

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Mobilní nabíječ Li-pol baterií s funkcí BMS pro studentský
experimentální elektromobil**

Tomáš Sodomka

Bakalářská práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš SODOMKA**
Osobní číslo: **D06061**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Mobilní nabíječ Li-pol baterií s funkcí BMS pro studentský experimentální elektromobil**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

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

- 1) Analýza vlastností Li-pol baterií
 - 2) Rozbor řešení nabíječů Li-pol baterií
 - 3) Rozbor řešení systému BMS
 - 4) Návrh řešení nabíječe na baterii Li-pol 24V
 - 5) Návrh řešení systému BMS
 - 5) Sestavení prototypu nabíječe
 - 6) Sestavení prototypu systému BMS
 - 7) Ověření vlastností celku
-

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- 1) **Internetové stránky výrobců baterií a součástek**
- 2) **PUNČOCHÁŘ, Josef. Operační zesilovače v elektronice. [s.l.] : BEN, 2002.**
- 3) **KREJČIŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje 1. [s.l.] : BEN, 1996.**
- 4) **KREJČIŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje 2. [s.l.] : BEN, 1996.**
- 5) **ARENDÁŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. Nabíječky a nabíjení. [s.l.] : BEN, 2002.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Černý, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2010

PROHLAŠUJI:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28. 5. 2010

Tomáš Sodomka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu ing. Ondřeji Černému, Ph. D. za jeho odborné vedení a všestranné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále by jsem chtěl poděkovat celé své rodině za podporu při studiu.

ANOTACE

V této bakalářské práci se zabývám analýzou vlastností Li-pol baterií a řešením mobilního nabíječe Li-pol baterií s funkcí BMS pro studentský experimentální elektromobil. Je zde uveden návrh nabíječe, popis jeho základních vlastností a sestavení jeho prototypu. Dále je zde uváděn návrh řešení ochranného systému BMS, popis jeho základních vlastností a sestavení jeho prototypu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nabíječ Li-pol baterií, BMS (systém řízení baterie), elektromobil, integrovaný obvod, Lithium-polymerová baterie

ANNOTATION

In this bachelor work we deal with the analysis of the characteristics of Li-poly battery and charger solution mobile Li-poly batteries with functions for the student BMS experimental electric vehicles. There is a proposal given chargers, a description of its basic properties and build his prototype. Then there is the proposed solution of placed BMS protection system, a description of its basic properties and build his prototype.

KEYWORDS

Li-pol battery charger, BMS, electric vehicle, integrated circuit, Lithium-polymer battery

OBSAH

ÚVOD.....	- 9 -
1. AKUMULÁTORY LITHIUM-POLYMER.....	- 11 -
1.1. Vlastnosti lithium-polymerových akumulátoru	- 11 -
1.2. Konstrukce lithium-polymerových akumulátorů	- 12 -
1.3. Řazení článků akumulátoru.....	- 13 -
1.4. Kapacita.....	- 14 -
1.5. Nabíjení a vybíjení akumulátorů.....	- 14 -
2. NABÍJEČE	- 15 -
2.1. Nabíjecí charakteristika.....	- 15 -
3. NÁVRH ŘEŠENÍ ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE.....	- 17 -
3.1. Návrh řešení nabíječe s obvodem LT1505.....	- 17 -
3.1.1. Integrovaný obvod LT1505	- 17 -
3.2. Návrh řešení nabíječe s integrovaným obvodem LT1510	- 19 -
3.2.1. Integrovaný obvod LT1510	- 19 -
4. REALIZACE PROTOTYPU ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE S INTEGROVANÝM OBVODEM LT1505	- 20 -
4.1. Nastavení nabíjené baterie	- 20 -
4.2. Nastavení nabíjecího proudu.....	- 21 -
4.3. Popis zapojení	- 22 -
5. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NABÍJEČE S LT1505	- 26 -
6. REALIZACE PROTOTYPU ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE S INTEGROVANÝM OBVODEM LT1510	- 28 -
6.1. Nastavení nabíjené baterie	- 28 -
6.2. Nastavení nabíjecího proudu.....	- 29 -
6.3. Popis zapojení	- 30 -
7. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NABÍJEČE S LT1510	- 33 -
8. SYSTÉM ŘÍZENÍ BATERIE BMS	- 36 -
8.1. O systému řízení baterie.....	- 36 -
9. NÁVRH ŘEŠENÍ SYSTÉMU BMS	- 38 -
9.1. Řešení systému pomocí odporového bočníku.....	- 38 -
9.1.1. Návrh bočníku	- 39 -
9.1.2. Zesilovací obvod MAX4081	- 40 -

9.1.3. Schéma zapojení	- 40 -
9.2. Řešení systému pomocí obvodu LEM LA125-P	- 43 -
9.2.1. LEM LA125-P	- 43 -
9.2.2. Hallova sonda	- 43 -
9.2.3. Stabilizátory napětí	- 44 -
9.2.4. Operační zesilovač LM741	- 45 -
9.2.5. DC/DC měnič FDD03	- 45 -
9.2.6. Snímání proudu.....	- 45 -
9.2.7. Snímání napětí	- 46 -
9.2.8. AD převodník ADC0844.....	- 46 -
9.2.9. Převod analogové hodnoty na digitální	- 47 -
9.2.10. Výpočet mezi převodu	- 48 -
9.2.11. Program pro BMS.....	- 50 -
10. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU BMS.....	- 52 -
ZÁVĚR.....	- 54 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 56 -
SEZNAM ZKRATEK	- 57 -
SEZNAM OBRÁZKŮ	- 58 -
SEZNAM TABULEK	- 59 -
SEZNAM GRAFŮ	- 60 -
PŘÍLOHA 1	- 61 -
PŘÍLOHA 2.....	- 62 -
PŘÍLOHA 3.....	- 63 -

ÚVOD

V dnešní době se celosvětově zmenšuje ropné bohatství, zpřísňují se ekologické normy a je možné, že v blízké budoucnosti dojde ropa na světě úplně. To by znamenalo konec automobilového průmyslu. Proto se již v dnešní době největší automobilky zajímají o automobily, které mají alternativní zdroj energie. Proto se v dnešní době výzkum ubírá směrem hybridních automobilů, automobilů na solární pohon a v dnešní době je určitě výzkum nejvíce zaměřen na automobily, které jsou poháněny pouze elektromotorem. To znamená, že se také výzkum zabývá vývojem akumulátorů do automobilů a jejich ochrannými systémy, které hlídají tento akumulátor před jeho zničením. A v neposlední řadě také efektivitou a co nejkratší dobou nabíjení akumulátoru, které umožňují moderní nabíječky.

Výhody těchto dá se říci elektromobilů jsou oproti benzínovým a naftovým motorům velice značné. Nejpodstatnější a největší výhodou těchto motorů je absence exhalací, tudíž mají téměř nulové účinky na zhoršování kvality ovzduší. Dalšími výhodami jsou nízká provozní cena, široký rozsah otáček a v neposlední řadě vysoká účinnost elektromotoru. Naopak nevýhodami jsou nutnost neustále dodávat elektrickou energii a díky tomu je kladen vysoký požadavek na zdrojovou soustavu elektromobilu. Tím jsou kladeny vysoké nároky na akumulátory, jejich ochranné systémy a také na jejich nabíječe.

Lithium-polymerové akumulátory zaujímají svojí konstrukcí malý prostor, mají nízkou hmotnost, ale hlavní cíl konstrukce je, aby při těchto rozměrech pojala maximální množství energie. Tyto akumulátory jsou jedním z novějších typů a jejich nesporné výhody jsou malá velikost a hmotnost vzhledem na kapacitu jednoho článku, téměř nemají samovybíjecí proces, nemají paměťový efekt a jsou schopny dodávat vysoké proudy. V dnešní době se bude jen velice obtížně nacházet lepší a výhodnější technologie výroby akumulátorů. V dnešní době se již začínají více prosazovat oproti ostatním technologiím, i když jsou nákladnější na zařízení.

Nabíječe lithium-polymerových, olověných, lithium-iontových a téměř všech druhů akumulátorů se nejčastěji konstruují pro nabíjení IU charakteristikou¹. Pro

¹ IU charakteristika je určena pro rychlonabíječe, kde se chce dosáhnout krátkých nabíjecích časů

nabíječe jsou ještě využívány další nabíjecí charakteristiky, ale ty již nejsou zdaleka tak výhodné jako již zmiňovaná IU charakteristika. Jelikož u lithium-polymerových akumulátorů nesmíme překročit maximální napětí na jednom článku, musí být nabíječ konstruován právě s požadavkem na tuto vlastnost a proto se konstruuje pouze pro nabíjecí charakteristiky IU.

V této práci se klade důraz na návrh nabíječe lithium-polymerových akumulátorů, který si samostatně bude hlídat napětí na jednotlivých článcích. Jelikož na trhu se objevuje nespočetné množství tří a čtyř článkových akumulátorů, které se liší svojí kapacitou a maximálním nabíjecím proudem, je na nabíječ kladen nárok plynulé regulace nabíjecího proudu. Nabíječ bude zkonstruován s integrovaným obvodem LT1505, který umožňuje právě hlídání napětí na článcích akumulátoru, plynulé nastavení nabíjecího proudu, výběr mezi tří a čtyř článkovým akumulátorem a v neposlední řadě také výběr mezi dvěma typy akumulátorů². Součástí konstrukce bude také ověření vlastností celku. Nabíječ musí být schopen dodávat požadovaný proud do akumulátoru a sám si ohlídat napětí na jednotlivých článcích akumulátoru. Po plném nabití musí být nabíječ schopen signalizace tohoto stavu nabíjeného akumulátoru. Dále bude ověřena funkčnost přepínání mezi tří a čtyř článkovými akumulátory a také lithium-polymerovými a lithium-iontovými.

Na ochranný systém BMS jsou kladeny požadavky, aby hlídal hodnoty napětí a proudu akumulátoru dodávané elektromobilu a naopak výstupní hodnoty elektromobilu dodávané do baterie při rekuperaci. Hodnoty naměřené ochranným systémem budou porovnány s požadovanými a v případě jejich nedodržení se rozsvítí signalizace problému. Hlavní úlohu v ochranném systému má proudový snímač LEM LA-125, který je doplněn odporovým děličem pro snímání napětí na akumulátoru a převodníkem. Po zkonstruování otestuji vlastnosti systému BMS s důrazem na správné nastavení hodnot převodu a signalizace nesprávných proudů a napětí odebíraných nebo dodávaných akumulátoru.

V této práci je uveden přehled lithium-polymerových vlastností akumulátorů s důrazem na jejich konstrukci, řazení a nabíjení článků.

² Lithium-polymerový nebo lithium-iontový akumulátor

1. AKUMULÁTORY LITHIUM-POLYMER

V současné době jde o jeden z nejmodernějších zdrojů elektrické energie, který se nám objevuje na trhu. Tyto akumulátory v sobě skrývají veliký potenciál. Používají se téměř všude. Od malých baterií v mobilních telefonech přes modelářské výrobky až po automobilový průmysl. Jejich největší výhodou je vysoká kapacita, která v dnešní době dosahuje od stovek mAh až po první tisíce mAh při jejich malé velikosti a hmotnosti. Hlavním rozdílem oproti NiCd a NiMh bateriím je, že mají odlišnou nabíjecí charakteristiku. Tudiž lithium-polymerové baterie nelze nabíjet nabíječkou pro NiCd a NiMh baterie.

1.1. Vlastnosti lithium-polymerových akumulátoru

Tyto akumulátory patří mezi současné nejperspektivnější zdroje energie pro pohony. Mezi největší výhody Li-pol akumulátorů patří malá velikost a hmotnost s ohledem na kapacitu článku ve srovnání s NiCd/NiMh akumulátory. Podle údajů udávaných od výrobců těchto akumulátorů dosahuje maximální nabití jednoho článku 4,2 V. Střední hodnota vybíjecího napětí je 3,7 V. Další nezpochybnitelnou výhodou těchto baterií je jejich minimální samovybití proud, který se pohybuje okolo jednoho procenta kapacity za měsíc oproti ostatním akumulátorům kde samovybití dosahuje 10 až 15 % za měsíc. Lze tedy tyto akumulátory skladovat i v nabitém stavu při minimálním úbytku. Jelikož tyto akumulátory nemají paměťový efekt lze je kdykoli dobíjet aniž bychom je museli zcela vybit. Po nabití jsme schopni využívat celou jejich nominální kapacitu.

Naopak největší nevýhodou těchto akumulátorů je, že při nabíjení musíme zaručit, že napětí na jeden článek nepřesáhne hodnotu 4,2 V. K tomuto účelu si musíme pořídit nabíječku s ochranným systémem, abychom zamezili případnému vyššímu napětí na jeden článek. Jelikož se konstruují v obalech, které nevydrží nešetrné zacházení, je lepší je při používání chránit ještě dalším vnějším obalem pro případ nějaké nehody. Při nesprávném používání a při nedodržování pravidel pro nabíjení značně zkrátíme životnost těchto akumulátorů. Také při použití například v hybridních automobilech v zimních měsících musíme být schopni přiměřeným způsobem zamezit podchlazení článků, které způsobuje větší samovybití

akumulátoru. Další nevýhodou je na dnešní dobu vysoká cena těchto článků oproti například oproti olověným trakčním akumulátorům.

1.2. Konstrukce lithium-polymerových akumulátorů

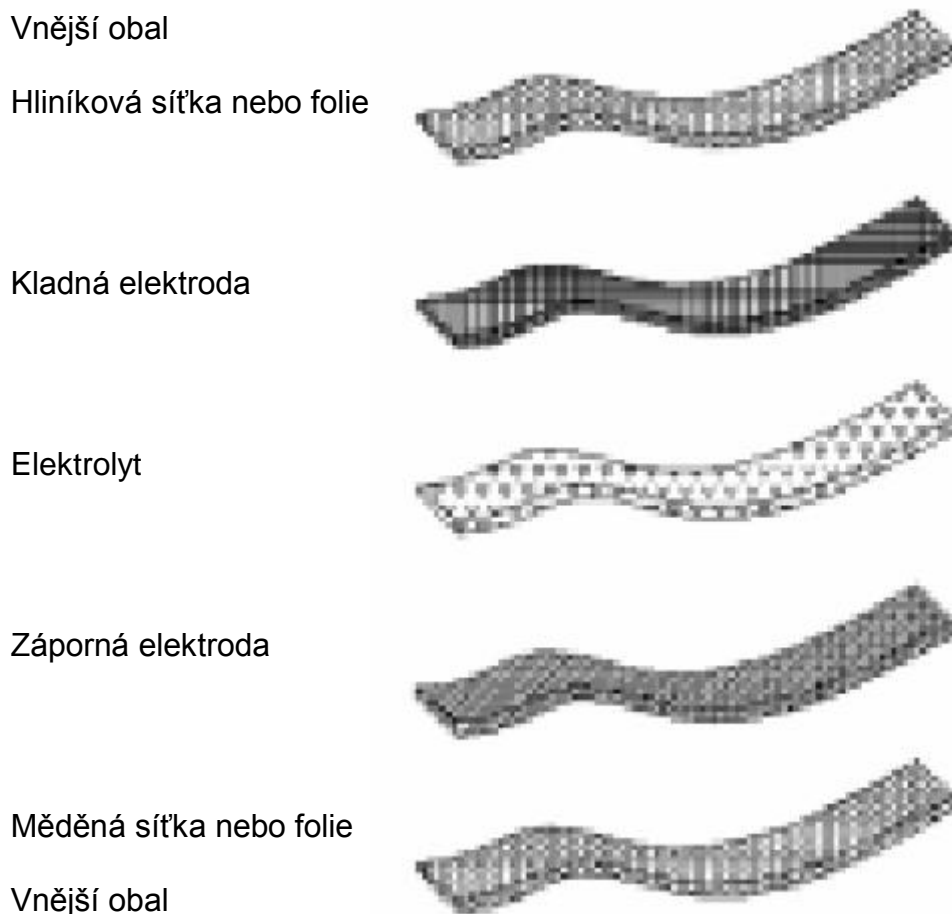
Lithium-polymerový akumulátor je jediný z akumulátorů, který ve svém pouzdře neobsahuje kapalný elektrolyt. U tohoto typu akumulátoru se používá polotekutý gel, nebo tuhý polymer. Díky těmto dvěma způsobům náplní se tyto akumulátory v praxi někdy označují jako „plastové.“ Díky tomuto zpevněnému elektrolytu se dá velice zjednodušit celá konstrukce tohoto článku, protože nám nehrozí jeho vytečení jako u běžných typů baterií. Díky této vlastnosti se již nemusí speciálně chránit jeho drahá elektronika. Právě proto tyto akumulátory dosahují velice nízké hmotnosti, jsou neuvěřitelně tenké a malé. Jelikož je potřeba co největší úspory místa dají se také libovolně tvarovat.



Obr. 1 Lithium-polymerový akumulátor

Jednotlivé části tohoto akumulátoru se skládají z vnějšího obalu, který je polaminovaná folie, pod touto vrchní vrstvou se nachází hliníková síťka nebo folie. Další vrstvu tvoří kladná plastická elektroda, která má chemické složení LiCoO_2^3 . Pod touto vrstvou se nachází již zmiňovaný polotekutý, nebo tuhý elektrolyt, následuje záporná uhlíková elektroda. Pod touto zápornou elektrodou se nachází vrstva, která je tvořena měděnou síťkou nebo folií. Poté již následuje vnější obal, polaminovaná folie. Jednotlivé vrstvy můžeme také vidět na obrázku číslo 2.

³ LiCoO_2 – Kobaltitan lithný



Obr. 2 Jednotlivé vrstvy lithium-polymerového akumulátoru

1.3. Řazení článků akumulátoru

Z vlastností akumulátoru vyplývá, že jeden samostatný článek má napětí 3,7 V. Toto napětí nám nedostačuje ani k napájení běžné palubní elektroniky. Tato palubní elektronika je běžně konstruována pro minimální napětí 4,8 V. Toto napětí nám nepostačuje ani k tomu, abychom mohli efektivně dodat dostatečný výkon jednoduchému motoru. Z tohoto důvodu se články akumulátorů spojují do takzvaných packů. Označují se 2s, 3s. Toto označení udává počet článků v akumulátoru řazených do série. Poté má akumulátor označený 1p2s pack minimální napětí 7,4 V, 3s pack 11,1 V. Počítá se vynásobením počtu článků v akumulátoru s napětím jednoho článku.

1.4. Kapacita

U těchto akumulátorů je jednou z největších jejich vysoká kapacita při malých rozměrech. Tyto lithium-polymerové baterie nabízejí při stejných rozměrech téměř čtyř-násobnou kapacitu oproti běžně používaným nikel-cadmiovým bateriím. S touto vlastností jsou velice dobře použitelné v malých přístrojích, kde je velký požadavek na výdrž baterie a málo místa.

1.5. Nabíjení a vybíjení akumulátorů

U těchto typů akumulátoru se používá pouze nabíjecí charakteristika IU, to znamená, že nejdříve nabíjíme konstantním proudem a zvyšuje se napětí baterie až na maximální hodnotu (u jednoho článku 4,2 V), poté začne nabíjecí proud klesat a zůstává konstantní napětí baterie.

Maximální nabíjecí napětí jednoho článku je 4,2 V s odchylkou udávanou výrobcem baterie, nabíjecí proud dosahuje hodnot až $3C^4$ (udává výrobce). Teplota nabíjených článků se musí pohybovat v rozmezí teplot 0 až 45 °C. Počet nabíjecích cyklů je standardně udáván výrobcem, ale jejich počet se řádově pohybuje ve stovkách.

Vybíjení akumulátorů se liší, podle toho jaký akumulátor je použit. Standardní typy se dají vybíjet hodnotami 2 až 3C, u typů označených „HD“ se dá vybíjet hodnotou až 8C a u některých typů až 20C. Vybíjení vyššími proudy může nenávratně poškodit nebo zničit baterii. Teplota při vybíjení článků by se měla pohybovat mezi -10 až 60 °C.

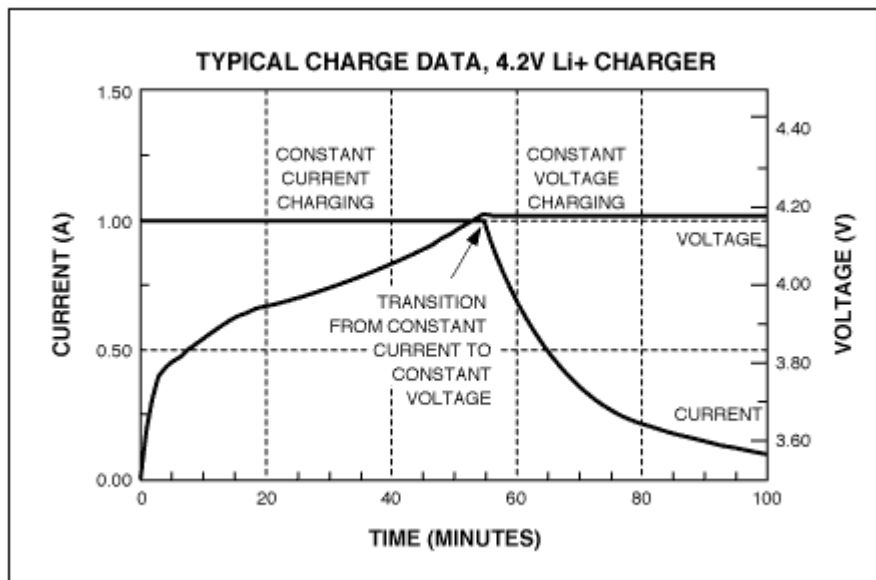
⁴ Hodnota, z které se vypočítá maximální nabíjecí proud, například u baterie s kapacitou 3700 mAh je hodnota 1C 3,7 A.

2. NABÍJEČE

U těchto typů akumulátorů jsou maximální nabíjecí a maximální vybíjecí proud dány konstrukcí baterie, v praxi to je tak, že baterie je schopna přijmout o mnoho menší proud, nežli je schopna obvodu dodat. U konkrétního typu baterie, který je použit pro toto řešení, je baterie schopna přijímat proud při nabíjení maximálně 10 A (trvale 3,7 A) a dodávat do obvodu trvale proud o hodnotě 92 A. V praxi to znamená, že akumulátor, který vydá určitý výkon během 1 minuty, je tentýž výkon schopný přijmout při maximálním proudu 3,7 A za 25 minut. Nabíjení probíhá z počátku konstantním proudem a poté konstantním napětím, jedná se tedy o charakteristiku nabíjení IU. Pro nabíjení lithium-polymerových akumulátorů se v praxi využívají nejčastěji nabíječe, které jsou zapojeny jako spínané zdroje, tudíž mají ve svém obvodu spínací prvek nejčastěji tranzistor. Pro tyto účely existuje mnoho obvodů, ze kterých jsou vyráběny nabíječe pro tyto baterie.

2.1. Nabíjecí charakteristika

Jak již bylo několikrát v předcházejících kapitolách zmiňováno používá se pro nabíjení lithium-polymerových akumulátorů nabíjecí charakteristika IU. Tato charakteristika, jak můžeme vidět na následujícím obrázku, je kombinací nabíjecích charakteristik pro nabíjení konstantním proudem a konstantním napětím. V této charakteristice nejdříve baterii nabíjíme konstantním proudem a stoupá nám napětí baterie až k maximálnímu možnému napětí a poté se nabíjí za pomoci konstantního napětí a klesá nám proud baterie téměř až k nule.



Obr. 3 Nabíjecí charakteristika jednoho článku

Tato nabíjecí charakteristika se výhradně používá pro nabíjení baterií na bázi lithium-polymer nebo lithium-iont, protože u těchto dvou typů baterií nesmí docházet nabití na vyšší napětí než je dovolené maximální napětí baterie při nabíjení. U baterií lithium-iontových je maximální napětí jednoho článku při nabíjení 4,1 V. Při nabíjení lithium-polymerových baterií je maximální napětí jednoho článku baterie 4,2 V. Na této charakteristice je vidět, že správně nastavené maximální napětí není překročeno a po dosažení tohoto maxima dochází již k nabíjení pouze za předpokladu, že se snižuje nabíjecí proud.

3. NÁVRH ŘEŠENÍ ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE

Pro tento návrh nebyl vhodný návrh s lineárním napájecím zdrojem a tak byl v návrhu využit spínaný zdroj, který má oproti lineárnímu mnohé výhody. Spínaný zdroj má vysokou účinnost, snadnou regulaci výstupního výkonu, malou hmotnost a velice příznivé rozměry. Nevýhodou spínaného zdroje může být akustické rušení vznikající na cívce, elektromagnetické rušení na různých frekvencích a zvlnění na výstupech.

V první fázi návrhu nabíječe pro lithium-polymerových baterií byl vhodný návrh integrovaného obvodu s určitými řídicími funkcemi. Tento integrovaný obvod by měl umožňovat jednoduché řízení proudu, kterým bude nabíjena baterie, vysokou účinnost a v neposlední řadě by měl ochránit baterii proti přebití a také by měl hlídat odpojení od zdroje a zamezit své napájení zpět z baterie a vyhnout se tak vybití baterie. Všechny tyto parametry splňovaly integrované obvody od firmy Linear Technology. Jsou vytvořeny dva návrhy nabíječe. První z nich využívá integrovaný obvod LT1510, který umožňuje nabíjení baterií od jednoho až po čtyři články lithium polymerové baterie jednoduchou změnou odporového děliče. Nevýhodou tohoto obvodu je, že je schopen nabíjet trvalým proudem pouze 1,5 A. V druhém řešení je použit integrovaný obvod LT1505. Výhodou tohoto obvodu je oproti předešlému, že je baterii trvale schopen dodávat proud až 4 A.

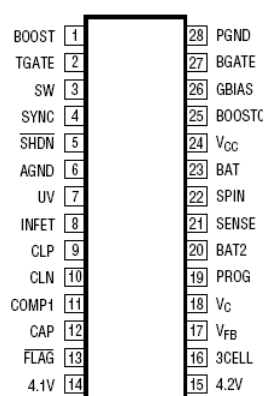
Návrh řešení nabíječe konstruován pro 3-člávkovou lithium-polymerovou baterii o kapacitě 3700 mAh a její nabíjení mohlo být trvale 3,7 A. Z tohoto požadavku je vidět, že nabíjení nabíječem z integrovaným obvodem LT1505 by bylo mnohem rychlejší a tudíž i výhodnější oproti nabíječi s LT1510. Tato baterie má maximální napětí všech článků 12,6 V $\pm 1\%$, které nesmí být překročeno. Proto na nabíječ byl kladen také požadavek, aby ohlídal napětí všech článků, a to splňují oba dva tyto integrované obvody od firmy Linear Technology.

3.1. Návrh řešení nabíječe s obvodem LT1505

3.1.1. Integrovaný obvod LT1505

Tento obvod je hlavním komponentem v tomto řešení nabíječe. Byl zvolen pro svou jednoduchost a dobré vlastnosti. Při návrhu se vycházelo z doporučeného

zapojení přímo od výrobce. Používá se pro velice jednoduché a přesné nabíjení jak lithium-polymerových tak i lithium-iontových baterií pomocí konstantního proudu a následně konstantního napětí, má vysokou efektivitu nabíjení akumulátorů, až 97 %, vysokou přesnost nabíjecího napětí s odchylkou 0,5 % a velice přesný nabíjecí proud o maximální odchylce 5%. Nabíjecí proud se dá velice dobře regulovat pomocí DAC, nebo řídicího odporu. Tento integrovaný obvod také umožňuje nastavení baterie podle toho, jestli je 3-článková, nebo 4-článková a také podle toho jestli se jedná o lithium-iontovou baterii (maximální napětí jednoho nabitého článku 4,1 V), nebo lithium-polymerovou baterii (maximální napětí jednoho nabitého článku 4,2 V).



Obr. 4 Integrovaný obvod LT1505, popis pinů

Regulační obvod tohoto zapojení omezuje proud odebíraný z napájecího zdroje během nabíjení a to má výhodu v tom, že při rychlém nabíjení nedochází k vysokému přetěžování napájecího zdroje. Tímto obvodem se dají nabíjet baterie v rozsahu od 2,5 V až do 20 V.

Tento obvod je napájen ze stejnosměrného zdroje napětí. Nejnižší napájecí napětí je 11 V a maximální dovolené napájecí napětí při trvalém zatížení je 24 V.

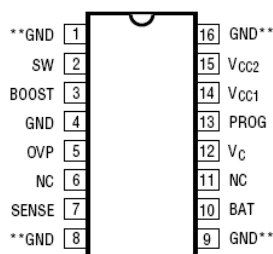
Integrovaný obvod LT1505 je zapojen jako snižující měnič napětí, tudíž napájecí napětí musí být vždy vyšší nežli maximální napětí nabité baterie.

3.2. Návrh řešení nabíječe s integrovaným obvodem

LT1510

3.2.1. Integrovaný obvod LT1510

V tomto druhém návrhu řešení je hlavním komponentem integrovaný obvod LT1510 od americké firmy Linear Technology. Tento obvod byl zvolen pro svou jednoduchost a dobré nabíjecí vlastnosti. Pro návrh bylo použito doporučené zapojení přímo od výrobce stejně jako v předchozím případě, které bylo upraveno podle požadavků, které byly kladeny na tento nabíječ v závislosti na nabíjené baterii. Obvod je schopen nabíjet baterie NiCd, NiMH, lithium-iontové a pro tento návrh nejdůležitější lithium-polymerové baterie. Obvod lze napájet ze stejnosměrného zdroje napětí o maximálním napětí 30 V. Jeho největší výhodou je vysoká účinnost nabíjení a nabití baterie lze dosáhnout až na 97 %. Nabíjet lze baterie od 2 V do 20 V, proudem až 1,5 A, který je závislý na velikosti baterie (obvod se při nabíjení zahřívá) a pro větší baterie je nutno nabíjet nižším proudem, nebo se musí přidat chladič. Další vlastností obvodu je odpojení baterie po jejím úplném nabití. Tímto obvodem lze nabíjet v první fázi konstantním proudem a poté se přejde do fáze nabíjení konstantním napětím. Nabíjecí proud lze snadno regulovat pomocí R_3 a maximální napětí baterie při plném nabití snímáme přes odporový dělič R_5 a R_6 , kterým také lze nastavit o jaký typ baterie se jedná.

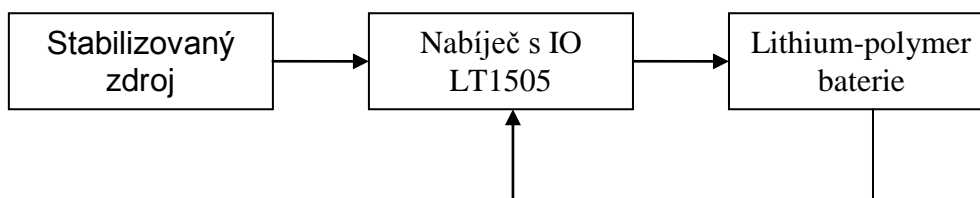


Obr. 5 Integrovaný obvod LT1510, popis pinů

Stejně jako předchozí regulační obvod i tento regulační obvod tohoto zařízení omezuje odebíraný proud z napájecího zdroje a to má za výhodu, že při rychlém nabíjení nedochází k přetěžování napájecího zdroje. Integrovaný obvod LT1510 je stejně jako integrovaný obvod LT1505 zapojen jako snižující měnič a z toho vyplývá, že napájecí napětí tohoto spínaného zdroje musí být vždy vyšší nežli maximální napětí nabíjené baterie v plně nabitém stavu.

4. REALIZACE PROTOTYPU ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE S INTEGROVANÝM OBVODEM LT1505

Na následujícím obrázku je vidět zjednodušené blokové schéma, kde první blok je stabilizovaný zdroj napájecího napětí, druhý blok je přímo prototyp nabíječe s integrovaným obvodem LT1505 a třetí blok je nabíjená baterie.



Obr. 6 Blokové schéma zapojení nabíječe

Stabilizovaný zdroj slouží pro napájení této soustavy, dále je vidět propojení nabíječe a nabíjené baterie, kde je také zpětná vazba od baterie, která slouží ke snímání hodnot baterie a k jejich vyhodnocování.

4.1. Nastavení nabíjené baterie

Pro nastavení baterie, kterou bude obvod nabíjet je využito propojení 4 pinů, 4,1 V (pin 14), 4,2 V (pin 15), 3CELL (pin 16), VFB (pin 17). Tyto čtyři piny slouží k výběru napětí baterie pomocí přednastavených vnitřních odporových sítí. Pin VFB je připojen na neinvertující vstup do zesilovače, řídí nabíjecí proud, když zařízení pracuje v režimu nabíjení konstantním napětím. LT1505 obsahuje odporové děliče, které lze použít pro výběr správného maximálního napětí všech článků nabíjené baterie. Lze vybrat 3-článkovou, nebo 4-článkovou baterii a dále také jedná-li se o lithium-iontovou, nebo lithium polymerovou baterii. Jednotlivé propojení pinů je ukázáno v následující tabulce.

Maximální napětí baterie	Zapojení pinů
12,3 V (3 x 4,1 V)	Spojeny piny 4,1 V, V _{FB} , 3CELL
16,4 V (4 x 4,1 V)	Spojeny piny 4,1 V, V _{FB} , 3CELL nezapojen
12,6 V (3 x 4,2 V)	Spojeny piny 4,2 V, V _{FB} , 3CELL
16,8 V (4 x 4,2 V)	Spojeny piny 4,2 V, V _{FB} , 3CELL nezapojen

Tab. 1 Zapojení pinů pro výběr baterie

Tato tabulka znázorňuje zapojení pro čtyři typy baterií, ale dají se tímto nabíječem nabíjet baterie s nižším počtem článků a i jiného typu. Pro tato další nastavení se používá vnějšího zapojení odporového děliče. Jestliže je použit externí odporový dělič, pak musejí být piny 4,1V, 4,2 V a 3CELL nezapojeny. Z důvodu nastavení přesného napětí na odporovém děliči, které je dáno hodnotou maximálního napětí baterie při plném nabití musí být odpory co nejpřesnější, měla by se zachovat jejich maximální tolerance 0,25 %.

4.2. Nastavení nabíjecího proudu

Pro nastavení nabíjecího proudu se využívá pin PROG. Při běžném provozu je napětí na tomto pinu 2,465 V a toto napětí se využívá i pro výpočet nabíjecího proudu baterie. Na výstupu tohoto pinu je zapojen odpor a potenciometr, kterými je možno nastavovat nabíjecí proud velice přesně a díky tomu se tento nabíječ dá použít pro rozmezí nabíjecího proudu od velice nízkých, které se v praxi nebudou téměř využívat až po 4,2 A.

Výpočet maximálního nabíjecího proudu:

$$I_{BAT} = I_{PROG} \frac{R_{S2}}{R_{S1}} = \frac{U_{PROG}}{R_{PROG}} \cdot \frac{R_{S2}}{R_{S1}} = \frac{2,465}{4700} \cdot \frac{200}{0,025} = 4,2A \quad [1]$$

kde:

I_{BAT} = nabíjecí proud baterie

U_{prog} = napětí na pinu PROG

R_{prog} = odpor pro řízení nabíjecího proudu

R_{S2} = odpor na výstupním děliči

R_{S1} = odpor na výstupním děliči

Výpočet minimálního nabíjecího proudu

$$I_{BAT} = I_{PROG} \frac{R_{S2}}{R_{S1}} = \frac{U_{PROG}}{R_{PROG} + R_p} \cdot \frac{R_{S2}}{R_{S1}} = \frac{2,465}{4700 + 25000} \cdot \frac{200}{0,025} = 0,66A \quad [2]$$

kde:

U_{prog} = napětí na pinu PROG

R_{prog} = odpor pro řízení nabíjecího proudu

R_p = odpor potenciometru

R_{S2} = odpor na výstupním děliči

R_{S1} = odpor na výstupním děliči

Výpočet minimálního nabíjecího proudu

V následující tabulce je nastavení potenciometru pro různé hodnoty nabíjecího proudu, které jsou vypočítány podle předcházejícího vzorce.

IBAT (A)	RPROG + RP (Ω)
0,66	29700
1	19720
2	10600
3	7066
4	4930
4,2	4700

Tab. 2 Odporů pro různé nabíjecí proudy

4.3. Popis zapojení

Tento popis se odkazuje na obr. 13 v příloze 1.

Vstupní tranzistor M3

Vstupní tranzistor M3 je P kanálový mosfet, který má ve své zpětné vazbě zapojenou diodu. Pouzdro tranzistoru není klasické se třemi vývody (tříbodové zapojení), ale je integrován v pouzdře SMD.

V obvodu je zapojen jako ochranný prvek proto, aby se napětí z baterie nedostalo zpět do napájecího zdroje a nepoškodilo ho.

Odporový dělič na vstupu

Vstupní odporový dělič je na schématu složen z odporů R5 a R6, které mají hodnotu 4000 Ω . Jelikož oba dva mají stejnou hodnotu je to odporový dělič jedna k jedné.

V obvodu slouží ke zjištění napájecího napětí je-li obvod připojen k napájecímu zdroji. Jelikož se obvod chová jako snižující měnič, musí být napájecí napětí vždy vyšší nežli maximální napětí baterie ve stavu plného nabití.

Odporů R_{S4} až R_{S7}

V doporučeném zapojení je pouze jeden odpor, který má hodnotu $0,025 \Omega$ a byl by těžko realizovatelný. Odpor by se dal zrealizovat pomocí přesného odporového drátu, který by byl mnohem méně přesnější nežli navrhované řešení pomocí čtyř paralelně zapojených odporů, které mají velikost $0,1 \Omega$.

Výpočet jednoho odporu pro paralelní zapojení

$$R_p = 4 \cdot R_s = 4 \cdot 0,025 = 0,1 \Omega \quad [3]$$

kde:

R_p = odpor jednoho rezistoru v navrhovaném zapojení

4 = počet rezistorů navrhovaného zapojení

R_s = odpor rezistorů uvedeného v doporučeném zapojení

Tyto čtyři paralelně zapojené odpory slouží v obvodu pro zjištění vstupního proudu.

Vstupní kondenzátor C_{in}

V obvodu je použit elektrolytický kondenzátor o velikosti $47 \mu F$, ale mohl by se použít kondenzátor i o vyšší hodnotě například $470 \mu F$ a vyšší, protože slouží v obvodu pouze k filtrování napájecího napětí, tudíž k odstranění napěťových špiček, které přicházejí z napájecího zdroje.

Nábojová pumpa

Nábojová pumpa v tomto obvodu je realizována pomocí tří kondenzátorů C_2 , C_3 a C_4 . Kondenzátor C_2 je elektrolytický a má kapacitu $0,68 \mu F$, kondenzátor C_3 je také stejně jako předchozí kondenzátor elektrolytický a jeho kapacita je $2,2 \mu F$. Kondenzátor C_4 se od předchozích dvou liší tím, že již není elektrolytický, ale keramický o hodnotě $0,1 \mu F$. Dále jsou v nábojové pumpě dvě diody D_2 a D_3 . Tyto diody jsou realizovány pomocí dvou klasických diod 1N4148.

Tato nábojová pumpa slouží v obvodu pro vytvoření napětí vyššího, nežli je napájecí napětí obvodu. Vytvořené napětí na nábojové pumpě by mělo být vyšší

nežli napájecí napětí o 9,1 V, tudíž napětí vycházející z nábojové pumpy je při napájecím napětí 18 V 27,1 V. Toto napětí v obvodu slouží pro otevření N-kanálového mosfetového tranzistoru IRF540N.

Výstupní kondenzátory C_{out}

Jsou to dva elektrolytické kondenzátory o kapacitě 22 μF , které v tomto zapojení slouží k filtraci výstupního napětí nabíječe, tak aby se z tohoto výstupního napětí odstranily napěťové špičky.

Cívka L_1

Cívka L_1 zapojená v tomto obvodu je navržena tak, aby vydržela nabíjecí proud 4 A a měla svoji indukčnost 15 μH .

Tato cívka slouží k akumulaci energie. Při sepnutí tranzistoru M_1 exponenciálně vzrůstá proud procházející cívkou a v ní se akumuluje energie a při zavření M_1 proud cívkou exponenciálně klesá a uzavírá se přes rekuperační diodu D_4 (tato dioda je tvořena Schottkyho diodou o označení 1N5819) a otevírá tranzistor M_2 (tento tranzistor je stejně jako předchozí M_1 N-kanálový mosfetový tranzistor IRF540N) a tím se zvyšuje účinnost nabíjení.

Frekvence spínání obvodu

Pro výpočet spínací frekvence obvodu jsou na pinu R_{prog} proti zemi připojeny kondenzátor o hodnotě 1 μF , který je v obvodu znázorněn jako C_{prog} a odpor o hodnotě 300 Ω a j obvodu je označen jako R_4 .

Pin SHDN

Tento pin označený jako „shutdown“ slouží k vypnutí obvodu, když napájecí napětí klesne pod hodnotu 1 V. Na tento pin je v sérii připojen odpor o hodnotě 100 k Ω .

Pin CAP

Na tento pin je proti zemi připojen kondenzátor o kapacitě $0,1 \mu\text{F}$. Tento pin filtruje vzorek nabíjecího proudu a vyhodnocuje, jestli nabíjecí proud klesl pod 20 % maximálního nabíjecího proudu. Jestliže nabíjecí proud klesne pod 20 % použije se tento filtrovaný signál pro nastavení pinu FLAG.

Pin Flag

Tento pin slouží k označení konce nabíjecího procesu, když nabíjecí proud klesne pod 20 %. Maximální napětí tohoto pinu je napájecí napětí a signalizace je realizována přes odpor pomocí led diody zapojené proti zemi.

Pin V_c

V tomto zapojení slouží pin V_c pro kontrolu frekvenčního spínání přes RC filtr, který je vytvořen kondenzátorem C_5 o hodnotě $0,33 \mu\text{F}$ a odporem R_{x4} , který má hodnotu $3 \text{ k}\Omega$. Když připojíme tento pin pouze proti zemi, tak obvod přestane spínat a byl ukončen proces nabíjení, respektive nabíjecí proces nebude ani zahájen.

5. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NABÍJEČE S LT1505

Pro ověření vlastností tohoto nabíječe byl použit laboratorní stabilizovaný zdroj napětí, který mohl dodávat napětí až 30 V a proud do hodnoty 4 A. Tyto hodnoty jsou pro tento prototyp nabíječe dostačující. Dále pro ověření vlastností byla použita tří-čládková lithium-polymerová baterie o kapacitě 3700 mAh.

Po zapojení obvodu bez zatížení baterií na napájecí napětí 20 V se obvod tvářil jako funkční a výstupní hodnoty odpovídaly předpokládaným hodnotám. Při zapojení pro tří-čládkovou baterii, která má maximální výstupní napětí při nabíjení na jednom článku 4,2 V a celkové napětí 12,6 V tento nabíječ dával hodnotu napětí 12,57 V. Při zapojení na tříčládkovou baterii o maximální hodnotě výstupního napětí při nabíjení 12,3 V nabíječ dodával hodnotu 12,32 V. Poté byl obvod přepnut pomocí druhého přepínače pro nabíjení čtyř-čládkové baterie. Pro nabíjení baterie s maximálním výstupním napětí při nabíjení 16,8 V nabíječ dodával hodnotu 16,76 V. Při přepnutí obvodu pro nabíjení baterie s maximálním výstupním napětí při nabíjení 16,4 V bylo nabíječem dodáváno napětí 16,38 V.

Z tohoto pohledu vypadal nabíječ jako zcela v pořádku. Poté byla na nabíječ připojena baterie, která byla téměř nabitá a dobíjení baterie probíhalo již ve stavu, kdy nabíječ dodával již konstantní napětí a proud se postupně snižoval téměř až k nule. Z tohoto pohledu se zdálo, že nabíječ je zcela v pořádku. Poté byla baterie vybita do odporu a při připojení zpět na nabíječ a následném nabíjení nastal problém. Nabíječ nedodával nabíjecí proud, který měl být 3,7 A, ale dodával proud o hodnotě 0,75 A. Nabíjecí proces přesto probíhal v pořádku, ale nabíjení by trvalo příliš dlouho a to bylo nežádoucí.

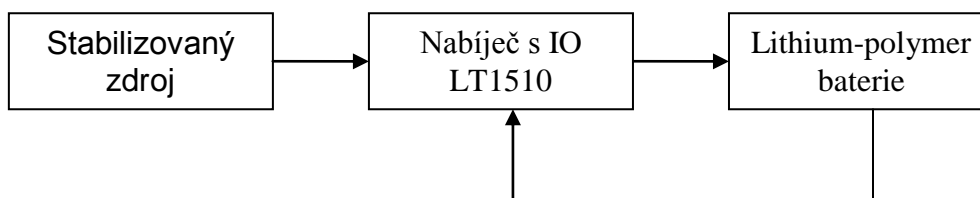
Z tohoto důvodu byla provedena kontrola zapojení a vše bylo zapojeno v pořádku. Prvním krokem pro nalezení závady bylo proměření hodnot napětí na jednotlivých pinech integrovaného obvodu a všechny tyto hodnoty byly v pořádku. Následně bylo ověřeno napětí dodávané nábojovou pumpou pro sepnutí tranzistoru, které mělo mít hodnotu o 9 V vyšší nežli napájecí napětí. Naměřené napětí na nábojové pumpě bylo 28,7 V. Následně byl vyměněn integrovaný obvod LT1505 a situace se také nezměnila, dále byly vyměněny oba tranzistory z důvodu, jestli na tranzistorech není vysoký úbytek napětí, ale také se tato výměna nijak neprojevila.

Poté byl obvod proměřen osciloskopem a zjistilo se, že na výstupech tranzistorů je špatný signál, proto byly vyměněny všechny elektrolytické kondenzátory za tantalové. Bylo to provedeno z důvodu lepšího vyfiltrování střídavé složky napětí, ale ani tento krok nevedl ke zlepšení vlastností obvodu.

Poslední věcí, která byl vyzkoušena měla pomoci proti špatnému rozložení součástek na desce a proti dlouhým cestám, kterými procházel proud a mohly na těchto cestách být velké ztráty. Toto opatření bylo provedeno silnou drátovou propojkou, kterou se jednak zkrátila proudová cesta a jednak i zesílila. Ale ani tento krok nevedl ke zlepšení vlastností celku.

6. REALIZACE PROTOTYPU ZDROJOVÉ ČÁSTI NABÍJEČE S INTEGROVANÝM OBVODEM LT1510

Na následujícím obrázku je vidět zjednodušené blokové schéma, kde první blok je stabilizovaný zdroj napájecího napětí, druhý blok je přímo prototyp nabíječe s integrovaným obvodem LT1510 a třetí blok je nabíjená baterie.



Obr. 7 Blokové schéma zapojení nabíječe

Stabilizovaný zdroj slouží pro napájení této soustavy, dále je vidět propojení nabíječe a nabíjené baterie, kde je také zpětná vazba od baterie, která slouží ke snímání hodnot baterie a k jejich vyhodnocování.

6.1. Nastavení nabíjené baterie

Pro nastavení nabíjené baterie se používá odporový dělič realizovaný odpory R5 a R6, které mají hodnotu 33 k Ω a 8,2 k Ω . K těmto hodnotám odporu se dojde velice jednoduše pomocí výstupního napětí pinu OVP na integrovaném obvodu, které je 2,465 V a maximálního napětí plně nabité baterie (pro tří-článekovou lithium-polymerovou baterii je to 12,6 V). Poté se již pomocí vzorců vybírají odpory z řady s nejmenší možnou odchylkou.

Typ baterie	Napětí baterie (V)	R5 (k Ω)	R6 (k Ω)	Odchylka (%)
Li-ion	4,1	15	10	0,2
Li-ion	8,2	10	4,3	0,03
Li-ion	12,3	12	3	0,2
Li-ion	16,4	22	3,9	0,18
Li-Pol	4,2	4,7	3,3	0,1
Li-Pol	8,4	8,2	3,3	2,2
Li-Pol	12,6	33	8,2	1,7
Li-Pol	16,8	27	4,7	1,05

Tab. 3 Odporů děliče pro různé baterie odchylky maximálního napětí baterie

V předcházející tabulce vidíme návrhy děličů pro různé typy lithium-iontových baterií, konkrétně pro 1, 2, 3 a 4-čláčkovou baterii a pro různé typy lithium-polymerových baterií, také pro 1, 2, 3 a 4-čláčkovou baterii. Také je v tabulce vidět odchylka (uváděna v procentech) maximálního napětí plně nabité baterie, tudíž vidíme, že baterie nemůže být nikdy přebita, protože její maximální napětí v plně nabitém stavu bude vždy menší o odchylku uvedenou v tabulce.

6.2. Nastavení nabíjecího proudu

Pro nastavení nabíjecího proudu je v tomto zapojení využíván pin PROG integrovaného obvodu, který má na výstupu napětí 2,465 V, které je dále využito pro výpočet nabíjecího proudu, dále se k tomuto nastavení využívá odporu R_{PROG} . Tento odpor může být doplněn nebo nahrazen potenciometrem pro plynulou regulaci nabíjecího proudu od velice nízkých až po 1,5 A. Dále je k tomuto výpočtu využito definované konstanty integrovaného obvodu, která je 2000.

Výpočet odporu pro maximální nabíjecí proud 1,5 A

$$R_{PROG} = \frac{U_{PROG}}{I_{BAT}} \cdot 2000 = \frac{2,465}{1,5} \cdot 2000 = 3286\Omega \quad [4]$$

kde:

R_{prog} = odpor pro nastavení nabíjecího proudu

U_{prog} = výstupní napětí na pinu PROG

I_{bat} = nabíjecí proud baterie

2000 = konstanta integrovaného obvodu

Pro jednoduchost tohoto zařízení je nabíjecí proud nastaven pomocí rezistoru o pevné hodnotě 3,3 k Ω na hodnotu 1,494 A. V návrhu nebyl použit potenciometr pro regulaci proudu u tohoto odporu, protože se nepředpokládalo nabíjení nižším proudem nežli přibližně 1,5 A. V následující tabulce je uveden odpor pro různé hodnoty nabíjecích proudů.

Nabíjecí proud IBAT (A)	Odpor RPROG (Ω)
0,3	16433
0,6	8217
0,9	5478
1,2	4108
1,5	3286

Tab. 4 Nabíjecí proud a vypočítaný odpor pro nastavení nabíjecího proudu

6.3. Popis zapojení

Tento popis se odkazuje na obr. 14 v příloze 2.

Pin OVP

Tento pin slouží v obvodu k monitorování napětí nabíjené baterie a jestliže dosáhne nastaveného napětí, které je na odporovém děliči, tak se automaticky nabíjení přepne z nabíjení konstantním proudem a zvyšujícím se napětím na druhou nabíjecí část, kde napětí zůstává konstantní a snižuje se nabíjecí proud. Typické vstupní napětí tohoto pinu je 2,465 V, které nesmí být překročeno a typický vstupní proud je asi 50 nA.

Na výstupu tohoto pinu se nachází odporový dělič, kterým se nastavuje maximální napětí baterie, které u tohoto návrhu je 12,6 V. Jiné možnosti nastavení děliče jsou popsány v kapitole nastavení nabíjené baterie a vypočítané hodnoty odporů jsou vidět v tabulce 4, která se v kapitole nachází.

Pin PROG

Na tomto pinu je připojen odpor pro nastavení nabíjecího proudu, který může být doplněn potenciometrem pro jemnější nastavování proudu. V tomto návrhu není potenciometr použit, jelikož se nepředpokládá, že by se nabíjelo proudem nižším nežli 1,5 A.

Nastavení nabíjecího proudu je popsáno v kapitole nastavení nabíjecího proudu a tam je také uveden výpočet odporu pro různé hodnoty nabíjecích proudů,

konkrétně od nabíjecího proudu 0,3 A až po nabíjení maximálním nabíjecím proudem 1,5 A.

Pin V_c

V tomto zapojení nabíječe slouží pin V_c pro kontrolu frekvenčního spínání obvodu přes RC filtr. Tento filtr je tvořen keramickým kondenzátorem C_1 o hodnotě 100 nF a rezistorem R_1 o hodnotě 1 k Ω . Jestliže by byl tento pin nezapojen nebo zapojen přímo k zemi, tak by nedocházelo ke spínání obvodu a proces nabíjení by byl ukončen, respektive by nebyl ani nabíjecí proces počat.

Výstupní kondenzátor C_{OUT}

Tento kondenzátor je tvořen tantalovým kondenzátorem o hodnotě 10 μ F. Kondenzátor je zapojen paralelně k nabíjené baterii a slouží v obvodu k filtraci výstupního napětí. To znamená, že odstraní z výstupního napětí napěťové špičky, které by mohly znamenat poškození baterie.

Tranzistor Q_1

Tento tranzistor je v obvodu zapojen, aby sloužil k tomu, aby při vypnutí napájecího napětí nedošlo k vybíjení baterie přes dělič zpět do obvodu. K tomuto účelu byl použit BS170. Jedná se o N-kanálový mosfetový tranzistor, který má ve zpětné vazbě zapojenou diodu. Je v klasickém pouzdře, jedná se o tří-bodové zapojení.

Vstupní kondenzátor C_{IN}

Jedná se o elektrolytický kondenzátor, který má velikost 10 μ F. V tomto obvodu slouží k odfiltrování napěťových špiček vstupního (napájecího) napětí.

Cívka L_1

Cívka L_1 v tomto obvodu je navržena tak, aby vydržela nabíjecí proud 1,5 A a má indukčnost 33 μ H. V obvodu slouží k akumulaci energie a přes integrovaný obvod

dobíjí baterii proudem 1,5 A. Při sepnutí vnitřního tranzistoru integrovaného obvodu začne exponenciálně vzrůstat proud procházející cívkou a na cívce se začne hromadit energie a při vypnutí tohoto vnitřního tranzistoru začne proud cívkou exponenciálně klesat a cívka se začne vybíjet do obvodu.

Schottkyho dioda D_1

V obvodu je použita tato dioda kvůli tomu, aby se nevracel proud zpět do napájecího zdroje. Pro tento obvod je použita schottkyho dioda 1N5819, protože je velice rychlá a je na ní minimální úbytek.

Nábojová pumpa

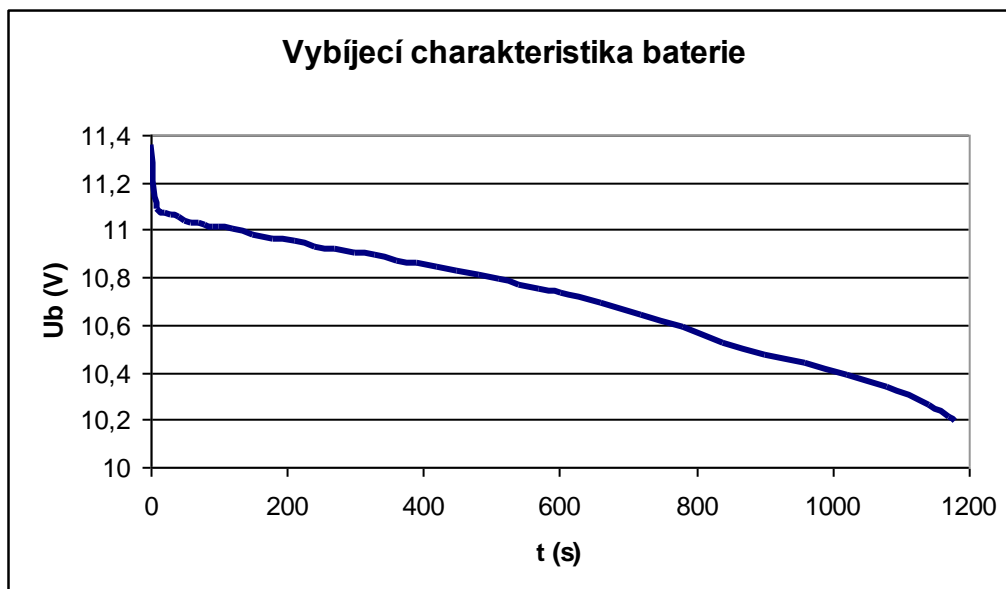
Nábojová pumpa v tomto obvodu je tvořena pinem BOOST, kondenzátorem C_5 , který má hodnotu 220 nF, diodou D_2 (v tomto obvodu je použita klasická dioda 1N4148) a cívkou, která je popsána již výše. Nábojová pumpa pracuje v tomto obvodu tak, že při krátkém připojení pinu BOOST k zemi a po následném rozepnutí se proud naindukovaný v cívce uzavře přes diodu D_2 a kondenzátor C_5 a tím se zvýší potenciál kondenzátoru nad napájecí napětí.

Dioda D_3

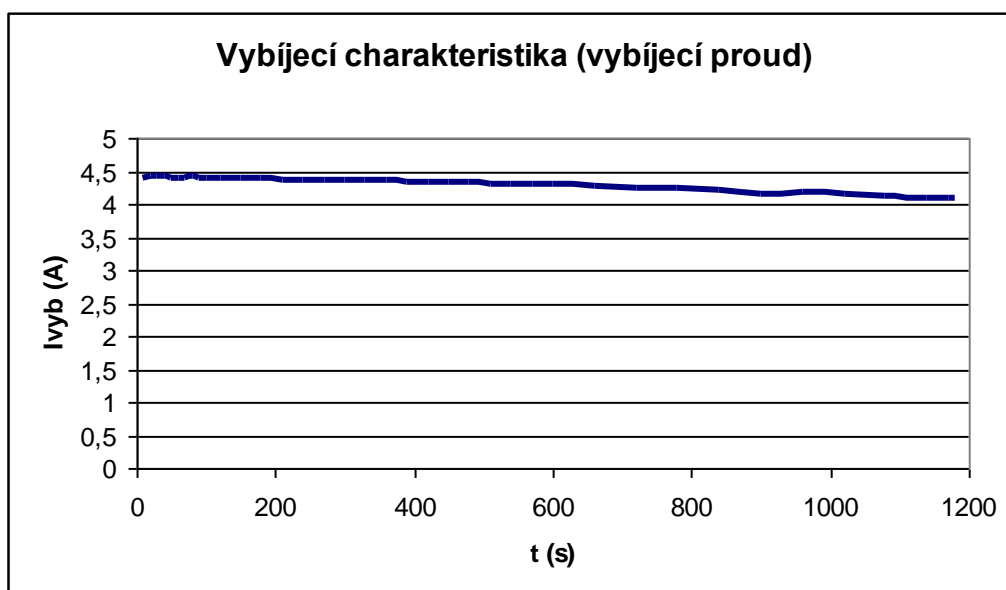
Je to schottkyho dioda 1N5819, která slouží v tomto obvodu jako rekuperační pro činnost hlavního měniče.

7. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NABÍJEČE S LT1510

Pro ověření vlastností nabíječe a jeho nabíjecí charakteristiky byla použita 3-člávková lithium polymerová baterie o kapacitě 3700 mAh, kterou jsem musel před zapojením nabíječe a jejím následným nabití vybit do odporu na hodnotu 10,2 V. V následujícím grafu je vidět průběh vybíjení baterie přes odpor o hodnotě 2,35 Ω .



Graf 1 vybíjecí charakteristika baterie

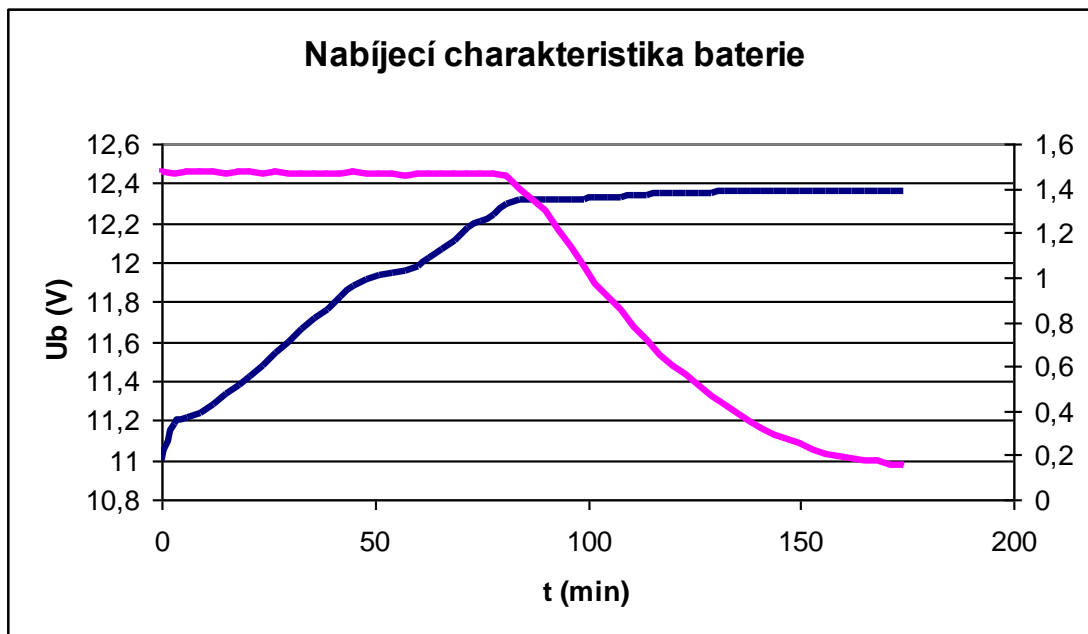


Graf 2 vybíjecí proud baterie

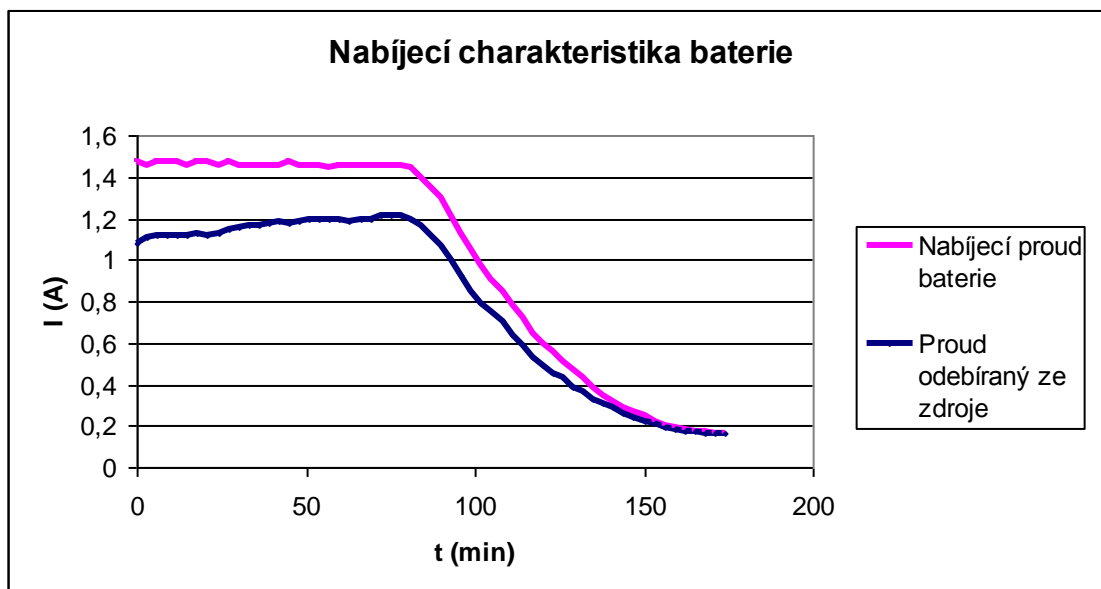
Z těchto dvou můžeme vidět, že vybíjení přes odpor bylo téměř lineární (napětí klesalo téměř lineárně v závislosti na čase), to je vidět z grafu a po připojení zátěže byla baterie vybita téměř konstantním proudem, jak je vidět z druhého grafu.

Poté byla baterie nabyta nabíječem zkonstruovaným pomocí integrovaného obvodu LT1510 od firmy Linear Technology. Obvod byl napájen ze zdroje konstantního napětí, který mohl dodávat až 24 V a maximální dodávaný proud tímto zdrojem byl 2 A. Po připojení obvodu ke zdroji bylo na výstupu naměřeno výstupní napětí 12,37 V. Na toto napětí může být baterie maximálně nabita. Odchylna je způsobena chybou v odporovém děliči a také chybou odporů.

Poté již byla připojena baterie a začalo nabíjení nejprve konstantním proudem s rostoucím napětím baterie a poté klesajícím proudem za konstantní hodnoty napětí na baterii. Jelikož byl nabíječ navržen na nabíjení proudem o hodnotě 1,5 A, musel být přidán externí chladič k integrovanému obvodu, aby nedošlo k jeho přehřátí a následně zničení. I po přidání chladiče k IO docházelo k jeho velice vysokému zahřívání, ale již bylo v mezích udávaných výrobcem. Snímaná teplota na obvodu s chladičem dosáhla maximální hodnoty 68 °C a tato teplota byla již v mezích udávaných výrobcem. Maximální pracovní teplota IO udávaná výrobcem byla na hodnotě 85 °C. Na následujících grafech bude vidět průběh nabíjení již výše vybíjené 3-článkové lithium-polymerové baterie. Nabíječ byl připojen k napájecímu zdroji, na kterém bylo nastaveno napájecí napětí na hodnotu 18 V.



Graf 3 nabíjecí charakteristika baterie



Graf 4 Nabíjecí proud a proud dodávaný zdrojem

Z předcházejících grafů je vidět, že když baterii nabíjíme konstantním proudem, tak napětí baterie téměř lineárně stoupá až na hodnotu maximálního napětí baterie (v tomto případě omezené odporovým děličem). Když se dosáhne maximálního napětí baterie, tak nám proud začne exponenciálně klesat. Na druhém grafu je vidět srovnání nabíjecího proudu s proudem, který je odebírán ze zdroje.

8. SYSTÉM ŘÍZENÍ BATERIE BMS

8.1. O systému řízení baterie

BMS pochází z anglického názvu „battery management system“, který se do českého jazyka překládá jako systém řízení baterie. Tento systém má za úkol sledovat stav baterie jak při nabíjení, tak poté při provozu v daném zařízení v našem případě elektromobilu. Hlavním cílem tohoto systému je ochránit baterii před poškozením a prodloužit její životnost. Jeho nedílnou součástí je i signalizace stavů kdy může dojít k poškození a následné odpojení baterie. Systém řízení baterie nejčastěji monitoruje tato data:

- Celkové svorkové napětí daného akumulátoru
- Napětí na jednotlivých článcích akumulátoru
- Proud, který je dodáván i odebírán z baterie
- Celkovou teplotu baterie, teplotu jednotlivých článků
- Stav nabití nebo vybití baterie, nabití nebo vybití jednotlivých článků
- Životnost baterie

Mimo těchto základních sledovaných veličin baterie může BMS na základě výše uvedených veličin dále vypočítávat a díky tomu sledovat tyto veličiny:

- maximální nabíjecí proud baterie
- maximální vybíjecí proud baterie
- celkovou spotřebu energie
- celkovou provozní dobu baterie od data, kdy byla uvedena do provozu.

Systém řízení baterie může podat informaci o výše uvedených údajích nadřazenému systému pomocí mnoha komunikačních vazeb. Jako jsou:

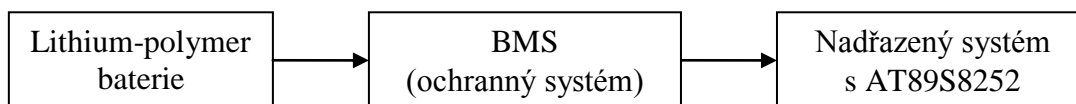
- Bezdrátová komunikace s nadřazeným systémem
- Sériová komunikace s nadřazeným systémem
- Sériová komunikace přes UART
- Bezdrátová komunikace
- Komunikace přes USB port

- CAN-BUS komunikace (nejčastěji používaná pro automobilový průmysl)

System řízení baterie dále může omezit nebo úplně zastavit provoz baterie pomocí vyhodnocení naměřených a vypočítaných hodnot, jestliže se tyto hodnoty dostanou mimo bezpečnou provozní oblast baterie. S cílem maximalizovat životnost a kapacitu baterie, a aby nedošlo k přebíjení nebo vybití pod hranici kapacity článků, může BMS aktivně zajistit, aby k nabíjení a vybití jednotlivých článků docházelo stejnoměrně.

9. NÁVRH ŘEŠENÍ SYSTÉMU BMS

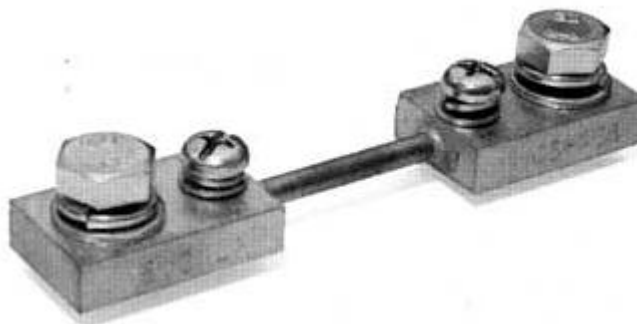
Požadavky na systém jsou BMS pro elektromobil jsou definovány přímo z vlastního principu používání elektromobilu. Systém měl zajišťovat ochranu baterie a hlídat svorkové napětí na všech člancích baterie, které nemělo přesáhnout napětí 25,2 V. To je maximální napětí šesti článkové lithium-polymerové baterie, které by nemělo být přesaženo při plném nabití baterie. Poté minimální napětí baterie, které se nesmí dostat pod hodnotu 20,4 V, které je dáno přímo výrobcem baterie. Při nižším napětí může dojít k poškození baterie, nebo zkrácení doby životnosti. Další požadavek na systém je kontrola dodávaného a odebíraného proudu baterií a elektromobilem například při rekuperaci. Dodávaný proud baterií do elektromobilu nesmí přesáhnout hodnotu 100 A. Dodávaný proud elektromobilem do baterie nesmí přesáhnout hodnotu 10 A.



Obr. 8 Jednoduché blokové schéma zapojení ochranného systému

9.1. Řešení systému pomocí odporového bočnicku

Bočnický se používají k měření stejnosměrných proudů, na bočnicku vzniká úbytek napětí úměrný protékajícímu proudu. Požadavek na bočnick jsou aby byl schopný vydržet proud ± 125 A, aby byla rezerva při vyšších proudech, které již baterie nemá dodávat a není schopna ani přijmout. Odpor bočnicku $330 \mu\Omega$.



Obr. 9 Bočník

Maximální úbytek napětí na bočníku:

$$U_{b \max} = R_b \cdot I_{b \max} = 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 41,25 \cdot 10^{-3} V \quad [5]$$

kde:

$U_{b \max}$ = maximální úbytek napětí na bočníku

R_b = odpor bočníku

$I_{b \max}$ = maximální proud bočníkem

9.1.1. Návrh bočníku

Parametry bočníku jsou uvedeny v předchozí kapitole a z těchto parametrů jsou vypočteny parametry pro hliníkový drát, z kterého je možnost následné realizace bočníku pro BMS.

Výpočet průřezu drátu o průměru 3mm:

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^2 = 7,07 \cdot 10^{-6} m^2 \quad [6]$$

kde:

S = průřez drátu

π = konstanta⁵

r = průměr drátu

Výpočet délky hliníkového drátu:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{7,07 \cdot 10^{-6}}{0,027 \cdot 10^{-6}} = 8,64 \cdot 10^{-3} m = 8,64 cm \quad [7]$$

kde:

l = délka drátu

R = odpor bočníku

S = průřez bočníku

ρ = konstanta⁶



Obr. 10 Hliníkový drát

⁵ Ludolfovo číslo 3,1415926535897932384626433832795

⁶ Měrný odpor hliníku

Hliníkový drát pro bočník k ochrannému systému BMS délku 8,64 cm a průměr drátu 3 mm. Pro zesílení úbytku napětí na bočníku slouží obvod MAX4081.

9.1.2. Zesilovací obvod MAX4081

Zesilovací obvod MAX4081 má tři specifikace zesílení, F (zesiluje 5x), T (zesiluje 20x), S (zesiluje 60x). Výhoda tohoto obvodu je, že se dá napájet přímo z baterie. Dále umožňuje obousměrné snímání úbytku napětí na bočníku.

Výpočet zesílení pro obvod MAX4081:

$$z = \frac{U_p}{U_{b\max}} = \frac{2,5}{41,25 \cdot 10^{-3}} = 60 \quad [8]$$

kde:

z = požadované zesílení obvodu

U_p = požadované napětí za zesilovacím obvodem

$U_{b\max}$ = maximální úbytek napětí na bočníku

Z tohoto výpočtu je vidět, že pro tento navrhovaný systém řízení baterie je použit zesilovací obvod MAX4081 se zesílením S. Zesílení S znamená, že tento obvod zesiluje 60x a výstupní napětí je vypočítáno z následujícího vzorce 2,475 V.

Výpočet výstupního napětí za obvodem MAX8041:

$$U_{vystm} = z \cdot U_{b\max} = 60 \cdot 41,25 \cdot 10^{-3} = 2,475V \quad [9]$$

kde:

U_{vystm} = výstupní napětí za obvodem MAX4081

z = požadované zesílení obvodu

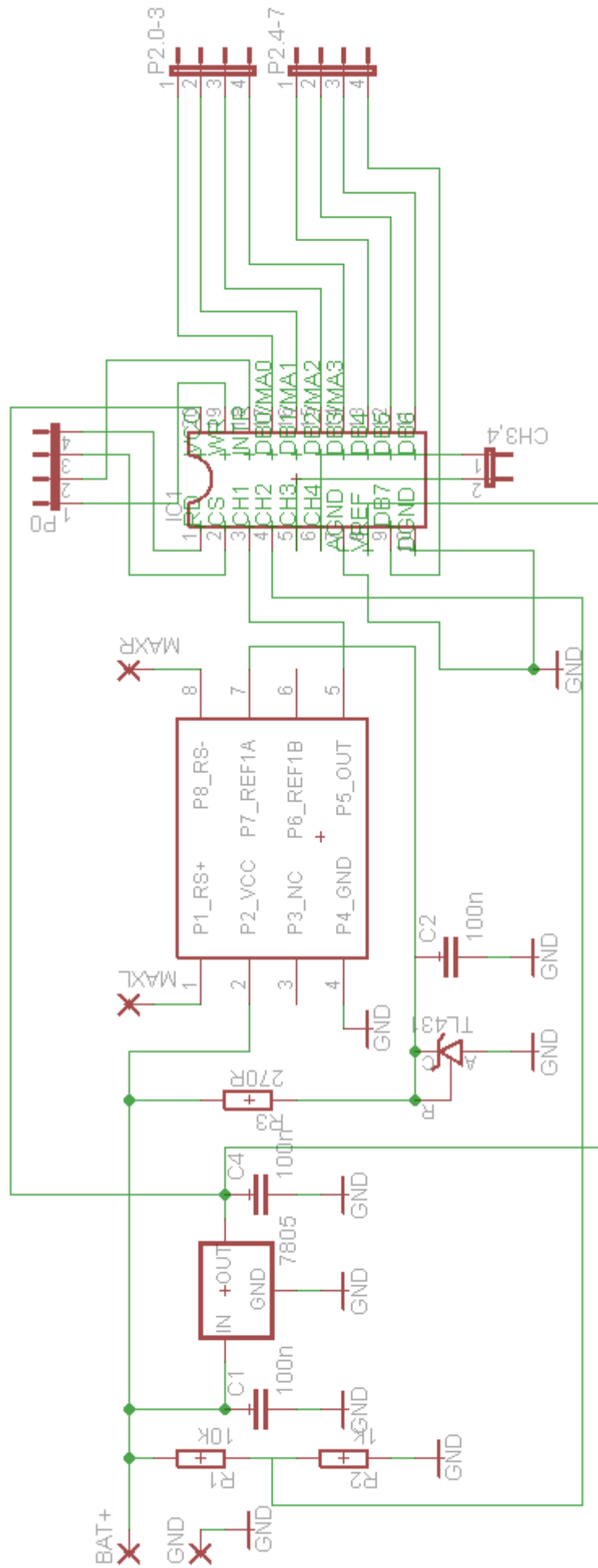
$U_{b\max}$ = maximální úbytek napětí na bočníku

9.1.3. Schéma zapojení

Na následující straně je vidět schéma zapojení řešení systému BMS s bočníkem a obvodem MAX4081. Dále je na obrázku vidět zapojení AD převodníku ADC0844, který bude popsán v následující kapitole.

K převodu napětí, které vychází ze zesilovacího obvodu MAX4081 používáme kanál 1 a pro převod snímaného napětí na odporovém děliči používáme kanál 2.

Tento AD převodník komunikuje přes výstupní piny s nadřazeným obvodem ve kterém je obsažen mikroprocesor AT89S8253, který je využíván na Univerzitě Pardubice k výukovým účelům a programuje se pomocí programovacího jazyku Assembler. Dále je na tomto přípravku využíváno osm led diod, které jsou připojeny přes port P1 k řídicímu mikroprocesoru přípravku. Tyto diody nám signalizují problém při snímání proudu. První čtyři diody, které jsou připojeny k portu P1 přes piny 0 až 3 indikují rozsvícením stav kdy se nám proud do nebo z baterie převedený na napětí zesilovacím obvodem MAX8041 dostane mimo povolený rozsah a zbylé čtyři diody, které jsou připojeny přes piny 4 až 7 nám indikují problém, když se nám napětí převedené přes odporový dělič dostane mimo povolený rozsah napětí na lithium-polymerové baterii. Minimální napětí na baterii je 1,86 V a maximální napětí na baterii je 2,29 V.

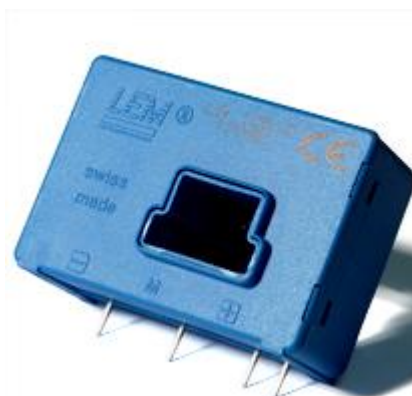


Obr.11 Návrh řešení BMS pomocí bočnicku

9.2. Řešení systému pomocí obvodu LEM LA125-P

9.2.1. LEM LA125-P

LEM LA125-P je obvod pro měření stejnosměrného, střídavého a pulsního proudu. Obvod má galvanicky oddělené sekundární a primární části. Tento obvod pracuje na principu Hallovy sondy. Napájení obvodu je symetricky ± 12 V. Pro napájení obvodu je v návrhu počítáno s DC/DC měničem FDDA03 a stabilizátorem napětí 7812. Rozsah snímaného stejnosměrného proudu u tohoto obvodu je ± 125 A a výstupní proud je ± 125 mA. Z toho je vidět, že převod vstupního a výstupního stejnosměrného proudu je 1 ku 1000. Na následujícím obrázku je vidět jak vypadá snímač stejnosměrného proudu LEM LA125-P.



Obr. 12 Proudový snímač LEM LA 125-P

9.2.2. Hallova sonda

Elektronická součástka, jejíž činnost je založena na technickém principu využití hallova jevu⁷. Používá se pro měření a automatickou regulaci magnetických polí, měření stejnosměrných proudů (0,5 A až 10 kA), ovládání velkých elektromotorů, bezkontaktní tlačítka, mechanické snímače polohy. Pro obvod LEM LA125-P je důležité právě velice přesné snímání stejnosměrných proudů velkých hodnot.

⁷ Proces generace Hallova elektrického pole v polovodiči za současného působení vnějšího elektrického i magnetického pole. Důsledkem toho se hromadí na jedné straně látky záporný náboj a na straně druhé náboj kladný. Díky tomu, že póly mají různý potenciál, vzniká Hallovo napětí.

9.2.3. Stabilizátory napětí

V tomto návrhu systému řízení baterie byly použity tři stabilizátory napětí. Konkrétně to jsou stabilizátory 7812, 7805 a TL431. Jedná se o integrované formy stabilizátorů s třemi vývody (tzv. třibodové provedení).

Stabilizátory 7812 a 7805 jsou napájeny napětím přímo z baterie a každý je na svém vstupu i výstupu doplněn keramickým kondenzátorem 100 nF a elektrolytickým kondenzátorem 220 uF, které zabraňují rozkmitání stabilizátoru. Aby nedocházelo k rozkmitání stabilizátoru musí být tyto kondenzátory umístěny co nejbližší vývodům stabilizátoru. Tyto dva stabilizátory vyskytující se v obvodu mohou dodávat proud o maximální velikosti, která je rovna maximální dovolené hodnotě výstupního proudu stabilizátoru.

Stabilizátor 7812 má výstupní hodnotu stabilizovaného napětí 12 V a může do obvodu dodávat maximální proud 1 A. V tomto zapojení slouží k napájení snímače proudu LEM LA125-P. Dále tento stabilizátor slouží k napájení operačního zesilovače v rozdílovém zapojení LM741.

Stabilizátor 7805 má výstupní hodnotu stabilizovaného napětí 5 V a do obvodu je schopen jako předchozí stabilizátor 7812 dodávat proud o maximální velikosti 1 A. V tomto obvodu nám slouží pro napájení analogově-digitálního převodníku ADC0844 a také pro napájení jeho referenčního pinu.

Posledním stabilizátorem použitým v tomto zapojení je TL431, který má na svém vstupu odpor, který slouží k dodávání maximálního proudu na hodnotu 100 mA. Na výstupu tohoto stabilizátoru je připojen keramický kondenzátor o hodnotě 100nF, který je připojen z důvodu, aby nedocházelo k rozkmitu stabilizovaného napětí na výstupu stabilizátoru, které má hodnotu 2,5 V.

Tento stabilizátor slouží k dodávání napětí k rozdílovému zapojení operačního zesilovače LM741, kde je dále použito pro výpočet napětí, které jde na vstup AD převodníku ADC0844.

9.2.4. Operační zesilovač LM741

V tomto zapojení je použit operační zesilovač LM741 v rozdílovém zapojení. Je napájen ± 12 V. Toto napětí je do operačního zesilovače dodáváno jednak ze stabilizátoru napětí 7812 (dodává kladné napájecí napětí +12 V) a z DC/DC měniče FDD03 (dodává záporné napájecí napětí -12 V). Rozdílové zapojení operačního zesilovače znamená, že na výstupním pinu je rozdíl napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem operačního zesilovače. Odpory na obou vstupech musí být naprosto stejné, abychom vytvořili stejné vstupní podmínky pro obě napětí a tím se dosáhlo co největšího činitele potlačení součtového signálu.

V tomto konkrétním zapojení se přivádí na invertující vstup nulové napětí a na neinvertující vstup se přivádí rozdíl napětí snímaného a napětí, které dodává stabilizátor TL431. Tudíž na výstupu dostaneme operačního zesilovače dostaneme napětí, které může mít hodnotu od 0 do 5 V. To dále přivádíme na kanál AD převodníku.

9.2.5. DC/DC měnič FDD03

Jako DC/DC měnič nebo stejnosměrný měnič se označuje elektronický měnič určený pro změnu stejnosměrného napětí nebo proudu mezi dvěma různými stejnosměrnými napájecími soustavami. Pro spínání se používají tranzistory a diody, pro uchování energie v době převodu se používají kondenzátory a cívky a jako galvanické oddělení se používají pulsní transformátory.

V tomto schématu je použit stejnosměrný měnič napětí FDD03, který je napájen přímo z lithium-polymerové baterie a jeho zapojení je navrženo tak, aby na svém výstupu dodával pouze zápornou složku stejnosměrného napětí a to je -12 V, která je použita pro napájení proudového snímače LEM LA125-P a také operačního zesilovače LM741.

9.2.6. Snímání proudu

Na BMS je kladen požadavek, aby ohlídal maximální dodávaný proud baterií elektromobilu, který může mít maximální hodnotu 100 A a také dodávaný proud zpět

do baterie z elektromobilu, který může mít maximální hodnotu 10 A. Proud je snímán již zmiňovaným proudovým snímačem LEM LA125-P.

9.2.7. Snímání napětí

Na systém řízení baterie je kladen požadavek snímání svorkového napětí baterie, které je z intervalu 20,4 V až 25,2 V. Pro snímání napětí je využit odporový dělič, který má poměr odporů 1 ku 10, tudíž svorkové napětí baterie vydělí v poměru 1 ku 11.

Výpočet výstupního napětí za děličem při plně nabitě šesti článkové li-pol baterii:

$$U_d = \frac{U_b}{11} (V) \quad [10]$$

kde:

U_d = výstupní napětí děliče

U_b = svorkové napětí baterie

11 = dělicí poměr

Příklad výpočtu pro plně nabitou baterii:

$$U_d = \frac{U_b}{11} = \frac{25,2}{11} = 2,29V \quad [11]$$

Tento poměr odporového děliče je volen s ohledem na pozdější převod AD převodníku, který je schopen převádět analogový signál od 0 do 5 V na digitální.

9.2.8. AD převodník ADC0844

Tento převodník slouží v obvodu pro převod hodnoty snímaného napětí a proudu na digitální hodnotu pro další použití v mikroprocesoru AT89S8253, který je k tomuto AD převodníku připojen přes paralelní port P2 a přes některé piny portu P3.

Pro tuto aplikaci byl zvolen převodník který má osmi-bitový převod, může se připojit k mikroprocesoru a převádět hodnoty až čtyřmi kanály, má velice krátkou dobu převodu, která je 40 μ s. Dále je tento převodník vybaven referenčním vstupem pro různá připojení jednotlivých kanálů. Tento převodník je připojen přes stabilizátor

napětí 7805 k stabilizovanému napětí o hodnotě 5 V jak svým pinem pro napájení, tak svým pinem pro referenční napětí.

Kanály tohoto převodníku se dají připojit čtyřmi různými způsoby. Můžeme číst dvakrát diferenciální vstup, nebo čtyřikrát vstup proti společné analogové zemi, nebo třikrát diferenciální vstup proti společnému referenčnímu potenciálu, a nebo poslední možnost zapojení kanálů je jedenkrát diferenciální vstup a dvakrát vstup proti analogové zemi.

V ochranném systému BMS využijeme dva kanály AD převodníku, které jsou zapojené proti analogové zemi. Zbylé dva kanály pouze budou vyvedeny na desku pro jejich další případné využití například pro snímání teploty článků, nebo jiné hodnoty. Převodník je schopen převádět napětí od 0 do 5 V na digitální hodnotu v rozmezí hodnot od 0 do 255. Pro ochranný systém je tento rozsah převodníku plně dostačující, jemnost převodu je 0,02 V.

9.2.9. Převod analogové hodnoty na digitální

Převod spojitého analogového signálu na digitální hodnotu probíhá pomocí rutiny, kterou vykonává mikroprocesor AT89S8253. Pro nastavení převodu nám slouží na AD převodníku piny RD, CS, WR, INTR a MA0 až MA3.

Připojení prvního kanálu, který nám slouží k vyhodnocení snímaného proudu pomocí proudového snímače LEM LA 125-P, který je přes odpor 20Ω a operační zesilovač zapojený v rozdílovém zapojení převeden na napětí je následující. Nastaví se chipselect do logické nuly a zůstane již tak po celou dobu běhu programu, nastaví se zápis do logické nuly, vybere se pomocí nastavení pinů MA0 až MA3 kanál, poté se nastaví zápis do logické jedničky a převodník je schopen převést analogovou hodnotu na digitální z kanálu jedna. Poté se počká na převod převodníku, který je ukončen, jestliže nám přerušení od převodníku zahlásí, že je v logické nule. Následně se nastaví čtení do logické nuly a od této doby jsme schopni vyčíst digitální hodnotu z převodníku, konkrétně z jeho pinů DB0 až DB7. Jakmile hodnoty vyčteme tak nastavíme pin pro čtení do logické jedničky. Takto nastavujeme i druhý kanál pro snímání napětí pomocí odporového děliče s výjimkou nastavení pinů MA0 až MA3, které mají pro každý kanál své konkrétní nastavení logických nul a jedniček.

9.2.10. Výpočet mezí převodu

Proud, který je baterie schopna dodávat má hodnotu 100 A, a proud který je schopna přijímat je 10 A. Pro tyto dvě krajní hodnoty proudu následně převedené pomocí operačního zesilovače v rozdílovém zapojení jsou vypočítány hranice pro převod AD převodníku. Operační zesilovač dává pro nulový proud referenční napětí 2,5 V, od kterého je následně odečtena hodnota převedeného napětí, které je baterie schopna přijmout, nebo přičtena hodnota napětí, které je baterie schopna dodat do elektromobilu.

Výpočet hodnoty napětí pro proud -10 A, který je schopna baterie přijmout (dolní mez proudu):

$$U_{is} = \frac{R \cdot I_s}{1000} = \frac{20 \cdot (-10)}{1000} = -0,2V \quad [12]$$

kde:

U_{is} = napětí jdoucí do operačního zesilovače pro spodní mez proudu

R = odpor za snímačem

I_s = proud, který je baterie schopna přijmout

1000 = konstanta proudového snímače

$$d_{is} = \frac{U_0 + U_{is}}{U_0} \cdot 128 = \frac{2,5 + (-0,2)}{2,5} \cdot 128 = 117,76 \approx 118 \quad [13]$$

kde:

d_{is} = hodnota, kterou dává převodník po převodu pro dolní mez proudu -10 A

U_0 = napětí, dodávané operačnímu zesilovači proto, aby mohl pracovat v rozdílovém zapojení

U_{is} = napětí, které dává proudový po sejmutí proudu pomocí odporu R

128 = hodnota, kterou použita jako základní hodnota pro nulový procházející proud

Analogicky, pomocí předcházejících dvou vzorců spočítáme hodnotu, kterou nám dodá převodník po převodu pro horní mez proudu 100 A, který je schopna baterie dodat elektromobilu. Vypočítaná hodnota, kterou dodává převodník do programu je 229. Z výpočtu těchto dvou mezí vyplývá, že baterie schopná pracovat v rozsahu proudu (-10 A; 100 A), který dodává nebo odebírá z elektromobilu má meze převedených hodnot převodníkem pro obslužný program, ze kterých by

neměla vystoupit 118 a 229, kde hodnota 118 je dolní mezí intervalu (pro proud -10 A) a hodnota 229 je horní mez intervalu (pro proud 100 A).

Napětí, nad které nesmí být jeden článek lithium-polymerové baterie nabit je 4,2 V, z toho vyplývá, že napětí šesti článkové lithium-polymerové baterie při plně nabitém stavu nesmí překročit mez 25,2 V a to je také horní mez intervalu, kterou bude mikroprocesor vyhodnocovat. Minimální napětí jednoho článku lithium-polymerové baterie nesmí být nižší nežli 3,4 V, tudíž napěťová mez vybití pro šesti-článkovou lithium polymerovou baterii nesmí klesnout pod hodnotu 20,4 V. Napěťový interval pro šesti článkovou baterii vychází dolní mez 20,4 V a horní mez 25,2 V.

Výpočet napětí dodaného na druhý kanál AD převodníku z děliče při plném nabití baterie (Převod děliče je v poměru 1 ku 11)

$$U_{zd} = \frac{U_{b\max}}{11} = \frac{25,2}{11} = 2,29V \quad [14]$$

kde:

U_{zd} = napětí jdoucí na kanál převodníku při plném nabití baterie

$U_{b\max}$ = maximální napětí baterie při plném nabití

11 = dělicí poměr odporového děliče

Výpočet digitální hodnoty napětí při plném nabití šesti článkové lithium polymerové baterie

$$d_{uh} = \frac{U_{zd}}{U_{p\max}} \cdot 256 = \frac{2,29}{5} \cdot 256 = 117 \quad [15]$$

kde:

d_{uh} = hodnota, kterou dává převodník po převodu pro horní mez napětí 25,2 V

$U_{p\max}$ = maximální napětí, které smí být přivedeno na jeden kanál převodníku pro převod

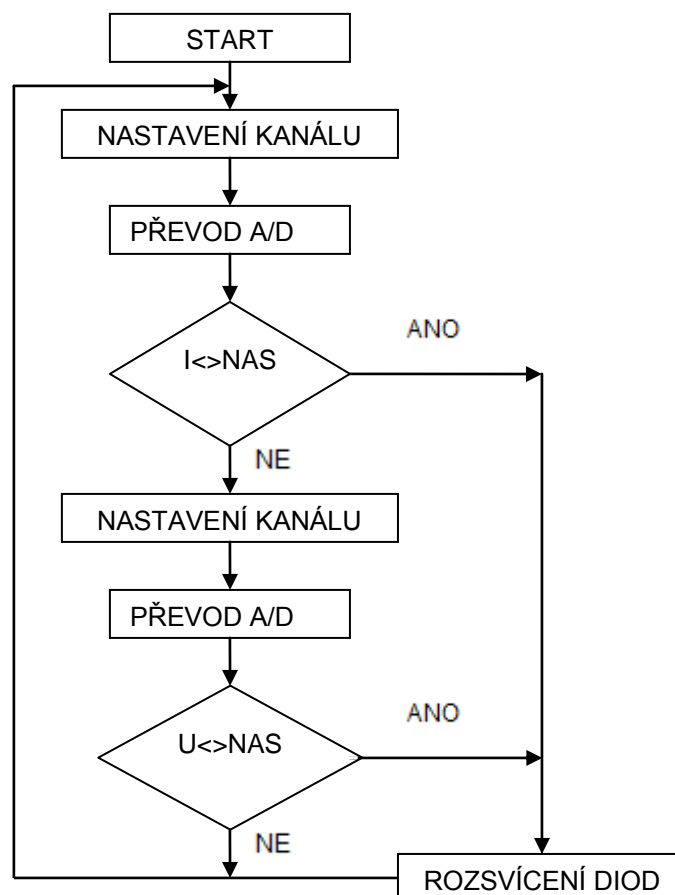
256 = počet výstupních hodnot osmi bitového převodníku

Analogicky se vypočítá pomocí předcházejících dvou rovnic dolní mez napětí 20,4 V, to je minimální hodnota napětí baterie, při které ji ještě můžeme používat, tak aby nedošlo k omezení její funkčnosti, a nebo ke zničení baterie. Tato dolní mez pro napětí za odporovým děličem, které přichází na druhý kanál AD převodníku má

hodnotu 1,86 V. Z této hodnoty vyplývá pomocí předchozího vzorce hodnota, kterou dává AD převodník po převodu na 95.

9.2.11. Program pro BMS

Program se bude zabývat řízením ochranného systému baterie a vyhodnocováním stavu baterie. Přes AD převodník budou do programu dodávány digitální hodnoty na určených snímaných kanálech a následně budou porovnávány s mezními hodnotami, které budou uloženy ve vnitřní paměti mikroprocesoru na předem určených místech.



Obr. 13 Algoritmus programu

Program začne nahráním mezí pro porovnávání měřeného proudu a měřeného napětí na určitá místa paměti v mikroprocesoru, poté vynuluje led diody pro signalizaci. Dalším krokem je nastavení převodního kanálu pro převod měřeného proudu na digitální hodnotu, porovná výsledek s daty uloženými v paměti a je-li mimo

interval, tak rozsvítí led diody, jinak pokračuje dále v nastavení převodního kanálu pro převod měřeného napětí, jeho vyhodnocení a porovnání s daty v paměti mikroprocesoru. Je-li hodnota mimo interval, rozsvítí se led diody jinak pokračuje dále, zpět na začátek programu a program se stále opakuje dokola, aby došlo k co nejvíce vyhodnocení měřených dat.

10. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU BMS

Pro tuto práci byla zvolena konstrukce s proudovým snímačem LEM LA125-P, protože je mnohem přesnější a jednodušší na konstrukci oproti navrhovanému bočníku, který by byl realizován za pomoci hliníkového drátu. U hliníkového drátu by se velice obtížně nastavovala přesnost snímání a navíc by přes něj procházel velký výkon, který by tento bočník velice zahříval a tím by se také snížila přesnost snímání úbytku napětí v závislosti na procházejícím proudu tohoto bočníku.

K ověření vlastností tohoto systému byl použit stabilizovaný zdroj, který je schopen dodávat stejnosměrné napětí o maximální velikost 30 V a maximální dodávaný proud tímto stabilizovaným zdrojem je 4 A. Dále jsem použil školní přípravek osazený mikroprocesorem AT89S8253, který byl k ochrannému systému připojen přes port P2 a P3. Dále na tomto výrobku je řada osmi led diod, které jsou v ověření funkčnosti celku použity pro signalizaci nesprávných hodnot snímaného proudu a napětí.

Přes počítač jsem do mikroprocesoru nahrál vytvořený program v programovacím jazyku assembler, který je určen pro tento mikroprocesor. Poté jsem připojil vytvořený ochranný systém na napájecí napětí, které mělo hodnotu 23 V a školními voltmetry jsem ověřil zda stabilizátory dodávají správné stejnosměrné napětí o hodnotách 12, 5 a 2,5 V. Tato podmínka byla splněna. Dalším krokem bylo ověření DC/DC měniče, který dodával záporné napětí -12 V pro napájení proudového snímače LEM LA125-P. Poté bylo změřeno napětí, které bylo za odporovým děličem, který měl poměr 1 ku 11. A v poslední řadě jsem ověřil napětí, které vstupuje na kanály AD převodníku ADC0844.

Ověření vlastností spočívalo hlavně v kontrole vypočítaných mezí pro měřený proud. Jeho minimální hodnota měla být -10 A, tudíž hodnota napětí, která se dostala k operačnímu zesilovači byla -0,2 V. V operačním zesilovači v rozdílovém zapojení se odečetla od hodnoty napětí přivedené proti této hodnotě a měly být 2,5 V, ale jelikož nebyla dosažena symetrie odporů na vstupech operačního zesilovače v rozdílovém zapojení, byla hodnota dodávaného napětí 2,4 V. Proto na vstupu prvního kanálu AD převodníku bylo naměřeno napětí o 0,1V menší, konkrétně pro dolní mez byla hodnota 2,2 V. Tudíž jsem musel přepočítat digitální hodnotu, kterou

měl na svém výstupu AD převodník po dokončení převodu. Nová dolní mez pro kontrolu proudu byla vypočtena na 98. To samé bylo provedeno také pro horní mez snímaného proudu a nová mez po dokončení převodu AD převodníku vyšla na hodnotu 225. Poté jsem takto upravil meze i v programu a nastavení prvního kanálu již odpovídalo skutečnosti.

Dalším bodem bylo ověření vypočítaných mezí pro maximální napětí baterie při plném nabití a pro minimální napětí baterie. Naměřené hodnoty za odporovým děličem odpovídaly vypočítaným hodnotám pro dolní a horní mez napětí baterie. Výpočet mezí a skutečné naměřené hodnoty napětí jsou shodné a tudíž se nemusí upravovat interval, který má svou dolní mez na hodnotě za AD převodníkem 95 a horní mez za AD převodníkem má hodnotu 117.

V posledním kroku jsem ověřil funkčnost navrženého programu pro ochranný systém. To znamená indikaci špatných hodnot pomocí led diod integrovaných na přípravku. Led diody byly rozsvíceny pouze při špatných hodnotách napětí, které bylo nastavováno stabilizovaným zdrojem pod, nebo nad vypočítané meze, tudíž se vymykalo z intervalu, který má dolní mez 20,4 V, která odpovídá minimálnímu napětí na lithium polymerové baterii. Horní mez tohoto intervalu byla dána maximálním napětím baterie při plném nabití a má hodnotu napětí 25,2 V.

Ověření funkčnosti tohoto ochranného systému baterie BMS proběhlo v pořádku, jediný problém byl v nastavení AD převodníku a jeho dvou kanálů proti analogové zemi, které jsou vyžity pro tento ochranný systém.

ZÁVĚR

V této práci je uveden jak literární přehled problematiky lithium-polymerových akumulátorů a způsobu nabíjení pomocí nabíjecí charakteristiky IU, tak názorný příklad postupu návrhu a zrealizování prototypu nabíječe. Dále je v práci popsána funkce ochranného systému baterie (BMS), a také návrh řešení a realizace prototypu tohoto ochranného systému.

S použitím dostupné literatury internetových dokumentů bylo navrženo a následně zrealizováno zapojení zdrojové části nabíječe s integrovaným obvodem LT1505 od firmy Linear Technology. Jak je vidět v ověření vlastností celku, nebylo dosaženo úplné funkčnosti tohoto prototypu a následně byla položena otázka přímo této americké firmě „proč doporučené schéma zapojení není funkční“. Odpověď následně přišla s tím, že nedokáží přesně říci proč je tento prototyp funkční jen s těmito vlastnostmi.

Poté byl zrealizován prototyp nabíječe s integrovaným obvodem LT1510, který měl o něco horší vlastnosti (nabíjecí proud byl maximálně 1,5 A), ale byl po návrhu, vyleptání a osazení desky zcela funkční bez jakýchkoli úprav a korekcí. Dále byly ověřeny vlastnosti tohoto prototypu nabíječe a jelikož byla nabíjena baterie větším proudem nežli je proud doporučený pro nabíjení tří-článekové lithium-polymerové baterie, tak se tento obvod nesmírně přehříval. Proto byl na obvod umístěn chladič, aby nedošlo k odměrnému přehřívání. Tímto chladičem byl problém vyřešen a maximální pracovní teplota s tímto chladičem byla naměřena na hodnotu 68 °C. Naměřená nabíjecí charakteristika odpovídá teoretickým předpokladům pro nabíjení lithium-polymerových baterií, které se nabíjejí pouze pomocí této kombinované charakteristiky.

V této práci je také uvedeno navržení a zrealizování prototypu ochranného systému BMS. Tento systém byl nejprve navržen pomocí bočníku, nebo hliníkového drátu, na kterém by byl snímán úbytek napětí a pomocí zesilovacího obvodu MAX4081. Toto navržení nebylo realizováno jelikož byl k dispozici proudový snímač LEM LA125. Pro tento snímač byl proveden druhý návrh prototypu ochranného systému baterie. Tento systém byl navržen a následně zrealizován. Pro ovládání byl použit nadřazený systém s mikroprocesorem AT89S8252, který pomocí vytvořeného

programu vyhodnocuje naměřené hodnoty napětí a proudu, které dodává AD převodník ADC0844.

Zkusím-li objektivně zhodnotit tyto výrobky, tak u ochranného systému BMS by bylo vhodné do budoucna použít i zbývající dva kanály AD převodníku například pro snímání teploty baterie a napětí na jednotlivých člancích baterie. U prototypu nabíječe bych doporučil se vyhnout se vyhnout integrovanému obvodu LT1505 jelikož neplní správně neplní funkci a také proto, že výrobce obvodu není přímo schopen poradit kde by se mohla skrývat chyba a není mnoho jak literárních, tak internetových zdrojů k tomuto typu nabíječe. Prototyp nabíječe s integrovaným obvodem LT1510 plní svoji funkci perfektně, ale jeho nevýhodou je malý nabíjecí proud, tudíž je výsledná doba nabíjení delší. V poslední řadě musím konstatovat, že cílů vytyčených v úvodu bylo dosaženo.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CSC. CENEK , Doc. RNDr. Miroslav, et al. Akumulátory od principu k praxi. Praha : FCC PUBLIC s. r. o., 2003. 268 s. ISBN 80-86534-03-0.
- [2] CSC. CENEK , Doc. RNDr. Miroslav, et al. Akumulátory a baterie. První vydání. Praha : STRO.M, spol. s. r. o., 1996. 149 s.
- [3] HUMLHANS, Jan. Inteligentní nabíječky s obvody MAXIM. První vydání. Praha : BEN, 2000. 144 s. ISBN 80-86056-83-X.
- [4] ANDREÁŠ, Miroslav; RUČKA, Milan. Nabíječky a nabíjení. Třetí vydání. Praha : BEN, 2002. 112 s. ISBN 80-86056-61-9.
- [5] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje 1. První vydání. Praha : BEN, 2002. 352 s. ISBN 80-86056-02-3.
- [6] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje 2. Integrované obvody ve spínaných zdrojích. Druhé vydání. Praha : BEN, 2000. 351 s. ISBN 80-86056-03-1.
- [7] Datasheet catalog : Linear technology LT1505 [online]. 1999 [cit. 2010-04-19]. Constant-current/voltage high efficiency battery charger. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/lineartechology/1505fc.pdf>>.
- [8] Datasheet catalog : Linear technology LT1510 [online]. 1995 [cit. 2010-03-26]. Constant-voltage/constant-current battery charger. Dostupné z WWW: <<http://www.electrokit.se/download/lt1510.pdf>>.
- [9] National semiconductor [online]. 2008 [cit. 2010-05-03]. ADC0844/ADC0848 8-Bit uP Compatible A/D Converters with Multiplexer. Dostupné z WWW: <<http://cache.national.com/ds/DC/ADC0844.pdf>>.

SEZNAM ZKRATEK

BMS	-	system řízení baterie, battery management system
Li-pol	-	lithium-polymer
Li-ion	-	lithium-iont
NiCd	-	nikl-cadmium
NiMh	-	nikl-metal-hybrid
IO	-	integrováný obvod
AD	-	analogo-digitální

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Lithium-polymerový akumulátor	- 12 -
Obr. 2 Jednotlivé vrstvy lithium-polymerového akumulátoru	- 13 -
Obr. 3 Nabíjecí charakteristika jednoho článku	- 16 -
Obr. 4 Integrovaný obvod LT1505, popis pinů	- 18 -
Obr. 5 Integrovaný obvod LT1510, popis pinů	- 19 -
Obr. 6 Blokové schéma zapojení nabíječe.....	- 20 -
Obr. 7 Blokové schéma zapojení nabíječe.....	- 28 -
Obr. 8 Jednoduché blokové schéma zapojení ochranného systému	- 38 -
Obr. 9 Bočník	- 38 -
Obr. 10 Hliníkový drát.....	- 39 -
Obr.11 Návrh řešení BMS pomocí bočníku	- 42 -
Obr. 12 Proudový snímač LEM LA 125-P	- 43 -
Obr. 13 Algoritmus programu	- 50 -
Obr. 14 Schéma zapojení zdrojové části nabíječe s LT1505.....	- 61 -
Obr. 15 Schéma zapojení zdrojové části nabíječe s LT1510.....	- 62 -
Obr. 16 Návrh řešení systému BMS pomocí LEM LA125	- 63 -

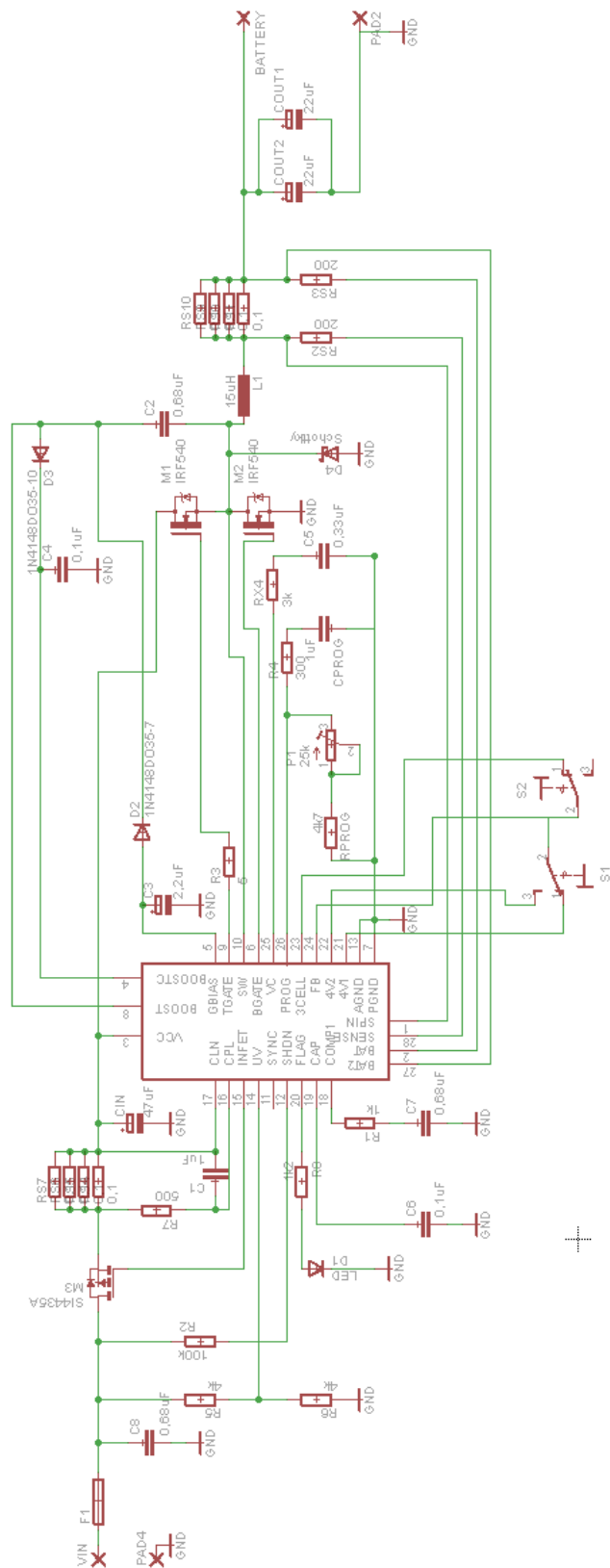
SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zapojení pinů pro výběr baterie	- 20 -
Tab. 2 Odpory pro různé nabíjecí proudy	- 22 -
Tab. 3 Odpory děliče pro různé baterie odchylky maximálního napětí baterie	- 28 -
Tab. 4 Nabíjecí proud a vypočítaný odpor pro nastavení nabíjecího proudu	- 30 -

SEZNAM GRAFŮ

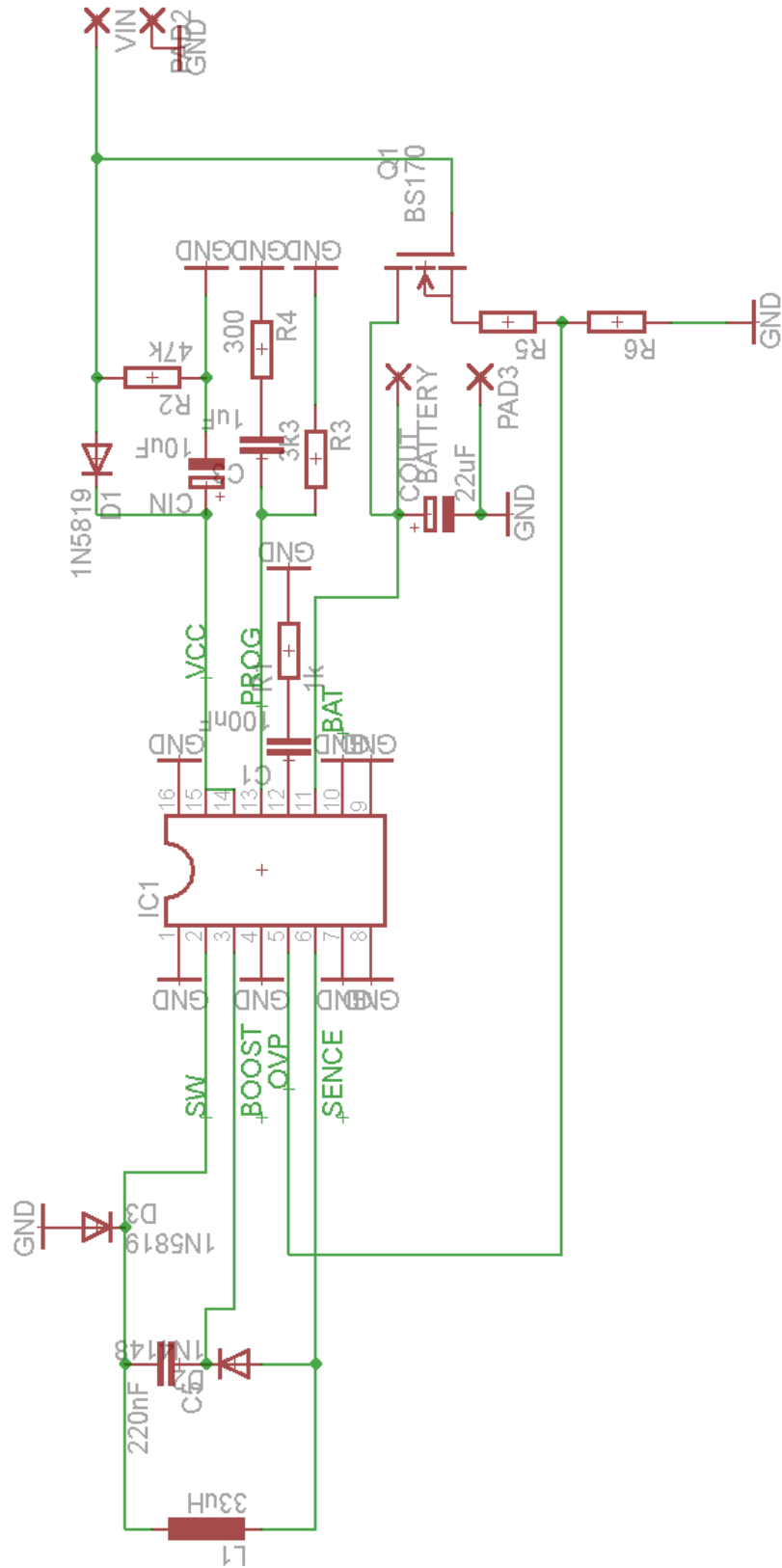
Graf 1 vybíjecí charakteristika baterie	- 33 -
Graf 2 vybíjecí proud baterie	- 33 -
Graf 3 nabíjecí charakteristika baterie	- 35 -
Graf 4 Nabíjecí proud a proud dodávaný zdrojem	- 35 -

PŘÍLOHA 1



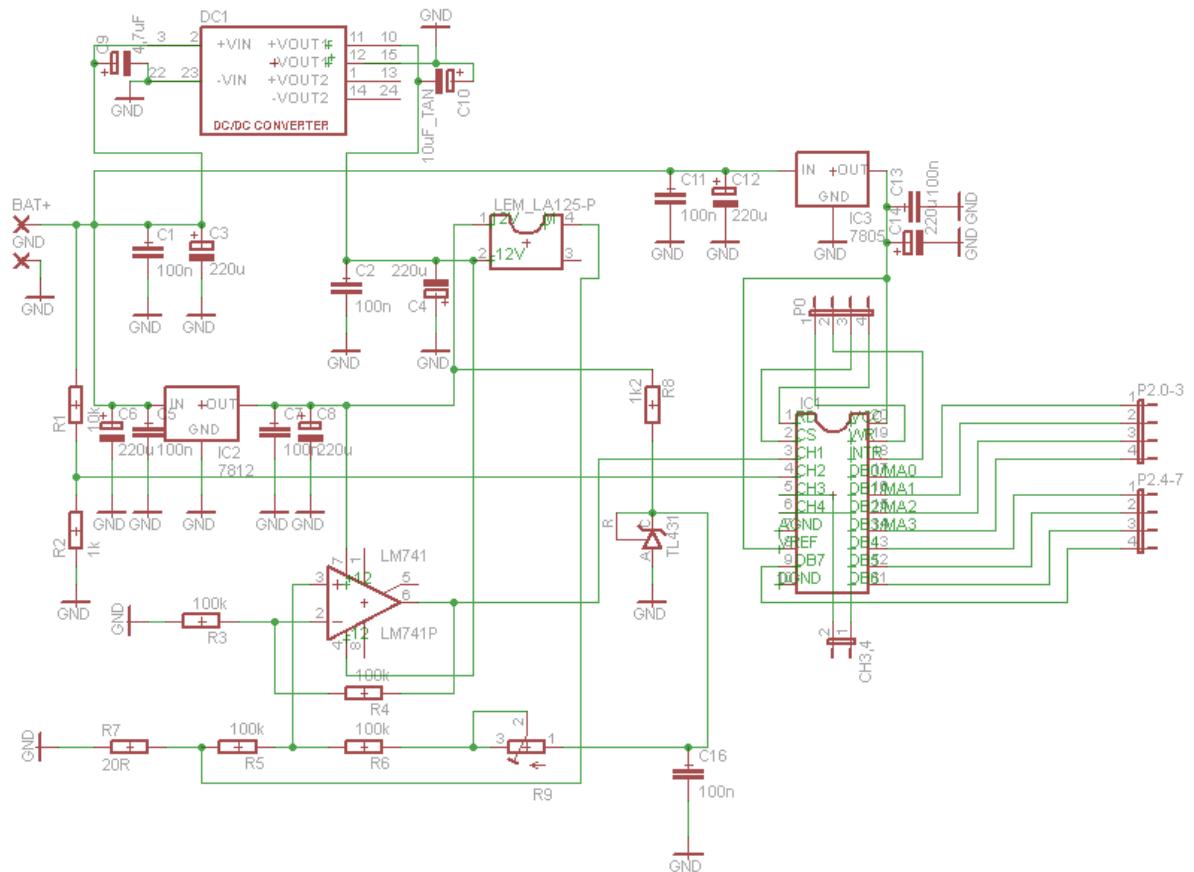
Obr. 14 Schéma zapojení zdrojové části nabiječe s LT1505

PŘÍLOHA 2



Obr. 15 Schéma zapojení zdrojové části nabiječe s LT1510

PŘÍLOHA 3



Obr. 16 Návrh řešení systému BMS pomocí LEM LA125