

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Nabíječ lithiových akumulátorů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš MARTÍNEK**  
Osobní číslo: **E13B0054P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Nabíječ lithiových akumulátorů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Zhodnoťte problematiku nabíjení lithiových akumulátorů.
2. Navrhněte nabíječ lithiového článku. Nabíječ s výstupním proudem alespoň 5A bude napájen 230V AC nebo 12V DC, jeho výstup bude galvanicky oddělen od vstupu. Nabíječ bude obsahovat ochrany proti přetížení, zkratu a přehřátí. Při návrhu dbejte na vysokou účinnost nabíječe.
3. Sestavte funkční model nabíječe (konstrukční návrh, dimenzování součástí, sestavení + oživení zařízení, laboratorní ověření činnosti a otestování dosažených vlastností).
4. Zhodnoťte navržené zařízení a uveďte možnosti dalšího vylepšení či rozšíření.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

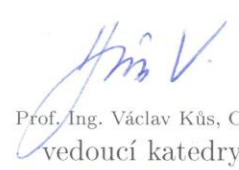
1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Stejskal**  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**

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



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na nabíjení lithiových akumulátorů a sestavením nabíječe těchto akumulátorů. V první části této práce jsou jednoduše popsány starší druhy akumulátorů a podrobněji akumulátory lithiové. V další části je popsáno nabíjení lithiových akumulátorů a pokyny pro správné nabíjení. V poslední části je popsáno sestavení a funkce nabíječe lithiových akumulátorů a nakonec i ověření dosažených vlastností nabíječe pomocí měření.

## **Klíčová slova**

Lithiový akumulátor, nabíjení lithiových akumulátorů, nabíječ lithiových článků

## **Abstract**

The presented thesis is focused on charging lithium batteries and charger Assembly of these batteries. In the first part of this work are simply described the older types of rechargeable batteries and lithium batteries in more detail. The next section describes the charging lithium batteries and instructions for proper charging. In the last part of this work is to describe the Assembly and function of the charger lithium batteries, and finally the verification obtained by measuring the properties of the charger.

## **Key words**

Lithium battery, charging lithium batteries, charger lithium batteries

## **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 30.5.2016

Lukáš Martínek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Markovi Stejskalovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....                                   | <b>8</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....                | <b>9</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....                                    | <b>10</b> |
| <b>1 ROZDĚLENÍ AKUMULÁTORŮ</b> .....                 | <b>11</b> |
| 1.1 VLASTNOSTI STARŠÍCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ .....       | 12        |
| 1.1.1 Niklové akumulátory .....                      | 12        |
| 1.1.2 Olověné akumulátory .....                      | 13        |
| 1.2 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY .....                       | 13        |
| 1.2.1 Historie lithiových akumulátorů .....          | 13        |
| 1.2.2 Akumulátory Li-ion .....                       | 14        |
| 1.2.3 Akumulátory Li-pol .....                       | 15        |
| 1.2.4 Akumulátory LiFePO <sub>4</sub> .....          | 16        |
| 1.2.5 Akumulátory LiFeYPO <sub>4</sub> .....         | 16        |
| 1.2.6 Akumulátory LTO .....                          | 17        |
| 1.2.7 Porovnání lithiových akumulátorů .....         | 17        |
| <b>2 NABÍJENÍ LITHIOVÝCH AKUMULÁTORŮ</b> .....       | <b>17</b> |
| 2.1 ZÁSADY NABÍJENÍ .....                            | 17        |
| 2.2 BALANCOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ .....                    | 19        |
| 2.2.1 Pasivní balancery .....                        | 20        |
| 2.2.2 Aktivní balancery s procesorem .....           | 22        |
| <b>3 NAPÁJECÍ ZDROJE</b> .....                       | <b>23</b> |
| 3.1 LINEÁRNÍ NAPÁJECÍ ZDROJE .....                   | 23        |
| 3.2 SPÍNANÉ NAPÁJECÍ ZDROJE .....                    | 24        |
| 3.2.1 Snižující měnič (step-down) .....              | 26        |
| 3.2.2 Zvyšující měnič (step-up) .....                | 26        |
| 3.3 POROVNÁNÍ SPÍNANÝCH A LINEÁRNÍCH ZDROJŮ .....    | 27        |
| <b>4 NÁVRH NABÍJEČE LITHIOVÝCH BATERÍ</b> .....      | <b>27</b> |
| 4.1 VLASTNÍ NÁVRH .....                              | 28        |
| 4.2 NABÍJEČ S INTEGROVANÝM OBVODEM PRO SPÍNÁNÍ ..... | 30        |
| 4.2.1 Princip činnosti LT1074 .....                  | 30        |
| 4.2.2 Popis schématu spínaného zdroje .....          | 32        |
| 4.3 OMEZENÍ PROUDU .....                             | 34        |
| 4.4 OCHRANA PROTI PŘEHŘÁTÍ .....                     | 35        |
| 4.5 MĚŘENÍ .....                                     | 36        |
| 4.5.1 Účinnost .....                                 | 36        |
| 4.5.2 Výstupní napětí .....                          | 38        |
| 4.6 ZHODNOCENÍ ZAŘÍZENÍ A MOŽNÁ VYLEPŠENÍ .....      | 42        |
| <b>ZÁVĚR</b> .....                                   | <b>44</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> ..... | <b>46</b> |
| <b>PŘÍLOHY</b> .....                                 | <b>1</b>  |



## Seznam symbolů a zkratek

|              |   |
|--------------|---|
| V.....       | Volt – jednotka elektrického napětí                 |
| A.....       | Ampér – jednotka elektrického proudu                |
| VA.....      | Voltampér – jednotka elektrického zdánlivého výkonu |
| C.....       | Násobek jmenovité kapacity článku                   |
| Ah.....      | Jednotka, ve které je udávána kapacita článku       |
| Wh/kg.....   | Jednotka hustoty elektrické energie                 |
| R.....       | Elektrický odpor ( $\Omega$ )                       |
| F.....       | Farad – jednotka kapacity kondenzátorů              |
| L.....       | Indukčnost (H)                                      |
| f.....       | Frekvence (Hz)                                      |
| $\eta$ ..... | Účinnost (%)  |

## Úvod

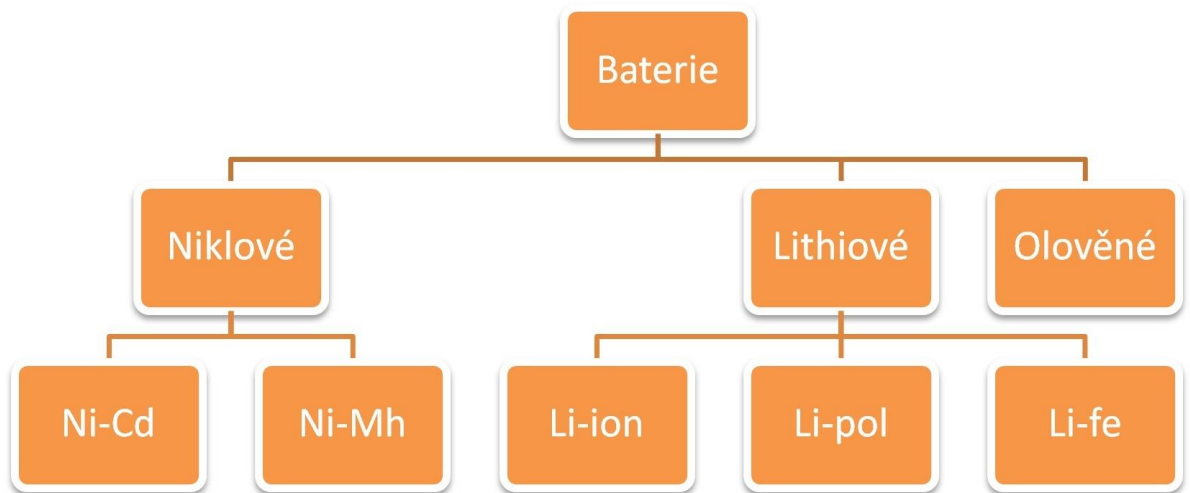
Obsahem této bakalářské práce je seznámit s různými druhy akumulátorů, především lithiových, jejich nabíjení a návrh nabíječe.

Nabíječ s výstupním proudem 5 A, který bude napájen 230 V AC. Jeho výstup bude galvanicky oddělen od vstupu, díky tomu nebude napájecí část obvodu přímo spojena s nabíjeným akumulátorem a ten bude tak ochráněn. Bude obsahovat ochrany proti přetížení, zkratu a přehřátí.

Nabíječ je určen pouze pro jeden lithiový článek. Pro nabíjení baterie s více články bude každý nabíjen svým nabíječem a nebude nutné při nabíjení používat srovnávač napětí článků.

Díky zadanému výstupnímu proudu 5 A se mohou nabíječem nabíjet i články velkých kapacit s vysokou rychlostí.

## 1 Rozdělení akumulátorů



Obr. 1.1 Dělení akumulátorů [1]

Na obr. 1.1 je znázorněno stručné rozdělení používaných baterií. Všechny tyto zmíněné druhy akumulátorů přeměňují chemickou energii na elektrickou a mají vždy tři základní části. Kladnou elektrodu (anodu), zápornou elektrodu (katodu) a elektrolyt, který umožňuje pohyb elektronů mezi nimi. Díky tomu je mezi oběma póly elektrické napětí. Pro komerční účely se dnes využívají tři základní typy akumulátorů: niklové, lithiové a olověné. Pro přenosná zařízení se nejvíce hodí a používají čtyři základní typy akumulátorů: NiCd (nikl-kadmiové), NiMH (nikl-metal hydridové), Li-ion (lithium-iontové) a Li-pol (lithium-polymerové). Olověné akumulátory se využívají v přenosných zařízeních minimálně [1].

Při připojení spotřebiče se uzavře elektrický obvod a akumulátor se pomalu vybíjí, protože se začne uvolňovat energie z chemických vazeb. Když se tato energie vyčerpá, je akumulátor vybit. Po nabití lze tento cyklus znovu opakovat.

## 1.1 Vlastnosti starších typů akumulátorů

### 1.1.1 Niklové akumulátory

Niklové akumulátory mají oproti lithiovým nižší pořizovací cenu. Mají velkou mechanickou odolnost a poměrně velkou životnost (700 až 2000 cyklů). Nevýhodou ovšem je, že mohou uskladnit jen menší množství energie a také je potřeba o ně dobře pečovat. Zanedbaná údržba může snížit kapacitu až o 50% [2].

#### 1.1.1.1 NiCd

Kladná elektroda niklo-kadmiového akumulátoru je z hydroxidu nikelnatého, záporná elektroda je z hydroxidu kademnatého. Elektrolytem je vodný roztok hydroxidu draselného a malé množství hydroxidu lithného, který zlepšuje životnost během cyklu. Tohoto elektrolytu se využívá pouze pro přenos iontů během nabíjení nebo vybíjení. Nedochozí tak k jeho znehodnocování ani chemickým změnám. Jmenovité napětí jednoho článku je přibližně 1,2 V [4].

Niklo-kadmiové akumulátory mají malý vnitřní odpor, a proto jsou schopny po krátkou dobu dodat vysoký proud. Nevýhodou ovšem je, že podléhají tzv. paměťovému efektu, tedy pro zachování stejné kapacity je nutné baterii před nabíjením vybit. Je doporučeno skladovat baterie vybité a při pokojové teplotě. Při skladování totiž dochází k samovolnému vybíjení a to přibližně o 30% za týden. Výhodou oproti ostatním typům je také to, že při nízkých teplotách do -15 °C významně neztrácejí energii. Na rozdíl od Ni-MH se mohou pětikrát rychleji nabíjet a až dvacetkrát rychleji vybíjet [2].

#### 1.1.1.2 NiMH

Aktivní materiál kladné elektrody je hydroxid oxidu niklu, stejně jako u NiCd článků. Na elektrodě záporné je aktivním materiálem vodík, a to ve formě metalhydridu. To je sloučenina kovu a vodíku, kde kov je v reálu slitina kovu. Tato slitina umí podstoupit vratné reakce, při kterých dochází buď k pohlcování, nebo uvolňování vodíku. Tato metalhydridová slitina má unikátní vlastnost - je schopna

přijmout i vydat svůj vlastní objem vodíkového plynu při tlaku menším než atmosférickém. Jako slitina se používá mnoho různých kovových sloučenin. Elektrolytem NiMH baterie je vodní roztok hydroxidu draselného. Jmenovité napětí je stejné jako u NiCd článků 1,2 V [5].

NiMH baterie jsou hojně využívány pro svoji velkou kapacitu a schopnost dodávat relativně velký proud bez paměťového efektu neboli napěťové deprese. Nevýhodou u baterií s větší kapacitou je samovybití 6 až 16 % za jeden den. Skladování je doporučeno v nabitém stavu a při pokojové teplotě. Ve srovnání s NiCd mají vyšší vnitřní odpor [2].

### 1.1.2 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou dnes nejpoužívanější sekundární zdroj. Je to hlavně díky jejich dobré ceně, spolehlivosti a dobrému výkonu.

Lze zjednodušeně říct, že olověný akumulátor je tvořen dvěma deskami (elektrodami), které jsou ponořeny do zředěné kyseliny sírové. Jeden článek je tvořen právě dvěma deskami a spojením těchto článků do série vytvoříme akumulátorovou baterii [6].

Výhodou těchto akumulátorů je dlouhá doba životnosti, kdy za normálních pracovních podmínek (jako sekundární zdroj) je předpokládána doba životnosti až 15 let při kapacitě 80 %. Při opakovaném používání se uvažuje 200 až 3000 cyklů v závislosti na hloubce vybití. Nevýhodou jsou potom jeho rozměry [6].

## 1.2 Lithiové akumulátory

### 1.2.1 Historie lithiových akumulátorů

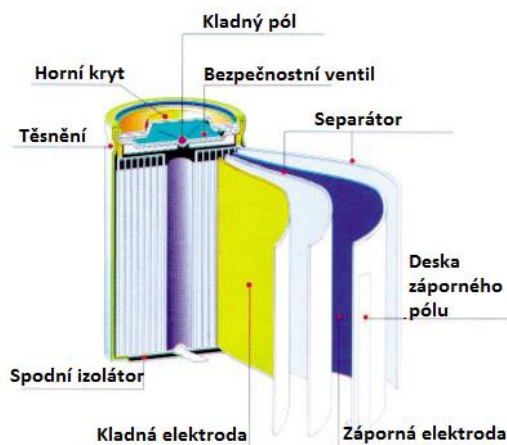
S lithiovými články se začalo experimentovat už v roce 1812, ale komerčně dostupné se tyto, tou dobou ještě nenabíjecí, články staly až v roce 1970. Následoval vývoj nabíjecích článků, který byl neúspěšný. Byly totiž nebezpečné a snadno vybuchovaly. Zvrat nastal

teprve, když bylo chemicky nestabilní kovové lithium vyměněno za oxid lithia a kobaltu ( $\text{LiCoO}_2$ ) [7].

### 1.2.2 Akumulátory Li-ion

U Li-ion akumulátorů je místo niklu použito vysoce chemicky reaktivní lithium, které je snadno vznětlivé, a to tvoří kladnou elektrodu nejčastěji ve formě lithiokobaltového oxidu. Záporná elektroda je tvořena sloučeninami uhlíku nebo grafitu. Mezi anodou a katodou se v elektrolytu pohybují ionty lithia. Elektrolytem jsou organická rozpouštědla, např. propylenoxid. Ten je agresivní, a pokud vyteče, tak hrozí vznik koroze uvnitř zařízení nebo dokonce poleptání pokožky. Jmenovité napětí akumulátorů Li-ion je 3,6 V, což je oproti niklovým bateriím 3x více. Při stejné velikosti pojmu tedy 3x více energie. Důvodem je jejich vysoká energetická hustota 150 až 250 (Wh/kg). Jejich velkou výhodou je, že netrpí paměťovým efektem, tedy dají se nabíjet při jakémkoliv stádiu vybití. Samovybití je také velmi malé. To se výrazně projeví až po měsíci, kdy energie poklesne o téměř 10 % [3].

Nevýhodou může být poměrně rychlé stárnutí baterie, které se uvádí 2-3 roky. Přitom se snižuje kapacita v závislosti na používání přibližně o 20 % za rok. Největším nebezpečím je jejich přebíjení i jejich přílišné vybití pod hranici 2,5 V. Další nevýhodou je to, že mají proti niklovým akumulátorům vyšší vnitřní odpor a proto z nich není možné získat tak velký proud. Pokud se baterie přehřeje, nebo přiložené napětí bude vyšší než 4,1 V, může i explodovat. Pokud je akumulátor úplně vybit, je většinou už nevratně zničen. Hodí se tedy pro přístroje s malým nebo středním odběrem energie [3].



Obr. 1.2 Akumulátor Li-ion [17]

### 1.2.3 Akumulátory Li-pol

Největším rozdílem vůči Li-ion akumulátorům je to, že místo tekutého elektrolytu používají elektrolyt pevný. Ten nemůže vytéct a akumulátor nepotřebuje silný ochranný obal. Stačí jen slabá hliníkem pokrytá plastová fólie. Pevný elektrolyt rovněž plní funkci separátoru, protože zajišťuje odstup obou elektrod. To umožňuje i extrémně ploché provedení a téměř libovolný tvar. Jmenovité napětí je 3,7 V a hustota energie je o něco nižší než u Li-ion, přibližně 130 až 200 Wh/kg [3].

Jednou z nevýhod je právě slabý ochranný obal jen z hliníkové fólie. Jsou díky tomu náchylné na poškození, které se často projevuje nafouknutím obalu. V nejhorších případech se akumulátor může i vznítit, nejčastěji při zkratu. Výhody mají podobné jako akumulátory Li-ion. Netrpí na paměťový efekt a samovybití je zde také minimální. Naopak je zde možnost poměrně velkého proudového zatížení. U speciálních Li-pol akumulátorů, které se používají především v modelech, se vybíjecí proud pohybuje v rozmezí 20 až 50 násobků kapacity. U průmyslových akumulátorů Li-pol se vybíjecí proudy pohybují v rozmezí 0,5 až 1 násobek jmenovité kapacity. Nabíjení je pak možné až 4 násobkem kapacity a u průmyslových do 1 C. Oproti Li-ion bateriím jsou při stejné kapacitě až o 15 % lehčí, ale naopak mají o téměř 20 % větší objem [9].



Obr. 1.3 Akumulátor Li-pol [16]

### 1.2.4 Akumulátory LiFePO<sub>4</sub>

LiFePO<sub>4</sub> akumulátory jsou dalším druhem lithium-iontových nabíjecích baterií a jsou založené na lithiu železo fosfátu. Katoda je vyrobena právě z tohoto materiálu, proto mají toto označení. Anoda je vyrobena z uhlíku, jako u všech zbývajících typů lithiových baterií. Většinou se vyrábějí ve formě tuhých článků, obvykle ve tvaru válce s tlakovou pojistkou. Lze je ale vyrobit i s hliníkovou fólií podobně jako u Li-pol baterií [8].

Jejich hlavní předností je schopnost dodat vyšší proud. Krátkodobě jsou schopny dodat až 10 C, trvale pak asi 3 C. Tedy při vhodné konstrukci a kapacitě článku 20 Ah je trvalý vybíjecí proud 60 A a krátkodobé zatížení může být až 200 A. Stejně jako ostatní typy nemají paměťový efekt. Tento druh lithiových baterií má oproti jiným velkou výhodu v tom, že jsou netoxické, levné a bezpečné. Ani za extrémních podmínek nevybuchují. Vydrží také poměrně velký počet dobíjecích cyklů, a to až 3000 [8].

Oproti předchozím typům lithiových baterií mají jmenovité napětí jen 3,3 V a hustotu energie je pouze 80 až 170 Wh/kg. Rychlé dobíjení může snižovat životnost akumulátorů [8].

### 1.2.5 Akumulátory LiFeYPO<sub>4</sub>

Dalším typem jsou bezpečné lithiové akumulátory s příměsí yttria. Jmenovité napětí těchto článků je 3,2 V a maximální napětí, na které se články nabíjejí, je 4 V. Nejnižší napětí, na které je možné článek vybit, je přibližně 2,5 V. Tyto články jsou schopny dodat krátkodobě proud až 20 C, tedy dvaceti násobek své kapacity. Dlouhodobě můžou dodávat, až 3 C. Jejich životnost se pohybuje v rozmezí 2000 až 8000 cyklů a lze je používat za teplot od -45°C až do +85°C. Také u těchto článků je samovybití zanedbatelné a jejich nabíjení je možné při jakémkoliv stavu vybití, tedy nemají paměťový efekt [10].

Tyto akumulátory najdou využití většinou v průmyslu. Jsou také vhodné pro využití v trakčních aplikacích včetně osobních automobilů. Je nutné s nimi zacházet odborně, aby nedošlo k nevratnému poškození [10].



## 1.2.6 Akumulátory LTO

Lithium-titanátová baterie, označovaná jako LTO, je druh dobíjecího akumulátoru na bázi nano-technologií [11].

Největší výhodou těchto baterií je možnost jejich rychlého nabíjení, a to více než 10-ti násobkem kapacity článku. Mají také velkou životnost 3000 až 7000 cyklů a provozní teploty jsou od -30 až do 55°C. Mají také vysokou účinnost nabíjení, která je vyšší než 98% a jsou velice šetrné k životnímu prostředí.

Nevýhodou naopak je jmenovité napětí jen 2,4 V na článek. Mají tedy nižší hustotu energie než akumulátory Li-ion [11].

## 1.2.7 Porovnání lithiových akumulátorů

Tab. 1.1 Porovnání lithiových akumulátorů

| Typ                          | Li-ion     | Li-pol    | LiFePO4  | LiFeYPO4 | LTO      |    |
|------------------------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----|
| Maximální kapacita (Ah)      | 5,8        | 5         | 160      | 700      | 10       |    |
| Maximální vybíjecí proud (C) | krátkodobý | 2         | 100      | 10       | 20       | 30 |
|                              | dlouhodobý | 2         | 50       | 3        | 3        | 15 |
| Maximální nabíjecí proud (C) | 2          | 4         | 2        | 1        | 6        |    |
| Jmenovité napětí (V)         | 3,6        | 3,7       | 3,3      | 3,2      | 2,4      |    |
| Maximální napětí (V)         | 4,1        | 4,2       | 3,8      | 4        | 2,8      |    |
| Minimální napětí (V)         | 2,5        | 2,8       | 2,5      | 2,5      | 1,9      |    |
| Hustota energie (Wh/kg)      | 150 - 250  | 130 - 200 | 80 - 170 | 90 - 110 | 30 - 110 |    |

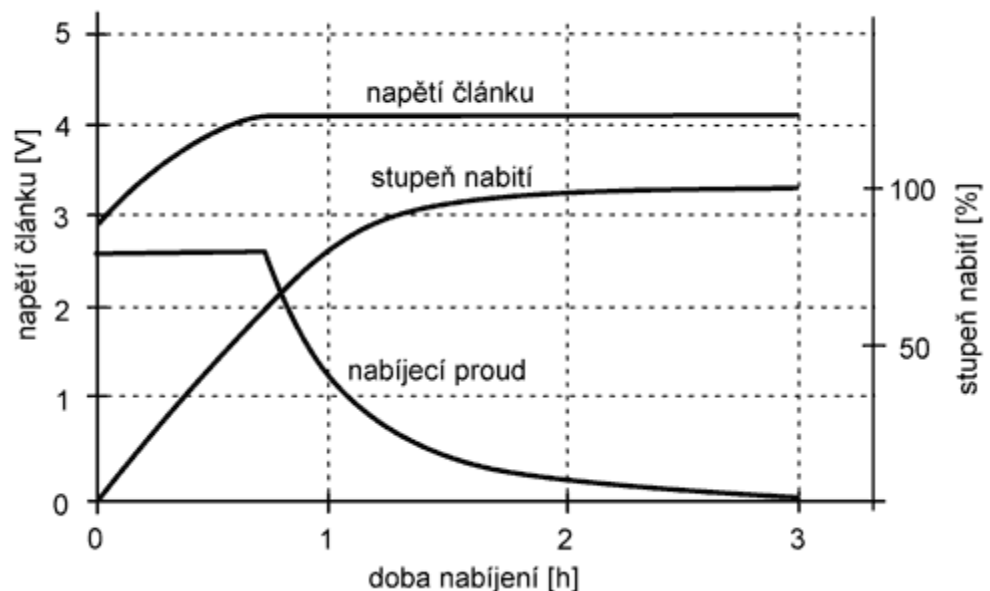
## 2 Nabíjení lithiových akumulátorů

### 2.1 Zásady nabíjení

Lithiové akumulátory se nejčastěji nabíjí ze zdroje konstantního napětí při omezeném nabíjecím proudu. Při nabíjení těchto baterií je potřeba velmi přesně dodržet konečné nabíjecí napětí. Už malé překročení tohoto napětí může výrazně zkrátit životnost akumulátoru. Pokud by byl však akumulátor nabíjen napětím nižším, tak se článek nemůže nabít na svou plnou kapacitu. Podle typu článků je toto konečné

nabíjecí napětí různé, nejčastěji však 4,1 nebo 4,2 V, ale může být také nižší nebo vyšší. Toto napětí se musí dodržet s přesností  $\pm 1\%$  [7].

Proud, kterým článek nabíjíme se naopak tak přesně dodržovat nemusí. Pokud tento nabíjecí proud bude menší, nabíjení akumulátoru bude jen trvat delší dobu. U článku je však omezen maximální nabíjecí proud, který je udáván v násobcích jmenovité kapacity článku C. Nejčastěji od 0,1 do 2 C. Pokud tedy bude mít článek kapacitu např. 1800 mAh a udaný povolený nabíjecí proud bude 0,5 C, potom můžeme článek nabíjet proudem až 900 mA [7].



Obr. 2.1 Napětí a proud při nabíjení lithiového akumulátoru

Na obr. 2.1 je charakteristický průběh nabíjení lithiového článku, který je nabíjen proudem 1 C. V prvním úseku se nabíjí článek po takovou dobu, než napětí na něm dosáhne koncové nabíjecí napětí. U tohoto nabíjecího proudu stačí, když nepřesáhne maximální nabíjecí proud, který ani nemusí být konstantní. Pokud byl akumulátor předtím téměř úplně vybit, je v okamžiku dosažení konečného nabíjecího napětí nabit přibližně na 75 až 80 % [7].

V dalším časovém úseku se akumulátor nabíjí konstantním napětím a proud, kterým je článek nabíjen, se postupně zmenšuje až k nule. Díky tomu nehrozí přebíjení článků a nemusíme tedy hlídat dobu, po kterou je necháme v nabíječce. Článek může být v nabíječce libovolně dlouho a považuje se za plně nabitý, pokud proud poklesne asi na 0,05 C. Velkou výhodou je, že jednou nabíječkou lze nabíjet články s různou kapacitou. Stačí jen ohlídat maximální nabíjecí proud. Články, které mají kapacitu větší, se budou nabíjet jen déle [7].

Jinak je to u článků nových nebo hluboce vybitých. Ty se musí nabíjet velice pomalu, proudem o velikosti jen jednotek mA, a to do té doby, než jejich napětí přesáhne 2,7 až 3 V. To může trvat několik hodin. Pokud bychom články začali rovnou nabíjet velkým proudem, mohlo by dojít k jeho velkému poškození nebo dokonce zničení [7].

## 2.2 Balancování akumulátorů

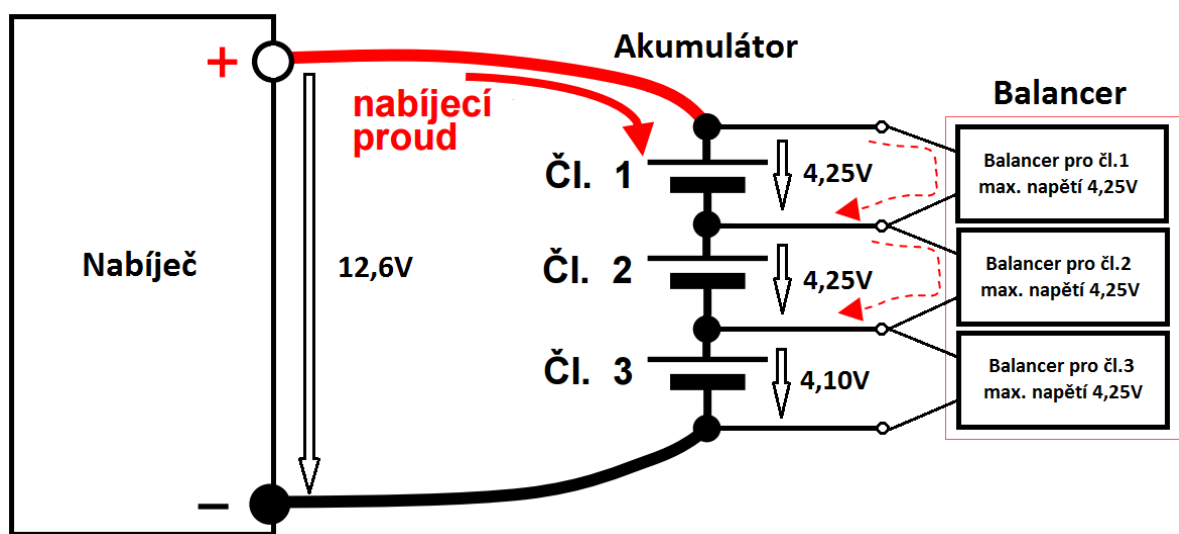
Pokud nabíjíme jedním nabíječem více článků spojených do akupaku, je nutné použít při nabíjení srovnávačky článků, pro které se běžně používá cizí název balancer.

Články, které jsou spojeny v akupak, by měly teoreticky mít stejnou kapacitu. To však ve skutečnosti není pravda a kapacita článků se nepatrně liší. Tento rozdíl však stačí k tomu, aby se články nevybíjely zcela rovnoměrně. Přístroj, ve kterém je takováto baterie, nic nerozpozná, protože pro něj je důležitá hodnota jen celkové napětí. Pokud poté budeme tento akupak nabíjet, článek nebo články, které byly vybity méně, dosáhnou maximálního nabíjecího napětí dříve. Pokud budeme v nabíjení pokračovat, začnou se přebíjet.

Tomu však mohou předejít balancery, které zajišťují předem zvolené napětí na každém článku na konci nabíjení. Balancery máme dva základní typy: jednoduché pasivní bez procesoru a aktivní procesorem řízené balancery.

## 2.2.1 Pasivní balancery

Tyto balancery mají jistá omezení a nedostatky. Napětí na článcích v reálu nesrovnávají, ale jen toto napětí omezují na maximální povolenou hodnotu, která je nastavitelná. Fungují tedy podobně, jako paralelní stabilizátor napětí jakým je například Zenerova dioda. Přebytečná energie je na těchto balancerech přeměněna na teplo vyzářené do prostředí. Zabraňují tedy jen přebíjení článků, které je u lithiových článků nebezpečné. Jejich výhodou je jejich nízká cena [14].



Obr. 2.2 Zapojení jednoduchého balanceru bez procesoru – upraveno z [14]

Na obr. 2.2 je znázorněna funkce jednoduchého balanceru bez procesoru, který funguje jako omezovač napětí. Je zde také znázorněno nerovnoměrné nabití článků, které je zapříčiněné nestejnou kapacitou článků, a proto má článek č. 3 nižší počáteční napětí při startu nabíjení. Díky tomu na článcích č. 1 a 2, které mají toto počáteční napětí vyšší, vzroste napětí na 4,25 V dříve a balancery pro tyto články začnou napětí omezovat. Pokud nabíječ dosáhne celkového nabíjecího napětí 12,6 V, začne omezovat proud a napětí na článku č. 3 tak dosáhne pouze 4,1 V a není tedy plně nabit.

To lze zlepšit nastavením napětí pro balancování na nižší hodnotu (4,23 V), ale je nezbytné ponechat rezervu oproti koncovému nabíjecímu napětí nabíječe, protože jinak by stále protékal přes balancer proud a nabíječ by nemohl ukončit nabíjení.

### 2.2.1.1 Ukázka pasivního balanceru



Obr. 2.3 Balancer Graupner [13]

Na obr 2.3 je balancer od firmy Graupner, který je určen pro srovnávání 2 až 6 článků baterií Li-pol.

Tento přístroj má tři režimy použití:

- *Autonomní vyrovnávání* – Akupak se pomocí servisního konektoru připojí pouze z balanceru a ten vybitím vyrovná napětí na článcích na úroveň článku s nejnižším napětím. Minimální hodnota napětí se dá z bezpečnostních důvodů nastavit.
- *Vyrovnávání při nabíjení* – Akupak je připojen jak k balanceru, tak k nabíječi. Balancer po překročení nastaveného napětí na článku začne

vyrovnávat hodnoty napětí na úroveň nejnižšího článku, tedy odebírá proud z článku s vyšším napětím.

- *Vybíječ* – Balancer vybije všechny články na zadanou hodnotu napětí [13].

## 2.2.2 Aktivní balancery s procesorem

Procesorové balancery jsou určeny pro velmi kvalitní, bezpečné a snadné srovnávání lithiových článků. Umožňují provoz s nabíječi, které pracují jak se stejnosměrnými, tak s pulzními nabíjecími proudy. Jsou řízeny procesorem a ve výrobě kalibrovány [14].

Na rozdíl od běžných balancerů, které pouze omezují maximální hodnotu napětí, zde probíhá srovnávání jednotlivých článků po celou dobu nabíjení a přebytečná energie není přeměněna na teplo, ale je použita pro nabití článku s nejnižším napětím. Jejich účinnost je tedy vyšší než u pasivních balancerů. Nabíjecí proud může být několikanásobně větší než vyrovnávací, protože je zde mnohem více času pro vyrovnání hladiny napětí článku [14].

### 2.2.2.1 Ukázka procesorového balanceru



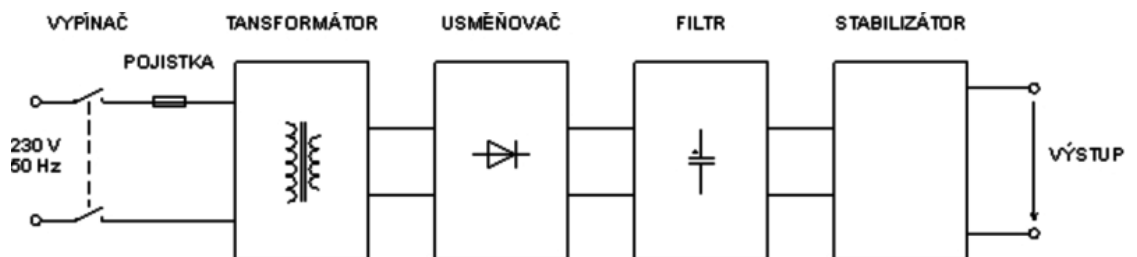
Obr. 2.4 Procesorový balancer BLCR-4 [14]

Na obr. 2.4 je procesorový balancer BLCR – 4. Ten, jako ostatní balancery tohoto druhu, srovnává napětí po celou dobu nabíjení a je kalibrován již z výroby. Je tedy velmi přesný [14].

Další výhodou je to, že dokáže rozpoznat vadné, poškozené nebo podvybité články a upozornit na to. Také upozorní na zvýšení napětí nad 4,25 V a je odolný vůči přepólování. Snese vyrovnávací proud až 1,2 A a rozdíl napětí na člancích je typicky menší než 10 mV [14].

### 3 Napájecí zdroje

#### 3.1 Lineární napájecí zdroje



Obr. 3.1 Blokové schéma klasického napájecího zdroje [15]

Na obr. 3.1 je blokové schéma lineárního napájecího zdroje. Ten tedy musí obsahovat tyto základní součásti:

- *Transformátor* – mění vstupní střídavé napětí na potřebné malé napětí. Současně galvanicky odděluje zařízení od sítě. Je to elektrický netočivý stroj, který pracuje na principu elektromagnetické indukce. V praxi se nejčastěji používají transformátory na jádrech EI nebo transformátory toroidní.
- *Usměrňovač* – usměrní protékající proud tak, že na výstupu usměrňovače je stejnosměrné pulzující napětí. Usměrňovačů existuje několik typů, ale nejčastěji se používá Graetzův můstkový usměrňovač. Průběh napětí na výstupu tohoto usměrňovače je stejný jako u dvoucestného usměrňovače. Výhodou je však to, že transformátor může mít pouze jediné sekundární vinutí. Na usměrňovači vzniká úbytek napětí podle velikosti prahového napětí usměrňujících diod, u křemíkových diod je to přibližně 0,6 až 0,7 V. Na můstkovém usměrňovači je pak úbytek dvojnásobný, protože vždy

vedou dvě diody zapojené do série.

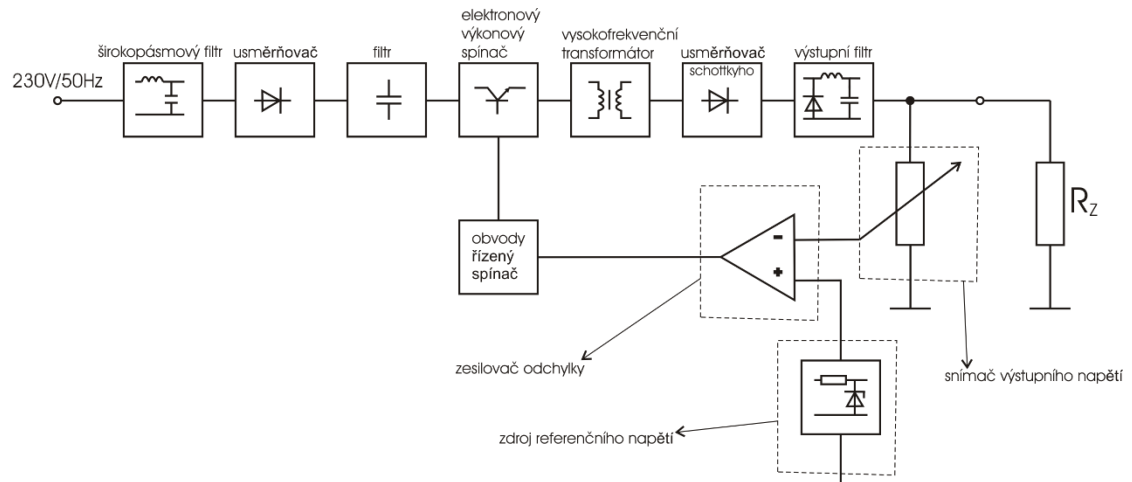
- *Filtr* – nejčastěji obsahuje elektrolytický kondenzátor, který hromadí náboj a dodává ho do obvodu při poklesu pulzujícího napětí k nule. Tento filtrační kondenzátor se volí tak, aby činitel zvlnění, který udává kolik procent ze stejnosměrného napětí činí amplituda zbytkového střídavého napětí, nepřesáhl hodnotu 10 až 15 %. Jeli tento činitel větší, přidává se mezi usměrňovač a napájený objekt vyhlazovací filtr.
- *Stabilizátor* – elektronický obvod, který se snaží udržet konstantní výstupní napětí při změně proudu odebíraného spotřebičem. Stabilizátory rozdělujeme podle provedení na několik typů. Parametrické, které ke své činnosti využívají VA charakteristik nelineárních prvků, jako je Zenerova dioda. Takový stabilizátor se nazývá paralelní a jeho účinnost je závislá na rozdílu vstupního a výstupního napětí. Při velké změně proudu se však mění výstupní napětí. Dalším typem jsou stabilizátory zpětnovazební, které využívají působení výstupního napětí na regulační prvek, kterým je tranzistor. Poslední skupinou jsou integrované stabilizátory, které stabilizují buď napětí na jednu přednastavenou hodnotu, nebo mohou být nastavitelné. Ty se zapojují sériově a jejich účinnost je vyšší než u stabilizátorů paralelních [15].

## 3.2 Spínané napájecí zdroje

Spínané zdroje se dají rozdělit do několika kategorií. Základním rozdělením je, zda pracují s frekvencí sítě nebo s vyšší frekvencí než je síťová. Zdroje pracující s frekvencí sítě jsou starší a jejich konstrukci umožňují tyristory a triaky. Nelze s nimi dosáhnout velké přesnosti stabilizace a jsou těžší a objemnější, ale také levnější. Vyhovují pro méně náročné aplikace, kde jsou kladeny menší nároky na zvlnění výstupního napětí. Konstrukci zdrojů pracujících s vyšším pracovním kmitočtem dovolila výroba rychlých, polovodičových, výkonových, spínacích součástek, feritových jader a kondenzátorů s velkou kapacitou. Jsou podstatně menší a mají přesnější regulaci výstupního napětí. Jsou ale dražší a jejich řešení je podstatně složitější. Výrobci dodávají pro tyto zařízení integrované obvody, které jsou pro tuto konstrukci přímo navržené. Také dodávají kompletní impulsní zdroj jako jeden integrovaný obvod [19].



Dalším dělením u impulsních zdrojů s vyšším pracovním kmitočtem je dělení podle toho, jestli obsahují transformátor. Jedná se o transformátory vysokofrekvenční, které mají malé rozměry. Tyto transformátory zajišťují galvanické oddělení [19].

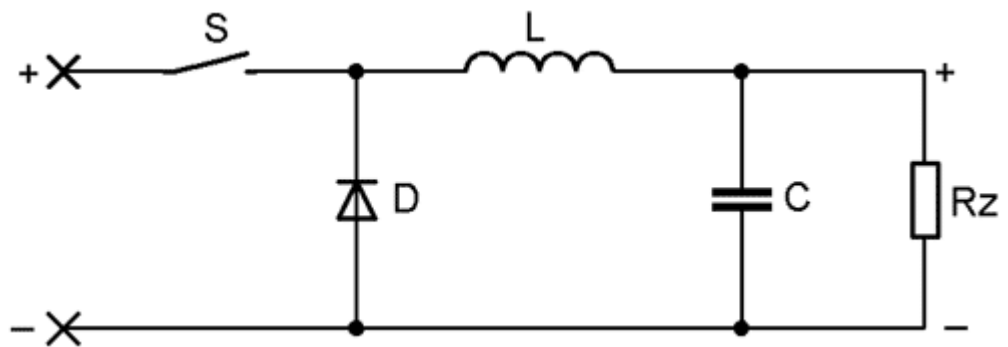


Obr. 3.2 Blokové schéma spínaného zdroje [15]

Na obr. 3.2 je znázorněno blokové schéma spínaného napájecího zdroje s transformátorem. Napětí sítě je nejprve usměrněno a vyfiltrováno širokopásmovým filtrem, který zabraňuje pronikání ze zdroje do sítě. Poté je napětí pomocí spínacích součástí rozstředáno na frekvenci řádově desítek kHz a toto napětí je přivedeno na vstup vysokofrekvenčního transformátoru. Na sekundáru se napětí opět usměrní pomocí Schottkyho diod, vyfiltruje a lze ho použít pro napájení stejnosměrných zařízení. Díky zpětné vazbě, která je zavedena z výstupu do obvodu pro řízení spínání, je toto napětí konstantní. Pokud by se ve schématu vynechala vstupní část před spínacím prvem, jednalo by se o měnič stejnosměrný [15].

V některých aplikacích je však toto oddělení nevyhovující a proto existuje několik měničů, které transformátor nepotřebují. Jedná se o snižující a zvyšující měnič.

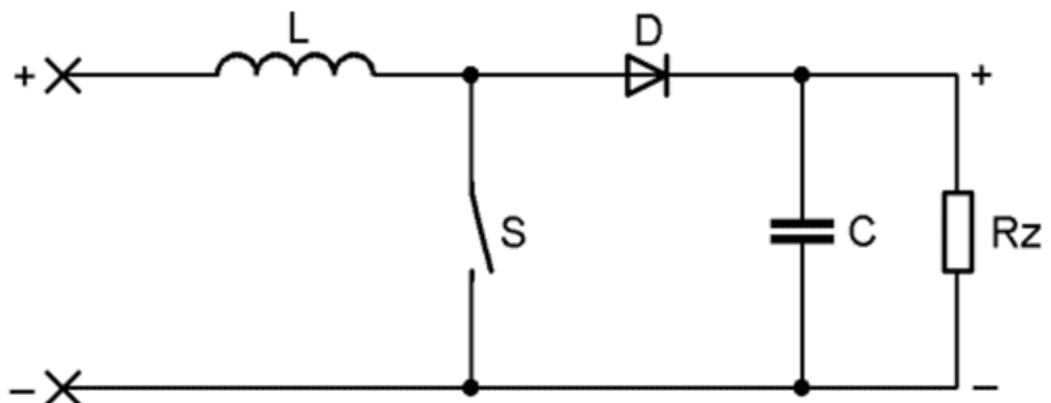
### 3.2.1 Snižující měnič (step-down)



Obr. 3.3 Snižující pulzní měnič (step-down) [19]

Na obr. 3.3 je schéma zapojení pro snižující měnič. Pokud je spínač sepnut, prochází proud cívkou do zátěže, cívka akumuluje energii, kondenzátor se nabíjí. Jakmile se spínač vypne, cívka naakumulovanou energii předává a udržuje proud zátěží, obvod se uzavírá přes diodu, kondenzátor se vybíjí [20].

### 3.2.2 Zvyšující měnič (step-up)



Obr. 3.4 Zvyšující pulzní měnič (step-up) [19]

Na obr. 3.4 je zvyšující pulzní měnič. Pokud je spínač sepnut, prochází proud cívkou a cívka akumuluje energii. Jakmile se spínač vypne, energie akumulovaná v cívce působí jako další zdroj, jehož napětí se přičte k napětí zdroje a kondenzátor se přes diodu nabíjí na toto vyšší napětí. Jakmile se spínač zase sepne, nabitý kondenzátor dále předává energii do zátěže, zatímco cívka znovu akumuluje energii ze zdroje [20].

### 3.3 Porovnání spínaných a lineárních zdrojů

Lineární, neboli klasický napájecí zdroj má malou účinnost (přibližně 30 %) a velké rozměry i hmotnost. Spínané zdroje mají až desetkrát menší hmotnost a třikrát menší rozměry. Účinnost je zde také podstatně lepší, dle zvolené topologie a výkonu, (přibližně 85 %), které je dosaženo náhradou odporové regulace spínáním, tedy rychlým odpojováním a připojováním zdroje k spotřebiči. Menších rozměrů a hmotnosti je dosaženo použitím malých impulzních vysokofrekvenčních transformátorů nebo cívek s feritovým jádrem. Velkou nevýhodou impulzních zdrojů však může být rušení, které vzniká spínáním výkonových tranzistorů, které vadí v audio a vysokofrekvenční technice [15].

## 4 Návrh nabíječe lithiových baterií

Lithiové akumulátory se nabíjí ze zdroje konstantního napětí s omezením maximálního proudu. Tento zdroj neboli nabíječ, bude napájen ze střídavé sítě a jeho výstupní napětí musí být stejnosměrné a mít velikost přibližně 3 až 4,5 V. Musí mít obvod, který omezí maximální proud do akumulátoru.

Nejvhodnější topologií pro tento nabíječ by tedy byl spínaný zdroj, který by byl napájen přímo 230 V a výstup by rovnou nabíjel akumulátor.

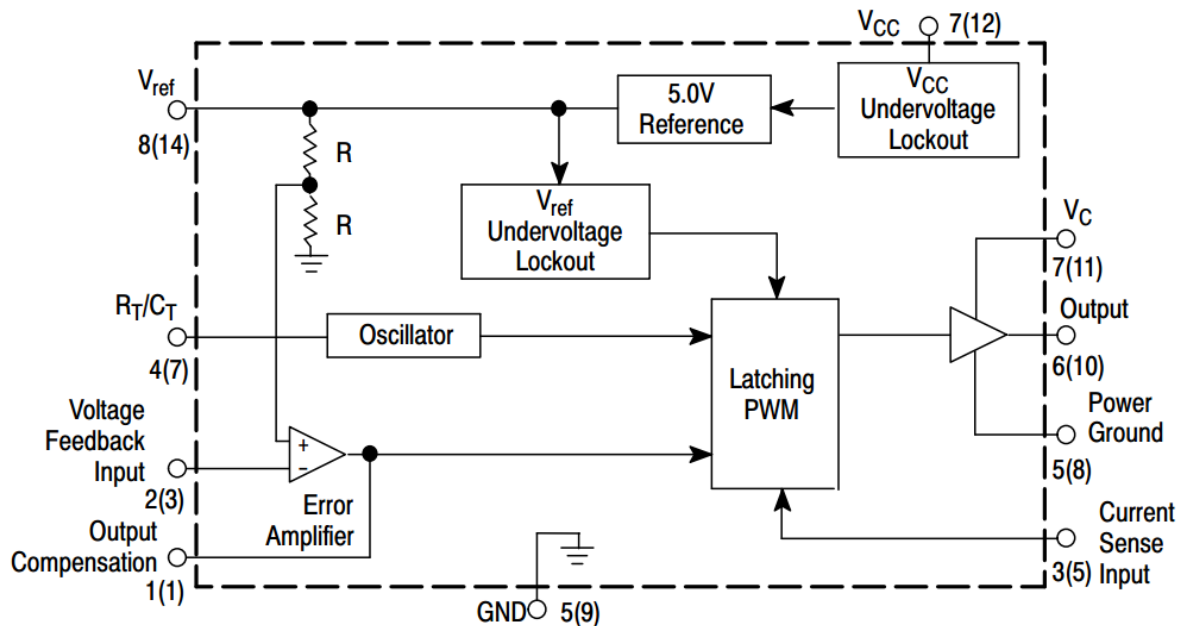
Já jsem zvolil síťový transformátor a snižující pulzní měnič, protože se jedná o jednodušší verzi, která je i levnější, snadno dostupná a robustní. Také jsem touto volbou předešel problémům s návrhem vysokofrekvenčního transformátoru. Nevýhodou ovšem je, že toto řešení má díky úbytkům napětí na usměrňovacím můstku nižší účinnost.

Schématické zapojení snižujícího pulzního měniče je na obr. 3.3. Tento měnič funguje tak, že při sepnutí spínače, kterým nejčastěji bývá unipolární tranzistor MOS-FET typu N, se začne nabíjet kondenzátor a proud tekoucí indukčností roste. Když napětí dosáhne požadované úrovně na výstupu, spínač se rozepte a proud tekoucí cívkou se začne uzavírat přes zpětnou diodu. Klesá proud cívkou a kondenzátor se vybíjí do zátěže. Když výstupní napětí klesne pod požadovanou mez, řídicí logika znovu sepne spínač a celý cyklus se opakuje. V obvodu řízení se nejčastěji používá komparátor, který říditelný prvek spíná a

rozpíná. Doba sepnutí spínače je tím větší, čím větší je odběr zátěže. Tento druhu řízení se nazývá pulzně šířková modulace (PWM).

## 4.1 Vlastní návrh

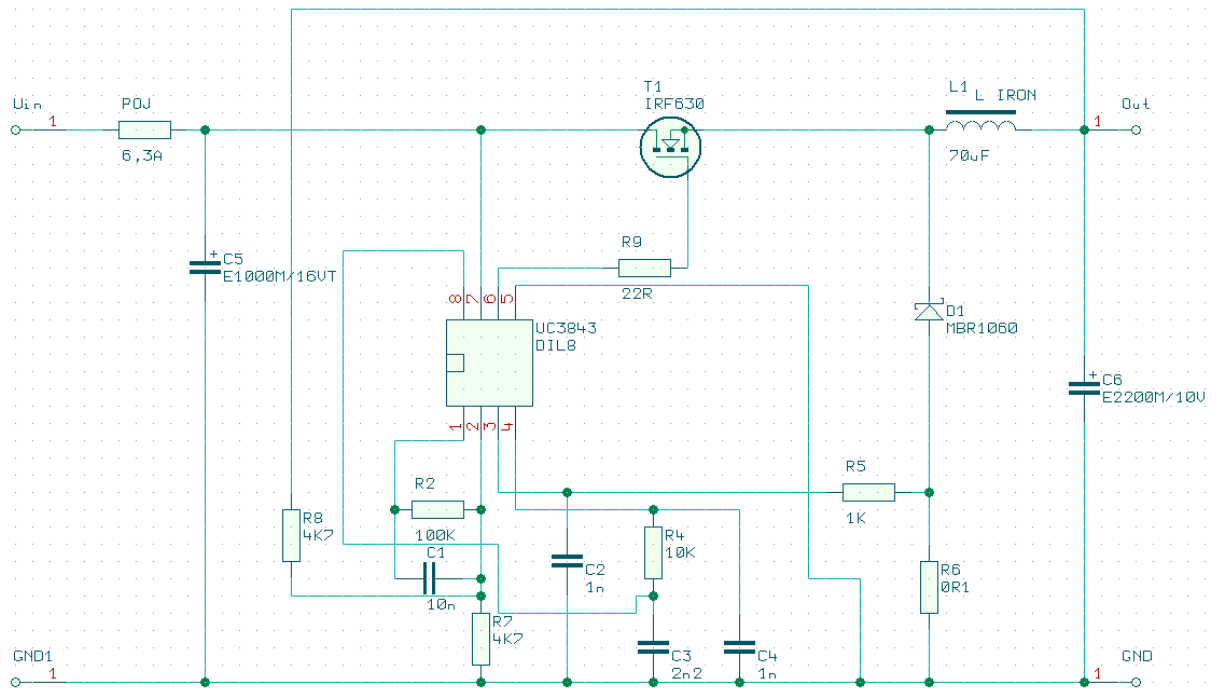
První možností návrhu snižujícího měniče byl vlastní návrh s použitím nějakého řídicího obvodu pro spínací prvek. Jako tento řídicí obvod jsem zvolil UC3843, což je PWM kontrolér.



Obr. 4.1 Vnitřní uspořádání UC3843 [18]

Blokové schéma vnitřního uspořádání UC3843 je na obr. 4.1. Tento obvod má nastavitelnou frekvenci spínání pomocí vnějšího RC oscilátoru a její maximální hodnota je 250 kHz. Oscilátor je kondenzátor, který je nabíjen a vybíjen přes rezistor. Já jsem použil hodnoty  $R_T = 10 \text{ k}\Omega$  a  $C_T = 2,2 \text{ nF}$ , tedy spínací frekvence byla přibližně 100 kHz.

Funkce tohoto kontroléru je poměrně jednoduchá. Referenční napětí je porovnáváno s napětím přivedeným na napěťovou zpětnou vazbu. Oscilátor pulzuje na nastavené frekvenci a generuje obdélníkové pulzy. Zjednodušeně jsou tyto dva signály přivedeny do logického hradla typu AND, kde jsou porovnány, a výstupní signál ovládá integrované tranzistory, které následně spínají tranzistor výkonový [18].



Obr. 4.2 Vnitřní uspořádání UC3843

Celkové schéma je na obr. 4.2 a vychází z obecného zapojení snižovacího pulzního měniče. Toto zapojení vzniklo upravením katalogového schématu UC3843 pro zvyšující pulzní měnič. Má tedy jen jinak zapojené výkonové součástky, kterými jsou unipolární MOS-FET tranzistor typu N, Schottkyho dioda a indukčnost.

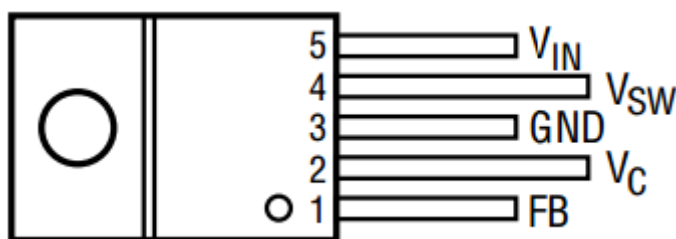
Volil jsem tranzistor IRF630 který je určen pro proudy do 9 A, napětí až 200 V a odpor v sepnutém stavu má 0,35  $\Omega$ . Akumulační tlumivka je určena pro proud až 10 A a její indukčnost je 68  $\mu\text{H}$ . Schottkyho dioda MBR 1060 je také pro proud do 10 A, napětí 60 V.

Toto zapojení se v praxi ukázalo jako nevhodné a nefunkční. Největším nedostatkem bylo spínání tranzistoru, které bylo vyřešené špatně. Toto spínání by bylo vhodné vyřešit pomocí plovoucího zdroje a přes optočlen. Proto jsem toto zapojení zavrhl a zvolil jiné.

## 4.2 Nabíječ s integrovaným obvodem pro spínání

Po té, co se vlastní návrh neosvědčil, jsem hledal jinou a lepší alternativu. Po poradě s vedoucím mé práce jsme vybrali integrovaný regulátor pro spínané zdroje typu „step-down“.

Tento integrovaný obvod je monolitický bipolární spínací regulátor, který pro svou činnost nepotřebuje příliš vnějších součástek. V čipu je spínací prvek, oscilátor, řídicí obvody i proudové omezení. Vstupní napětí se musí pohybovat v rozmezí 8 až 45 V. LT1074 se vyrábí v pouzdře TO-220 s pěti vývody, které je na obr. 4.3, a má přednastavenou frekvenci na 100 kHz a proudové omezení na 6,5 A [21].



Obr. 4.3 Pouzdro LT1074 [21]

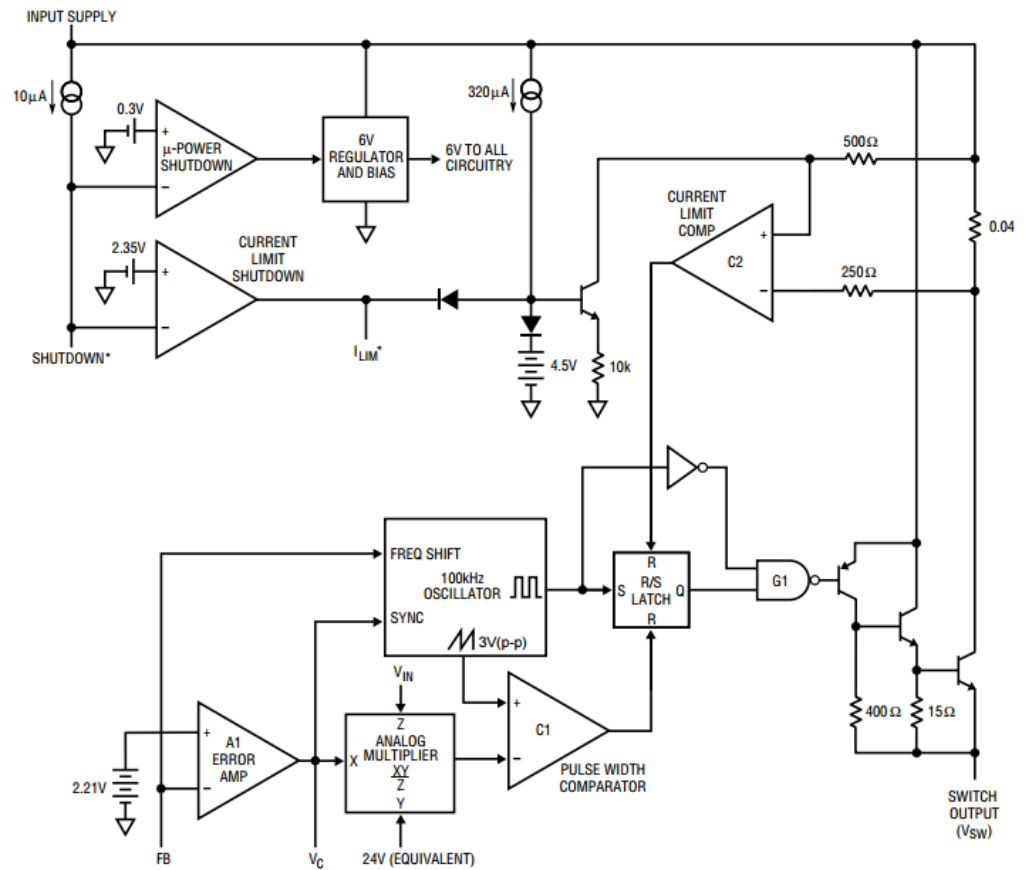
### 4.2.1 Princip činnosti LT1074

Na obr. 4.4 je znázorněno vnitřní uspořádání integrovaného obvodu LT1074. Celý cyklus je zahájen tím, že oscilátor nastaví R/S klopný obvod. Stejný pulz také zablokuje spínač přes vstup logického členu G1. Spínací frekvence je pevně nastavena na 100 kHz. Výkonový spínač může být odepnut i komparátorem C1, který zresetuje klopný obvod. Na komparátor C1 jde pilovitý průběh na jeden vstup a výstup z násobícího členu na druhý vstup. Výstupem násobícího členu je porovnání referenčního napětí s výstupem chybového zesilovače A1, které je děleno vstupním napětím. To znamená, že výstupní napětí z A1, které udržuje konstantní napětí na výstupu, je nezávislé na vstupním napětí. Tím se výrazně zlepšuje odezva a dělá tuto část obvodu nezávislou na vstupním napětí. Velikost proudu, který jde na neinvertující vstup chybového zesilovače je 140  $\mu$ A, kdežto na invertující vstup je to 1,1 mA. Tato

asymetrie napomáhá předcházení přepětí při zapínání. Frekvenční kompenzace celé smyčky je prováděna přes pin  $V_C$ , na který je připojena sériová RC kombinace spojená se zemí [21].

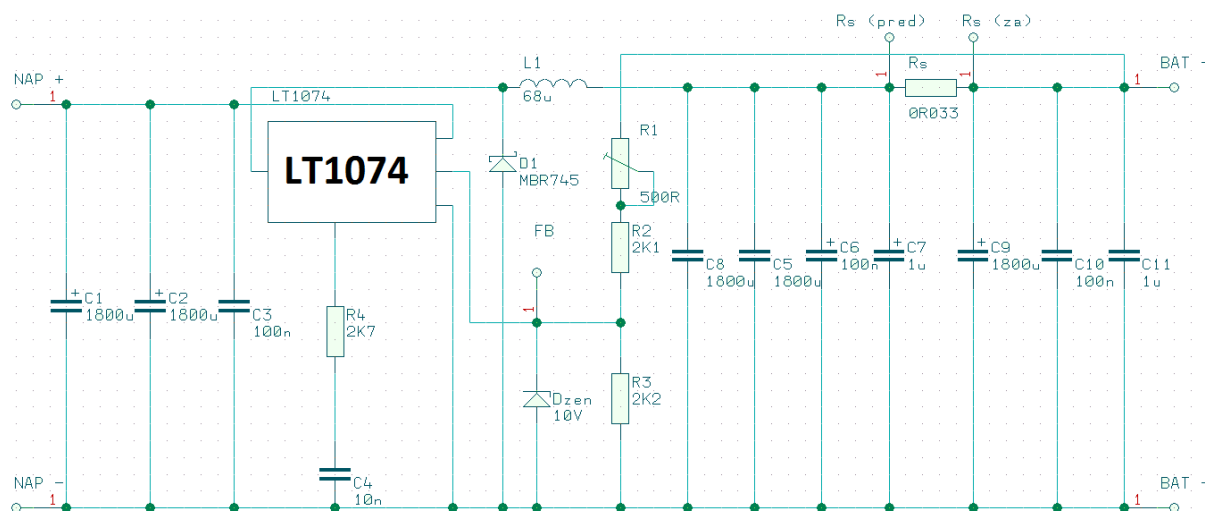
Velikost proudu je nepřetržitě monitorována pomocí  $C2$ , který v případě nadproudu zresetuje klopný obvod R/S, který odpojí spínač. Čas potřebný pro detekci nadproudu je 600ns. Proudový limit je nastaven na 6,5 A [21].

Ke spínání je zde použito Darlingtonovo zapojení NPN tranzistorů, které jsou spínány tranzistorem PNP. Speciálně vytvořený obvod, který řídí PNP tranzistor, slouží k rychlému sepnutí i odepnutí i při stavu nasycení [21].



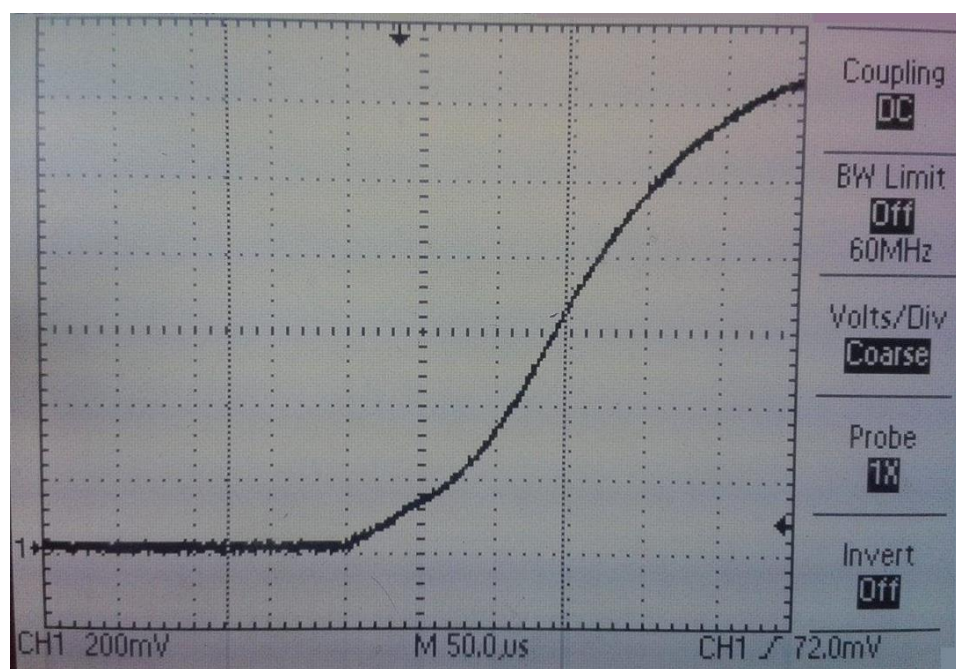
Obr. 4.4 Vnitřní zapojení LT1074 [21]

## 4.2.2 Popis schématu spínaného zdroje



Obr. 4.5 Schéma zapojení spínaného zdroje s LT1074

Na obr. 4.5 je schéma celého spínaného zdroje. Toto zapojení vychází ze schématu, které je v technickém listu LT1074 a je na obr. 4.7. Základní součástky, jako je tlumivka a Schottkyho dioda, jsou tedy vybírané na základě tohoto zapojení. Tlumivka je volena tak, aby pracovala v lineární části své charakteristiky, která je na obr. 4.6, kde je závislost proudu na čase (proudová sonda má poměr 1:5). Tedy maximální proud je přibližně 6 A. S ohledem na maximální proudové zatížení a nutnou rezervu pro proudové špičky, jsem zvolil cívku na proud 10 A.



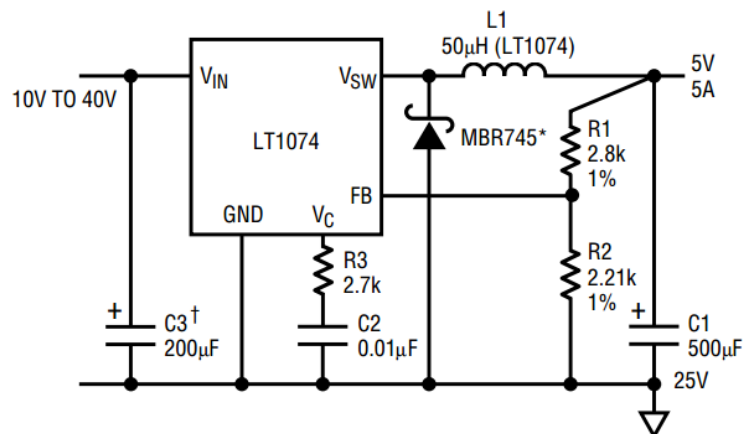
Obr. 4.6 Měření charakteristiky tlumivky



Odporový dělič zpětné vazby, který je přiveden na vstup FB, jsem navrhoval tak, aby se potenciometrem  $R_1$  dalo nastavit výstupní napětí v rozmezí 3,8 až 4,6 V. Výstupní i vstupní filtrační kondenzátory mají v součtu vždy 3600  $\mu\text{F}$ . Paralelně k nim jsou připojeny kondenzátory menších hodnot jako blokovací s hodnotou 100 nF a na výstupu 1  $\mu\text{F}$  pro odfiltrování rušivých nežádoucích signálů. Pro určení velikosti filtračních kondenzátorů jsem použil hodnoty z technického listu a následně je experimentálně upravil.

Jako snímací rezistor  $R_s$ , který je důležitý pro správnou funkci obvodu pro omezení proudu, jsem zvolil paralelní spojení tří rezistorů o hodnotě 0,1  $\Omega$ . Tedy celková hodnota snímacího odporu je 0,033  $\Omega$ , která je kompromisem mezi velikostí úbytku napětí a snadným vyhodnocením pro regulaci proudu. Paralelní kombinace je také výhodná pro zmenšení parazitní indukčnosti. Před i za tímto rezistorem jsou filtrační i blokovací kondenzátory pro vyhlazení signálu a snížení rušení. Dále je v zapojení Zenerova dioda na 10 V, díky které je vstup FB ochráněn před vyšším napětím, než které na něj může přijít, aby nedošlo k poškození celého integrovaného obvodu LT1074. Poslední dvě součástky, rezistor  $R_3$  a kondenzátor  $C_2$  slouží pro kompenzaci vnitřní frekvenční smyčky, jak už bylo popsáno v předešlém odstavci, který popisoval samotný integrovaný obvod.

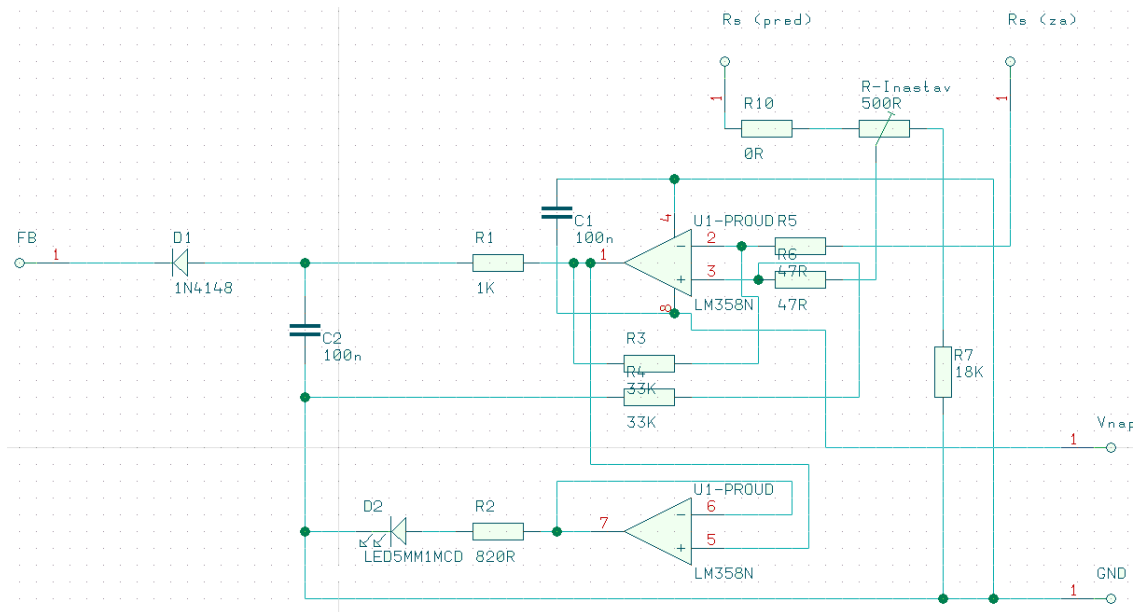
Celý obvod je napájen ze sítě 230 V. Proto je před tímto obvodem ještě zapojen toroidní transformátor a můstkový usměrňovač. Oba tyto prvky jsou dimenzovány tak, aby byly schopny bezpečně zabezpečit napájení celého obvodu. Transformátor má zdánlivý výkon 80 VA (Indel TST 080/112), usměrňovač je KBPC1006 (DC components) a navržen pro proudy do 10 A.



Obr. 4.7 Schéma zapojení LT1074 [21]

### 4.3 Omezení proudu

Obvod pro omezení výstupního proudu je na obr. 4.8. Funkce tohoto zapojení je poměrně jednoduchá. Jedná se o pouhé srovnávání dvou napětí komparátorem.



Obr. 4.8 Schéma obvodu pro omezení výstupního proudu

Jde o základní rozdílové zapojení operačního zesilovače. Toto zapojení od sebe odečte napětí na neinvertujícím a invertujícím vstupu a výslednou hodnotu vynásobí zesílením, které je určeno velikostí připojených odporů.

Jako operační zesilovač jsem použil součástku LM358, která obsahuje tyto zesilovače dva. Tato součástka je vhodná díky svému malému vstupnímu offsetu, který je přibližně 2 mV a vysoké rychlosti přeběhu. Jelikož se v zapojení  $R_3 = R_4$  a  $R_5 = R_6$  je zesílení A:

$$A = \frac{R_3}{R_5} = \frac{R_4}{R_6} = \frac{33 \cdot 10^3}{47} \approx 700 \quad (1)$$

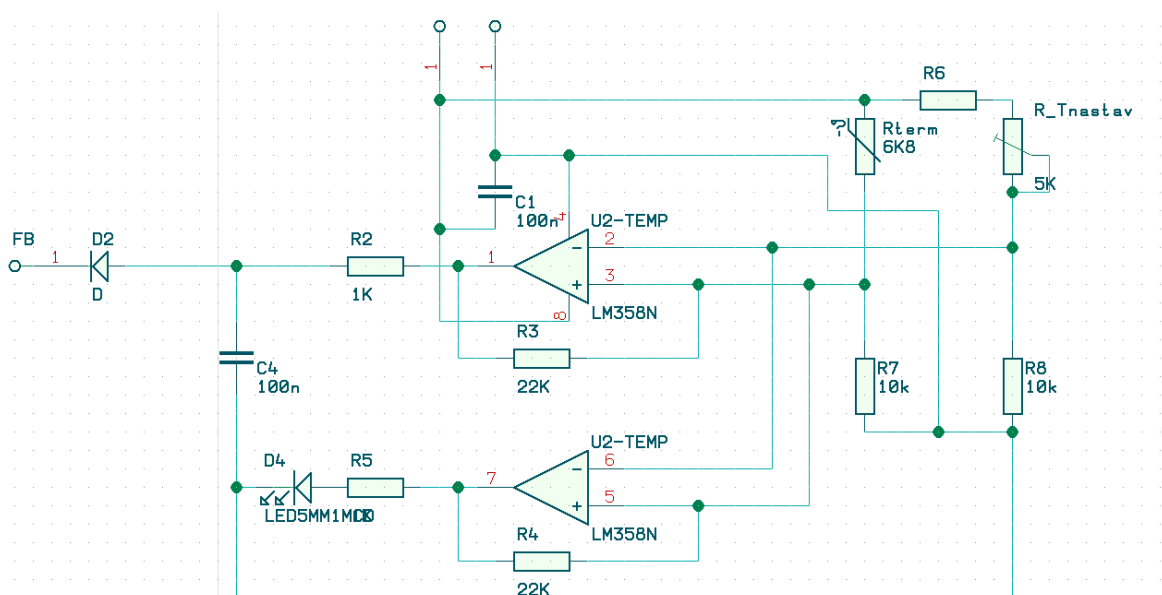
Napětí, která jsou porovnávána, jsou přivedena ze spínaného zdroje a to před a za snímacím odporem  $R_s$ . Napětí před snímacím odporem je právě o úbytek na tomto odporu vyšší a na neinvertující vstup zesilovače je tedy přivedeno přes odporový dělič, který je nastavitelný potenciometrem. Na invertující vstup je přivedeno napětí za snímacím rezistorem rovnou, pouze přes rezistor, který určuje zesílení. Výstup

z tohoto operačního zesilovače je přiveden přes rezistor a diodu na vstup FB spínaného zdroje. Pokud je hodnota proudu vyšší než nastavená, napětí z operačního zesilovače zvýší velikost napětí na FB a ten sníží výstupní napětí a tím pádem i proud. Ten je nastavitelný v rozsahu od 400 mA do 5 A.

Pro signalizaci omezení proudu je druhá část LM358 zapojena jako napěťový sledovač a pouze sleduje hodnotu napětí na výstupu první části, kterou přenesse na svůj výstup a pouze rozsvítí nebo zhasne LED diodu. V obvodu je zapojen také blokovací kondenzátor, který se zapojuje mezi napájecí a zemnicí pin integrovaného obvodu a musí být připojen právě co nejbližší tomuto zemnicímu pinu. Zapojuje se pro zamezení šíření rušení obvodu.

#### 4.4 Ochrana proti přehřátí

Ochrana proti přehřátí je řešena podobným zapojením jako omezení proudu. Operační zesilovače jsou zde zapojeny jako komparátor s hysterezí, aby bylo možné nastavit ochranu tak, aby při jedné teplotě sepnula a odpojila se, až když teplota klesne na hodnotu o několik stupňů nižší.



Obr. 4.9 Schéma zapojení ochrany proti přehřátí

Celé schéma je na obr. 4.9. Je zde opět použit obvod LM358 s dvěma operačními zesilovači. Pro měření teploty je použit NTC termistor 6,8 k $\Omega$ , u kterého se zvyšující teplotou odpor klesá. Tento termistor tvoří spolu s dalším rezistorem dělič

napětí pro neinvertující vstup, potenciometr a další dva rezistory pak tvoří dělič napětí pro vstup invertující. Potenciometrem se dá nastavit teplota, při které ochrana sepne. Volbou rezistoru  $R_3$  nastavujeme velikost hystereze, tedy o kolik °C musí teplota klesnout, než se ochrana opět vyřadí. Výstupní signál je pak obdobně jako u proudového omezení připojen na vstup FB spínaného zdroje. Pokud dojde k přehřátí, je výstupní napětí stažené k nule. Maximální teplota, při které obvod sepne je přibližně 65 °C, hystereze je zvolena 10 °C. Termistor by bylo vhodné vyvést přímo k nabíjenému akumulátoru.

Naprosto stejně je zapojena i druhá část LM358, která zajišťuje signalizaci sepnuté ochrany.

## 4.5 Měření

### 4.5.1 Účinnost

Pro měření účinnosti jsem pro měření výstupního napětí na vstupu spínaného zdroje použil multimetry s funkcí TrueRMS, což znamená, že dokáží změřit efektivní hodnotu i nesinusových průběhů. Na výstupu pak byli použity M3900, které měřily stejnosměrné veličiny. Měření jsem prováděl pro několik konstantních výstupních napětí, při změně výstupního proudu od 0,5 do 5 A (tab. 5.1-5.4). Nakonec jsem provedl měření účinnosti včetně připojeného transformátoru a můstkového usměrňovače jen pro dvě hodnoty (tab.5.5).

Tab. 5.1 Měření účinnosti při konstantním výstupním napětím 3,6 V

|               |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $U_{in}$ (V)  | 14,15       | 13,88       | 13,61       | 13,46       | 13,11       | 12,75       | 12,48       | 12,21       | 11,85       | 11,48       |
| $I_{in}$ (A)  | 0,21        | 0,43        | 0,66        | 0,90        | 1,17        | 1,45        | 1,73        | 2,02        | 2,34        | 2,68        |
| $U_{out}$ (V) | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> | <b>3,60</b> |
| $I_{out}$ (A) | <b>0,50</b> | <b>1,00</b> | <b>1,50</b> | <b>2,00</b> | <b>2,50</b> | <b>3,00</b> | <b>3,50</b> | <b>4,00</b> | <b>4,50</b> | <b>5,00</b> |
| $P_{in}$ (W)  | 3,00        | 6,01        | 9,00        | 12,07       | 15,31       | 18,45       | 21,60       | 24,60       | 27,75       | 30,81       |
| $P_{out}$ (W) | 1,80        | 3,60        | 5,40        | 7,20        | 9,00        | 10,80       | 12,60       | 14,40       | 16,20       | 18,00       |
| $\eta$ (%)    | 60,00       | 59,90       | 60,03       | 59,63       | 58,80       | 58,54       | 58,33       | 58,53       | 58,37       | 58,42       |

Tab. 5.2 Měření účinnosti při konstantním výstupním napětí 3,8 V

|               |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $U_{in}$ (V)  | 14,22       | 13,86       | 13,60       | 13,42       | 12,91       | 12,72       | 12,36       | 12,15       | 11,70       | 11,43       |
| $I_{in}$ (A)  | 0,22        | 0,45        | 0,69        | 0,93        | 1,21        | 1,47        | 1,78        | 2,06        | 2,39        | 2,72        |
| $U_{out}$ (V) | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> | <b>3,80</b> |
| $I_{out}$ (A) | <b>0,50</b> | <b>1,00</b> | <b>1,50</b> | <b>2,00</b> | <b>2,50</b> | <b>3,00</b> | <b>3,50</b> | <b>4,00</b> | <b>4,50</b> | <b>5,00</b> |
| $P_{in}$ (W)  | 3,11        | 6,21        | 9,32        | 12,45       | 15,58       | 18,71       | 21,98       | 25,08       | 27,99       | 31,03       |
| $P_{out}$ (W) | 1,90        | 3,80        | 5,70        | 7,60        | 9,50        | 11,40       | 13,30       | 15,20       | 17,10       | 19,00       |
| $\eta$ (%)    | 61,01       | 61,20       | 61,19       | 61,03       | 60,97       | 60,93       | 60,52       | 60,61       | 61,10       | 61,23       |

Tab. 5.3 Měření účinnosti při konstantním výstupním napětí 4 V

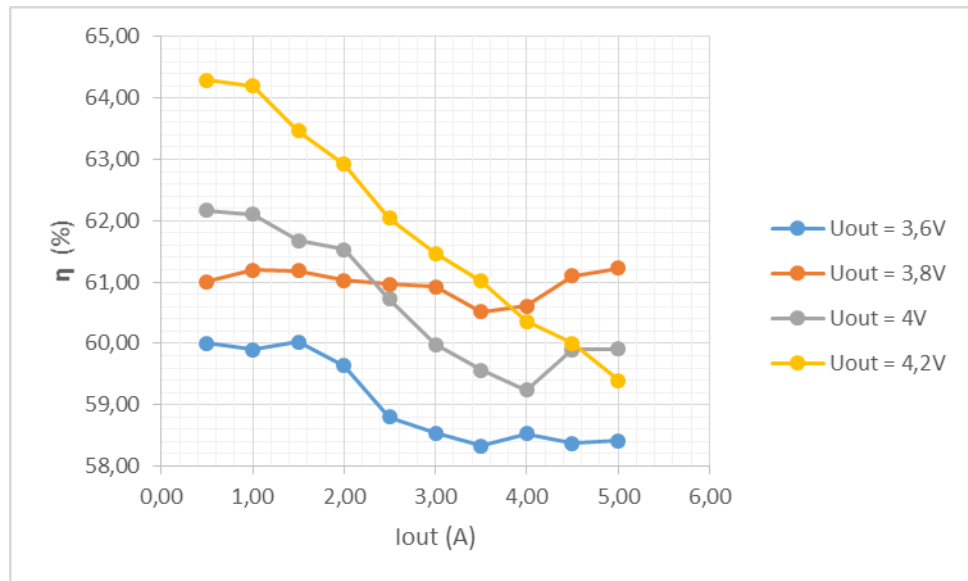
|               |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $U_{in}$ (V)  | 14,11       | 13,82       | 13,53       | 13,24       | 12,92       | 12,59       | 12,30       | 12,10       | 11,72       | 11,52       |
| $I_{in}$ (A)  | 0,23        | 0,47        | 0,72        | 0,98        | 1,28        | 1,59        | 1,91        | 2,23        | 2,56        | 2,90        |
| $U_{out}$ (V) | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> | <b>4,00</b> |
| $I_{out}$ (A) | <b>0,50</b> | <b>1,00</b> | <b>1,50</b> | <b>2,00</b> | <b>2,50</b> | <b>3,00</b> | <b>3,50</b> | <b>4,00</b> | <b>4,50</b> | <b>5,00</b> |
| $P_{in}$ (W)  | 3,22        | 6,44        | 9,73        | 13,00       | 16,47       | 20,01       | 23,51       | 27,01       | 30,05       | 33,38       |
| $P_{out}$ (W) | 2,00        | 4,00        | 6,00        | 8,00        | 10,00       | 12,00       | 14,00       | 16,00       | 18,00       | 20,00       |
| $\eta$ (%)    | 62,17       | 62,11       | 61,68       | 61,53       | 60,73       | 59,98       | 59,56       | 59,24       | 59,90       | 59,91       |

Tab. 5.4 Měření účinnosti při konstantním výstupním napětí 4,2 V

|               |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $U_{in}$ (V)  | 14,14       | 13,86       | 13,58       | 13,10       | 12,85       | 12,45       | 12,21       | 11,91       | 11,61       | 11,31       |
| $I_{in}$ (A)  | 0,23        | 0,47        | 0,73        | 1,02        | 1,32        | 1,65        | 1,97        | 2,34        | 2,71        | 3,13        |
| $U_{out}$ (V) | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> | <b>4,20</b> |
| $I_{out}$ (A) | <b>0,50</b> | <b>1,00</b> | <b>1,50</b> | <b>2,00</b> | <b>2,50</b> | <b>3,00</b> | <b>3,50</b> | <b>4,00</b> | <b>4,50</b> | <b>5,00</b> |
| $P_{in}$ (W)  | 3,27        | 6,54        | 9,93        | 13,35       | 16,92       | 20,50       | 24,09       | 27,83       | 31,50       | 35,36       |
| $P_{out}$ (W) | 2,10        | 4,20        | 6,30        | 8,40        | 10,50       | 12,60       | 14,70       | 16,80       | 18,90       | 21,00       |
| $\eta$ (%)    | 64,29       | 64,20       | 63,46       | 62,93       | 62,04       | 61,46       | 61,02       | 60,36       | 60,00       | 59,40       |

Tab. 5.5 Měření účinnosti s transformátorem a usměřovačem

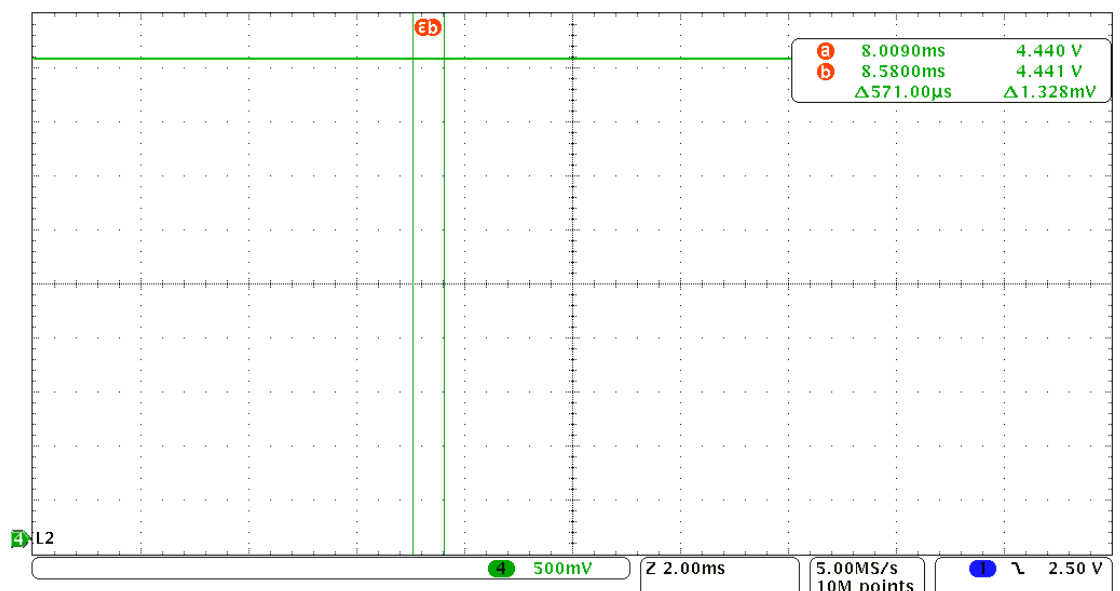
|               |       |       |
|---------------|-------|-------|
| $U_{in}$ (V)  | 11,46 | 11,60 |
| $I_{in}$ (A)  | 1,36  | 0,72  |
| $U_{out}$ (V) | 4,45  | 4,47  |
| $I_{out}$ (A) | 1,40  | 0,75  |
| $P_{in}$ (W)  | 15,59 | 8,34  |
| $P_{out}$ (W) | 6,23  | 3,35  |
| $\eta$ (%)    | 39,97 | 40,20 |



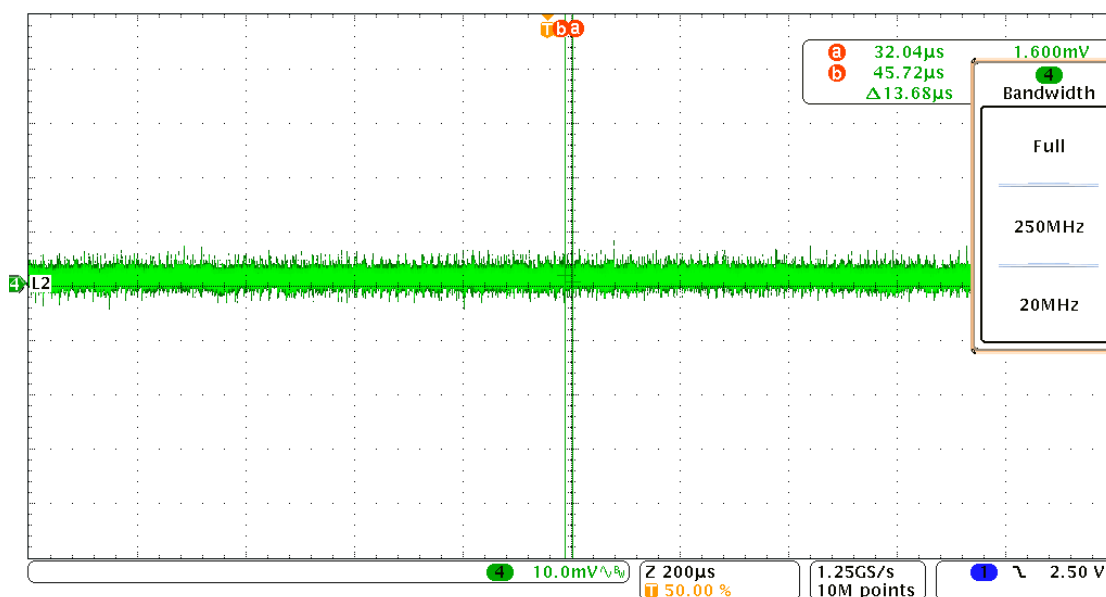
Obr. 5.9 Graf účinnosti v závislosti na výstupním napětím

#### 4.5.2 Výstupní napětí

Pomocí digitálního osciloskopu jsem změřil výstupní napětí pro nezatížený a různě zatížený nabíječ. Při měření bylo také různě nastavené omezení výstupního proudu a jako zátěž byl použit odpor i Li-ion baterie.

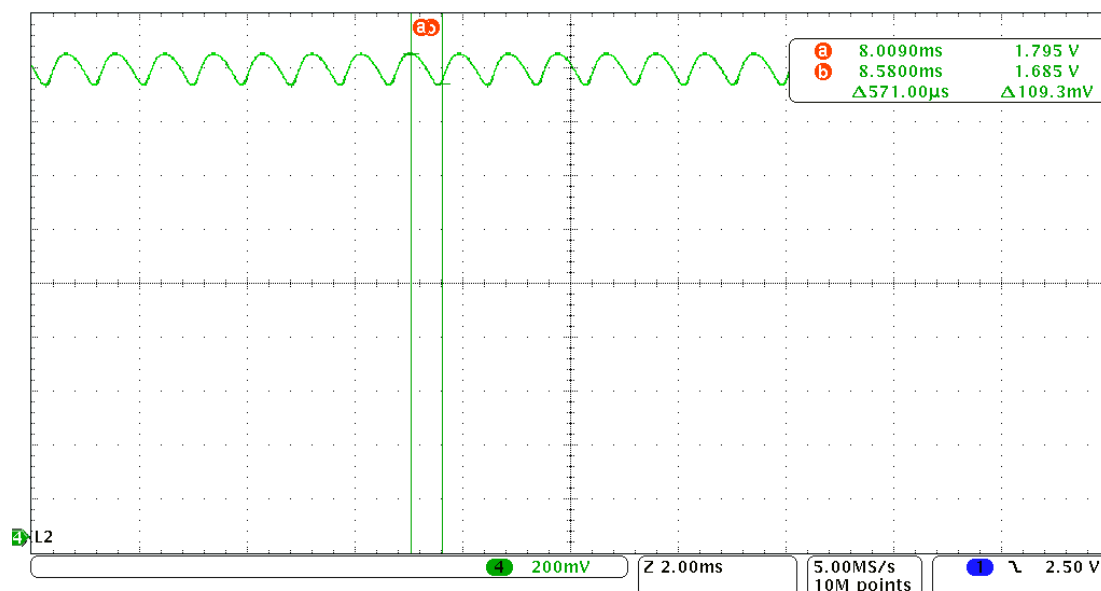


Obr. 5.10 Napětí naprázdno

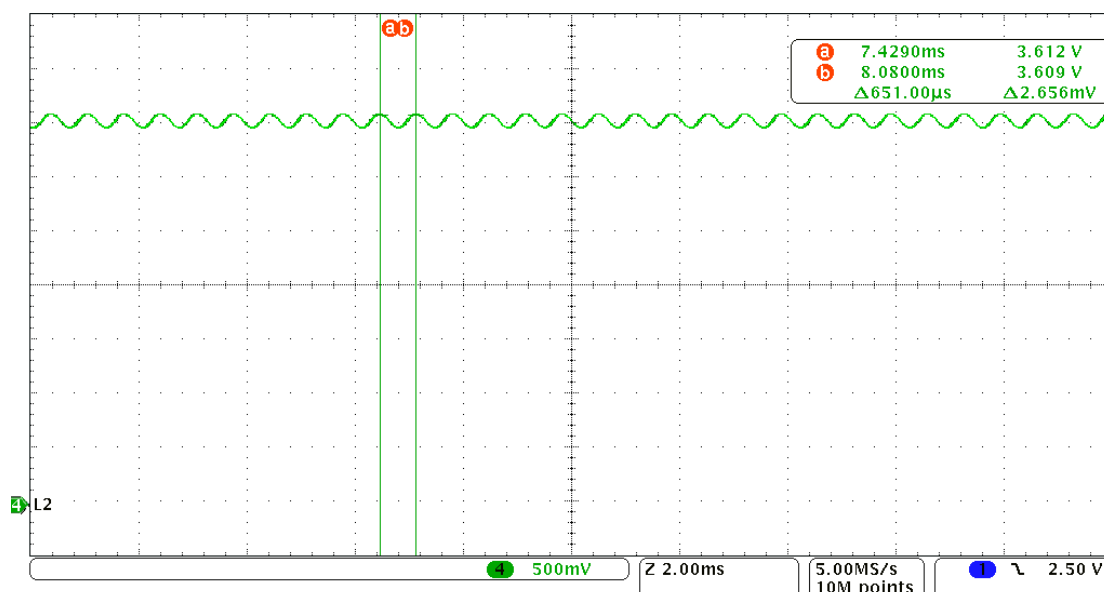


Obr. 5.11 Zvlnění špička-špička při napětím naprázdno

U nezatíženého nabíječe je vidět, že zvlnění je nepatrné. Jeho velikost je přibližně 1 mV. To je vidět na obr. 5.10. Pokud bychom chtěli brát zvlnění v maximální hodnotě, tedy špička-špička, které je na obr. 5.11, má velikost asi 80 mV. Pokud nabíječ zatížíme, zvlnění naroste. Zvlnění při výstupním proudu 2 A je na obr. 5.12 a pro 4 A je na obr. 5.13.



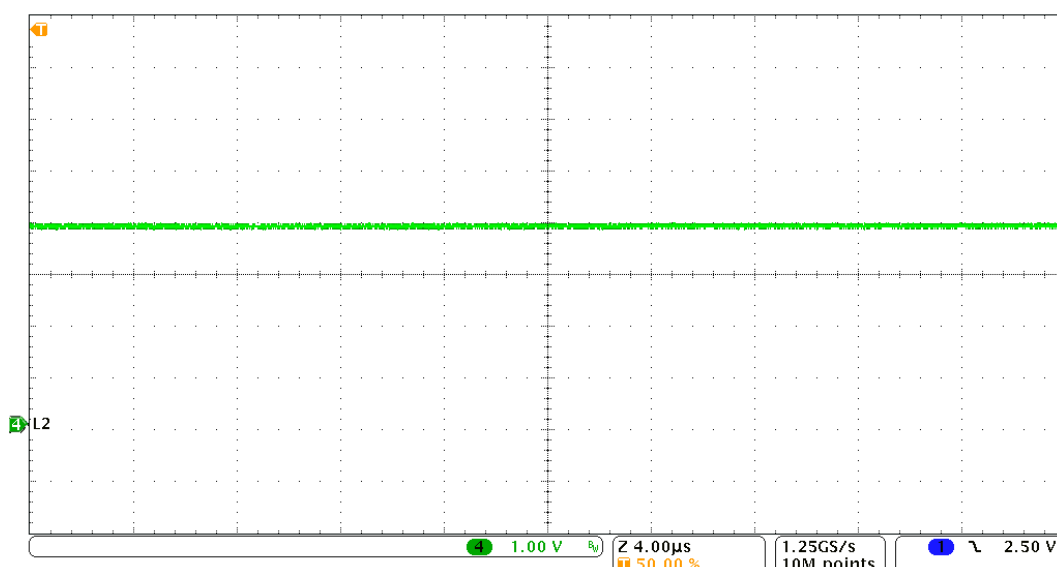
Obr. 5.12 Výstupní napětí při výstupním proudu 2 A



Obr. 5.13 Výstupní napětí při výstupním proudu 2 A

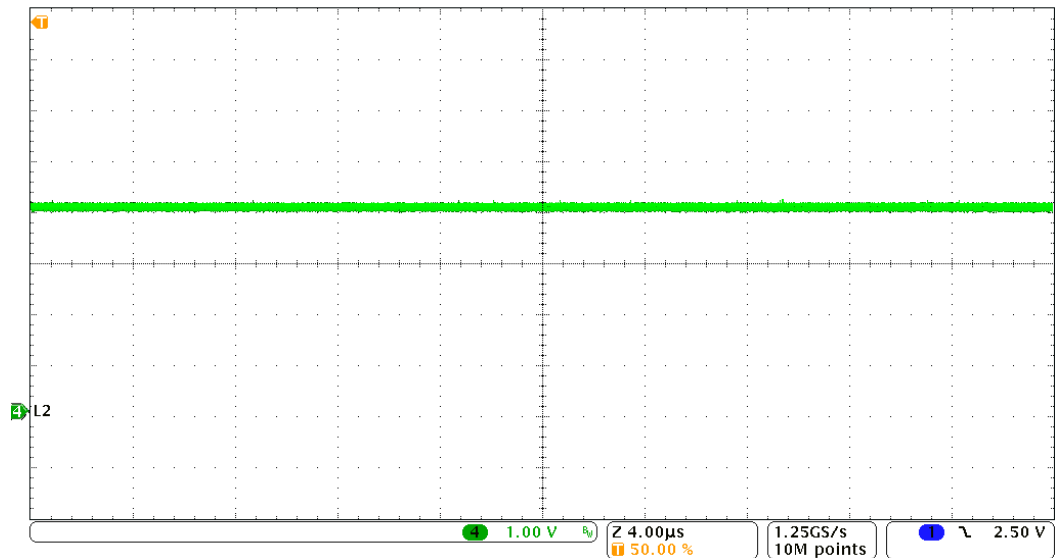
Zvlnění je při zatíženém nabíječi větší. Při připojeném rezistoru a výstupním proudu 2 A je to přibližně 100 mV, pro 4 A je to pak asi 140 mV. Zvlnění je vyšší díky omezení obvodu proudovou zpětnou vazbou, kterou nastavujeme daný výstupní proud. Oba tyto průběhy jsou při fungující proudové zpětné vazbě.

Další měření výstupního napětí proběhlo s připojeným akumulátorem Li-ion o kapacitě 1500 mAh. Ten byl nejprve nabíjen proudem 300 mA (obr. 5.14), proudem 1 A (obr. 5.15), poté proudem 2 A (obr. 5.16) a nakonec proudem přes 2 A, kdy už nezasahovala proudová zpětná vazba, ale pouze napěťová (obr. 5.17).

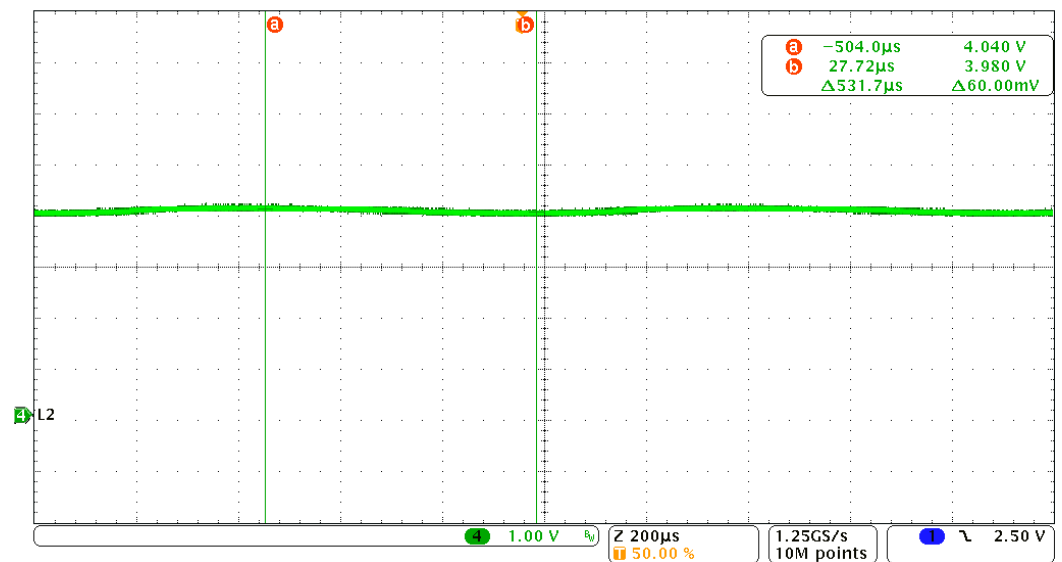


Obr. 5.14 Výstupní napětí s připojenou baterií a proudem 300 mA

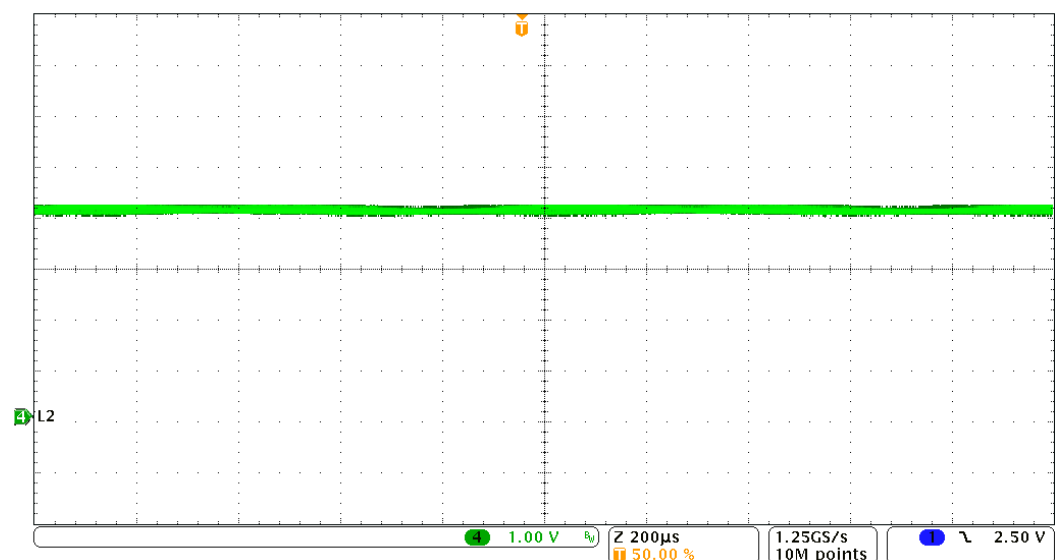




Obr. 5.15 Výstupní napětí s připojenou baterií a proudem 1 A



Obr. 5.16 Výstupní napětí s připojenou baterií a proudem 2 A



Obr. 5.14 Výstupní napětí s připojenou baterií a proudem větším než 2 A (bez proudové zpětné vazby)

## 4.6 Zhodnocení zařízení a možná vylepšení

### 4.6.1 Zhodnocení zařízení

Nabíječ není sestaven a ani nepracuje bez chyb, ale je s ním možné bezpečně nabíjet lithiové akumulátory. Je zatím ve stádiu prototypu a je tedy potřeba některé vlastnosti ještě doladit.

V prvních návrzích spínaného zdroje byl problém s tlumivkou, díky které obvod kmital a vydával nepříjemné zvuky. To se s výměnou této tlumivky zlepšilo. Zvuky jsou už slyšet jen minimálně, ale stále dochází k malému kmitání obvodu.

Dalším problémem je vyrobený plošný spoj, na kterém jsou součástky napájeny. Snažil jsem se návrh co nejvíce optimalizovat, zjednodušit a minimalizovat, ale s technologií kterou jsem měl k dispozici (nažehlení cest a leptání v lázni), se mi nepovedlo lepší plošný spoj sestrojít.

Dalším menším nedostatkem je zvolený snímací rezistor. Tento rezistor měl původně hodnotu  $0,1 \Omega$ . Docházelo však na něm k poměrně velkému úbytku napětí. Vyměnil jsem jej za tři paralelně spojené rezistory stejné hodnoty. Výsledný odpor je tedy  $0,033 \Omega$ . Díky paralelnímu spojení se zmenšila i parazitní indukčnost. Tato velikost je kompromisem mezi úbytkem napětí a správnou funkcí omezení proudu, které je na hodnotě tohoto rezistoru závislé. Rezistor by se dal volit i menší, ale poté už by nebyla zaručena správná funkce obvodu pro omezení proudu, protože by byl na snímacím rezistoru jen malý rozdíl napětí.

Obvod také částečně kmitá při funkci proudové zpětné vazby, která reguluje výstupní proud. Tento obvod je k samotnému spínanému zdroji připojen přes kabel s konektorem, aby při případné opravě nebo úpravě jednoho, nebo druhého obvodu bylo možné tento obvod jednoduše odpojit. Toto spojení také není úplně ideální, protože díky malému rozdílu napětí na snímacím rezistoru může dojít k případnému zkreslení i v kabelu.

#### 4.6.2 Možná vylepšení

Na zařízení by se dalo najít mnoho špatně nebo složitě řešených věcí. Na možná vylepšení jsem však přišel až s konstrukcí zařízení samotného.

Největší změnou, kterou bych udělal, by bylo nahrazení transformátoru a usměrňovače, na kterém je poměrně velký úbytek napětí. Použít by se pak dal impulsní zdroj, který dovede pracovat přímo s 230 V střídavými na vstupu a na výstupu dávat konstantní stejnosměrné napětí. Na takovém měniči by byl rozhodně menší úbytek a tím větší účinnost.

Dalším vylepšením by byl samotný plošný spoj. Mohl by mít menší rozměry a být vyráběný jinou technologií, např. frézku pro výrobu plošných spojů, kde nemůže dojít k podleptání ani jiným vadám materiálu.

Jelikož je tento návrh nabíječe jen pro jeden článek, není vhodné, aby nabíječ pro každý článek měl svůj vlastní napájecí transformátor, protože ten je nejdražší součástí. Zvolil bych tedy napájení stejnosměrným malým napětím a galvanické oddělení vyřešil jinou cestou než právě tímto napájecím transformátorem.

## Závěr

Lithiové akumulátory jsou moderním zdrojem energie a patří dnes k nejpoužívanějším přenosným zdrojům energie. Hlavními výhodami jsou vysoká hustota energie a oproti niklovým bateriím i velké jmenovité napětí. Díky těmto vlastnostem mohou být lithiové akumulátory při zachování stejné kapacity mnohem menší.

Jelikož tématem této práce bylo nabíjení lithiových článků, je zde postup nabíjení popsán detailněji včetně doporučených postupů jejich bezpečného nabíjení.

Další částí mé práce byla konstrukce samotného nabíječe těchto akumulátorů. Nabíječ, který jsem sestrojil má několik dobrých i špatných vlastností. Výhodou tohoto nabíječe je poměrně lehká konstrukce, díky použití integrovaného spínače přesně pro typ měniče, který se pro nabíjení těchto článků hodí, tedy snižovací pulzní měnič. K tomuto integrovanému obvodu už je stačí připojit několik základních součástí a impulzní zdroj je hotov. Nevýhod má však více. Největším problémem je, že obvod nepatrně kmitá a vydává nepříjemný, i když tichý zvuk. Tento zvuk samozřejmě zařízení vydávat, při naprosto správné funkci, nemá. Na nabíjení lithiových akumulátorů to však nemá žádný vliv. I přes kmitání je zvlnění v přípustné mezi (při 4 A přibližně 140 mV). Plošný spoj je dělaný metodou nažehlení cest a následného leptání. Tato metoda se dnes už moc nepoužívá a byla nahrazena jinými metodami (např. frézování), které mají kvalitnější výsledný produkt.

Zařízení tedy není úplně perfektní a bylo by možné provést řadu vylepšení. Největší a také nejlepší změnou by byla přestavba zdroje s velkým a drahým toroidním transformátorem na impulzní zdroj, který by tento transformátor nepotřeboval a uměl by pracovat s napětím sítě. Poté by se ovšem muselo jinak vyřešit galvanické oddělení obvodu, které právě tento síťový transformátor zajišťuje.

V závěru práce je měření, které potvrdilo vlastnosti nabíječe. Výstupní napětí při proudové zpětné vazbě mírně kmitá, ale jen minimálně a na akumulátor to vliv nemá. Účinnost samotného impulsního zdroje pak vyšla přibližně 60 %, což není špatné, ale např. použitím menšího snímacího rezistoru, by mohla účinnost ještě narůst. Po připojení transformátoru s usměrňovačem klesla účinnost na 40 %, což už není o moc lepší oproti klasickým lineárním zdrojům. Tato topologie je sice jednodušší na konstrukci, ale z hlediska účinnosti moc výhodná není.

Správnou funkci zařízení, tedy samotné nabíjení jsem ověřil nakonec. Nabíjený článek Li-ion s kapacitou 1500 mA/h jsem nabíjel proudem 1 C, tedy 1,5 A. Nabíjení proběhlo úspěšně a za necelé tři hodiny byl nabíjecí proud pod úrovní 0,05 C a akumulátor byl tedy nabit.

Nabíječ je tedy funkční a je s ním možné bezpečně nabíjet lithiové akumulátory, i když má některé menší nedostatky.

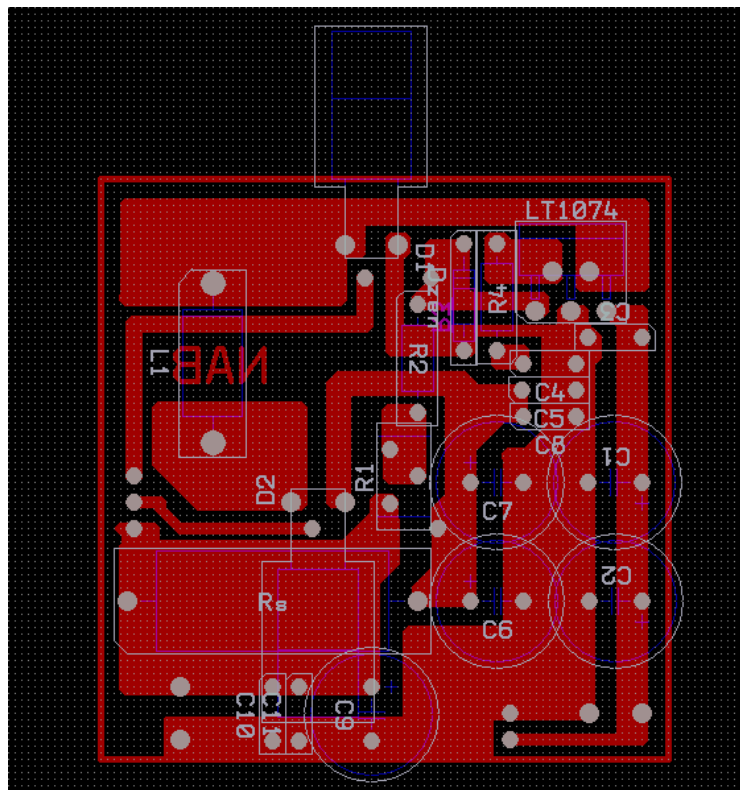
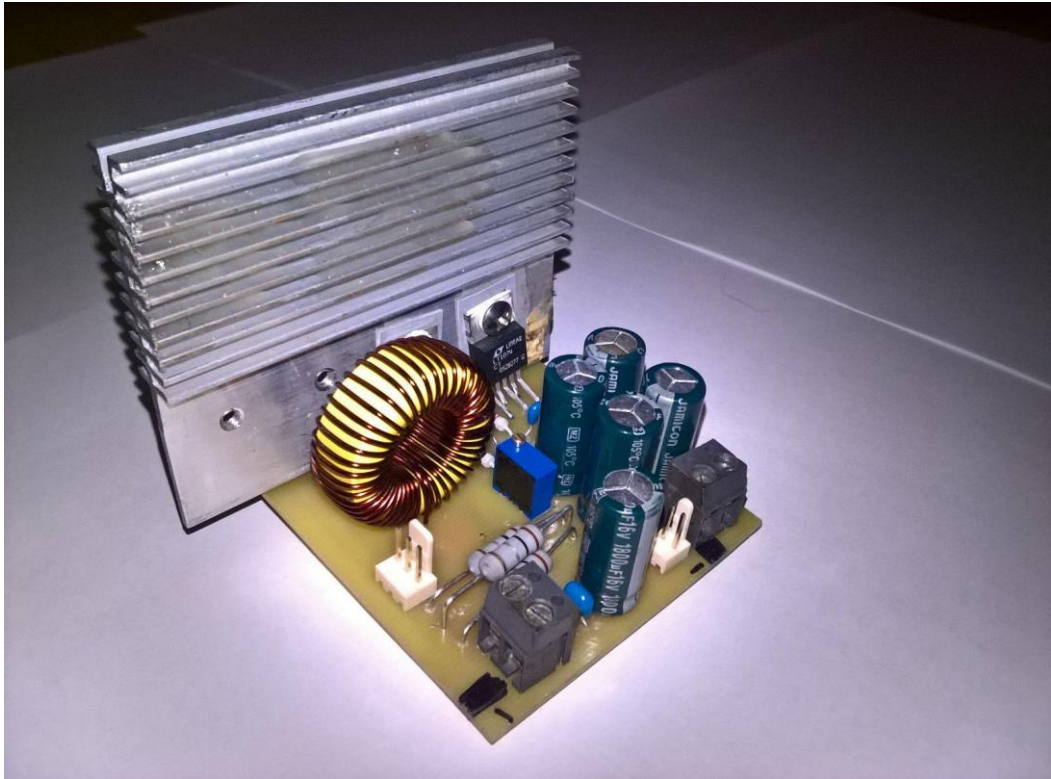
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Rozdělení RC akumulátorů. *RC-život*. [online]. 21.8.2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: [http://www.rc-zivot.cz/clanek/rozdeleni-rc-akumulatoru\\_1](http://www.rc-zivot.cz/clanek/rozdeleni-rc-akumulatoru_1)
- [2] Niklové RC baterie. *RC-život*. [online]. 17.9.2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: [http://www.rc-zivot.cz/clanek/niklove-rc-bateire\\_4](http://www.rc-zivot.cz/clanek/niklove-rc-bateire_4)
- [3] Lithiové RC baterie. *RC-život*. [online]. 7.9.2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: [http://www.rc-zivot.cz/clanek/lithiove-rc-baterie\\_2](http://www.rc-zivot.cz/clanek/lithiove-rc-baterie_2)
- [4] HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory NiFe a NiCd. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [5] HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory NiCd a NiMH. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [6] HAMMERBAUER, Jiří. Olovené akumulátory. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [7] HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [8] HAMMERBAUER, Jiří. LiFePO<sub>4</sub> akumulátory. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [9] HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory Li-pol. *Courseware ZČU: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/enz/prednasky.html>
- [10] Lithiové trakční baterie LiFePO<sub>4</sub>/LiFeYPO<sub>4</sub>. *Battery-import*. [online]. © 2010-2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.battery-import.cz/lithium-yttrium-winston/lithium-yttrium-lifepo4-lifeypo4-akumulator-3-2v-60ah/>
- [11] LTO Batteries. *AA Portable Power Corp*. [online]. © 2000-2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.batteryspace.com/Lithium-Titanate-Battery.aspx>
- [12] Omezovač napětí pro nabíjení Li-Ion a Li-Pol článků. *Zajíc.cz*. [online]. [2004] [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.zajic.cz/omezovac/omezovac.htm>

- [13] Graupner balancer. *RCshop.eu*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.rcshop.eu/cs%2Fmerici-pristroje%2F2748-graupner-balancer-pro-2-6-cl.html>
- [14] BLCR-4. *RCshop.eu*. [online]. © 2007-2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.rcshop.eu/cs/balancery/2845-blcr-4.html>
- [15] OTÝPKA, Miloslav. Napájecí zdroje.[online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CDwQFjAG&url=http%3A%2F%2Fcoptel.coptkm.cz%2Freposit.php%3Faction%3D0%26id%3D21819%26instance%3D2&ei=8enpU9\\_qLqXE7Ab1-oHADg&usg=AFQjCNFX3N6-26UJfBK9azhcGEPaI-vXkw&bvm=bv.72676100,d.ZGU&cad=rja](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CDwQFjAG&url=http%3A%2F%2Fcoptel.coptkm.cz%2Freposit.php%3Faction%3D0%26id%3D21819%26instance%3D2&ei=8enpU9_qLqXE7Ab1-oHADg&usg=AFQjCNFX3N6-26UJfBK9azhcGEPaI-vXkw&bvm=bv.72676100,d.ZGU&cad=rja)
- [16] Akumulátor Li-pol. *RC Káně*. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://rckane.cz/content/19-li-pol-baterie-pouziti>
- [17] Li-ion batteries. *Battery Facts*. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.batteryfacts.co.uk/BatteryTypes/LiIon.html>
- [18] UC3843. *AllDatasheet: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 2003 – 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/25562/STMICROELECTRONICS/UC3843.html>
- [19] Spínané zdroje. *Vývoj.hw*. [online]. © 1997 – 2014 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>
- [20] Měníče. . [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/menice.htm>
- [21] LT1074. *Linear Technology: soubor ve formátu PDF*. [online]. © 1991 – 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/l/lt1074.pdf>

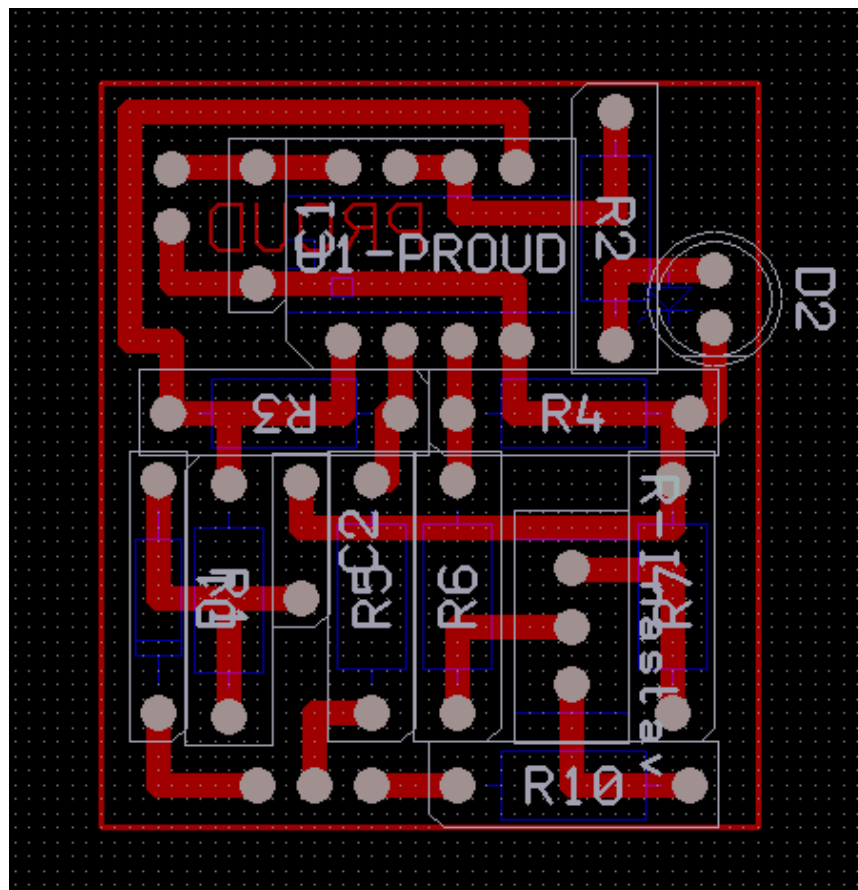
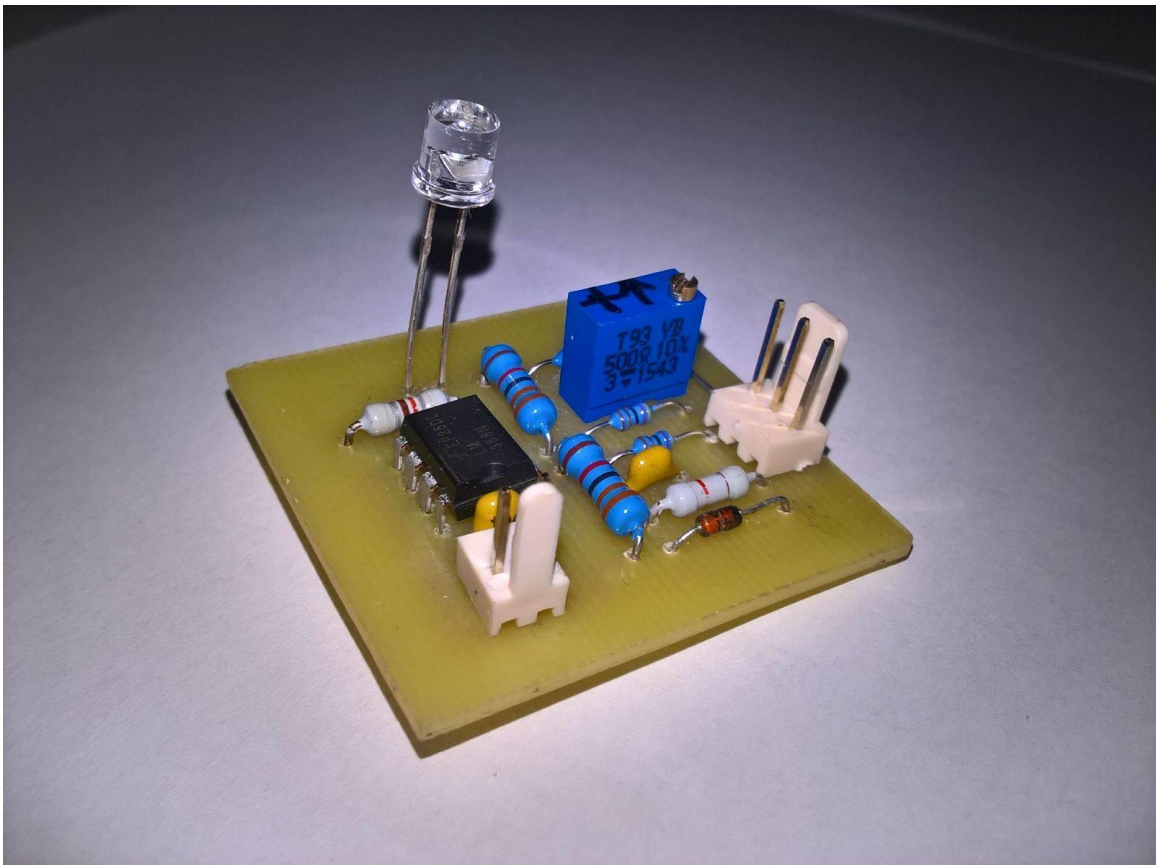
## Přílohy

### PŘÍLOHA č. 1: Plošný spoj spínaného zdroje





**PŘÍLOHA č. 2: Plošný spoj obvodu pro omezení proudu**



**PŘÍLOHA č. 3: Plošný spoj obvodu pro ochranu teploty**

