



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

AKUMULÁTOROVÝ BLOK PRO ELEKTRICKOU SEKAČKU

BATTERY BLOCK FOR ELECTRIC MOWER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Kaláb

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.

BRNO 2021



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Pavel Kaláb

ID: 195583

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Akumulátorový blok pro elektrickou sekačku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Sestavte akumulátorový blok 28 V / 63 Ah s použitím článků NCR18650A.
2. Pro akumulátor navrhnete a realizujete jednoduché obvody BMS s koncepcí podle předchozího semestrálního projektu.
3. Oživte BMS obvody a ověřte jejich funkci.
4. Sestavte celý akumulátor s BMS obvody a vestavte jej do krytu dle pokynů vedoucího.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Vorel, P., Patočka M.: Průmyslová elektronika. Skriptum FEKT VUT. 2007
- [2] Erickson, R.W., Maksimovic, D.: Fundamentals of Power Electronics. 2004
- [3] Vorel, P.: Řídicí členy v elektrických pohonech. Skriptum FEKT VUT. 2007

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 27.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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

Bakalářská práce pojednává o konstrukci, ochranných obvodech a životnosti lithium iontové baterie pro elektrickou sekačku. Celý akumulátor je sestavený z Li-ion článku s označením NCR18650A, které jsou zapojeny sérioparalelně.

Kvůli sérioparalelně zapojení článku, je zapotřebí jednotlivé články hlídat ochrannými obvody. Hlídaní zabraňuje jejich přebití nebo naopak k hlubokému vybití. Na tyto nežádoucí stavy jsou Li-ion články velmi citlivé. V případě že články budou provozovány bez těchto obvodů může dojít k nenávratnému poškození celého akumulátoru.

Klíčová slova

Akumulátor Li-ion (NCR18650A), ochranný obvod, nabíjení, vybíjení

Abstract

This bachelor's thesis deals with the construction, protective circuits and lifespan of lithium ion batteries intended for electric lawn mower. The entire battery is composed of Li-ion cells with designation NCR18650A, which are connected in serial-parallel.

Due to the connection of the cells in series, it is necessary to add protective circuit to each cell. Protective circuits prevent overcharging or deep discharging. Li-ion cells are extremely sensitive to overcharging and deep discharging. Absence of protective circuits can lead to irreversible damage of the entire battery pack.

Keywords

Li-ion battery (NCR18650A), protective circuit, charging, discharging

Bibliografická citace

KALÁB, Pavel. Akumulátorový blok pro elektrickou sekačku. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134978>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Pavel Vorel.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Pavel Kaláb
VUT ID studenta:	195583
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Akumulátorový blok pro elektrickou sekačku

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

·
V Brně dne: 27. května 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. doc. Ing. Pavlu Vorlovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Martišovi, Ph.D. za odbornou pomoc s konstrukcí bakalářské práce.

V Brně dne: 27. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD.....	10
1. HISTORIE LITHIUM-IONTOVÉHO AKUMULÁTOR.....	11
2. LITHIUM-IONTOVÝ AKUMULÁTOR.....	12
2.1 ROZDĚLENÍ LITHIUM-IONTOVÝCH AKUMULÁTORŮ	12
2.2 NABÍJENÍ LITHIUM-IONTOVÝCH AKUMULÁTORŮ	13
2.3 VNITŘNÍ OCHRANA LITHIUM-IONTOVÝCH AKUMULÁTORŮ	14
3. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM	16
3.1 PASIVNÍ BALANCOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ	16
3.1.1 <i>Nabíjení s pasivním balancováním článků.....</i>	<i>17</i>
3.2 AKTIVNÍ BALANCOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ.....	18
3.2.1 <i>Algoritmy balancování akumulátorů</i>	<i>19</i>
4. ŘEŠENÍ ZADÁNÍ.....	20
4.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ AKUMULÁTORU	20
4.2 NÁVRH BMS OBVODU	22
4.3 VÝPOČET ODBĚRU BMS	25
4.4 NABÍJENÍ S BMS OBVODEM.....	28
5. MĚŘENÍ.....	29
5.1 VÝPOČET Z MĚŘENÍ.....	30
ZÁVĚR.....	32
LITERATURA.....	33
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	34
SEZNAM PŘÍLOH.....	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1: Vybíjecí charakteristika lithium-iontového článku [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2-2: Nabíjení lithium-iontového článku [1].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2-3: Vnitřní uspořádání ochran PTC a CID.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2-4: Ochrana PCB přímo na článku pod obalem [5]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3-1: Využívání článků pomocí vybíjecích odporů [3]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3-2: Pasivní balancování článků [3].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3-3: Pasivní balancování článků podle napětí [3].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3-4: Využívání článků technologie PowerPump™ [3]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4-1: Konstruktivní uspořádání baterií.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 4-2: Rozměry jednoho článku baterie.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4-3: Schematické zapojení baterie</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4-4: Schematické zapojení ochranných obvodů v elektrokole.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 4-5: Schematický návrh hlídání baterie.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4-6: Zapojení komparátoru v modulech BMS 1-7.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4-7: Baterie se signálem přepětí a bez signálu přepětí.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5-1: Schéma znázorňující vnitřní odpor baterie</i>	<i>30</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Spotřeba jednoho BMS za určitou dobu 27

ÚVOD

V této bakalářské práci byl sestaven akumulátorový pack, který byl sestaven z Li-ion článků (NCR18650A) pocházejících z letounu 051 RAY. Li-ion články byly zapojeny sérioparalelně a jmenovité napětí packu je 25,2 V. Kapacita baterie byla stanovena na 63 Ah. Následně k akumulátorovému packu byl sestaven obvod BMS, který má za úkol hlídat napětí jednotlivých bloků baterie při nabíjení i vybíjení. Na závěr bylo provedeno měření kapacity baterie při vybíjení do odporové zátěže a při tomto měření se pozorovala teplota uzavřených článků. Následně bylo toto měření vyhodnoceno a zpracováno.

Tento Li-ion pack slouží pro elektrickou sekačku, která bude mít maximální špičkový výkon 2 500 W. Elektrická sekačka je osazena motorem pro nůž a druhým motorem pro pojezd. Každý motor má k sobě řídicí elektroniku.

1. HISTORIE LITHIUM-IONTOVÉHO AKUMULÁTOR

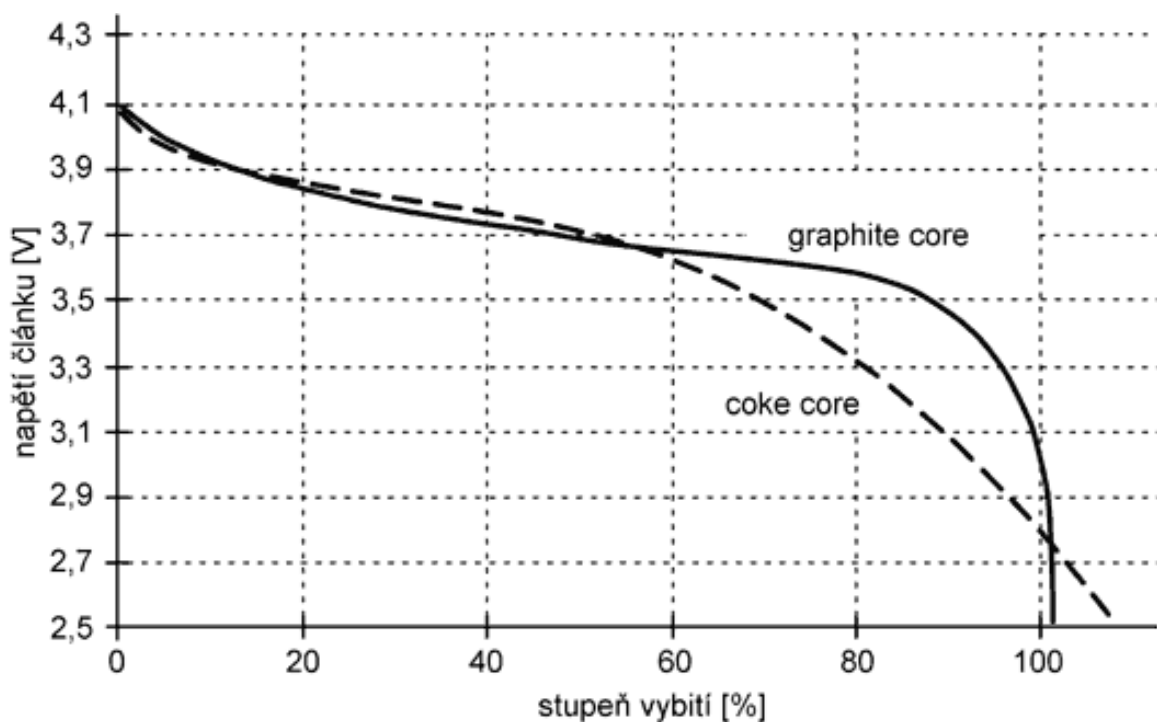
První experimenty s lithiovými bateriemi prováděl G. N. Lewis v roce 1912, ale až v roce 1970 byl představen první lithiový článek, který byl komerčně dostupný v této době zatím nenabíjecí. Tyto články se od počátku vyznačovaly vysokou kapacitou a měrnou energií, tento typ článků měl nízké samovybíjení. Po mnoho pokusech se ukázalo, že lithium-iontové články se dají vyrobit i jako dobíjecí. První dobíjecí články často snadno explodovaly, převrat nastal tehdy, když bylo kovové lithium nahrazeno kyslíčnickem lithia a kobaltu (LiCoO_2). V roce 1990 firma Sony udělala velký průlom a zápornou elektrodu nahradila sloučeninou grafitu (uhlíku) který byl obohacen lithiem a polyolefinem. V lednu roku 1991 firma Sony začala lithium-iontové články používat ve svých zařízeních [1].

2. LITHIUM-IONTOVÝ AKUMULÁTOR

V dnešní době přibývá mobilních zařízení a proto jsou lithium-iontové akumulátory tak rozšířené. Lithium-iontové baterie mají velkou hustotu energie oproti jiným druhům baterií. Tyto baterie nemají žádný paměťový efekt a ani se samovolně nevybíjí. Široké uplatnění nacházejí v přenosné elektronice, ale stále častěji, jako zdroj elektrické energie v elektromobilech, elektrokolech a v dalších zařízeních, které mají v sobě zabudovaný lokální zdroj energie [2].

2.1 Rozdělení lithium-iontových akumulátorů

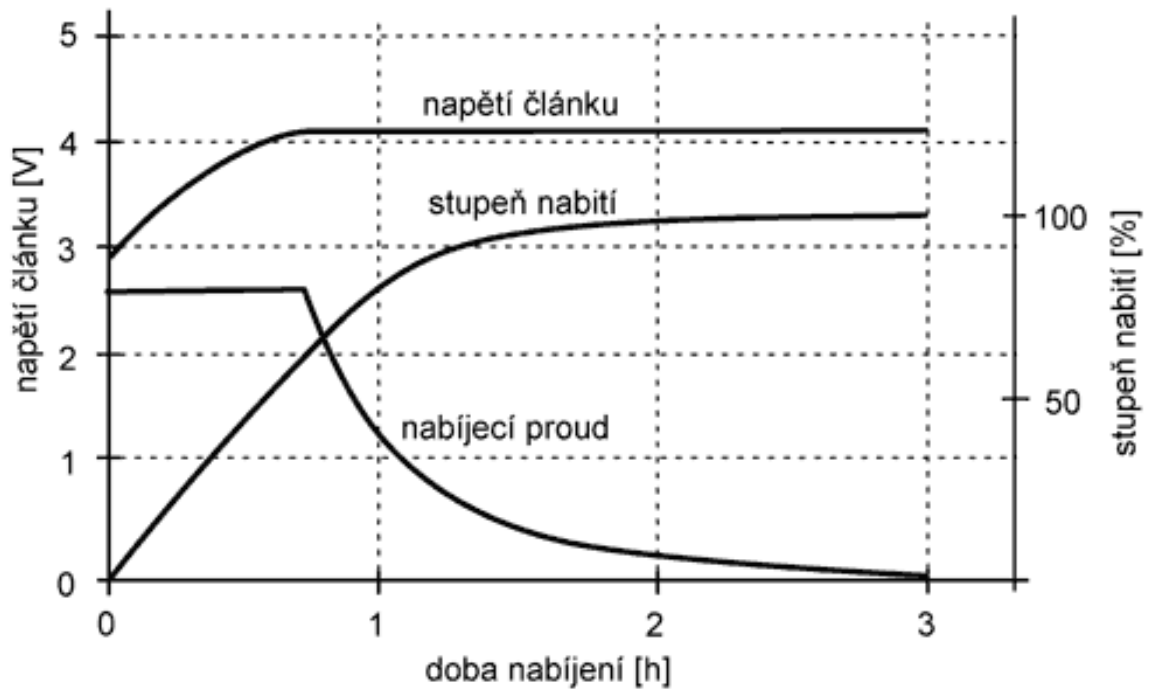
V dnešní době se rozlišují dva druhy lithium-iontových baterií a to podle toho z čeho je vyrobena anoda akumulátoru (záporná elektroda), která může být vyrobena z uhlíku v prvním případě jako koks a ve druhém případě jako grafit. Podle materiálu anody se liší průběh vybíjecích charakteristik baterií, jak vidíme na *Obr. 2-1*. Lithium-iontový akumulátor s anodou z koksů má maximální napětí článku 4,2 V a anoda grafitová má toto napětí také 4,2 V. Minimální napětí článku je stanoveno na 2,5 V. U lithium-iontových akumulátorů se nedoporučuje vybíjet pod 2,5 V, pokud chceme zaručit dlouhou životnost těchto článků, tak by se měly nabíjet na 90 % a vybíjet maximálně na 10 %. Tím, že budeme používat jen 80 % článku, tak si snížíme celkovou kapacitu, avšak životnost článku se výrazně prodlouží [1].



Obr. 2-1: Vybíjecí charakteristika lithium-iontového článku [1]

2.2 Nabíjení lithium-iontových akumulátorů

Nabíjení lithium-iontových akumulátorů probíhá ve dvou fázích. V první fázi nabíjení je do článku pouštěn konstantní proud. Tato fáze končí tehdy, když článek dosáhne konečného napětí, respektive tato fáze končí, když článek dosáhne napětí 4,1 V, nebo 4,2 V (podle materiálu anody). Po první fázi nastává druhá fáze, při které je napětí konstantní a proud postupně klesá až na 0 A (článek je nabit na 100 %) [1].



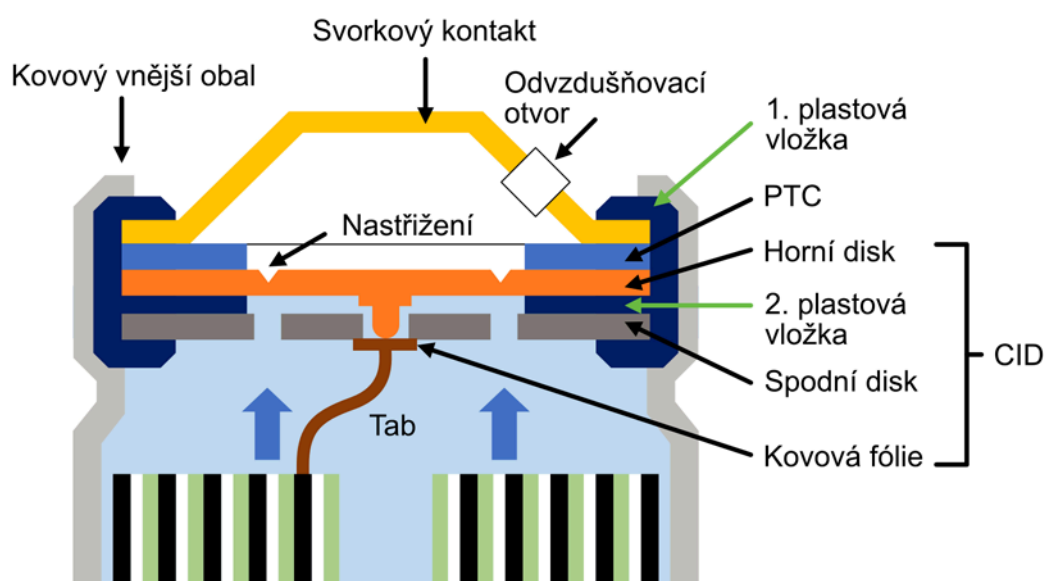
Obr. 2-2: Nabíjení lithium-iontového článku[1]

Na Obr. 2-2 je zobrazen nabíjecí průběh lithium-iontového článku pro nabíjecí proud 1 C, kde jednotkou C se myslí jmenovitá kapacita. Výrobce vždy udává na akumulátoru vybíjecí a nabíjecí hodnotu proudu např. 0,5 C. Při nabíjení nového nebo hluboce vybitého článku, tento údaj od výrobce nemůžeme použít a článek musíme nabíjet řádově miliampérama bez ohledu na to, jaký proud udává výrobce. Nový a hluboce vybitý článek se nabíjí tak dlouho, dokud se jeho napětí nedostane na napětí mezi 2,7 V až 3,0 V. Pokud bychom do nenaformátovaného článku pustili velký nabíjecí proud, tak bychom článek tímto proudem zničili [1].

2.3 Vnitřní ochrana lithium-iontových akumulátorů

Baterie mohou uvolňovat vysoké množství energie, proto jsou bezpečnostní požadavky na baterie a články pro přenosné aplikace určeny podle normy IEC 62133. Tato norma vstoupila v platnost v roce 2012, aby se snížilo globální riziko při přepravě, skladování a provozu baterií [4].

Nezákladnější bezpečnostní zařízení v baterii je pojistka, která se otevírá při vysokém proudu. Některé pojistky se trvale rozpojí a tím dochází k nevratnému poškození článku. Jiné ochrany jsou schopny se navrátit zpět do provozního stavu po odeznění nežádoucích stavů. Na Obr. 2-3 je znázorněna horní část článku 18650 pro li-ion baterii se zabudovanými bezpečnostními prvky [4].

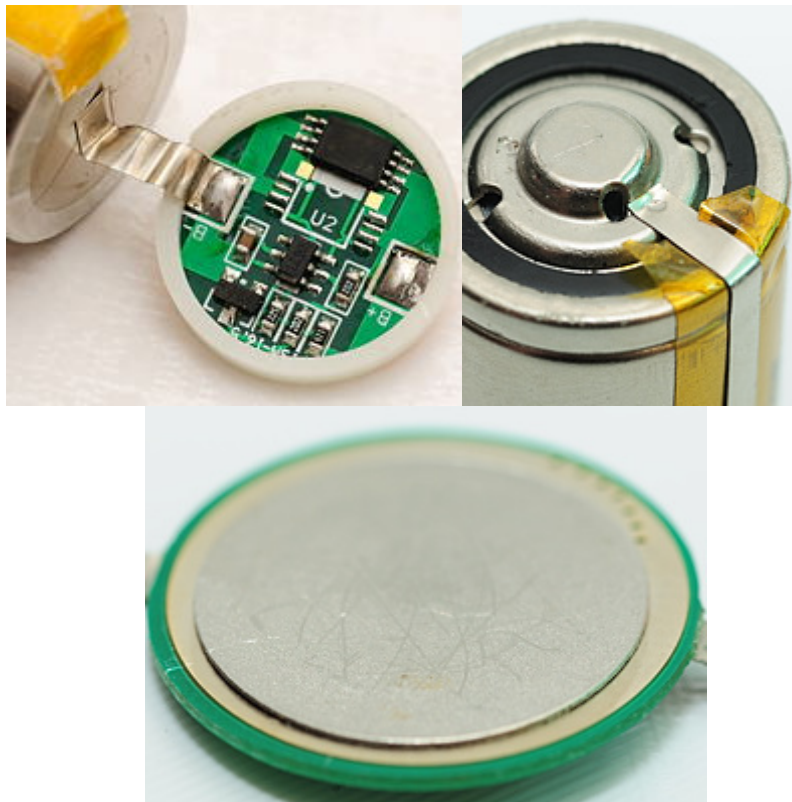


Obr. 2-3: Vnitřní uspořádání ochran PTC a CID

Positive thermal coefficient ve zkratce PTC je ochrana, která se během normálního provozu vyznačuje nízkým odporem. Pokud teplota stoupne nad kritickou úroveň, tak PTC ochrana zvýší svůj odpor a tím omezí proud. PTC je vratná ochrana a po snížení teploty článku se vrátí zpět k nízkému odporu [4].

Current interrupt device ve zkratce CID je ochrana, která pracuje na principu pojistky. Tato ochrana vybaví, když dojde k nárůstu tlaku v článku. Když dojde k nárůstu tlaku nad 1 000 kPa, tak se oranžový disk prohne nahoru a tím odpojí tok proudu. Pokud je tlak na disk extrémní, tak disk v prostrážených místech nevydrží nápor tlaku a dojde k otevření článku a následně k úniku expandujících plynů. Expanze plynů může být doprovázena prudkým hořením uvolněných plynů. Po vybavení této ochrany dojde k nenávratnému poškození článku [4].

Printed Circuit Board ve zkratce PCB je ochranná deska, která chrání před nadměrným vybitím, přebitím a nadproudem. Podle použitých součástek se deska po vybavení automaticky restartuje nebo restart nastane po vložení do nabíječky. Tato ochrana článku má podle specifikace vlastní spotřebu z baterie $4,5 \mu\text{A}$, což je zanedbatelný proud. Když vezmeme v potaz, že dnešní baterie mají 2 000 mAh a více, tak by tato ochrana mohla být funkční jen z baterie více než 50 let [5].



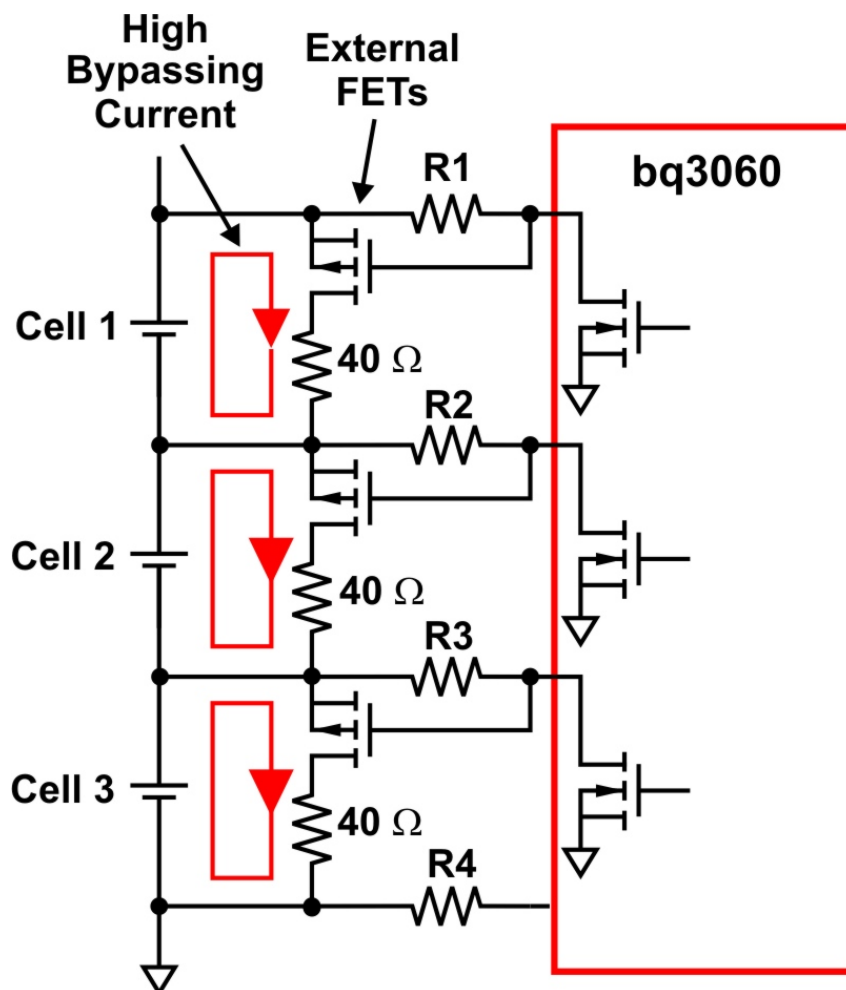
Obr. 2-4: Ochrana PCB přímo na článku pod obalem [5]

3. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

Battery management system ve zkratce BMS je systém řídicí nabíjení a vybíjení jednotlivých článků a zabraňuje překročení parametrů, které udává výrobce. BMS obvod zabraňuje hlavně zničení baterie a to buď podvybitím nebo přebitím, u kterého může nastat následná exploze baterie. Zařízení BMS se používá v bateriových packách, kde je dva a více článků, které mohou mít rozdílné napětí a vnitřní odpor. Jelikož ani technologií dnešní doby nejsme schopni vyrobit dva identické články, které by měly stejnou kapacitu a vnitřní odpor.[3]

3.1 Pasivní balancování akumulátorů

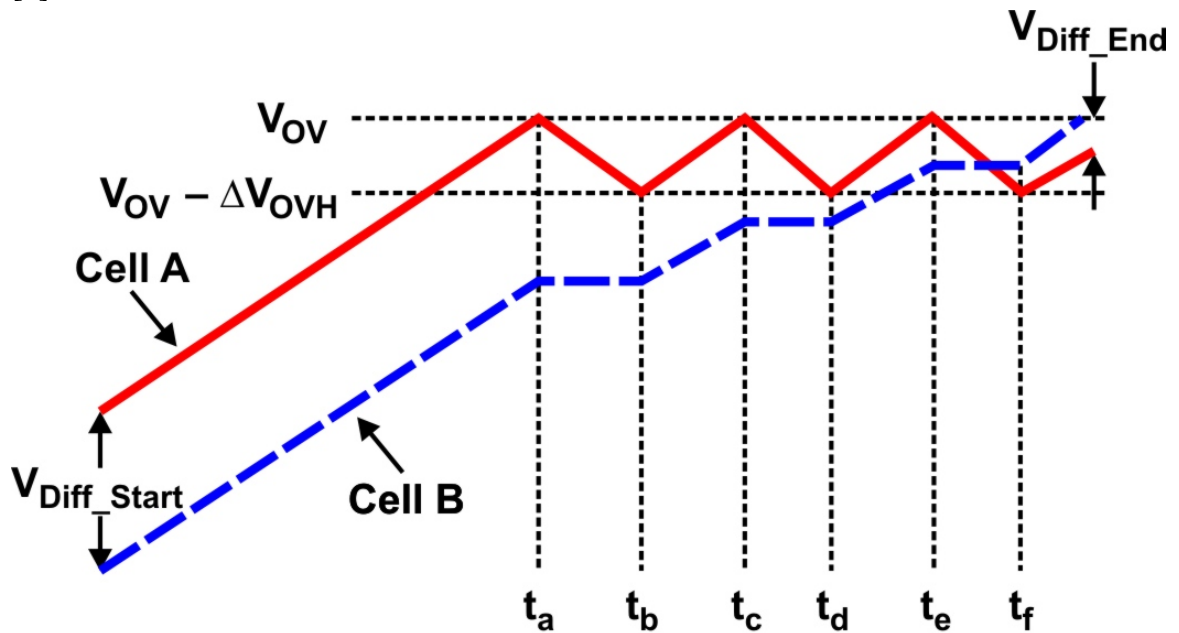
Tento způsob je realizován pomocí vybíjecích odporů. Balancování je realizováno vybíjením článku s vyšším napětím do odporu. Vybíjení je přerušeno, když se článek dostane na stejnou napěťovou hladinu ostatních článků. Při tomto typu balancování nemůžeme zajistit, že všechny články budou nabitý na 100 % kapacity [3].



Obr. 3-1: Vyvažování článků pomocí vybíjecích odporů [3]

3.1.1 Nabíjení s pasivním balancováním článků

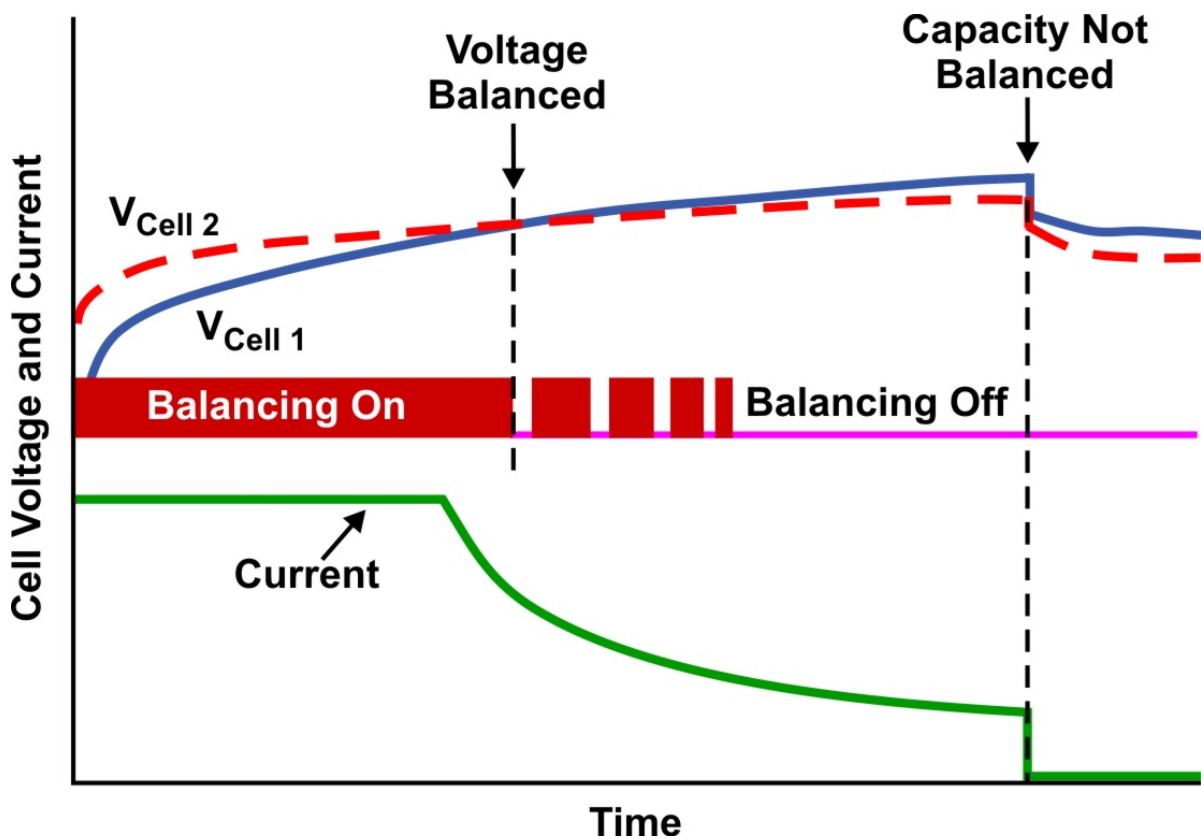
Nabíjení probíhá do doby než článek A dosáhne napětí 4,1-4,2 V. Poté obvod vyhodnotí nabití jednotlivých článků a vyrovná napětí mezi články A a B, a proto začne vybíjet článek A pomocí vybíjecího odporu, který je spouštěn tranzistorem FET. Při vybíjení článku A se napětí na článku B nemění. Poté co se článek vybije na stanovenou hodnotu, tak se baterie začne znovu nabíjet. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud se tyto články napěťově nevyrovnají, Tento proces je zobrazen na *Obr. 3-2* a *Obr. 3-3* [3].



V_{OV} = Overvoltage (OV) detection threshold range

ΔV_{OVH} = OV detection hysteresis program step

Obr. 3-2: Pasivní balancování článků [3]



Obr. 3-3: Pasivní balancování článků podle napětí [3]

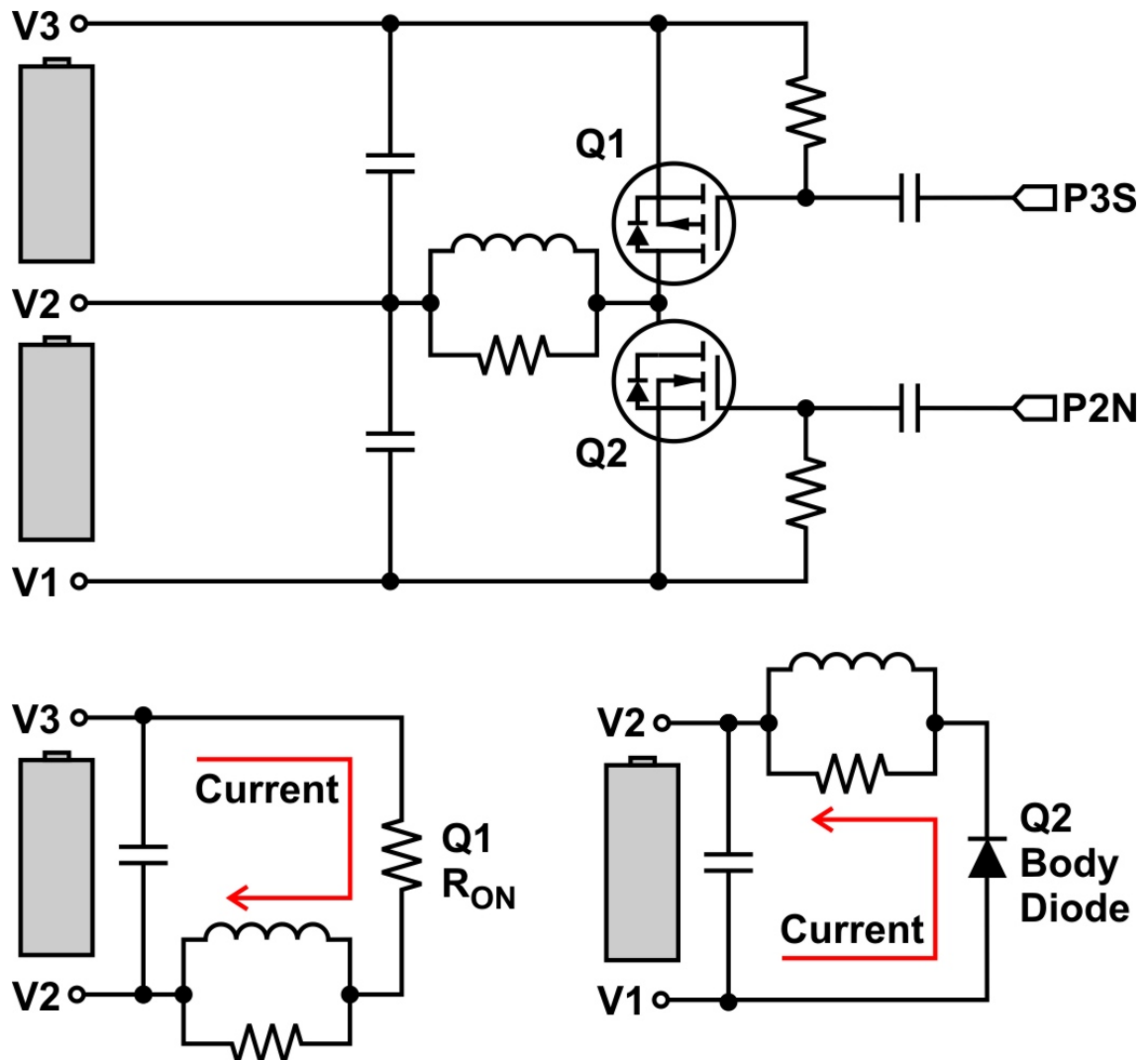
3.2 Aktivní balancování akumulátorů

Při pasivním balancování se přebytečná energie maří do odporů a přeměňuje se v teplo, ale u aktivního balancování se přebytečná energie jednoho článku převádí do článku jiného. Aktivní balancování využívá pro převod energie mezi články kapacitní nebo indukční přenos energie, proto je toto balancování mnohem efektivnější než pasivní [3].

PowerPump™ je technologie, která je realizována pomocí čipu (bq78PL114). Tento čip umožňuje aktivní balancování až 12 článků a to při jakémkoliv ději (při nabíjení, vybíjení nebo v klidovém stavu). K přenosu energie mezi články se používají MOSFET tranzistory s kanály typu N a P a mezi tranzistory jen cívka [3].

Při návrhu technologie PowerPump™ se volí práh nevyváženosti mezi sériovými články baterie. Pokud čip vyhodnotí, že je mezi články nerovnováha, tak začne tyto články vyrovnávat. Na Obr. 3-4 je zjednodušené schéma typu buck, toto zapojení využívá dvojice tranzistoru MOSFET a cívky. Energie je přenášena z horního článku do spodního článku. Na pin P3S přivádíme frekvenci 200 kHz se střídou 30 % a tento signál spouští tranzistor Q1, což způsobí přenos energie do cívky. Po vypnutí tranzistoru Q1 je v cívce maximální množství energie. Proudová smyčka se uzavírá přes substrátovou diodu tranzistoru Q2, která je nyní průchozí a je určena právě

pro přenos energie do spodního článku. Ztráty energie jsou v tomto typu obvodu malé díky malému sériovému odporu cívky [3].



Obr. 3-4: Vyvážení článků technologii PowerPumpTM [3]

3.2.1 Algoritmy balancování akumulátorů

Čerpání dle svorkového napětí (Terminal Voltage (TV)) je podobné pasivnímu balancování. Avšak toto balancování má problémy s vyvážením kapacity kvůli rozdílným impedancím článků [3].

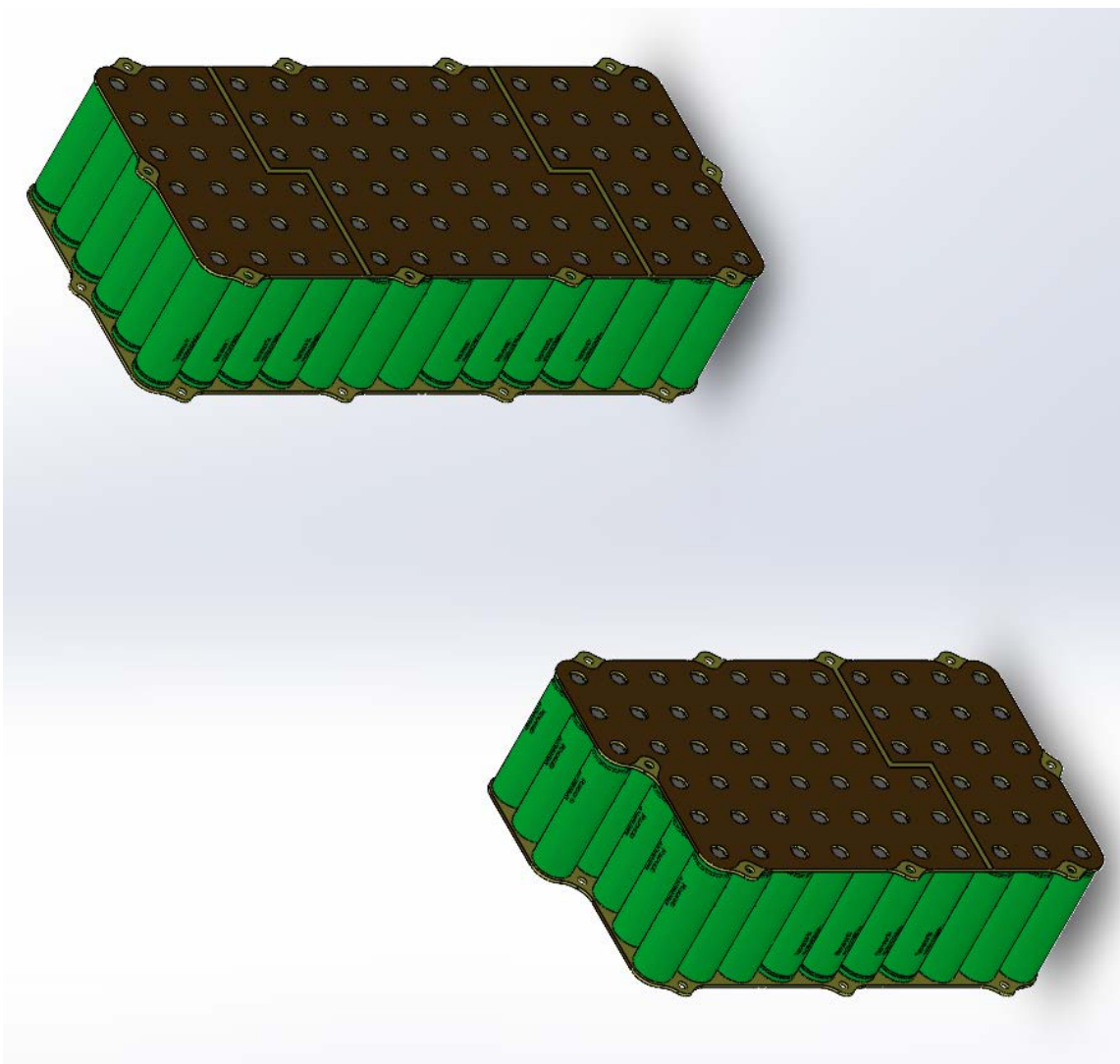
Čerpání dle napětí naprázdno (Open Circuit Voltage (OCV)) tento algoritmus eliminuje rozdíly impedance odhadem napětí naprázdno a to na základě měření proudu akumulátorem a impedancí článků [3].

Čerpání dle stavu nabití (State Of Charge (SOC)) určuje přesnou úroveň nabití každého článku a mezi články přenáší energii tak, aby kapacita článků na konci nabíjení byla vyvážená [3].

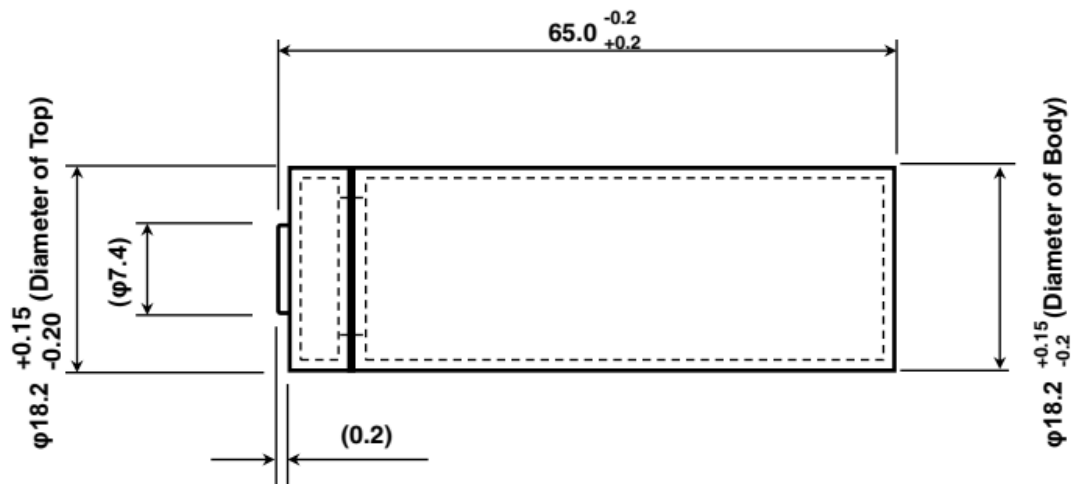
4. ŘEŠENÍ ZADÁNÍ

4.1 Konstrukční uspořádání akumulátoru

Vzhledem k tomu, že tento pack je složen ze 147 článků, tak nebylo možné postavit jeden velký blok kvůli nedostatku místa na sekačce. Seskupení článků se volilo podle volného prostoru na sekačce. Pro baterie byla vyhrazena dvě místa, první místo o velikosti 140x85x295 mm bylo vyhrazeno na pravém boku hlavního motoru a druhé místo o velikosti 134x79x289 mm bylo vyhrazeno v zadní části sekačky. Větší baterie je složena z 84 baterií, které jsou složeny do čtyř bloků, do série, kde každý blok je složen z 21 článků paralelně. Menší baterie je složena z 63 baterií, které jsou složeny do tří bloků, do série, kde každý blok je složen z 21 článků paralelně. Obě baterie jsou poté spojeny do série a jmenovité napětí finální baterie je 25,9 V. Skutečné sestavení bateriových packů je na *Obr. 4-1*.

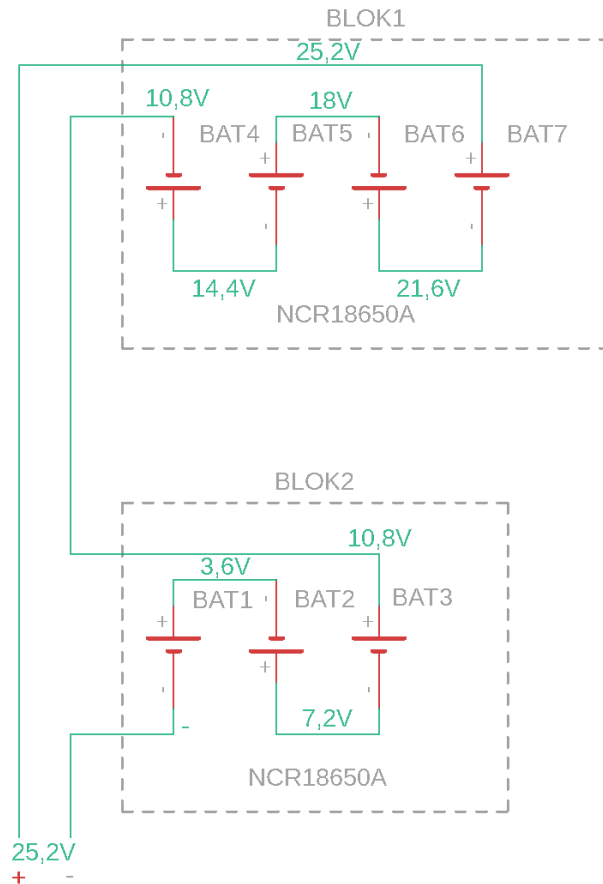


Obr. 4-1: Konstrukční uspořádání baterií



Obr. 4-2: Rozměry jednoho článku baterie

Na Obr. 4-3 je názorně zobrazeno silové zapojení článků s napěťovými úrovněmi. Ze schématu je patrné, že baterie jsou rozděleny do dvou bloků kvůli výše zmiňovanému nedostatku místa na sekačce. V bloku č. 2 je uložena řídicí deska, která hlídá články proti vybití nebo následnému přebití při nabíjení. Mezi blokem č. 1 a č. 2 je veden ještě měřící kabel, který poskytuje údaj o napětí z bloku č. 1.



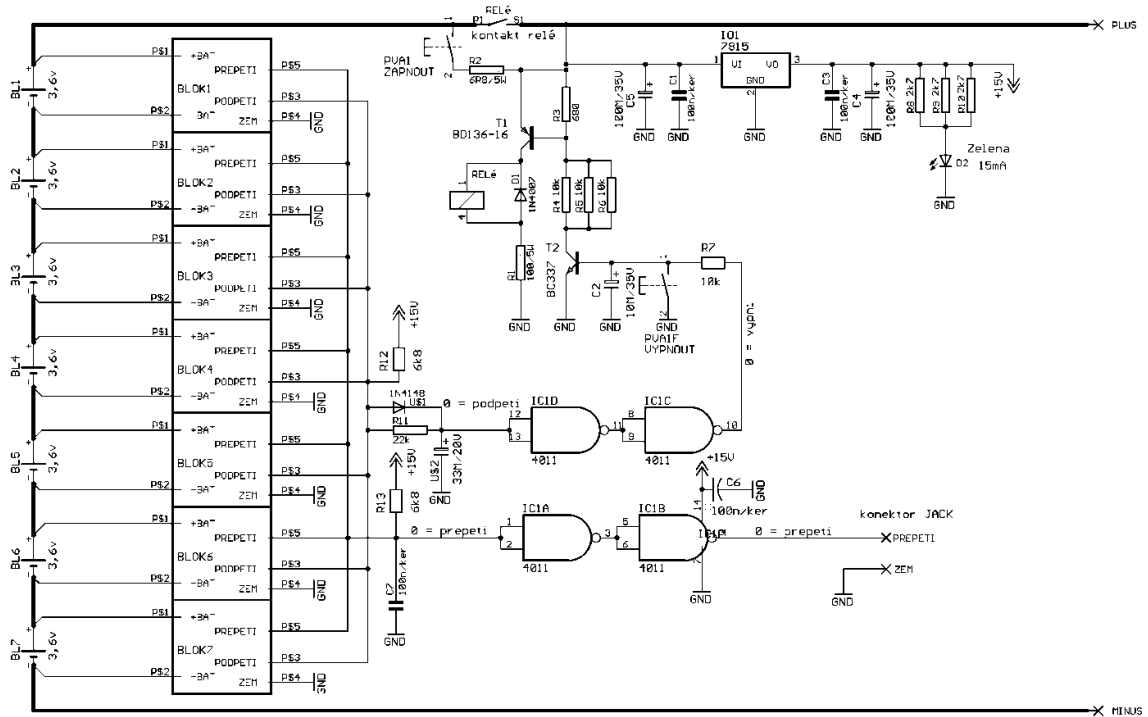
Obr. 4-3: Schematické zapojení baterie

4.2 Návrh BMS obvodu

Při návrhu BMS (Battery monitoring system) jsme se rozhodli použít nejjednodušší způsob hlídání baterií, který bude zajišťovat bezpečnost a také zajistí dlouhou životnost akumulátoru. Toto analogové řešení je velmi spolehlivé, ale neumožňuje sledovat parametry akumulátoru tak, jak je to u dnešních moderních digitálních obvodů s procesorem. Náš BMS obvod zamezuje případnému podvybití, ale také spolupracuje s nabíjecím zdrojem v reálném čase a pokud by byl jakýkoliv článek přebíjen, tak bude nabíjecí proud omezován tak, aby napětí článku bylo drženo na maximální dovolené úrovni. Měření je prováděno na všech 7 článcích zároveň kvůli zamezení přebití článků. Nesymetrie je způsobena stárnutím jednotlivých článků.

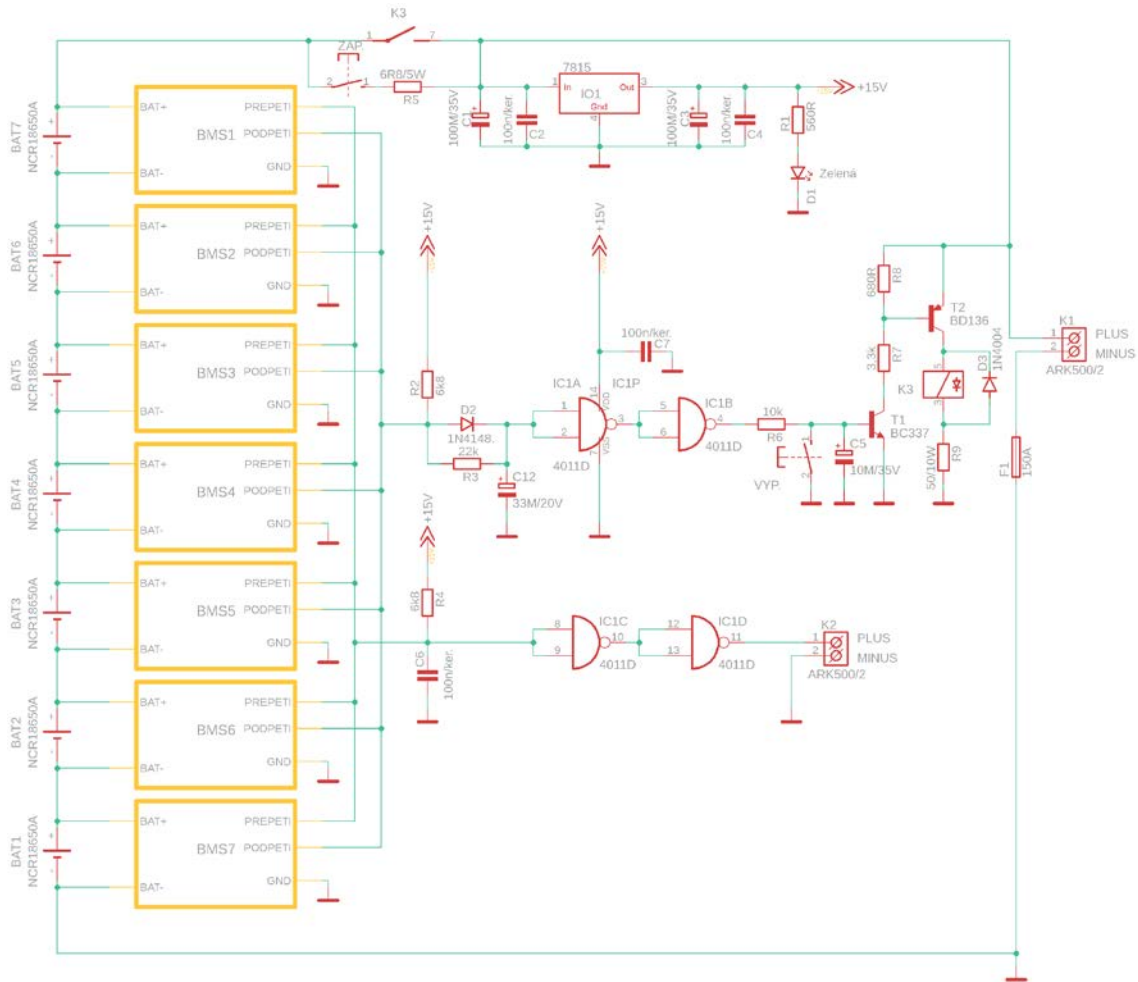
Z provozu elektrického kola, které bylo sestrojeno na VUT mezi 2005 až 2014 vyplývá zkušenost, že je vhodné snížit maximální napětí na článek a to o 0,1 V až 0,2 V, než je udáváno výrobcem. Nicméně při vybíjení by akumulátor měl být odpojen dříve, než dojde ke konci lineárního poklesu. V tomto elektrokole jsou použity články od firmy Panasonic s označením CGR18650C, jejichž napětí je 28 V a kapacita 40 Ah. Výrobce udává minimální napětí 3,0 V a maximální napětí článku 4,2 V. Proto BMS obvod je zkonstruován tak, že hranice napětí článku jsou 3,1 V až 4,1 V. Toto opatření nám sníží pracovní kapacitu přibližně na 90 % jmenovité kapacity. Stejné opatření bylo také provedeno na elektrokole v roce 2005 a to ve snaze dosáhnout dlouhé životnosti akumulátorů.

Na Obr. 4-4 je znázorněn původní návrh ochranných obvodů v elektrokole, ve kterém jsou komparátory vyhodnocující podpětí a přepětí. Komparátory jsou v blocích 1-7. Tento obvod byl upraven pro potřeby elektor sekačky, viz Obr. 4-5



Obr. 4-4: Schématické zapojení ochranných obvodů v elektrokole

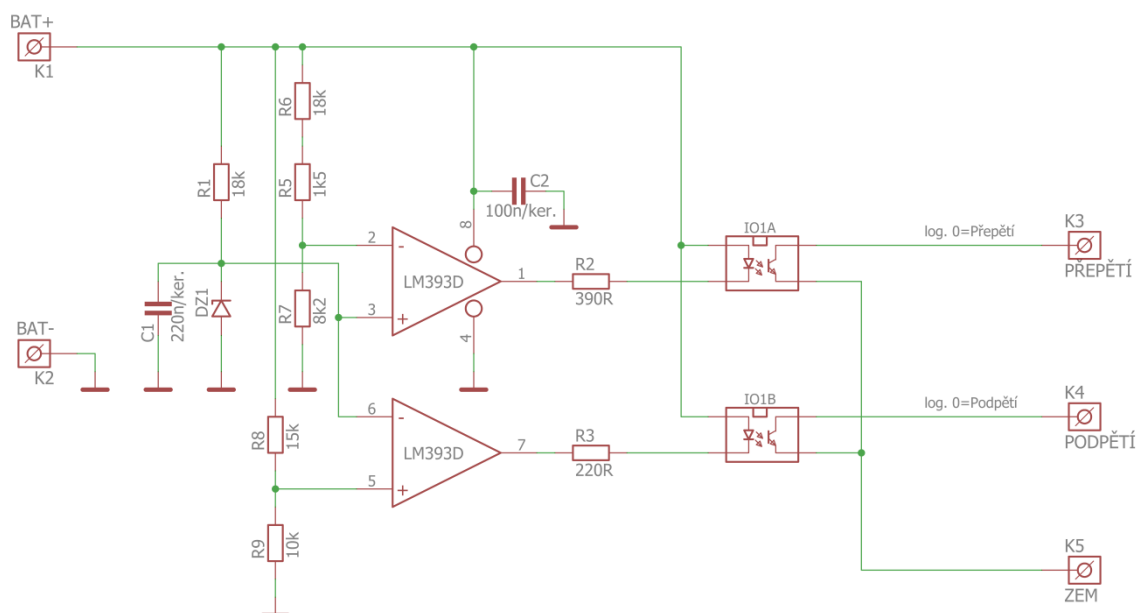
Jelikož se bakalářská práce zabývá bateriovým blokem o špičkovém výkonu 2 500 W a celkovou kapacitou baterie 63 Ah, tak bylo rozhodnuto, že se použije stejné zapojení, jako je realizováno na elektrokole. Bylo rozhodnuto, že se použije vysokoproudé relé a to kvůli hlavnímu motoru, který může špičkově odebírat až 150 A.



Obr. 4-5: Schematický návrh hlídání baterie

Jednotlivé bloky BMS1-7 jsou trvale napájeny z jednotlivých akumulátorů. Výstupy z BMS jsou dva logické signály, které jsou od komparátorů galvanicky odděleny. Signál podpětí je použit pro vypnutí relé, které v případě podpětí odpojí baterii od zátěže. Signál přepětí je vyveden na konektor, ke kterému se připojí logika nabíječe. Pokud napětí článku vzroste nad 4,1 V, tak BMS obvod to vyhodnotí, jako přepětí a na výstupu přepětí se objeví logická 0, což je signál pro nabíječ ukončit cyklus nabíjení. Tyto logické signály jsou realizovány pomocí optočlenů s otevřeným kolektorem, což dovoluje paralelní spojení signálů. Pokud poklesne napětí na kterémkoliv z článků pod hranici 3,1 V, tak signál podpětí nabývá logické hodnoty 0. Pokud toto nastane, tak vysokoproudé relé se rozeptne a tím odpojí zátěž. Odpojení akumulátoru lze provádět i ručně u každé realizace. Na Obr. 4-6 je opětovné zapnutí

realizováno pomocí tlačítka, které přivede napájecí napětí pro vyhodnocovací obvod a pokud není na žádném článku podpětí nebo není stisknuté vypínací tlačítko, tak dojde k sepnutí relé a obvod zůstane trvale sepnut. Zapojení jsou necitlivé na krátkodobé impulsy logické nuly z komparátorů. Logická nula může nastat při zvýšeném odběru proudu nebo vlivem rušení. Logická necitlivost je zaručena i díky RCD členu.



Obr. 4-6: Zapojení komparátoru v modulech BMS 1-7

V tomto zapojení došlo k inovaci komparátoru a to kvůli snížení spotřeby. Obvod LM393D má odběr na komparátor 0,2 mA v tomto případě odběr dvojice komparátorů je 0,4 mA. U stávajícího obvodu S393 je odběr na komparátor 9 μA a to v případě dvojice komparátorů je 18 μA .

4.3 Výpočet odběru BMS

Odběr BMS budeme počítat pro stav mezi napětím 3,1 V a 4,1 V, kdy nejsou napájeny optočlenné. V tomto stavu vypočítáme proudy děličů (viz rovnice 1 a 2) a proud referenční diodou (viz rovnice 3). Nicméně při změně komparátorů výsledný proud bude znatelně rozdílný (viz rovnice 5 a 7).

$$I_{R_{5,6,7}} = \frac{U}{R} = \frac{3,6 \text{ V}}{27,7 \text{ k}\Omega} = 129,9 \mu\text{A}, \quad (1)$$

kde $I_{R_{5,6,7}}$ [μA] je proud protékající děličem, U [V] je jmenovité napětí článku a R [$\text{k}\Omega$] je celkový odpor děliče.

$$I_{R_{8,9,10}} = \frac{U}{R} = \frac{3,6 V}{25,68 k\Omega} = 140,2 \mu A, \quad (2)$$

kde $I_{R_{8,9,10}}$ [μA] je proud protékající děličem, U [V] je jmenovité napětí článku a R [$k\Omega$] je celkový odpor děliče.

$$I_{R_1} = \frac{U}{R} = \frac{3,6 V - 1,235 V}{18 k\Omega} = 131,4 \mu A, \quad (3)$$

kde I_{R_1} [μA] je proud protékající odporem referenční diody, U [V] je jmenovité napětí článku a R [$k\Omega$] je odpor před referenční diodou.

Výpočet pro obvod LM393:

$$I_{cel.kom} = n * I_k = 2 * 200 \mu A = 400 \mu A, \quad (4)$$

kde $I_{cel.kom}$ [μA] je celkový proud odebíraný komparátory, n [-] je počet komparátorů a I_k [μA] je proud odebíraný jedním komparátorem.

$$I_{cel} = I_{R_{5,6,7}} + I_{R_{8,9,10}} + I_{R_1} + I_{cel.kom}, \quad (5)$$

$$I_{cel} = 129,9 \mu A + 140,2 \mu A + 131,4 \mu A + 400 \mu A = 819,5 \mu A$$

kde I_{cel} [μA] je proud odebíraný celým BMS, $I_{R_{5,6,7}}$ [μA] je proud protékající děličem, $I_{R_{8,9,10}}$ [μA] je proud protékající děličem, I_{R_1} [μA] je proud protékající odporem referenční diody a $I_{cel.kom}$ [μA] je celkový proud odebíraný komparátory

Výpočet pro stávající obvod S393:

$$I_{cel.kom} = n * I_k = 2 * 9 \mu A = 18 \mu A, \quad (6)$$

kde $I_{cel.kom}$ [μA] je celkový proud odebíraný komparátory, n [-] je počet komparátorů a I_k [μA] je proud odebíraný jedním komparátorem.

$$I_{cel} = I_{R_{5,6,7}} + I_{R_{8,9,10}} + I_{R_1} + I_{cel.kom}, \quad (7)$$

$$I_{cel} = 129,9 \mu A + 140,2 \mu A + 131,4 \mu A + 18 \mu A = 419,5 \mu A$$

kde I_{cel} [μA] je proud odebíraný celým BMS, $I_{R_{5,6,7}}$ [μA] je proud protékající děličem, $I_{R_{8,9,10}}$ [μA] je proud protékající děličem, I_{R_1} [μA] je proud protékající odporem referenční diody a $I_{cel.kom}$ [μA] je celkový proud odebíraný komparátory

Z těchto vypočítaných hodnot je patrné, že odběr s novým obvodem S393 klesl na polovinu. V tabulce 4-1 jsou hodnoty odběru v mAh za určitá období.

Tab. 1: Spotřeba jednoho BMS za určitou dobu

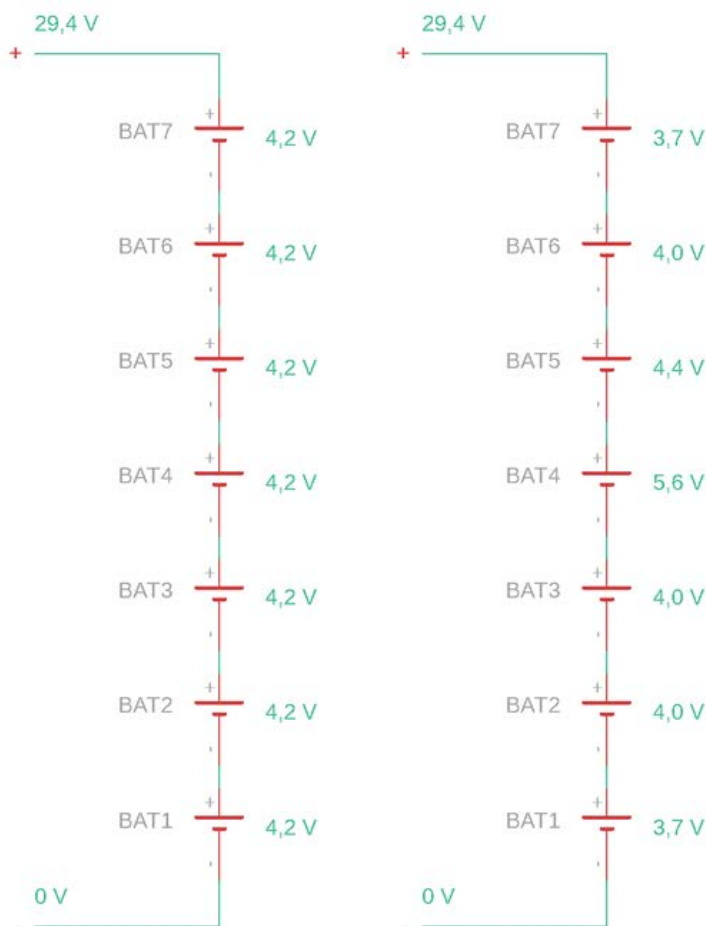
	Odběr za 1 h [μAh]	Odběr za 1 den [mAh]	Odběr za 1 měsíc [mAh]	Odběr za 1 rok [mAh]
LM393	819,5	19,7	590,0	7183,7
S393	419,5	10,1	302,0	3677,3

Jelikož je tento obvod stále v provozu, tak neustále odebírá proud a z tabulky je patrné, že odebraná energie není vůbec zanedbatelná a změnou obvodu bylo uspořeno víc jak 3 506 mAh za rok.

4.4 Nabíjení s BMS obvodem

K nabíječe byla vyrobena redukce ze 7 pinové zástrčky do panelu na jack a faston. Tím bylo docíleno toho, že má sekačka jeden uzavíratelný konektor (proti nečistotám), ve kterém jsou jak silové, tak i signálové vodiče. Signál přepětí je pro nabíječ zpětná vazba. Nabíječ přestane nabíjet ve chvíli, kdy signál o přepětí nabyde logické 0 od BMS č. 1 až 7. Pokud by nastala porucha např. zkrat nebo přerušeni vodiče, tak to bude též vyhodnoceno, jako přepětí a to je signál pro nabíječ přerušit nabíjení. Díky této zpětné vazbě nedojde k přebití článků a k jejich trvalému poškození.

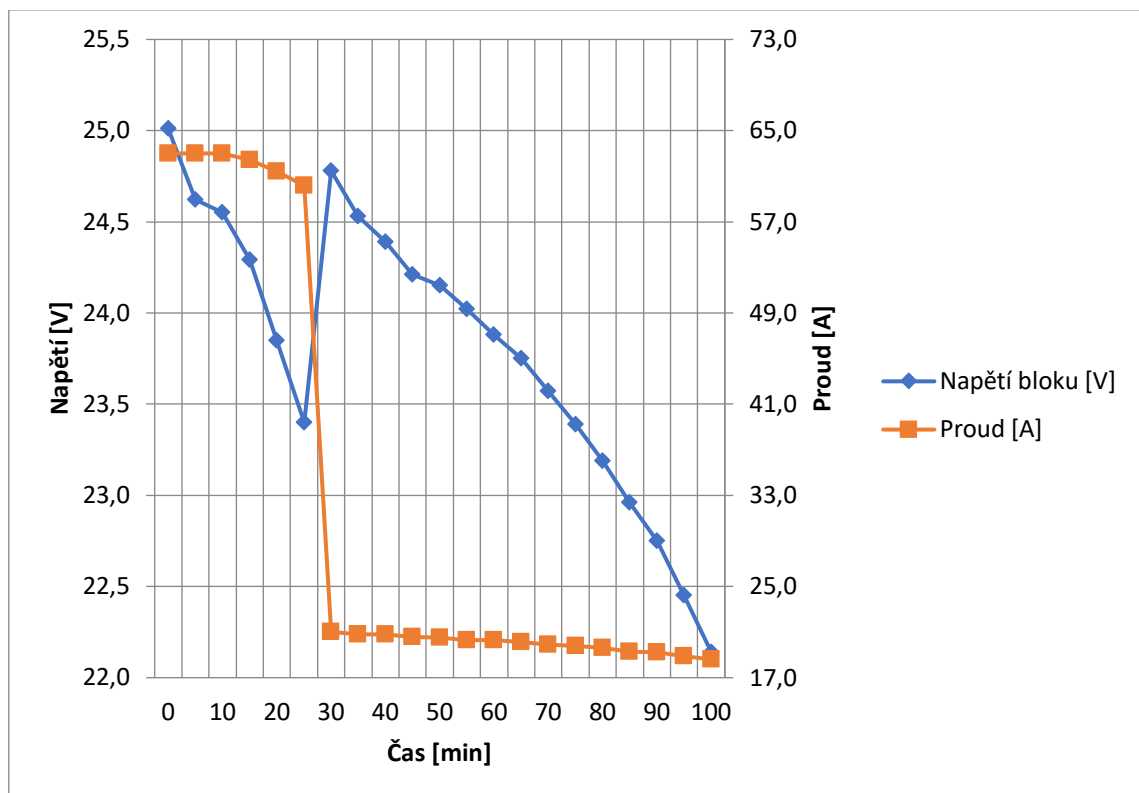
Bez signálu přepětí by nabíječ kontroloval pouze sumu napětí článků a to by mohlo zapříčinit, že některé články budou přebité a došlo by k nevyvážení článků, viz *Obr. 4-7*. Vlevo vidíme vyvážené články s napětím 4,2 V a s konečným napětím 29,4 V a vpravo máme také koncové napětí 29,4 V, ale bohužel články nejsou sjednoceny tak jako vlevo. Jeden z článků je přebit na 5,6 V a to může zapříčinit nevratné poškození.



Obr. 4-7: Baterie se signálem přepětí a bez signálu přepětí

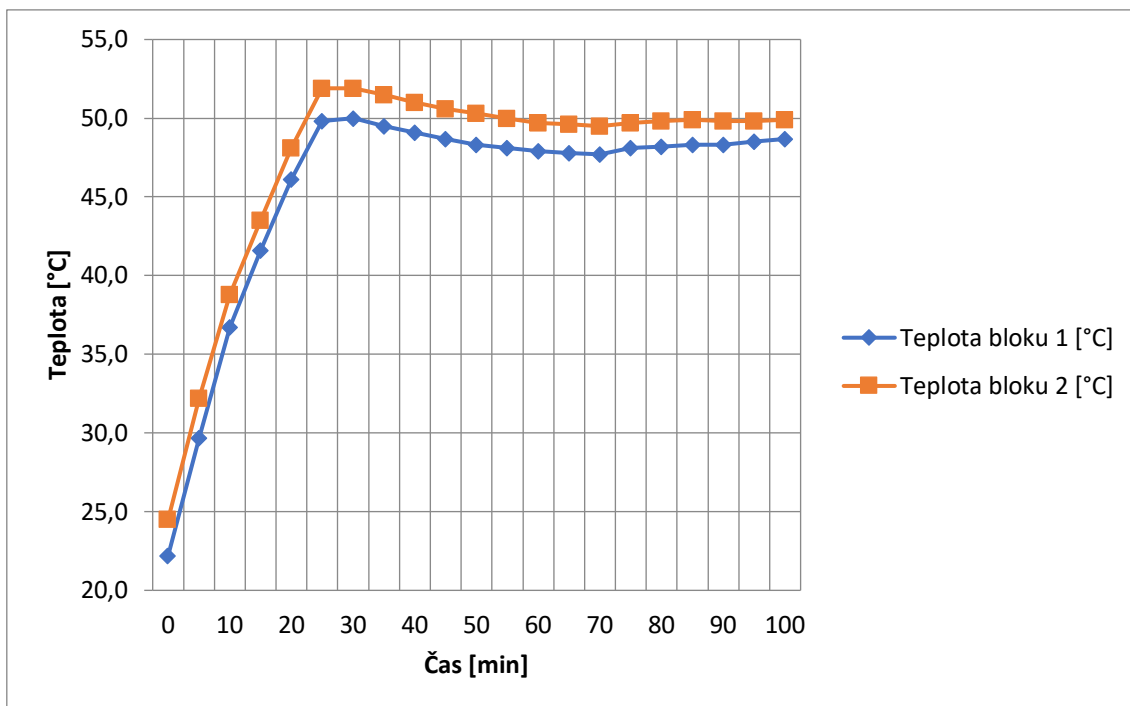
5. MĚŘENÍ

Po sestavení obou bloků akumulátoru, byly tyto akumulátorové bloky umístěny do ocelových krabic. Nadále byly vzájemně propojeny silovými vodiči a jedním měřicím vodičem. Elektronika byla oživena a vsazena k akumulátorům. Po zprovoznění celého akumulátoru byly do akumulátoru vloženy teplotní senzory a oba bloky akumulátorů byly uzavřeny. Poté bylo provedeno měření a z něj byly zapisovány hodnoty v intervalu 5 minut. Hodnoty jsou zobrazeny v *Graf 5-1* a *Graf 5-2* (konkrétní hodnoty ke grafům jsou v tabulce, viz příloha A1).



Graf 5-1: Průběh napětí a proudu při vybíjení v závislosti na čase

Toto měření bylo provedeno z důvodu zjištění kapacity baterie a oteplení v krabicích. Z tohoto grafu je patrné, že napětí po připojení k zátěži pokleslo z 28,7 V na 25,1 V, z čehož vyplývá, že baterie není tvrdý zdroj. Tento pokles nastal při odběru proudu 63 A = 1C akumulátoru. Z grafu je také patrné, že po určité době došlo ke změně proudu a to kvůli rychlému nárůstu teploty v obou krabicích. Po 25 minutách byl proud snížen z 63 A na 21 A. Toto snížení zapříčinilo, že napětí vzrostlo z 23,40 V na 24,78 V a opět začalo klesat, viz *Graf 5-1*.



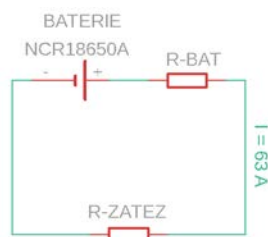
Graf 5-2: Průběh teplot v Bloku č. 1 a č. 2

Na Graf 5-1 můžeme vidět oteplení bloku č. 1 a č. 2. Z toho je patrné, že při odběru 63 A je nárůst teploty v ocelových krabicích extrémně strmý. Ze specifikačního listu bylo zjištěno, že maximální teplota baterie při vybíjení je 60 °C. Kvůli tomuto zjištění byl po 25 minutách snížen proud z 63 A na 21 A, po tomto snížení teplota poklesla, ale i tak se udržovala okolo 50 °C. Z tohoto zjištění plyne, že články baterie jsou příliš u sebe a vzduch téměř neproudí kolem článků, proto dochází k velkému nárůstu teploty, čemuž by pomohlo nucené chlazení.

5.1 Výpočet z měření

Z naměřených hodnot se vypočítal vnitřní odpor, náboj (kapacita) a odebraná energie z baterie.

Výpočet vnitřního odporu baterie:



Obr. 5-1: Schéma znázorňující vnitřní odpor baterie

$$R_{BAT} = \frac{U_{BAT} - U_{ZATEZ}}{I} = \frac{28,7 V - 25,01 V}{63 A} = 58,57 m\Omega, \quad (8)$$

kde R_{BAT} [mΩ] je vnitřní odpor baterie, U_{BAT} [V] napětí baterie, U_{ZATEZ} [V] je napětí na zátěži a I [A] je proud obvodem.

$$R_{ZATEZ} = \frac{U_{ZATEZ}}{I} = \frac{25,01 V}{63 A} = 396,98 m\Omega, \quad (9)$$

kde R_{ZATEZ} [mΩ] je odpor zátěže, U_{ZATEZ} [V] napětí na zátěži a I [A] je proud obvodem.

Výpočet pro první řádek tabulky z přílohy:

$$Q = I * t = 63 A * \frac{2,5}{60} = 2,63 A h, \quad (10)$$

kde Q [mAh] je elektrický náboj (kapacita), I [A] je proud odebíraný z baterie a t [hod] je měřený časový úsek.

Náboj (kapacita) byla vypočítaná vždy pro daný časový úsek, tyto výsledky byly následně sečteny a tím se dobralo k výsledné kapacitě 52,66 Ah. Tato kapacita byla odebrána z baterie za 100 minut. K vypnutí podpěťové ochrany došlo při vyšším napětí než by odpovídalo součtu minimálních napětí článků, důvodem je nejspíš mírně rozdílná kapacita článků.

Výpočet pro první řádek tabulky z přílohy:

$$P = Q * U = 2,63 mAh * 25,01 V = 65,65 Wh, \quad (11)$$

kde P [Wh] je odebrané množství energie, Q [mAh] je elektrický náboj (kapacita) a U [V] je napětí baterie.

Celková energie odebrána z baterie byla vždy vypočítána pro daný časový úsek. Tyto výsledky byly následně sečteny a tím bylo zjištěno, kolik energie bylo z baterie získáno. Po sečtení byla výsledná energie 1 262,71 Wh.

ZÁVĚR

Teoretická část bakalářské práce pojednává stručně o historii lithium-iontových článků, o typech lithium-iontových článků o jejich nabíjení a jejich vnitřní ochrany. Poté je podrobně popsáno balancování těchto článků, jak pasivního, tak i aktivního.

V experimentální části bakalářské práce je zkonstruován lithium-iontový akumulátor pro elektrickou sekačku o špičkovém výkonu 2 500 W. Na sekačce byla vyhrazena dvě místa pro baterie, první místo o velikosti 140x85x295 mm bylo vyhrazeno na pravém boku hlavního motoru a druhé místo o velikosti 134x79x289 mm bylo vyhrazeno v zadní části sekačky. Větší baterie je složena z 84 článků, které jsou složeny do čtyř bloků, do série, kde každý blok je složen z 21 článků paralelně. Menší baterie je složena z 63 článků, které jsou složeny do tří bloků, do série, kde každý blok je složen z 21 článků paralelně. Pro tyto bloky byly vytvořeny na CNC stroji desky plošných spojů. Desky plošných spojů byly osazeny články, které jsou staženy mezi deskami zavítovými tyčemi a to po obvodu bloků č. 1 a č. 2. Tyto zavítové tyče jsou přes distanční můstky uchytceny do ocelové krabicec a tím celý blok drží baterii v krabici.

K takto složené baterii byl vyroben jednoduchý obvod BMS, který byl vylepšen změnou komparátoru a tím byla snížena stalá spotřeba z 819,5 μA na 419,5 μA . Touto obměnou bude ušetřeno za rok nepoužívání 3 506,4 mAh, které by se jinak spotřebovaly v obvodu BMS.

Z naměřených hodnot byl vypočítán vnitřní odpor, elektrický náboj (kapacita) a odebraná energie baterie. Vnitřní odpor baterie vyšel 58,57 m Ω . Elektrický náboj (kapacita) vyšel 52,66 Ah. Tato hodnota je menší než jmenovitý náboj (kapacita), která byla určena ze specifikace článku na celkový náboj (kapacita) 63Ah. Rozdíl těchto nábojů je zapříčiněn tím, že baterie je využívána jen z 80% kvůli zachování dlouhé životnosti. Z elektrického náboje byla vypočítaná odebraná energie z článku, která vyšla 1 262,71 Wh. Při tomto měření byly měřeny teploty v obou blocích baterie, které strmě rostly k 60 °C, proto se po 25 minutách proud snížil z 63 A na 21 A a tím se teplota ustálila okolo 50 °C. Po zamezení strmého růstu teploty bylo možné pokračovat v měření až do vybití baterie a následného odpojení baterie pomocí vyhodnocovacího obvodu, který vypnul vysokoproudé relé. Pokud by bylo zapotřebí z baterie odebírat proud 63 A po celou dobu, tak by bylo zapotřebí vyřešit otázku chlazení jednotlivých článků. Tento problém by se dal vyřešit tím, že by byly články ochlazovány vzduchem z okolí.

LITERATURA

- [1] *Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení.* *www.belza.cz* [online]. [cit. 2021-3-27].
Dostupné z: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [2] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1. část).* [online]. [cit. 2021-3-27].
Dostupné z: <http://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1cast>
- [3] *Jak aktivně pečovat o Li-Ion články.* *HW* [online]. 2009 [cit. 2021-3-27] Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/jak-aktivne-pecovat-o-li-ion-clanky.html>
- [4] *Vnitřní ochrana baterie 18650* [online]. 2020 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_circuits_for_modern_batteries
- [5] *Anatomie chráněné lithium iontové baterie* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://lygte-info.dk/info/battery%20protection%20UK.html>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
Li-ion	Lithium iontový
PTC	Positive thermal coefficient
CID	Current interrupt device
BMS	Battery management system
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
TV	Terminal Voltage
OCV	Open Circuit Voltage
SOC	State Of Charge

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
P	odebraná energie	(Wh)
Q	náboj (kapacita)	(Ah)
R	odpor	(Ω)
t	čas	(h)
C	jmenovitá kapacita	(mAh)

SEZNAM PŘÍLOH

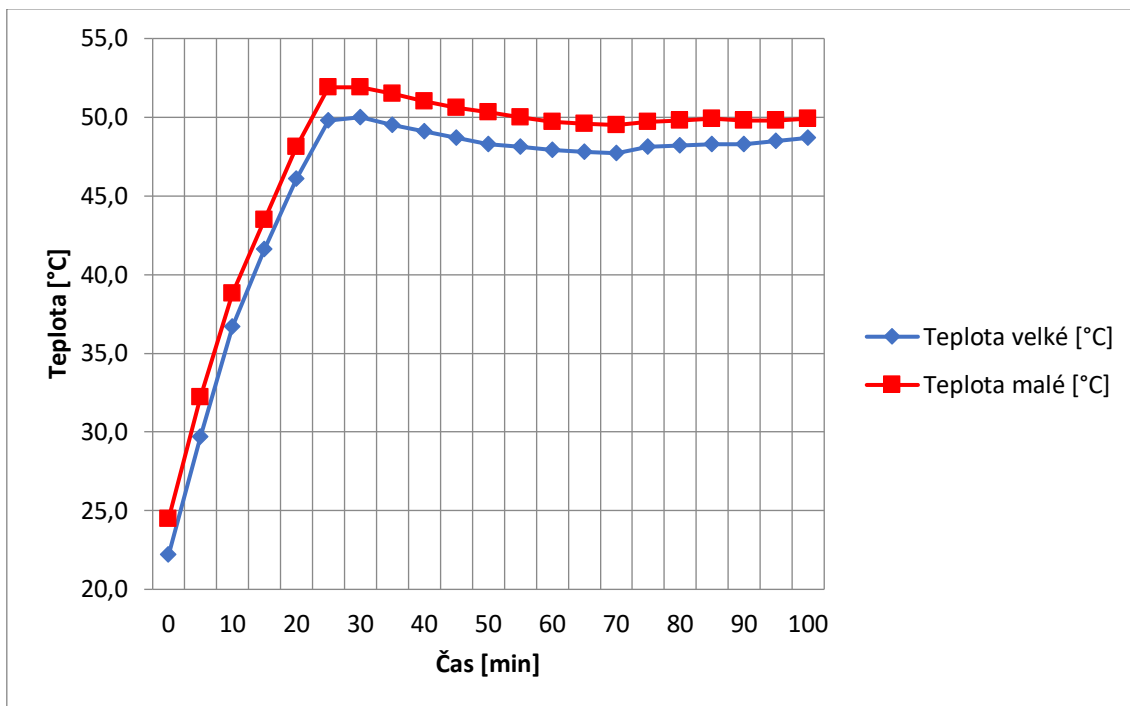
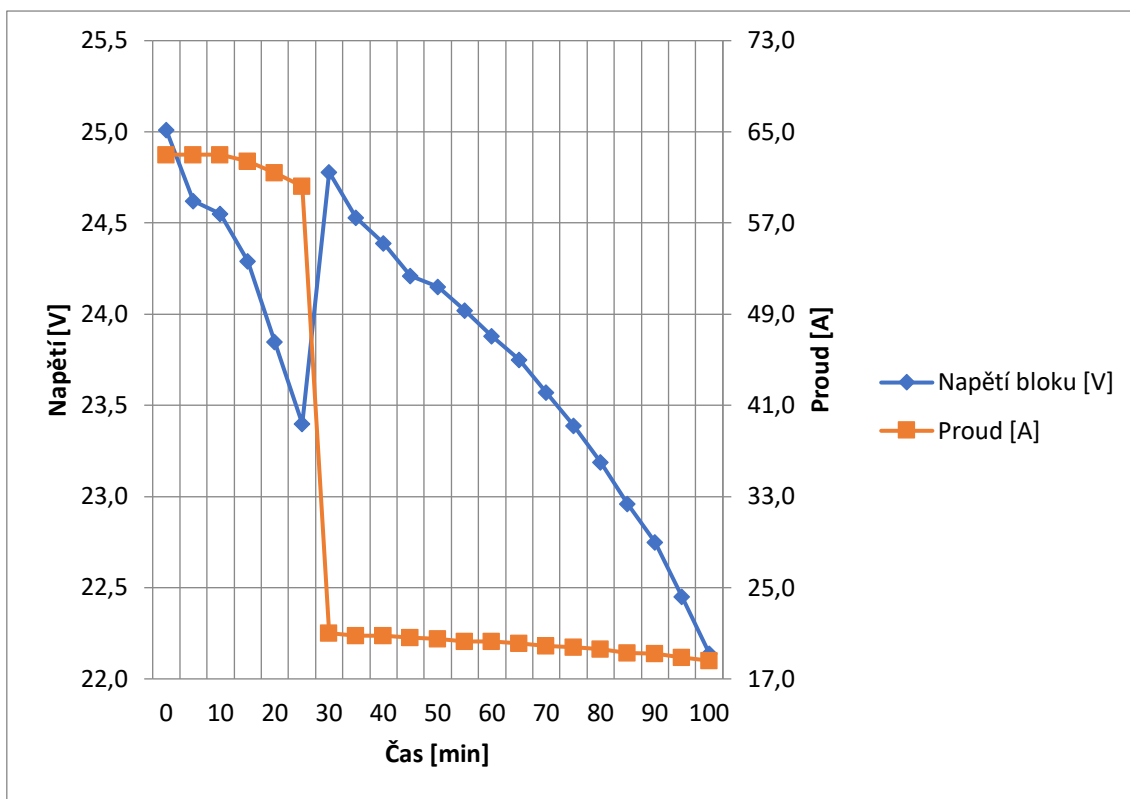
PŘÍLOHA A - NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	35
PŘÍLOHA B - SCHÉMA ZAPOJENÍ VYHODNOCOVACÍHO OBVODU	37
PŘÍLOHA C - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ VYHODNOCOVACÍ DESKY (STRANA SPOJŮ).....	38
PŘÍLOHA D - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ VYHODNOCOVACÍ DESKY (STRANA SOUČÁSTEK)	39
PŘÍLOHA E - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ VYHODNOCOVACÍ DESKY 3D MODEL	40
PŘÍLOHA F - OSAZOVACÍ PLÁN DPS VYHODNOCOVACÍ DESKY	41
PŘÍLOHA G - SEZNAM SOUČÁSTEK ŘÍDÍCÍ DESKY	42
PŘÍLOHA H - SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘÍCÍCH OBVODU.....	44
PŘÍLOHA I - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ MĚŘÍCÍ DESKY (STRANA SPOJŮ)	45
PŘÍLOHA J - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ MĚŘÍCÍ DESKY (STRANA SOUČÁSTEK)	46
PŘÍLOHA K - NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ MĚŘÍCÍ DESKY 3D MODEL	47
PŘÍLOHA L - OSAZOVACÍ PLÁN DPS MĚŘÍCÍ DESKY	48
PŘÍLOHA M - SEZNAM SOUČÁSTEK MĚŘÍCÍ DESKY.....	49
PŘÍLOHA N - FOTOGRAFIE KOMPLETNÍ BATERIE S BMS A SEKAČKY.....	50

Příloha A - Naměřené hodnoty

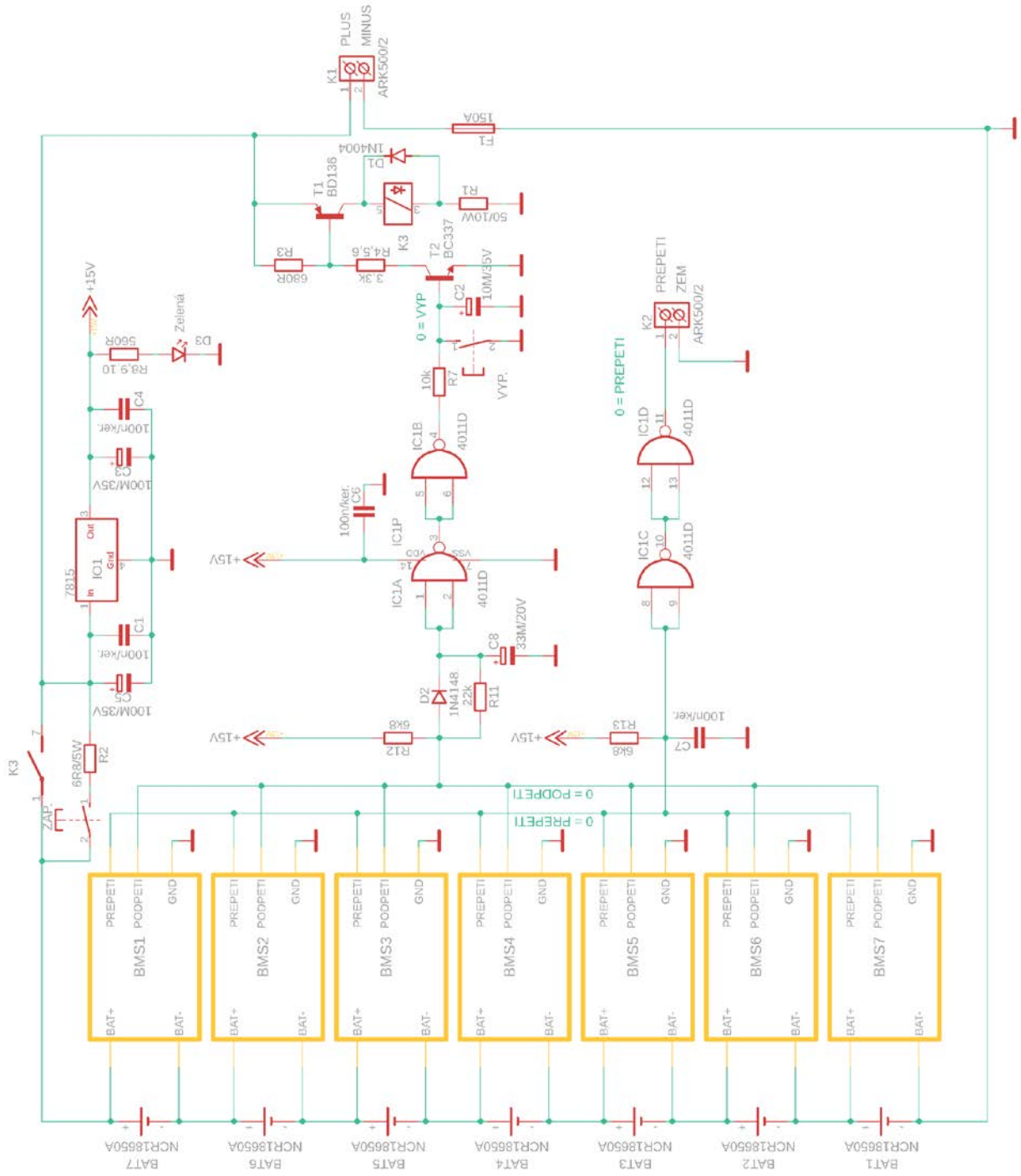
A.1 Tabulka naměřených hodnot

Čas [min]	Napětí bloku [V]	Proud [A]	Teplota bloku 1 [°C]	Teplota bloku 2 [°C]	Kapacita [Ah]	Energie [Wh]
0	25,01	63,0	22,2	24,5	2,63	65,65
5	24,62	63,0	29,7	32,2	5,25	129,26
10	24,55	63,0	36,7	38,8	5,25	128,89
15	24,29	62,4	41,6	43,5	5,20	126,31
20	23,85	61,4	46,1	48,1	5,12	122,03
25	23,4	60,2	49,8	51,9	5,02	117,39
30	24,78	21,0	50,0	51,9	1,75	43,37
35	24,53	20,8	49,5	51,5	1,73	42,52
40	24,39	20,8	49,1	51,0	1,73	42,28
45	24,21	20,6	48,7	50,6	1,72	41,56
50	24,15	20,5	48,3	50,3	1,71	41,26
55	24,02	20,3	48,1	50,0	1,69	40,63
60	23,88	20,3	47,9	49,7	1,69	40,40
65	23,75	20,1	47,8	49,6	1,68	39,78
70	23,57	19,9	47,7	49,5	1,66	39,09
75	23,39	19,8	48,1	49,7	1,65	38,59
80	23,19	19,6	48,2	49,8	1,63	37,88
85	22,96	19,3	48,3	49,9	1,61	36,93
90	22,75	19,2	48,3	49,8	1,60	36,40
95	22,45	18,9	48,5	49,8	1,58	35,36
100	22,14	18,6	48,7	49,9	0,78	17,16
Celkem					52,66	1262,71

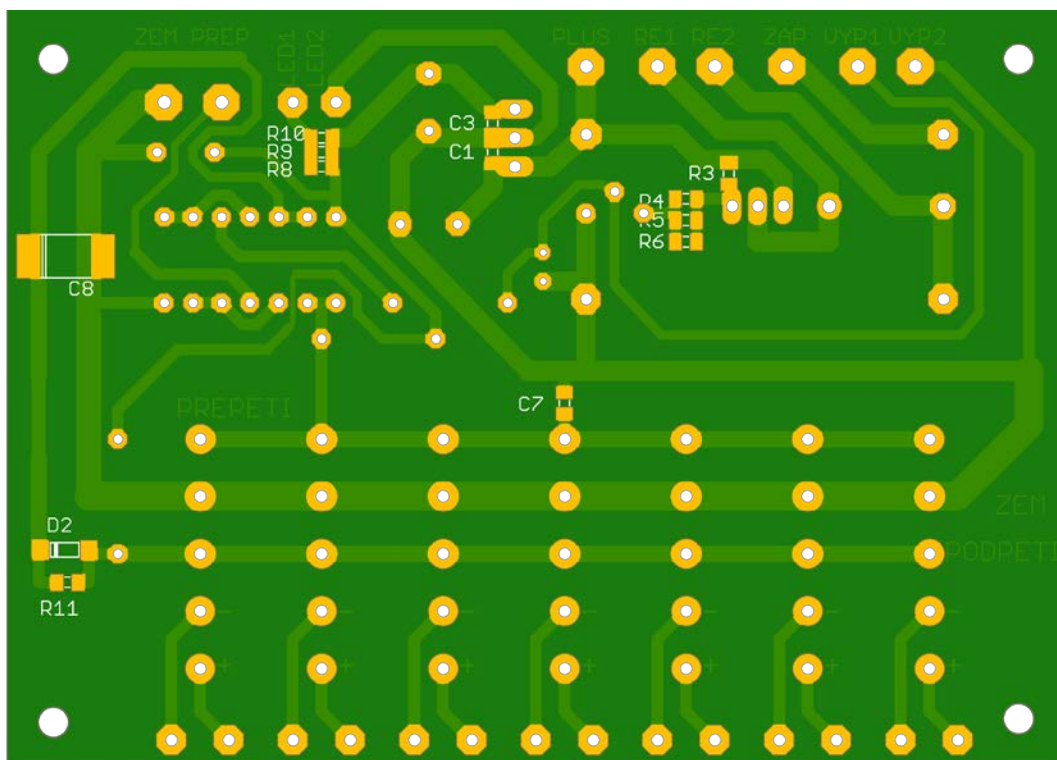
A.2 Naměřené průběhy – grafy



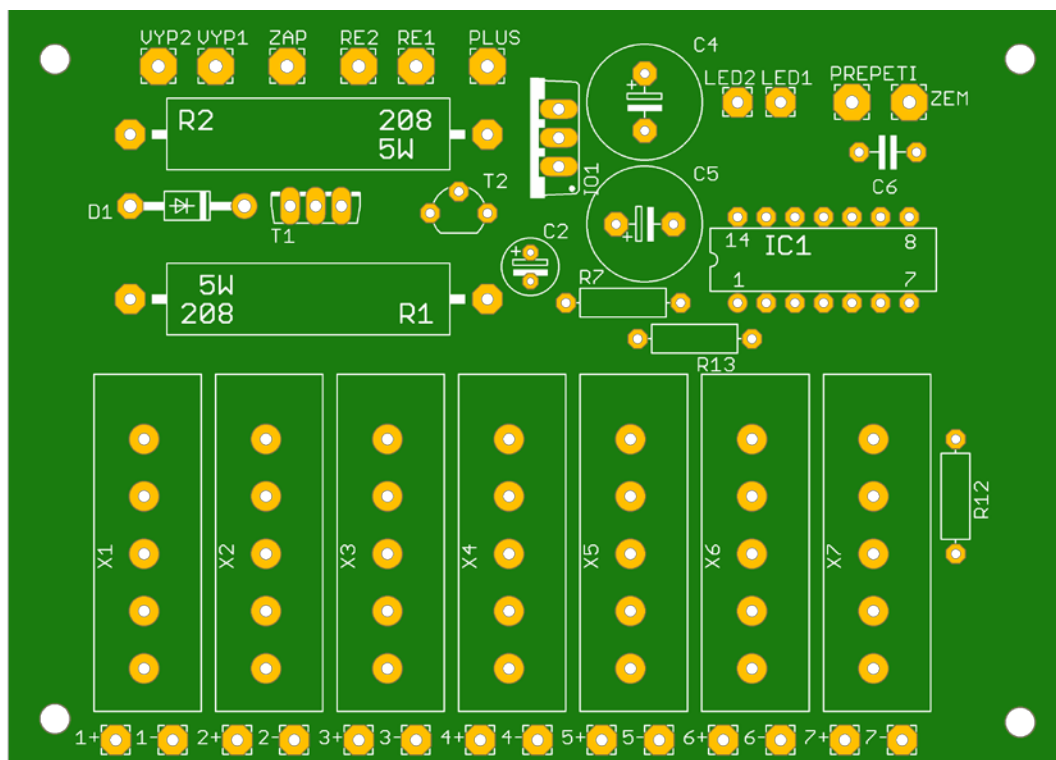
Příloha B - Schéma zapojení vyhodnocovacího obvodu



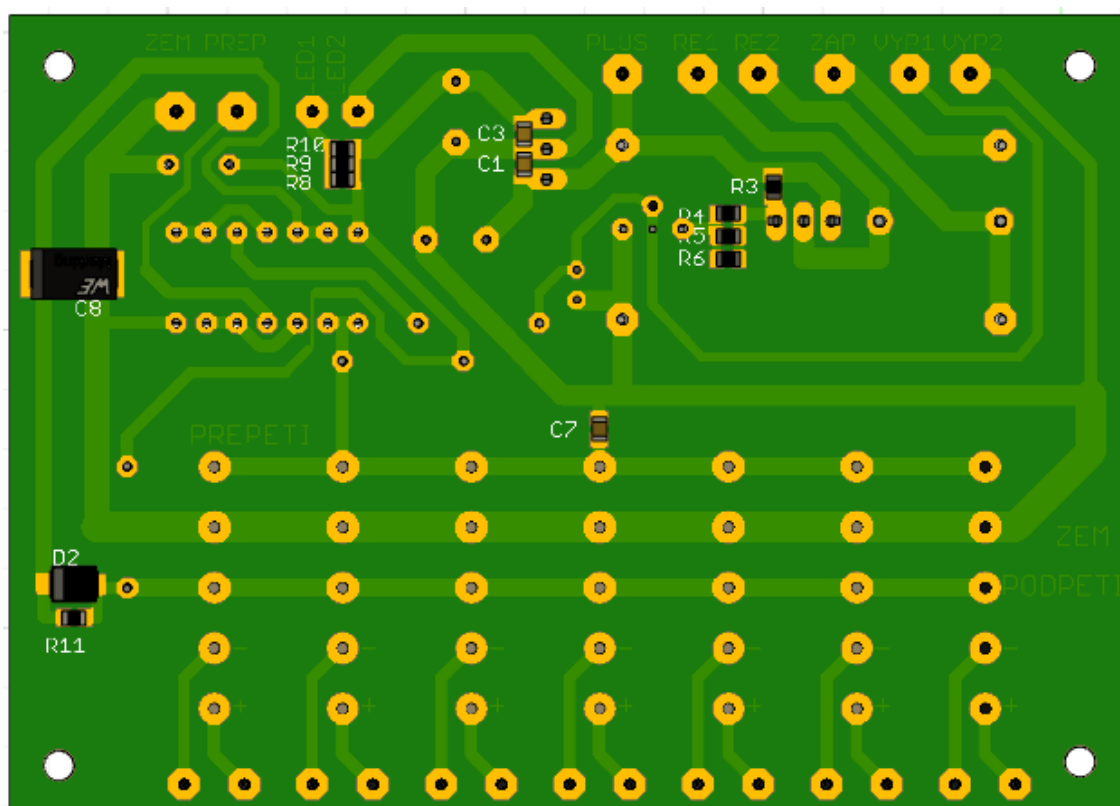
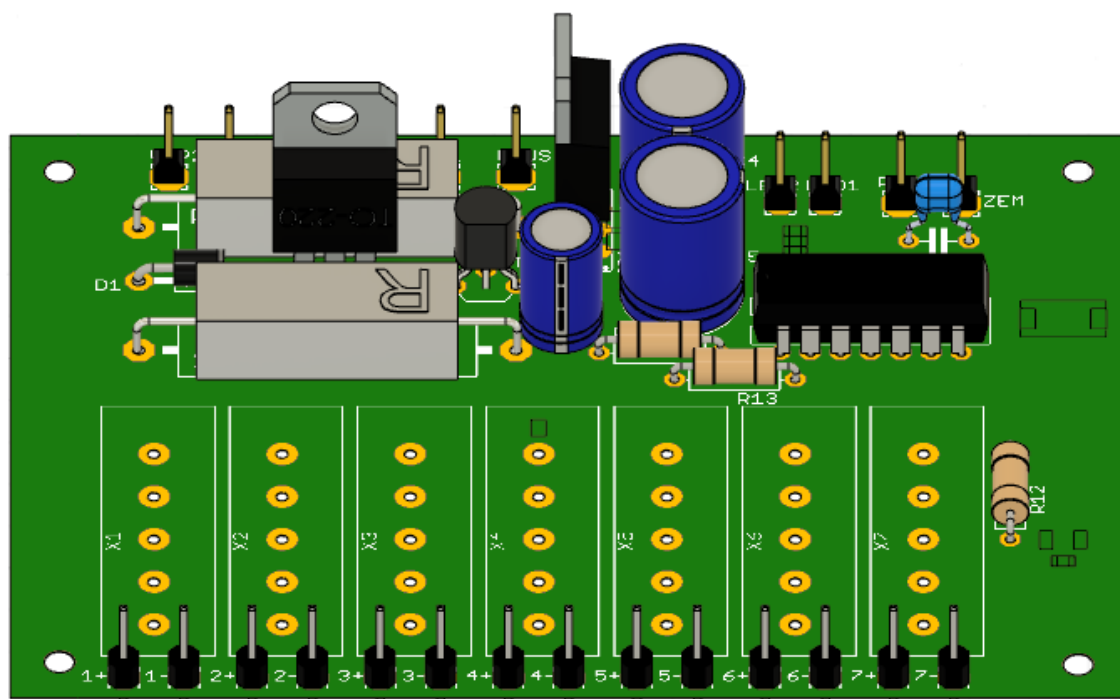
Příloha C - Návrh desky plošných spojů vyhodnocovací desky (strana spojů)



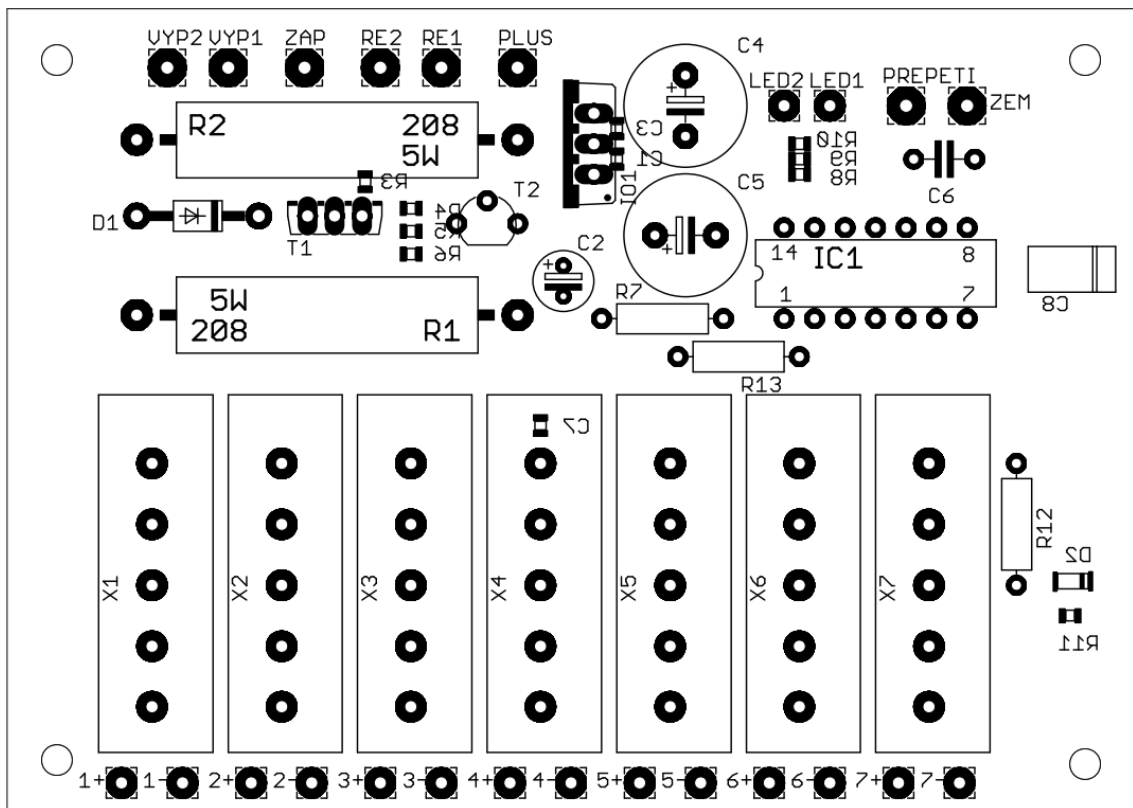
Příloha D - Návrh desky plošných spojů vyhodnocovací desky (strana součástek)



Příloha E - Návrh desky plošných spojů vyhodnocovací desky 3D model



Příloha F - Osazovací plán DPS vyhodnocovací desky

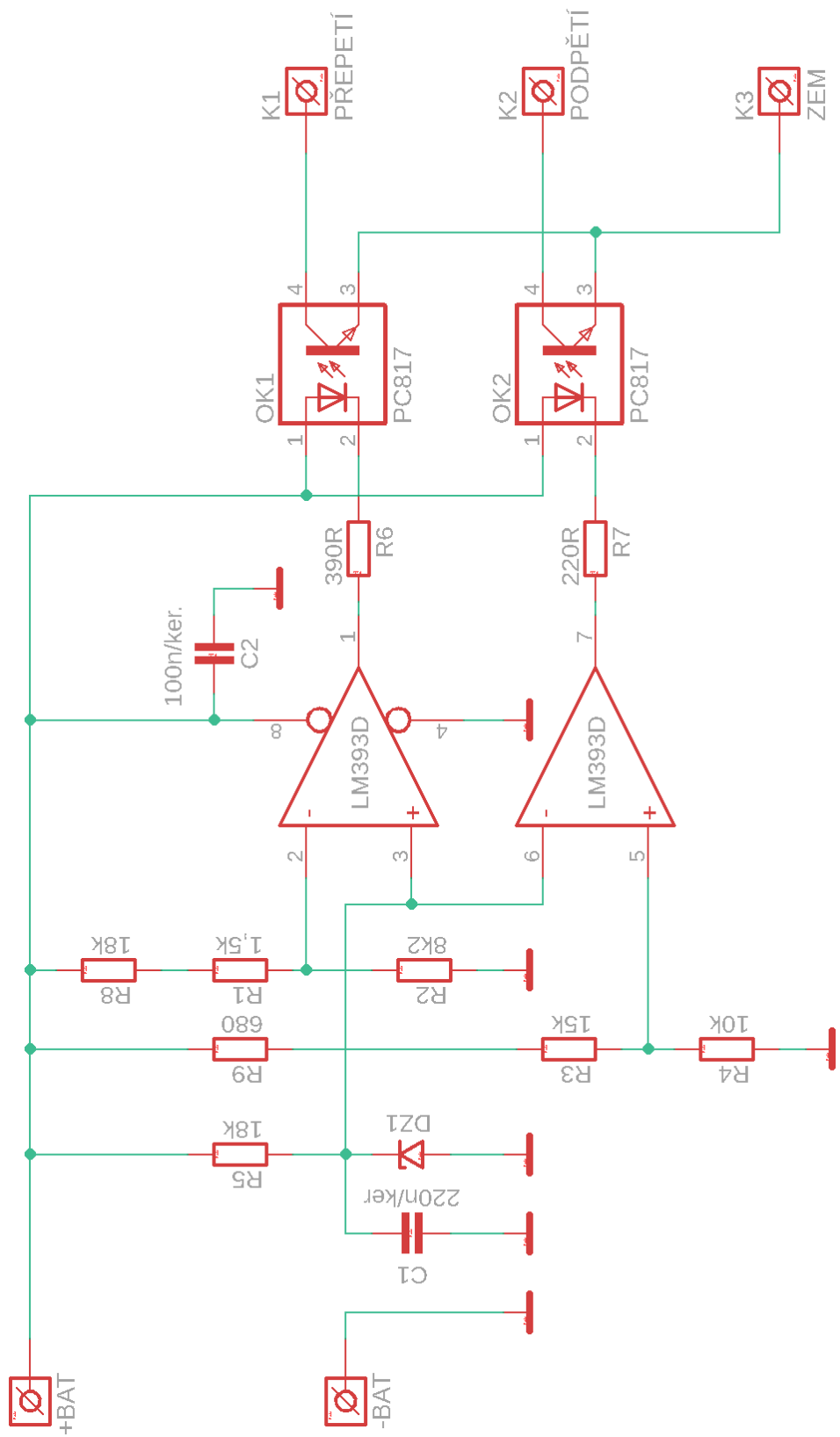


Příloha G - Seznam součástek řídicí desky

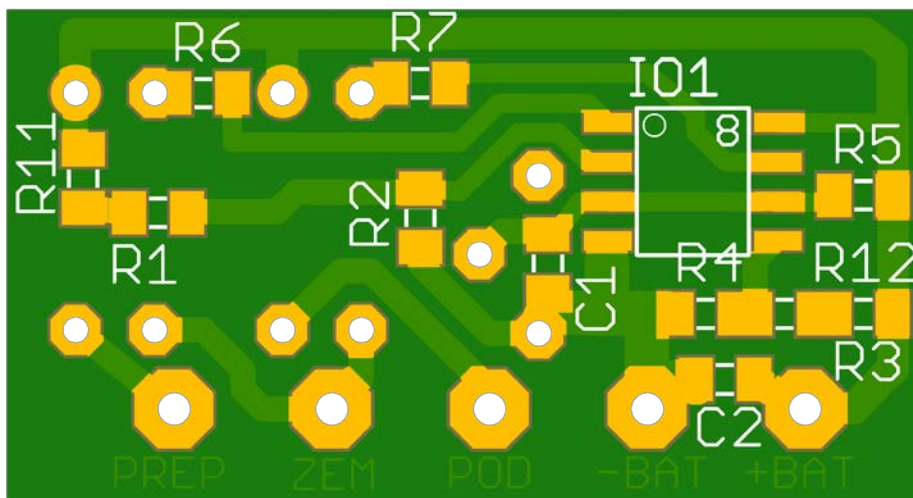
Označení	Hodnota / typ	Druh součástky	Pouzdro	Počet
C ₁ , C ₇	100 nF	Keramický kondenzátor	0805	2
C ₂	10 µF / 35 V	Elektrolytický kondenzátor	ES - 2,5	1
C ₃	100 nF	Keramický kondenzátor	0805	1
C ₄ , C ₅	100 µF / 35 V	Elektrolytický kondenzátor	ES - 5	2
C ₆	100 nF	Keramický kondenzátor	C - 5	1
C ₈	33 µF / 20 V	Elektrolytický kondenzátor	ELYT - SMD	1
R ₁	100 R / 5 W	Výkonový rezistor	208	2
R ₂	6R8 / 5 W	Výkonový rezistor	208	1
R ₃	680	Rezistor	0805	1
R ₄ , R ₅ , R ₆	10k	Rezistor	0805	3
R ₇	10k	Rezistor	R - 10	1
R ₈ , R ₉ , R ₁₀	2k7	Rezistor	0805	3
R ₁₁	22k	Rezistor	0805	1
R ₁₂ , R ₁₃	6k8	Rezistor	R - 10	2
D ₁	1N4007	Dioda	DO41	1
D ₂	1N4148	Dioda	SOD80	1
D ₃	Led zelená	Svítivá dioda	DIL	1
T ₁	BD136	PNP tranzistor	TO126	1
T ₂	BC337	NPN tranzistor	TO92	1
IC ₁	4011	Hradlo NAND	DIL14	1
IO ₁	7815	Napěťový Stabilizátor	TO220	1
K ₃	FRC6BA-1-DC	Relé s vysokou proudovou zatížitelností	-	1

F1	DC MEGA- pojistka 150A/32V	Pojistka	-	1
LED ₁	-	-	-	-
LED ₂	-	-	-	-
RE ₁	-	-	-	-
RE ₂	-	-	-	-
VYP ₁	-	-	-	-
VYP ₂	-	-	-	-
ZAP ₁	-	-	-	-
PLUS	-	-	-	-
PTEPETI	-	-	-	-
ZEM	-	-	-	-

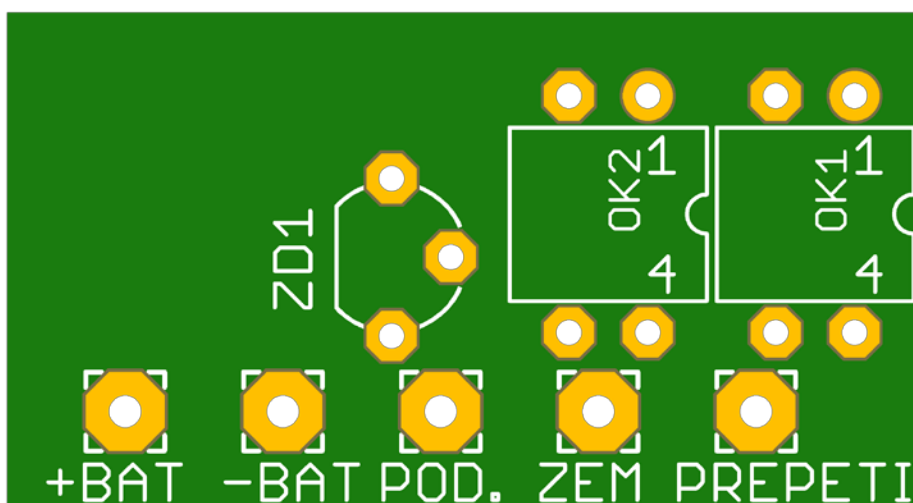
Příloha H - Schéma zapojení měřících obvodů



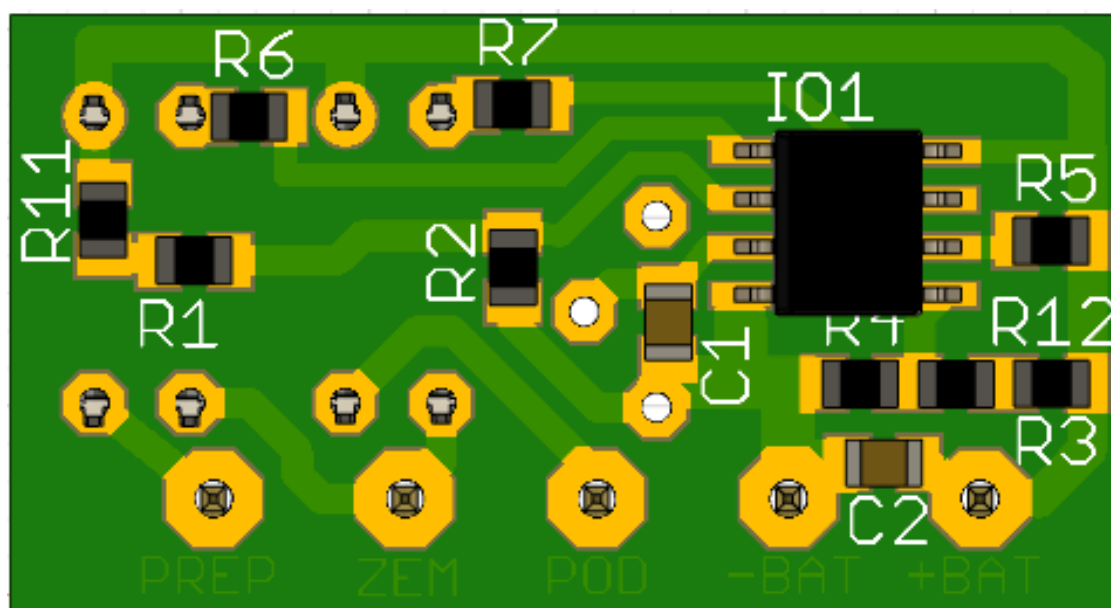
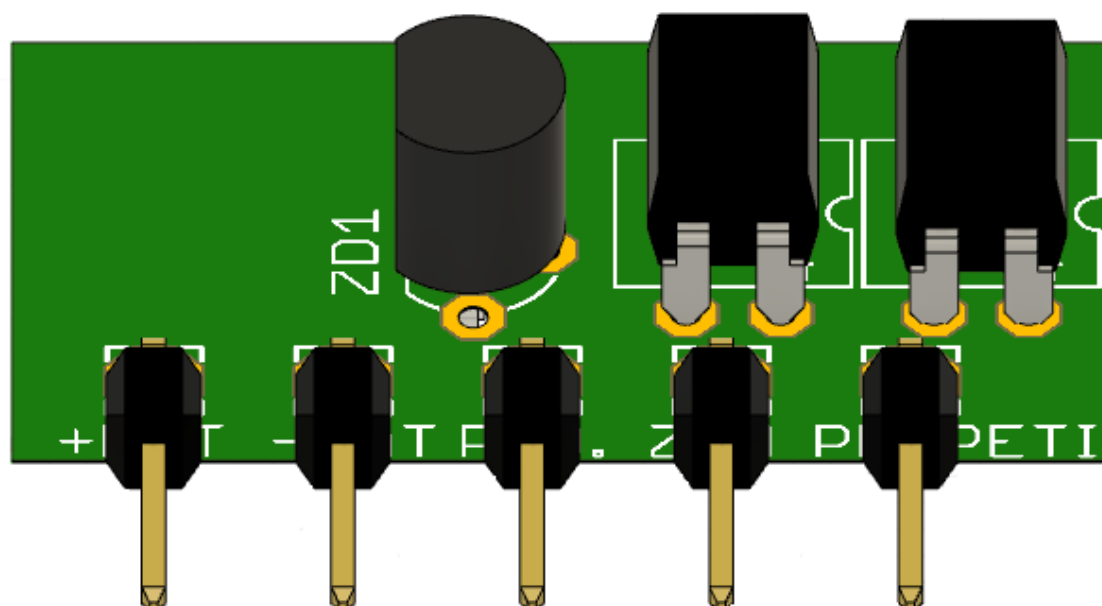
Příloha I - Návrh desky plošných spojů měřicí desky (strana spojů)



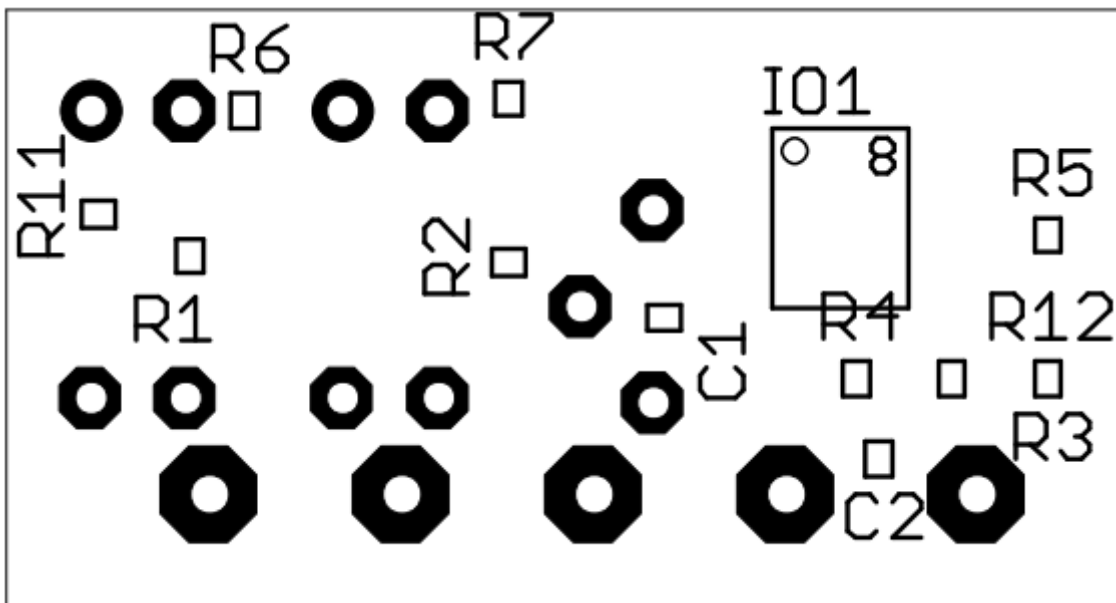
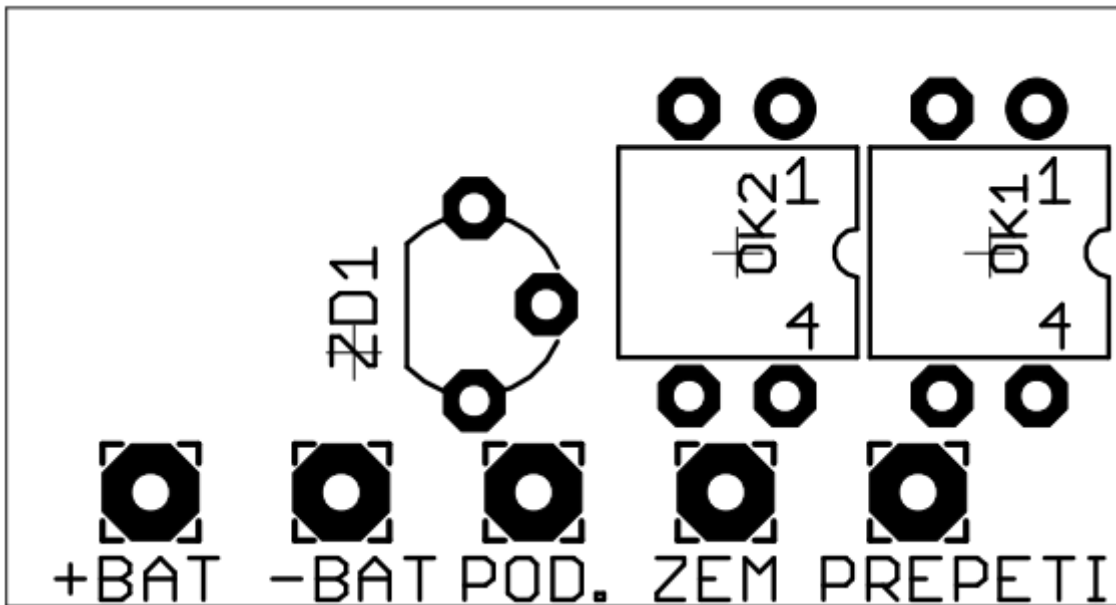
Příloha J - Návrh desky plošných spojů měřicí desky (strana součástek)



Příloha K - Návrh desky plošných spojů měřicí desky 3D model



Příloha L - Osazovací plán DPS měřící desky



Příloha M - Seznam součástek měřicí desky

Označení	Hodnota / typ	Druh součástky	Pouzdro	Počet
C ₁	220n	Keramický kondenzátor	0805	7
C ₂	100n	Keramický kondenzátor	0805	7
R ₁	1k8	Rezistor	0805	7
R ₂	8k2	Rezistor	0805	7
R ₃	15k	Rezistor	0805	7
R ₄	10k	Rezistor	0805	7
R ₅	18k	Rezistor	0805	7
R ₆	390	Rezistor	0805	7
R ₇	220	Rezistor	0805	7
R ₈	18k	Rezistor	0805	7
R ₉	680	Rezistor	0805	7
ZD ₁	LM385Z-1,2	Napěťová reference	TO92	7
U ₁	S393	Operační zesilovač	SO8	7
OK ₁ , OK ₂	PC817	Optočlen	DIL04	14
+BAT	-	-	-	-
-BAT	-	-	-	-
PODPETI	-	-	-	-
PREPETI	-	-	-	-
ZEM	-	-	-	-

Příloha N - Fotografie kompletní baterie s BMS a sekačka

