

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## PROCESOREM ŘÍZENÝ ZÁLOŽNÍ ZDROJ

THE POWER SUPPLY CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN HOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

BRNO 2013

Zde vložit originál  
zadání(Případně jeho  
kopii)

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem procesorem řízeného záložního zdroje. Cílem je navrhnout zařízení, kterým bude možno dobíjet mnoho druhů mobilních přístrojů s kapacitou baterie do 2Ah. Hlavním řídicím prvkem bude mikroprocesor, který bude zaznamenávat data ze zdroje a ukládat je na SD kartu. Při návrhu zařízení je brán zřetel na přenositelnost a odolnost zařízení. Výsledkem práce je kompletně navržený a vytvořený záložní zdroj, včetně řídicího kódu mikrokontroléru.

## **ABSTRACT**

This thesis describes the design of a processor controlled small battery backup power supply. The aim is to design a device which can recharge many kinds of mobile devices with a battery capacity up to 2Ah. The main control element is a microprocessor that records operating data of the power supply and stores in onto an SD card. Portability and durability were taken into account during the design. The result is completely designed and build a backup power supply, including program for its microcontroller.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

USB, akumulátor, nabíjení článků Li-ion, Li-Ion,Li-Pol, DC/DC měnič, mikrokontrolér PIC

## **KEYWORDS**

USB, rechargeable battery, charging Li-Ion, Li-Pol, DC / DC converter, microcontroller PIC

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Procesorem řízený záložní zdroj“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# Poděkování

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

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# OBSAH

|        |                                             |    |
|--------|---------------------------------------------|----|
| 1.     | Úvod.....                                   | 8  |
| 2.     | Problematika a způsob řešení .....          | 9  |
| 3.     | Technický popis.....                        | 10 |
| 3.1    | Rozhraní USB.....                           | 10 |
| 3.1.1  | USB 1.1.....                                | 10 |
| 3.1.2  | USB 2.0.....                                | 10 |
| 3.1.3  | USB 3.0.....                                | 10 |
| 3.1.4  | Topologie a způsoby propojení USB .....     | 10 |
| 3.2    | Akumulátory.....                            | 12 |
| 3.2.1  | Niklkadmiové akumulátory (NiCd) .....       | 12 |
| 3.2.2  | Niklmetalhydridové akumulátory (NiMH) ..... | 12 |
| 3.2.3  | Lithiové akumulátory .....                  | 12 |
| 3.2.4  | Srovnání typů baterií .....                 | 13 |
| 3.3    | Spínané zdroje.....                         | 14 |
| 3.3.1  | Obvody bez indukčnosti.....                 | 15 |
| 3.3.2  | Step-Down měnič.....                        | 15 |
| 3.3.3  | Invertor .....                              | 15 |
| 3.3.4  | Step-Up měnič.....                          | 16 |
| 4.     | Návrh HW.....                               | 17 |
| 4.1    | Blokové schéma .....                        | 17 |
| 4.2    | Nabíjecí obvod .....                        | 18 |
| 4.3    | Snímací odporový dělič .....                | 19 |
| 4.4    | Spínací prvky .....                         | 20 |
| 4.5    | Měření kapacity .....                       | 21 |
| 4.6    | Indikace stavu .....                        | 23 |
| 4.7    | Zdroj mikrokontroléru.....                  | 23 |
| 4.8    | Návrh výstupního spínaného zdroje .....     | 24 |
| 4.9    | Mikrokontrolér.....                         | 25 |
| 4.10.2 | FW mikrokontroléru.....                     | 25 |
| 4.10.1 | Moduly časovače a čítače .....              | 26 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 4.10.3SD karta .....                         | 26 |
| 4.10.4 Hodiny reálného času .....            | 27 |
| 4.10 Konstrukce a návrh plošného spoje ..... | 28 |
| 4.11.1 Návrh schématu .....                  | 28 |
| 4.11.2Návrh plošného spoje .....             | 28 |
| 4.12 Konstrukce krabičky .....               | 29 |
| 5. Měření vlastností záložního zdroje .....  | 30 |
| 5.1 Nabíjecí obvod .....                     | 30 |
| 5.2 Výstupní měnič.....                      | 31 |
| 5.3.1 Zatěžovací charakteristika měniče..... | 31 |
| 5.3.2 Zvlnění výstupního napětí.....         | 32 |
| 5.3.3 Účinnost výstupního měniče .....       | 33 |
| 6. Závěr .....                               | 34 |
| 7. Citovaná literatura .....                 | 35 |
| 8. Seznam symbolů, veličin a zkratk .....    | 37 |
| 9. Seznam příloh .....                       | 38 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 Druhy konektorů USB(Obrázky převzaty z [6]) .....                    | 11 |
| Obr. 2 Průběh nabíjení Li-ion akumulátoru s obvodem BQ2057C [9].....        | 13 |
| Obr. 3 Blokové schéma spínaného zdroje .....                                | 14 |
| Obr. 4 Step-down měnič (Obrázek převzatý z [12]) .....                      | 15 |
| Obr. 5 Invertor (Obrázek převzatý z [12]).....                              | 16 |
| Obr. 6 Step-Up měnič (Obrázek převzatý z [12]).....                         | 16 |
| Obr. 7 Blokové schéma mobilního zdroje.....                                 | 17 |
| Obr. 8 doporučené Schéma zapojení s BQ2057 [14].....                        | 19 |
| Obr. 9 Odporový dělič s filtračním kondenzátorem .....                      | 19 |
| Obr. 10 Schéma zapojení spínačů.....                                        | 21 |
| Obr. 11 Vnitřní zapojení obvodu LTC4150 [16] .....                          | 21 |
| Obr. 12 Vnitřní schéma obvodu LTC4150 [16] .....                            | 22 |
| Obr. 13 Zapojení TC1014 doporučené výrobcem (převzato z [17]) .....         | 24 |
| Obr. 14 Zapojení LT1308 doporučené výrobcem (převzato z [18]).....          | 24 |
| Obr. 15 zapojení mikrokontroléru .....                                      | 27 |
| Obr. 16 Návrh popisu předního panelu .....                                  | 29 |
| Obr. 17 Průběh napětí a proudu při nabíjení .....                           | 30 |
| Obr. 18 Zatěžovací charakteristika .....                                    | 31 |
| Obr. 19 Zvlnění výstupního napětí měniče při výstupním napětím 5,16 V a ... | 32 |
| Obr. 20 Závislost účinnosti na výstupním proudu .....                       | 33 |

# 1. ÚVOD

V dnešní době je na trhu velké množství mobilních přístrojů, jako jsou chytré telefony, fotoaparáty, digitální kamery, notebooky, navigační zařízení, atd. Tyto přístroje v sobě obsahují zdroje napětí na několik hodin aktivního provozu bez dalšího dobíjení. Pohybujeme-li se s těmito přístroji v dosahu spotřebitelské sítě, můžeme je dobíjet kdykoli během dne. Pokud tuto možnost nemáme, např. používáme-li tyto přístroje v přírodě, musíme řešit otázku náhradního zdroje. Používáme-li jeden přístroj, např. mobil, můžeme si s sebou brát náhradní nabitou baterii. Používáme-li více přístrojů, je lepší vzít s sebou jeden mobilní zdroj elektrické energie, kterým dobijeme všechny používané přístroje.

Cílem semestrálního projektu je sestavení záložního zdroje, kterým bude možno dobíjet co nejvíc druhů mobilních zařízení. Bude brán důraz na minimální rozměry a odolnost zařízení. V druhé části budete seznámeni se současným trendem výrobců mobilních zařízení. Ve třetí části budou shrnuty současné možnosti řešení důležitých částí záložního zdroje. Mezi ně patří konektory, měniče elektrické energie a akumulátory. V další části se seznámíte s blokovým návrhem záložního zdroje, kde budou jednotlivé bloky popsány. Na konci práce budou zveřejněny naměřené údaje, zhodnocení návrhu a případně další nápady jak dále vylepšit toto zařízení.



## **2. PROBLEMATIKA A ZPŮSOB ŘEŠENÍ**

Většina starších mobilních zařízení se nabíjí pomocí různých adaptérů, které přeměňují střídavé napětí na stejnosměrné napětí o velikosti jednotek až desítek voltů. Každý výrobce zvolil nejvhodnější velikost napájecího napětí a vyrobil pro svoje zařízení vlastní napájecí adaptér. Adaptéry se liší typy konektorů pro připojení mobilních zařízení, velikostí výstupního napětí i typem národní zástrčky. Velké množství různých adaptérů s sebou přináší problém, jak pro samotné uživatele, tak i pro výrobce univerzálních zdrojů. Výrobci univerzálních zdrojů musí svá zařízení vybavit mnoha druhy napájecích konektorů a zařízení navrhnout tak, aby bylo možno měnit parametry nabíjecího napětí v závislosti na typu nabíjeného mobilního zařízení. Tím se zvyšuje cena zařízení, hmotnost a množství příslušenství.

V dnešní době převládá snaha velkých výrobců sjednocovat nabíjecí adaptéry. V roce 2009 došlo k dohodě mezi velkými výrobci mobilních telefonů a Evropskou unií o standardizaci konektoru pro nabíjení mobilní telefonů [1][2]. Standardem se stal konektor USB. Velkou výhodou tohoto řešení je, že stejný konektor je možno použít i pro datové přenosy a dají se jím připojit k mobilnímu zařízení i další externí příslušenství. Rozhodl jsem se proto použít rozhraní USB jako první referenční bod, od kterého se bude dál odvíjet návrh záložního zdroje

## **3. TECHNICKÝ POPIS**

### **3.1 ROZHRAŇÍ USB**

USB (Universal Serial Bus) rozhraní, což v překladu znamená univerzální sériová sběrnice, vzniklo ve spolupráci firem Compaq, Hewlett-packard, Intel, Lucent, Nec Microsoft a Philips a mělo sloužit jako náhrada za sériový port RS-232. Specifikace pro rozhraní USB 1.0 byly navrženy v roce 1995. Toto rozhraní se dočkalo rozšíření až v roce 1998, kdy bylo použito jako jediné periferní rozhraní na počítači iMac. V dalších letech se rozhraní USB dále vyvíjelo [3][4][5].

#### **3.1.1 USB 1.1**

Ve verzi USB 1.1 byly přenosové rychlosti označovány jako Low-Speed s přenosovou rychlostí dat 1,5 Mbit/s. Poté byla rychlost zvýšena na Full-Speed s rychlosti přenosu dat 12 Mbit/s [3].

#### **3.1.2 USB 2.0**

Verze USB 2.0 byla veřejnosti představena v roce 2000. Je kompatibilní s původní verzí USB 1.1, ale navíc umožňuje novou Hi-speed přenosovou rychlost 480M bit/s. Díky tomu bylo možné k rozhraní připojit více druhů zařízení vyžadujících vyšší přenosové rychlosti dat [3][4].

#### **3.1.3 USB 3.0**

Poslední verze USB byla představena v roce 2008. Využívá 8 vodičů, a proto musí mít nové typy konektorů. Ty umožňují připojit zařízení s USB 2.0 do nových konektorů, ale připojit konektor USB 3.0 do USB 2.0 nejde. Tento nový protokol umožňuje rychlost komunikace až 5Gbit/s. S touto verzí se taky objevily názory, že by šlo nejen zvýšit odebíraný proud nad 1.5A, ale i zvýšit napětí na 12V případně 24V v závislosti na požadavcích připojeného zařízení. Tato verze USB však ještě není tolik rozšířená, proto se dál zaměřím na verzi USB 2.0. [3]

#### **3.1.4 TOPOLOGIE A ZPŮSOBY PROPOJENÍ USB**

USB začíná u kořenového rozbočovače. Ten představuje nejvyšší úroveň celé topologie. K němu jsou dál připojovány rozbočovače nebo koncová zařízení. USB rozbočovač má za úkol zvýšit počet přípojných míst, tzv. portů. Díky tomu můžeme k jedinému USB kořenovému rozbočovači připojit více zařízení najednou. Tímto způsobem lze za sebou připojit maximálně 5 rozbočovačů. Na každém z nich nalezneme dva druhy konektorů. Pro připojení z nižší úrovně na vyšší slouží konektory Upstream. V názvech USB konektorů je poznáme podle písmene A. Pokud připojujeme koncové zařízení z nižší úrovně, použijeme konektory typu Downstream. Poznáme je podle písmene B.



**OBR. 1 DRUHY KONEKTORŮ USB(OBRÁZKY PŘEVZATY Z [6])**

USB 2.0 využívá pro svoji funkci 4 vodiče. První vodič přivádí stejnosměrné napětí +5V a je označen červenou barvou. Druhý a třetí vodič jsou datové a jsou pojmenovány DATA- (bílá barva) a DATA+ (zelená barva). Zprostředkovávají komunikaci na základě rozdílového napětí mezi vodiči. Díky tomu má USB sběrnice velkou odolnost proti rušení přenosu dat. Poslední vodič představuje zem a je spojený se stínícím krytem konektoru. Při prvním připojení koncového zařízení k počítači protéká USB rozhraním proud o maximální velikosti 100 mA. Po spárování obou zařízení se zvýší maximální protékající proud na hodnotu 500 mA. V případě připojení k tvrdšímu zdroji elektrické energie, například k adaptéru do sítě, můžeme odebírat proud až 1.5A.

## 3.2 AKUMULÁTORY

Akumulátor funguje na principu vratného elektrochemického procesu. Akumulátory jsou schopny do sebe přijímat elektrickou energii, přičemž dochází k chemické změně na aktivních částech elektrod a k přeměně elektrické energie na energii chemickou. Při vybití dochází k opačnému procesu a akumulátor dodává elektrickou energii. Akumulátory se liší elektrochemickým systémem. Existují niklkadmiové, niklmetalhydridové, lithiové, atd. Jejich srovnání vidíme v Tab. 1.

### 3.2.1 NIKLKADMIOVÉ AKUMULÁTORY (NiCd)

Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody je hydroxid nikelnatý a zápornou elektrodu tvoří hydroxid kademnatý. Mezi nimi je elektrolyt tvořený hydroxidem draselným a vodou.

Niklkadmiové akumulátory se nabíjejí v režimu trvalého proudu. Při normálním dobíjení se doporučuje dobíjet proudem  $0,1 I_t$ . V případě rychlého dobíjení můžeme dobíjet proudem až  $1 I_t$ . Způsobů zjišťování plného nabití těchto článků je několik. Mezi nejznámější způsob patří pokles napětí o 5 mV při plném nabití. Tento jev nastává při dosažení napětí 1,3V na článek. Za vybitý článek se považuje hodnota 1-0,8V. Mezi výhody niklkadmiových akumulátorů patří odběr velmi vysokých proudů, výborné mechanické vlastnosti a jejich velká spolehlivost. Mezi nevýhody těchto baterií patří paměťový efekt, špatný poměr uchované energie k hmotnosti a obsah jedovatého kadmia. [7]

### 3.2.2 NIKLMETALHYDRIDOVÉ AKUMULÁTORY (NiMH)

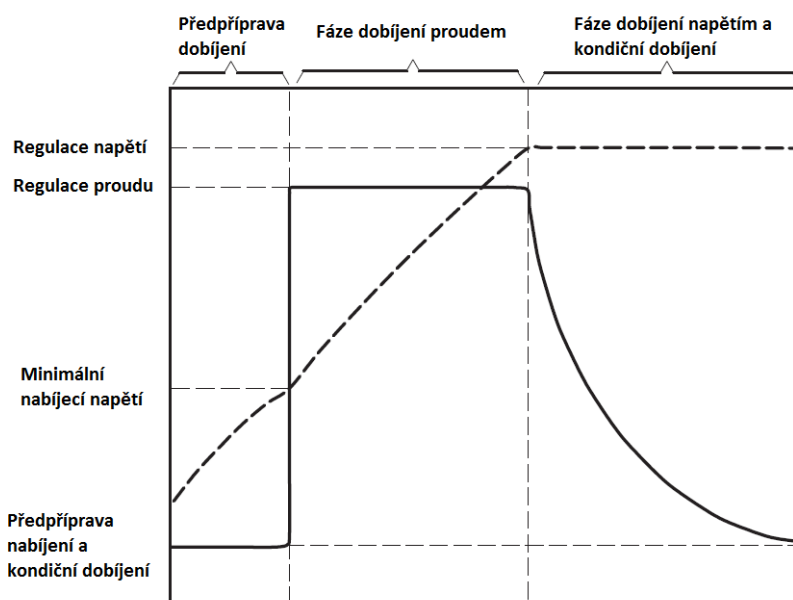
Niklmetalhydridové akumulátory mají stejnou konstrukci jako niklkadmiové akumulátory, ale místo kadmia zde bylo použito slitiny kovu, a proto nejsou jedovaté.

Niklmetalhydridové akumulátory mají stejné režimy nabíjení jako niklkadmiové akumulátory, proto je možná jejich záměna v aplikacích. Výhodou niklmetalhydridových akumulátorů je jejich nízká zátěž pro životní prostředí, absence paměťového efektu a větší měrná kapacita oproti niklkadmiovým akumulátorům. Mezi nevýhody patří samovybití, větší vnitřní impedance a malý počet cyklů nabíjení. Některé nevýhody se však podařilo potlačit u speciálních typů akumulátorů. [8]

### 3.2.3 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY

Lithiové akumulátory mají dnes mnoho různých podskupin, které mají různé elektrochemické aktivní složky. Pro většinu těchto baterií se používá zkratka Li-ion. Lithiové akumulátory se nabíjejí metodou konstantního proudu následovaného konstantním napětím. Postup nabíjení vidíme na Obr. 2 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, kde plná čára představuje proud a čárkovaná čára napětí. Pracovní rozsah lithiových akumulátorů je v rozmezí 2,7-4,2 V. Při jeho překročení v obou směrech

dochází k poškození akumulátoru, kdy dochází k nevratným chemickým změnám. Změny se projeví ztrátou kapacity akumulátorů, maximálním vybíjecím proudem. Mezi jejich výhody těchto akumulátorů patří vyšší počet nabíjecích cyklů, nízké samovybíjení a vyšší pracovní rozsah. Mezi nevýhody patří jejich reakce na přebíjení a nadměrné vybití a s tím související nutnost použití ochranných obvodů.



OBR. 2 PRŮBĚH NABÍJENÍ LI-ION AKUMULÁTORU S OBVODEM BQ2057C [9]

### 3.2.4 SROVNÁNÍ TYPŮ BATERIÍ

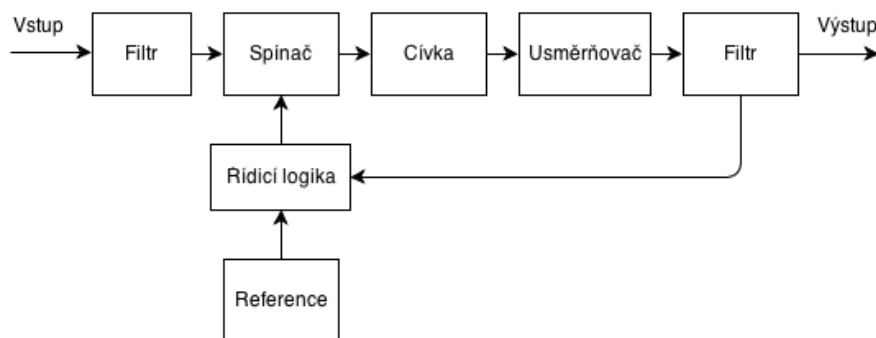
Srovnání parametrů jednotlivých typů baterií vidíme v Tab. 1. Při pohledu do tabulky zjistíme, že největší kapacitu v závislosti na objemu mají baterie Li-on. Vynikají také větším pracovním napětím a lepším poměrem uložené energie k hmotnosti. Přesto, že lithiové baterie kladou vyšší nároky na nabíjení a samotnou svoji ochranu, rozhodl jsem se použít je v mnou navrhovaném zdroji.

TAB. 1 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ MEZI RŮZNÝMI DRUHY AKUMULÁTORŮ (PŘEVZATO Z [10])

| Parametr                                   | NiCd    | NiMH    | Li-ion             |
|--------------------------------------------|---------|---------|--------------------|
| Pracovní rozsah napětí [V]                 | 0,9-1,3 | 0,9-1,3 | 2,7-4,2            |
| Měrná kapacita hmot. [Wh/kg]               | 45-80   | 60-120  | 100-135            |
| Rychlé dobíjení [h]                        | 1h      | 2-4h    | <1h                |
| Tolerance přebíjení                        | Střední | Nízká   | Okamžité poškození |
| Uložená energie při velikosti 4/3AF. [mWh] | 2400    | 5400    | 7200               |
| Počet cyklů                                | 1000    | 300-500 | 500-1000           |
| Střední vybíjecí proud [C]                 | 1       | 0,5     | 10                 |
| Pulzní vybíjecí proud [C]                  | 20      | 5       | 30                 |
| Samovybíjení 20°C [%/měsíc]                | 20%     | 30%     | <10%               |

### 3.3 SPÍNANÉ ZDROJE

Spínané zdroje se skládají z několika základních bloků. Schéma vidíme na obr.3. V případě jiné topologie zapojení jsou některé bloky vynechány, případně přidány. Všechny spínané zdroje se napájejí stejnosměrným napětím. Pokud vyžadujeme napájení ze střídavého napětí, umístíme před zdroj usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem. Pro zabránění pronikání rušení do vstupního napětí můžeme umístit na vstup filtrační bloky.



OBR. 3 BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNANÉHO ZDROJE

Nejdůležitější částí celého spínaného zdroje je tranzistor, který pracuje jako spínač. Tranzistor převádí stejnosměrné napětí na střídavé napětí s kmitočty od desítek kHz až po MHz. Za tranzistorem se vytváří střídavý obdélkový průběh napětí. Napětí je dále transformováno pomocí indukčnosti nebo transformátoru. Výstupní střídavé napětí je nutné dále usměrnit a vyfiltrovat jeho střídavou složku. To klade velké požadavky na usměrňovací diody, které musí vykazovat krátkou otevírací a zotavovací dobu. Na výstupní filtry nejsou kladeny takové nároky, protože pracují ve vysokém kmitočtu a filtrační účinky jsou vynikající. Výstupní filtry jsou většinou realizovány pomocí LC článků. Zapojením těchto článků za sebou můžeme snížit zvlnění výstupního napětí a docílit ideálního zvlnění.

Všechny spínané zdroje musí obsahovat zpětnou vazbu, která je přiváděna do řídicí logiky spínaného zdroje. Řídicí logika na základě porovnání s referenčními hodnotami řídí šířku střídavy, kterou je řízena doba otevření tranzistoru [11].

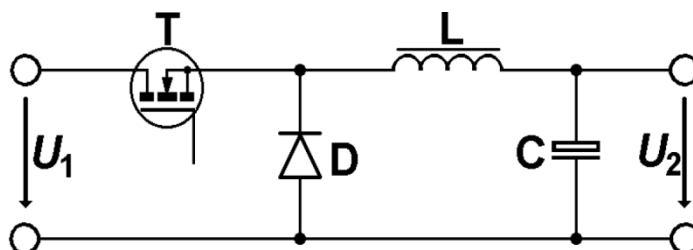
Při výběru topologie musíme uvážit, jak velké výkony chceme přenášet a jaké požadavky máme na váhu a velikost celého obvodu. Většina zapojení s transformátorem vyžaduje velké množství součástek a s tím spojené nároky na prostor a váhu. Při návrhu přenosného zařízení však vyžadujeme minimální rozměry a co nejmenší váhu. Proto se zaměříme především na jednoduché spínané zdroje využívající pouze cívku a kondenzátor.

### 3.3.1 OBVODY BEZ INDUKČNOSTI

Většina spínaných zdrojů využívá principů založených na indukčních jevech. Ve spínaných zdrojích, kde není indukčnost využita, dochází ke konverzi napětí pomocí kondenzátorů. Říkáme jim nábojová pumpa. V zapojení se vyskytuje dvojice kondenzátorů, které jsou prvně připojeny paralelně k vstupnímu napětí a následně zapojeny za sebou. Tím docílíme znásobení výstupního napětí. V tomto zapojení můžeme docílit i investujícího zapojení otočením polarity kondenzátoru. Účinnost tohoto zapojení může dosahovat až k 92%. Výhodou těchto zdrojů je, že díky vhodnému návrhu mohou vyzařovat do okolí menší rušení, než spínané zdroje s cívkou. Nevýhodou jsou velmi malé přenosy výkonu a pouze skoková změna napětí.

### 3.3.2 STEP-DOWN MĚNIČ

Tento typ měniče snižuje vstupní napětí. Jeho zapojení vidíme na Obr. 4. Vstupní napětí  $U_1$  je spínáno tranzistorem. Tranzistor musí být výkonový, protože je namáhán velkými proudy, které přes něj tečou. Tranzistory jsou řízeny z řídicího obvodu pomocí signálu PWM. Při sepnutí tranzistoru začne proud téct přes cívku  $L$  a nabíjí kondenzátor  $C$ . Dokud je tranzistor sepnutý, napětí na kondenzátoru roste. Dioda  $D$  je v závěrném směru. Po rozepnutí tranzistoru  $T$  je v magnetickém toku cívky nahromaděna energie, která nutí dál téct proud cívkou. Tento proud si otevře diodu  $D$  a uzavře se okruh mezi cívkou, kondenzátorem a diodou. Proud procházející cívkou postupně klesá. Poté se děj znovu opakuje. Protože použití tohoto měniče vyžaduje, aby vstupní napětí bylo vyšší než výstupní, nemůžeme toto zapojení použít.

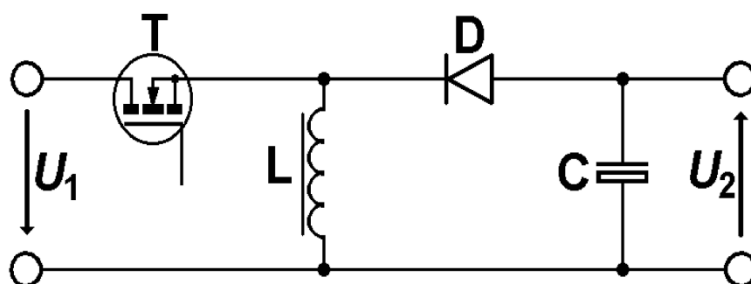


OBR. 4 STEP-DOWN MĚNIČ (OBRÁZEK PŘEVZATÝ Z [12])

### 3.3.3 INVERTOR

V aplikacích, kde vyžadujeme záporné napětí, použijeme invertující měnič. Jeho zapojení vidíme na Obr. 5. Při sepnutí tranzistoru dojde k paralelnímu připojení cívky ke vstupnímu zdroji. V cívce začne růst proud až do okamžiku rozpojení tranzistoru. Doba sepnutí tranzistoru nesmí být příliš dlouhá, aby nedošlo k přesycení jádra cívky, případně aby proud nepřesáhl dovolenou mez. Proud procházející cívkou začne nabíjet výstupní kondenzátor a otevře si přechod v diodě. V tomto okamžiku je tranzistor namáhán součtem vstupního a výstupního napětí. S touto situací musíme počítat při volbě tranzistoru. Proud cívkou postupně klesá, dokud nedojde k opětovnému sepnutí tranzistoru [13]. Použití tohoto měniče by vyžadovalo

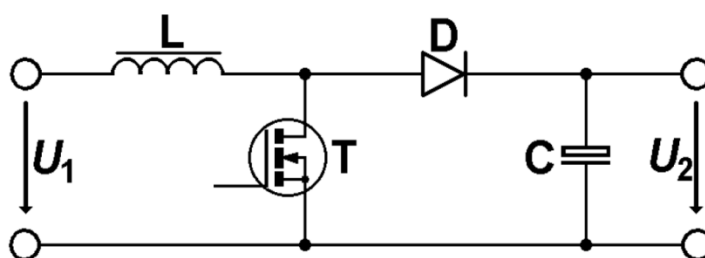
opětovné otočení výstupního napětí na správnou polaritu. Tím by došlo k nežádoucímu zvětšení výstupního spínaného zdroje a zhoršila by se účinnost.



OBR. 5 INVERTOR (OBRÁZEK PŘEVZATÝ Z [12])

### 3.3.4 STEP-UP MĚNIČ

Tento typ měniče naopak zvyšuje výstupní napětí. Jeho zapojení vidíme na Obr. 6. V zapojení došlo k přehození cívky, tranzistoru a diody. V případě, že tranzistor není buzen signálem, můžeme na výstupu naměřit napětí odpovídající vstupnímu napětí minus napětí na otevřené diodě. Sepneme-li tranzistor T, dojde k připojení cívky ke vstupnímu napětí a v cívce začne narůstat proud. Doba sepnutí tranzistoru nesmí být příliš dlouhá, aby nedošlo k přesycení jádra cívky, případně aby proud nepřesáhl dovolenou mez. Po vypnutí tranzistoru začne na cívce růst napětí, které se sčítá s napětím na zdroji  $U_1$ . Pokud toto napětí přesáhne hodnotu napětí  $U_2$ , otevře si cestu přes diodu D a začne dobíjet výstupní kondenzátor.



OBR. 6 STEP-UP MĚNIČ (OBRÁZEK PŘEVZATÝ Z [12])

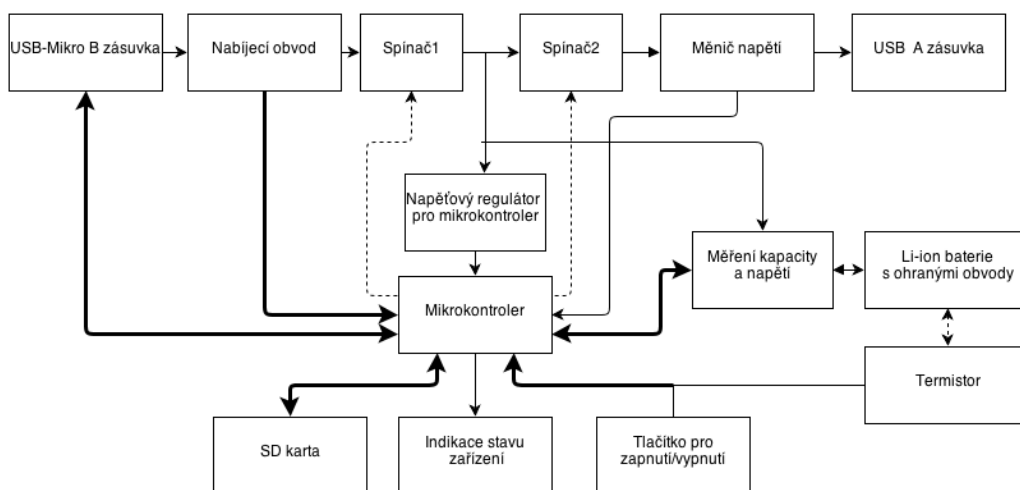
Topologie spínaného zdroje typu step-up splňuje námi požadované nároky, jako jsou plynulé zvětšování výstupního napětí vůči vstupnímu, účinnost až 93% a malé rozměry.



## 4. NÁVRH HW

### 4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA

Blokové schéma jsem navrhnul po teoretickém rozboru technologií, které bylo možné použít. Pro nabíjení a vybíjení zdroje jsem vybral rozhraní USB a pro uchovávání energie jsem se rozhodl pro Li-ion akumulátory. Tímto rozhodnutím jsou dány všechny parametry pro návrh nabíjecího a výstupního měniče v mobilním zdroji. Blokové schéma vidíme na obr. 7.



OBR. 7 BLOKOVÉ SCHÉMA MOBILNÍHO ZDROJE

Základem zapojení je mikrokontrolér, který představuje hlavní řídicí část celého zdroje. Do mikrokontroléru se sbíhají signály a informace o stavu celého zařízení. Mezi ně patří velikost napětí na důležitých prvcích celého zařízení, velikost nabíjecího proudu a měření kapacity bateriích. Tyto informace jsou ukládány na SD kartu, kde jsou uchovávány pro pozdější rozbor. Mikrokontrolér řídí obvod pomocí dvojice tranzistorů MOSFET v zapojení jako spínač. Spínač 1 slouží k ovládání nabíjení vnitřní baterie. Spínač 2 slouží k zapínání výstupního měniče. Stav zařízení je indikován pomocí dvojice LED diod. Celé zařízení má pouze jediné tlačítko sloužící k zapnutí a vypnutí zdroje.

Při návrhu zapojení jsem počítal i s rozšířením funkčnosti zařízení o možnost čtení obsahu SD karty po připojení záložního zdroje k počítači, případně o možnost čtení aktuálních hodnot napětí a proudu v zařízení. Tyto funkce je možné v budoucnu doplnit pouze s úpravou SW v mikrokontroléru bez nutnosti zásahu do zapojení.

## 4.2 NABÍJECÍ OBVOD

Pro nabíjení jsem zvolil zapojení s integrovaným obvodem BQ2057 od firmy Texas Instrument [14]. Doporučené zapojení vidíme na Obr. 8. Popis nabíjení Li-ion akumulátoru je popsán v kapitole 3.2.3 Lithiové akumulátory. Obvod pracuje v rozsahu 4,5-15V a jeho spotřeba činí 4mA při nabíjení a pouze 3μA při nečinnosti. Při dobíjení akumulátoru prochází proud skrz rezistor  $R_{SNS}$ . Tím vzniká na odporu úbytek napětí, který se využívá při řízení nabíjení baterie pro měření nabíjecího proudu.

V případě, kdy nabíjecí obvod pracuje v režimu konstantního proudu, obvod porovnává úbytek napětí na odporu s referencí  $V_{(SNS)} = 105 \text{ mV}$ . Protože velikost referenčního napětí nelze měnit, maximální nabíjecí proud nastavíme pomocí velikosti odporu. Výpočet odporu je popsán v rovnici 4.1, kde  $I_{o(Reg)}$  představuje požadovaný nabíjecí proud. Pro výpočet jsem zvolil hodnotu proudu 500 mA.

$$R_{SNS} = \frac{V_{(SNS)}}{I_{o(Reg)}} = \frac{0,105}{0,5} = 0,21\Omega \quad (4.1)$$

Nejbližší nižší prodáváný odpor má hodnotu  $0,2\Omega$ . Já jsem se rozhodl použít odpor  $R_{SNS} = 0,2\Omega$ . Nový nastavený nabíjecí proud je vypočten v rovnici 4.2.

$$I_{o(Reg)} = \frac{V_{(SNS)}}{R_{SNS}} = \frac{0,105}{0,20} = 0,525A \quad (4.2)$$

Ztrátový výkon na odporu je vypočítán v rovnici 3.3.

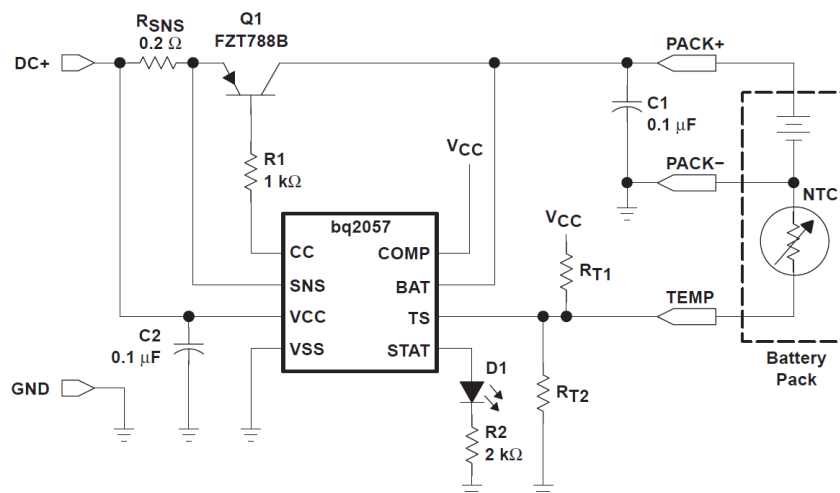
$$P_{ZTRATOVE} = I_{o(Reg)}^2 \cdot R_{SNS} = 0,525^2 \cdot 0,2 = 55,1 \text{ mW} \quad (4.3)$$

V okamžiku, kdy na bateriích bude napětí 4.2V, přejde nabíjecí obvod do režimu konstantního napětí. Toho docílíme pouze postupným snižováním proudu až do minimálního nabíjecího proudu, kdy dojde k přerušení nabíjení samotným nabíjecím obvodem.

Nabíjecí obvod má integrovanou ochranu proti přehřívání Li-ion akumulátoru. Tuto ochranu však bude zastupovat samotný mikrokontrolér, a proto je nutné ji vypnout. Toho je možné dosáhnout přivedením napětí v rozsahu 40-60% napájecího napětí na příslušný vstup. V případě, že použijeme v odporovém děliči oba odpory stejné hodnoty, bude výstupní napětí rovno 50% vstupního napětí. Pro výpočet velikosti odporů v odporovém děliči zvolíme procházející proud odpory  $I_{TS} = 100\mu A$  a hodnotu odporu odporového děliče vypočteme v rovnici 4.4

$$R_{T1} = \frac{\frac{U_{USB}}{2}}{I_{TS}} = \frac{\frac{5}{2}}{0,0001} = 25k\Omega \quad (4.4)$$

Nejbližší vyšší rezistor je  $27k\Omega$ .

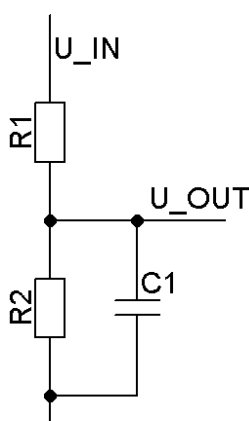


**OBR. 8 DOPORUČENÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ S BQ2057 [14]**

Samotný obvod má možnost signalizovat svůj stav pomocí napětí na pinu STAT, kde se jedná o zapojení CMOS. V případě nabíjení baterií je na tomto pinu napětí z USB. Po ukončení nabíjení je na výstupu připojená zem.

### 4.3 SNÍMACÍ ODPOROVÝ DĚLIČ

A/D převodníky a vstupy mikrokontroléru snímají napětí z různých částí záložního zdroje. Převodníky mohou pracovat v rozsahu 0-3,3V, proto je nutné ostatní napěťové úrovně upravit na tento rozsah. Zároveň se v obvodu vyskytuje velké množství spínaných prvků, které vytvářejí v místech měření nežádoucí vznik šumu a vlnění. Tyto signály je třeba potlačit, aby nedocházelo k výkyvům naměřených hodnot. Nejvýhodnější je metoda odporového děliče, který je upraven přidáním kondenzátoru paralelně ke spodnímu odporu. Schéma vidíme na obr.9.



**OBR. 9 ODPOROVÝ DĚLIČ S FILTRAČNÍM KONDENZÁTOREM**

V případě, že hodnota obou odporů bude stejná, bude dosaženo dělicího poměru vstupního napětí vůči výstupnímu 2:1. Tím je dosaženo požadovaného zeslabení vstupního napětí. Případné dělení 2 je i vhodné pro pozdější výpočty v mikrokontroléru. Aby na snímacím odporovém děliči nedocházelo k zbytečným ztrátám, zvolil jsem hodnotu obou odporů 100 kΩ. Protože při dalším zpracování nás bude zajímat pouze jeden vzorek napětí za 10s, musíme zaručit, aby co nejvíc odpovídal střední hodnotě vstupního napětí. Zvolil jsem proto nejnižší mezní frekvenci, kterou RC filtr propustí, na 20 kHz. Pro výpočet použijeme vzorec pro výpočet mezní frekvence RC filtru. Hodnotu kondenzátoru vypočteme v rovnici 4.5.

$$C = \frac{1}{2\pi R_1 f_0} = \frac{1}{2\pi 100\text{k}\Omega 20\text{kHz}} = 79,6\text{pF} \quad (4.5)$$

Rozhodl jsem se použít kondenzátor s kapacitou 100pF. Tím dojde k ještě většímu poklesu mezní frekvence a sníží se nežádoucí zvlnění měřeného signálu.

#### 4.4 SPÍNACÍ PRVKY

Oba spínací prvky v mém návrhu jsou stejné a mají i stejné zapojení, proto stačí popsat jenom jeden z nich. Pro řízení proudu v obvodu jsem se rozhodl použít unipolární tranzistor ve funkci spínače. Řízení proudu dosáhneme, pokud tranzistor pracuje buď v saturační oblasti, kdy je sepnut a má odpor v desítkách mΩ, nebo v závěrné oblasti, kdy je jeho odpor v jednotkách či desítkách megaΩ.

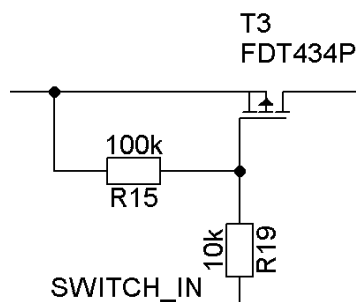
V případě spínání kladného napětí musíme zvolit tranzistor MOSFET s kanálem typu P. Zvolil jsem tranzistor FTD434P, který pracuje až do napětí  $V_{DDS} = -20\text{V}$  a stálého proudu  $I_d = -3\text{A}$ . Jeho odpor při  $U_{GS} = -4,5\text{V}$  je  $R_{DS(ON)} = 50\text{ m}\Omega$ . Díky malému odporu při sepnutí nebude docházet ke zbytečným ztrátám v sepnutém stavu. Ztrátový výkon a předpokládaný úbytek napětí při předpokládaném maximálním procházejícím proudu 1,5A je vypočten v rovnicích 4.6 a 4.7.

$$U_{DS} = I_{\max} \cdot R_{DS(ON)} = 1,5 \cdot 0,05 = 0,075\text{ V} \quad (4.6)$$

$$P_{ZTRATOVE} = I_{\max}^2 \cdot R_{DS(ON)} = 1,5^2 \cdot 0,05 = 0,112\text{ W} \quad (4.7)$$

Tento ztrátový výkon je nutné odvést z tranzistoru, proto při návrhu plošného spoje musíme vytvořit kolem tranzistoru dostatečnou chladicí plochu.

Schéma zapojení tranzistorů vidíme na obr. 9. V případě sepnutí tranzistoru je řídicí vstup připojen k nulovému napětí. Tím dojde k přivedení záporného napětí na Gate tranzistoru a jeho sepnutí. Pro rozepnutí tranzistoru stačí pouze přepnout pin mikrokontroléru do stavu vysoké impedance. Poté přestane odporem R19 procházet proud a rozdíl napětí mezi elektrodami Gate a Source minimálním. Dojde k uzavření tranzistoru.



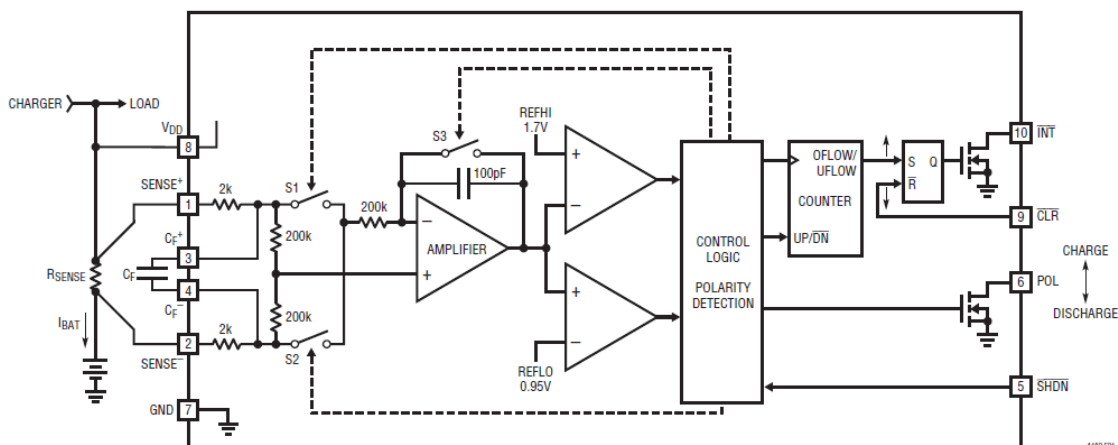
OBR. 10 SCHÉMA ZAPOJENÍ SPÍNAČŮ

## 4.5 MĚŘENÍ KAPACITY

Hodnota uchované energie v akumulátorech se měří podle velikosti v nich uloženého elektrického náboje. Jednotkou elektrického náboje je 1 coulomb [C]. Protože si pod tímto označením můžeme těžko představit množství uchované elektrické energie, užívá se pro množství náboje v baterii jednotka ampérhodina [Ah]. 1 Ah je definována jako náboj, který dodá baterie do obvodu při konstantním odběru proudu 1A po dobu 1 hodiny. Většinou ale vidíme na bateriích pro mobilní zařízení hodnoty v mAh [15]. Převodní vztah mezi těmito veličinami je vyjádřen rovnicí 4.8 a je odvozen z technické dokumentace výrobce [16].

$$1 \text{ Ah} = 1000 \text{ mAh} = 3600 \text{ C} \quad (4.8)$$

Pro měření elektrického náboje v bateriích se využívají samostatné obvody, které měří procházející proud za čas a převádějí jej na impulzy. Já jsem zvolil obvod LTC5140. Tento obvod vyniká svojí minimální spotřebou, velkou citlivostí a jednoduchostí zapojení.

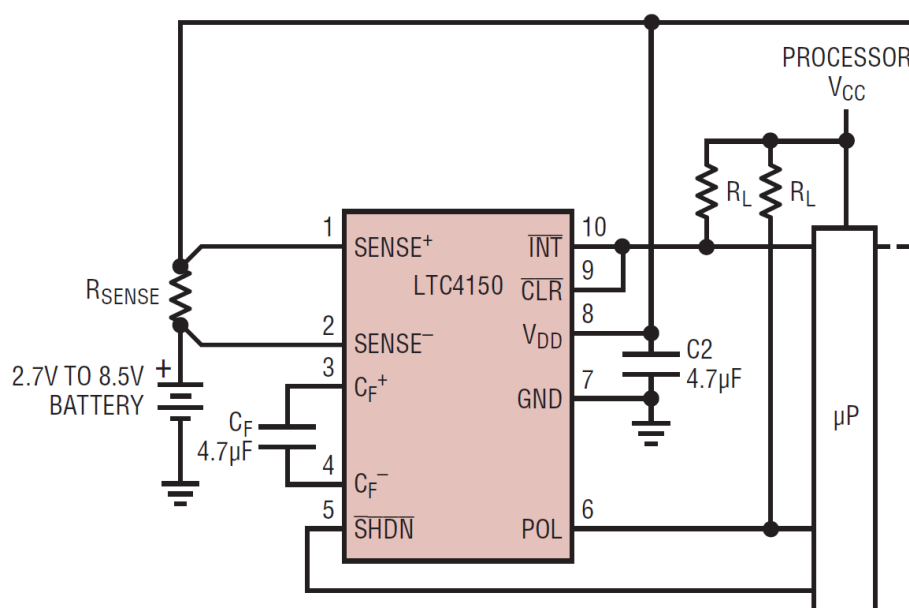


OBR. 11 VNITŘNÍ ZAPOJENÍ OBVODU LTC4150 [16]

Obvod snímá úbytek napětí na odporu Rsense. K odporu je paralelně připojen filtrační kondenzátor, který odstraňuje napěťové špičky, šum a prudké změny při začátku nabíjení. Napětí je přivedeno na vstup integračního členu přes spínače S1 a

S2. Spínače se přepnou po dosažení jedné z referenčních hodnot Refhi a Reflo. Počet těchto přepnutí je převeden na vstup před děliče. Před dělič vstupní impulzy podělí hodnotou 1024. Následně je k mikropočítači vyslán impuls přes pin INT, který je doplněn signálem z pinu POL. Signál na pinu POL nám říká, jestli se jedná o dobíjení nebo vybíjení baterie. Obvod má pouze jeden vstupní pin SHDN. Přivedením napětí vyšším než 1,9 V dojde k vynulování před děliče a přepne celý obvod do stavu spánku, kdy je spotřeba celého obvodu pouze 1,5μA

Zvolené zapojení odpovídá zapojení doporučenému výrobcem pro případ, kdy je velikost napájecího napětí rozdílná od napětí mikrokontroléru.



**OBR. 12 VNITŘNÍ SCHÉMA OBVODU LTC4150 [16]**

Hodnota odporu  $R_{sense}$  se vypočítá podle rovnice 4.9, kde za hodnotu  $I_{max}$  dosadíme námi zvolený proud 1A.

$$R_{SENCE} = \frac{50mV}{I_{MAX}} = \frac{50mV}{1A} = 0,05\Omega \quad (4.9)$$

Z vypočtené hodnoty snímacího odporu můžeme vypočítat, jak velkou kapacitu akumulátoru představuje jediný impuls. Ten vypočteme v rovnici 4.10.

$$1 \text{ impuls } INT = \frac{1}{3600 \text{ } GVF \text{ } R_{SENCE}} = \frac{1}{3600 * 32,55 * 0,05} = 0,17mAh \quad (4.10)$$

Tuto hodnotu dále využijeme k výpočtu kapacity z naměřených údajů.

Hodnotu odporu  $R_L$  vypočteme pomocí rovnice udávané výrobcem. Odpor vychází z maximálního proudu, který může procházet piny INT a CLR. Hodnotu odporu  $R_L$  vypočteme v rovnici 4.11.

$$R_L > \frac{(V_{cc}-0,5V)}{1,6mA} = \frac{4,2-0,5}{0,0016} = 2312,5\Omega \quad (4.11)$$

Výrobce sám doporučuje hodnotu odporu vyšší než 10 k  $\Omega$ . Rozhodl jsem se pro hodnotu 100 k  $\Omega$ , která se vyskytuje v zapojení nejčastěji.

## 4.6 INDIKACE STAVU

Při používání záložního zdroje stačí uživateli znát pouze přibližný stav kapacity baterie. Stav kapacity baterie signalizují dvě nízké příkonové LED diody zelené a červené barvy. Zelená LED dioda má 2 stavy. Při plném nabití akumulátoru záložního zdroje svítí zelená LED dioda trvale. Pokud bude záložní zdroj dodávat elektrickou energii do koncového zařízení, bude zelená LED dioda blikat. Červené LED diody se rozsvítí v případě nízkého stavu nabití akumulátoru v záložním zdroji.

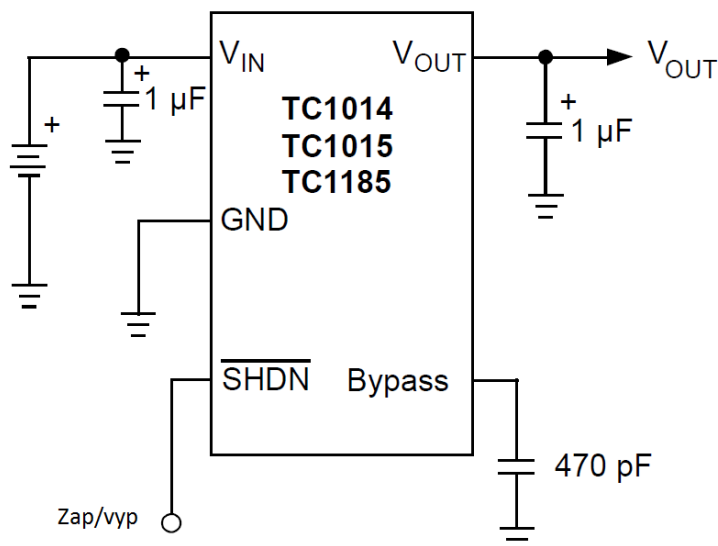
Schéma zapojení LED diody vidíme na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Podle specifikací výrobce mají tyto LED diody svítit při napětí 1,7V a proudu 2mA. Při napájení z 3,3V větve musíme před diody umístit ochranný odpor. Jeho velikost vypočteme v rovnici 4.12.

$$R = \frac{U_{ZDROJE} - U_{LED}}{I} = \frac{3,3 - 1,7}{0,002} = 800\Omega \quad (4.12)$$

Nejbližší vyšší hodnota je 820 $\Omega$

## 4.7 ZDROJ MIKROKONTROLÉRU

Pracovní napětí mikrokontroléru je 3,3V, ale rozsah napětí na bateriích je od 3,5 do 4,2V. Pro bezchybnou funkci mikroprocesoru a jeho periférií, jako jsou A/D převodníky, časovače a sběrnice, je nutné zajistit napětí s co možná nejmenším zvlněním a zároveň dosáhnout toho, aby byl zdroj schopný pracovat i s malým rozdílem napětí. Pro zajištění stabilního napětí pro mikrokontrolér, musíme proto použít regulátor napětí pracující i s malým rozdílem výstupního napětí proti vstupnímu. Z těchto důvodů jsem se rozhodl použít lineární zdroj od firmy Microchip označovaný jako TC1014. Tento obvod se díky svému malému vnitřnímu odběru a malým rozměrům výborně hodí pro mobilní aplikace. Jeho výhodou je i práce s malým rozdílem napětí, který výrobce udává 85mV při odběru 50mA. Další výhodou je minimum externích součástek, které šetří místo na plošném spoji.

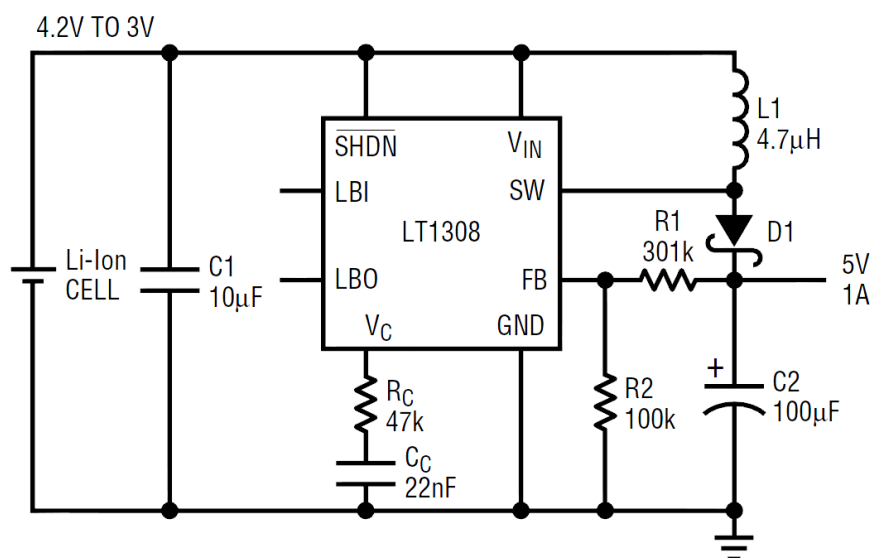


OBR. 13 ZAPOJENÍ TC1014 DOPORUČENÉ VÝROBCEM (PŘEVZATO Z [17])

#### 4.8 NÁVRH VÝSTUPNÍHO SPÍNANÉHO ZDROJE

Výstupní zdroj musí splňovat nejvíc požadavků, které se projeví v jeho návrhu. Jeho vstupní napětí musí být minimálně v rozsahu 3,5-4,2V a musí být schopen dodat na výstupu napětí 5V se zvlněním 500mV, při 0,5A. Pro mobilní aplikace napájené z akumulátorů je taky důležitá velká účinnost zdroje a minimální rozměry.

Rozhodl jsem se pro step-up měnič s obvodem LT1308 od firmy Linear technology. Obvod je výrobcem doporučován jako zdroj 5V při napájení z jednoho Li-ion článku. Mezi jeho další výhody patří nízká vlastní spotřeba a minimum externích součástek. Zvolil jsem zapojení doporučené výrobcem. To vidíme na Obr.14.



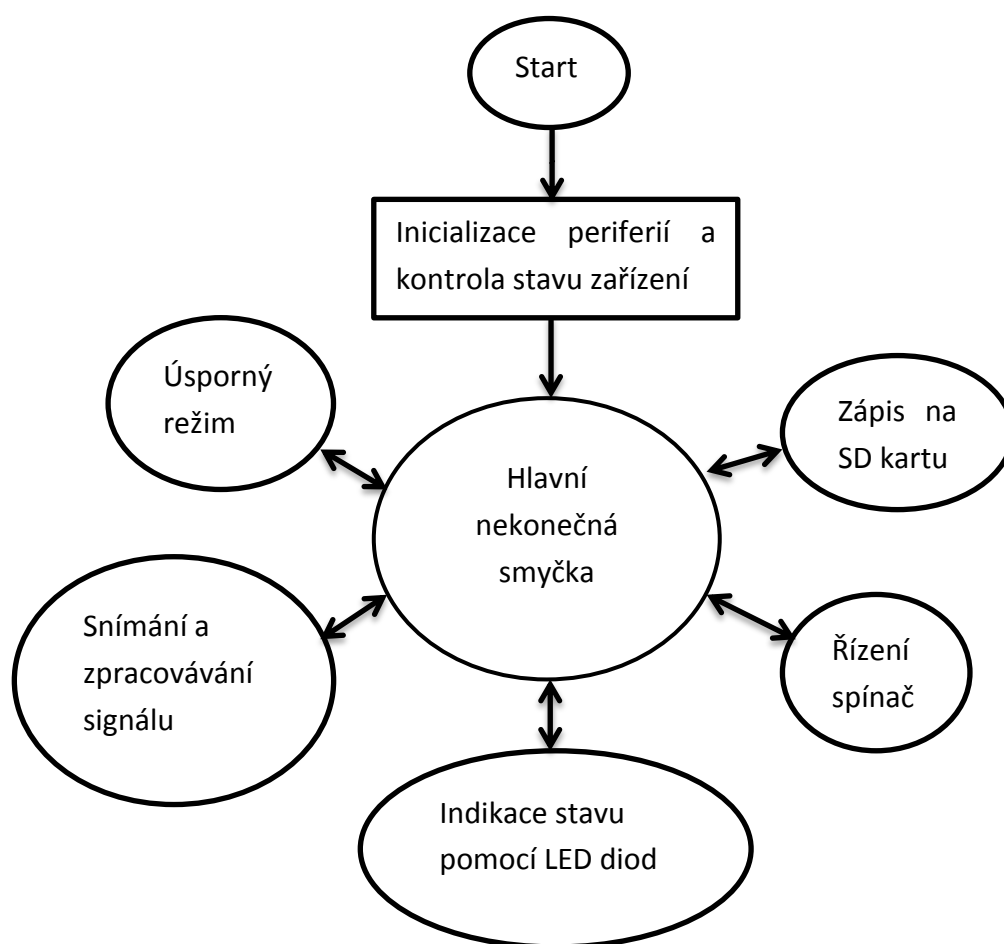
OBR. 14 ZAPOJENÍ LT1308 DOPORUČENÉ VÝROBCEM (PŘEVZATO Z [18])



## 4.9 MIKROKONTROLÉR

Pro tuto práci jsem vybral mikrokontrolér PIC18F26J50 od firmy Microchip [20]. Jedná se o osmi-bitový mikrokontrolér s harvardskou architekturou. Hlavním důvodem volby tohoto mikrokontroléru je jeho nízká spotřeba proudu v režimu sleep, která je pouze 105nA, a USB 2.0 rozhraní, díky kterému může mnou navrhovaný záložní zdroj komunikovat s počítačem. Mikrokontrolér pracuje s 3,3V logikou a některé jeho vstupy jsou tolerantní k přivedení 5,5V na vstupu. Piny označené RPxx mohou plnit funkci některé vnitřní periférie. Programová paměť má velikost 64kB typu Flash s životností 100 000 přepsání. Operační paměť má kapacitu 4kB. Pro ukládání naměřených dat a jejich zachování i v případě výpadku napětí je k mikrokontroléru připojena SD karta.

### 4.10.2 FW MIKROKONTROLÉRU



#### 4.10.1 MODULY ČASOVAČE A ČÍTAČE

Mikrokontrolér obsahuje celkem 5 časovačů nebo čítačů. Ty je možno pomocí registrů nastavovat během běhu programu. Funkci těch důležitých zde rozepíšu.

Čítač 0 představuje časovou referenci v případě přechodu zařízení do režimu spánku. V režimu spánku dojde ke kontrole napětí na akumulátorech a vyhodnocení stavu zařízení. V případě, že nejsou nutné zásahy, je mikrokontrolér znova uspán a čeká na přerušení od čítače 0.

Čítač 1 obsahuje 16 bitový registr určený k počítání impulzů na vstupu. Tento modul je použit pro počítání impulzů z obvodů pro měření procházejícího náboje. Výstup z měřiče náboje je připojen přímo na vstup časovače. Impulzy jsou čítány, dokud nedojde k otočení toku proudu u akumulátorů. Načtené impulzy jsou následně porovnány s předchozími hodnotami. Aby nedošlo k možnému přetečení registru časovače, musíme vypočítat maximální možný počet impulzů, které budou představovat maximální kapacitu akumulátoru. Kapacita akumulátoru je celkově 5000mAh. Hodnota jednoho impulzů z měřiče náboje je 0,17mAh. Maximální počet impulzů při nabíjení nebo vybíjení je vypočten v rovnici 4.13.

$$Max\ počet\ imp. = \frac{Kapacita\ baterie}{Jeden\ impulz} = \frac{5000mAh}{0,17mAh} = 29411,76\ impulzů \quad (4.13)$$

Do časovače je možné načíst celkově 65536 impulzů, než dojde k přetečení. To představuje dostatečnou rezervu registrů časovače.

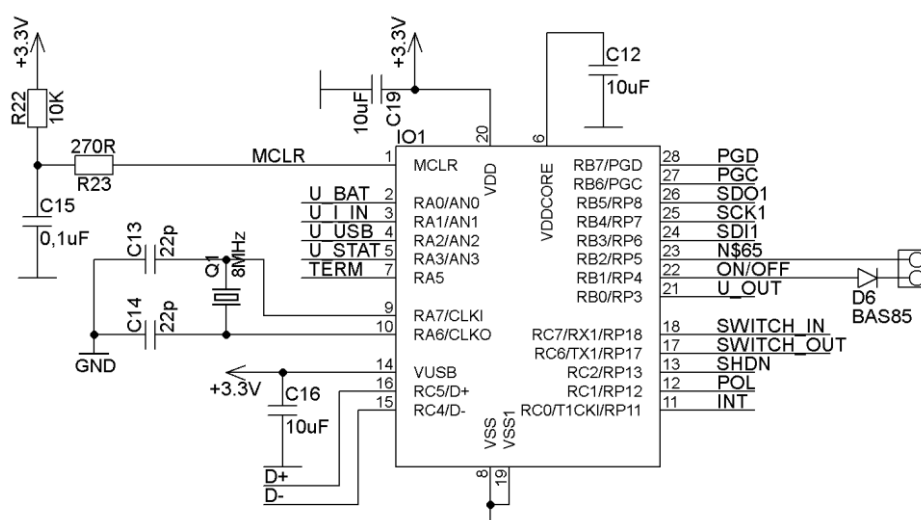
Časovač 2 představuje časovou referenci pro měření z A/D převodníků. Po každém vyvolání přerušení dojde k startu měření A/D převodníku.

#### 4.10.3 SD KARTA

K rozšíření paměti mikrokontroléru a snadnějšímu čtení dat je přidána do zařízení SD karta. Karta umožní zachování uložených dat i v případě výpadku napětí a čtení dat vložení SD karty do počítače. Komunikace mezi mikrokontrolérem a kartou probíhá pomocí rozhraní SPI. Příkazy a data jsou posílány prostřednictvím příkazů CMD. SD karta je ve formátu FAT16. Díky tomu můžeme ukládat naměřená data do textových souborů.

#### 4.10.4 HODINY REÁLNÉHO ČASU

Mikrokontrolér obsahuje modul pro funkci hodin reálného času. Tento modul má funkci alarmu. Každou sekundu dojde k porovnání nastaveného alarmu s aktuálními hodinami. Přerušení vyvolané alarmem představuje časovou referenci 10-ti sekund. Po každém přerušení dojde k uložení aktuálního stavu na SD kartu. Zvýší se tím přehled ukládání dat a jejich archivace.



OBR. 15 ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU

## **4.10 KONSTRUKCE A NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE**

### **4.11.1 NÁVRH SCHÉMATU**

Schéma celého zařízení vychází z návrhu jednotlivých bloků a jejich zapojení podle blokového schématu viz. výše. Schéma je navrženo v programu Eagle 6.2.0, který je dostupný na webových stránkách [cadsoftusa.com](http://cadsoftusa.com).

### **4.11.2 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE**

Při navrhování plošného spoje musíme dodržet nejen schéma celého zařízení, ale i základní pravidla pro tvorbu plošných spojů. Mezi ně patří dodržování izolační vzdálenosti mezi vodiči, dostatečná šířka vodičů v místech předpokládaného velkého proudu a zamezení vyzařování EMI do okolí.

Nejmenší izolační mezeru mezi vývody má obvod LTC 4150 v pouzdře MSOP. Mezera mezi vývody je 0,25 mm a šířka samotného vývodu je 0,25 mm. Plošný spoj musíme navrhnout v konstrukční třídě 5, kdy minimální šířka všech vodivých cest je 0,2mm a nejmenší průměr vrtáků je 0,4mm.

Návrh plošného spoje je v provedení soustavy jednotných vodičů. Tím je zamezeno vzniku vazeb mezi vodiči a zlepšuje se přehlednost obrazce.

Dalším kritériem při návrhu plošného spoje je délka vodivých cest, na kterých dochází k prudkým změnám protékajícího proudu. Dlouhé vodivé cesty mohou vytvořit antény, které by vysílaly do okolí nežádoucí šum, případně by mohly zhoršovat efektivitu spínaných zdrojů. Z tohoto pohledu je kritickým místem zapojení výstupního měniče, kde dochází k prudkým změnám toku proudu. Cesta mezi cívkou, diodou a integrovaným obvodem musí být proto co nejkratší.

#### 4.12 KONSTRUKCE KRABÍČKY

Při volbě krabičky, ve které bude navrhované zařízení uloženo, jsem vycházel z toho, že krabička musí být lehká, pevná a vyrobena z materiálu, který by odolal povětrnostním vlivům. Svoji velikostí musí pak odpovídat velikosti plošného spoje.

Zvolil jsem přístrojovou krabičku s označením 1455J1202 od firmy HAMMOND[21]. Je tvořena hliníkovým tělem, které je na koncích opatřeno plastovými kryty. V jednu z krytů jsem vytvořil otvory pro konektory a indikační diody. Samotné uchycení akumulátorů je tvořeno překližkou tloušťky 1,5mm. Skládá se ze dvou ploch s otvory pro umístění akumulátorů. Aby nedocházelo k velkým průhybům těchto ploch, jsou v prostřední části podepřeny a fixovány podpurnými výztužemi. Všechny úpravy a rozmístění jednotlivých částí záložního zdroje jsou zakresleny ve výkresu, který je součástí příloh.

Na přední stranu záložního zdroje jsem navrhl popisy pro důležité části. Tlačítko je označeno značkou pro zapínání a vypínání zařízení. Označená je i šterbina pro umístění mikro SD karty. Ostatní konektory pro svoji jedinečnost nevyžadují popis funkce.



OBR. 16 NÁVRH POPISU PŘEDNÍHO PANELU

## 5. MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ZÁLOŽNÍHO ZDROJE

V této kapitole se zabývám měřením vlastností záložního zdroje a ověřováním vypočtených hodnot. Protože rozsah naměřených hodnot mikrokontrolérem dosahuje nepřesnosti  $\pm 3,22$  mV, rozhodl jsem se použít měřicí přístroje multimetr RANGE RE95, multimetr UNI-T UT33D a osciloskop Hantek DSO5205B.

### 5.1 NABÍJECÍ OBVOD

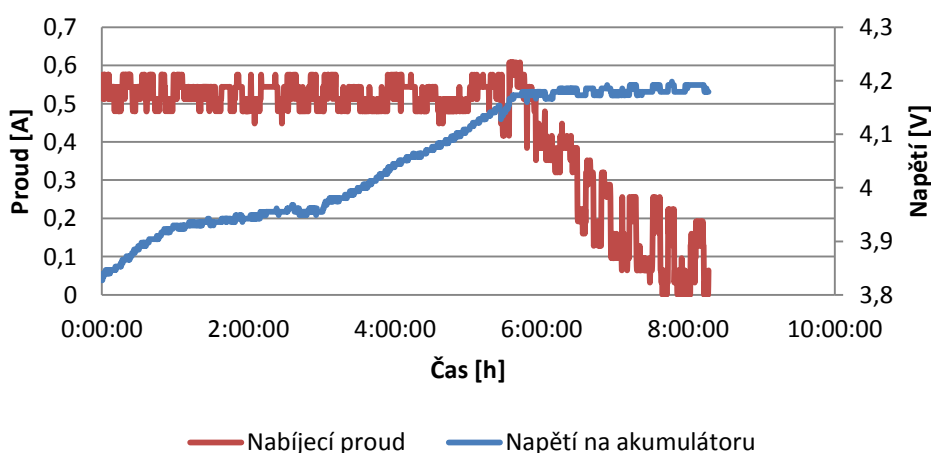
Při návrhu nabíjecího obvodu jsme výpočtem hodnoty snímacího odporu určil maximální nabíjecí proud, kterým budou akumulátory dobíjeny. Vypočtená hodnota proudu byla 0,525 A. Při měření protékajícího proudu jsem použil dva postupy měření. V prvním postupu jsem do obvodu zapojil multimetr RANGE RE95 v režimu ampérmetr, který zobrazoval aktuální hodnotu proudu. Naměřená hodnota byla 0,514 A. Na druhé měření byl použit osciloskop Hantek DSO5205B v režimu MATH, kdy byl měřen úbytek napětí na snímacím odporu nabíjecího obvodu. Naměřená hodnota napětí na snímacím odporu nabíjecího obvodu byla 106mV. Výpočet procházejícího proudu v rovnici 5.1.

$$I_{in} = \frac{U}{R_{ref}} = \frac{0,106}{0,2} = 0,53A \quad (5.1)$$

Z naměřených údajů vidíme, že výpočet snímacího odporu byl správný.

V případě ověřování správného průběhu nabíjení využijeme data uložena na SD kartě. Z nich se díky zapsanému času a velikosti napětí na důležitých místech dá vyčíst průběh proudu a napětí během nabíjení. Tyto průběhy vidíme na obr. 18 a obr. 19. V průběhu dobíjení byl výstupní zdroj odpojen a napětí na akumulátorech před počátek nabíjení byl 3,6 V.

### Průběh napětí a proudu při nabíjení



OBR. 17 PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDU PŘI NABÍJENÍ

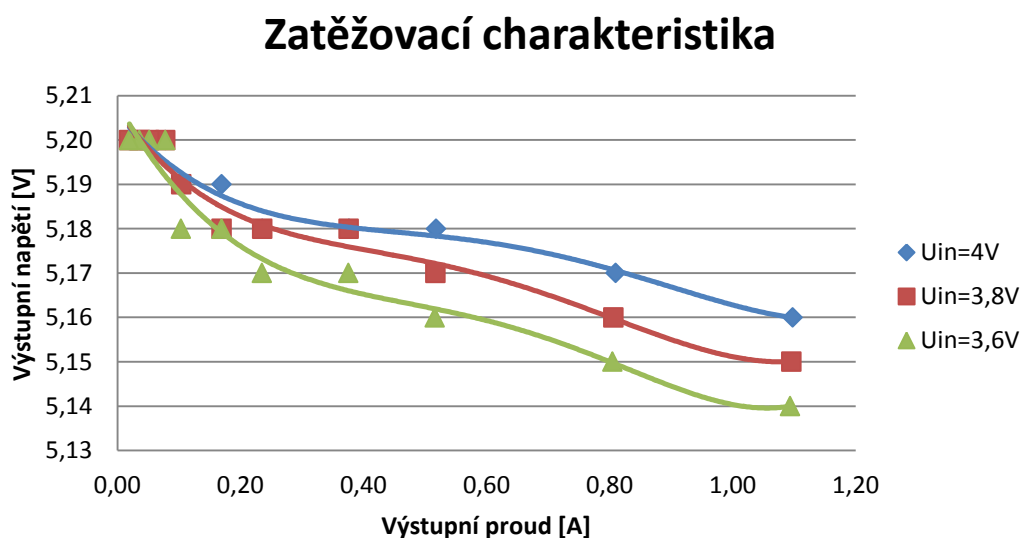
Z průběhu obou grafů můžeme pozorovat, jak dobíjení konstantním proudem, tak následný přechod na dobíjení konstantním napětím. Zároveň vidíme, že doba dobíjení záložního zdroje je přibližně okolo 8 hodin. Tato doba je dána velikostí kapacity akumulátorů a maximálním nabíjecím proudem.

## 5.2 VÝSTUPNÍ MĚNIČ

V této části měření si budeme ověřovat vlastnosti výstupního měniče, což je zatěžovací charakteristiky, výstupní zvlnění a účinnost měniče

### 5.3.1 ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MĚNIČE

Měření probíhalo pomocí výše uvedených měřících přístrojů. Multimetrem RANGE RE95 jsem měřil protékající proud z akumulátorů. Multimetrem UNI-T UT33D měřil napětí na akumulátorech a osciloskopem Hantek DSO5205B měřil výstupní napětí na měniči.



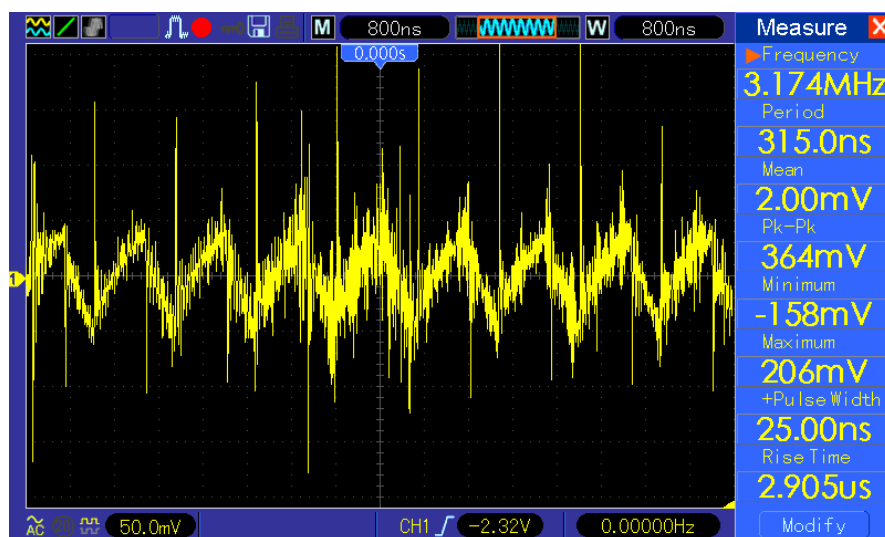
**OBR. 18 ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA**

Z grafu je patrné, že výstupní napětí poklesne až v případě odběru vyšším než 0,2 A. Dále napětí klesne o 0,01 V při změně proudu o 300 mA. Z toho vyplývá, že vnitřní odpor tohoto zdroje je přibližně 33 mΩ.

### 5.3.2 ZVLNĚNÍ VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ

Dalším parametrem výstupního zdroje je zvlnění výstupního napětí. Zvlnění je dáno maximálním dovoleným zvlněním na sběrnici USB, které je  $\pm 0,25\text{V}$ . Je žádoucí, aby zvlnění napětí mělo co nejmenší.

Výstupní zvlnění vidíme na obr. 20. Zde je patrný výskyt napěťových špiček, které vznikají v okamžiku sepnutí/rozepnutí tranzistoru v měniči. Tyto napěťové špičky vznikly špatným postupem při měření. Vznikly z důvodu velké vzdálenosti uzemnění sondy od měřicího místa. Samotné zvlnění napětí se pohybuje v rozmezí  $\pm 50\text{mV}$  od výstupního napětí. Protože však zvlnění výstupního napětí klesá s klesajícím odběrem proudu, předpokládám, že velikost zvlnění bude menší. Toto zvlnění by bylo možné zmenšit přidáním výstupního LC filtru před výstupní pojistku. Tím by ovšem došlo k zhoršení účinnosti výstupního zdroje.

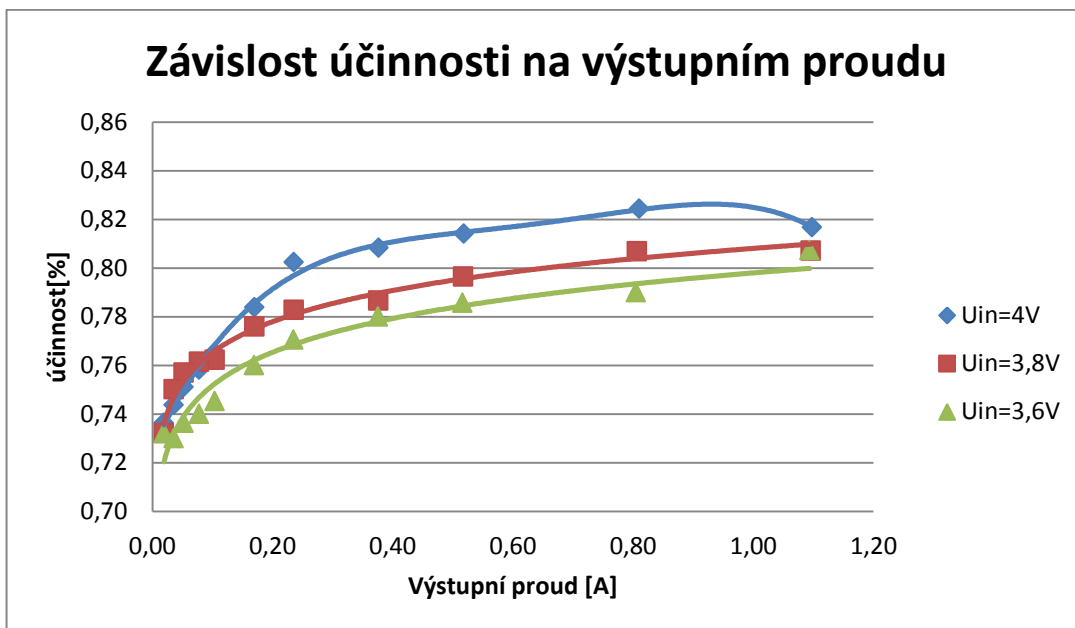


**OB. 19 ZVLNĚNÍ VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ MĚNIČE PŘI VÝSTUPNÍM NAPĚTÍM 5,16 V A ODEBÍRANÉM PROUDU 1,1 A**



### 5.3.3 ÚČINNOST VÝSTUPNÍHO MĚNIČE

Závislost účinnosti výstupního měniče vidíme na obr. 22.



OBR. 20 ZÁVISLOST ÚČINNOSTI NA VÝSTUPNÍM PROUDU

.Při pohledu na graf vidíme, že účinnost výstupního měniče dosahuje k hranici 83% a je mírně závislá na vstupním napětí a odebíraném proudu. Lepší účinnosti by šlo dosáhnout použitím kvalitnějších součástek, případně výměnou diody za tranzistor.

## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a postavit procesorem řízený záložní zdroj pro napájení mobilních aplikací napájených prostřednictvím rozhraní USB. Při návrhu zařízení byl kladen důraz na minimální rozměry zařízení a odolnost.

Při návrhu zařízení jsem vycházel ze způsobu dobíjení současných mobilních zařízení a rozhodl jsem se pro dobíjení a vybíjení prostřednictvím rozhraním USB. Musel jsem vybrat vhodný akumulátor a obvod pro dobíjení. Při výběru baterie jsem brá ohled na měrnou kapacitu akumulátoru a její hmotnost. Vybral jsem dvojice akumulátoru Trustfire s kapacitou 2500mAh a integrovaným ochranným obvodem. Jako nabíjecí obvod jsem zvolil integrovaný obvod BQ2057C, který se stará o správný průběh nabíjení baterie a hlídá maximální napětí na akumulátoru. Pro přesné měření náboje uloženého v akumulátoru, byl vybrán obvod LTC4150. Ten pomocí impulzů posílá do mikrokontroléru informaci náboje tekoucím z/do akumulátoru. Jako výstupní měnič byl vybrán integrovaný obvod LT1308, který je výrobcem doporučen při napájení z jednoho Li-ion akumulátoru.

Jako mikrokontroléru jsem vybral PIC18F26J50 od firmy Microchip. Díky velmi malé spotřebě hodí do aplikací napájených z akumulátoru. Mikrokontrolér představuje hlavní řídicí část celého zařízení. Pomocí signálů vyhodnocuje úroveň nabití akumulátoru, velikost napětí na vstupu a výstupu zařízení a teplotu baterie. Všechny tyto údaje a aktuální čas zaznamenává na SD kartu do textového dokumentu. Mezi další výhody mikrokontroléru patří integrované rozhraní USB, které stačí pouhým doplněním kódu do mikrokontroléru využít ke čtení dat z SD karty.

Celý záložní zdroj je umístěný v hliníkové krabičce s plastovými uzávěry o rozměrech 30x136x81 a hmotnosti 272 g. V té je plošný spoj umístěn v drážkách po boku krabičky a akumulátory v konstrukci z 1,5 mm tlusté překližky. Záložní zdroj je tím umístěn ve velice pevné a odolné krabičce malé hmotnosti

## 7. CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Europa Press Releases: Commission welcomes new EU standards for common mobile phone charger [online]. 2010 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-10-1776\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-1776_en.htm)
- [2] KOČÍ, Mirek. EMPRESA MEDIA A.S. *Pctuning: EU schválila jednotnou nabíječku pro mobily. Vítej microUSB* [online]. 2011 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/component/content/article/1-aktualni-zpravy/19717-eu-schvalila-jednotnou-nabijeku-pro-mobily-vitej-microusb>
- [3] Wikipedia: *Universal Serial Bus*. [online]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Serial\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus)
- [4] Hw.cz: USB 2.0 - díl 1. [online]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-1.html>
- [5] Hw.cz: USB 2.0 - díl 2. [online]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-2.html>
- [6] About USB: C2G. C2G [online]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.cablestogo.com/resources/usb.asp>
- [7] Abeceda baterií a akumulátorů: NiCd akumulátory. BATTEX. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?id=38>
- [8] Nimh-akumulatory: NiCd akumulátory. BATTEX. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2013 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory>
- [9] Battery University: Charging Lithium-ion. CADEX ELECTRONICS INC. *Battery University* [online]. 2013 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- [10] Battery university: Comparison Table of Secondary Batteries. *Battery University* [online]. 2013 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries)
- [11] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I*. Praha: BEN Technická literatura, 1996.
- [12] Ing. Michal Kubíček, Ph.D. *PŘEDNÁŠKA VII*. [Prezentace] Brno : Ústav radioelektroniky FEKT VUT, 2012
- [13] Maxim integrated: DC-DC Conversion Without Inductors. *Maxim integrated: DC-DC Conversion Without Inductors* [online]. 2009 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/725>

- [14] TEXAS INSTRUMENTS. *BQ2057* [online datasheet]. Dallas, 2002 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/bq2057.pdf>
- [15] Ampere-hour. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ampere-hour>
- [16] LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION. *LTC4150* [online datasheet]. Milpitas, 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/4150fc.pdf>
- [17] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *TC1014* [online datasheet]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21335c.pdf>
- [18] LINEAR TECHNOLOGY. *LT1308* [online datasheet]. 2012 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1308i.pdf>
- [19] PANASONIC. *NCR18650A* [online datasheet]. 2010 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://www.kronium.cz/uploads/PanasonicNCR18650A-3100.pdf>
- [20] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *PIC18F46J50* [online datasheet]. 2011 [cit. 2013-5-28]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39931b.pdf>
- [21] HAMMOND - 1455J1202: ENCLOSURE, CLEAR, BLACK END PLATE. FARNELL. Farnell [online]. 2013 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/hammond/1455j1202/enclosure-clear-black-end-plate/dp/4272950>
- [22] Petit FAT File System Module. CHAM, Elm. Petit FAT File System Module [online]. 2008 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [http://elm-chan.org/fsw/ff/00index\\_p.html](http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html)

## 8. SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

|   |       |
|---|-------|
| M | Mega  |
| m | Mili  |
| k | Kilo  |
| μ | Mikro |

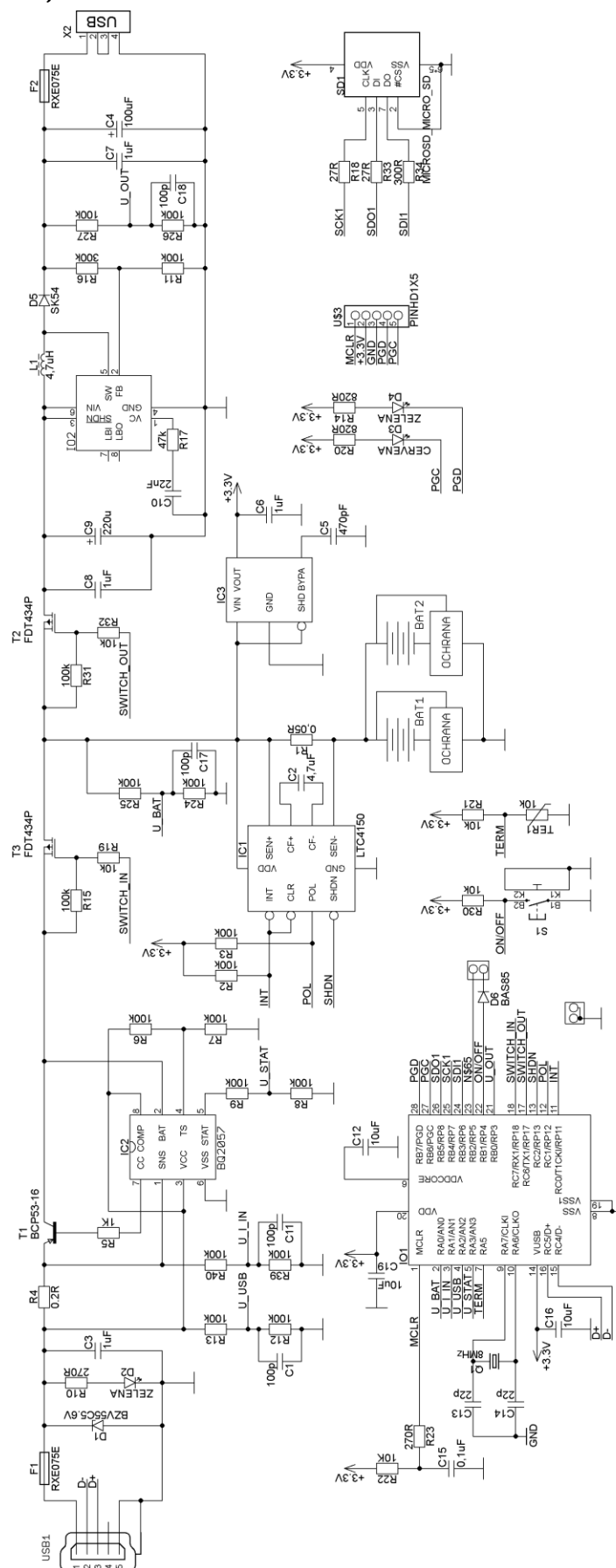
|        |                     |
|--------|---------------------|
| Mbit/s | Megabitů za vteřinu |
| H      | Hodina              |
| A      | Ampér               |
| V      | Napětí              |
| Ω      | Ohm                 |
| Kg     | kilogram            |
| W      | Watt                |
| C      | Coulomb             |
| Ah     | Amper hodina        |

|          |                                |
|----------|--------------------------------|
| Capacity | Kapacita                       |
| Voltage  | Napětí                         |
| Current  | Proud                          |
| USB      | Universal seriál bus           |
| PLL      | Smyčka fázového závěsu         |
| SPI      | Seriál Peripheral interface    |
| NiCd     | Niklkadmiové akumulátory       |
| NiMH     | Niklmetalhydridové akumulátory |
| Li-ion   | Lithiové akumulátory           |

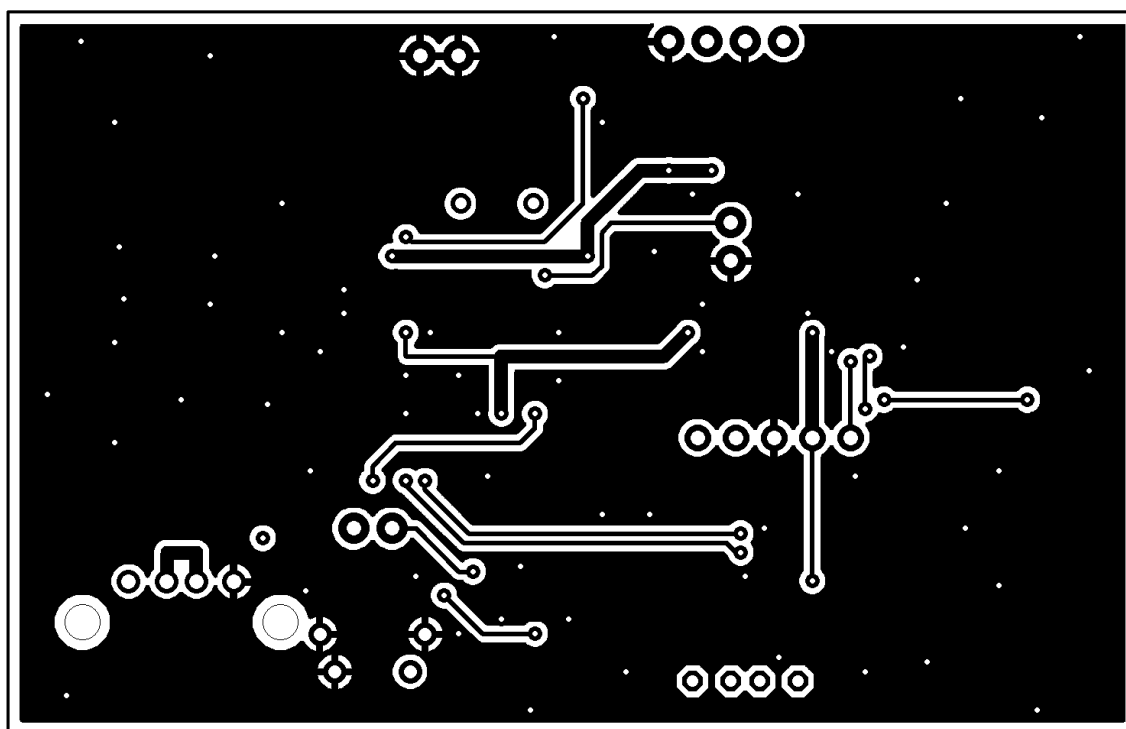
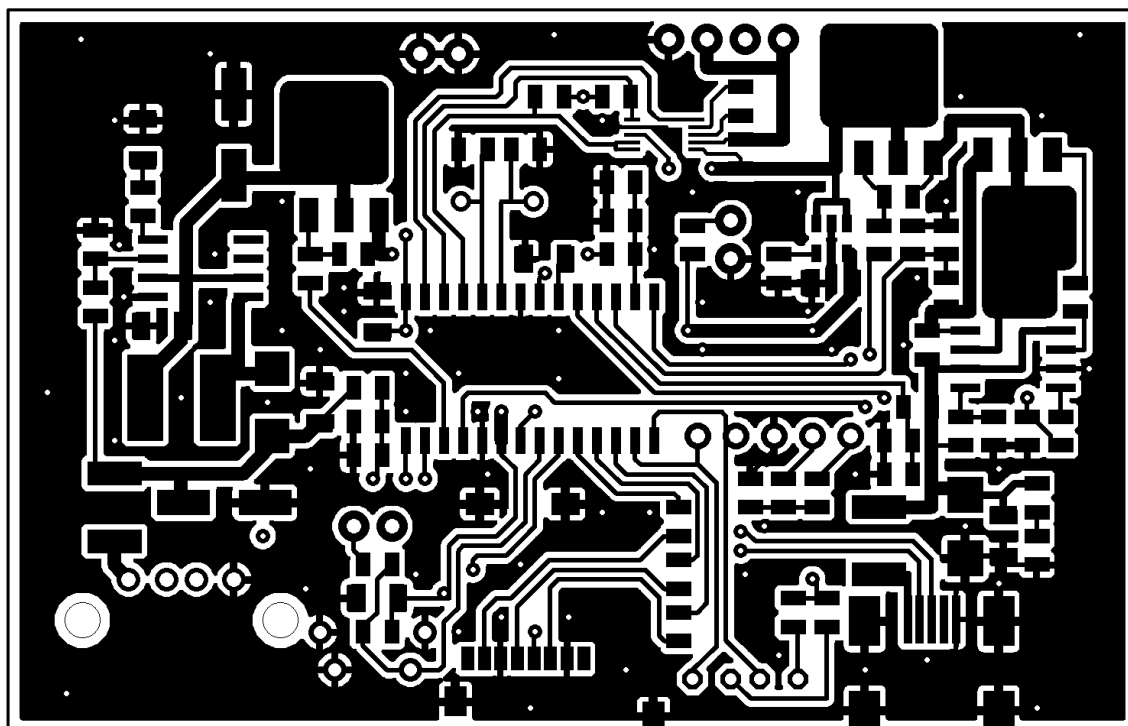
## 9. SEZNAM PŘÍLOH

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Příloha 1 Schéma zapojení.....                      | 39 |
| Příloha 2 Spoj DPS horní a spodní vrstva .....      | 40 |
| Příloha 3 Osazení DPS .....                         | 41 |
| Příloha 4 Vrstva masky.....                         | 41 |
| Příloha 5 Seznam součástí .....                     | 42 |
| Příloha 6 Technický popis konstrukce krabičky ..... | 44 |
| Příloha 7 Fotodokumentace .....                     | 45 |

## PŘÍLOHA 1 SCHÉMA ZAPOJENÍ



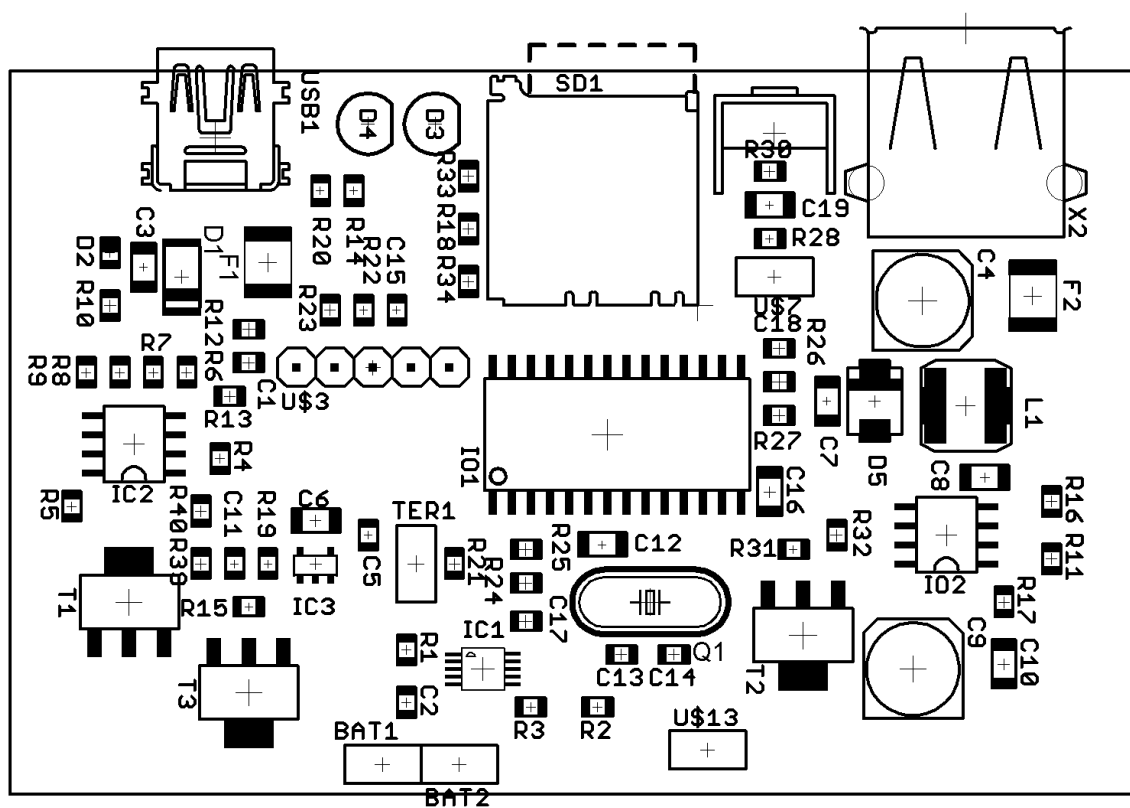
PŘÍLOHA 2 SPOJ DPS HORNÍ A SPODNÍ VRSTVA



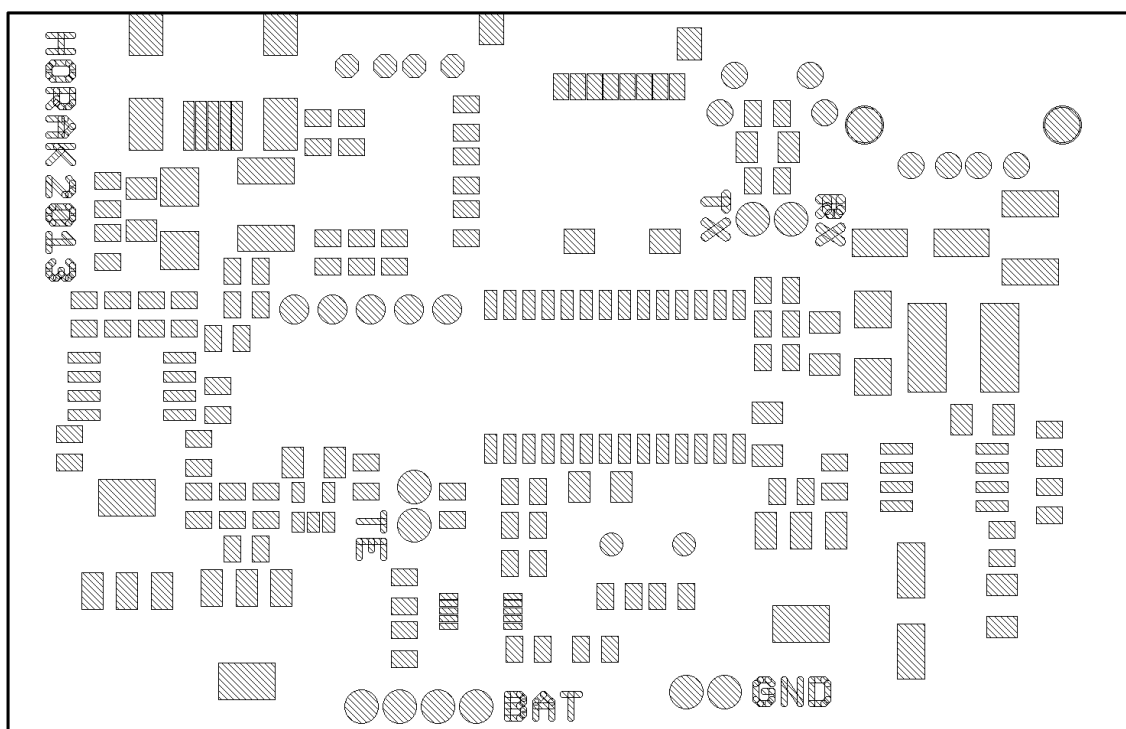
Rozměry desky 75 x 48 mm, Měřítko 2:1



### PŘÍLOHA 3 OSAZENÍ DPS



### PŘÍLOHA 4 VRSTVA MASKY



# **PŘÍLOHA 5 SEZNAM SOUČÁSTEK**

| <b>Počet</b>              | <b>Hodnota</b> | <b>Pouzdro</b>   | <b>Součástka</b>                                                              |
|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kondenzátory</b>       |                |                  |                                                                               |
| 1                         | 100uF          | CE6X6            | C4                                                                            |
| 1                         | 220u           | CE6X6            | C9                                                                            |
| 1                         | 0,1uF          | CK-0805          | C15                                                                           |
| 4                         | 100p           | CK-0805          | C1, C11, C17, C18                                                             |
| 2                         | 22p            | CK-0805          | C13, C14                                                                      |
| 1                         | 4,7uF          | CK-0805          | C2                                                                            |
| 1                         | 470pF          | CK-0805          | C5                                                                            |
| 3                         | 10uF           | CK-1206          | C12, C16, C19                                                                 |
| 4                         | 1uF            | CK-1206          | C3, C6, C7, C8                                                                |
| 1                         | 22nF           | CK-1206          | C10                                                                           |
| <b>Odpory</b>             |                |                  |                                                                               |
| 1                         | 0,05R          | R-0805           | R1                                                                            |
| 1                         | 0.2R           | R-0805           | R4                                                                            |
| 17                        | 100k           | R-0805           | R2, R3, R6, R7, R8, R9, R11, R12, R13, R15, R24, R25, R26, R27, R31, R39, R40 |
| 5                         | 10k            | R-0805           | R19, R21, R22, R30, R32                                                       |
| 1                         | 1K             | R-0805           | R5                                                                            |
| 2                         | 270R           | R-0805           | R10, R23                                                                      |
| 2                         | 27R            | R-0805           | R18, R33                                                                      |
| 1                         | 300k           | R-0805           | R16                                                                           |
| 1                         | 300R           | R-0805           | R34                                                                           |
| 1                         | 47k            | R-0805           | R17                                                                           |
| 2                         | 820R           | R-0805           | R14, R20                                                                      |
| <b>Cívky</b>              |                |                  |                                                                               |
| 1                         | 4,7uH          | L-NR6028         | L1                                                                            |
| <b>Diody</b>              |                |                  |                                                                               |
| 1                         | BZV55C5.6V     | ZD               | D1                                                                            |
| 1                         | ZELENA         | LED-0805         | D2                                                                            |
| 1                         | CERVENA        | LED-3MM          | D3                                                                            |
| 1                         | ZELENA         | LED-3MM          | D4                                                                            |
| 1                         | SK54           | D-SMB            | D5                                                                            |
| 1                         | BAS85          | 1N4148           | D6                                                                            |
| <b>Tranzistory</b>        |                |                  |                                                                               |
| 1                         | BCP53-16       | BCP53-16         | T1                                                                            |
| 2                         | FDT434P        | FDT434P          | T2, T3                                                                        |
| <b>Integrované obvody</b> |                |                  |                                                                               |
| 1                         | LTC4150        | LTC4150-MSOP10   | IC1                                                                           |
| 1                         | BQ2057         | BQ2057-SOIC-08   | IC2                                                                           |
| 1                         |                | TC1014           | IC3                                                                           |
| 1                         |                | PIC18F26J50-I/SO | IO1                                                                           |
| 1                         |                | LT1308SMD        | IO2                                                                           |

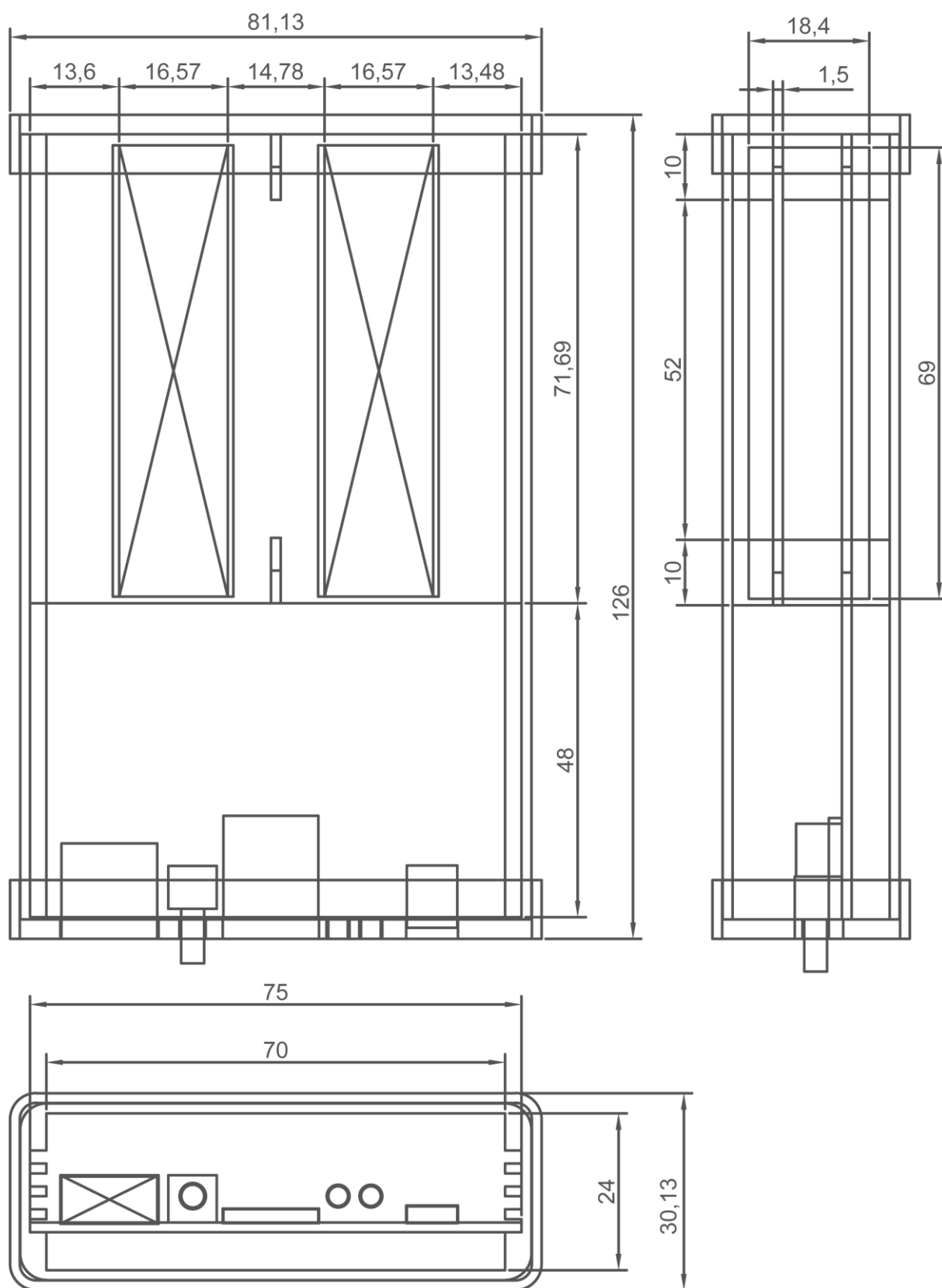
**Mechanické prvky**

|   |               |                  |      |
|---|---------------|------------------|------|
| 1 | PINHD1X5      | PINHD1X5         | U\$3 |
| 1 |               | MINI-USB         | USB1 |
| 1 |               | USB              | X2   |
| 1 |               | TLACITKO         | S1   |
| 1 | MICROSD_MICRO | MICROSD_MICRO_SD | SD1  |

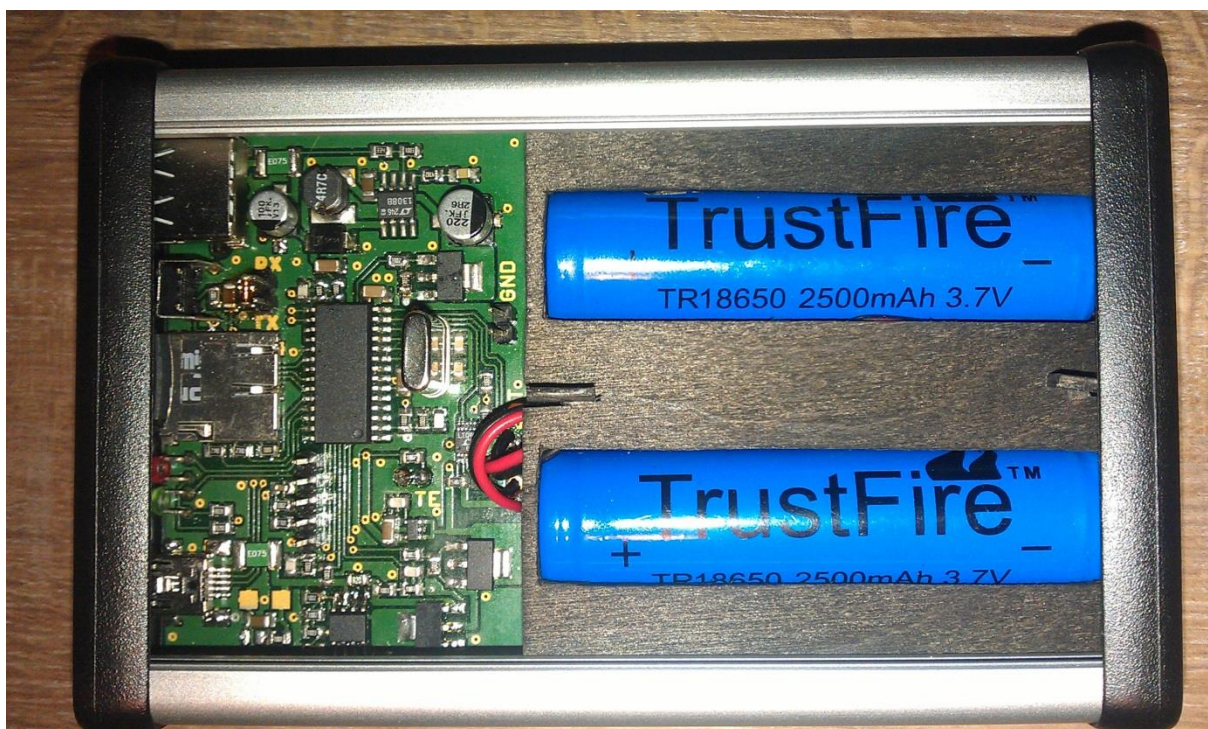
**Ostatní**

|   |         |                  |            |
|---|---------|------------------|------------|
| 1 | 8MHz    | CRYSTALHC49S     | Q1         |
| 2 |         | LI-ION           | BAT1, BAT2 |
| 2 | RXE075E | POJISTKA-RXE075E | F1, F2     |
| 1 | 10k     | TERMISTOR        | TER1       |

# **PŘÍLOHA 6 TECHNICKÝ POPIS KONSTRUKCE KRABIČKY**



## PŘÍLOHA 7 FOTODOKUMENTACE



Pohled do krabičky



Celkový pohled na zařízení