



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

ENERGY MANAGEMENT PRO ROBOTICKÉ VOZIDLO CAR4

ENERGY MANAGEMENT FOR ROBOTIC VEHICLE CAR4

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barnabás Dobossy

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Najman

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Barnabás Dobossy
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	Ing. Jan Najman
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energy management pro robotické vozidlo Car4

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat vytvořením systému pro sledování a řízení spotřeby elektrické energie na experimentálním vozidle Car4. Základem bude implementace specializovaného mikrokontroléru, jeho nastavení a propojení s hlavní řídicí jednotkou vozidla.

Cílem bude sledovat stav a predikovat výdrž baterií, zabránit jejich poškození a získané informace předávat nadřazenému řídicímu systému.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Zprovoznění vybraného mikrokontroléru pro monitorování spotřeby
 - Seznámení se s dokumentací
 - Návrh a výroba DPS
 - Zprovoznění komunikace přes rozhraní I2C
 - Nastavení parametrů mikrokontroléru
- 2) Otestování správného fungování jednotky na několika různých bateriích
- 3) Připojení na vozidlo Car4
 - Připojení na baterie a výkonovou elektroniku
 - Připojení na hlavní řídicí jednotku vozidla
 - Vytvoření algoritmu na zpracování měřených dat během provozu (výpočet zbývajících času provozu, včasné varování a případné omezení výkonu, ...)

Seznam literatury:

ANDREA, D.: Battery management systems for large lithium-ion battery packs. Boston: Artech House, 2010. ISBN 1608071057.

BRABENEC, P.: Systémy správy baterií pro mobilní robotiku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014.

SEJKORA, P.: Obvody zajišťující správné nabíjení a vybíjení akumulátorů LiFePO₄. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.

Dokumentace BQ34Z100-G1. Texas Instruments [online]. [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/BQ34Z100-G1/description>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá s návrhom a implementáciou meracej jednotky na odhad zostávajúcej kapacity batérie na experimentálnom vozidle Car4. V prvej časti práce je popísané prečo je monitorovanie batérií taká podstatná a zložitá úloha, ktorá je závislá aj na ďalších rôznych vonkajších vplyvoch. Druhá časť práce popisuje návrh , konfiguráciu a vznik aktualizovaného ovládacieho programu na riadiacej jednotke Car4.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

monitorovanie batérie, kapacita, mikrokontrolér pre monitorovanie spotreby, DPS, Car4, I2C

ABSTRACT

This thesis describes the design process and implementation of a measurement unit for state of charge estimation of the batteries of experimental vehicle Car4. The first part is devoted to give insight into why battery monitoring is so important and difficult task at the same time, which is often influenced by ambient effects. The second part describes the design and configuration process and the creation of control algorithm for the central control unit of Car4

KEYWORDS

battery managment, capacity, fuel gauge, PCB, Car4, I2C

DOBOSSY, Barnabás *Energy managment pro robotické vozidlo Car4: semestrálny projekt*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, 2017. 58 s. Vedúci práce bol Ing. Jan Najman

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoj semestrálny projekt na tému „Energy managment pro robotické vozidlo Car4“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho semestrálneho projektu, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedeného semestrálneho projektu ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohoto semestrálneho projektu som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisujúcich s právom autorským a o zmeně niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Janovi Najmanovi za jeho vedenie, konzultácie a cenné rady počas tvorby tejto práce. Ďalej by som sa rád poďakoval tímu z Mechlabu, obzvlášť Ing. Michalovi Matějáskovi za poskytnutú pomoc a za vytvorenie príjemného pracovného prostredia. V neposlednom rade ďakujem svojim rodičom a priateľom za ich podporu a dôveru.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

Obsah

1	Úvod	17
2	Dnešné trendy v používaní batérií	18
2.1	Faktory ovplyvňujúce výkon[3]	18
2.1.1	Napäťová úroveň	18
2.1.2	Vplyv veľkosti prúdu pri vybíjaní	19
2.1.3	Režim vybíjania	19
2.1.4	Vplyv teploty	20
2.2	Predstavenie batérií na báze lítia	21
2.3	Dôležitosť monitorovania batérie	23
3	Základné metódy monitorovania	25
3.1	Odhad SOC na základe napätia naprázdno	26
3.2	Coulomb-Counting	27
4	Formulácia cieľov práce a experimentálne vozidlo Car4	28
4.1	Formulácie cieľov	28
4.2	O projekte Car4	28
5	Zvolené riešenie	29
5.1	Mikrokontrolér bq34z100-G1	29
5.1.1	Algoritmus Impedance Track	31
5.2	Návrh plošného spoja	32
5.3	Konfigurácia	36
5.3.1	Základné bloky tvoriace konfiguračný kód	37
5.3.2	Konfiguračný proces	38
6	Návrh displeja a aktualizácia softvéru	43
6.1	Návrh displeja	43
6.2	Program pre displej	44
6.3	Aktualizácia softvéru	46

7 Overenie presnosti nastavení čipu	50
8 Záver	53
Literatúra	55
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	58
Zoznam príloh	58

Zoznam obrázkov

1.1	Model S od značky Tesla [1]	17
2.1	Vplyv režimu vybíjania na prúdovú, napätovú a výkonovú charakteristiku batérie, pri nabíjaní (a) a pri vybíjaní (b) [3]	20
2.2	Priebeh napätia počas vybíjania batérie v závislosti na teplote [3]	21
2.3	Pohyb iontov vo vnútri lítium-iontovej batérie[5]	22
3.1	Závislosť napätia na SOC pri vybíjaní (a) olovený akumulátor[9] (b) lítium-iontová batéria [5]	26
5.1	Schéma zapojenia deliča	33
5.2	Schéma zapojenia bočníku	34
5.3	Schéma zapojenia LDO napätového regulátoru	35
5.4	Spojenie zeme mostom [23]	35
5.5	Umiestnenie súčiastok na doske plošných spojov	36
5.6	Výpočet nového Checksumu v Simulinku	39
5.7	Bloková schéma správy vyčítania dát z registru Voltage()[19]	39
5.8	Správa zo Simulinkovského bloku I2C Bus na vyčítanie z registru Voltage()	40
5.9	Správa zo Simulinkovského bloku I2C Bus posielanie Unsealed kódu	40
6.1	Schéma zapojenia mikrokontroléru bq34z100-G1 a displeja na vozidlo Car4	43
6.2	Schéma zapojenia displeja	44
6.3	Schéma zapojenia displeja	45
6.4	Časť z aktualizovaného programu Car4	47
6.5	Vývojový diagram obmedzenia rýchlosti	48
6.6	Kód pre obmedzenie rýchlosti	49
7.1	Schéma zapojenia pre otestovanie meracieho mikrokontroléru	50
7.2	Výsledky merania prúdu	51
7.3	Výsledky merania prúdu v priebehu vybíjania batérie	51
7.4	Výsledky merania napätia	52
8.1	Experimentálne vozidlo Car4 s displejom	53
8.2	Displej v priebehu prevádzky	54

Zoznam tabuliek

3.1	Zhrnutie vlastností vybraných metód na odhad SOC	25
5.1	Základné dátové príkazy-datasheet [25]	30
5.2	Nastavenie registrov týkajúce sa merania napätia	41
5.3	Nastavenie registrov týkajúce sa snímania prúdu	42
5.4	Nastavenie ChemID	42

1 ÚVOD

V posledných rokoch môžeme byť svedkom rýchleho rozvoja a rozširovania hybridných automobilov a automobilov poháňaných čiste elektrickými pohonmi. Ich rozvoj v značnej miere umožnili napredovania vývoja batérie z alkalického kovu lítia. Tieto nové batérie sa vyznačujú svojou výrazne zlepšenou kapacitou, životnosťou a spoľahlivosťou.

Skoro každá svetová automobilová značka už uviedla na trh aspoň jeden model auta poháňaného elektrickými alebo hybridnými pohonmi. Na základe tohto trendu sa očakáva ďalší vývoj v tejto oblasti.

Napriek tomu, že batérie prešli neprecedentným rozvojom, problémy s batériovými článkami stále zotrávajú. Preto je snahou firiem vytvoriť zariadenia a algoritmy na sledovanie stavu článkov a takto sa vyhnúť možným problémom, ktoré môžu byť nebezpečné a môžu ohroziť ich používateľov. (vznietenie vozidla Tesla Model S, smartfón Samsung Galaxy Note 7).



Obr. 1.1: Model S od značky Tesla [1]

Cielom bakalárskej práce je navrhnuť a sprevádzkovať monitorovaciu jednotku na experimentálnom vozidle Car4 a otestovať presnosť vybraného riešenia. Ďalším cieľom práce je softvérové obmedzenie výkonu vozidla v prípade nízkej hodnoty nabitia batérie.

2 DNEŠNÉ TRENDY V POUŽÍVANÍ BATÉRIÍ

Batéria je zariadenie, v ktorej dochádza k premene chemickej energie na elektrickú energiu. Batérie delíme na:

- batérie primárne (jednorázové vybitie)
- batérie sekundárne (opakované nabíjanie a vybíjanie)

Konštrukčne sa skladajú z kladnej elektródy-katódy a zo zápornej elektródy-anódy. Medzi anódou a katódou je elektrolit, ktorý umožňuje pohyb nosiča nábojov medzi elektródami.[2]

Chemické reakcie odohrávajúce sa vo vnútri článku medzi anódou a elektrolitom vyvolávajú tok elektrónov cez obvod späť do katódy. Vďaka chemickým reakciám dochádza k preskupeniu aniónov a kationov.

Keď chemické reakcie nie sú schopné dodať potrebnú energiu na pohyb iónov, považujeme stav batérie za vybitú. Rýchlosť vybíjania batérie ovplyvňuje niekoľko vonkajších i vnútorných faktorov.

Obsah kapitoly: Podkapitola 2.1. predstavuje Lítium-ion a Lítium-polymerové batérie, ich výhody, nevýhody. Podkapitola 2.2. popisuje základné ovplyvňujúce javy znižujúce stav nabitia a životnosť batérií. Podkapitola 2.3. sa zaoberá s dôležitosťou monitorovania stavu nabitia batérií.

2.1 Faktory ovplyvňujúce výkon[3]

Hodnoty udávané na štítkoch batérií popisujú vlastnosť batérií iba za optimálnych podmienok. V praxi sú takéto podmienky málokedy napodobňovateľné. Jedným z hlavných dôvodov je, že tieto okolnosti sú príliš špecifické, ďalším je, že zariadenia, ktoré sú napájané z týchto zdrojov pracujú často za veľmi nepriaznivých podmienok.

Následujúca časť sa zaoberá zobecneným popisom jednotlivých ovplyvňujúcich okolností výkonu batérie od seba oddelene. V skutočnosti nemôžeme zabrániť vzájomným pôsobeniam týchto vplyvov. Napríklad, u batérií na skladovanie je nutné dávať si pozor nielen v prípade vysokých teplôt, ale aj po tvrdom vybíjaní.

2.1.1 Napäťová úroveň

Pri vybíjaní je napätie akumulátoru nižšie než teoretické napätie, ktoré závisí na materiále elektród a na type elektrolitu. Je to spôsobené vnútorným odporom a polarizáciou použitých materiálov. V ideálnom prípade vybíjanie prebieha dovedy,

kým napätie na svorkách nebude nulové a celková energia neklesne na nulu. V skutočnosti práve vyššie zmienené straty a zvýšenie vnútorného odporu neumožňujú úplné vybitie batérií. Z toho plynie, že nemôžeme plne využiť uloženú energiu v článkoch batérie.

2.1.2 Vplyv veľkosti prúdu pri vybíjaní

Zvýšením prúdového odberu rastú straty vďaka vnútornému odporu a polarizačnému javu. Straty na vnútornom odpore (v anglickej literatúre "IR losses") sú závislé na veľkosti prúdu-odtiaľ pochádza názov.

Veľký odber prúdu prináša aj znížené svorkové napätie, zníženú životnosť a pokles kapacity. Z toho plynie, že pri veľmi pomalom vybíjaní sa teoreticky môže nastať situácia kedy sa svorkové napätie bude rovnať teoretickému.

Veľkosť prúdového odberu (I_t), sa obvykle udáva ako zlomok celkovej kapacity vyjadrenej (C_t) v ampér hodinách a dobu vybíjania (t) zadaného v hodinách.

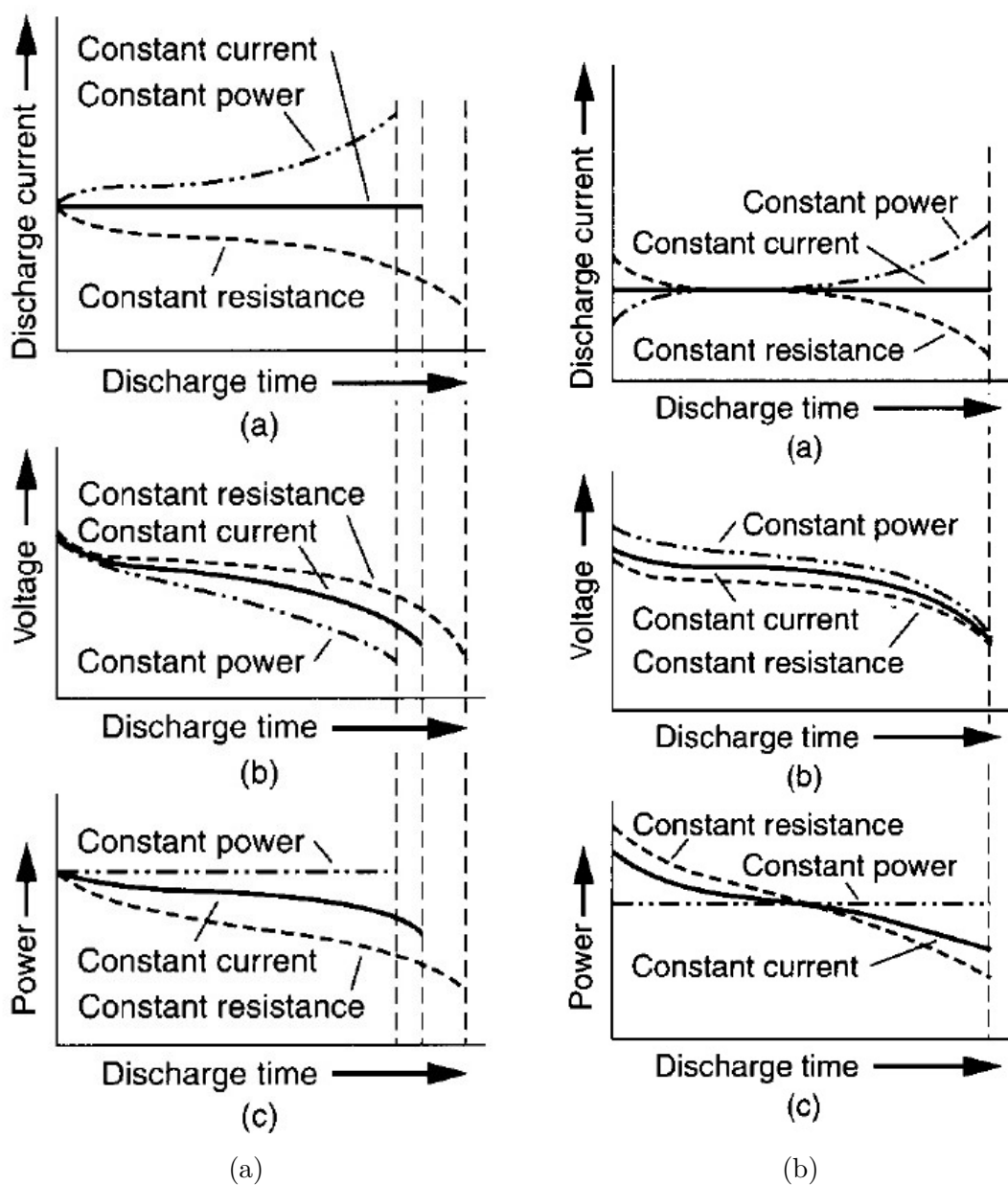
$$I_t = \frac{C_t}{t} \quad (2.1)$$

Napríklad batériu s kapacitou $5Ah$ po dobu 5 hodín budeme vybíjať prúdom o veľkosti $0,5A$.

2.1.3 Režim vybíjania

Režim vybíjania má výrazný vplyv na výkon batérie a na jej životnosť. Preto je vhodné už od návrhového procesu zariadenia počítať s rovnakými prevádzkovými podmienkami ako v priebehu aplikácie. Tri najzákladnejšie režimy vybíjania sú nasledovné:

1. Konštantný odpor: Odpor záťaže sa nemení pritom prúd klesá úmerne s napätím.
2. Konštantný prúd: Pri tomto režime pracujeme so stálym prúdom.
3. Konštantný výkon: Prúd a napätie sa mení, pritom ich súčin je konštantný ($P = U.I$).

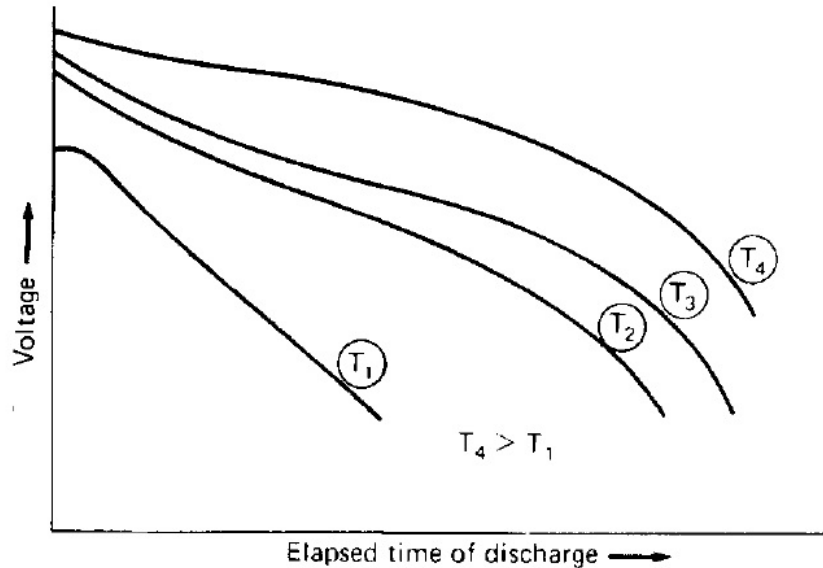


Obr. 2.1: Vplyv režimu vybíjania na prúdovú, napätovú a výkonovú charakteristiku batérie, pri nabíjaní (a) a pri vybíjaní (b) [3]

2.1.4 Vplyv teploty

Na teplote, pri ktorej prebieha proces vybíjania batérie, výrazne závisí kapacita a napätová charakteristika. Klesajúcou teplotou rastie vnútorný odpor, klesá chemická aktivita a kapacita článku. Najpriaznivejšie chovanie majú batérie v rozmedzí teplôt od 20 do 40°C. Pri vyšších teplotách naopak vnútorný odpor klesá, vybíjacie

napätie a výstupná energia rastie. Rast teploty prináša so sebou aj zvýšenú chemickú aktivitu, dôsledkom toho dochádza k vybitiu kapacity batérií rýchlejšie.



Obr. 2.2: Priebeh napätia počas vybijania batérie v závislosti na teplote [3]

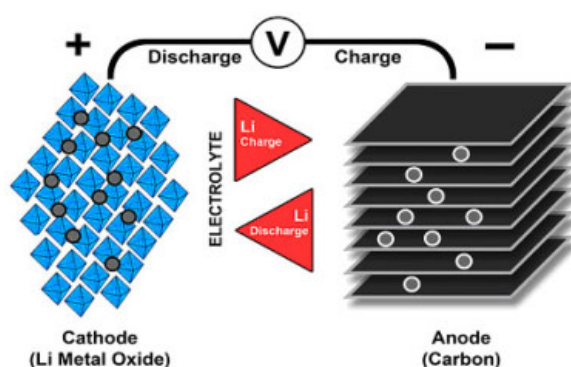
2.2 Predstavenie batérií na báze lítia

Lítium je tretí prvok z periodickej sústavy, je to najľahší a jeden z najmäkších kovov na svete. Vďaka svojim priaznivým vlastnostiam v mnohých aplikáciach nahradil predtým používané alkalické články.[5] V súčasnosti sa používa ako zdroj elektrickej energie od prenosných elektrických spotrebičov (mobilné telefóny), digitálne kamery, až po medicínske zariadenia a elektrické autá. Vlastnosti lítiových batérií s tekutým elektrolitom [5]:

- **Výhody:**
 - Vysoká hustota energie (veľká kapacita)
 - Relatívne nízke samovybijanie (menej než polovica v porovnaní s batériami na báze niklu)
 - Nízke nároky na údržbu (nie je ich nutné periodicky vybiť)
 - Niektoré špeciálne články sú schopné dodať vysoké prúdy
- **Limitácie:**
 - Potreba ochranného obvodu, aby pri vybijaní nedošlo k poškodeniu batérie

- Starnutie (pri skladovaní na chladnom mieste sa môže stav nabitia znížiť aj o 40%)
- Pomerne vysoká cena výroby (približne o 40% oproti nikel-kadmiovým akumulátorom)

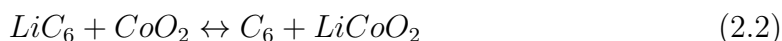
Vývoj batérií pokračuje aj v súčasnosti. Dnes sa experimentuje s rôznymi materiálmi z ktorých by sa dala vyrobiť anóda alebo katóda s lepšími vlastnosťami, čo sa týka kapacity alebo životnosti batérie. Bolo zistené, že použitím oxidu kobaltu ako katódy by prinieslo väčšiu kapacitu batérií. Dlhšiu životnosť môžeme dosiahnuť napríklad oxidmi fosforečnanu za cenu zníženej kapacity a výstupného napätia.



Obr. 2.3: Pohyb iontov vo vnútri lítium-iontovej batérie[5]

Rovnako ako batérie na báze olova a niklu aj lítium-iontovové články sa skladajú z katódy (oxid kovu), anódy (grafit) a elektrolitu. V priebehu vybíjania ionty putujú z anódy na katódu cez elektrolit. Pritom sa na anóde odohráva oxidácia a na katóde redukcia. Počas nabíjania je smer pohybu nosičov opačný. Vo vnútri batérie sa odohráva nasledujúca chemická reakcia :

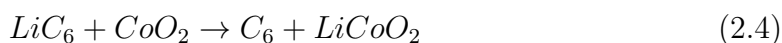
Redoxná reakcia:



Redukcia na katóde:



Oxidácia na anóde:



Lithium-polymerové batérie

Z hľadiska bakalárskej práce je dôležitý lítium-polymerový akumulátor, ktorý sa používa ako napájanie robotického vozidla Car4.

Tento druh batérie sa líši od batérií z predchádzajúcich častí podkapitoly iba vo vnútornej stavbe. Na rozdiel od iných lítiových akumulátorov je elektrolit tvorený vodivým polymerom obsahujúcim rozpustenú soľ lítia. Tento druh elektrolitu sa podobá na tenký film z plastového materiálu (približne 0.1mm hrubý), ktorý umožňuje elektrónom pohybovať sa medzi anódou a katódou a pritom slúži aj ako separátor elektród. Ako materiál kladnej elektródy sa používajú oxidy kovov, medzi ktorými je najpoužívanejší oxid kobaltu. [6]

Výhody litium-polymerových batérií:

- Neobsahuje tekutý alebo gélový elektrolit (zvýšená bezpečnosť)
- Extrémne nízka vnútorná impedancia (minimálna strata energie v teplo)
- Vysoká hustota energie (o 50% viac než v iných lítiových batériách)
- Znížená cyklická degradácia (zvýšená životnosť)
- Nízke výrobné náklady
- Flexibilný tvar

2.3 Dôležitosť monitorovania batérie

Monitorovanie batérie sa stalo dôležitou oblasťou výskumu. Je to spôsobené so zvyšujúcim sa dopytom po zariadeniach s vlastným zdrojom elektrickej energie, u ktorých je cieľom zníženie nákladov na údržbu, zvýšenie životnosti, spoľahlivosti a bezpečnosť čoraz podstatnejšie.

Spoľahlivosť v súvislosti s batériami znamená odhalenie chýb ešte v začiatočnej fáze, aby neskôr nedošlo k nečakaným poruchám. Najčastejšie používaným a jedným z najspoľahlivejších indikátorom zmien je vnútorný odpor batérie. Odpor sa mení vďaka chemickým reakciám odohrávajúcich sa počas vybíjania a nabíjania článkov, keď sa na elektródach vytvára tzv. medzi fázová vrstva SEI (Solid Elektrolit Interphase).

Monitorovanie batérií prináša skrátenú dobu údržby, optimalizovanú životnosť a znížené náklady vývoja pred uvedením nového produktu na trh.

Kým vyššie popísané body boli dôležité iba z hľadiska výrobcov, tak bezpečnosť sa týka aj zákazníkov, ktorí vyprodukované výrobky používajú. Pomocou mo-

nitorovania sa dá vyhnúť nežiadajúcim javom ako napríklad prebíjanie, nadmerné vybíjanie, alebo ohrievanie batérie, ktoré vedú k jej poškodeniu a následnému opotrebovaniu. Nadmerné opotrebenie batérie môže byť spojené aj so vznikom požiaru.[7]

3 ZÁKLADNÉ METÓDY MONITOROVANIA

Kapitola sa zaoberá spôsobmi monitorovania stavu batérie, pomocou veličín stavu nabitia (State of Charge), v ďalšej časti sa bude označovať skratkou SOC. Veličina vyjadrujúca množstvo využiteľnej energie v batérii. Môžeme ju vyjadriť nasledujúcim vzťahom:[8]

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_n(t)}, \quad (3.1)$$

kde $Q(t)$ je dostupná kapacita a $Q_n(t)$ je nominálna kapacita.

Metóda	Typ metódy	Výhody	Nevýhody
Meranie napätia naprázdno	Priamé meranie	<ul style="list-style-type: none"> • Jednoduchá • Presná pri malej záťaži 	<ul style="list-style-type: none"> • Závislá na teplote • Závislá na veľkosti záťaže • Prechodový dej
Coulomb-Counting	Book-keeping estimation	<ul style="list-style-type: none"> • Jednoduchá • Presná 	<ul style="list-style-type: none"> • Náchylná na parazitné javy • Závislá na teplote • Problém s počiatočnými podmienkami • Stratový model

Tab. 3.1: Zhrnutie vlastností vybraných metód na odhad SOC

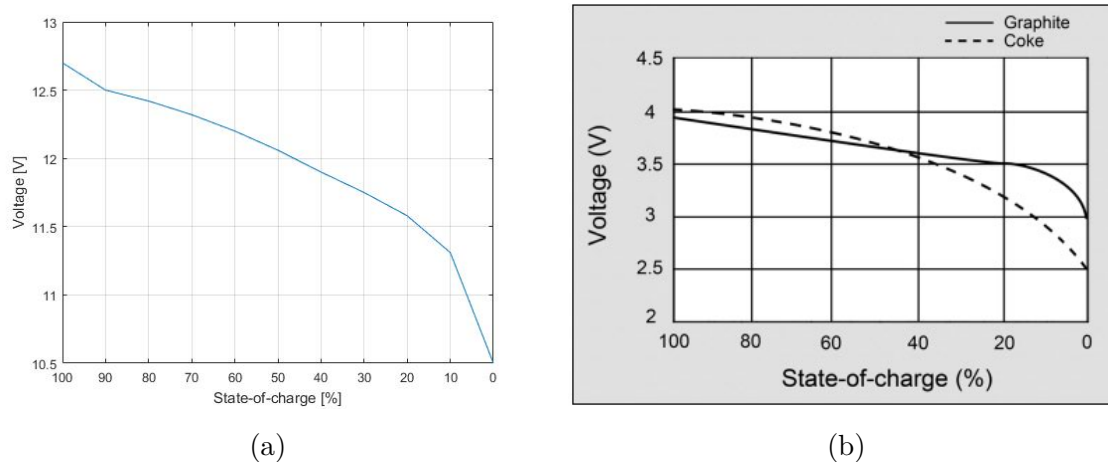
Použitelných metód je niekoľko, niektoré z nich sú nevyspelé, kým ďalšie využívajú umelú inteligenciu na zlepšenie presnosti merania a opäť ďalšie kombinujú primitívnejšie a menej presné postupy a takýmto spôsobom eliminujú ich nedostatky

a dosahujú presnejšie výsledky než iné metódy. V tabuľke 3.1 sú zhrnuté základné spôsoby odhadu SOC.

Obsah kapitoly: V podkapitole 3.1 a 3.2 sú podrobne popísané dva základné spôsoby odhadu SOC, metóda meranie napätia naprázdno a metóda Coulomb-counting. Podkapitola 3.3 odôvodňuje zvolené riešenie práce. Podkapitola 3.4 obsahuje ciele práce.

3.1 Odhad SOC na základe napätia naprázdno

Meranie SOC na základe napätia naprázdno patrí medzi priamé metódy. Za priamú metódu sa považuje kvôli tomu, že v prípade starších olovených akumulátorov je medzi napätím a SOC približne lineárna závislosť. V prípade batérie na báze lítia už to rozhodne neplatí. Je to spôsobené s tým, že snahou výrobcov je vytvoriť batérie, ktoré počas vybíjania poskytujú čo najdlhšie konštantnú hodnotu napätia na svorkách. Práve to je jeden z dôvodov, prečo táto metóda nie je príliš presná.



Obr. 3.1: Závislosť napätia na SOC pri vybíjaní (a) olovený akumulátor [9] (b) lítium-iontová batéria [5]

Medzi ďalšie príčiny nepresnosti metódy patrí vnútorná impedancia batérie, ktorá už bola zmienená v podkapitole 2.1.1, ako jeden z ovplyvňujúcich faktorov výkonu. Vplyv tejto impedancie sa nedá kompenzovať, kvôli tomu že nie je konštantná, mení sa časom a jej veľkosť sa môže zdvojnásobiť v priebehu 100 cyklov.

Ďalšou príčinou nepresnosti metódy je prechodový jav, tzv. Transient Response batérie. Tento jav je jedným z dôvodov nelinearity napäťovej charakteristiky a je to

spôsobené vnútornou impedanciou batérie. Hovoríme o impedancii kvôli tomu, že vnútorná štruktúra batérie čo sa týka chovania pripomína zložitý obvod, ktorý obsahuje okrem odporov aj kondenzátory a induktor, ktoré majú exponenciálnu odozvu. Preto pri pripojení a odpojení záťaže nemá batéria lineárnu charakteristiku a nedokážeme rovno po odpojení záťaže presne určiť napätie.

Vplyv teploty je opäť nezanedbateľný, a ovplyvňuje všetky vyššie popísané príčiny. S vplyvom teploty sa podrobnejšie zaoberá podkapitola 2.1.4 .

3.2 Coulomb-Counting

Coulomb-Counting je jeden z najpoužívanejších metód na odhad SOC. Používa sa najmä v prenosných zariadeniach, ako napríklad mobilné telefóny, alebo v poslednej dobe v elektromobiloch. Pri stanovení SOC pomocou tohto postupu sa používa vybíjací prúd (resp. nabíjací prúd). Integráciou nameraného prúdu podľa času dostávame prenesený náboj (SOC) v prípade, že ešte poznáme hodnotu SOC v čase začiatku vybíjania (resp. nabíjania) sme schopný sledovať stav nabitia batérie. Potom platí:

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + \frac{I(t)}{Q_n(t)} \cdot \Delta t, \quad (3.2)$$

kde Q_n je nominálna kapacita batérie vyjadrená v mAh . Je zrejmé, že z hľadiska presnosti je podstatné aby počiatočná hodnota SOC bola čo najpresnejšia. Jedným z postupov, ako to určiť je na základe vzorca:

$$Q_{max} = \frac{I(t) \cdot \Delta t}{\Delta SOC(t)}, \quad (3.3)$$

S týmto vzťahom sa bude podrobnejšie zaoberať nasledujúca kapitola. V prípade, že počiatočné podmienky metódy sú presné, je to oveľa presnejšie než odhad SOC na základe napätia, keďže je menej náchylné na jeho nedostatky. Preto sa často používa na posúdenie presnosti ďalších metód.

Napriek tomu ani Coulomb-Counting nie je dokonalý, presnosť metódy závisí na teplote, na veku batérie. Presnosť merania sa znižuje po 10 cykloch o 1%. [10] Ďalšie nevýhody sú, že neumožňuje zachytiť javy ako samovybíjanie a degradácia batérie, tieto nedokonalosti sa kompenzujú pomocou stratového modelu.

4 FORMULÁCIA CIEĽOV PRÁCE A EXPERIMENTÁLNE VOZIDLO CAR4

Obsah kapitoly: Podkapitola 4.1 sa zaoberá popisom cieľov práce a podmienkami, ktoré má splňať riešenie. V podkapitole 4.2 bude krátko predstavené vozidlo Car4.

4.1 Formulácie cieľov

Na základe znalosti zadania práce boli stanovené nasledujúce ciele a požiadavky práce:

Ciele práce:

- Vybrať vhodnú metódu pre monitoravnia batérie vozidla Car4. Vybrané riešenie musí byť:
 1. Robustné a presné bez ohľadu na priebeh zaťažovania a vnútorné podmienky
 2. Schopné monitorovať väčší počet batérií
 3. Vhodné pre batérie druhu lítium-polymer
- Návrh a nastavenie integrovaného obvodu
- Otestovať presnosť riešenia na sade skúšobných batérií
- Namontovať na experimentné vozidlo Car4 už hotové zariadenie
- Vizualizácia nameraných dát

Požiadavky na riešenie:

- Presnosť nameraných dát
- Poskytnutie podrobných informácií o stave batérie.
- Programovateľnosť cez prostredie Matlab/Simulink
- Komunikácia s hlavnou riadiacou jednotkou vozidla cez UART alebo I2C

4.2 O projekte Car4

Experimentálne vozidlo Car4 vzniklo v roku 2010 ako výsledok troch diplomových a jednej bakalárskej práce. Ich zásluhou bola vytvorená konštrukcia, výkonová elektronika a riadiacia jednotka. Od tej doby prešiel Car4 niekoľkokrát prestavbou elektroniky a mechaniky.

Súčasný stav vozidla:[18]

- Riadiacu jednotku tvoria tri mikrokontroléry typu dsPIC33FJ128MC804
- Vozidlo je ovládateľné pomocou diaľkového ovládača a cez UART
- Zdrojom elektrickej energie sú seriovo paralelne zapojené lítium-polymerové batérie, s nominálnym napätím 22,2V a celkovou kapacitou 13200mAh

5 ZVOLENÉ RIEŠENIE

Na základe znalosti problematiky monitorovania batérií vzniklo rozhodnutie o výbere zariadenia, ktoré už má v sebe implementované algoritmy umožňujúce presné a spoľahlivé sledovanie stavu batériových článkov. Meracie zariadenie bolo vybrané na základe nasledujúcich kritérií:

- Zariadenie musí umožniť meranie minimálne 6 sériovo zapojených článkov.
- Merací rozsah:
 - napätia: minimálne do 25V
 - kapacity: minimálne do 14000mAh
 - prúdu: do 60A (špičková hodnota)
- Zariadenie musí byť vhodné pre chemické zloženie LiPo.
- Komunikačné rozhranie I2C na komunikáciu s hlavnou riadiacou jednotkou Car4.

Podľa vyššie zmienených kritérií bol vybraný mikrokontrolér bq34z100-G1 od spoločnosti Texas Instruments. Nasledujúca časť kapitoly bude venovaná predstaveniu zariadenia, návrhu plošného spoja a jeho nastaveniu.

Obsah kapitoly: Podkapitola 5.1 sa zaoberá popisom mikročipu a softwaru Impedance Track. Podkapitola 5.2 bude venovaná procesu návrhu. V podkapitole 5.3 sú popísané jednotlivé kroky pre zaistenie správneho fungovania čipu.

5.1 Mikrokontrolér bq34z100-G1

Mikrokontrolér sa používa na predikciu kapacity a iných charakteristík pre široké spektrum chemických zložení od lítium-iontových až po olovených akumulátorov s presnosťou až 1% v prípade merania SOC. Pri meraní vychádza z troch sád nameraných dát, z napätia, prúdu a teploty batérie. Namerané dáta sú vyhodnotené adaptívnym algoritmom Impedance Track a výsledky sú uložené do príslušných registrov.

Vlastnosti:[25]

- Meriaci rozsah batérií od 3V až 65V
- Maximálna kapacita batérií 29Ah
- Impedance Track algoritmus s kompenzáciou:
 - starnutia batérie
 - samovybíjania
- Komunikácia cez I2C alebo HDQ s hlavným počítačom
- Externý vstup pre termistor
- Tri režimy pre úsporu energie:
 - *Normal*: prebieha meranie napätia, prúdu, teploty

- *Sleep*: meranie prebieha iba periodicky, potom sa vráti do usporného režimu, čip vstupuje do tohto režimu v prípade, že priemerná hodnota prúdu na bočníku je menšia než nastavená hodnota v registru Sleep Current
- *Full Sleep*: po uplynutí nastaveného času v registri Full Sleep automaticky vstúpi z režimu Sleep do tohto, meranie prebieha periodicky (zriedkavejšie v porovnaní so Sleep režimom)

Vnútna štruktúra čipu čo sa týka usporiadania registrov je rozdelená do dvoch základných častí:[25]

1. Štandardné dátové príkazy (Standard Data Commands)
 - Dáta o stave batérie a informácie o čipe (cez Control register)
 - Registre iba pre čítanie
 - Dĺžka posielaných a prijímaných dát omedzená na 2 bajty
2. Rozšírené dátové príkazy (Extended Data Commands)
 - Informácie o stave batérie
 - 32 bajtový register na konfiguráciu čipu
 - Registre pre čítanie a zápis
 - Neomedzená dĺžka posielaných a prijímaných dát

Meno	Kód príkazu	Jednotka
Control()	0x00/0x01	N/A
StateOfCharge()	0x02	%
MaxError()	0x03	%
RemainingCapacity()	0x04/0x05	<i>mAh</i>
FullChargeCapacity()	0x06/0x07	<i>mAh</i>
Voltage()	0x08/0x09	<i>mV</i>
AvarageCurrent()	0x0A/0x0B	<i>mA</i>
Temperature()	0x0C/0x0D	0, 1°K
Flags()	0x0E/0x0F	N/A
Current()	0x10/0x11	<i>mA</i>
FlagsB()	0x12/0x13	N/A

Tab. 5.1: Základné dátové príkazy-datasheet [25]

5.1.1 Algoritmus Impedance Track

Algoritmus Impedance Track slúži na stanovenie troch základných charakteristík batérie, na základe ktorých sú odvodené ďalšie veličiny popisujúce stav článkov. Rozsiahle informácie o stave batérie umožňujú idealizovať odber elektrickej energie monitorovanej sústavy a tým zvýšiť životnosť pri zachovaní výkonu. Tri zmienené charakteristiky sú nasledujúce:[11]

- Chemická charakteristika: DOD a celková kapacita.
- Elektrická charakteristika: vnútorný odpor článkov v závislosti na DOD.
- Vplyv okolitého prostredia: teplota a veľkosť záťaže.

Depth of Discharge (DOD)

DOD je veličinou, ktorá vyjadruje v percentách časť kapacity batérie, ktorá bola spotrebovaná v priebehu vybíjania. Je to doplnková veličina k SOC, kým v prípade SOC 0% znamená, že batéria je vybitá, u DOD tomu zodpovedá nabitá batéria.

Pri meraní DOD v priebehu relaxácie batérie algoritmus vychádza z napätia naprázdno. Z nameraných hodnôt napätia DOD sa vypočíta pomocou špeciálnej prevodovej tabuľky, platí vzťah $DOD = f(U_0, T)$. Táto tabuľka je uložená v pamäti čipu a je špecifická pre dané chemické zloženie (ChemID). V prípade, že sa prúd počas relaxácie nerovná nule, prebehne korekcia nameranej hodnoty napätia naprázdno. Nová hodnota sa vypočíta na základe vzťahu:

$$U_0 = U_0 - R.I \quad (5.1)$$

Po korekcii opäť prebehne prepočet podľa tabuľky.

Počas vybíjania a nabíjania článku stanovenie DOD prebieha odlišne, od vyššie popísaného postupu. Na výpočet sa používa nasledujúci vzťah:

$$DOD = DOD_0 + \frac{\int I dt}{Q_{max}}, \quad (5.2)$$

kde DOD_0 označuje stav batérie na konci relaxácie a Q_{max} je maximálna kapacita batérie. V priebehu zaťažovania batérie je hodnota DOD aktualizovaná po sekundách.

Algoritmus rozlišuje medzi režimom relaxácie a režimom vybíjania (resp. nabíjania) na základe priemernej hodnoty prúdu. Keď táto priemerná hodnota bude nižšia než prahová hodnota nastavená v registri *DF.Quit Current* opustí režim vybíjania (resp. nabíjania) a prejde do režimu relaxácie. Opačný dej nastáva v prípade, že prúd prekročí prahovú hodnotu.[11]

Maximálna chemická kapacita (Q_{max})

Na stanovenie maximálnej chemickej kapacity algoritmus Impedance Track používa dve sady hodnôt: dve hodnoty DOD z dvoch po sebe nasledujúcich relaxačných stavoch a spotrebovaný náboj medzi už zmienenými relaxačnými stavmi:

$$Q_{max} = \frac{\int I dt}{DOD_2 - DOD_1} \quad (5.3)$$

Kvôli zachovaniu presnosti sa meranie neuskotoční v prípade,že:[11]

1. teplota okolia sa nenachádza v intervale od $10^{\circ}C$ do $40^{\circ}C$
2. meranie napätia sa uskutočnilo pri nízkych hodnotách OCV (anglická skratka napätia naprázdno).

Aktualizácia hodnoty odporu

Aktualizácia hodnoty odporu batériového článku prebieha v priebehu vybijania po každom poklese DOD o 11,1%. Keď hodnota DOD prekročí 77,7% celkovej kapacity sú hodnoty odporu aktualizované po menších intervaloch. Nová hodnota odporu sa vypočíta nasledujúcim spôsobom:[11]

$$R(DOD) = \frac{V - OCV(DOD, T)}{I}, \quad (5.4)$$

kde V je napätie po pripojení záťaže.

5.2 Návrh plošného spoja

Plošný spoj pre mikrokontrolér bq34z100-G1 bol vytvorený na základe odporúčaného zapojenia z technickej dokumentácie čipu[25] a systémových požiadaviek, ktoré sa týkajú kompatibility s riadiacou jednotkou Car4 a spoľahlivého fungovania v priebehu aplikácie. Zmienené požiadvky boli nasledujúce:

- Vhodný návrh napätového deliča tak, aby bola hodnota nameraného napätia v rámci meracieho rozsahu čipu ($900mV$)
- Voľba vhodného bočníku pre snímanie prúdu. Hardvérové požiadavky na bočník, sú nasledujúce:
 1. maximálna hodnota napätového signálu nesmie prekročiť $300mV$
 2. merací rozsah až do $60A$, kvôli prúdovým špičkám, ktoré môžu vzniknúť počas jazdy.

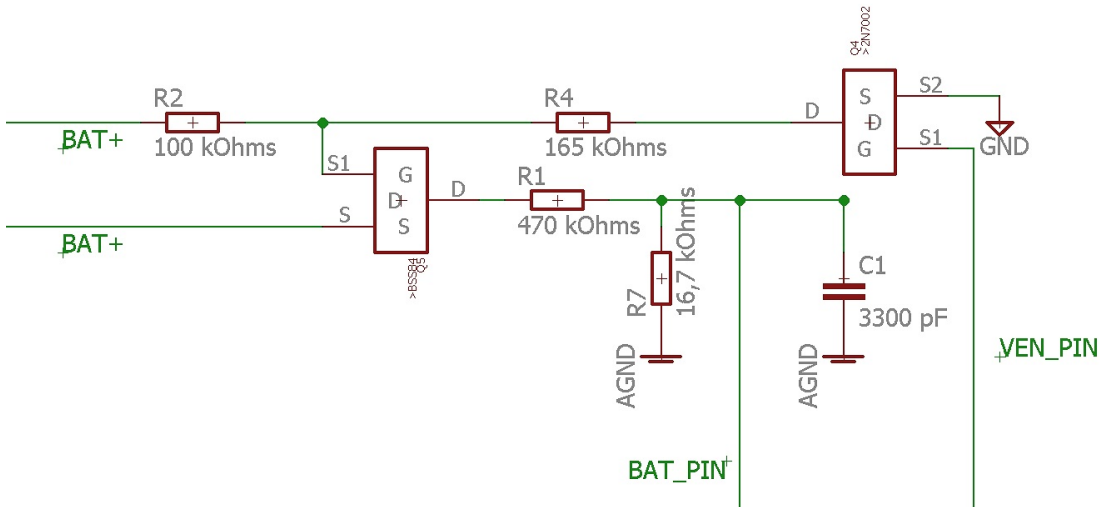
3. malá tolerancia hodnoty odporu bočníku
- Stabilné napájanie čipu tak, aby nedošlo k výpadkom napájania

Odporový delič

Kvôli limitáciám maximálnej hodnoty vstupného napätového signálu bol navrhnutý napätový delič. Delič prevedie nameraný napätový signál tak, aby sa napätie plne nabitej batérie rovnalo hraničnej hodnote meracieho rozsahu mikrokontroléru $900mV$. Podľa technickej dokumentácie hodnota dolného rezistoru deliče má byť $16,5k\Omega$ a horný odpor sa vypočíta na základe vzťahu:

$$R_{horný} = R_{dolný} \frac{(U_{BATmax} - 900)}{900} \quad (5.5)$$

Po dosadení príslušných hodnôt, bol vybraný odpor $R_{horný} = 402k\Omega$. Kvôli zaručeniu presnosti merania musia byť odpory presné a mať rovnaký teplotný koeficient, ktoré dokumentácia stanoví na $0,1\%$ a $25ppm/^\circ C$. Dva tranzistory MOS-FET umožňujú odpojenie deliča zmieneného a tým znížia spotrebu zariadenia na $45\mu A$.



Obr. 5.1: Schéma zapojenia deliča

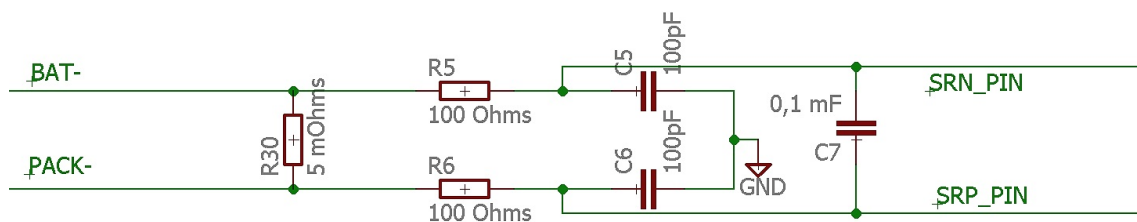
Bočník

Snímanie prúdu je ďalšou kritickou oblasťou aplikácie, preto sú stanovené vysoké nároky na voľbu bočníku. Dokumentácia k čipu stanovuje základné parametre čipu medzi ktoré patrí tolerancia hodnoty odporu ($0,01\%$) a teplotný koeficient

($75\text{ppm}/^\circ\text{C}$). Veľkosť odporu bol vypočítaný pomocou Ohmovho zákona a bola zvolená minimálna softvérovo povolená hodnota $R30 = 5\text{m}\Omega$. Tento odpor umožňuje snímanie prúdov do 60A . Túto hodnotu sme vypočítali na základe znalosti maximálneho meracieho rozsahu A/ D prevodníku.

$$I_{max} = \frac{U_{max,vstup}}{R30} = \frac{300\text{mV}}{5\text{m}\Omega} = 60\text{A} \quad (5.6)$$

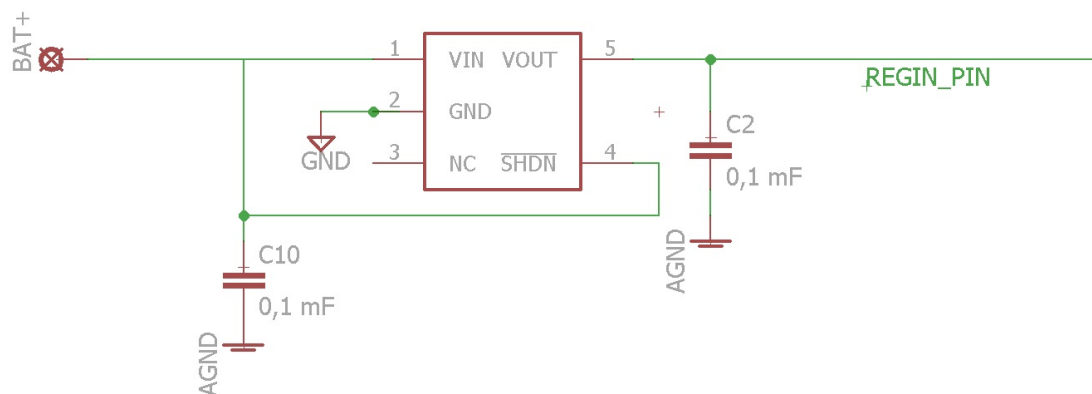
Napätový signál je v ďalšej časti filtrovaný RC-filtrom, ktorý je tvorený odporom $R5$ (resp. $R6$) a kondenzátorom $C5$ (resp. $C6$). Ďalší filtračný keramický kondenzátor sa umiestnil pred vstupné piny.



Obr. 5.2: Schéma zapojenia bočníku

Napájanie mikrokontroléru

Paralelný stabilizátor napätia z dokumentácie bol nahradený LDO regulátorom, ktorý reguluje vstupné napätie v rozsahu od $19,2\text{V}$ do 24V na predpísanú úroveň, približne od $2,7\text{V}$ do $4,5\text{V}$ a 150mA . Bol vybraný regulátor od spoločnosti Microchip typu MCP1804T, ktorý dáva konštantné napätie $3,3\text{V}$ aj pri poklese napájacieho napätia pod hodnotu výstupného napätia. Na vstup i na výstup prvku boli umiestnené keramické kondenzátory, kvôli filtrácii vstupného signálu.

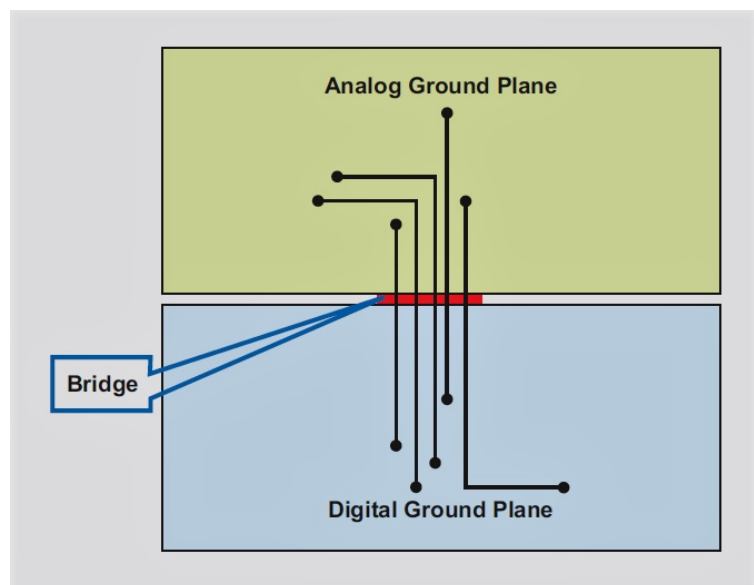


Obr. 5.3: Schéma zapojenia LDO napätového regulátoru

Usporiadanie súčiastok na doske

Vhodným usporiadaním súčiastok v integrovanom obvode môžeme potlačiť nežiadúce parazitné javy, ktoré by ovplyvňovali kvalitu signálu.

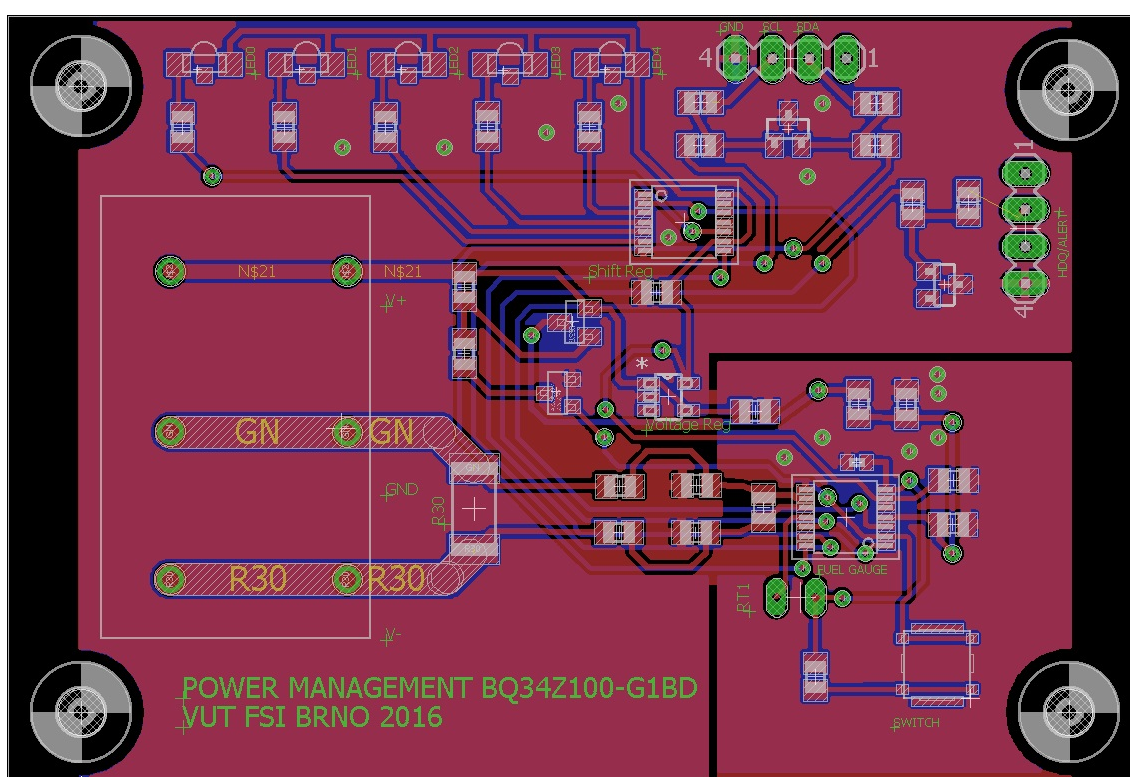
Súčiastky, z ktorých sa skladajú integrované obvody vykazujú parazitné chovanie, prejavuje sa to vo forme parazitnej kapacity, alebo indukčnosti. Okrem súčiastok má aj doska nežiadajú parazitnú kapacitu. Ako dôsledok parazitných vplyvov sa indukuje napätie ($\frac{di}{dt}$) a vzniká v obvode vysokofrekvenčné rušenie, ktoré predovšetkým ovplzňuje analógové súčiastky napríklad A/D prevodníky. U prevodníkov to znamená nepresnosť pri prepočte analogového signálu, preto je nutné obvod rozdeliť na výkonovú a na silovú časť (necitlivé na rušenie).[23]



Obr. 5.4: Spojenie zeme mostom [23]

Bolo zvolené spojenie zeme mostom. To znamená že, zem dosky je rozdelená na dve oblasti, ktoré sú spojené úzkym vodivým pásom, "mostom", ktorým vedú všetky signály. Takýmto spôsobom je zaručená minimalizácia ciest prúdu a vplyv rušenia. V prípade dosky pre mikrokontrolér bq34z100-G1 súčiastky s analógovou zemou (AGND), ako napríklad merací mikrokontrolér sú umiestnené na jednu oddelenú oblasť (viz. Obr.5.5). Kým prvky digitálne majú vlastnú zem (GND).

Parazitnú indukčnosť majú aj cesty na vedenie signálu, ktorá je nežiadúca vlastnosť hlavne vtedy keď sa jedná o diferenciálny pár vodičov (cesty z bočníku do mikrokontroléru). Parazitnú indukčnosť nemôžeme odstrániť, ale môžeme docieľiť aby bol vyhodnotený iba vzájomný rozdiel signálov a to pomocou ciest, ktoré sú vedené vedľa seba a pritom majú aj rovnakú dĺžku.



Obr. 5.5: Umiestnenie súčiastok na doske plošných spojov

Ako na začiatku podkapitoly už bolo zmienené, špičkové hodnoty prúdov na bočníku môžu dosiahnuť až 60A. Kvôli extrémnemu zaťaženiu bolo potrebné dodatočné zosilnenie ciest cínom.

5.3 Konfigurácia

Kvôli snahe o získanie čo najpresnejšieho odhadu o stave batérie, bolo treba previesť niekoľko zmien v štandardnom nastavení mikrokontroléru.

Konfigurácia mikrokontroléru prebiehala nasledujúcim spôsobom: v Matlabu bol generovaný konfiguračný kód pre riadiacu jednotku, ktorá nasledne komunikovala s meracím mikrokontrolérom cez I2C a posielala dáta cez UART naspäť do PC.

Program MATLAB/Simulink je silný nástroj s vyšším programovacím jazykom a vstavanými funkciami umožňujúci riešenie problémov týkajúcich sa modelovania a simuláciu dynamických systémov a zobrazení získaných dát.[20]

Nadstavbou MATLABu je grafické programovateľské prostredie Simulink, ktoré umožňuje generovanie kódu, simuláciu sústav a Model-Based Design s použitím blokov reprezentujúce matematické operácie a ďalšie funkcie. Bloky sú tematicky rozdelené do knižníc. [21, 15]

MPLAB Device Blocks for Simulink je rozširujúca knižnica Simulinku, umožňujúca generovanie C kódu pre embeded zariadenie, predovšetkým od spoločnosti Microchip.[16]

5.3.1 Základné bloky tvoriace konfiguračný kód

Master block

Základný blok, ktorý musí obsahovať každý kód obsahujúci prvky tejto knižnice. Slúži pre nastavovanie parametrov, ktoré musia byť urobené iba raz pri generovaní kódu. Sú to napríklad nastavenia typu mikrokontroléru, časovačov a frekvencie oscilátoru.[16]

Compiler Configuration

Nastavuje sa verzia prekladača, ktorá umožňuje preklad kódu z vyššieho programovacieho jazyka do nižšieho s nastavením vhodnej inštrukčnej sady.

UART Configuration

Používa sa pre nastavenie komunikácie cez komunikačný protokol UART. Nastavuje sa prenosová rýchlosť (tzv. baud rate), číslo pinov používaných na prijímanie a odosielanie dát, veľkosť bufferu.

I2C Bus

Slúži na konfiguráciu nastavení komunikačného protokolu I2C. Nastavuje sa prenosová rýchlosť (tzv. bitrate), číslo pinov používaných na prijímanie a odosielanie dát. Okrem toho sa do bloku píše správa na odosielanie dát.

C Function Call

Bloček sa používa na volanie C kódu. Do bloku sa zapíše deklarácia funkcie, ktorá obsahuje návratovú hodnotu, názov funkcie a zoznam parametrov. Funkciu môžeme umiestniť do pracovného adresára Matlabu ručne cez menu Configuration Parameters → Code Generation → Custom Code.[17]

5.3.2 Konfiguračný proces

Konfiguračné registre sú prístupné používateľom jedine v UNSEALED móde, v ktorom je povolené čítanie a zápis.

Konfiguračným registrom umiestnených v *DataFlashClass()* (*0x3E*) sa dostávame splnením dvoch predbežných krokov. Najprv sa pošle štvorbajtový kód s UNSEALED kódom vo forme dvoch dvojbajtových správ a následne príkazom *BlockDataControl()* (*0x61*) sa povoľuje práca s časťou pamäti obsahujúca nastavenia vo forme 32 bajtového dátového bloku.

Ku konkrétnemu registru sa používateľ dostane po splnení nasledujúceho postupu:

1. Do *DataFlashClass()* sa zapíše číslo ktorým sa indexuje 64 bajtová časť (Subclass) konfiguračnej pamäti tzv. *PackConfigurationSubclass()*.
2. V rámci 64 bajtového bloku (Subclass) majú jednotlivé registre vlastný offset, ktorým sa určuje presné miesto daného nastavenia v pamäti mikrokontroléru. Pomocou zápisu *0x00* pre offset od 0 do 31 alebo *0x01* pre offset 32 do 63 do *DataFlashBlock()* (*0X3F*) sa vyberie 32 bajtová podoblasť pamäti.
3. Register obsahujúci hľadané nastavenie sa stane dostupným pre zápis a čítanie po zápisu offsetu v nasledujúcej forme:

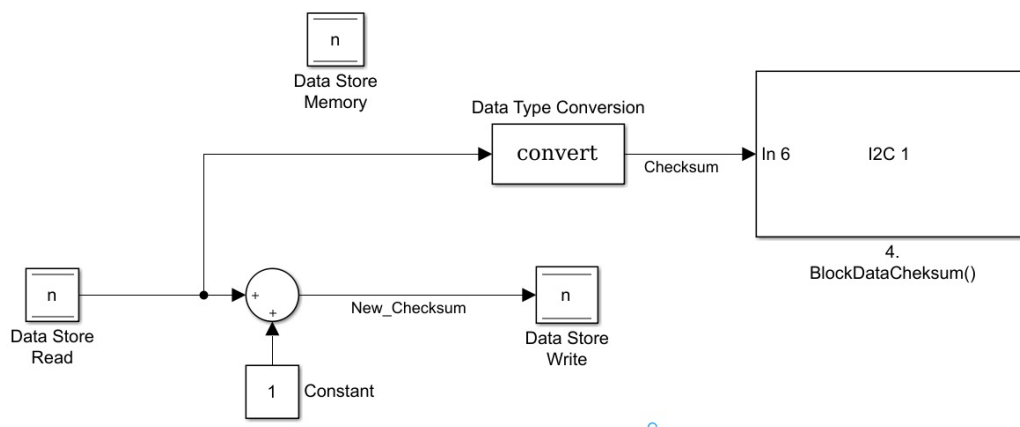
$$offset_{nový} = 0x40 + modulo(offset, 32) \quad (5.7)$$

Po vykonaní zmien v nastavení, sa zmena finalizuje pomocou zadania tzv. Checksumu do registru *BlockDataChecksum()* (*0x60*). Checksum je hexadecimálny kód s dĺžkou jeden bajt, ktorý vznikne ako 255 mínus súčet bitov 32 bajtového bloku. [25, 19]

Problémy s Checksumom

V priebehu konfigurácie nastal problém pri zadávaní Checksumu. S postupom popísaného v technickej dokumentácii sa nedal vypočítať správny 2 bajtový kód, vďaka čomu zmeny v nastaveniach neboli uložené.

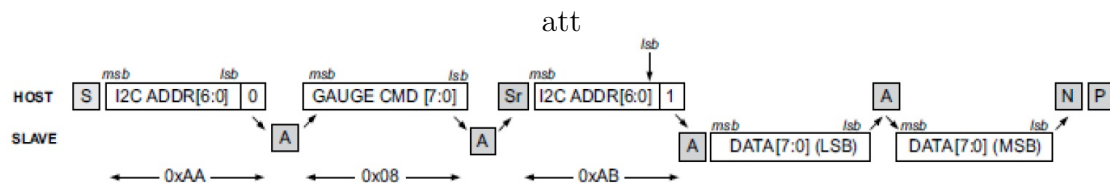
Tento problém bol vyriešený programom, ktorý do registru *BlockDataChecksum()* zapíše po jednom všetky možné kombinácie kódu. Generovanie nového kódu prebehne iteračne. Nový kód dostávame s inkrementáciou predchádzajúceho kódu o jeden.



Obr. 5.6: Výpočet nového Checksumu v Simulinku

Konfiguračná správa

Každá posielaná správa cez komunikačný protokol *I2C* sa začína štart bitom a 7 bitovou adresou zariadenia, ktorá je v prípade mikrokontroléru 0x55. Ôsmy bit po adrese je 0 v prípade, že nasledujúci príkaz je zápis. V opačnom prípade je posledný bit 1. Po úspešnom odoslaní správ, mikrokontrolér pošle potvrdzujúci bit (Acknowledge bit). Nasledujúce 1 bajtové správy slúžia k špecifikovaniu adresy hľadaného registru. Počet adresujúcich správ závisí na umiestnení registru v pamäti mikrokontroléru. V prípade, že adresa bola správna mikrokontrolér pošle potvrdzujúci bit. Každá správa končí stop bitom.



Obr. 5.7: Bloková schéma správy vyčítania dát z registru *Voltage()*[19]

V prípade vyčítania dát musia byť odoslané dve správy. Prvá správa adresuje register z ktorého chceme čítať, kým druhá sa používa na vyčítanie dát. Medzi prvou a druhou správou sa dáva oneskorenie pomocou príkazu Re-start(Repeated start), alebo príkazmi štart a stop. V konfiguračnom kóde bola uprednostňovaná

druhá varianta, keďže je to obecnnejšia metóda než prvá vďaka ktorej je zaistené správne chovanie. Štruktúra druhej správy sa začína rovnako ako v prípade prvej adresou zariadenia, nasleduje príkaz na čítanie, kde sa nastavuje veľkosť prijatých dát v bajtoch a následne stop bit. [19]

```

Start
Write Address:[0x55]    % Address
Write Data (x1) Write:[0x08]    % Voltage
Stop
Start
Write Address:[0x55]    % Address
Read Data (x2)  Read:[Out 7]    % Read command
Stop

```

Obr. 5.8: Správa zo Simulinkovského bloku I2C Bus na vyčítanie z registru Voltage()

Unsealing

Predtým než by akákoľvek zmena mohla byť vykonaná je nutné mikrokontrolér dať do UNSEALED režimu. V tomto režime má používateľ voľnú ruku, keďže má na dosah všetky registre a môže vykonať akúkoľvek zmenu čo sa týka nastavení.

```

Start
Write Address:[0x55]    % Address
Write Data (x1) Write:[0x00]    % Control Register
Write Data (x1) Write:[0x14]    % Unseal key
Write Data (x1) Write:[0x04]    % Unseal key
Stop
Delay of 0.02(s)
Start
Write Address:[0x55]
Write Data (x1) Write:[0x00]    % Control Register
Write Data (x1) Write:[0x72]    % Unseal key
Write Data (x1) Write:[0x36]    % Unseal key
Stop
Delay of 0.02(s)

```

Obr. 5.9: Správa zo Simulinkovského bloku I2C Bus posielanie Unsealed kódu

Heslo pre uvedenie mikrokontroléru z režimu SEALED do UNSEALED je už zmienený 8 bajtový kód. Tento kód v prípade zariadenia bq34z100-G1 je nasledujúci: 0x0414 a 0x3672. Heslo musí byť zapísané do Control() registru v tvare dvoch správ s nasledujúcim spôsobom:

- write 0x00 0x14 0x04
- write 0x00 0x72 0x36

Na opustenie Unsealed režimu existujú dva spôsoby. Prvý spôsob je resetovanie mikrokontroléru a druhý spôsob je odpojenie zariadenia od napájania. [25]

Voltsel, Voltage Divider, Number of Series Cells

Nasledujúce nastavenia slúžia na konfiguráciu merania napätia.

Voltsel bit je umiestnený v registri Pack Configuration(). V prípade, že Voltsel bit je 0 používa sa vstavaný napäťový delič, ktorý je použiteľný do $5000mV$. V opačnom prípade, keď hodnota bitu je 1 mikrokontrolér je prepnutý na vonkajší delič.

Do registru Voltage Divider sa zadáva nominálna hodnota napätia bateriového článku. V prípade, že po vykonaní zmeny mikrokontrolér nemerá dostatočne presne výrobca čipu sprístupnil vzorec, ktorý umožňuje výpočet kompenzovanej hodnoty nominálneho napätia. Pomocou vzorca sa dá docieľiť to aby aj merací čip meral skutočnú hodnotu. Kompenzačný vzorec je nasledujúci:

$$VoltageDivider_{nový} = \frac{VoltageDivider * SvorkovéNapätie}{MeranáHodnota} \quad (5.8)$$

Number of Series Cells alebo počet sériovo zapojených článkov sa nastavuje v závislosti na konkrétnom zapojení v prípade robotického vozidla Car4 je to 6.[25]

Názov registru	Subclass ID	Offset	Pôvodná hodnota	Nová hodnota
Pack Configuration()	64	0	0x41	0x49
Voltage Divider()	104	14	5000 mV	26577 mV
Number of Series Cells()	64	7	0x01	0x06

Tab. 5.2: Nastavenie registrov týkajúce sa merania napätia

CC Gain, CC Delta

Registry CC Gain a CC Delta slúžia na konfiguráciu snímania prúdu a to pomocou nastavenia veľkosti bočníku. V oboch prípadoch bol do registrov nastavený $5m\Omega$. Na rozdiel od ostatných registrov, sú konfiguračné dáta uložené vo forme kódu.[26]

Názov registru	Subclass ID	Offset	Pôvodná hodnota	Nová hodnota
CC Gain()	104	0	0x7F71205C	0x8071205C
CC Delta()	104	4	0x940898C0	0x940898C0

Tab. 5.3: Nastavenie registrov týkajúce sa snímania prúdu

ChemID

ChemID je register obsahujúci informácie o druhu používanej batérie. Okrem iného sa používa na stanovenie DOD, ktorý je jeden z podstatných parametrov o stavu batérie. Stanoviť ChemID môžeme buď pomocou tabuliek, alebo programu MathCAD CEDV Tool. MathCAD CEDV Tool je program, ktorý z nameraných hodnôt napätia, prúdu a teploty určí ChemID. Meranie sa skláda z troch častí:[24]

1. Nabíjanie batérie s prúdom $C/100$ na maximálnu kapacitu a následná relaxácia batérie po dobu dvoch hodín.
2. Vybíjanie batérie s rýchlosťou $C/10$.
3. Relaxácia batérie minimálne 5 hodín.

Pri konfigurácii registru ChemID bol využitý, už zmienený program MathCAD. Bolo zistené, že zloženie batérie Car4 je $LiCoO_2$, preto bol do príslušného registru zapísaný tomu odpovedajúci kód.

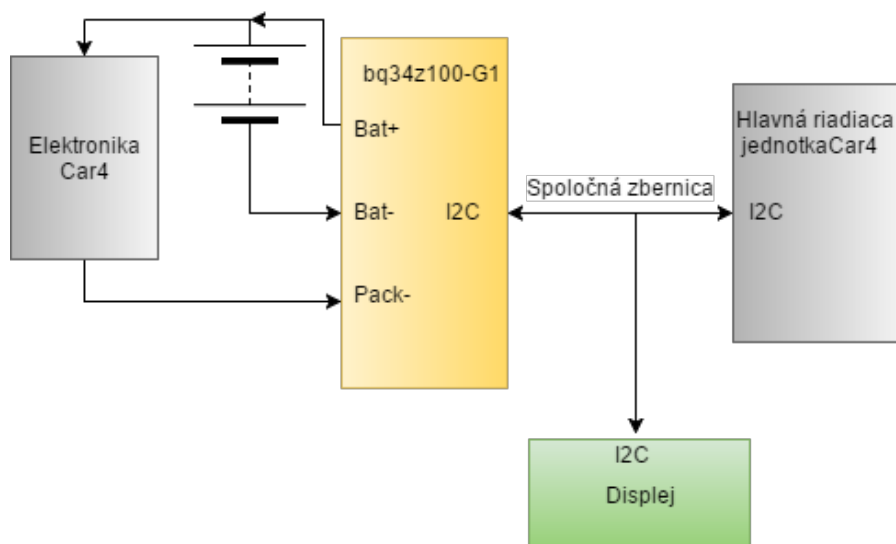
Názov registru	Subclass ID	Offset	Pôvodná hodnota	Nová hodnota
Device Chemistry	48	55	0x100	0x107

Tab. 5.4: Nastavenie ChemID

6 NÁVRH DISPLEJA A AKTUALIZÁCIA SOFT- VÉRU

Zadanie bakalárskej práce neobsahuje zobrazovanie nameraných dát a s tým súvisiaci displej. Displej bol pridaný dodatočne. Hlavným dôvodom bolo poskytnúť používateľom väčší prehľad o stave batérií vozidla a vo výsledku urobiť Car4 užívateľsky pohodlným.

Aktualizácia softvéru bola nutná kvôli tomu, že k hardvéru robotického vozidla boli pridané dve dosky, jedna obsahujúca špeciálny mikrokontrolér na meranie kapacity batérií a druhá na ktorej je umiestnený displej. Okrem kódu pre ovládanie novopridaných hardvérových jednotiek, bol pôvodný kód ešte rozšírený o obmedzovač rýchlosti, ktorý ohraničí maximálnu rýchlosť v prípade, že SOC batérie bude nízka.



Obr. 6.1: Schéma zapojenia mikrokontroléru bq34z100-G1 a displeja na vozidlo Car4

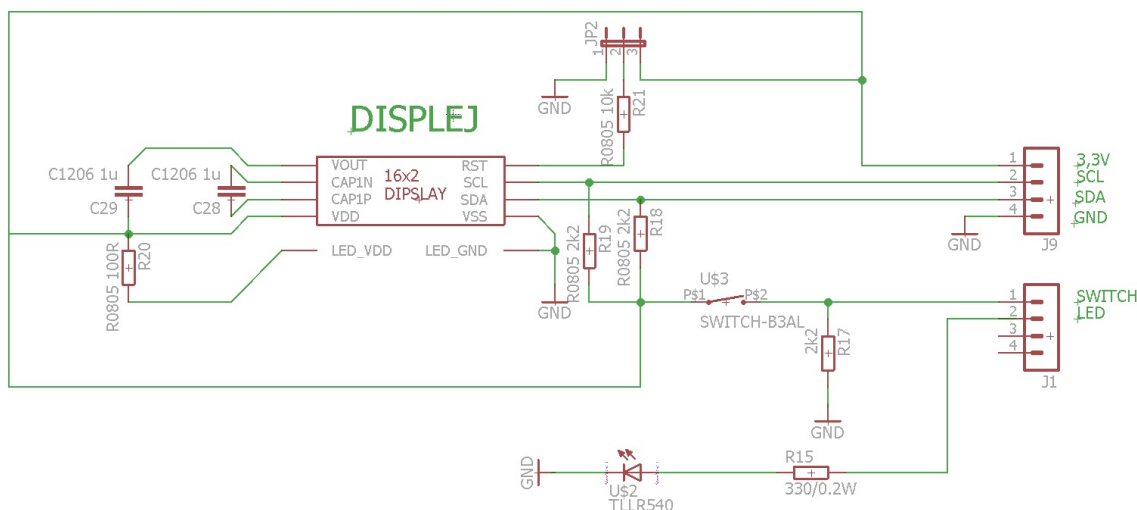
Obsah kapitoly: Podkapitola 5.1 sa zaoberá so stručným popisom návrhu displeja. V podkapitole 5.2 je popísaný kód pre ovládanie displeja. Podkapitola 5.3 je venovaná popisu aktualizovaného kódu.

6.1 Návrh displeja

Pre zobrazovanie dát bol vybraný alfanumerický dvojriadkový LCD displej so šesťnástimi znakmi na riadok, typu RX1602A3-BIW-TS od spoločnosti Raystar Optonics. Hlavná výhoda tohto displeja je, že sa používateľ nemusí zaoberať s

vypisovaním znakov po bitoch, ale stačí keď pošle naraz celú správu na daný riadok a vstavaný mikrokontrolér displeja sa o ďalšiu prácu postará.

Na displeji sú zobrazované tri druhy dát, podľa ktorých používateľ dostane prehľad o stave batérie. Bolo vybrané napätie batérie, SOC a zostávajúci čas prevádzky. Zostávajúci čas sa vypočítava z priemernej spotreby prúdu v priebehu prevádzky.



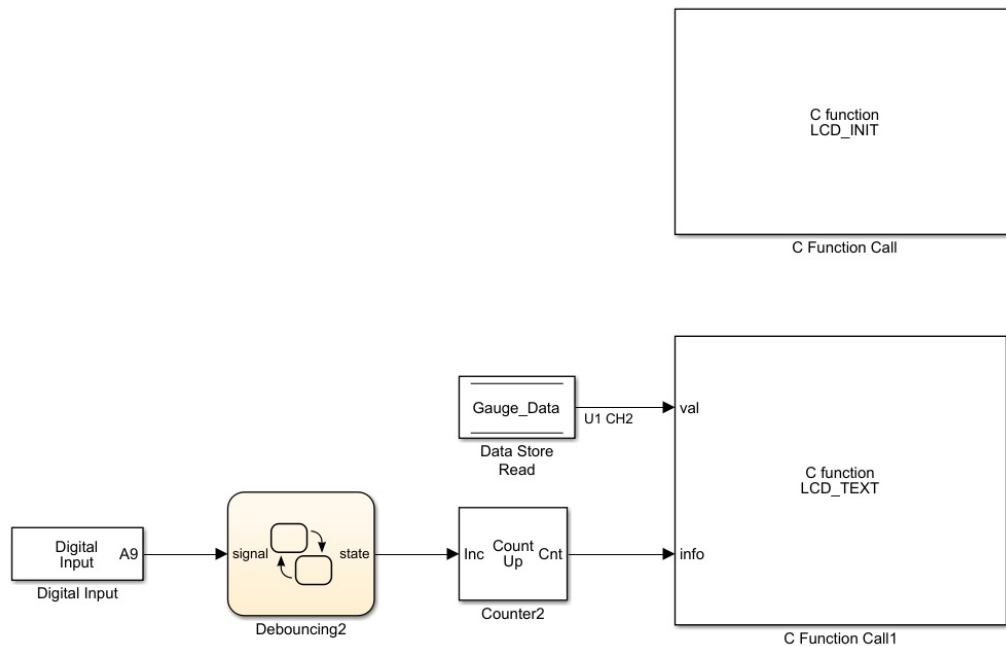
Obr. 6.2: Schéma zapojenia displeja

Na dosku okrem displeja bolo umiestnené tlačítko na ovládanie displeja a signalizačná LED dióda.

6.2 Program pre displej

Na vytvorenie ovládacieho programu displeja boli použité funkcie jazyka C z Mechlabovskej knižnici (viz. Prílohy). Súčasťou Mechlabovského kódu je inicializačná funkcia, ktorá nastavuje okrem iného aj spôsob komunikácie s mikropocesorom, počet riadkov a kontrast.

Funkcia LCD_TEXT sa používa na vpísanie textu na displej. Funkcia funguje na princípe stavového automatu, riadená pomocou premeny *val*. Na vstup *val* prichádza číslo od 1 až 3, každému číslu je priradený jeden stav (informácia o stave batérie) na prepínanie medzi jednotlivými stavmi sa používa if štruktúra. Do druhej vstupnej premeny sú uložené prepočítané dáta o stave batérie z meracieho mikrokontroléru.



Obr. 6.3: Schéma zapojenia displeja

Na začiatku sú vytvorené premenné typu reťazec. Dĺžka poľa je pevne daná maximálnym počtom znakov ktoré môžu byť zobrazené v jednom riadku (16 znakov) plus binárna nula (16 + 1 = 17 znakov), ktorá označuje koniec poľa, rovnako ako interpunkčné znamienko u viet. Všetky znaky riadku musia byť vyplnené aspoň medzerou, aby sa na displeji neobjavili náhodné znaky. Následne je text zapísaný do reťazcov pomocou príkazu *sprintf()* a zobrazený pomocou funkcie *LCD_show_string()*.

```

void LCD_TEXT(int val,int info)
{
// creating char arrays for each line
char text_lineone[17];
char text_linetwo[17];

// Selecting the displayed data
if(info == 1) // Case 1: Voltage
{
sprintf(text_lineone,"Voltage:  ");

```

```

sprintf(text_linetwo, " %d mV          ", val);
}
else if(info == 2) // Case 2: SOC
{
sprintf(text_lineone, "State of Charge:");
sprintf(text_linetwo, " %d %%          ", val);
}
else // Case 3: Remaining time
{
sprintf(text_lineone, "Remaining Time: ");
sprintf(text_linetwo, " %d min          ", val);
}

//displaying the strings
LCD_show_string(1, text_lineone);
LCD_show_string(2, text_linetwo);

}

```

Kedže bola použitá funkcia C Function Call, bol pridaný zdrojový kód do pracovného adresáru Matlabu, cez menu Custom Code. Kvôli fyzickému umiestneniu I2C portov na doske hlavnej riadiacej jednotky bolo potrebné premapovať piny I2C na alternatívne. Na tento účel bol pridaný `_FPOR(ALTI2C_ON)` do *Custom Code* v menu Simulinku.

6.3 Aktualizácia softvéru

V priebehu vytvorenia nového programu sa objavil problém, ktorý znemožnil komunikáciu po spoločnej zbernici medzi riadiacim mikrokontrolérom, displejom a meracím mikrokontrolérom. Problém bol spôsobený tým, že komunikačný kód, ktorý používal merací mikrokontrolér bol napísaný pomocou prerušení (tzv. interrupt), ktoré prekážali v plynulej komunikácii medzi riadiacou jednotkou a displejom. Preto bola napísaná funkcia v jazyku C s názvom GAUGE_DATA (viz. Prílohy) použitím Mechlabovských knižníc.

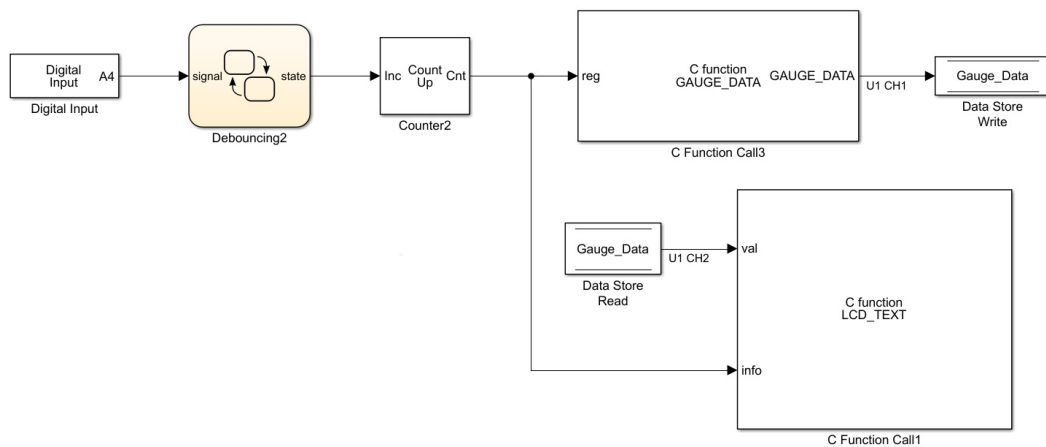
Rovnako ako v prípade programu pre displej, bola použitá štruktúra stavového automatu na voľbu správnej adresy registra. Následne prebehne inicializácia komunikácie, zápis adresy zariadenia a zápis už zvolenej adresy. Keďže vyčítané správy majú odlišnú dĺžku, 2 respektíve 1 bajt, bolo potrebné riešiť jednotlivé prípady oddelene. Pre správy s dĺžkou 2 bajty bolo potrebné sčítanie horného a dolného bajtu, ktoré je riešené nasledovne:

```

// summation low + high byte
num = (int)data_h;
num = num<<8;
num = num + (int)data_l;

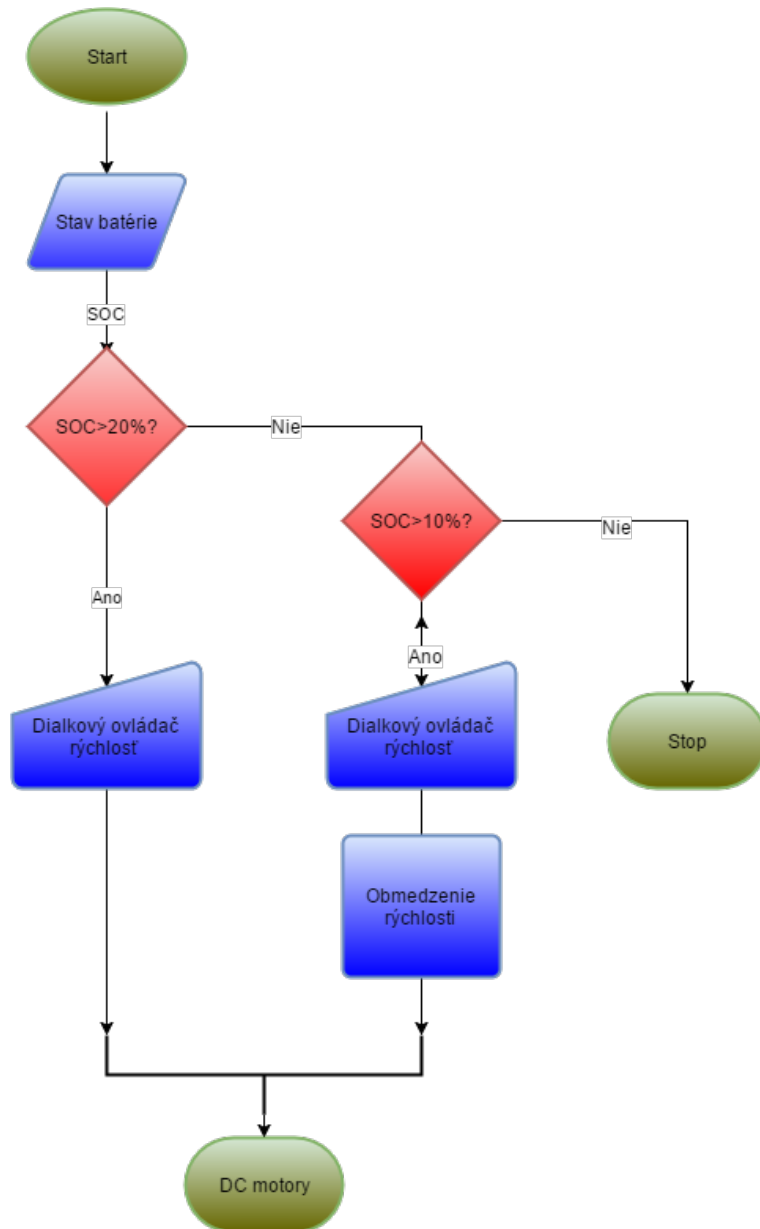
```

Návratová hodnota funkcie je nasledne uložená do premeny Gauge_Data. Výsledný kód v Simulinku má potom tvar:



Obr. 6.4: Časť z aktualizovaného programu Car4

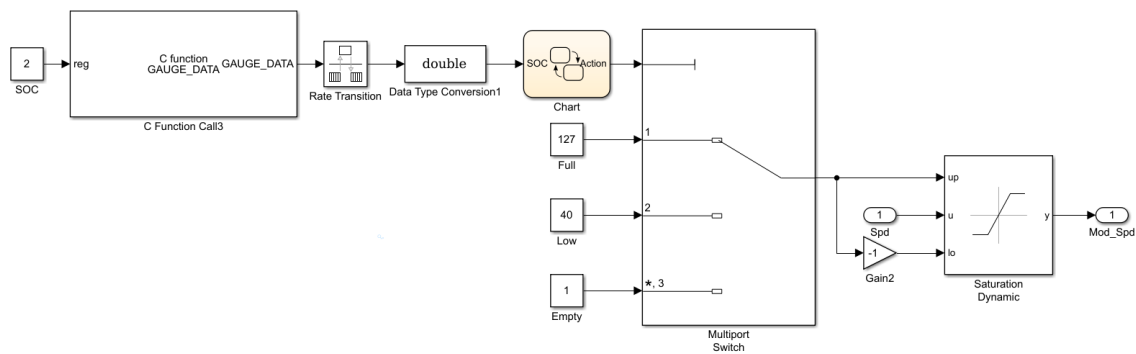
Súčasťou aktualizovaného programu (viz. Prílohy) je kód na obmedzenie rýchlosti vozidla Car4 (viz. Obr. 6.6) v prípade, že SOC je nízke. Obmedzenie rýchlosti bolo zvolené na základe experimentov na modeli motoru. Bolo zistené, že pri reakcii na skokovú zmenu, čo je ekvivalentné s prudkým zrýchlením so znížením napätia (úmerné rýchlosti) na vstupe motora o 60% sa zníží prúd približne v rovnakom pomere. Po skokovom náraste prúdu, dojde k rýchlemu ustáleniu hodnoty približne na 80% – 85% špičkovej hodnoty. Vývojový diagram časti kódu na obmedzenie rýchlosti je nasledujúci:



Obr. 6.5: Vývojový diagram obmedzenia rýchlosti

Kód pre obmedzenie rýchlosti má dva vstupné parametre, prvý je žiadaná rýchlosť a druhý je hodnota SOC. Žiadaná hodnota rýchlosti je nastavená z diaľkového ovládača, jej hodnota môže nadobúdať hodnotu ± 128 . Znamienko plus, alebo mínus znamená smer pohybu.

Po poklese SOC pod 20% bude rýchlosť obmedzená na ± 40 , obmedzenie je dosiahnuté pomocou bločku Saturation Dynamic. Pod 10% SOC je pohyb Car4 úplne zablokovaný.

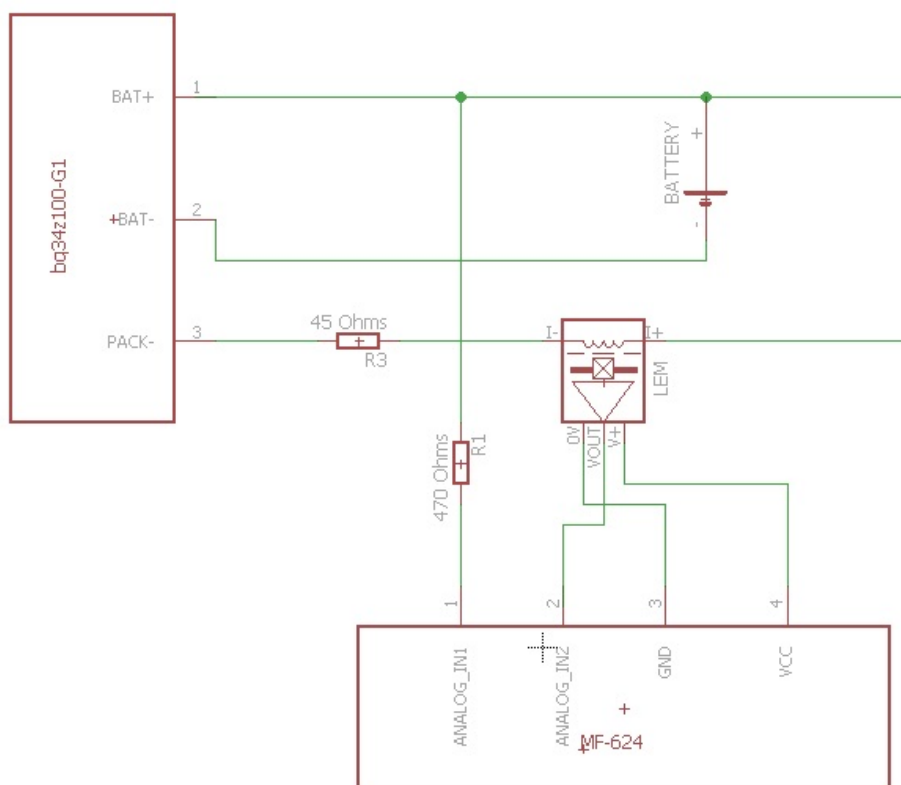


Obr. 6.6: Kód pre obmedzenie rýchlosti

7 OVERENIE PRESNOSTI NASTEVENÍ ČIPU

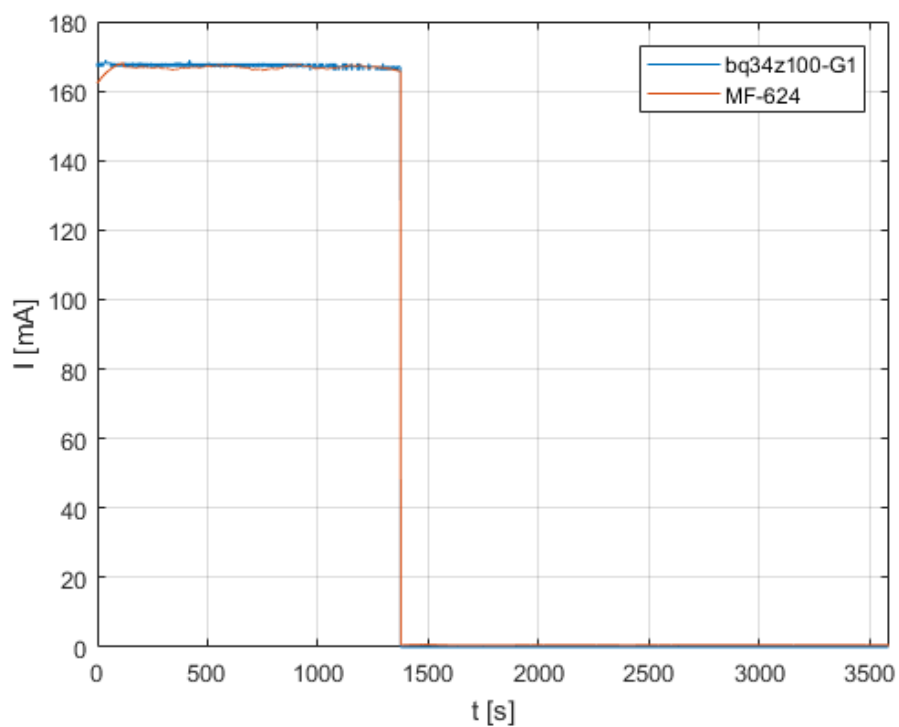
Na overenie správneho nastavenia meracieho čipu bolo vybrané snímané napätie a prúd. Tieto veličiny boli vybrané kvôli tomu, že sú dve z troch veličín na základe ktorých už algoritmus Impedance Track odhaduje ďalšie informácie o stave batérie. Z toho vypláva, že presnosť s akou sú tieto veličiny namerané zásadne ovplyvňuje všetky ostatné informácie.

Ako referencia boli zvolené namerané hodnoty napätia a prúdu pomocou prúdového čidla LEM. Čidlá z merania sú pripojené na kartu MF-624 od firmy Humusoft a dáta sú prevedené na počítač na ďalšie spracovanie. Zapojenie meracích jednotiek:

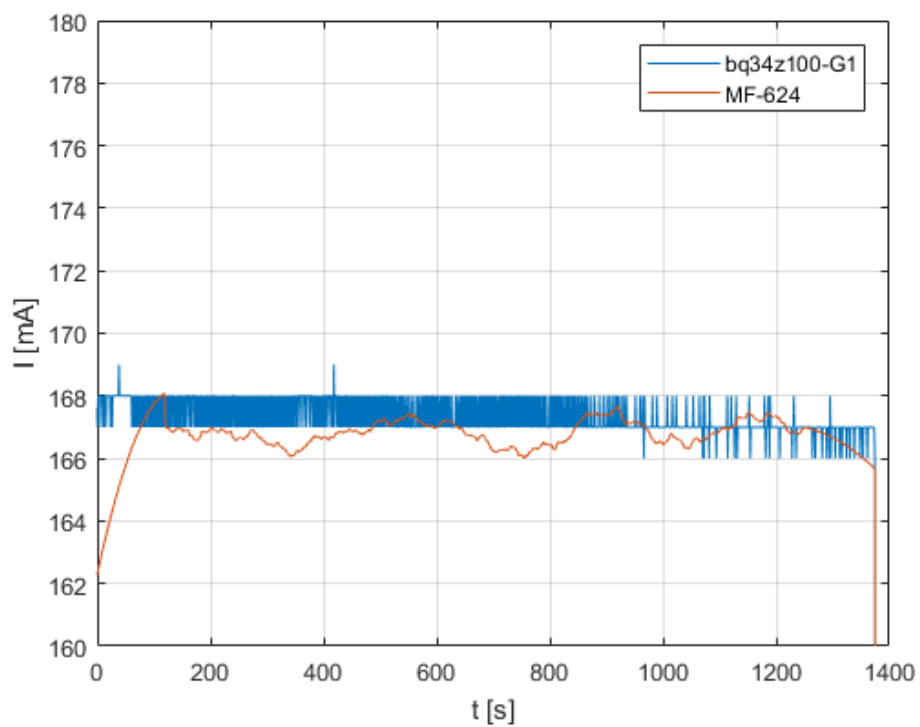


Obr. 7.1: Schéma zapojenia pre otestovanie meracieho mikrokontroléru

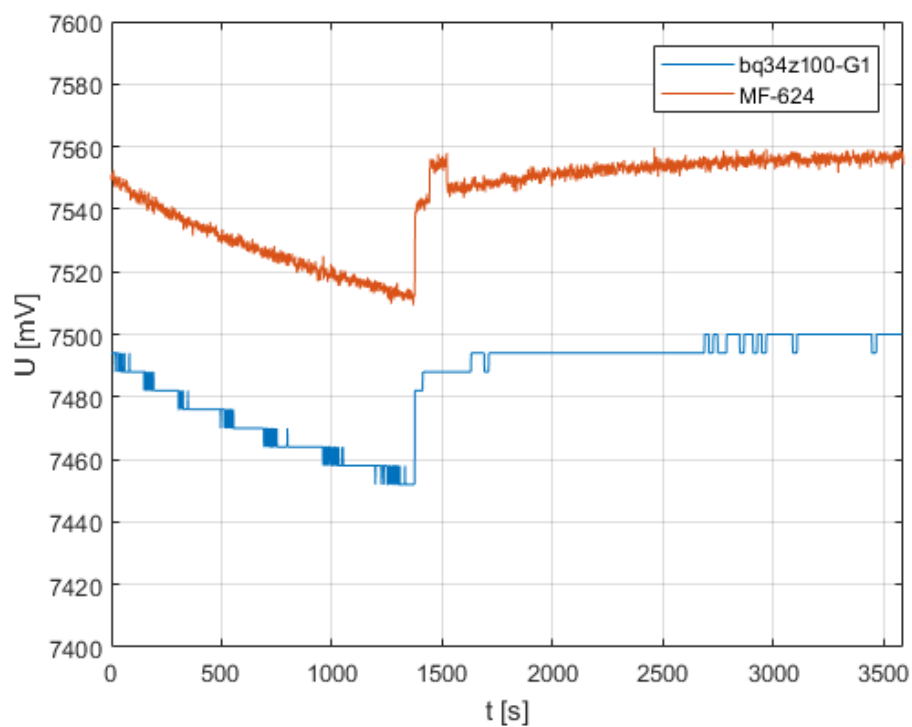
Meranie sa skláda z dvoch častí, prvá časť je meranie vybíjania batérie a druhá časť je meranie počas relaxačného procesu. Celková dĺžka merania bola 60 minút, jednotlivé časti merania trvali 30 minút. Na meranie bola použitá batéria $LiCoO_2$ rovnakého typu akým je Car4 napájaný.



Obr. 7.2: Výsledky merania prúdu



Obr. 7.3: Výsledky merania prúdu v priebehu vybíjania batérie



Obr. 7.4: Výsledky merania napätia

Z grafov plynie, že namerané hodnoty meracím mikrokontrolérom sú podobné k referenčným hodnotám. Rozdiel v meraní je najvýraznejší u merania napätia, keďže hodnoty získané pomocou čipu bq34z100-G1 sú posunuté približne o $60mV$. Napriek tomu môžeme považovať výsledky za uspokojivé keďže sa nachádzajú v rozsahu 1% tolerancie stanovanej výrobcom mikrokontroléru.

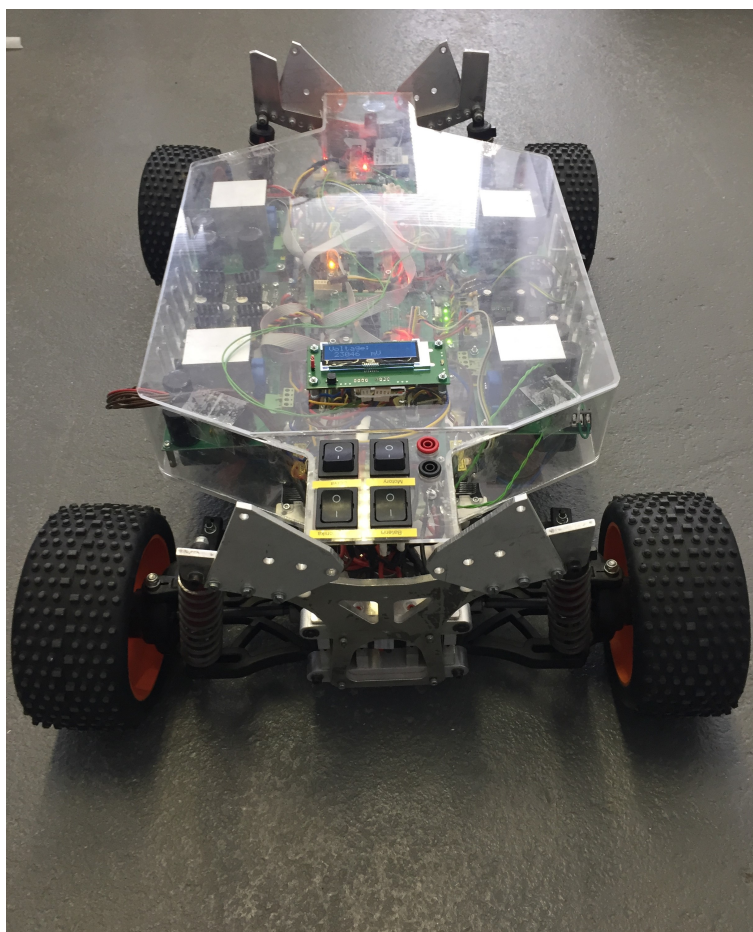
8 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo sprevádzkovať a otestovať mikrokontrolér pre monitorovanie spotreby elektrickej energie vozidla Car4.

Na začiatku rešeršnej časti sú všeobecne vysvetlené vonkajšie vplyvy, ktoré ovplyvňujú výkon batérie. Následne sú popísané batérie na báze lítia. Dôraz je kladený na dôležitosť monitorovania batérií, na ich výhody medzi ktoré patrí zvýšená bezpečnosť, dlhšia životnosť a nižšie náklady týkajúce sa vývoja a údržby. V ďalšej časti rešerše sú predstavené dva spôsoby, ktorými sa dá odhadnúť kapacita batérie a ktoré tvoria základ ďalších presnejších metód.

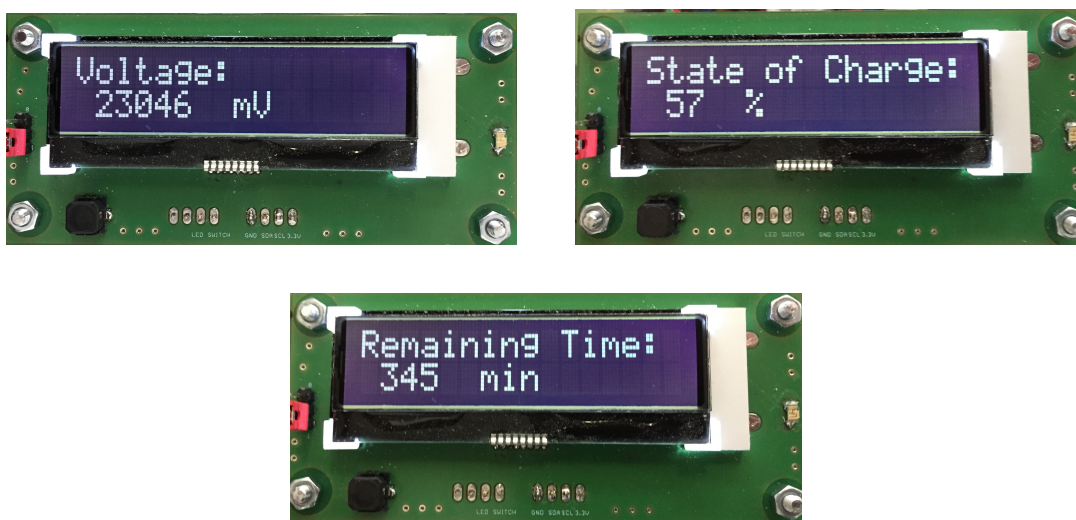
Výstupom rešerše je všeobecný prehľad o problematike, ktorá sa týka monitorovania batérií a predstava o tom ako základné metódy merania fungujú.

V ďalšej časti práce je popísané zvolené riešenie a s tým súčasne mikrokontrolér a algoritmus, ktorý sa o monitorovanie postarajú.



Obr. 8.1: Experimentálne vozidlo Car4 s displejom

V prvej polovici praktickej časti je popísaný návrh obvodu obsahujúci merací mikrokontrolér bq34z100-G1 a zásady umiestňovania súčiastok na doske pre zaistenie čo najpresnejšieho merania. Konštrukčnú časť nasledovala konfiguračná časť. V tejto časti je navrhnuté riešenie problémov, ktorým sme museli čeliť pri zadávaní checksumu. Tento problém nie je unikátny, na fóre spoločnosti Texas Instruments je tento problém celkom častý. Vyskytuje sa hlavne u tých používateľov, ktorí sa rozhodli nepoužiť drahý hardvér a softvér ponúkaný výrobcom na programovanie mikrokontroléru, a vybrali si iné programovacie nástroje.



Obr. 8.2: Displej v priebehu prevádzky

Druhá polovica praktickej časti sa zaoberá implementáciou mikrokontroléru na experimentálnom vozidle Car4 a aktualizáciou softvéru. Do programu Car4 bolo pridané obmedzenie rýchlosti pre prípad, keď SOC batérie je veľmi nízke. Obmedzenie bolo potrebné priradiť kvôli tomu, aby nedošlo k poškodeniu batérie. Pre zachovanie kapacity batérie sa odporúča batériu úplne nevybíjať.

Celkové výsledky implementovanej meracej jednotky sú uspokojivé, sme schopní dosiahnuť presnosť až 1% v meraní. Pre rozšírenie práce je možnosť ešte v oblasti softvéru a v oblasti zlepšenia spotreby vozidla.

LITERATÚRA

- [1] *Model S | Tesla*. Tesla [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models>
- [2] SCHUMM, Brooke. *Battery: Electronics* [online]. 1998, 1.8.2016 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/battery-electronics>
- [3] LINDEN David a Thomas B. Reddy. *Handbook of batteries. 3rd ed.* New York: McGraw-Hill, 2002. ISBN 00-713-5978-8
- [4] LORIMER, J.W. *Rechargable lithium batteries with solid polymer electrolytes* [online]. London, Ontario N6A 5B7, Canada, 1990 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/145795/>. Department of Chemistry The University of Western Ontario.
- [5] BUCHMAN, Isidor. *How do lithium batteries work?* [online]. 25.5.2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [6] BUCHMAN, Isidor. *Lithium-polymer: Substance or hype?* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype
- [7] ALBÉR, Glenn a Bob LEISSLE. *Battery Monitoring: Why not do it right?* [online]. Boca Raton, Florida [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.alber.com/Docs/MonRight0999.pdf>
- [8] CHANG, Wen-Yeau. *The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review*. ISRN Applied Mathematics [online]. Hindawi Publishing Corporation, 2013, (2013), 7 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/953792/>
- [9] *A Guide To Lead-Acid Batteries*. In: ITACA [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.itacanet.org/eng/elec/battery/battery.pdf>
- [10] *Single Cell Gauging 101: Classic Fuel Gauging Approaches*. Texas Instruments [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://training.ti.com/single-cell-gauging-101-classic-fuel-gauging-approaches?cu=1127702>
- [11] YU, Ming, BURSAKOV, Yevgen a Michael VEGA. *Theory and Implementation of Impedance Track Battery Fuel-Gauging Algorithm in bq2750x Family*. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slua450/slua450.pdf>

- [12] NG, Kong-Soon, Yao-Feng HUANG, Chin-Sien MOO a Yao-Ching HSIEH. *An Enhanced Coulomb Counting Method for Estimating State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries*. Telecommunications Energy Conference. 2009, ,5. ISSN 2158-5210.
- [13] JEON, Seonwoo, Jae-Jung YUN a Sungwoo BAE. *Comparative Study on the Battery State-of-Charge Estimation Method*. Indian Journal of Science and Technology. 2015, 8(26). ISSN 0974-5645
- [14] LEE, Seongjun Lee, Jonghoon KIM, Jaemoon LEE a B.H. CHO. *State-of-charge and capacity estimation of lithium-ion battery using a new open-circuit voltage versus state-of-charge*. Journal of Power Sources. 2008, , 7.
- [15] KLIMEŠ, David. *Generování kódu pro mikrokontroléry pomocí automatických nástrojů*. Brno, 2011. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně. Vedúci práce Ing. Josef Vejlupek.
- [16] MATĚJÁSKO, Michal. *Detekce směru otáčení palivové pumpy*. Brno, 2013. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně. Vedúci práce Doc. Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.
- [17] *DsPIC Block/C Function Call*. Simulink - Embedded Target for PIC [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://www.kerhuel.eu/wiki/DsPIC_Block/C_Function_Call
- [18] NAJMAN, Jan. *Aplikace SLAM Algoritmů pro vozidlo s čtyřmi řízenými koly*. Brno, 2015. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně. Vedúci práce Doc. Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.
- [19] *Using I2C Communications With the bq34110, bq35100, and bq34z100-G1 Series of Gas Gauges*, Texas Instruments Inc. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva790/slva790.pdf> , 2016
- [20] *MATLAB Primer*. The Mathworks Inc. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/index.html,2017
- [21] *Simulink Getting Started Guide*. The Mathworks Inc. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simulink/index.html,2017
- [22] WILLIAMS,Doug. *Going to Production With the bq34z1xx*. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slva665/slva665.pdf>
- [23] PITHADIA,Sanjay a Shridhar MORE. *Grounding in mixed-signal systems demystified, Part 2*. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slyt512/slyt512.pdf>

- [24] COSBY,Thomas. *Chemistry ID Selection*,Dostupné z: https://e2e.ti.com/cfs-file/_key/communityserver-discussions-components-files/180/4135.Chemistry-selection.pdf,2013
- [25] *bq34z100-G1 Wide Range Fuel Gauge with Impedance Track™ Technology*, Texas Instruments Inc. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq34z100-g1.pdf>, 2015
- [26] YU,Ming.*How EVSW Display the Calibrated Raw Data*.Dostupné z:https://e2e.ti.com/cfs-file/_key/telligent-evolution-components-attachments/00-180-01-00-00-28-92-76/How-EVSW-Display-the-Raw-Data-V1.03.pdf

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

SEI	Solid Electrolyte Interphase
SOC	Stav nabitia
UART	Druh komunikačného protokolu
I2C	Druh sériovej zbernice
LiPo	Lítium-polymerový
DOD	Depth of Discharge
HDQ	Druh komunikačného protokolu
OCV	Napätie naprázdno
MOS-FET	Druh unipolárnych tranzistorov
A/D prevodník	Analógovo-digitálny prevodník
LDO	Low-dropout Regulator
CEDV	Compensated End of Discharge Voltage

ZOZNAM PRÍLOH

Elektronická príloha obsahuje nasledujúce súbory:

Zapojenia integrovaných obvodov:

- Schéma displeja
- Schéma dosky pre merací mikrokontrolér

Programy:

- Mechlbovká knižnica programov pre ovládanie displeja
- Program na hľadanie Checksumu
- Program na riadiacej jednotke Car4