



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

PŘÍPRAVEK PRO TESTOVÁNÍ A DIAGNOSTIKU LI-ION BATERIÍ

LI-ION BATTERY TESTING AND DIAGNOSTICS DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Musil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2019



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**
Ústav mikroelektroniky

Student: Milan Musil

ID: 189980

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Přípravek pro testování a diagnostiku Li-Ion baterií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte zařízení umožňující testování použitých Li-Ion baterií. Přípravek bude schopen řízeného nabíjení a vybíjení baterií s možností sledování jejich charakteristik pro stanovení diagnostiky. Zařízení bude ovládáno pomocí tlačítek a displeje a zároveň bude umožňovat komunikaci s počítačem.

Prostudujte a popište problematiku nabíjecích a vybíjecích procesů Li-Ion baterií, jejich stárnutí a ostatních parametrů týkajících se zmíněné problematiky. Dále vyberte vhodné součástky, proveďte návrh a realizaci celého zařízení včetně obslužného programu. Nakonec proveďte testování a ověření funkčnosti celého systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 30.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem zařízení pro diagnostiku Li-Ion článků. Zařízení je rozděleno na modul řídicí a modul baterií. Řídicí modul obstarává komunikaci s uživatelem, počítačem a zálohu dat na SD kartu. Modul baterií slouží k řízenému nabíjení, vybíjení a měření článků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Baterie, akumulátor, Li-Ion, nabíjení, vybíjení, diagnostika

ABSTRACT

This thesis deals with the design of the device for diagnostics Li-Ion cells. The device is divided into a control module and a battery module. The control module provides communication with the user, communication with the computer and data backup to the SD card. The battery module is used for charging, discharging and measuring cells.

KEYWORDS

Battery, Li-Ion, charging, discharging, diagnostics

MUSIL, M. *Přípravek pro testování a diagnostiku Li-Ion baterií.*
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, Ústav mikroelektroniky, 2019. 21 s., 9 s. příloh. Bakalářská práce.
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Levkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a spolužákovi Janu Gromešovi za cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	1
1 srovnání různých typů akumulátorů	2
1.1 Jmenovité napětí	3
1.2 Poměr uložené energie vůči objemu/hmotnosti.....	3
1.3 Počet cyklů.....	3
1.4 Samovybití	4
1.5 Lithiové články	4
2 Zacházení s li-ion články	5
2.1 Nabíjení.....	5
2.2 Stárnutí.....	6
2.3 Skladování	7
2.4 Spojování článků do baterie.....	7
2.4.1 Odpojení baterie při nabíjení/vybití	8
2.4.2 Vyvažovač	9
3 Návrh zařízení	10
3.1 Požadavky na zařízení	10
3.2 Blokové schéma.....	10
3.3 Popis řídicího modulu.....	11
3.3.1 Převodník logických úrovní.....	11
3.3.2 Identifikace článků.....	13
3.4 Popis modulu baterií v1.2	13
3.4.1 Obvod pro nabíjení/vybití článků	14
3.4.2 Měření parametrů článků	15
3.5 Realizace zařízení	16
4 Závěr	20
Literatura	22
A schémata	25
B motivy desek plošných spojů	31

ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout zařízení schopné měřit parametry a charakteristiky Li-Ion článků s označením 18650 demontovaných z vyřazených baterií.

Lithiové baterie se využívají jako zdroj energie nejen pro notebooky, ale stále častěji i pro ruční nářadí, elektrokola, elektromobily, ale i domácnosti využívající obnovitelné zdroje energie. Baterie pro tyto účely jsou často vyráběny sérioparalelní kombinací více článků. Při provozu ovšem může nastat situace, kdy jeden nebo více článků výrazně zhorší své parametry a ovlivní tím parametry celé baterie. Výrobcům nebo servisům se v takových případech často nevyplácí baterie rozebírat a vyměňovat vadné články. Baterie jsou tedy určeny k likvidaci i v případě, kdy obsahují pouze pár vadných článků. Cílem této práce je tedy navrhnout zařízení sloužící k vyhodnocování stavu jednotlivých článků pro případnou recyklaci.

Samotné zařízení bude schopné řízeného nabíjení a vybíjení nastaveným proudem v rozsahu 0-3 A na nastavené cílové napětí, měření vnitřního odporu článku, a to jak statického, tak při nastavené frekvenci do 1 kHz, a z důvodu bezpečnosti a ochrany bude také možné měřit teplotu jednotlivých článků. Všechny naměřené a nastavené parametry budou odesílány do PC k dalšímu zpracování a zálohovány na SD kartu.

1 SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ

Kromě Lithium-iontových článků jsou sériově vyráběny a v hojném počtu používány i jiné typy akumulátorů. V Tabulka 1.1 jsou uvedeny vybrané parametry pro různé typy akumulátorů. Pro srovnání je v tabulce uveden i nedobíjecí alkalický článek.

Tabulka 1.1 Vybrané parametry různých typů akumulátorů [1][2][3][4][5][6]

Typ článku	Jmenovité napětí [V/článek]	Poměr uložené energie		Počet cyklů [-]
		K objemu [Wh/l]	K hmotnosti [Wh/kg]	
Li-Ion	3,6	250-676	150-200	500-2000
Li-Pol	3,6-3,7	215-580	100-130	300-500
LiFePO ₄	3,2	209	90-120	>2000
NiCd	1,2	150-200	45-80	1000
NiMH	1,2	140-300	60-120	300-500
Pb	2,1	60-110	30-50	200-300
alkalický	1,5	250-434	85-190	---

Poměr uložené energie k objemu článku LiFePO₄ byl vypočítán za použití hodnot z technické dokumentace [6] dle vztahu

$$\frac{E}{V} = \frac{E}{m} * m * \frac{1}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 * l * 10^{-6}} \quad \left[\frac{Wh}{l}\right] \quad (1.1)$$

$$\frac{E}{V} = 105 * 0,33 * \frac{1}{\pi \left(\frac{38}{2}\right)^2 * 146 * 10^{-6}}$$

$$\frac{E}{V} = 209,26 \frac{Wh}{l}$$

Kde:

E/V = poměr uložené energie k objemu ve Wh/l,

E/m = poměr uložené energie k hmotnosti ve Wh/kg,

m = hmotnost článku v kg,

d = průměr článku v mm,

l = délka článku v mm.

1.1 Jmenovité napětí

Jmenovité napětí není u různých typů akumulátorů shodné. Je to dáno především technologií jejich výroby a použitými materiály.

Napětí článku není konstantní. Při vybíjení napětí klesá a při nabíjení naopak stoupá. Toho lze využít pro snadné určení úrovně nabití článku. Čím větší má článek napětí, tím více je v něm ještě uloženo energie. Tento vztah ovšem není lineární a pro každý typ akumulátoru je jiný. U lithiových článků je určování úrovně nabití za pomoci napětí ještě ztíženo poměrně plochou vybíjecí křivkou.

Pokud napětí jednoho článku nevyhovuje dané aplikaci, je možné řadit články sériově za sebou a dosáhnout tak vyššího napětí. Toto zapojení je popsáno v kapitole 2.4.

1.2 Poměr uložené energie vůči objemu/hmotnosti

Množství energie, kterou je akumulátor schopen uchovat je jedním z hlavních kritérií. Jelikož je napětí a maximální odebíraný proud každého článku jiný, je nutné uchovanou energii vztáhnout k nějaké veličině. Díky tomuto bude porovnání jednotlivých článků objektivní. Většinou je uchovaná energie udávána ve watthodinách a vztažena buď k objemu v litrech, nebo hmotnosti v kilogramech.

Oba tyto poměry mají své využití. V některých aplikacích je nutno hledět především na hmotnost baterie. Ta je důležitým faktorem především u zařízení, které se mají pohybovat vlastní silou, k nim patří například elektrické automobily, létající stroje atp. nebo zařízení u kterého je celková hmotnost kritickým faktorem z důvodu přepravy, například zařízení vynášené do kosmického prostoru.

Někdy je naopak nutné zohlednit spíše objem baterie. Ten je potřeba uvažovat především u malých přenosných zařízení, jako jsou například mobilní telefony nebo hodinky.

1.3 Počet cyklů

U zařízení, která jsou v provozu často, a velikost nebo hmotnost baterií je limitujícím faktorem dochází k častému vybíjení a nabíjení baterií. Proces, při kterém je baterie plně nabitá a následně vybitá na minimální hodnotu napětí, je jeden cyklus. Ke ztrátě kapacity či změně jiných vlastností nedochází skokově. Tyto změny se projevují postupně například právě s narůstajícím počtem cyklů. V Tabulka 1.1 jsou uvedeny počty cyklů, které články zvládnou, než jejich kapacita klesne na 80 % původní hodnoty. U alkalického článku tato hodnota není vyplněna, neboť se jedná o primární článek, tedy článek určený pouze k jednomu použití bez možnosti dalšího nabíjení.

1.4 Samovybíjení

Mezi další parametry baterií patří samovybíjení, tedy schopnost článku samovolně bez vnějšího působení ztrácet uchovanou energii. U alkalických jednorázových článků je roční ztráta energie 1-2 %. U akumulátorů je ztráta mnohonásobně vyšší a to 10-30 % měsíčně [7]. Při výběru baterie pro aplikace s dlouhou plánovanou životností na jedno nabití, je tedy potřeba vybrat baterii s malým samovybíjením. Tyto baterie obvykle nejsou schopny dodávat velké proudy.

1.5 Lithiové články

Ve všech uvedených parametrech v Tabulka 1.1 dosahují lithiové články lepších parametrů než ostatní uvedené. Zejména díky jejich velké koncentraci energie jsou v poslední době, i přes jejich vysokou cenu, stále více využívány.

Kromě vysoké ceny je jejich použití limitováno i dalšími parametry. Mezi ně patří například nemožnost vybit články pod určité napětí. Pokud dojde ke snížení napětí pod určitou mez, takzvanému podbití, dojde k rapidnímu zhoršení parametrů. Především pak ke snížení kapacity. V opačném případě, tedy přebití, dojde v článku k nárůstu tlaku, což se projevuje nafouknutím pouzdra a následnou destrukcí. Destrukce může být doprovázena i hořením vysoce reaktivního lithia. Proti těmto stavům se články chrání ochrannými obvody popsány v kapitole 2.4.

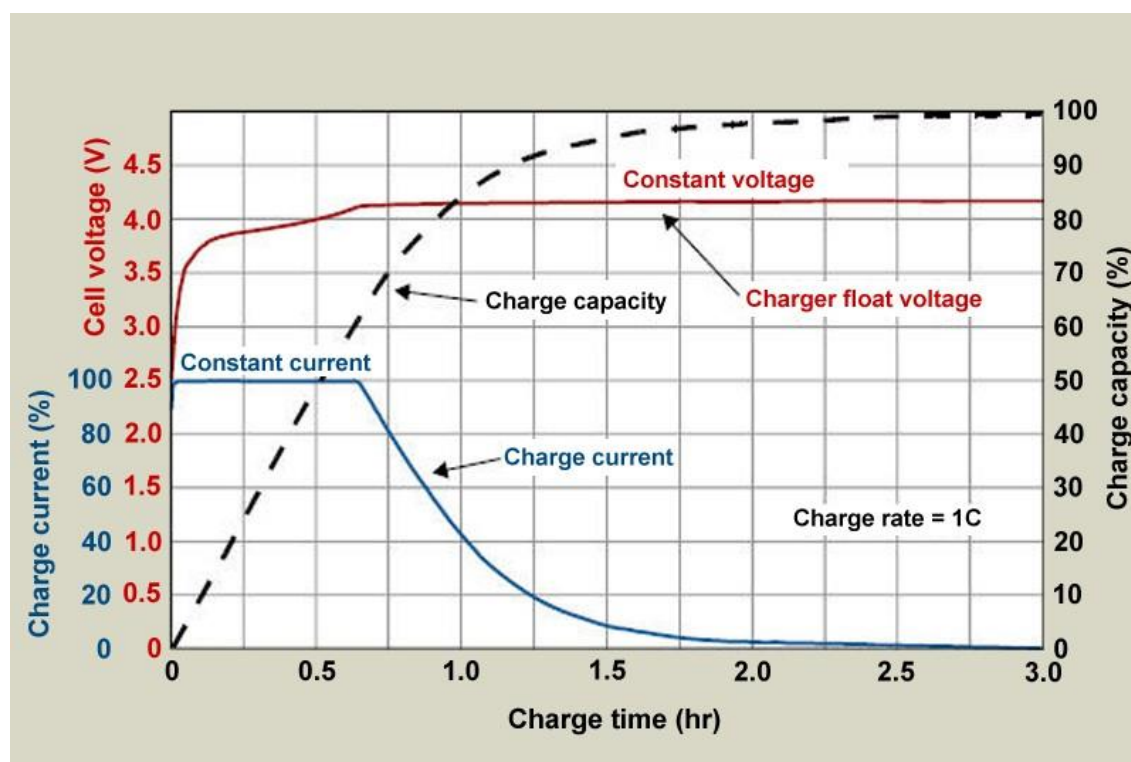
2 ZACHÁZENÍ S LI-ION ČLÁNKY

Jak bylo v předchozí kapitole ukázáno, Li-Ion články mají oproti ostatním spoustu výhod. Při jejich používání je ovšem nutné dbát na určitá pravidla, aby se články nepoškodily. Nejdůležitější parametr je napětí jednotlivých článků. To je třeba hlídat při nabíjení, vybíjení, ale i vzhledem k ostatním článkům v baterii.

2.1 Nabíjení

Nabíjení lithiových akumulátorů bývá nejčastěji prováděno metodou cc-cv [8], tedy z angličtiny metodou konstantního proudu a konstantního napětí. Velikost nabíjecího proudu bývá často udávána v jednotkách C. Velikost 1 C je číselně rovna kapacitě v Ah. Má-li například článek kapacitu 1500 mAh a má-li být nabíjen proudem 1 C, je nabíjecí proud roven 1,5 A. Pro rychlé nabíjení se volí proudy velikosti 2 C. Pro šetrnější pomalé nabíjení se volí proudy menší, například 0,5 C. Hodnota cílového napětí u Li-Ion článků je 4,1-4,25 V a je udávána výrobcem. Nabíjení na nižší cílové napětí prodlužuje životnost článku, ale umožňuje uskladnění méně energie.

Jak je patrné z Graf 2.1, nejdříve je článek nabíjen konstantním proudem, a to až do okamžiku, kdy je dosaženo cílové napětí na článku. Poté přechází nabíjení do stavu konstantního napětí a proud postupně klesá. Nabíjení je ukončeno ve chvíli, proud klesne mezi 3-5 % proudu nabíjecího [8].

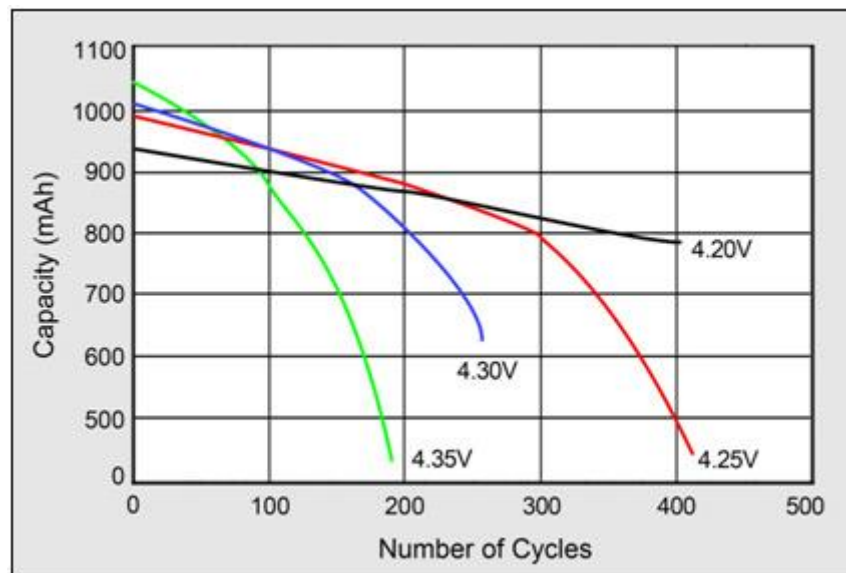


Graf 2.1 Průběh nabíjení Li-Ion článku [8]

2.2 Stárnutí

Všechny typy akumulátorů trpí stárnutím, tedy zhoršováním vlastností s přibývajícím časem a cykly nabití a vybití, viz kapitola 1.3. U většiny akumulátorů jde při nabíjení a vybití o chemický proces, u lithiových článků se jedná pouze o pohyb iontů mezi dvěma elektrodami. Životnost takové baterie může být teoreticky nekonečná. Její elektrody ale bohužel korodují a tím zhoršují parametry celého článku.

Životnost baterie je ovlivněna několika vlivy [9]. Jedná se především o parametry nabíjení jako je cílové napětí a nabíjecí proud. Pokud bude zvolen nabíjecí proud vyšší, například 2 C, bude baterie sice rychleji nabita, ale klesá její životnost. Pokud bude baterie nabíjena až na maximální napětí dovolené výrobcem, bude v baterii uloženo více energie, ale její životnost klesá rychleji, než kdyby byla baterie nabíjena jen 80 %. V případě překročení maximálního povoleného napětí životnost baterie klesá rychleji a v krajním případě může dojít k jejímu úplnému zničení. V Graf 2.2 je znázorněna kapacita článku v závislosti na počtu cyklů nabití pro různá konečná napětí.



Graf 2.2 Kapacita Li-Ion článku pro různá nabíjecí napětí [9]

Stejně jako v případě nabíjení jsou proud a napětí důležitými parametry i v případě vybití. Zde je důležité znát parametry udávané výrobcem. Některé baterie jsou schopny dodat menší proud než jiné, na druhou stranu tyto baterie mají menší samovybití. V některých aplikacích, jako je třeba aku nářadí, je potřeba dodávat po krátkou dobu velké proudy. Pro takové případy se volí články schopné dodat proud například 5 C a krátkodobě i více. Pokud článek zatížíme větším proudem, než pro jaký je navržen, začne se zahřívat a poroste jeho vnitřní tlak. Tento proces opět negativně vlivní životnost baterie a může dojít i k jejímu zničení.

Minimální napětí je opět parametr udávaný výrobcem. Některé články se nesmí vybit pod 3,6 V, jiné zvládnou vybití až na 2,7 V. Stejně jako v předchozích případech překročení této hranice výrazně sníží životnost a může dojít až ke zničení článku.

Kromě proudů a napětí při nabíjení a vybíjení je dalším parametrem výrazně ovlivňujícím životnost baterie i její teplota. Kromě zahřívání protékajícím proudem je zahřívána a ochlazována svým okolím. V případě ochlazení baterie může docházet ke kondenzaci vody na jejím plášti, a to může vést ke korozi a svodovým proudům.

I pokud budou dodrženy všechny hodnoty udávané výrobcem a baterie se bude nabíjet a vybíjet menším proudem, než je její udávané maximum, dojde ke zhoršení jejích parametrů. Každý článek degraduje i s narůstajícím počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů. Z Tabulka 1.1 je patrné, že lithiové články, především pak Li-ion a LiFePO₄, zvládnou se stejnou ztrátou kapacity více cyklů než například olověný akumulátor. Z toho důvodu se klasický 12 V olověný akumulátor složený ze šesti článků nahrazuje právě akumulátorem LiFePO₄ složeným ze čtyř článků.

2.3 Skladování

Pro skladování baterií není vhodné jejich plné nabití. Pokud budou baterie při uskladnění nabitě na nižší napětí, značně se omezí jejich samovybíjení. Při uskladnění plně nabitých Li-Ion článků při skladovací teplotě 25 °C, klesne během tří měsíců jejich kapacita na 80 %. Pokud stejné Li-Ion články nabijeme před uskladněním jen na 40 %, klesne jejich kapacita po třech měsících jen o 4 %, tedy na 96 % původní kapacity [8].

2.4 Spojování článků do baterie

Pokud jeden článek svými parametry nevyhovuje, je nutné pospojovat více článků. Pokud je například nutné vyšší napětí, zapojují se články sériově. Toto zapojení se hojně využívá v zařízeních, kde je potřeba dosáhnout velkého výkonu, tedy například v elektrokolech či elektromobilech. Díky zvýšení napětí klesá při stejném výkonu požadavek na dodávaný proud a tím je ušetřeno na průřezu vodičů a požadavcích na polovodiče. V případě zapojení více lithiových článků do série je ovšem nutné články chránit před nerovnoměrným nabíjením či vybíjením. Ochrana před těmito nežádoucími stavy je popsána v kapitole 2.4.2.

Dalším způsobem zapojení článků je zapojení paralelní. U paralelního zapojení stoupá jak celková kapacita, tak i maximální možný odebíraný proud z výsledné baterie. Vlivem rozdílných vnitřních odporů článků však nejsou paralelně zapojené články zatěžovány stejným proudem a nedochází tedy k rovnoměrnému vybíjení. Po odpojení zátěže se více vybité články začnou dobíjet z nabitějších článků. Při tomto nabíjení jednoho článku od druhého dochází ke ztrátám, a proto je nutné při paralelním řazení článků vybírat články se stejným vnitřním odporem.

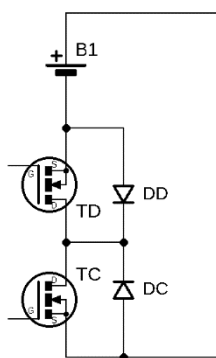
Nejčastějším zapojením článků v energeticky náročnějších aplikacích je kombinace sériového a paralelního zapojení, tedy zapojení sérioparalelní. Toto zapojení kombinuje výhody obou předchozích zapojení. Z baterie je tedy možné odebírat vyšší napětí a tím omezit proud při stejném výkonu a zároveň baterie disponuje dostatečnou kapacitou.

2.4.1 Odpojení baterie při nabíjení/vybíjení

Tento obvod chrání baterii před přebitím či podbitím. Pokud by mělo dojít k některému z těchto stavů. Je baterie odpojena pro daný směr proudu.

Schéma takového jednoduchého ochranného obvodu je na Obr. 2.1. Obvod je realizován dvojicí tranzistorů a k nim antiparalelně zapojených diod. V případě velkého napětí při nabíjení je rozepnut tranzistor T_C a další nabíjení již není možné. Vybíjení v tomto případě probíhá přes diodu D_C .

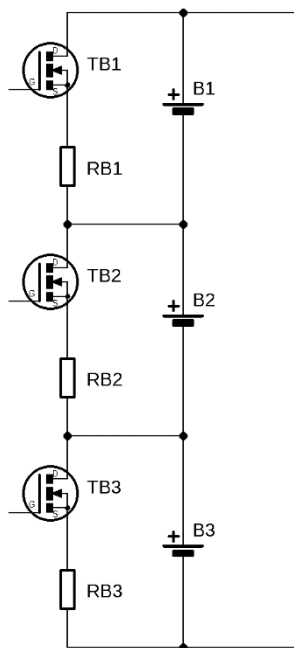
Pokud dojde k opačnému případu, nízkému napětí, dojde k uzavření tranzistoru T_D a je zamezeno dalšímu vybíjení. Při nabíjení teče proud přes diodu D_D .



Obr. 2.1 Odpojení baterie

2.4.2 Vyvažovač

Vyvažovač je obvod zajišťující rovnoměrné rozložení napětí na jednotlivých člancích. Jeho zjednodušené schéma je na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Vyvažovač

Pokud je například na článku B_2 vyšší napětí než na ostatních člancích, řídicí obvod sepne tranzistor T_{B2} a článek se začne vybíjet přes odpor R_{B2} . Energie uvolněná při vybíjení se promění v teplo, což z ekonomického hlediska není příliš výhodné. Proto existují důmyslnější vyvažovače, které přebytečnou energii z jednoho článku využijí pro nabíjení jiného článku s menším napětím. Při tomto procesu dojde sice také ke ztrátám v podobě tepla, ale část energie se uchová v baterii pro další využití.

Pokud vyvažovač neobsahuje ochranu proti podbití jednotlivých článků, může dojít k situaci, kdy bude jeden článek vybit pod únosnou mez například z důvodu jeho stáří nebo vyššího samovybíjení a vyvažovač na to zareaguje vybíjením ostatních článků až na napětí onoho podbitého článku. Tím dojde ke zničení celé baterie. Z tohoto důvodu je baterie bez vhodných ochranných obvodů lepší skladovat v nabitém stavu.

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

3.1 Požadavky na zařízení

Přípravek má být schopen měřit kapacitu akumulátoru. K tomu je zapotřebí akumulátor nabíjet a vybíjet známým proudem a napětím. Pro přesný výpočet kapacity je zapotřebí také přesné měření času.

Kromě měření kapacity akumulátoru musí být přípravek schopen měřit i jeho vnitřní odpor. Ten se v technických dokumentacích výrobců udává nejčastěji při frekvenci 1 kHz. Z toho důvodu je zde zvolená frekvence pro měření stanovena na 1 kHz.

Všechna naměřená data se budou ihned odesílat do PC k dalšímu zpracování a ukládat na SD kartu, která slouží i jako záloha v případě odpojení PC.

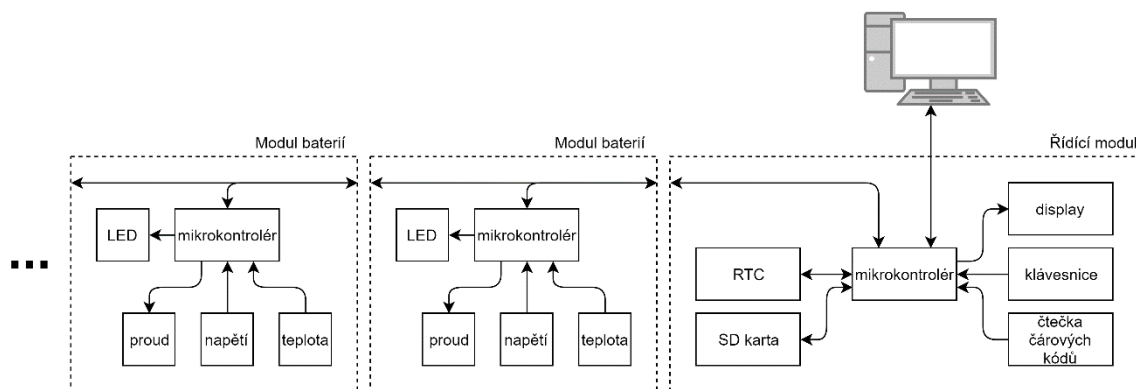
Komunikace s uživatelem bude probíhat nejen přes obslužný program v PC, ale také pomocí obrazovky na přípravku a tlačítek.

Kromě všech předchozích požadavků je požadována určitá modulárnost celkového zařízení. To znamená, že přípravek bude rozdělen na více částí – řídicí část a část pro akumulátory. Řídicí modul bude zprostředkovávat komunikaci s uživatelem a obslužným programem v PC, včetně odesílání, zobrazování a zálohování naměřených dat. Dále bude rozhodovat, kdy se bude jaký akumulátor nabíjet, vybíjet či jinak měřit a s jakými parametry. K řídicímu modulu bude možné připojit více modulů baterií. Modul baterií se stará o správné nabíjení, vybíjení a měření s parametry obdrženy od řídicího modulu. Dále hlídá, aby článek neměl příliš vysoké, nebo naopak nízké, napětí a jeho teplotu.

Modulárnost je požadována zejména kvůli možnosti pozdějšího rozšiřování o další moduly pro jiné články nebo celé baterie.

3.2 Blokové schéma

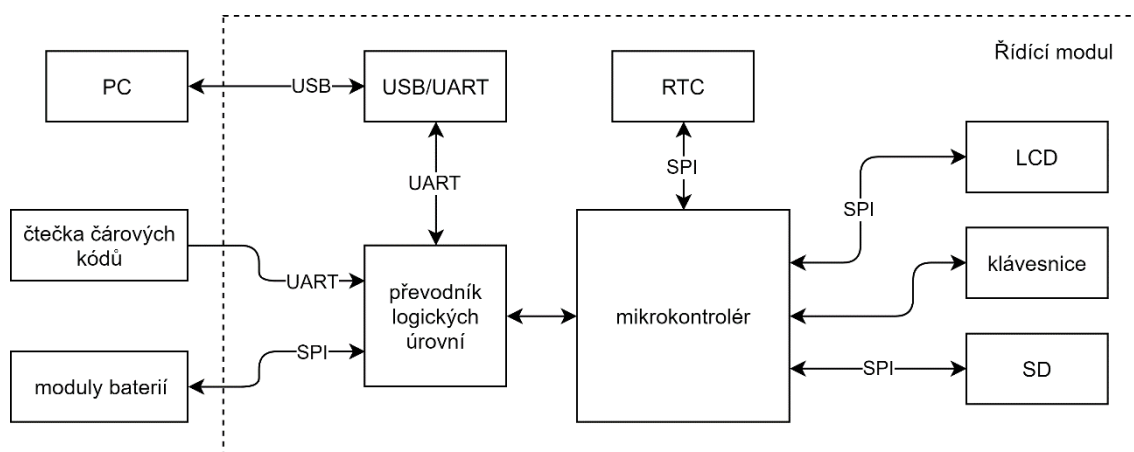
V blokovém schéma na Obr. 3.1 je zobrazeno rozdělení celého přípravku do jednotlivých modulů. Hlavní částí je řídicí modul, ke kterému je možné připojit několik modulů baterií. Na Obr. 3.1 jsou zjednodušeně zakresleny moduly v1.2 umožňující nezávislé nabíjení, vybíjení a měření čtyř článků velikosti 18650.



Obr. 3.1 Blokové schéma celého zařízení

3.3 Popis řídicího modulu

Řídící modul se stará o správu naměřených dat, komunikaci s obslužným programem v PC a uživatelem a rozdělování úkolů pro jednotlivé moduly baterií. Aby toho všeho bylo dosaženo, je k řídicímu modulu připojen LCD display a klávesnice pro zobrazování aktuálních hodnot a komunikaci s uživatelem, čtečka čárových kódů pro identifikaci jednotlivých článků. Obvod reálného času (RTC) pro stanovení doby nabíjení/vybíjení a k identifikaci měření, kdyby se některý článek měřil opakovaně. Převodník UART – USB pro komunikaci s obslužným programem v PC a slot pro SD kartu pro ukládání a zálohu naměřených hodnot. Blokové schéma řídicího modulu je na Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Blokové schéma řídicího modulu

3.3.1 Převodník logických úrovní

Z důvodu použití integrovaných obvodů s rozdílným napětím logických úrovní je nutné přidat na řídicí modul převodníky. Mikroprocesor a některé periferie pracují s logickým napětím 3,3 V. Pro zbytek periferií pracujících s logickým napětím 5 V je komunikace

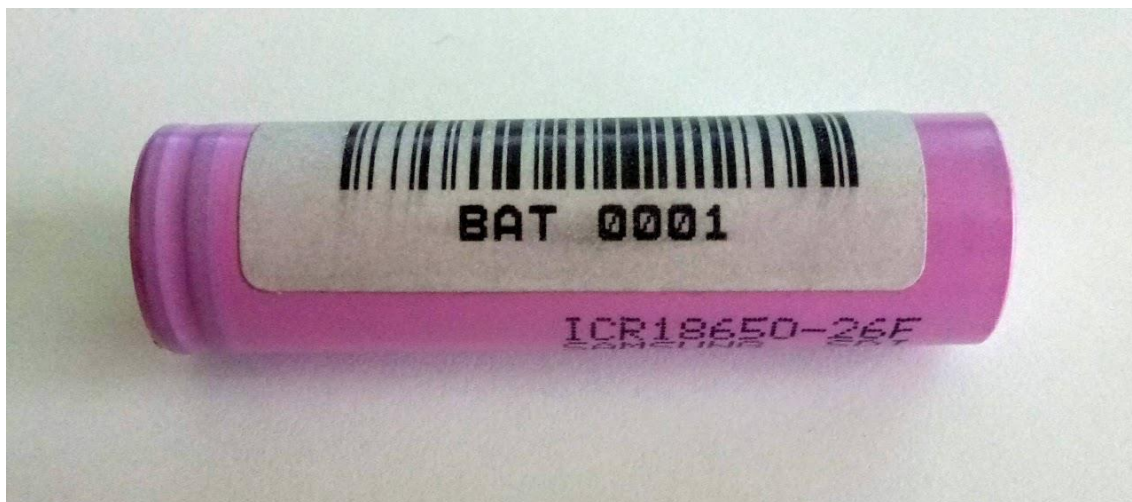
vedena přes převodníky logických úrovní. Ty jsou na řídicím modulu 2: jeden pro data vysílaná mikroprocesorem a druhý přijímaná data.

3.3.2 Identifikace článků

Vzhledem k velkému množství měřených článků a vyhodnocování jejich stavu je vhodné, aby byly články nějakým způsobem identifikovány.

Ruční popisování je náročné a náchylné k chybám. Navíc významně omezuje automatizaci měření. Pro strojové čtení by bylo vhodné opatřit články RFID nálepkami. Jejich hlavní výhodou je, že není třeba dbát na správné natočení článku a dále pak nízká cena čteček i nálepek (v řádech halířů).

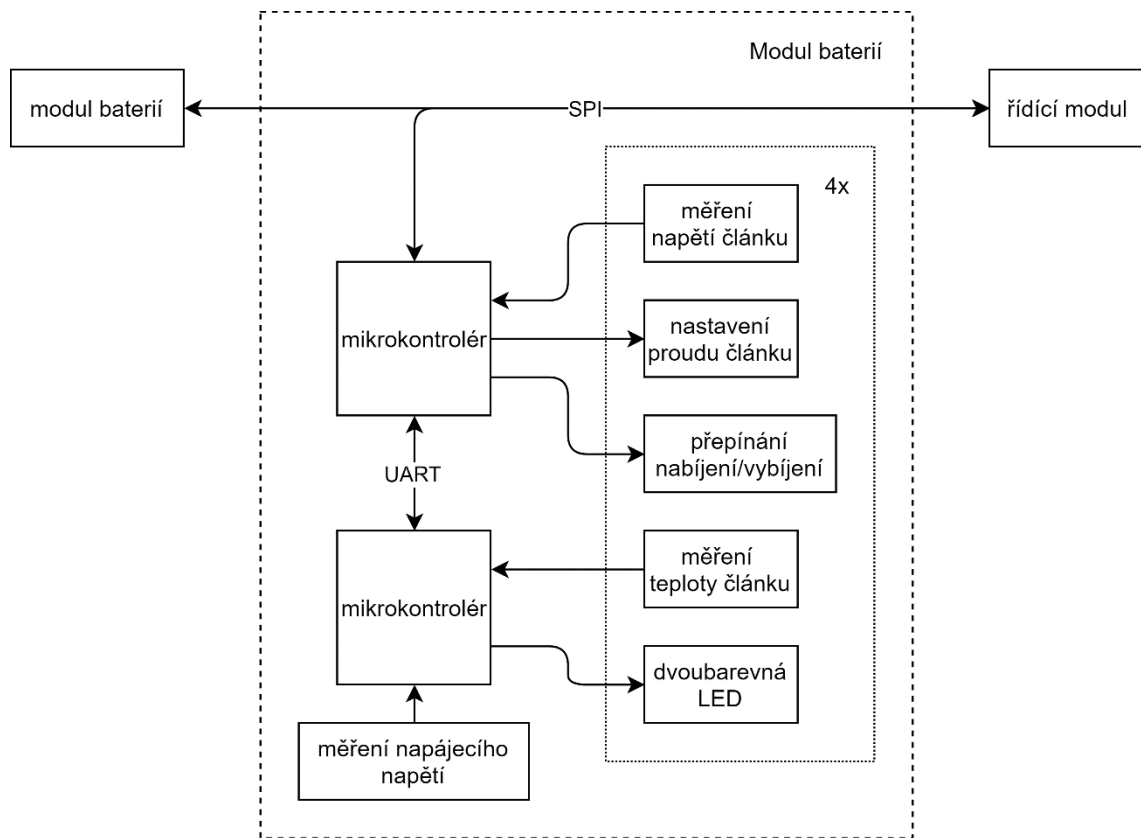
Aby bylo možné články rychle identifikovat pouhým okem bez nutnosti použití čtečky, je vhodné zvolit k identifikaci grafické označení. Na jednom štítku může být grafický kód pro strojové čtení i alfanumerický popis. Vzhledem k potřebné ploše kódu by byl ideální 2D kód (QR, DataMatrix...). Čtečky pro tyto kódy se ovšem pohybují v řádech tisíců korun. Proto byla zvolena bazarová čtečka Motorola Symbol LS 4071 s možností číst pouze 1D (čárové) kódy. Řídící modul komunikuje se čtečkou přes sériovou linku UART. Li-Ion článek se zvoleným a nalepeným čárovým kódem je zobrazen na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Označení článku

3.4 Popis modulu baterií v1.2

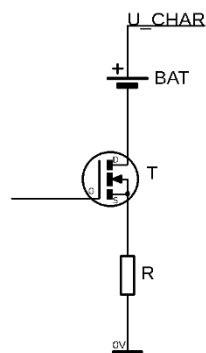
Tato verze modulu baterií je schopna nezávisle na sobě nabíjet, vybíjet a měřit 4 Li-Ion články velikosti 18650. Vše je prováděno s nastaveným proudem a odečítáním napětí článku. Z důvodu přesnějšího měření napětí článků během nabíjení, je měřeno i napětí zdroje používaného pro nabíjení. Ke každému článku je přiřazen termistor pro měření teploty a dvojbarevná LED dioda pro indikaci stavu. Blokové schéma modulu baterií je zobrazeno na Obr. 3.4.



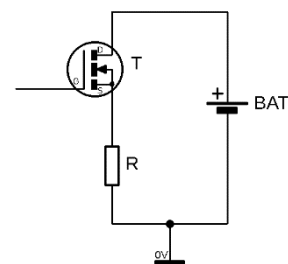
Obr. 3.4 Blokové schéma modulu baterií

3.4.1 Obvod pro nabíjení/vybíjení článku

Pro nabíjení i vybíjení článku bylo zvoleno zapojení jednoduché proudové nory. Aby bylo možné článek nabíjet i vybíjet pouze jednou proudovou norou, je nutné jej přepojit. Nabíjení článku je zobrazeno na Obr. 3.5 a vybíjení při přepojení na Obr. 3.6

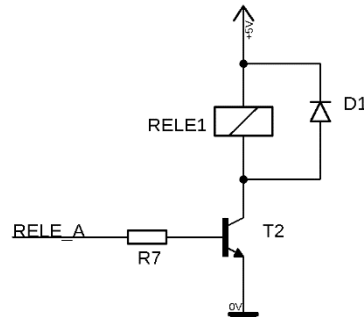


Obr. 3.5 Nabíjení článku

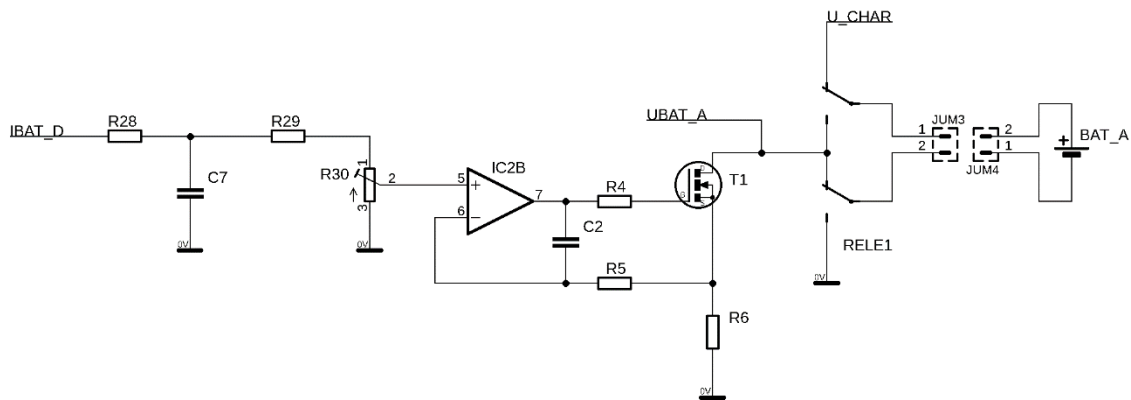


Obr. 3.6 Vybíjení článku

Přepojení článku pro nabíjení nebo vybíjení je prováděno pomocí relé na Obr. 3.8 označeného jako RELE1. Zapojení cívky relé je zobrazeno na Obr. 3.7



Obr. 3.7 Zapojení cívky relé



Obr. 3.8 Zapojení elektroniky jednoho článku

Na Obr. 3.8 je zobrazeno zapojení celé části pro jeden článek. Tento obvod zajišťuje konstantní proud článkem. Jako vstupní veličina zde slouží napěťový PWM signál IBAT_D, který je v RC članku R₂₈, C₇ vyhlazen. Následně v odporovém děliči R₂₉, R₃₀ snížen. Takto vyhlazený a snížený signál slouží jako referenční napětí pro operační zesilovač. S referenčním napětím je porovnáván úbytek napětí na rezistoru R₆ a podle potřeby otevírán či přivírán tranzistor T₁. Hodnoty rezistorů R₂₈, R₂₉, R₃₀ a kondenzátoru C₇ byly zvoleny tak, aby byl průběh referenčního napětí dostatečně vyhlazen, ale zároveň, aby dostatečně rychle reagoval na změny při měření vnitřního odporu článku.

3.4.2 Měření parametrů článků

Jak je ukázáno v předchozí kapitole, jedná se o nabíjení, vybíjení a měření vnitřního odporu nastaveným proudem, který není zpětně měřen. K vyhodnocení stavu článku je tedy nutné měřit jeho napětí. Napětí článku je měřeno signálem UBAT_A na drain tranzistoru T₁ z Obr. 3.8. Při vybíjení článku je měřené napětí vůči zemi rovné napětí článku viz Obr. 3.6. Při nabíjení je ovšem nutné pro správné měření napětí článku znát

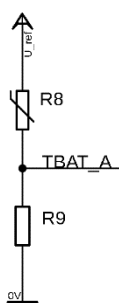
napětí nabíjecího zdroje U_{CHAR} . Napětí nabíjecího zdroje je před měřením sníženo přes napěťový dělič R_{38} , R_{39} . Pro výpočet napětí článku při nabíjení platí vztah

$$U = U_{CHAR} - U_{BAT}$$

Řídicí modul může ze známého proudu a napětí článku a uběhlého času získaného z obvodu reálného času určit kapacitu článku.

Ze známého proudu a napětí článku lze také vypočítat jeho vnitřní odpor. Zařízení je navrženo tak, aby bylo možné měření vnitřního odporu při zvolené frekvenci 0-1 kHz. Měření je sice možné i při frekvencích vyšších, ale RC členek popsany v kapitole 3.4.1 nebude již vstupní signál dostatečně vyhlazovat

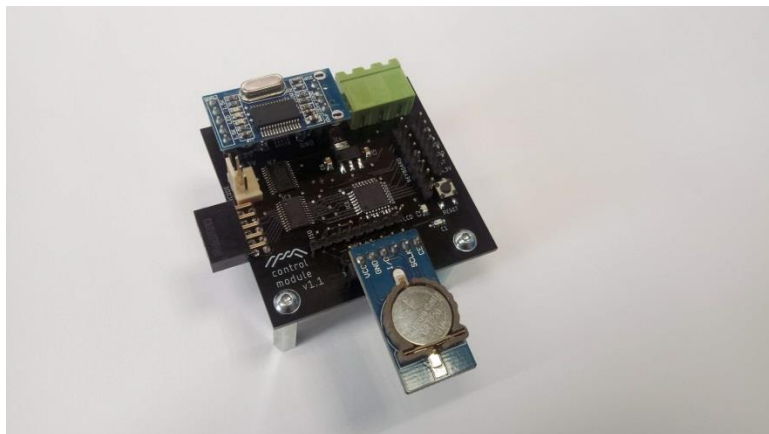
Z důvodu ochrany nejen samotných článků, je v modulu baterií v1.2 integrováno měření teploty jednotlivých článků. To je měřeno NTC termistory umístěnými v těsné blízkosti článků na DPS. Na Obr. 3.9 je zakresleno zapojení teplotně závislého děliče napětí z termistoru R_8 a rezistoru R_9 pro měření teploty článku.



Obr. 3.9 Měření teploty článku

3.5 Realizace zařízení

Pro ověření funkčnosti přípravku byl zhotoven jeden kus řídicího modulu a jeden kus modulu baterií. Deska plošných spojů řídicího modulu osazená součástkami, převodníkem USB-UART a obvodem reálného času RTC je na Obr. 3.10 Hotový řídicí modul.



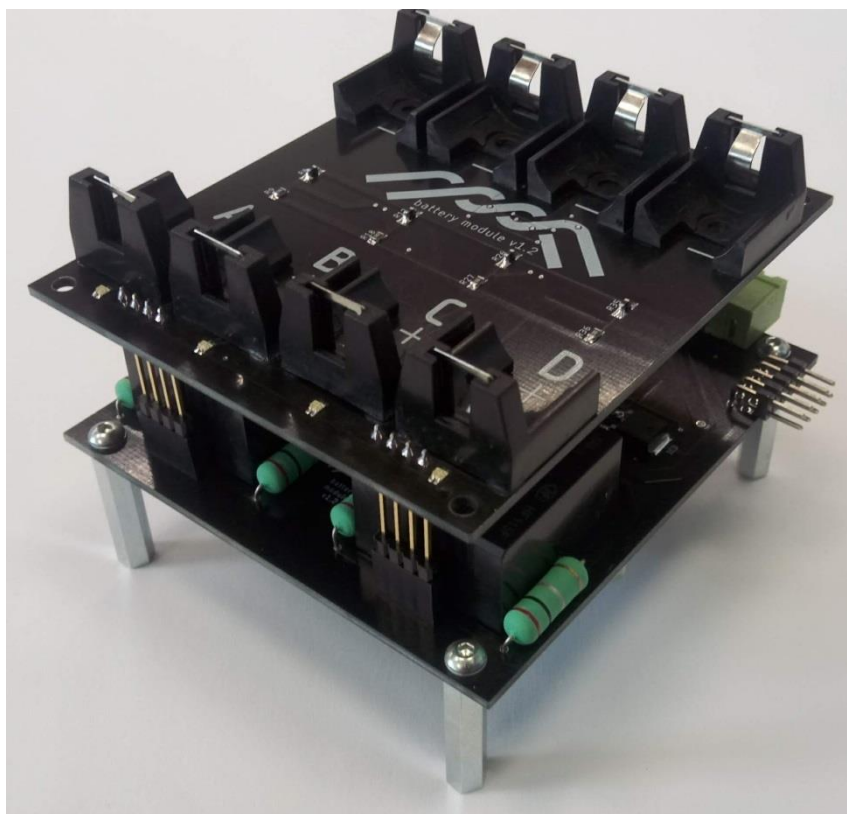
Obr. 3.10 Hotový řídicí modul

Při oživování Řídícího modulu byla zjištěna chyba zapříčiněná chybějícím enable signálem převodníku logických úrovní z 5 na 3,3 V. Ten měl na svém výstupu stále 0 V a způsoboval tím nemožnost komunikace mikrokontroléru s ostatními perifériemi pracující s logickou úrovní 3,3 V. Při testování byl nakonec použit jiný display, než se kterým se počítalo při návrhu DPS. Nový display využívá ke komunikaci méně vodičů. Jeden ze zbývajících vodičů je tedy možné využít jako enable signál pro převodník logických úrovní a tuto chybu tím odstranit.

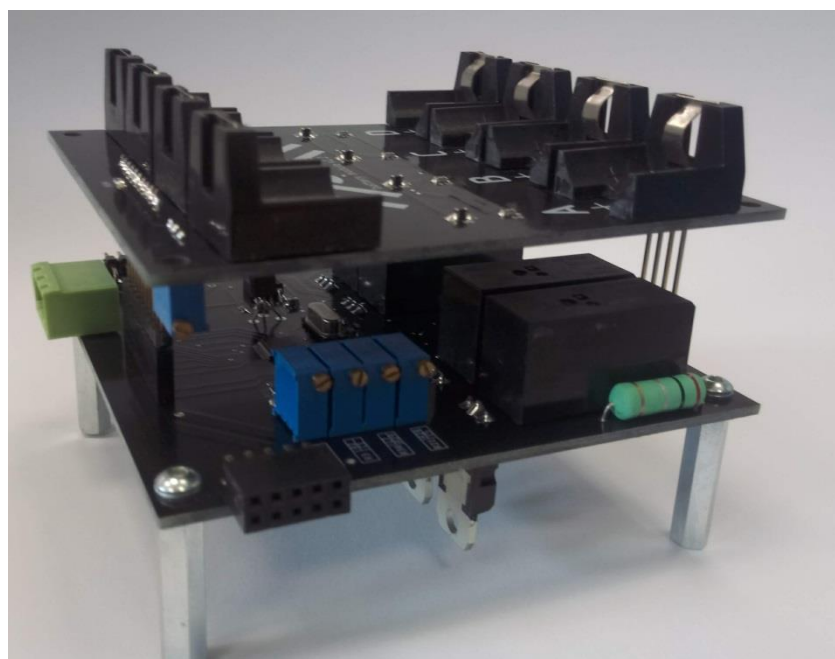
Díky složitosti modulu baterií a možnostech výroby DPS došlo k rozdělení modulu na dvě DPS, které se spojí třemi pinovými lištami. Osazený a sestavený modul baterií je na Obr. 3.11 a Obr. 3.12. Pro základní testování nebyl na tranzistorech umístěných ze spodní strany spodní DPS namontován chladič. Chlazení tranzistorů bude potřebné především při vybíjení baterií, protože na nich bude naprostá většina energie uvolněná z baterií proměněna v teplo. I na spodní DPS modulu baterií byla bohužel při návrhu udělána chyba. Pro programování mikrokontroléru se počítá s využitím konektoru sloužícího pro komunikaci s řídicím modulem. Resetovací pin mikrokontroléru na tomto konektoru ovšem není vyveden a nebyl vyveden ani nikam jinam. Při oživování bylo tedy nutné připájet drátek přímo na vývod mikrokontroléru. Na Obr. 3.13 je vidět 5 víceotáčkových potenciometrů. Čtyři potenciometry na spodní DPS slouží k přesnému doladění proudů články. Zbýlý potenciometr umístěný zespod vrchní DPS slouží k přesnému doladění čtení napětí zdroje pro nabíjení. Oba případy, kde jsou využity potenciometry, by se daly vyřešit i softwarově. Softwarové řešení by ovšem obnášelo buď vytváření programů s různými hodnotami pro jednotlivé mikroprocesory, nebo implementaci SW kalibrace. Z tohoto důvodu je využití potenciometrů jednodušší varianta.



Obr. 3.11 Hotový modul baterií


















Obr. 3.12 Hotový modul baterií



Obr. 3.13 Potenciometry na modulu baterií

Na Obr. 3.14 je ukázka informační obrazovky při připojeném jednom modulu baterií v1.2. V prvním sloupečku je barevně označen aktuální stav článku. Modrá barva označuje článek, který zatím nebyl změřen. Červená barva znázorňuje probíhající, a oranžová pozastavené, nabíjení nebo vybíjení. Pro upřesnění jsou tyto dvě barvy doplněny šipkou. Šipka nahoru znamená nabíjení a šipka dolů vybíjení. Po ukončení požadované akce, např. nabití na určité napětí, proužek zezelená. Ve sloupečku 2 a 3 je číslo modulu a písmeny označeny pozice článků v modulu. Ve sloupečku 4 je označení článku zapojeného do konkrétní pozice. Označení článku je přečteno čtečkou čárových kódů, jak je popsáno v kapitole 3.3.1. Následují sloupečky 5 a 6 zobrazující aktuální hodnoty proudu a napětí. Ve sloupečku 7 je zobrazen uběhlý čas v hodinách a minutách. Písmeny “A” až “E” jsou označena tlačítka. Tlačítko “A” vyvolá okno pro nastavení proudu, konečného napětí nebo pro změnu označení článku, pokud nebude možnost použít čtečku čárových kódů. Tlačítko “B” slouží k zahájení/pokračování nebo pozastavení aktuální operace. Tlačítka “C” a “E” slouží k pohybu nahoru a dolů při připojení více než dvou modulů. Pro návrat do menu slouží tlačítko “D”. V menu je možné připojit další moduly, změnit čas v RTC, nastavit komunikaci s PC, zobrazit seznam změřených článků atd.

1	2	3	4	5	6	7	A	B	
	A	BAT 0003		2500 mA	3, 87 v	0: 07			 C
	B	BAT 0005		0 mA	3, 45 v	1: 12			
	C	BAT 0006		0 mA	3, 12 v	1: 43			
	D	BAT 0028		0 mA	3, 72 v	0: 00			
									 D
									 E

Obr. 3.14 Ukázka informační obrazovky

4 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout přípravek pro nabíjení, vybíjení a diagnostikování lithium-iontových akumulátorů velikosti 18650.

Nejprve byly porovnány různé typy akumulátorů z několika hledisek. Výčet vybraných parametrů pro různé typy akumulátorů je zpracován v Tabulka 1.1 Vybrané parametry různých typů akumulátorů [1][2][3][4][5][6]. Následuje popis vybraných parametrů, jako je například poměr uložené energie k objemu a hmotnosti nebo počet cyklů.

Po srovnání typů akumulátorů následuje část věnovaná zacházení s Li-Ion akumulátory, ve které je popsáno mimo jiné jejich nabíjení a spojování do baterií. Pro úplnost spojování článků jsou zde popsány ochranné obvody chránící akumulátory před nežádoucími stavy.

Při návrhu byly nejdříve sepsány požadavky na výsledný přípravek. Mezi hlavní požadavky lze zařadit jednoduché ovládání pomocí počítače nebo displeje a klávesnice přímo na přípravku, možnost zálohy dat, jednoduchého rozšiřování a jednoznačného označení akumulátorů a jednotlivých měření. Při samotném návrhu byl z důvodu možného rozšiřování či upravování rozdělen přípravek na dva moduly. Modul řídicí, starající se o tok dat, komunikaci s uživatelem a počítačem a modul baterií, starající se o samotné nabíjení, vybíjení a diagnostiku akumulátorů.

Řídicí modul byl navržen a sestaven s řadou periférií. Pro komunikaci s počítačem je na něm osazen převodník USB-UART. Pokud by počítač nebyl připojen, obsahuje řídicí modul slot pro SD kartu sloužící k ukládání naměřených dat. Pro identifikaci článků je připojena čtečka čárových kódů a pro jednoznačnou identifikaci měření i obvod reálného času. Na DPS jsou připraveny konektory pro 2.2“ grafický LCD display a šestnácti-tlačítkovou maticovou klávesnici. Tento display a klávesnice měli původně sloužit ke komunikaci s uživatelem, při oživování se ale osvědčil 7“ grafický dotykový display, na kterém je možné zobrazit přehledně více údajů a ovládání je intuitivnější. Důležitý je také konektor pro připojení modulu baterií. Komunikace mezi moduly je realizována sběrnici SPI a k řídicímu modulu je možné připojit až 5 modulů baterií.

Modul baterií v1.2 byl díky potřebě velkého množství vstupně-výstupních pinů realizován se dvěma mikrokontroléry, u nichž byly využity všechny dostupné piny. Kvůli složitosti byl modul realizován na dvou DPS, které jsou umístěny nad sebou a spojeny třemi pinovými lištami. Díky tomuto řešení zabírá modul v půdorysu jen o něco málo více místa než samotné akumulátory. Modul baterií v1.2 umožňuje samostatné řízené nabíjení a vybíjení čtyř Li-Ion článků velikosti 18650, přičemž umožňuje nastavit proud v rozsahu 0-3 A a konečné napětí článku. Kromě měření napětí je při nabíjení a vybíjení možné měřit i teplotu jednotlivých článků. Z průběhů nabíjení nebo vybíjení je následně možné stanovit kapacitu článku. Tento modul je dále schopný měřit vnitřní odpor článku, a to jak statický, tak při zvolené frekvenci 0-1 kHz. Pro snadnější a přehlednější obsluhu je každý slot opatřen ještě dvojbarevnou indikační diodou.

Modul baterií v1.2 je výměnou vrchní DPS možné modifikovat i pro jiná pouzdra Li-Ion článků. Přípravek je navržen modulárně aby bylo možné připojit nejen

požadovaný počet, ale i různé druhy modulů baterií. Pokračováním práce by proto měl být návrh modulů pro jiné typy akumulátorů nebo celých baterií. V případě, kdy by nestačilo 5 připojených modulů baterií, je možné navrhnout i rozšiřující modul zvyšující možný počet připojených modulů baterií.

Kromě návrhu dalších modulů by práce měla pokračovat rozšířením a odladěním firmware pro jednotlivé mikrokontroléry a návrhem aplikace pro počítač komunikující s přípravkem. Z důvodu časové náročnosti způsobené množstvím mikrokontrolérů, funkcí a komplexností celého přípravku nebyl FW a SW ještě zcela otestován.

LITERATURA

- [1] Nabíjecí baterie (akumulátory) - typy (NiMH, NiCd, NiZn, Li-ion, Li-pol), chemie, jak vybrat a koupit. *Mrpear.net* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.mrpear.net/cz/blog/1092/nabijeci-baterie-akumulatory-typy-nimh-nicd-nizn-li-ion-li-pol-chemie-jak-vybrat-a-koupit>
- [2] Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [3] All About Batteries, Part 4: Alkaline Batteries. *EETimes* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: https://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1320919
- [4] What's the Best Battery?. *BATTERY UNIVERSITY* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery
- [5] BATTERY CELL COMPARISON. *Epec Engineered Technologies* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- [6] HW 38120S Datasheet. TME [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/e9446d9408c7195368021275bac550de/38120-10A.pdf>
- [7] Jak vybrat baterie a nabíječku. *DTest* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-1831/jak-vybrat-baterie-a-nabijecku>
- [8] BU-409: Charging Lithium-ion. *BATTERY UNIVERSITY* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [9] BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries. *BATTERY UNIVERSITY* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries
- [10] Ochrana a řízení provozu lithiových akumulátorů. *Abeceda baterií a akumulátorů BATTEX* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/baterie-sestavene-z-hermetickych-akumulatoru-nejcastejsi-zapojeni/typicka-zapojeni-ochrannych-a-ridicich-obvodu-akumulatorovych-baterii/ochrana-a-rizeni-provozu-lithiovych-akumulatoru>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Akumulátory:

Li-ion	Lithium-iontový
Li-Pol	Lithium-Polymerový
LiFePO ₄	Lithium-Železo-Fosfátový
NiCd	Nikl-Kadmiový
NiMH	Nikl-Metal-Hydridový
Pb	Olověný

Jednotky:

A	Ampér
Ah	Ampérhodina
Hz	Hertz
kg	kilogram
l	litr
V	Volt
Wh	Watt hodina

Ostatní:

PWM	pulse width modulation
SD	secure digital
UART	universal asynchronous receiver/transmitter

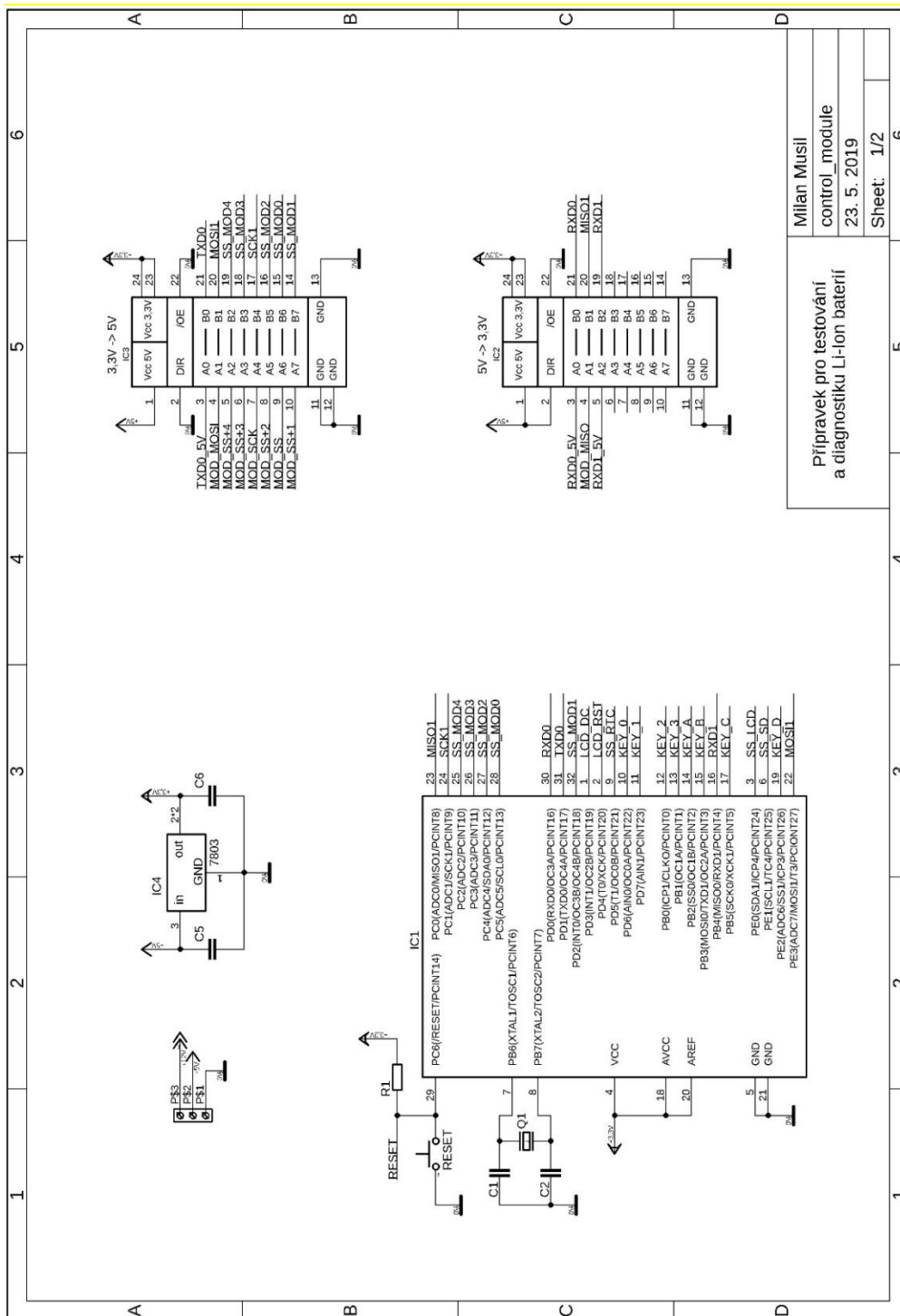
SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Odpojení baterie	8
Obr. 2.2 Vyvažovač	9
Obr. 3.1 Blokové schéma celého zařízení.....	11
Obr. 3.2 Blokové schéma řídicího modulu	11
Obr. 3.3 Označení článku	13
Obr. 3.4 Blokové schéma modulu baterií	14
Obr. 3.5 Nabíjení článku.....	14
Obr. 3.6 Vybíjení článku.....	14
Obr. 3.7 Zapojení cívky relé	15
Obr. 3.8 Zapojení elektroniky jednoho článku	15
Obr. 3.9 Měření teploty článku	16
Obr. 3.10 Hotový řídicí modul.....	16

Obr. 3.11 Hotový modul baterií.....	17
Obr. 3.12 Hotový modul baterií.....	18
Obr. 3.13 Potenciometry na modulu baterií.....	18
Obr. 3.14 Ukázka informační obrazovky.....	19

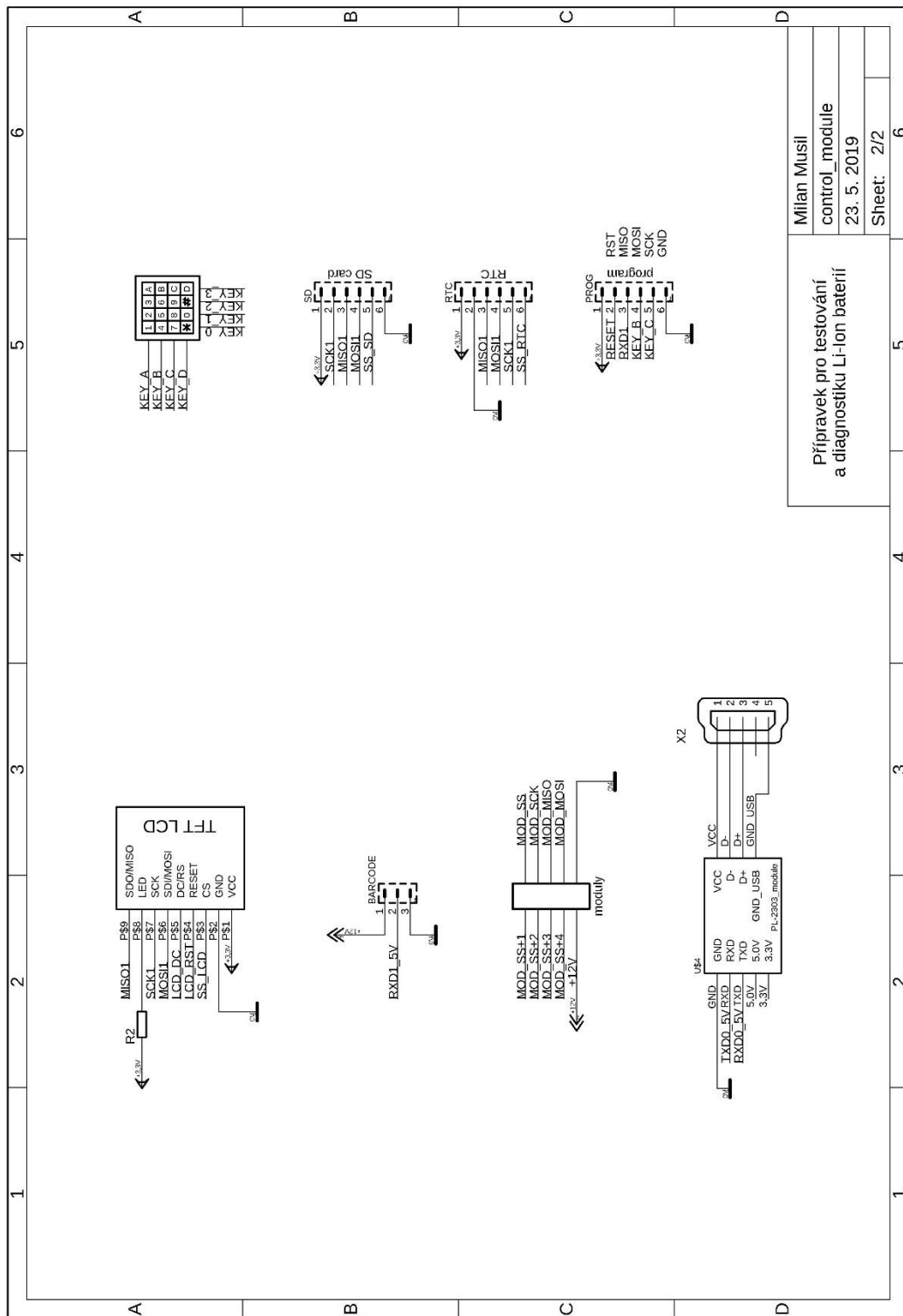
A SCHÉMATA

A.1 Schéma řídicího modulu



Milan Musil
 Přípravek pro testování
 a diagnostiku Li-Ion baterií
 control_module
 23. 5. 2019
 Sheet: 1/2

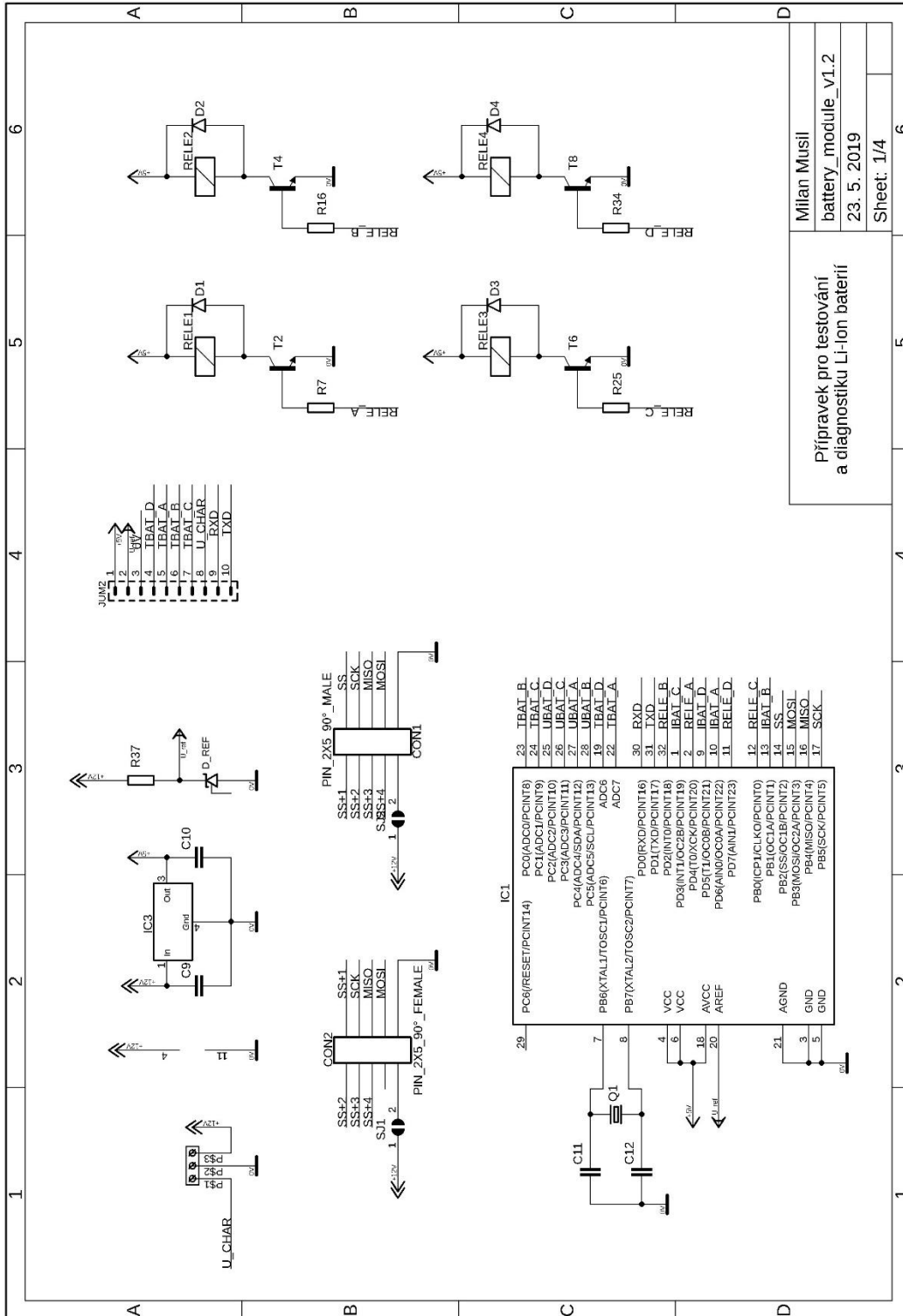
Příloha 1 Řídicí modul



Milan Musil
 control_module
 23. 5. 2019
 Sheet: 2/2

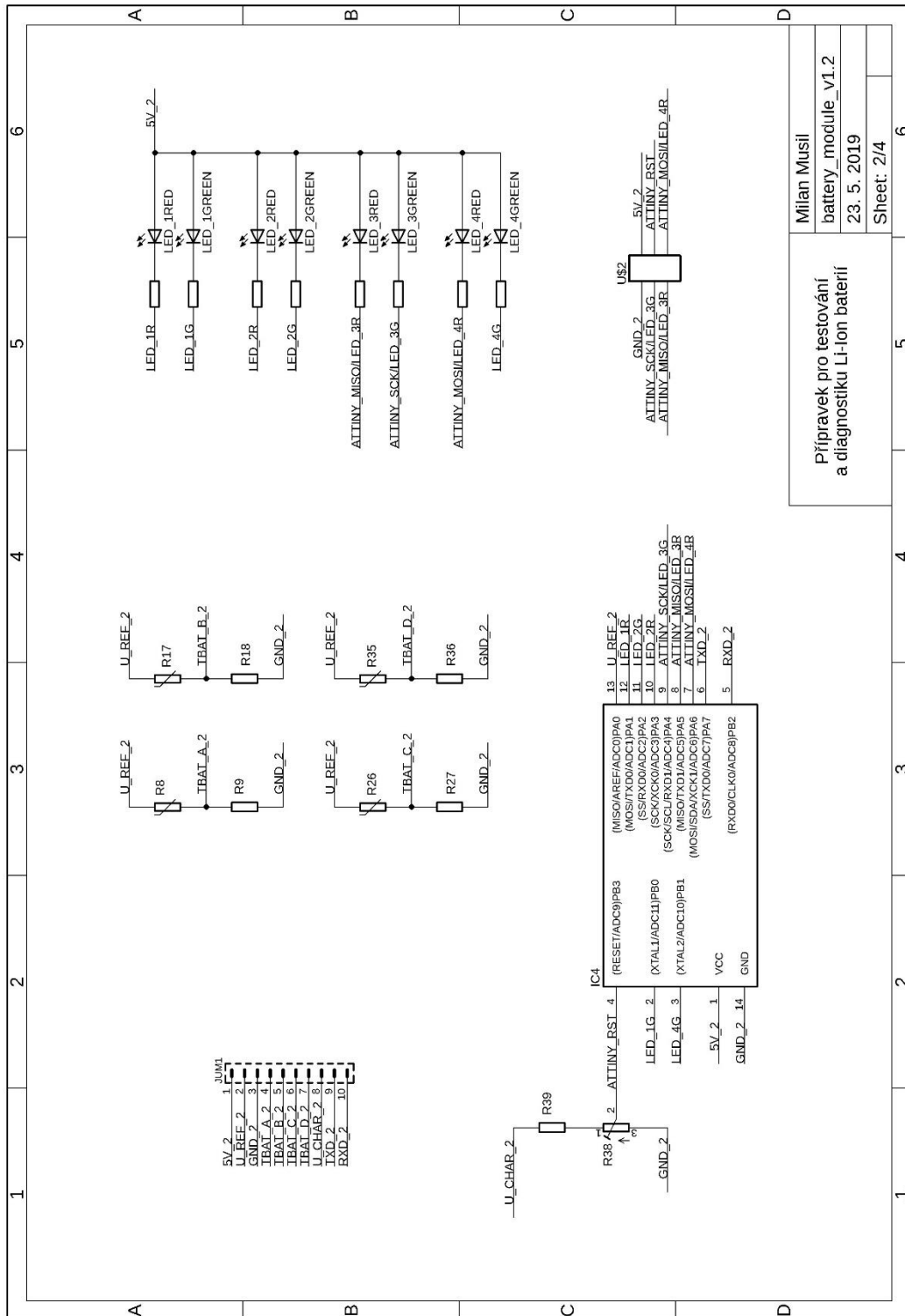
Příloha 2 Řídicí modul

A.2 Schéma modulu baterií v1.2



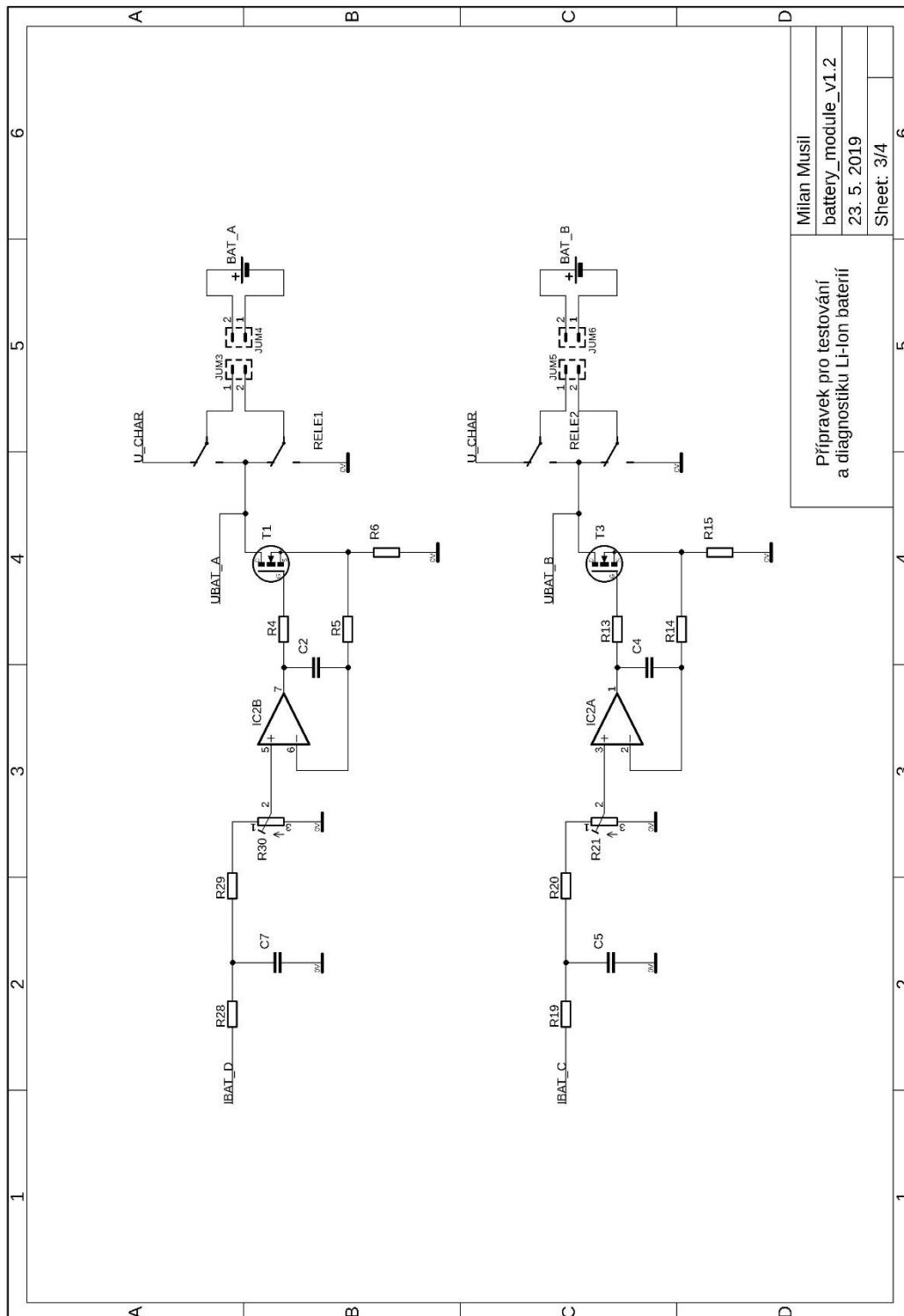
Milan Musil
 battery_module_v1.2
 23. 5. 2019
 Sheet: 1/4

Príloha 3 Modul baterií

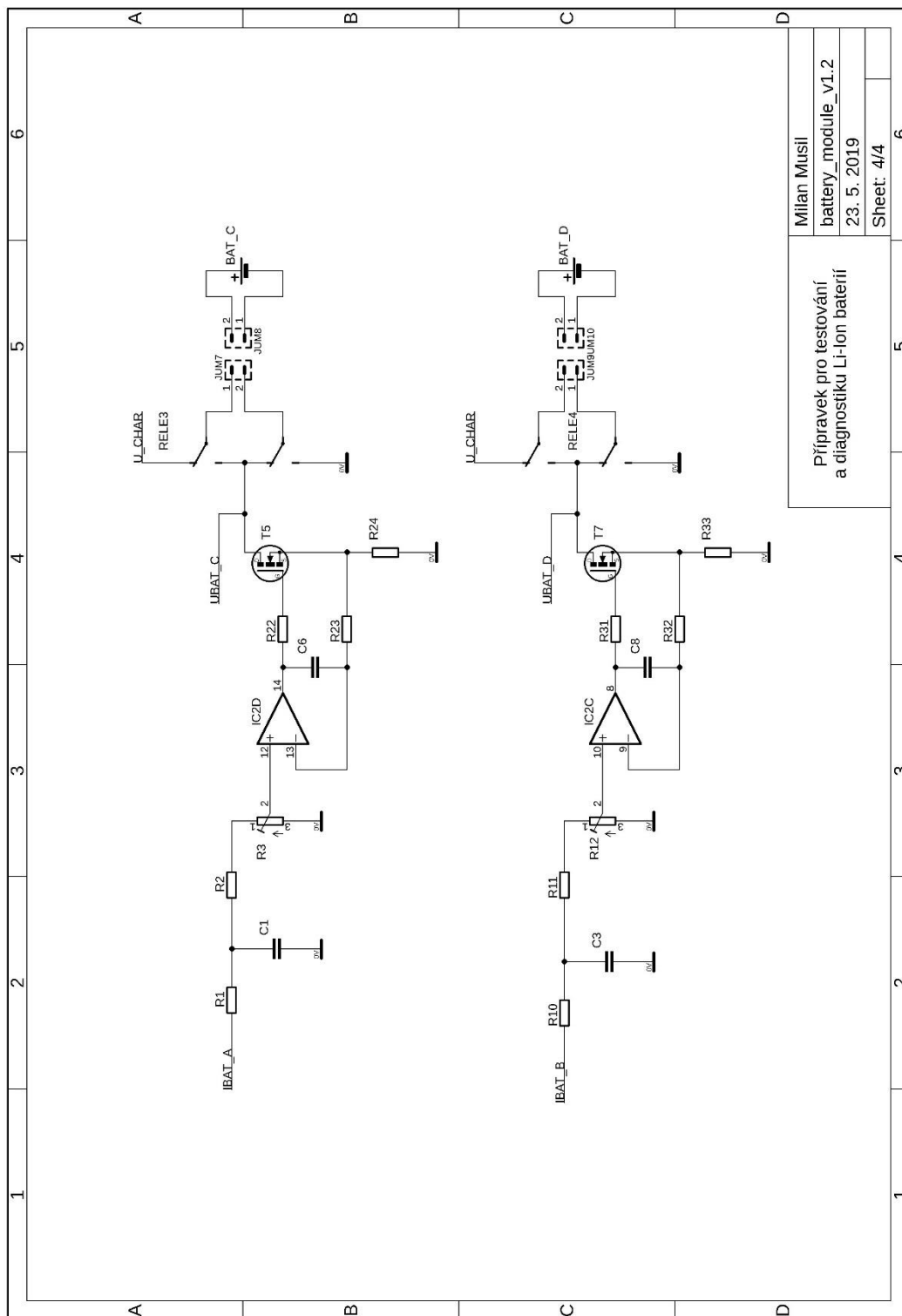


Milan Musil
 battery_module_v1.2
 23. 5. 2019
 Sheet: 2/4

Příloha 4 Modul baterií



Příloha 5 Výkonová část modulu baterií

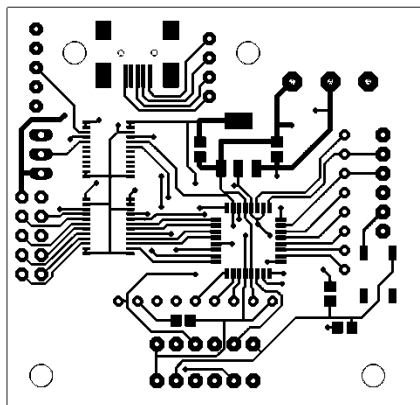


Milan Musil	6
battery_module_v1.2	5
23. 5. 2019	4
Sheet: 4/4	1

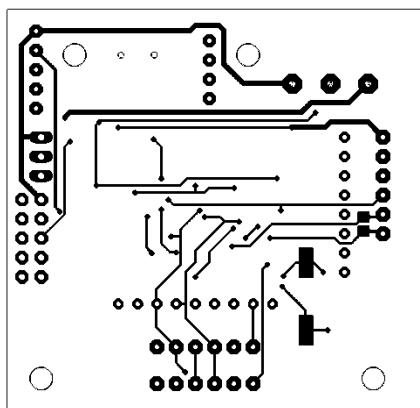
Příloha 6 Výkonová část modulu baterií

B MOTIVY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

B.1 Řídicí modul

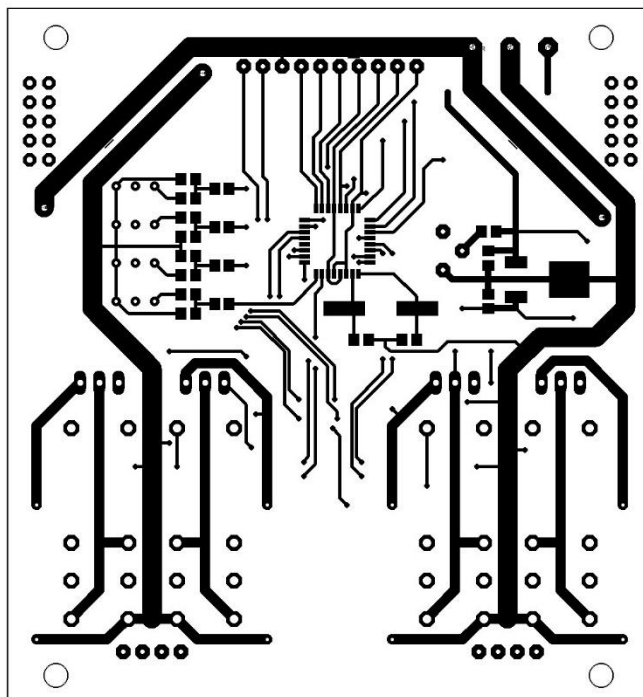


Příloha 7 Top strana desky řídicího modulu

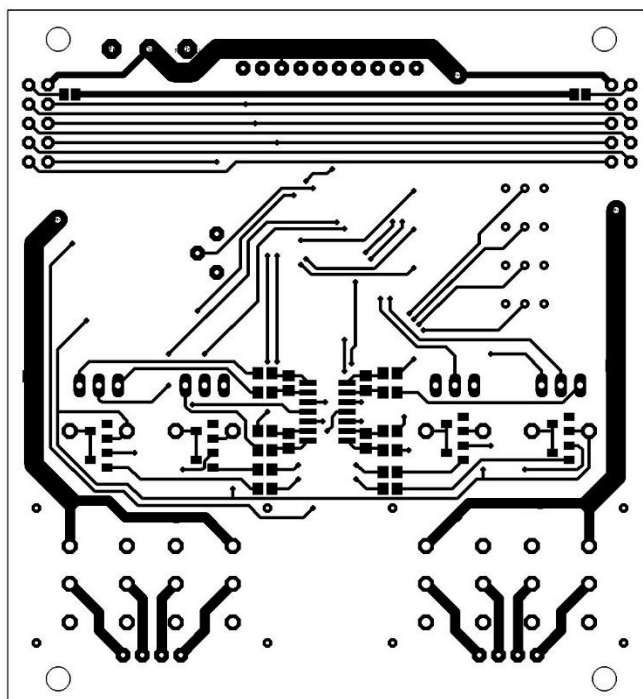


Příloha 8 Bottom strana desky řídicího modulu

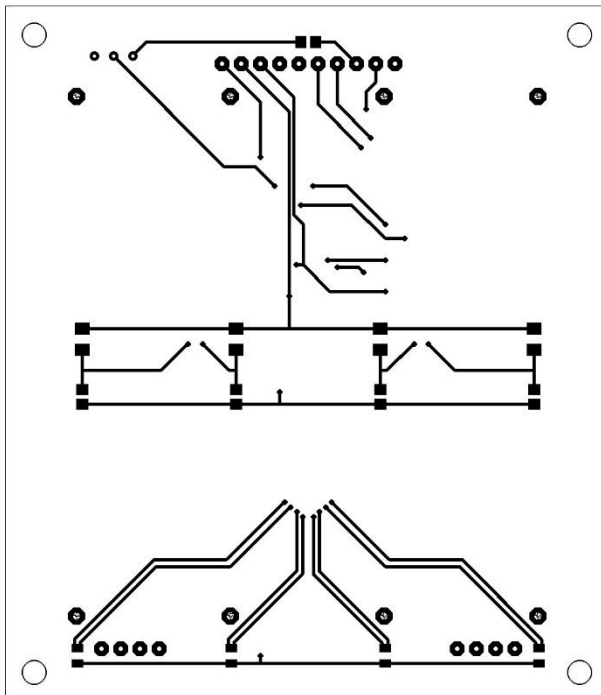
B.2 Modul baterií v1.2



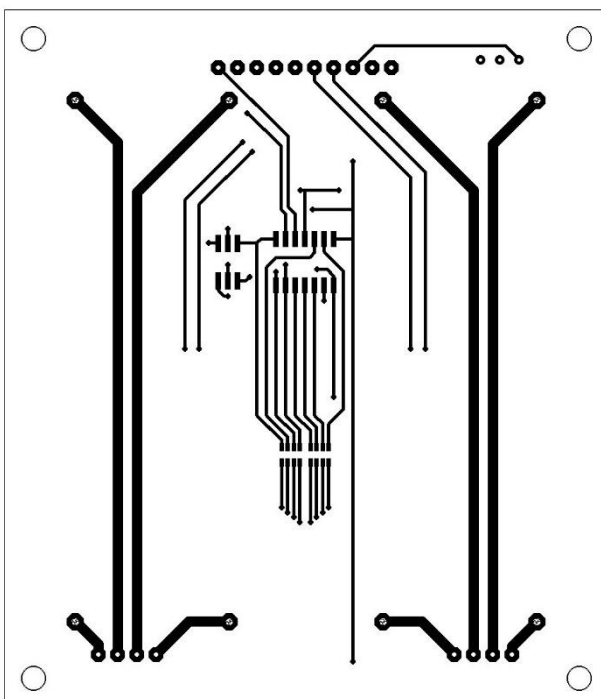
Příloha 9 Top strana spodní desky modulu baterií



Příloha 10 Bottom strana spodní desky modulu baterií



Příloha 11 Top strana vrchní desky modulu baterií



Příloha 12 Bottom strana vrchní desky modulu baterií