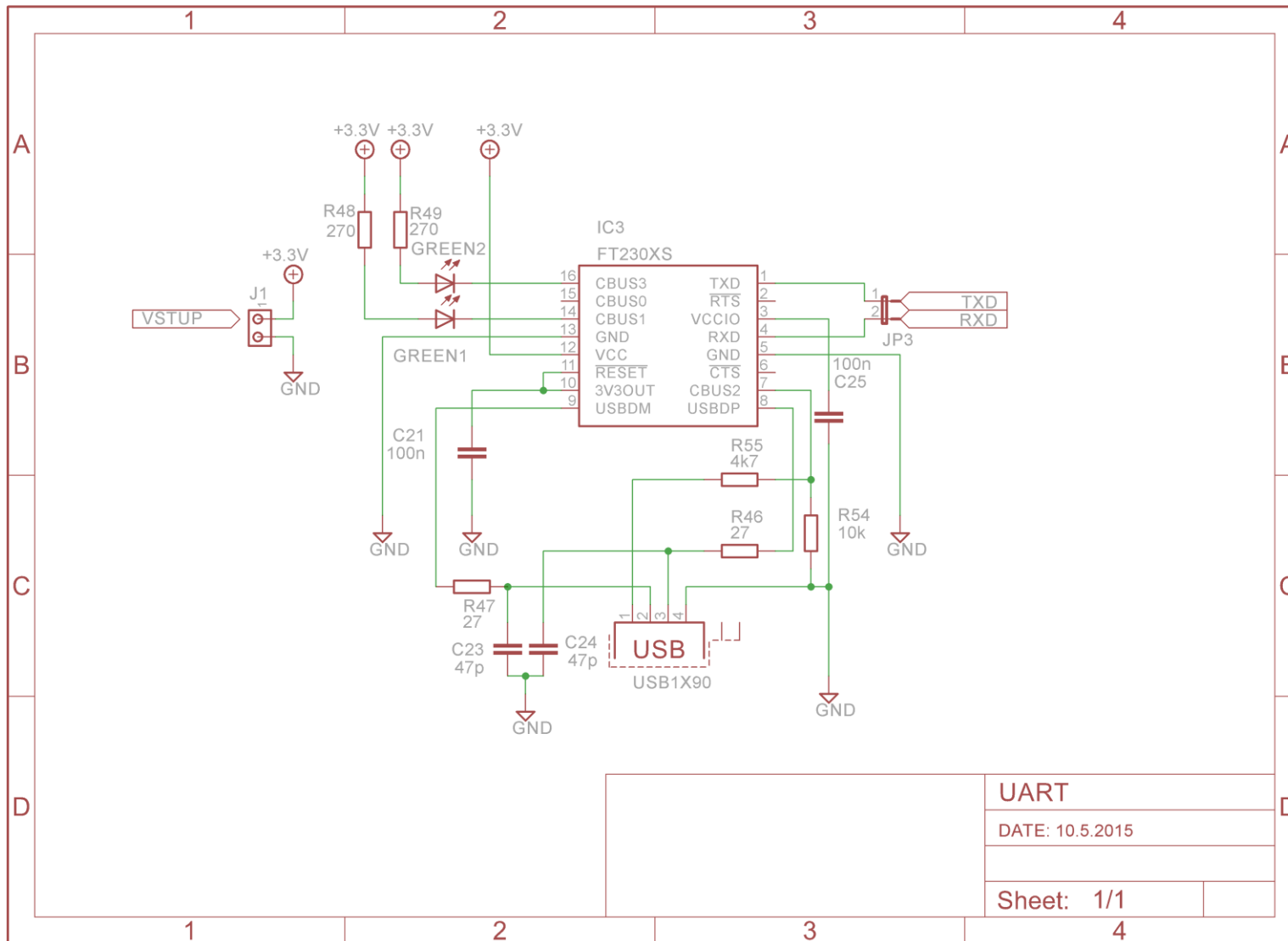


Rozměry druhé desky 10 x 8.5 cm



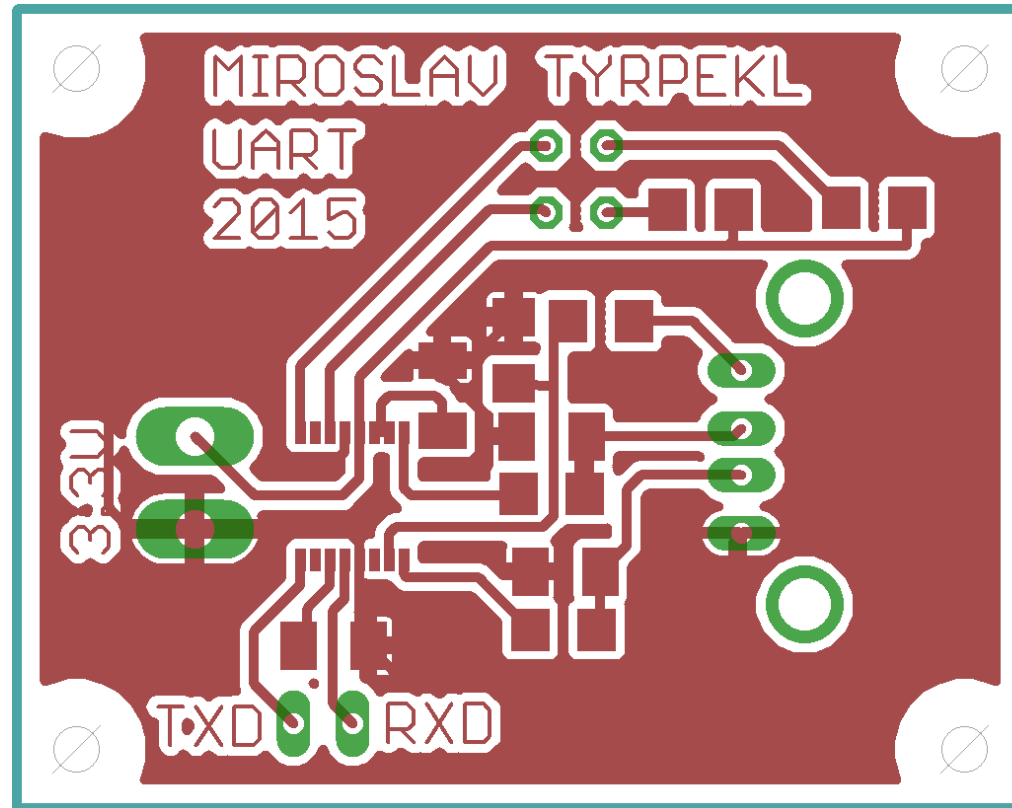
Rozměry druhé desky 10 x 8.5 cm



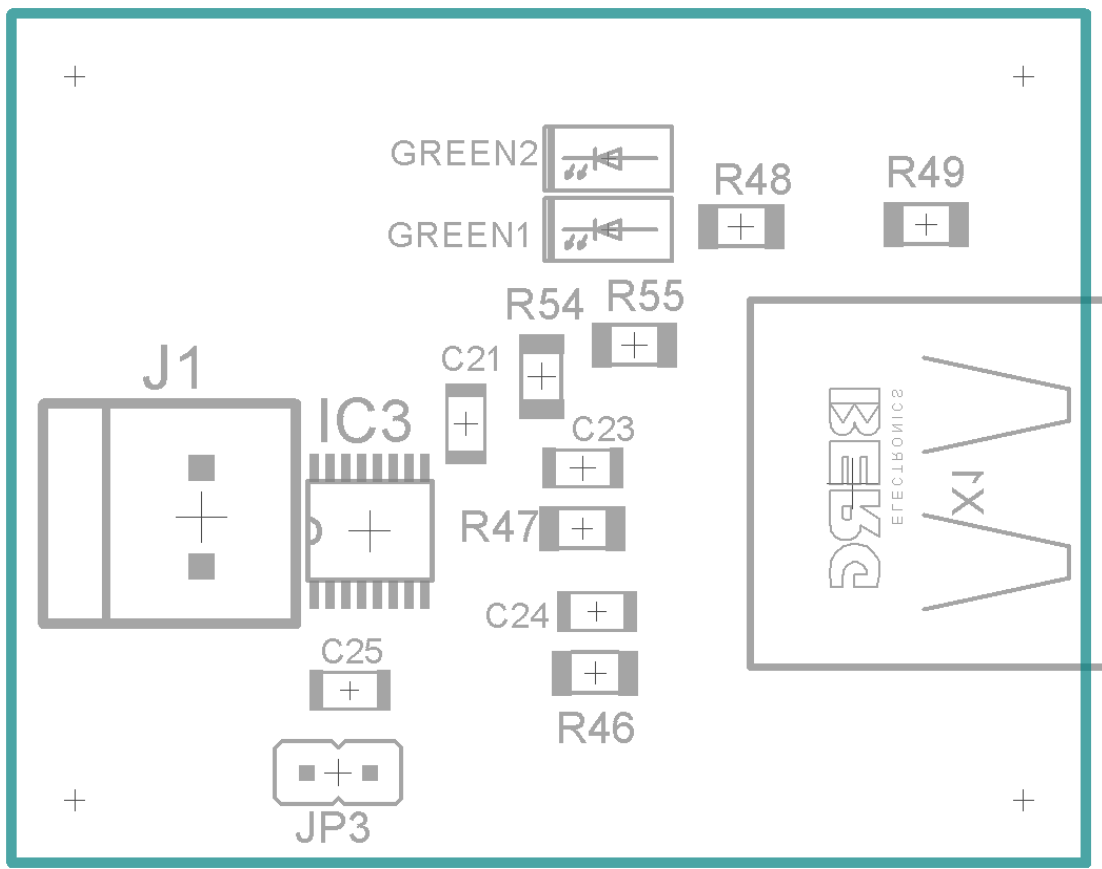


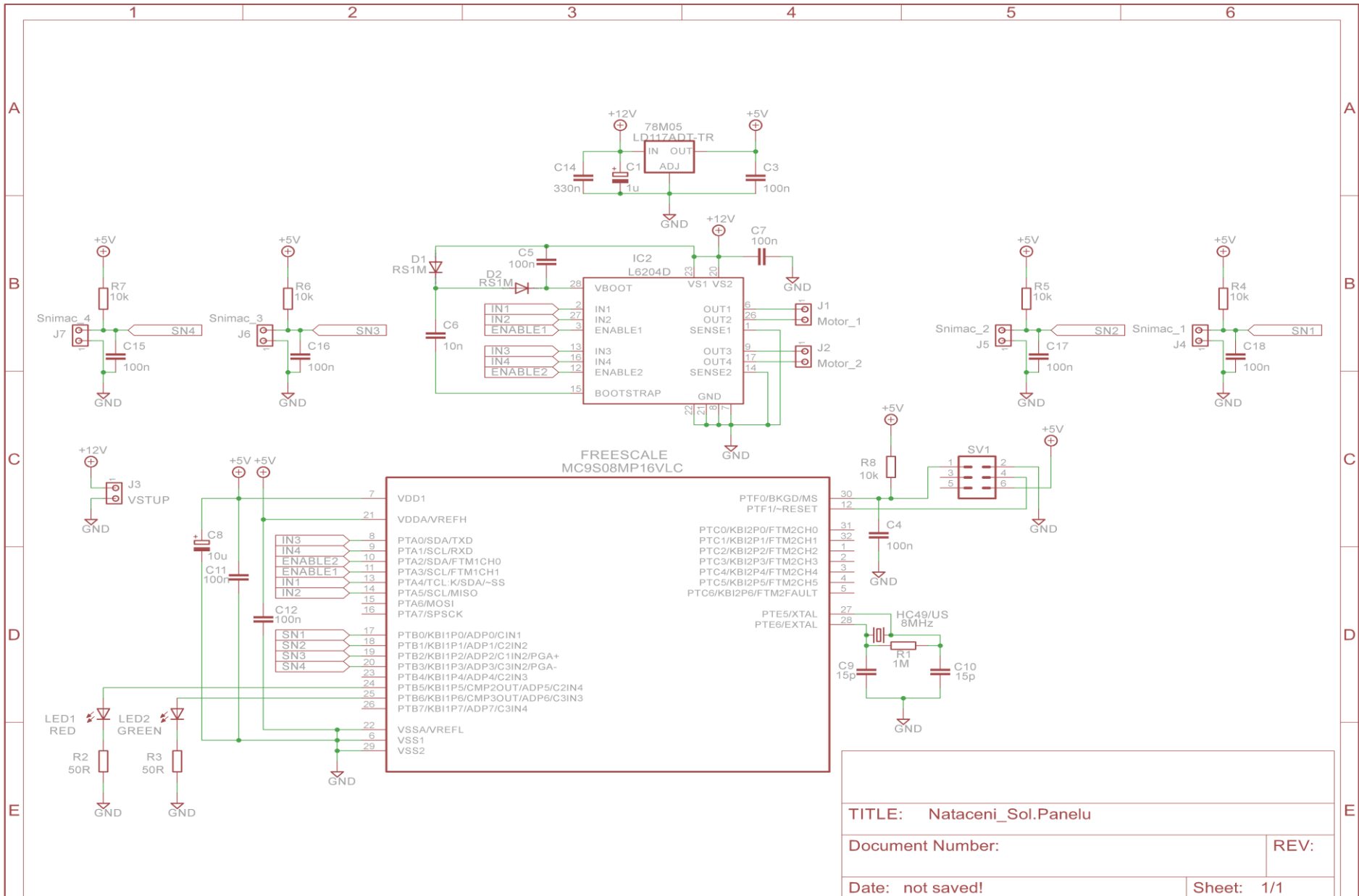
UART	
DATE: 10.5.2015	
Sheet: 1/1	

Rozměry třetí desky 4.3 x 3.5 cm



Rozměry třetí desky 4.3 x 3.5 cm





TITLE: Nataceni_Sol.Panelu

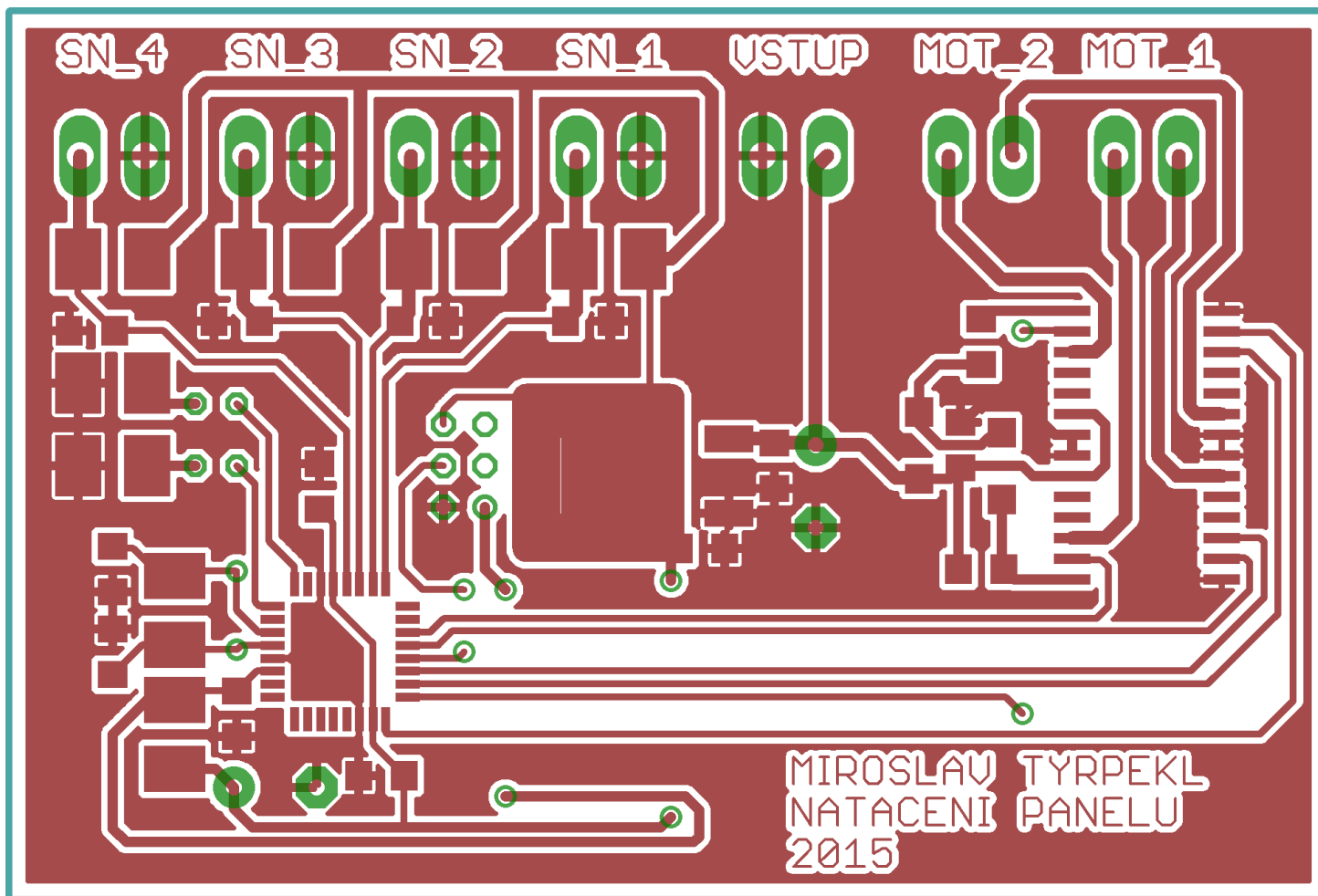
Document Number:

REV:

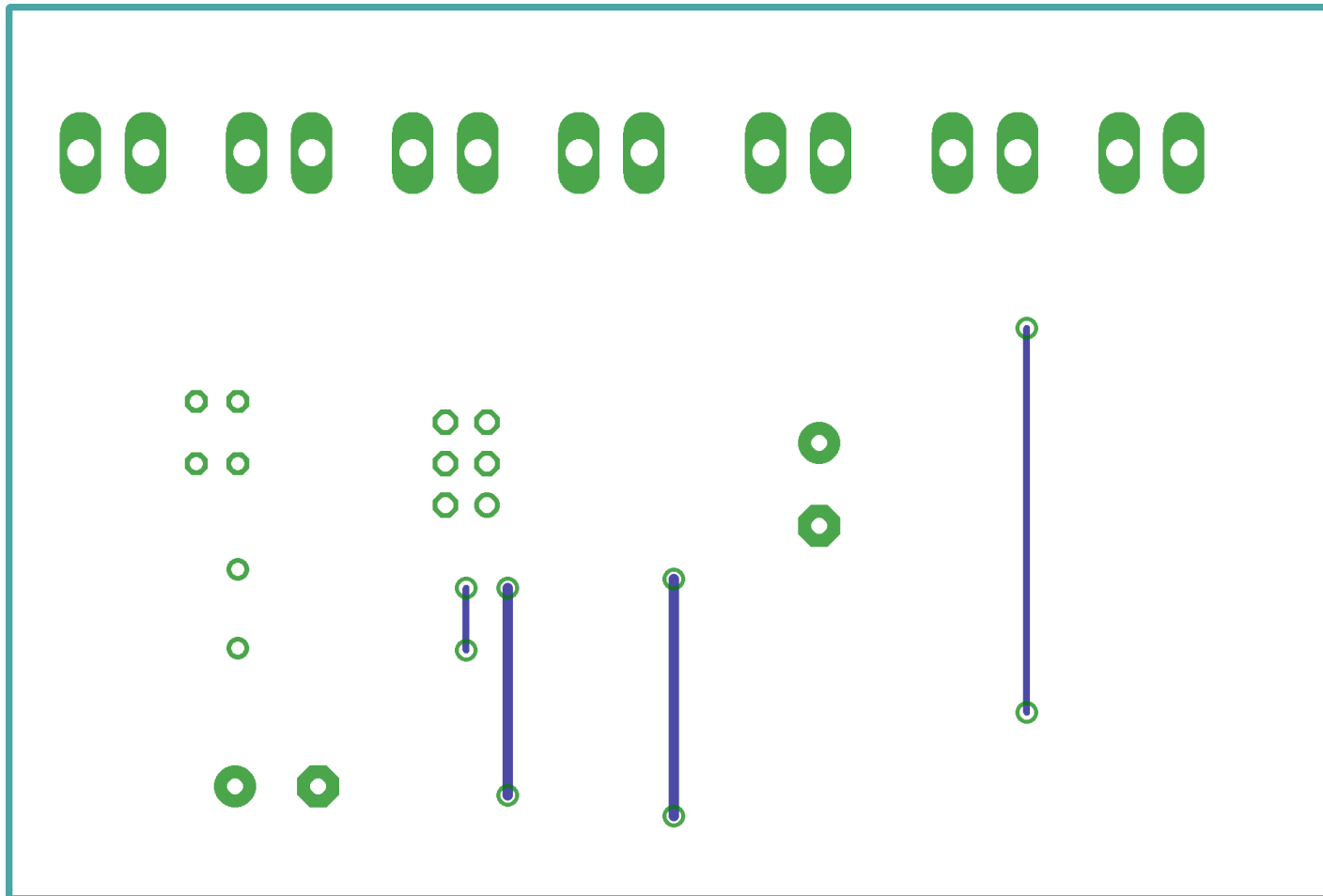
Date: not saved!

Sheet: 1/1

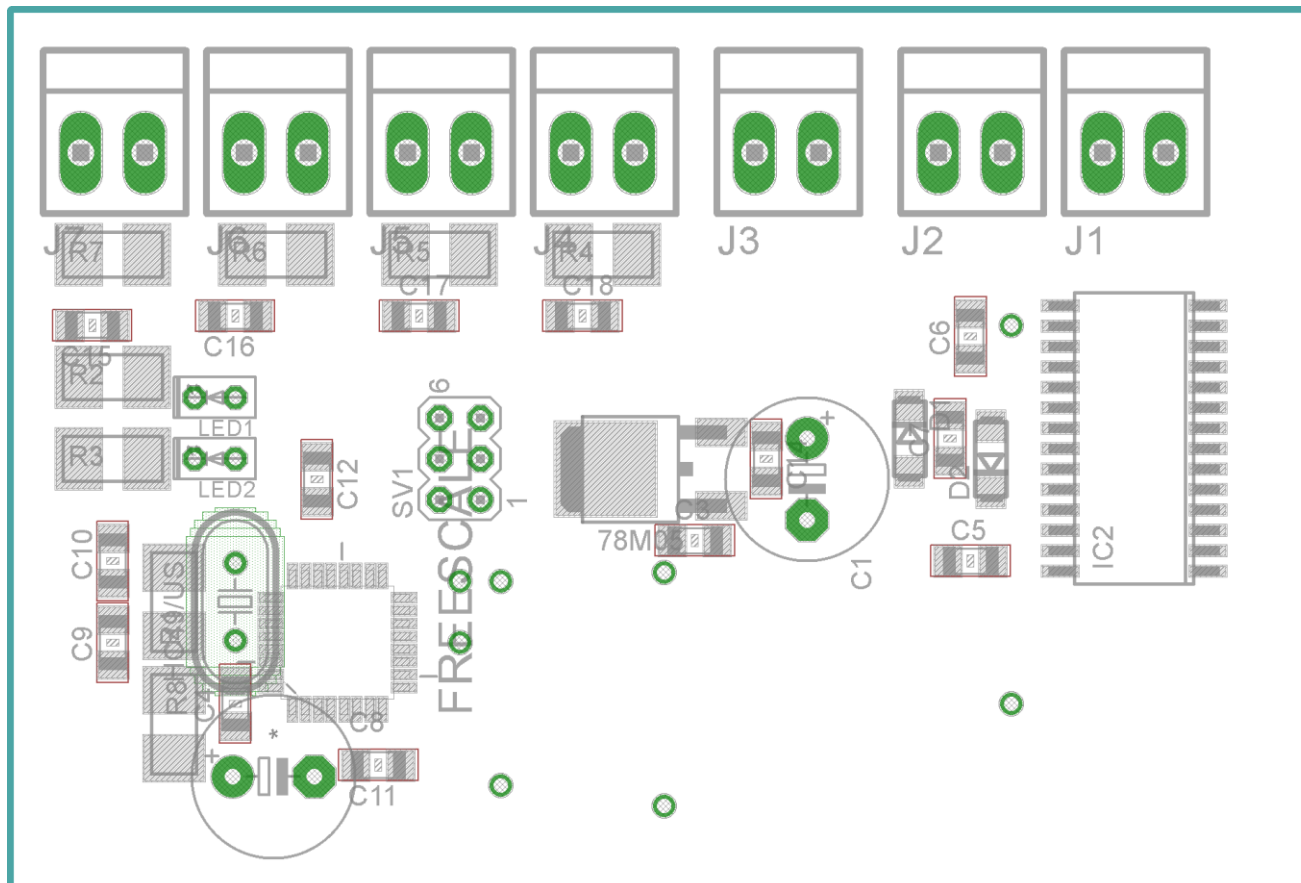
Rozměry čtvrté desky 8 x 5.5 cm



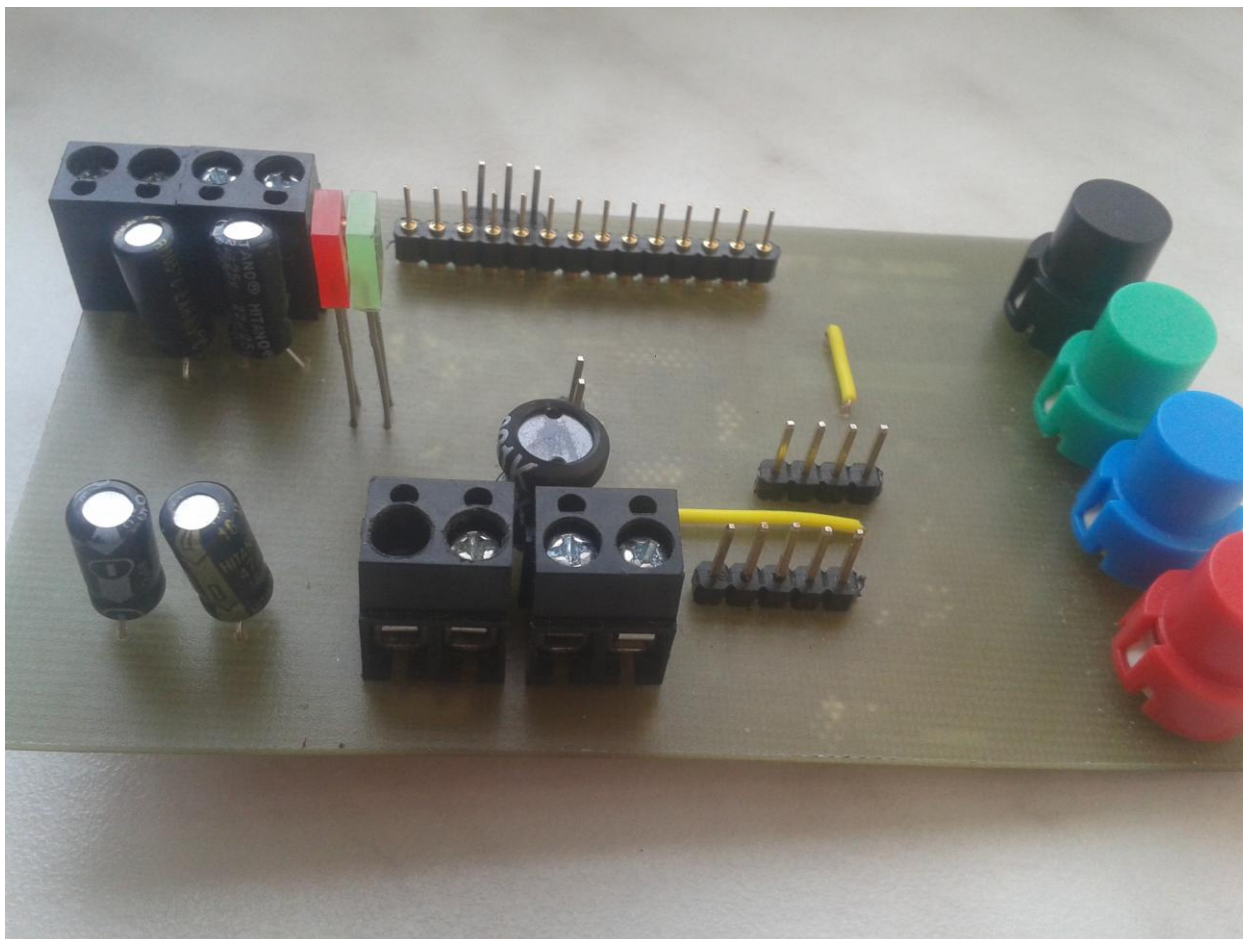
Rozměry čtvrté desky 8 x 5.5 cm



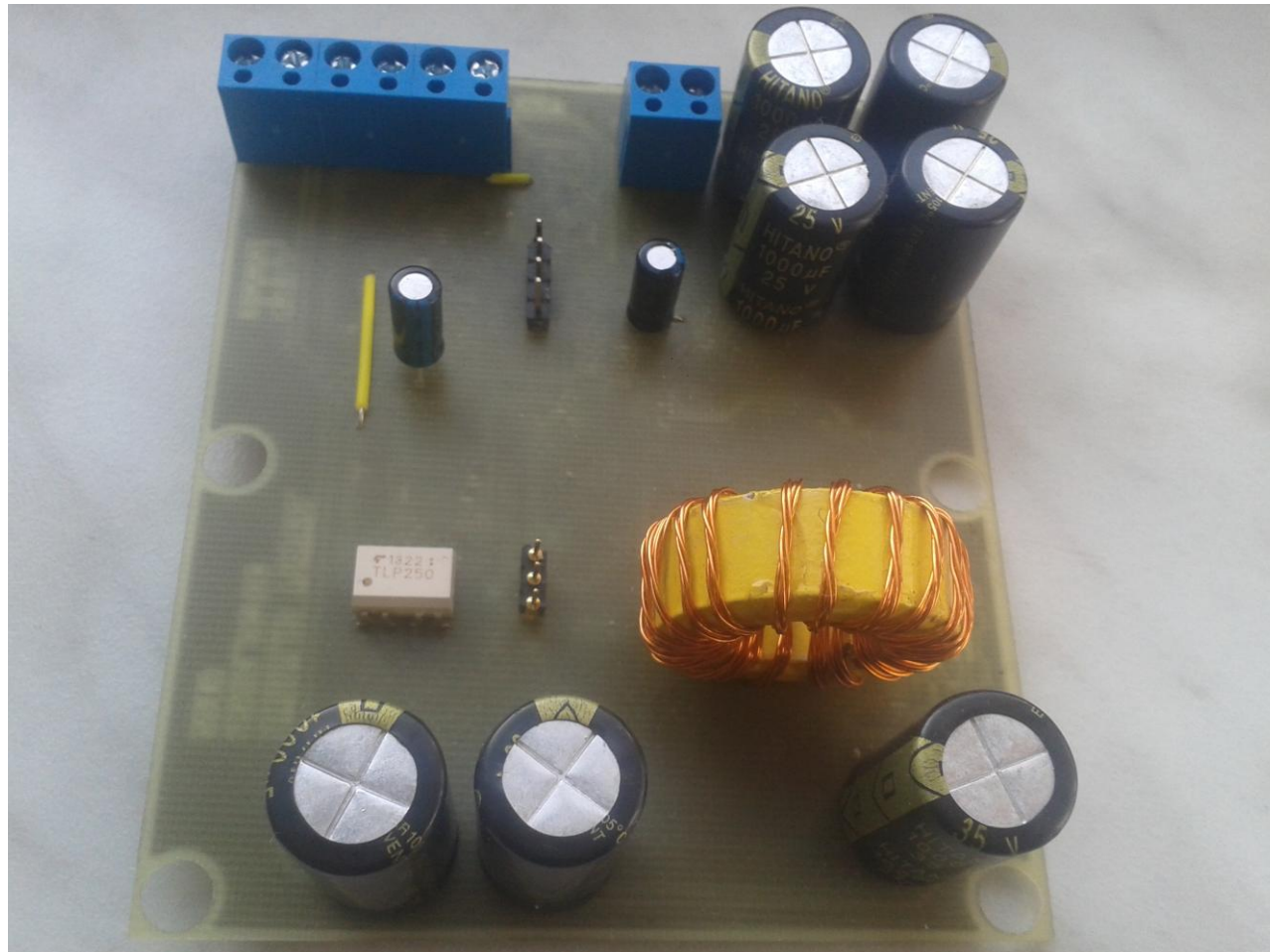
Rozměry čtvrté desky 8 x 5.5 cm



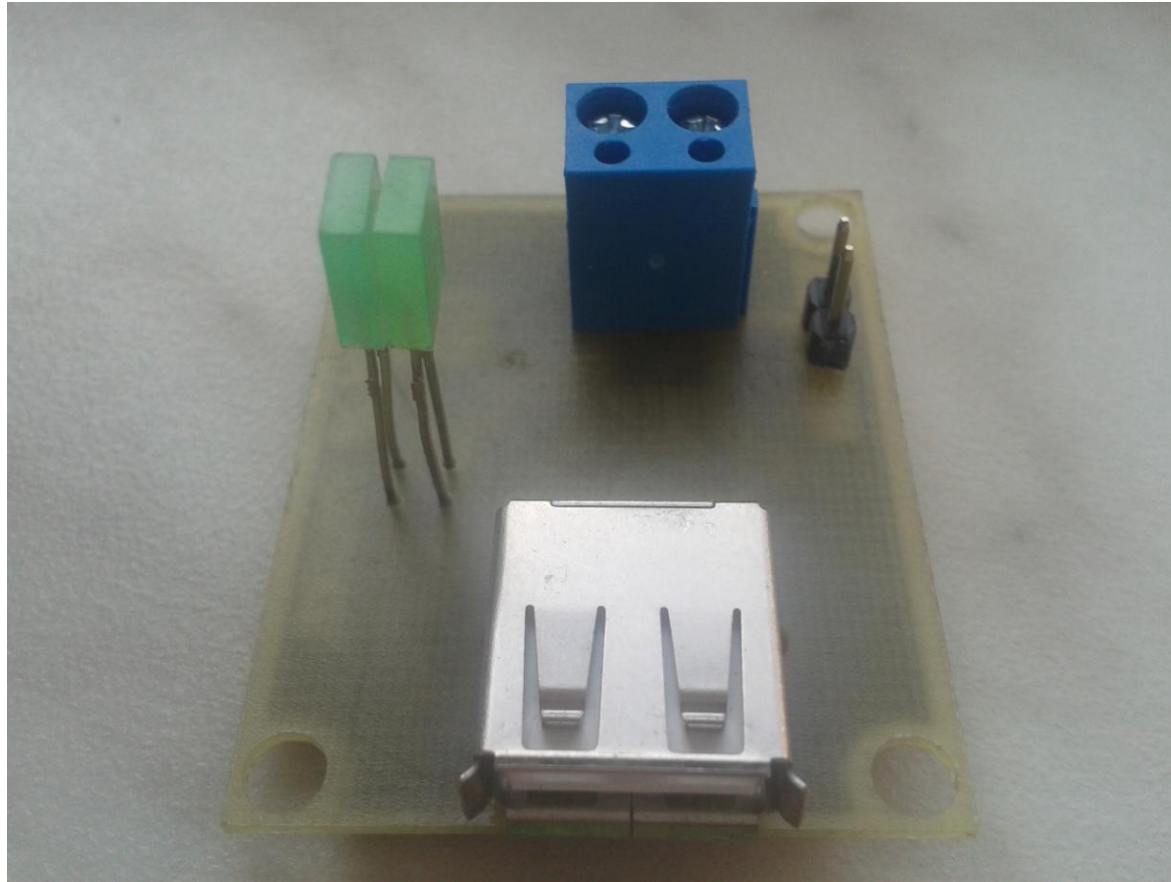
První deska



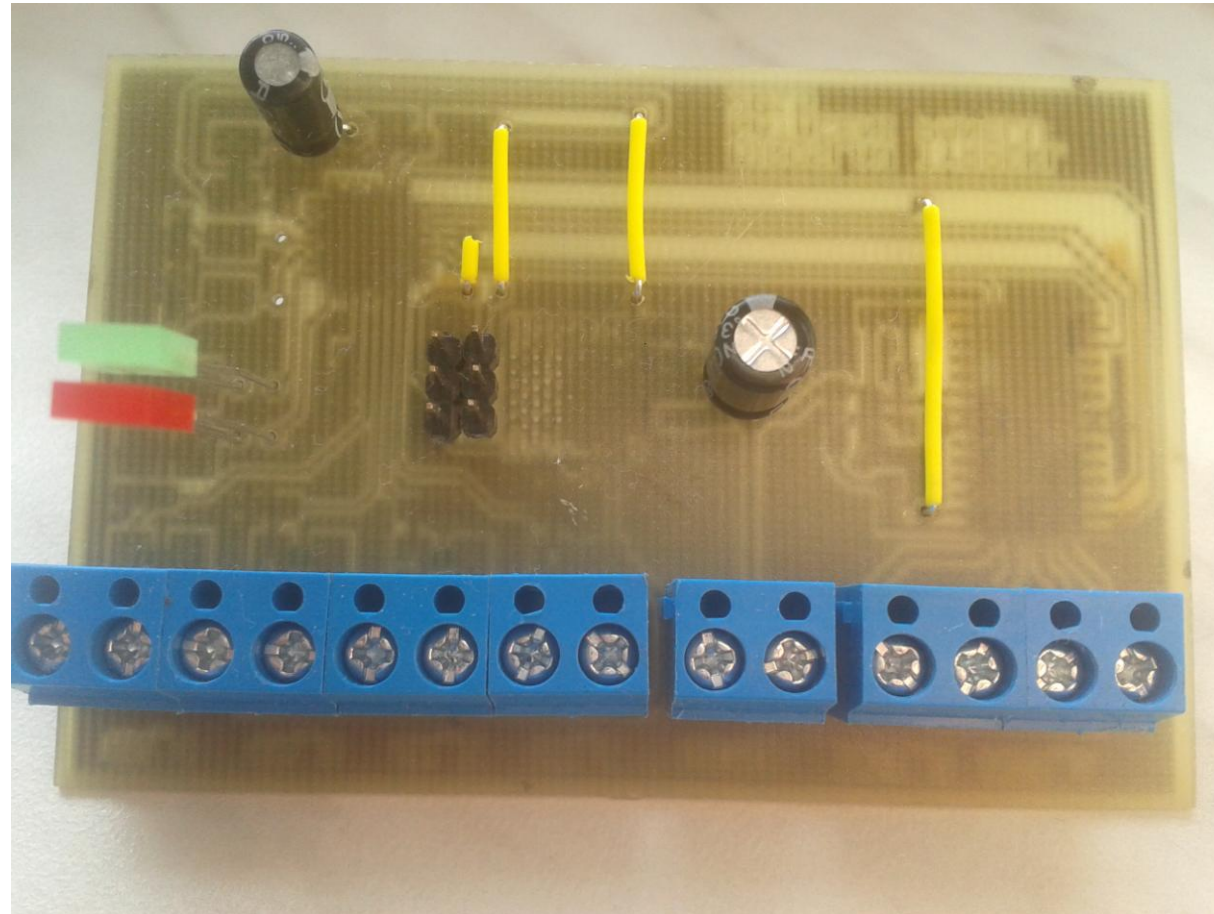
Druhá deska



Třetí deska



Čtvrtá deska



Seznam součástek

PIC

Part	Value	Device	Package	Library
C1	10u	CPOL-EUSMCE	SMC_E	rcl
C4	15p	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C5	15p	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C7	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C20	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C22	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C26	47u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C27	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C28	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C29	330n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C34	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C35	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C36	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C37	47u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C38	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C39	22u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C41	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C42	22u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C43	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C44	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C45	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
D14	BAS 85	MIRDA	MINIMELF	diode
D15	BAS 85	MIRDA	MINIMELF	diode
GREEN		LEDSQR2X5	LED2X5	led
HC49S_10MHZ		CRYSTALHC49UP	HC49UP	crystal
IC1	LF33CDT	7805DT	TO252	linear
IC2	DSPIC33FJ128GP706	DSPIC33FJ128GP706	TQFP64	bakalarka
IC4	LF50CDT	7805DT	TO252	linear
J1		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J2		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J4		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J5		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
JP1		JP2E	JP2	jumper
JP2		JP1E	JP1	jumper
JP3		JP2E	JP2	jumper
JP4		JP2E	JP2	jumper
JP5		JP2E	JP2	jumper
JP6		JP2E	JP2	jumper
JP7		JP1E	JP1	jumper
JP8		JP2E	JP2	jumper
JP9		JP1E	JP1	jumper
JP10		JP1E	JP1	jumper
JP11		JP1E	JP1	jumper
L2		L-EU6000-XXX-RC	6000-XXXX-RC	rcl
PREP	P-DT6CW	DT6	DT6	switch-misc
R1	10k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R7	47	R-EU_R1206	R1206	rcl
R8	56	R-EU_R1206	R1206	rcl

R11	10k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R12	1k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R35	10k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R36	10k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R50	120	R-EU_R1206	R1206	rcl
R52	240	R-EU_R1206	R1206	rcl
R53	0	R-EU_R1206	R1206	rcl
RED		LEDSQR2X5	LED2X5	led
RESET	P-DT6CW	DT6	DT6	switch-misc
START	P-DT6CW	DT6	DT6	switch-misc
STOP	P-DT6CW	DT6	DT6	switch-misc
TL431		MIRDA2	SO-08	v-reg
TR	2k2	R-TRIMCVR42A	RTRIMCVR42A	rcl
TR1	5k	R-TRIMCVR42A	RTRIMCVR42A	rcl

DC/DC měnič

Part	Value	Device	Package	Library
C1	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C2	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C3	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C6	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C8	10n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C9	2M2	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C10	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C11	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C12	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C14	2M2	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C16	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C18	10n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C19	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C30	0.1u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C31	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C32	1n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C33	0.1u	CPOL-EUE5-5	E5-5	rcl
C40	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C47	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
C48	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	rcl
D1	SK54	SCHOTTKY-DIODESMC	SMC	diode
D2	BAS70-04	BAS70-04	SOT23	diode
D3	SK54	SCHOTTKY-DIODESMC	SMC	diode
D4	BZV55C15_SMD	ZENER-DIODESOD80C	SOD80C	diode
D5	BZV55C15_SMD	ZENER-DIODESOD80C	SOD80C	diode
D10	BAS70-04	BAS70-04	SOT23	diode
D12	BAS70-04	BAS70-04	SOT23	diode
D13	BAS70-04	BAS70-04	SOT23	diode
HALL_ACS1	ACS712HALL_ACS712	ACS712HALL_ACS712	HALL	bakalarka_hall
HALL_ACS2	ACS712HALL_ACS712	ACS712HALL_ACS712	HALL	bakalarka_hall
J1		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J2		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J4		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J5		MTA02-156	1X2MTA	con-amp

JP1		JP1E		JP1	jumper
JP2		JP1E		JP1	jumper
JP12		JP2E		JP2	jumper
L1		L-EUTJ5-U1		TJ5-U1	rcl
PC817-B	PC817-B	SFH618A-3X007		SMD4-7	optocoupler
R2	68	R-EU_R1206		R1206	rcl
R13	3k9	R-EU_R1206		R1206	rcl
R14	120	R-EU_R1206		R1206	rcl
R18	1k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R19	1k5	R-EU_R1206		R1206	rcl
R20	180	R-EU_R1206		R1206	rcl
R21	1k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R22	1k5	R-EU_R1206		R1206	rcl
R23	13k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R24	1k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R25	3k6	R-EU_R1206		R1206	rcl
R26	68	R-EU_R1206		R1206	rcl
R27	56k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R28	10k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R29	10k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R30	10	R-EU_R1206		R1206	rcl
R31	5k1	R-EU_R1206		R1206	rcl
R32	5k1	R-EU_R1206		R1206	rcl
R33	3k3	R-EU_R1206		R1206	rcl
R37	10	R-EU_R1206		R1206	rcl
R38	100	R-EU_R1206		R1206	rcl
R39	10k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R40	3k9	R-EU_R1206		R1206	rcl
R41	120	R-EU_R1206		R1206	rcl
R42	1k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R43	3k6	R-EU_R1206		R1206	rcl
R44	10k	R-EU_R1206		R1206	rcl
R45	10k	R-EU_R1206		R1206	rcl
T1	AOD409	IRFR5305		D-PAK_TO252AA	tran-power
T2	AP20T03GH	AP20T03GH		TO252	tran-fet
T3	AP20T03GH	AP20T03GH		TO252	tran-fet
T6	BC847A	BC847		SOT23	t-neu-to92
T7	BC857B	BC857A-PNP-SOT23-BEC		SOT23-BEC	transistor
T8	BC847B	BC847		SOT23	t-neu-to92
TLP250.	TLP250	BC		DIL08	optocoupler

UART

Part	Value	Device	Package	Library
C21	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C23	47p	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C24	47p	C-EUC1206K	C1206K	rcl
C25	100n	C-EUC1206K	C1206K	rcl
GREEN1		LEDSQR2X5	LED2X5	led
GREEN2		LEDSQR2X5	LED2X5	led
IC3	FT230XS	FT230XS	SSOP16	ftdichip
J1		MTA02-156	1X2MTA	con-amp
JP3		JP1E	JP1	jumper

R46	27	R-EU_R1206	R1206	rcl
R47	27	R-EU_R1206	R1206	rcl
R48	270	R-EU_R1206	R1206	rcl
R49	270	R-EU_R1206	R1206	rcl
R54	10k	R-EU_R1206	R1206	rcl
R55	4k7	R-EU_R1206	R1206	rcl
X1	USB1X90	PN87520-S	PN87520-S	con-berg

Natáčení solárního panelu

Part	Value	Device	Package	Library
78M05	LD117ADT-TR	LD117ADT-TR	DPACK	v-reg
C1	1u	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	rcl
C3	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C4	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C5	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C6	10n	C-EUC1206	C1206	rcl
C7	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C8	10u	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	rcl
C9	15p	C-EUC1206	C1206	rcl
C10	15p	C-EUC1206	C1206	rcl
C11	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C12	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C14	330n	C-EUC1206	C1206	rcl
C15	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C16	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C17	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
C18	100n	C-EUC1206	C1206	rcl
D1	RS1M	DIODE-DO214AC	DO214AC	diode
D2	RS1M	DIODE-DO214AC	DO214AC	diode
FREESCALE	MC9S08MP16VLC	MC9S08MP16VLC	QFP80P900X900X160-32N	AAA
HC49/US	8MHZ	CRYSTALHC49U70	HC49U70	crystal
IC2	L6204D	L6204D	SO28	st-
microelectronics				
J1	Motor_1	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J2	Motor_2	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J3	VSTUP	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J4	Snimac_1	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J5	Snimac_2	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J6	Snimac_3	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
J7	Snimac_4	MTA02-156	1X2MTA	con-amp
LED1	RED	LEDSQR2X5	LED2X5	led
LED2	GREEN	LEDSQR2X5	LED2X5	led
R1	1M	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R2	50R	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R3	50R	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R4	10k	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R5	10k	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R6	10k	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R7	10k	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
R8	10k	SMR-WAV	SMS-WAV	resistor-shunt
SV1		MA03-2	MA03-2	con-lstb