



Universitatea POLITEHNICA din Bucuresti

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICA



TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA UNUI SISTEM INTELIGENT
DE GESTIONARE A BATERIILOR DESTINAT VEHICULELOR
ELECTRICE**

**CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT
BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES**

Conducător științific:
Prof.dr.ing. Mihai IORDACHE

Doctorand:
ing. Teodor-Cătălin BIBIRICĂ

2019

Contribuții privind realizarea unui sistem inteligent de gestionare a bateriilor destinat vehiculele electrice

Cuprins

1	INTRODUCERE.....	1
1.1	FORMULAREA PROBLEMEI.....	1
1.2	STRUCTURA SI CONȚINUTUL TEZEI.....	2
1.3	DISEMINAREA REZULTATELOR	3
2	TIPURI DE BATERII PENTRU VEHICULELE ELECTRICE	4
2.1	INTRODUCERE.....	4
2.2	BATERII DE TIP LITIU-FIER FOSFAT (LiFePo ₄).....	5
2.2.1	Avantaje și dezavantaje.....	5
2.2.2	Exemplu de baterie LiFePo ₄	6
2.3	BATERII DE TIP LITIU- POLIMER (LI-POLI).....	6
2.3.1	Avantaje și dezavantaje.....	7
2.3.2	Exemplu de baterie Li-Polimer destinată dispozitivelor portabile	7
2.3.3	Exemplu de baterie Li-Polimer destinată aeromodelelor.....	8
2.4	BATERII DE TIPUL LITIU-ION.....	9
2.4.1	Avantaje și dezavantaje.....	9
2.4.2	Exemplu de celula Li-Ion de capacitate mare.....	10
2.4.3	Exemplu de baterie Li-Ion destinată vehiculelor electrice	11
3	STADIUL ACTUAL AL SISTEMELE DE MONITORIZARE A BATERIILOR.....	12
3.1	INTRODUCERE.....	12
3.2	SOLUȚII PROPUSE.....	12
3.2.1	Circuite integrate dedicate	12
3.2.2	Comutarea dinamică serie-paralel.....	12
3.3	CONCLUZII	13
4	CONSIDERENTE PRIVIND REALIZAREA UNUI CIRCUIT DE GESTIONARE AL BATERIILOR.....	14
4.1	METODE DE BALANSARE.....	15
4.1.1	Metoda 1: Balansarea prin încărcarea individuală a celulelor	15
4.1.2	Metoda 2: Balansarea prin descărcarea individuală a celulelor	15
4.2	INTRODUCERE IN CAN BUS	16

4.2.1	Nivelul fizic	16
4.2.2	Nivelul Logic	17
4.2.3	Concluzii CAN.....	18
5	REALIZAREA UNUI BMS INTELIGENT	19
5.1	INTRODUCERE.....	19
5.2	REALIZAREA MODULUI DE MASURARE A TENSIUNII (MMT)	20
5.2.1	Definitivarea schemei electrice.....	20
5.2.2	Alegerea rezistoarelor de putere	24
5.2.3	Detectarea automată a modulelor.....	26
5.2.4	Modul de funcționare al modulului de tensiune	27
5.3	REALIZAREA MODULULUI PRECIS DE MĂSURARE A TENSIUNILOR	28
5.3.1	Definitivarea schemei electrice.....	28
5.3.2	Modul de funcționare al modulului precis de tensiune.....	31
5.4	REALIZAREA MODULULUI DE MASURARE AL CURENTULUI (MMC).....	31
5.5	REALIZAREA UNITĂȚII CENTRALE	33
5.6	REALIZAREA PLĂCII MODULULUI DE MĂSURARE A TENSIUNILOR.....	34
5.7	REALIZAREA PLĂCII MODULUI DE MĂSURARE PRECISĂ A TENSIUNILOR.....	35
5.8	REALIZAREA PLĂCII MODULULUI DE MĂSURARE A CURENTULUI	35
5.9	REALIZAREA PLĂCII UNITĂȚII CENTRALE	36
5.10	REALIZAREA SOFTULUI SISTEMULUI INTELIGENT	37
5.10.1	Realizarea softului integrat modulelor de măsurare a tensiunilor	37
5.10.2	Realizarea softului integrat modulului de măsurare a curenților	39
5.10.3	Realizarea softului unității centrale	39
5.11	INTERACȚIUNEA UTILIZATORULUI CU UNITATEA CENTRALĂ	42
5.11.1	Introducere	42
5.11.2	Descrierea opțiunilor de afișare	44
6	REZULTATE EXPERIMENTALE	50
6.1	DETERMINAREA PRECIZIEI DE MĂSURĂ	50
6.2	TESTAREA BMS-ULUI PE O TROTINETĂ ELECTRICĂ	51
6.2.1	Prezentarea vehiculului.....	51
6.2.2	Variația tensiunilor celulelor bateriei trotinetei în timpul funcționării.....	52

6.2.3	Menținerea vitezei constante.....	54
6.2.4	Staționarea vehiculului electric.....	55
6.2.5	Accelerarea vehiculului electric.....	56
6.2.6	Urcarea unei pante	58
6.2.7	Menținerea vitezei constante după modificarea regulatorului	59
6.2.8	Consumarea bateriei și declanșarea protecției la supra-descărcare	60
6.2.9	Testarea bateriei refăcute	61
6.2.10	Observații.....	62
6.3	MONITORIZAREA UNEI BATERII DE 10 CELULE DINTR-UN LONGBOARD .	63
6.3.1	Prezentarea vehiculului.....	63
6.3.2	Raportarea eronată a defectării bateriei	63
6.3.3	Observații.....	65
6.4	MONITORIZAREA UNEI BATERII DE 7 CELULE DINTR-UN SKATEBOARD .	65
6.4.1	Prezentarea vehiculului.....	65
6.4.2	Monitorizarea unei baterii de 7 celule	66
6.4.3	Observații.....	67
6.5	ECHILIBRAREA CELULELOR UNEI BATERII DEBALANSATE.....	67
6.6	ECHILIBRAREA CELULELOR UNEI BATERII DEBALANSATE FOLOSIND MODULUL DE MĂSURARE PRECIS.....	70
6.7	OBSERVAȚII	71
7	CONCLUZII FINALE SI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE	72
C.1	CONCLUZII GENERALE.....	72
C.2	CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	73
C.3	PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ.....	74
8	BIBLIOGRAFIE	75
9	ANEXE.....	79
A1	SCHEMA UNUI MODUL SIMPLU DE MĂSURARE A TENSIUNII.....	79
A2	SCHEMA UNUI MODUL DE MĂSURARE PRECISĂ A TENSIUNII.....	80
A3	SCHEMĂ MODULUI DE MĂSURARE A CURENTULUI	81
A4	SCHEMA UNITĂȚII CENTRALE.....	82
A5	SOFTUL MODULULUI SIMPLU DE MĂSURARE A TENSIUNILOR	83

A6 SOFTUL MODULULUI PRECIS DE MĂSURARE A TENSIUNILOR	88
A6 SOFTUL MODULULUI DE MĂSURARE A CURENTULUI.....	96

LISTĂ ABREVIERI

- BMS – Battery management system – Sistem de monitorizare a bateriei
- SOC – State of Charge – Starea de încărcare
- LIFEPO4 – baterie Litiu Fier Polimer 4
- Li-Poly – baterie Litiu Polimer
- Li-Ion – baterie Litiu-Ion
- 2C – De doua ori capacitatea bateriei
- MMT – Modul de monitorizare a tensiunilor
- MMC – Modul de monitorizare a curentului
- CAN – Controller Area Network – Rețea de control
- ADC – Analog to digital converter – Convertor Analog-Digital
- PCB – Printed Circuit Board – Placa cu circuite imprimate
- QFN – Quad Flat No-leads package – capsulă fără pini, cubică
- IC – Integrated circuit – Circuit integrat
- SMD – Surface-Mounted device – componenta montată pe suprafața PCB-ului
- SOP-8 – Small Outline Integrated circuit – Circuit integrat cu 8 terminale
- SOT-6 – Small Outline package – Circuit integrat cu 6 picioare
- PFM – Pulse Frequency Modulation – Modulație in frecvență a pulsurilor
- PWM – Pulse Width Modulation – Modulație in lățime a pulsului
- Id – Identification Document – Identificator

PREFAȚĂ

Această teză reprezintă rezultatul activității de cercetare din perioada octombrie 2015-septembrie 2019 în domeniul încărcării vehiculelor electrice și înmagazinarea energiei electrice realizată în cadrul Facultății de Inginerie Electrică a Universității Politehnica din București. Îi mulțumesc în special domnului Prof.dr.ing. Mihai Iordache, conducătorul meu de doctorat pentru îndrumarea și implicarea acordată pe toată perioada de cercetare și de-a lungul elaborării tezei de doctorat.

De asemenea, îi mulțumesc domnului Prof.dr.ing. Marcel Stanciu pentru îndrumarea oferită în timpul studiilor de licență și master și pentru sprijinul acordat în realizarea lucrărilor de licență și dizertație .

Sunt profund recunoscător tuturor cadrelor didactice din cadrul Facultății de Inginerie Electrică din Universitatea Politehnica București care m-au sprijinit și educat în domeniul programării și al ingineriei electrice.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei și prietenilor mei care mi-au oferit suport financiar și moral pentru a putea termina cu succes studiile.

Mulțumesc mult ! București, 2019, Teodor-Cătălin Bibirică

1 INTRODUCERE

Lucrarea de cercetare intitulată: „**Contribuții privind realizarea unui sistem inteligent de gestionare a bateriilor destinate vehiculelor electrice**” vine ca o necesitate în cadrul industriei ce folosește baterii de tipul Li-Ion, aceasta urmărind dezvoltarea unui sistem modular ce poate fi ușor adaptat oricărei configurații a bateriei.

Pornind de la vehiculele electrice, unde tensiunile pot fi de sute de volți și ajungând la instalațiile industriale de stocare de zeci de kilovolți, toate necesită un sistem de monitorizare al stării bateriilor, nu numai pentru a estima capacitatea rămasă dar în special pentru a putea preveni potențialele pericole ce pot apărea în cazul folosirii necorespunzătoare. Supraîncălzirea, supraîncărcarea sau supra-descărcarea celulelor scad durata de viață a bateriilor iar debalansarea celulelor poate duce la scăderea prematură a capacității totale.

Sistemul realizat monitorizează parametri ca temperaturi, tensiuni, curenți, puteri și, în plus, realizează balansarea celulelor componente a bateriei pentru a crește durata de viață a acesteia.

Pentru a testa fezabilitatea și utilitatea sistemului dezvoltat în această lucrare, acesta a fost folosit pe multiple vehicule electrice recreative și în diferite scenarii pentru a evidenția comportamentul sistemului în diferite situații des întâlnite.

1.1 FORMULAREA PROBLEMEI

În cadrul vehiculelor electrice ce folosesc celule de tipul Li-Ion pentru a stoca energia necesară deplasării, un element important este sistemul de gestionare al bateriei principale (BMS – Battery Management System – SMP – Sistem de Monitorizare a Bateriei). Acesta are rolul de a monitoriza fiecare celulă în parte și de a furniza informații utilizatorului sau calculatorului de bord al vehiculului cu privire la starea sistemului.

Însă, în general, fiecare BMS este destinat doar unui anumit tip de baterie și nu poate fi adaptat ușor unei alte configurații. Acest lucru determină un efort semnificativ de proiectare, testare și realizare de fiecare dată când o altă configurație este necesară.

De aceea este nevoie de un sistem modular, ușor de adaptat pentru cele mai comune tipuri de baterii și care poate fi ușor scalat. Folosind protocolul deja existent în industria auto, CAN (Controller Area Network – RC – Rețea de Control), fiecare modul poate comunica cu o unitate centrală ce adună informații și coordonează fiecare modul în parte pentru a crește durata de viață a bateriei. Acest sistem poate fi interfațat cu calculatorul de bord al mașinii sau poate fi independent, în funcție de aplicație și de dorințele inginerului proiectant, fără modificări fizice ale modulelor.

Obiectivele acestei lucrări au fost:

- Determinarea celei mai bune abordări pentru realizarea BMS-ului;
- Prototiparea sistemului modular pentru a determina funcționalitatea și costul total;
- Programarea fiecărui modul în parte pentru a funcționa în parametri optimi;
- Testarea fezabilității, modularității și răspunsului sistemului în diferite circumstanțe.

1.2 STRUCTURA SI CONȚINUTUL TEZEI

Lucrarea este structurată pe 7 capitole:

În *Capitolul 1 – Introducere* este prezentată, pe scurt, problema și soluția găsită pentru a putea monitoriza și balansa cu succes celulele componente ale unei baterii. În cea de-a doua parte sunt prezentate obiectivele ce au fost urmate în cadrul realizării tezei de doctorat.

În *Capitolul 2 – Tipuri de baterii pentru vehicule electrice* sunt introduse cele mai comune tipuri de baterii pentru vehicule electrice împreună cu parametri lor generali. În acest capitol sunt descrise și exemple pentru fiecare tip de baterie cu avantajele și dezavantajele lor pentru a alege tipul potrivit în funcție de vehiculul electric proiectat.

Capitolul 3 – Stadiul actual al sistemelor de monitorizare a bateriilor explorează diferite idei propuse în literatură și punctează atât avantajele diferitelor alternative de implementare, cât și dezavantajele pentru care acele soluții nu pot fi folosite în instalații de tensiuni și puteri mari.

Capitolul 4 – Considerente privind realizarea unui circuit de gestionare al bateriilor este dedicat determinării tuturor funcționalităților ce trebuie îndeplinite de către sistemul ce urmează a fi creat, include două metode de balansare propuse și introduce cititorului protocolul de control auto CAN bus.

În *Capitolul 5 – Realizarea unui BMS inteligent* se exemplifică proiectarea fiecărui modul în parte și se explică alegerea fiecărei componente. Funcționalitatea și costul sunt luate în considerare, fără a se face compromisuri. Acest capitol include atât realizarea fizică a modulelor cât și realizarea softului și interacțiunea acestuia cu utilizatorul.

În *Capitolul 6 – Rezultate experimentale* sistemul creat este supus la multiple teste pentru a studia funcționalitatea acestuia în sisteme reale în timp ce monitorizează bateriile diferitelor vehicule cu diferite configurații, atât ale bateriei, cât și ale sistemului de acționare electric. Datele sunt colectate de unitatea centrală, prelucrate de PC iar graficele generate sunt apoi explicate.

În *Capitolul 7- Concluzii finale și direcții de cercetare viitoare* sunt reiterate ideile susținute de-a lungul tezei, sunt extrase concluziile tezei și sunt enumerate câteva din direcțiile ce pot fi urmate pentru a dezvolta în continuare sistemul.

1.3 DISEMINAREA REZULTATELOR

Diseminarea rezultatelor legate de transferul wireless al puterii și de optimizarea procedurii de balansare a celulelor bateriilor s-a realizat în cadrul a 7 articole, din care 4 ca prim autor și 3 ca coautor.

1. **Bibirică C.T., Sandu C., Ene L.V., Iordache M.**, Intelligent balancing of series cells using a low processing power algorithm, Buletinul Științific U.P.B., Seria C, Vol. 80, Ed. 3, 2018
2. **Bibirică C.T., Sandu C., Ene L.V., Iordache M.**, Using WEBENCH Coil Designer for wireless power transfer coil generation, ATEE 2017
3. **Bibirică C.T., Sandu C., Ene L.V., Iordache M.**, Improving the performance of PCB inductors for WPT systems using magnetic shields, ISEEE 2017
4. **Bibirică C.T., Sandu C., Ene L.V., Iordache M.**, Easy Design Procedure of PCB Inductors Using WEBENCH Coil Designer, Analele Universității din Craiova, Nr. 42, Ed. 1, 2018, ISSN 1842-4805, pp. 32 – 37
5. **Iordache M., Niculae D., Ene L.V., Sandu C., Bobaru L., Bibirică C.T.**, On the Procedures for Optimal Wireless Energy Transfer Systems, EV2017
6. **Sandu C., Bibirică C.T., Ene L.V., Iordache M.**, Current Study, Design and Construction of a Wireless Energy Transfer System for Mobile Devices, EV2017
7. **Ene L.V., Sănătescu D.R., Sandu C., Bibirică C.T., Iordache M.**, Simulation of Magnetically Coupled Coils in Ansoft Q3D Extractor Program, OPTIM 2017

2 TIPURI DE BATERII PENTRU VEHICULELE ELECTRICE

2.1 INTRODUCERE

Bateriile sunt cea mai comună sursă de stocare a energiei electrice pentru vehiculele electrice. Acestea funcționează datorită reacțiilor chimice care au loc de fiecare dată când acestea sunt încărcate sau descărcate. Acțiunea electrică, din păcate, provoacă daune structurii chimice a bateriei și reduce treptat capacitatea bateriei până în momentul în care bateria nu mai poate să mențină sarcina. Procesul de deteriorare a bateriei poate fi întârziat prin simpla modificare a modului în care bateria este supusă condițiilor de funcționare [1]. De exemplu, bateriile supuse unor temperaturi extreme în timpul ciclurilor repetate de încărcare-descărcare au o durată mai mică de viață decât cele care funcționează în condiții favorabile. Bateriile sunt sigure atât timp cât acestea funcționează în interiorul parametrilor dați de producător și orice încălcare a limitelor prezintă un mare pericol pentru siguranța utilizatorilor. Deci, pentru o funcționare sigură și o durată de viață lungă, bateriile trebuie supuse condițiilor specificate în catalog, menținând astfel curenții de încărcare și descărcare, tensiunea și temperatura sub limitele maxime.

Cu toate acestea, cunoașterea tensiunii bateriei nu implică cunoașterea capacității rămase în baterie. Starea de încărcare (SOC-State of Charge) trebuie urmărită, acesta fiind parametrul de care depinde, în mod direct, energia rămasă în baterie [2]. SOC este definit ca fiind capacitatea actuală a bateriei împărțită la capacitatea nominală. Acest parametru poate fi urmărit pentru a evita defectarea bateriilor în urma supra descărcării dar nu indică direct viața rămasă a bateriei [3].

Pentru a monitoriza și asigura o funcționare în parametri a bateriei unui vehicul electric, un sistem inteligent de gestionare a acesteia trebuie folosit. Acesta trebuie să detecteze, în primul rând, tensiunea bateriei pentru a nu supraîncărca și supra-descărca celulele, curentul de descărcare nu trebuie să depășească curentul maxim recomandat de producător și fiecare celulă trebuie monitorizată pentru a detecta încălzirea locală, semn ca celula respectivă este aproape de sfârșitul vieții [4].

Pentru realizarea unui astfel de sistem inteligent, trebuie știut pentru ce tip de baterie va fi folosit și, în plus, specificațiile acesteia (capacitatea, tensiunea maximă, tensiune minimă, temperatura optimă de funcționare).

Alegerea unui tip de baterie pentru un vehicul electric depinde de cerințele acestuia și de condițiile în care va fi folosit. De exemplu, majoritatea vehiculelor care funcționează cu combustibil folosesc baterii de tipul Pb-Acid ce au o chimie foarte stabilă dar sunt foarte grele (fiind folosite în cadrul sistemelor staționare de stocare a energie electrice [5][6]), pe când vehiculele electrice folosesc baterii de tipul Li-Ion [7], Li-Polimer și LiFePo₄ [8]. Acestea au densitatea de energie mult mai mare însă sunt mai instabile și se pot supraîncălzi sau pot exploda dacă nu sunt folosite corespunzător.

2.2 BATERII DE TIP LITIU-FIER FOSFAT (LiFePo4)

Bateriile de tipul Litiu-Fier Fosfat sunt un tip de baterii reîncărcabile ce folosesc LiFePo4 pe post de catod și un electrod de carbon cu colector metalic ca anod [9].

Aceste tipuri de baterii sunt ideal folosite în vehicule electrice datorită densității mari de energie per kilogram, domeniu de temperatură larg, durată mare de viață și în special rezistența la supraîncălzire și explozii.

Caracteristici:

- Energie specifică: 90-110Wh/kg;
- Densitate de energie: 220Wh/L;
- Durată de viață: 2000 cicluri;
- Tensiune nominală: 3 – 3.3V.
- Tensiune maximă: 3.65V

2.2.1 Avantaje și dezavantaje

Bateriile de tip LiFePo4 utilizează o formulă chimică derivată din Litiu-Ion și au multe avantaje și dezavantaje similare cu alte bateriile cu chimii asemănătoare:

- Au o durată de viață mai lungă decât alte baterii cu chimii asemănătoare;
- Au o tensiune de descărcare constantă, asemănătoare bateriilor pe bază de nichel. Tensiunea rămâne aproape de 3.2V în timpul descărcării până când celula este epuizată. Acesta permite celulei să furnizeze o putere practică până la descărcare, putând simplifica sau chiar elimina circuitele de reglare a tensiunii;
- 4 celule pot fi conectate în serie pentru a forma o baterie de 12.8V, aceeași valoare ca a unei baterii Plumb-Acid. Împreună cu siguranța sporită a acestor baterii, o astfel de configurație poate înlocui bateriile clasice Pb-Acid în aplicații precum instalații solare sau în automobile, cu condiția că circuitul de încărcare să fie adaptat noii chimii și să nu deterioreze celulele. Într-o astfel de baterie, celulele trebuie să fie cel puțin echilibrate inițial, o echilibrare ocazională fiind deseori necesară pentru menținerea unei durate de viață mărită. În plus, tensiunea celulelor nu trebuie să scadă sub 2.5V pentru că acestea se pot deteriora.
- Rata de descărcare, deși mai mare ca a altor tipuri de baterii, este definită ca un procent din capacitate. Astfel, curentul de descărcare maxim suportat poate fi mărit dacă se utilizează baterii cu capacitate mai mare.
- Rată de descărcare proprie este foarte scăzută, asemănătoare cu al altor chimii pe bază de litiu și mult mai mică decât a bateriilor de tip Pb-acid.
- Acestea pot fi depozitate pentru mai mult timp la un nivel de încărcare apropiat de maximum fără a se degrada, ceea ce le face ideale pentru aplicații de tip așteptare (standby) și rezervă (back-up).

2.2.2 Exemplu de baterie LiFePo4

Cea mai comun tip pentru aceste baterii este 38120 (38mm diametru cu ~120mm lungime, fără terminale), fig. 2.1, ea fiind preferată pentru autovehicule personale de tip bicicletă și trotinetă electrică datorită ușurinței în realizarea unei baterii cu multiple celule în serie. Datorită curentului mare de descărcare, o singură celulă poate furniza curentul necesar unui vehicul (de exemplu: bicicletă) și astfel nu este necesară folosirea multiplelor celule în paralel, simplificând procesul de manufacturare. Șase baterii (cu un total de 192Wh) pot propulsa o bicicletă electrică timp de o oră la o putere constantă de 190W .

Specificații:

- Capacitate nominală: 10Ah;
- Tensiune nominală: 3.2V;
- Energie: 32Wh;
- Volum: 0.55 litri;
- Tensiune Maximă: 3.65V;
- Curent de descărcare maxim: 100A;
- Curent de încărcare maxim: 50A;
- Greutate: 330g.



Fig. 2.1: Exemplu de baterie LiFePo4

2.3 BATERII DE TIP LITIU- POLIMER (LI-POLI)

Bateriile de tipul Litiu-Polimer sunt derivate din bateriile Li-Ion și folosesc un polimer pe post de electrolit. Aceste tipuri de baterii au energie specifică mai mare ca a altor baterii cu chimie asemănătoare și sunt folosite în aplicații ca telefoane mobile, tablete, laptopuri, vehicule electrice.

Caracteristici:

- Energie specifică: 100-265Wh/kg;
- Densitate de energie: 250-750Wh/L;

- Durată de viață: 1000 cicluri;
- Tensiune nominală: 3.7-3.85V;
- Tensiune maximă: 4.2-4.4V.

2.3.1 Avantaje și dezavantaje

Bateriile de tip Litiu-Polimer prezintă avantaje și dezavantaje care le fac potrivite pentru anumite tipuri de dispozitive electronice:

- Cel mai mare avantaj este densitatea de energie. Dispozitivele portabile ce folosesc o astfel de baterie pot funcționa o perioadă mai îndelungată fără să fie reîncărcate.
- Tensiunea maximă de 4.2V (până la 4.4V) le fac ideale pentru dispozitive portabile, de tipul telefoanelor mobile, a tabletelor sau laptopurilor. Această tensiune mărită contribuie la creșterea densității de putere și oferă reglatoarele de tensiune din dispozitivele mobile o tensiune mai mare de intrare, ceea ce crește eficiența lor la aceeași putere de ieșire.
- Ca la toate chimii pe bază de litiu, aceste baterii au curentul de auto-descărcare foarte scăzut. O baterie încărcată nu își va pierde energia acumulată dacă este depozitată corespunzător, însă tensiunea / nivelul de încărcare trebuie să fie între 50 și 80%. O baterie încărcată la maximum are chimia instabilă și există riscul ca aceasta să se defecteze.
- Dimensiunile poliedrice le fac foarte ușor de așezat pentru a forma baterii complexe, cu multe celule serie/paralel, fără a irosi spațiu.
- Construcția acestora, sub formă de săculeț, contribuie la scăderea considerabilă a greutateii însă prezintă și un mare dezavantaj: aceste baterii sunt foarte sensibile la șocuri mecanice, în special la găurire și forfecare. O baterie de tip Li-Polimer încărcată poate exploda sau poate lua foc dacă este perforată cu un obiect ascuțit.
- Din cauza regimurilor de funcționare, de obicei mai dure ca restul bateriilor (curenți de descărcare mari, reîncărcări frecvente), aceste baterii suferă de efectul de îmbătrânire. O baterie modernă dintr-un telefon mobil, cu tensiunea maximă de încărcare de 4.4V, poate să-și piardă și 25% din capacitate într-un an, dacă este supusă unor cicluri de încărcare/descărcare complete. Astfel se recomandă, în cazul dispozitivelor mobile, ca încărcarea să se facă până la 80% din capacitate iar acestea să nu fie descărcate sub 15%.
- În cazul vehiculelor electrice, acest tip de baterie este periculos de adoptat datorită factorilor de siguranță a pasagerilor, atât în cazul unui accident cât și în cazul unei uzuri normale.

2.3.2 Exemplu de baterie Li-Polimer destinată dispozitivelor portabile

În cazul bateriilor de tip Li-Polimer, nu există o formă standard adoptată pe plan internațional, acestea fiind realizate/alese în funcție de produsul pentru care sunt destinate. Toate aceste baterii au în comun forma de paralelipiped dreptunghic și tensiunea nominală.

Bateria din figura 2.2 are:

- Tensiunea nominală de 3.7V;
- Tensiunea maximă de încărcare: 4.2V;
- Curentul maxim de descărcare: 2A;

- Capacitatea nominală: 1000mAh;
- Dimensiunea de 60x34x50mm.

Aceasta este o celulă tipică ce poate fi folosită în dispozitive de tipul telefoanelor mobile, care nu necesită curenți mari de descărcare. Celulele destinate dispozitivelor portabile au, în plus, și un circuit de protecție la supratensiune, supracurenți și supra-descărcare pentru a evita defectarea accidentală.

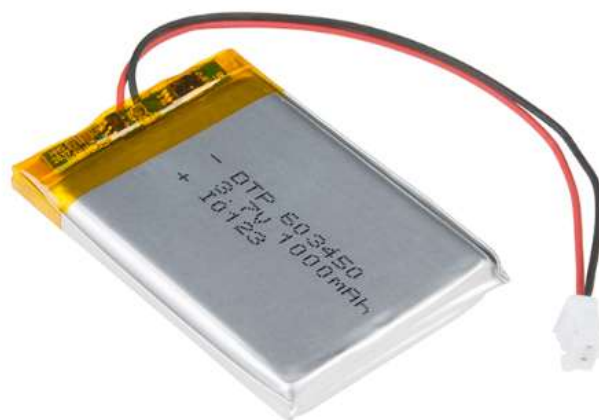


Fig. 2.2: Exemplu de baterie Litiu-Polimer destinată dispozitivelor mobile

2.3.3 Exemplu de baterie Li-Polimer destinată aeromodelelor

Pentru dispozitivele ce necesită curenți de descărcare mult mai mari, cum ar fi automodelele radiocomandate, există baterii special construite pentru a îndeplini acest scop. Deși tensiunea nominală este aceeași (3.7V) și plaja de tensiuni este aceeași (3V- 4.2V), aceste baterii au curenții de descărcare mult mai mari. Bateria prezentată în figura 2.3 are curentul de descărcare nominal de peste 71A (și peste 100A pentru 3 secunde), chiar dacă capacitatea acesteia este de doar 950mAh (curentul de descărcare nominal este 75C, cu 150C pentru 3 secunde). Construcția acestor baterii include un Anod și un Catod mult mai mari pentru a putea conduce un curent cât mai mare fără a se supraîncălzi, însă și chimia acestor baterii este modificată pentru a fi mai instabilă. Ca urmare, aceste tipuri de baterii au o durată de viață mult mai mică, de doar sute de cicluri, ele suferind o defectare rapidă. În plus, aceste baterii nu au circuite de protecție, protejarea celulelor făcându-se de către dispozitivele care le încarcă, respectiv descarcă.



Fig. 2.3: Exemplu de baterie Litiu-Polimer destinată aeromodelelor

2.4 BATERII DE TIPUL LITIU-ION

Bateriile de tipul Li-Ion sunt cele mai folosite în cadrul vehiculelor electrice datorită densității mari de energie, al chimiei relativ stabile și al costului redus. În plus, aceste baterii tind să-și păstreze mai ușor echilibrarea din fabrică, o baterie formată din celule cu astfel de chimie necesitând mai puțină întreținere. Un element de siguranță adițional pe care îl au cel mai comun tip de baterii Li-Ion (18650) este supapa de suprapresiune. Aceasta se găsește în partea de sus a bateriei, pe terminalul pozitiv, și are rolul de a deconecta mecanic și electric celula de restul bateriei în cazul acumulării de presiune datorată gazelor din celulă.

De exemplu, în caz că bateria este supraîncărcată, aceasta se va încălzi, electrolitul va începe să degaje gaze ce se vor acumula în celulă iar suprapresiunea astfel creată va împinge (deplasa) o membrană non elastică care va deconecta electrodul pozitiv al celulei de terminalul pozitiv al acesteia. Dacă, din orice alt motiv, presiunea din interiorul celulei crește în continuare, membrana de suprapresiune se rupe iar gazul este eliminat în siguranță, fără ca celula să explodeze (asemănător cu elementul de siguranță din condensatoarele electrolitice clasice).

Caracteristici:

- Energie specifică: 100-265Wh/kg;
- Densitate de energie: 250-680Wh/L;
- Durata de viață: 1000 cicluri;
- Tensiune nominală: 3.6-3.85V;
- Tensiune maximă: 4.1-4.4V.

2.4.1 Avantaje și dezavantaje

Deși există o diversitate considerabilă în ceea ce privește chimia bateriilor Li-Ion, acestea prezintă anumite avantaje și dezavantaje generale [10]:

- Costul redus; datorită adoptării formei standard de 18mm x 65mm (celula fiind generic numită 18650) în toate industriile (electronice de consum (laptopuri, tablete), autoturisme (Tesla Model S) și instalații de stocare a energiei (Tesla Power Wall)) costul acestor tipuri de baterii este foarte scăzut în comparație cu al altor chimii;
- Densitatea de energie este crescută în comparație cu alte chimii, însă din cauza dimensiunilor standard și a învelișului protector din metal, o baterie formată din astfel de celule nu utilizează la maxim spațiul disponibil;
- Formă standard cilindrică a bateriilor de tip 18650 permite circulația lichidelor de încălzire/răcire (aer sau ulei). Menținerea acestor baterii în condiții optime de temperatură crește durata de viață și încetinește îmbătrânirea;
- Auto descărcarea este scăzută, în comparație cu a altor baterii (Pb-Acid, NiCd, NiMH) și necesită doar o simplă încărcare pentru a putea fi folosite;
- Nu au efect de memorie; bateriile pot fi încărcate și descărcate parțial, în mod repetat, fără a fi afectată capacitatea totală;
- Bateriile Li-Ion necesită circuite de protecție pentru a nu se distruge: tensiunea și curentul trebuie menținute în parametrii recomandați de producător: orice supraîncărcare, supra descărcare sau încărcare/descărcare la un curent mai mare decât cel recomandat poate duce la deteriorarea celulei sau la distrugerea acesteia;
- Depozitarea în condiții nefavorabile (la temperaturi crescute ($>40^{\circ}\text{C}$) sau scăzute ($<0^{\circ}\text{C}$)) poate conduce la scăderea capacității. În plus, se recomandă o încărcare de 40-80% a bateriei în momentul depozitării.

2.4.2 Exemplu de celula Li-Ion de capacitate mare

Celulele cilindrice de tip Li-Ion 18650 sunt folosite atât în laptopuri, cât și în autovehicule. Un exemplu de celula folosită în laptopuri este NCR18650B [11](figura 2.4). Aceasta are :

- Capacitate: 3200mAh
- Tensiune nominală: 3.6V
- Tensiunea minimă: 2.5V (în sarcină)
- Tensiunea maximă : 4.2V
- Curent de descărcare maxim recomandat: 2A



Fig. 2.4: Exemplu de baterie Li-Ion de tip 18650 de capacitate mare

O astfel de baterie compromite curentul de descărcare (și rezistența internă crescută) pentru a crește capacitatea. Pentru creșterea curentului de descărcare, mai multe baterii de acest tip pot fi conectate în paralel.

2.4.3 Exemplu de baterie Li-Ion destinată vehiculelor electrice

Deși bateria prezentată în exemplu anterior (NCR18650B) poate fi folosită în vehicule electrice prin conectarea în paralel a mai multor celule, pentru vehiculele electrice personale, unde curentul de descărcare este mare dar, din lipsă de spațiu, nu se pot folosi în paralel decât un număr limitat de celule, bateria 18650HD2C [12] este ideală (figura 2.5). Aceasta sacrifică o parte din capacitatea maximă pentru a scădea rezistența internă și a crește curentul de descărcare.

Această baterie are următoarele specificații:

- Capacitate: 2100mAh;
- Tensiune nominală: 3.65V;
- Tensiunea minimă: 2.5V (în sarcină);
- Tensiunea maximă : 4.2V;
- Curent de descărcare maxim recomandat: 20A.



Fig. 2.5: Exemplu de baterie Li-Ion destinată vehiculelor electrice

Pentru realizarea unei baterii pentru o bicicletă electrică, de exemplu, 3 astfel de celule pot fi conectate în paralel pentru o capacitate totală de 6.3Ah și un curent maxim de descărcare de 60A, urmând ca numărul de celule în serie să fie determinat de tensiunea nominală a motorului (de obicei pentru o bicicletă electrică: 12V, 24V, 36, 48V).

3 STADIUL ACTUAL AL SISTEMELE DE MONITORIZARE A BATERIILOR

3.1 INTRODUCERE

Studiul și realizarea unui sistem de monitorizare a celulelor dintr-o baterie complexă ce include celule serie-paralel este de interes deosebit, cu aplicații în domenii diferite, de la vehicule electrice personale la autovehicule și instalații industriale.

Tensiunile folosite în astfel de sisteme de obicei nu depășesc 2kV, limitare impusă de circuitele electronice ce realizează conversia puterii. Astfel de circuite sunt folosite în 2 situații: încărcarea bateriilor și descărcarea acestora.

Încărcarea bateriilor trebuie făcută după o regulă strictă: bateriile se încarcă în curent constant până la atingerea tensiunii maxime de încărcare, după care se menține tensiunea constantă, urmând ca încărcarea să fie finalizată după scăderea curentului de încărcare sub o limită prestabilită [13]. Dacă este nevoie, în timpul încărcării, se poate face și balansarea celulelor, folosind fie tehnica încărcării individuale a celulelor sau tehnică descărcării individuale a celulelor.

În ceea ce privește descărcarea bateriilor, în cazul vehiculelor electrice, această se realizează folosind electronică de putere cu circuite în comutație, care de obicei acționează motoare sincrone.

3.2 SOLUȚII PROPUSE

3.2.1 Circuite integrate dedicate

Printre soluțiile propuse pentru realizarea unui BMS cu circuite integrate dedicate se numără și circuitul propus în [14] (care folosește un LTC6803) sau [15] (care folosește bq78pl14), circuite integrate ce pot monitoriza multiple celule cu acuratețe ridicată [16] deja folosit în dispozitive de tip laptopuri pentru monitorizarea bateriei. Deși complexitatea unui astfel de sistem poate fi mai scăzută, modificarea și adaptarea acestuia în funcție de tipul bateriei ales și în funcție de cerințele sistemului unde ar putea fi folosit este, de asemenea, dificilă. De exemplu, pragurile de tensiuni la care se emit avertismente nu pot fi setate de către utilizator la orice valoare dorită, programarea acestuia în timpul funcționării este imposibilă iar interfațarea cu o unitate centrală deja existentă a mașinii necesită circuite electrice adiționale (un microcontroler pentru estimarea stării de încărcare, un transceiver de CAN pentru realizarea comunicației între module și relativ multe componente pasive).

3.2.2 Comutarea dinamică serie-paralel

O altă soluție ce poate fi implementată numai pentru sisteme alimentate la tensiuni scăzute presupune conectarea celulelor componente ale unei baterii folosind tranzistoare (sau alte componente de circuit comandate) pentru a schimba dinamic configurația bateriei [17][18][19].

Principalul avantaj al unei astfel de abordări este posibilitatea modificării tensiunii bateriei fără a necesita convertoare de putere, prin simpla comutare inteligentă a tranzistoarelor componente în sistem. Un exemplu de aplicabilitate al acestui sistem ar putea fi regăsit la autovehicule electrice. La pornire, când curentul necesar este crescut, însă tensiunea bateriei nu contează, sistemul dinamic ar putea comuta celulele bateriei din serie în paralel, crescând astfel curentul ce poate fi furnizat de baterii. După depășirea unei anumite viteze, sistemul ar putea fi reconfigurat pentru a crește tensiunea prin punerea mai multor celule în serie.

O astfel de abordare ar elimina și necesitatea balansării celulelor, acestea fiind încărcate conectate numai în paralel, însă durata de viață a fiecărei celule în parte ar fi greu de monitorizat.

Un dezavantaj major al unui sistem dinamic serie-paralel este costul prea mare al sistemului. Fiecare sub modul necesită un minim de 3 tranzistoare de putere împreună cu logica de comandă și elemente de siguranță adiționale. În cazul în care unul din tranzistoare ar intra în conducție necontrolat, acesta ar putea scurtcircuita celula adiacentă și astfel s-ar putea autodistrage, acesta prezentând un pericol ridicat de incendiu.

3.3 CONCLUZII

Sistemele actuale sunt concepute în mod specific numai pentru o anumită baterie, cu număr de celule serie cunoscute și implică costuri mari de producție. Deși au un design modular, sisteme actuale nu sunt concepute pentru o varietate mare de celule serie și nu pot fi folosite atât pe autovehicule electrice cât și pe vehicule recreative.

Logica decizională locală determină o necunoaștere globală a situației bateriei, în special starea de încărcare a întregii baterii, ceea ce ar putea duce la luarea unor decizii eronate. De exemplu, dacă un modul de BMS detectează o debalansare a celulelor, ar putea începe balansarea acestora în timpul descărcării, decizie ce ar duce la scăderea autonomiei vehiculului electric.

De aceea este necesar un sistem inteligent, interconectat dar modular, ce poate fi folosit pentru un număr foarte variat de celule ce ar putea primii de la o unitate centrală diferite comenzi (cum ar fi începerea balansării) și ce ar putea fi configurat dinamic, în timpul funcționării, pentru a optimiza durata de viață a bateriei [20][21].

Alte sisteme modulare, cum ar fi cele dinamice serie/paralel, deși elimină nevoia încărcării individuale a celulelor, sunt foarte costisitoare iar aplicabilitatea lor pentru tensiuni mari nu a fost testată.

4 CONSIDERENTE PRIVIND REALIZAREA UNUI CIRCUIT DE GESTIONARE AL BATERIILOR

Un sistem inteligent de gestionare a bateriilor formate din celule multiple de tip Li-Ion este necesar pentru îmbunătățirii siguranței pasagerilor și pentru prelungirii duratei de viață a bateriei, dar implementarea acestuia este complexă [22].

Într-un sistem dinamic format din celule multiple în configurație serie-paralel ce pot conține zeci, sute sau mii de astfel de celule, verificarea fiecărei celule în parte pentru măsurarea tensiunii, stării de încărcare sau a temperaturii devine dificilă. În plus, sistemul de gestionare numit BMS trebuie să fie astfel realizat încât să poată să comunice și cu sistemul central al autovehiculului pentru a semnaliza, pe lângă parametri obișnuiți (starea de încărcare, tensiunea, curentul, temperatura) și parametri legați de siguranță, cum ar fi deteriorarea prematură a unei celule sau o încălzire locală a unui set de celule [23][24][25]. Aceste măsurători trebuie să fie făcute în mod precis într-un mediu ostil, în timpul funcționării, fără a perturba funcționarea principală a bateriei sau a consuma o cantitate semnificativă de putere din rezervele principale ale autovehiculului.

Un sistem de monitorizare al bateriei poate să includă [26]:

- o Monitorizarea celulelor bateriei (tensiune, curent, temperatură);
- o Monitorizarea curentului total de încărcare/descărcare;
- o Controlul sistemului de răcire sau încălzire;
- o Funcții de diagnosticare și comunicare cu unitatea centrală a mașinii;
- o Determinarea nivelului de îmbătrânire a bateriei.

O altă funcție, ocazional omisă a unui astfel de sistem, este echilibrarea celulelor componente ale bateriei. Într-un sistem ideal, în care toate celulele bateriei au aceeași capacitate, aceeași tensiune, aceeași rezistență internă și același grad de îmbătrânire și sunt conectate împreună în același fel nu necesită balansare. Însă micile diferențe dintre celule, provenite din procesul de fabricație, pot contribui la debalansări considerabile, în timp, după multiple cicluri de încărcare/descărcare, fapt ce reduce considerabil durata de viață a întregii baterii. Datorită felului în care aceste baterii sunt realizate, deseori sudate în puncte, celulele defecte nu pot fi schimbate și, deci, toată bateria trebuie înlocuită. Pentru a crește fiabilitatea unui astfel de sistem, un proces de scanare și determinare a parametrilor fiecărei celule individuale poate fi implementat [27], însă costul realizării unei baterii crește considerabil.

Pentru a permite modulelor componente ale sistemului de monitorizare să comunice cu un modul master de control sau cu unitatea centrală a autovehiculului, a fost ales protocolul CAN bus, protocol deja folosit în cadrul vehiculelor clasice ce a fost adoptat și în cadrul vehiculelor electrice [28].

4.1 METODE DE BALANSARE

Balansarea bateriilor se poate face prin mai multe metode [29], din care doar două sunt mai practice.

4.1.1 Metoda 1: Balansarea prin încărcarea individuală a celulelor

Balansarea/Încărcarea individuală a celulelor presupune aplicarea algoritmului de încărcare în curent constant urmat de tensiune constantă în mod individual pentru fiecare celulă. Acesta presupune prezența unor surse de tensiune ce au masă (referință) flotantă, lucru posibil doar dacă alimentarea fiecărei celule este izolată galvanic față de restul celulelor și față de sursa generală. Acest dezavantaj face ca încărcarea individuală a celulelor să nu fie practică pentru baterii cu mai mult de 3 celule, iar izolarea galvanică între circuitele de încărcare să limiteze curentul maxim de încărcare.

Astfel fiecare celulă este încărcată optim, încărcarea oricăreia fiind independentă de a celorlalte (figura 6.1). Folosind această metodă, capacitatea fiecărei celule poate fi atent monitorizată și se poate determina ușor o eventuală uzură prematură, o supraîncălzire sau degradare a celulei.

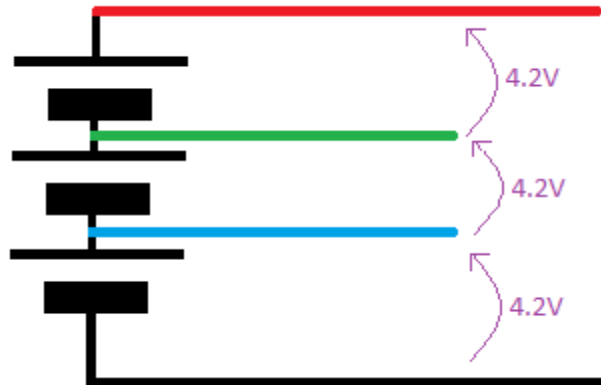


Fig. 6.1: Încărcarea individuală a celulelor

4.1.2 Metoda 2: Balansarea prin descărcarea individuală a celulelor

Balansarea bateriei prin descărcarea individuală a celulelor presupune aplicarea unei tensiuni de încărcare pe la capetele bateriei (capetele de forță) și descărcarea surplusului de putere folosind rezistoare în paralel cu celulele bateriei (figura 6.2). Astfel, dacă o celulă se încarcă mai repede decât celelalte (are capacitatea mai mică decât a celorlalte celule), în paralel cu ea se conectează o sarcină până când tensiunea acesteia scade la tensiunea celorlalte.

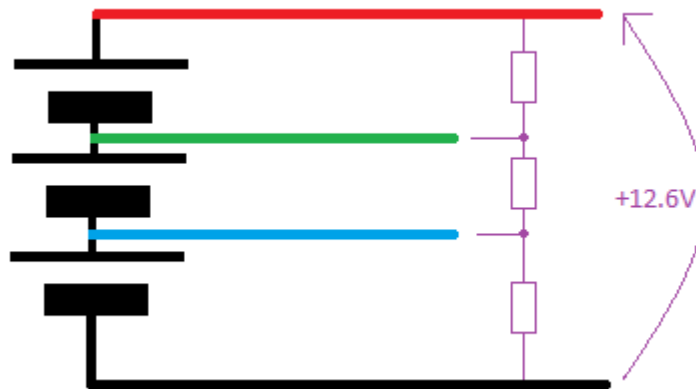


Fig. 6.2: Încărcarea pe la capete

Principalul dezavantaj al acestei încărcări este pierderea de putere, sub formă de căldură, dacă bateriile sunt debalansate. Astfel, dacă o celulă se încarcă mai greu ca celelalte, toate celelalte celule trebuie descărcate până când tensiunea tuturor devine egală, proces în care se generează multă căldură. În schimb, dacă celulele sunt relativ balansate, acest procedeu de încărcare este mult mai ușor de implementat, este mai ieftin și puterea de încărcare este mult mai mare.

4.2 INTRODUCERE IN CAN BUS

CAN bus (Controller Area Network – Rețea de control) este un protocol de control standard destinat vehiculelor prin care se realizează comunicația între modulele componente. Acesta este bazat pe mesaje, comunicația realizându-se doar prin două conductoare pentru transferul de date, reducându-se astfel consumul de conductoare (fire) [30].

Acest protocol, deși apărut în 1986, a fost adoptat ca standard în 1993, fiind publicat în ISO 11898.

4.2.1 Nivelul fizic

Protocolul CAN bus folosește două conductoare (CAN high și CAN low) pentru a realiza o comunicație în multiple puncte (o comunicație multy-point), fiecare dispozitiv conectat la acest bus putând să comunice cu orice alt dispozitiv, folosind mesaje. Cele două semnale sunt complementare, astfel obținându-se o imunitate considerabilă împotriva zgomotului produs de perturbații electromagnetice.

Scăderea perturbațiilor se datorează și faptului că cele două semnale au impedanță scăzută.

Fiecare dispozitiv aflat la cap de linie trebuie să folosească un rezistor de 120Ω pentru a readuce bus-ul la starea de repaos. În sistemul implementat, acest rezistor a fost plasat la unul dintre modulele de măsurare a tensiunii și la master.

Schema bloc a unui astfel de sistem fizic este prezentată în figura 3.1.

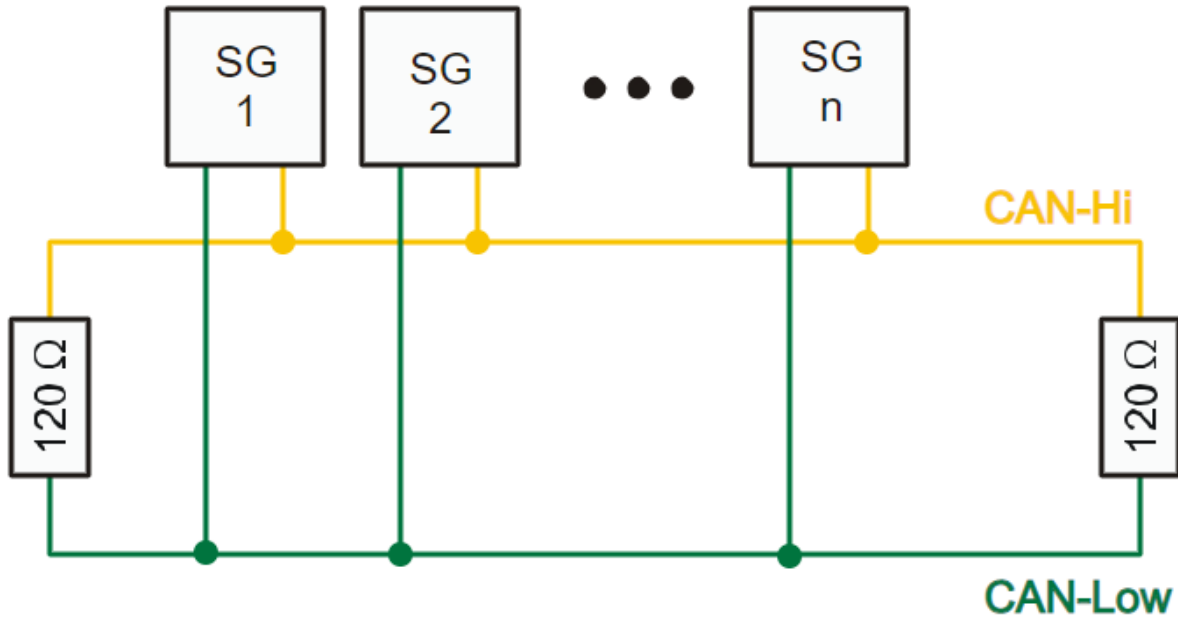


Fig. 3.1: Schema bloc a unui sistem CAN (nivelul fizic)

Deși, la prima vedere, implementarea unui astfel de protocol este dificilă, alegerea inteligentă a unui microcontroler care să aibă multiple periferice, dintre care și CAN bus, reduce considerabil dificultatea implementării.

4.2.2 Nivelul Logic

Pentru realizarea efectivă a comunicației, un transceiver (emisie-recepție) este folosit. Acesta primește datele în mod digital (,0' și ,1' logic) și le convertește la nivelele de tensiune necesare comunicației (în cazul alimentării la 5V: 2.5V pentru nivel logic ,1' și 0V- 5V, pentru nivel logic ,0').

Structura unui mesaj CAN este prezentată în figura 3.2.

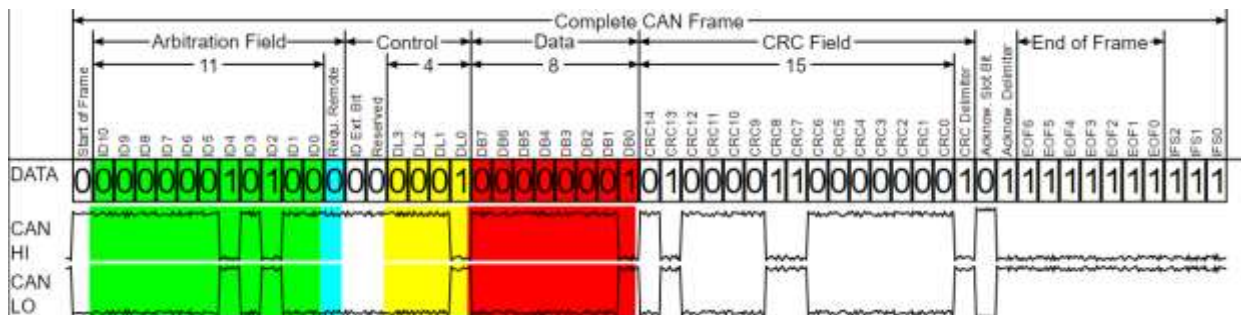


Fig. 3.2: Structura protocolului folosit în cadrul comunicației CAN

Acest mesaj conține:

- 1 bit de start; determină startul unei transmisii
- 11 biți unici de identificare; fiecare mesaj are un ID unic cu o prioritate invers proporțională cu numărul acestuia
- 1 bit pentru solicitare transmisie
- 1 bit pentru identificarea tipului de transmisie; ,0' pentru transmisie de 11 biți
- 1 bit rezervat
- 4 biți ce reprezintă mărimea mesajului
- Intre 0 si 64 biți pentru mesajul propriu-zis
- 15 biți pentru suma de control
- 1 bit logic ,1'
- 1 bit pentru confirmare primire mesaj
- 1 bit 1
- 7 biți de 1 pentru semnalare finalizare mesaj

Complexitatea acestui protocol este mult diminuată atunci când este folosit un transceiver CAN. Acesta are implementată logica comunicației, cunoașterea formei mesajului fiind foarte utilă în momentul analizării comunicației pentru depistarea posibilelor erori (depanare).

4.2.3 Concluzii CAN

Protocolul de tip CAN bus a fost ales datorită răspândirii acestuia în cadrul industriei automobilelor, atât electrice cât și clasice, fiind utilizat pentru monitorizarea și optimizarea dinamicii bateriei [31]. Datorită rezistenței la perturbații electromagnetice și al simplității conexiunilor electrice, acesta poate fi folosit și în cadrul vehiculelor electrice recreative.

Alegerea unui microcontroler cu modul dedicat de CAN și alegerea unui transceiver dedicat scade considerabil dificultatea implementării unui astfel de protocol.

În cazul actual, în care se dorește monitorizarea unui număr mare de celule, transceiverul de CAN va fi izolat galvanic. Această izolație este necesară datorită felului în care modulele vor fi folosite, în serie. Astfel, aceste module vor avea referință flotantă iar comunicația între ele va fi posibilă [32].

5 REALIZAREA UNUI BMS INTELIGENT

5.1 INTRODUCERE

În literatură au fost propuse mai multe tipuri de BMS [33][34][35], fiecare cu avantajele și dezavantajele lui. Unele sunt simple și ieftine, însă nu realizează balansarea; altele implementează toate funcțiile necesare unui BMS dar sunt costisitoare și se pot defecta ușor.

Pornind de la ideea prezentată în [13], la care s-a adăugat sistemul de balansare propus de autor în lucrarea [36] a fost gândit un sistem cu schema bloc din figura 7.1.

Design-ul modular a fost ales din mai multe motive:

1. Limitarea tensiunii măsurate la 16.8V (4 celule a câte 4.2V maxim) reduce costul componentelor, acestea putând fi alese pentru tensiuni de minim 20V;
2. Posibilitatea punerii în serie a unui număr practic nelimitat de astfel de module, sistemul astfel rezultat fiind ideal pentru baterii cu tensiuni de la 12.6V (un modul ce monitorizează 3 celule serie) până la minim 1680V (100 de module ce monitorizează 400 de celule serie)
3. Ușurința instalării în bateriile deja existente;
4. Unitatea centrală poate fi folosită ca atare sau poate la rândul ei să comunice cu sistemele deja existente în vehiculul electric;
5. Curentul consumat este neglijabil;
6. Fiecare modul trebuie să dispună o energie mică (maxim 4W).

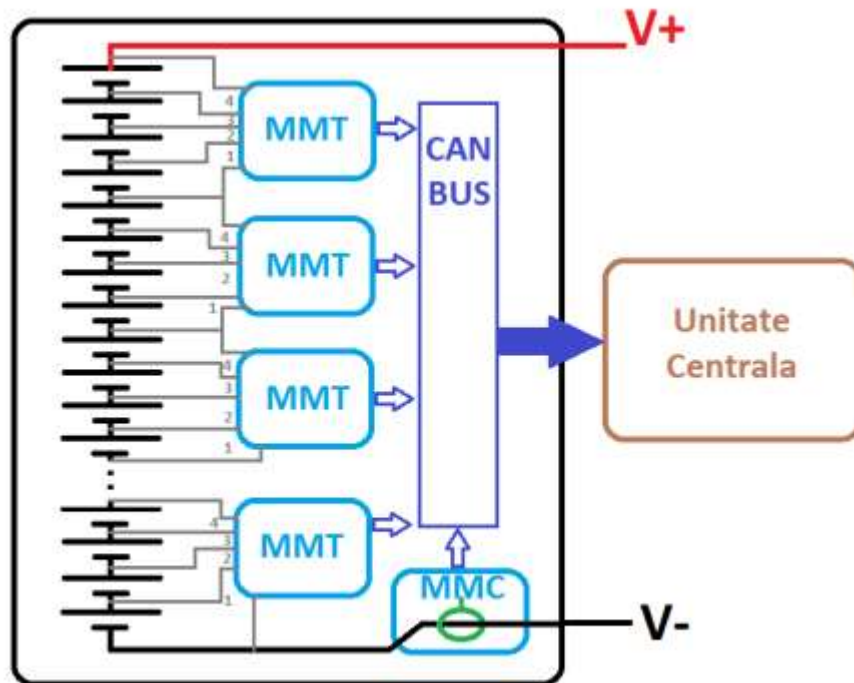


Fig. 7.1: Schema bloc a unui sistem de monitorizare prin CAN

5.2 REALIZAREA MODULUI DE MASURARE A TENSIUNII (MMT)

Pentru realizarea modulului de măsurare a tensiunii au fost luate în considerare următoarele aspecte:

1. Tensiunea maximă ce poate fi măsurată
2. Numărul de celule suportat
3. Curentul maxim consumat în starea de inactivitate
4. Costul de producție
5. Spațiul ocupat

5.2.1 Definitivarea schemei electrice

Pentru a realiza schema electrică, a fost luată în considerare schema electrică de balansare și măsurare a tensiunilor celulelor componente din articolul autorului, [36]. Crearea unei scheme electrice ce realizează toată funcționalitatea folosind un algoritm cât mai simplu este esențială, scăderea puterii de procesare traducându-se în scăderea puterii consumate de microcontroler, astfel scăzând puterea totală consumată atunci când sistemul este în starea activă.

5.2.1.1 Alegerea microcontrolerului

În alegerea microcontrolerului au fost luate în considerare următoarele aspecte:

1. Prezența unor periferice pentru generarea pachetelor pentru protocolul de comunicație CAN bus;
2. Prezența unui ADC (analog to digital convertor- convertor digital-analogic) de precizie cât mai mare: 12 biți (cu valori cuprinse între 0 și 4086);
3. Numărul de pini necesari: tensiunea și temperatura fiecare celule trebuie să fie monitorizată, balansarea este realizată pentru fiecare celulă în parte (minim 12 pini de control și monitorizare), la care se adaugă pinii pentru comunicația CAN și pinii de pornire/oprire ai circuitului de achiziție a tensiunilor;
4. Dimensiunea (cât mai mică)
5. Costul

Astfel s-a ales microcontrolerul PIC18F25K83 (figura 7.2) produs de Microchip [37], ce îndeplinește toate criteriile necesare la un preț de 1.41\$.



Fig. 7.2: Microcontrolerul PIC18F25K83

Acesta are următoarele specificații:

- Convertor analog-digital de 12 biți, cu 24 de canale disponibile;
- Modul de comunicație CAN integrat;
- 25 de pini intrare/ieșire;
- Capsulă QFN cu dimensiunea de 6 x 6 x 0.9mm;
- Frecvența de lucru programabilă, până la 64MHz.

5.2.1.2 Realizarea circuitului de măsurare a tensiunilor

Pentru măsurarea tensiunilor fiecărei celule în parte s-a folosit un IC (integrated circuit - Circuit integrat) cu 4 amplificatoare, în configurație de amplificator diferențial. Acesta este necesar datorită aranjării celulelor bateriei în conexiune serie, tensiunile reale (cu referință la borna negativă a primei celule) fiind (dacă sunt încărcate la tensiunea maximă): 4.2V, 8.4V, 12.6V și 16.8V. Pentru a măsura cu un microcontroler ce poate primi pe pini o tensiune mai mică sau egală cu tensiunea de alimentare, tensiunile trebuie coborâte folosind un divizor rezistiv sau amplificator diferențial. Datorită referinței negative a convertoarelor analog/digitale la masă microcontrolerului, amplificatorul diferențial este singurul care poate transla nivelele de tensiuni ale celulelor pentru a avea referință față de masă.

Schema aleasă este prezentată în figura 7.3.

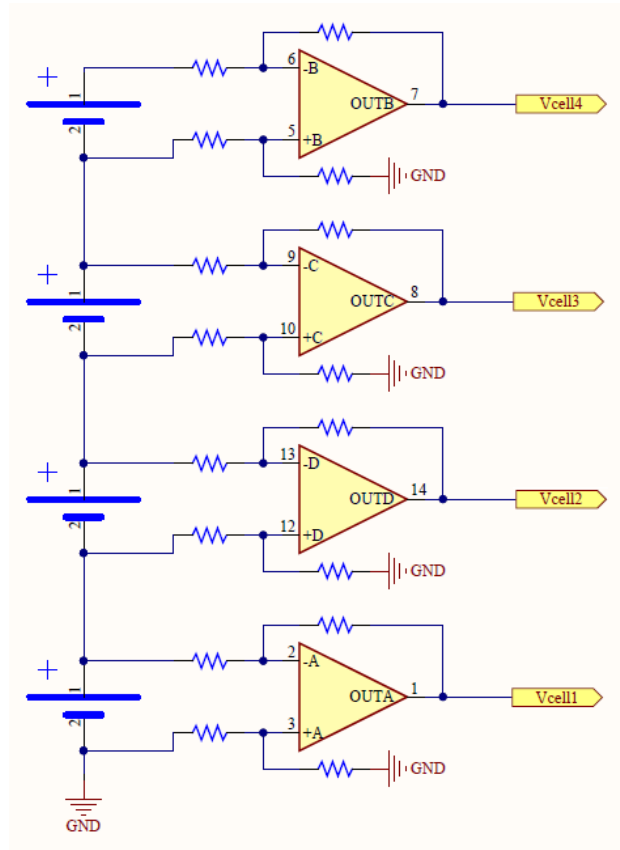


Fig. 7.3: Schema circuitului de măsurare a tensiunilor

5.2.1.3 Alegerea amplificatorului operațional

Pentru alegerea amplificatorului operațional, s-a ținut cont de:

- Tensiunea de alimentare maximă; pentru 4 celule de 4.2V, o tensiunii minimă de 16.8 V este necesară, dar pentru siguranța în funcționare (pot apărea vârfuri de supratensiuni în baterie), tensiunea trebuie să fie de minim 24V;
- Tensiunea minimă de alimentare; deoarece modulul de măsurare a tensiunilor poate să măsoare minim 2 celule, dacă tensiunea minimă a acestora este 3V, atunci tensiunea minimă de funcționare trebuie să fie 6V;
- Tensiunea de offset de intrare: cât mai mica;
- Curentul consumat: cât mai mic;
- Capsulă: SMD (surface mount- montat pe suprafață);
- Cost mic;

Astfel a fost ales amplificatorul operațional LM324 (figura 7.4) [38].

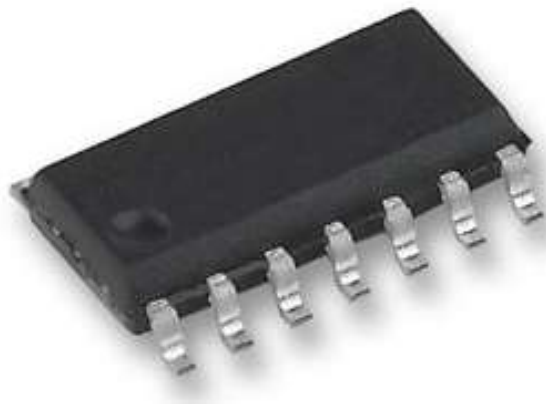


Fig. 7.4: Amplificatorul operațional LM324

Acesta prezintă următoarele caracteristici:

- tensiune de alimentare: între 3V și 30V
- curentul de funcționare pentru fiecare amplificator: 375 μ A
- Tensiunea de offset de intrare: 5mV
- Cost: 0.084\$

5.2.1.4 Realizarea circuitului de balansare al celulelor

Circuitul de balansare al celulelor este unul activ ce funcționează pe principiul descărcării celulelor ce depășesc o anumită tensiune aleasa de către microcontroler până la atingerea pragului minim determinat de celula cea mai descărcată din sistem.

Pentru realizarea unei astfel de funcționalități sunt necesare câteva componente cheie: tranzistoare PMOS de putere, cu rezistență serie în conducție mica, ce vor comuta curenții de

descărcare, rezistoare de putere, cu o valoare și putere aleasa astfel încât să conducă și să disipă puterea necesară și tranzistoare NMOS (sau NPN) de semnal, pentru comanda tranzistoarelor de putere. Mai sunt necesare câteva rezistoare de semnal pentru asigurarea închiderii tranzistoarelor de putere, atunci când este nevoie.

Circuitul realizat este prezentat în figura 7.5.

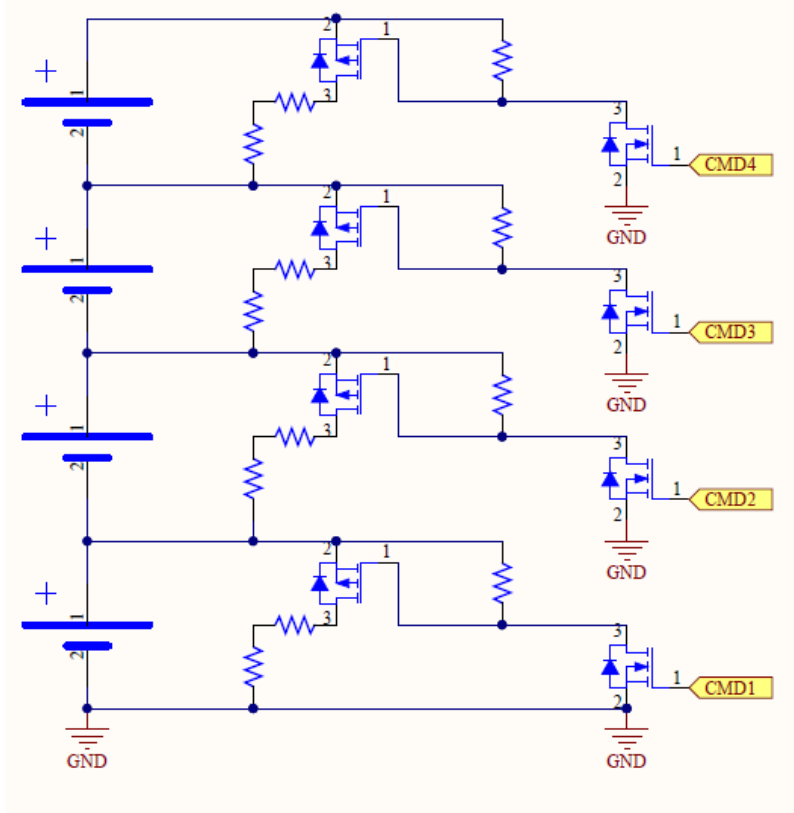


Fig. 7.5: Schema circuitului de balansare a bateriilor

În momentul conectării celulelor componente ale bateriei la bornele circuitului de balansare, tranzistoarele de tip PMOS de putere se închid din cauza conectării grilei la sursa.

În momentul în care microcontrolerul decide descărcarea unei celule, acesta va comanda grila tranzistorului NMOS corespunzător, care va lega la masa grila tranzistorului PMOS și astfel acesta va intra în conducție și un curent de 250mA va curge prin rezistoarele de putere ce vor disipa fiecare 0.525mW maxim. Prezența a 8 rezistoare pe un modul de măsurare și balansare a tensiunilor se traduce într-o putere maxima disipata per modul de 4.2W, motiv pentru care fiecare modul are nevoie de radiator.

5.2.2 Alegerea rezistoarelor de putere

Pentru a alege corespunzător rezistoarelor ce vor disipa mare parte din putere în momentul balansării, principala caracteristică care trebuie considerată este puterea acestora, urmată de rezistența acestora, astfel:

- Curentul maxim ce va parcurge rezistoarele de disipare per celulă este: 250mA.
- Datorită tensiunii maxime de 4.2V per celulă, valoarea totală a rezistoarelor va fi:

$$R_t = U/I = 4.2/0.25 = 16.8 \Omega \quad (7.1)$$

- Dacă se folosesc 2 rezistoare în paralel, valoarea acestora va fi:

$$R = R_t/2 = 16.8/2 = 8.4\Omega \quad (7.2)$$

- Dacă se folosesc 2 rezistoare în serie, valoarea acestora va fi:

$$R = 2R_t = 33.6\Omega \quad (7.3)$$

Din cauza costului (aceste rezistoare fiind printre cele mai scumpe componente dintr-un modul, dacă nu sunt alese corespunzător), s-au ales rezistoare de 33Ω și 660mW (Nr. de catalog: ERJP08J330V, [39]) pentru o putere totală maximă suportată de 1.32W și o rezistență totală de 16.5Ω , la un preț de 0.02\$ (un cost total de 0.16\$).

5.2.2.1 Alegerea tranzistoarelor

Pentru o alegere corespunzătoare a tranzistoarelor, trebuie considerată tensiunea la care acestea vor fi supuse și curentul ce va parcurge tranzistorul de tip P.

Din motive de spațiu ocupat și cost, a fost aleasă o componentă ce conține tranzistoare de tip N și P în aceeași capsulă, FDC6333C [40], cu specificațiile:

- Tensiune sursă-drenă: 30V;
- Curent maxim: 2A și 2.5A;
- Capsulă SOT – 6;
- Cost: 0.14\$.

5.2.2.2 Realizarea circuitului de comunicație

Pentru a putea comunica, modulele au nevoie de transceiver pentru interfața fizică CAN bus. Aceste dispozitive realizează translația mesajelor și, pentru a putea insera modulele de tensiune, trebuie să asigure o izolare galvanică corespunzătoare.

Unul dintre cele mai ieftine astfel de dispozitive a fost ISO1050 [41] în capsula SOP-8 la un preț de producător de 1.45\$ (figura 7.6).



Fig. 7.6: Transceiverul CAN ISO1050

Acesta oferă o izolare galvanică capacitivă de până la $2500V_{RMS}$, suficientă pentru aproximativ 550 de celule Li-Ion. În acest fel, aproximativ 130 de module pot fi înseriate pentru a monitoriza o instalație complexă și împreună cu modulul de măsurare a curentului și cu modulul unității centrale vor forma un sistem complet de gestionare al bateriilor.

5.2.2.3 Alegerea sursei de alimentare

Pentru alegerea sursei de alimentare s-a ținut cont atât de tensiunea maximă a celulelor care vor fi măsurate și care vor alimenta circuitul de măsură cât și de tensiunea și curentul necesar circuitelor integrate.

Pentru o eficiență cât mai bună a sistemului a fost ales un convertor în comutație cu funcție de PFM (Pulse frequency modulation- Modulație în frecvență a pulsurilor). Această funcție permite regulatorului să consume puțină putere în timp ce furnizează un curent mic (zeci de mA). Dezavantajul acestui mod de operare este riplul mare de tensiune. Pentru a filtra acest riplu a fost folosit un filtru trece-jos RC cu o frecvență de taiere de 1kHz urmat de un regulator liniar care să regleze o tensiune precisă de 5V. Această tensiune este folosită ca și referință de către microcontroler și trebuie să fie cât mai curată (lipsită de riplu).

A fost ales regulatorul în comutație MCP16311 (cu specificațiile: tensiune maximă de intrare: 30V, Curent maxim de sarcină: 1A, PFM) [42] și regulatorul liniar MCP1700 (Tensiune de intrare maximă: 6V, tensiune de ieșire: 5V, Curent maxim de sarcină: 250mA) [43].

Costul sursei de alimentare este de 1.2\$ (estimativ), în funcție de componentele pasive alese. Schema acestuia poate fi văzută în figura 7.7.

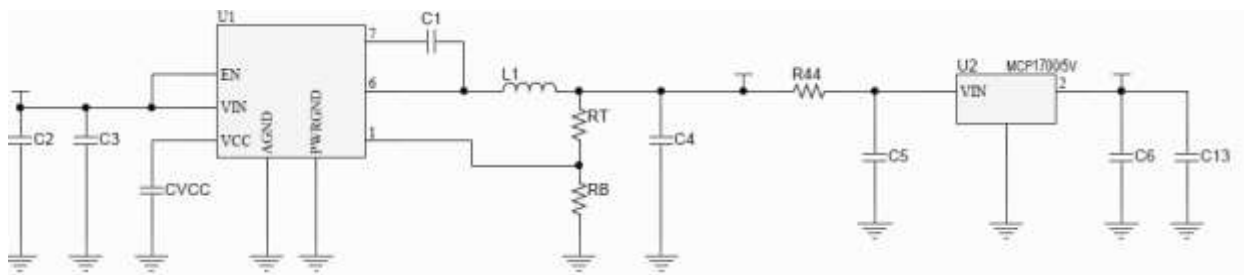


Fig. 7.7: Schema electrică a surselor de alimentare

5.2.3 Detectarea automată a modulelor

Pentru ca fiecare modul aflat în sistemul de monitorizare al bateriei să fie unic dar, în același timp, să nu trebuiască programat cu alt software, identificarea modulelor se face pe baza unor conexiuni fizice ale unor pini.

Astfel, dacă toate rezistoarele de selectare a modulului sunt prezente, modulul va avea identificatorul unic (id-ul) 1, iar dacă toate rezistoarele sunt nepopulate, modulul va avea identificatorul 129.

Acest sistem permite conectarea în sistem a oricărui număr de module, de la 1 la 129, în funcție de câte celule trebuie monitorizate.

Modulul cu id-ul 0 este întotdeauna modulul de măsurare al curentului, acesta fiind prezent în toate sistemele, indiferent de numărul de baterii monitorizate.

La pornirea (alimentarea) modulului de măsurare al tensiunilor se detectează prezența sau absența rezistoarelor de selecție și se generează un număr de la 1 la 129 folosind formula:

$$ID = 2^6 S_7 + 2^5 S_6 + 2^4 S_5 + 2^3 S_4 + 2^2 S_3 + 2 S_2 + S_1 , \quad (7.4)$$

unde S_x este considerat „1” dacă rezistorul este absent și „0” dacă rezistorul corespunzător este prezent.

Pentru reducerea costurilor de producție, în loc de rezistoare se pot folosi conexiuni de fluidor.

Schema folosită este prezentată în figura 7.8.

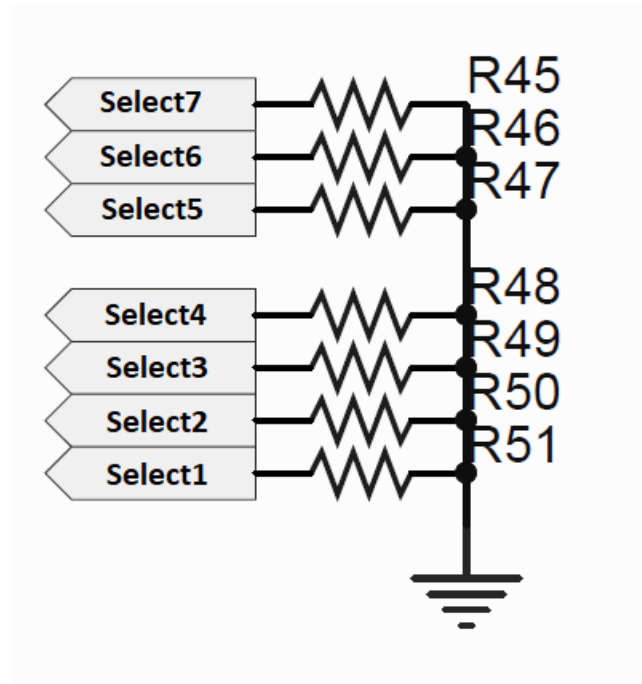


Fig. 7.8: Schema electrică a determinării ID-ului unei placi de măsurare a tensiunilor

5.2.4 Modul de funcționare al modului de tensiune

5.2.4.1 Starea 1: Inactivitate

Unitatea de măsurare a tensiunii este inactivă atunci când bus-ul CAN nu este alimentat. Acest lucru se realizează prin optocuplorul [44] ce deconectează alimentarea întregului modul, folosind tranzistorul Q5 (Anexa A1). Singura sarcină a celulelor atunci când modulul este inactiv este determinată de valoarea rezistoarelor de măsurare, ce au o valoare de $100\text{k}\Omega$ fiecare și sunt în configurație serie-paralel (2 serie și 2 paralel), cu valoarea totală de $100\text{k}\Omega$ către borna negativă a celulei 1. Curentul rezultat poate fi observat/calculat folosind circuitul simplificat din figura 7.9:

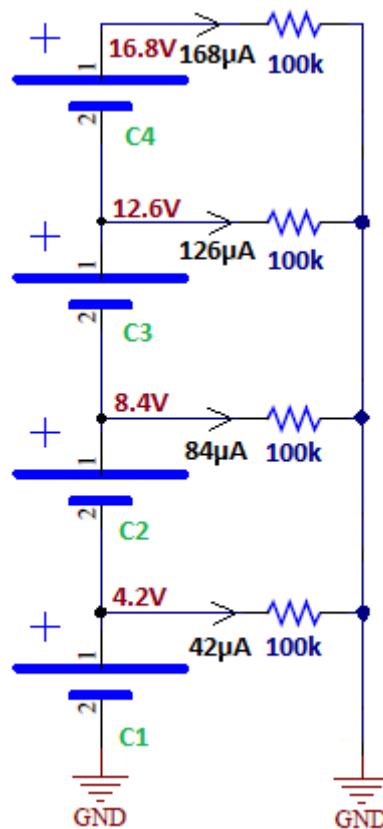


Fig. 7.9: Curentul consumat din fiecare celula a bateriei

Curentul rezultat este suma curenților ce parcurg acea celula, adică:

- 420 μA pentru celula C₁
- 378 μA pentru celula C₂
- 294 μA pentru celula C₃
- 168 μA pentru celula C₄

La acest curent se adaugă și puterea consumată de circuitele pasive alimentate la tensiunea maximă din sistem care vor fi neglijate.

5.2.4.2 Starea 2: Modul activ fără măsurarea tensiunii

Starea 2 este predominantă de activitatea microcontrolerului și a surselor de tensiune. Aceasta începe atunci când pe interfața de comunicație CAN apare o tensiune de 5V, ce pornește regulatoarele de tensiune care alimentează microcontrolerul, cu ajutorul optocuplorului și a tranzistorului Q_5 . În această stare, cele 4 amplificatoare operaționale din sistem nu sunt comandate.

În aceasta fază, microcontrolerul din fiecare modul de măsurare a tensiunii așteaptă comanda de începere a măsurării venită de la unitatea centrală.

Această sincronizare a măsurătorilor este necesară pentru ca toate modulele de măsurare a tensiunii din baterie să înceapă măsurarea în același timp și tensiunea astfel măsurată să reflecte starea sistemului la un moment definit de timp.

Curentul consumat în această stare variază în funcție de activitatea actuala a microcontrolerului, dar nu depășește 10mA.

5.2.4.3 Starea 3: Modul activ cu măsurare a tensiunilor

În starea 3, modulele de măsurare a tensiunilor folosesc cea mai mare putere. Atunci când acestea primesc comanda de începere a măsurării tensiunilor din sistem, microcontrolerul activează perechea de transistori Q_1 și Q_2 care alimentează amplificatoarele operaționale doar pe durata achiziției de date.

Curentul consumat în această stare este maxim 20mA.

Schema completă a unui modul de măsurare a tensiunii este prezentată în anexa A1.

5.3 REALIZAREA MODULULUI PRECIS DE MĂSURARE A TENSIUNILOR

În urma testelor realizate cu modulul simplu de măsurare a tensiunilor, a fost realizată o alternativă ce prezintă o precizie îmbunătățită, scade puterea consumată și poate măsura și curentul extras din celulele bateriei în momentul balansării.

Acuratețea acestui modul este dată de un circuit integrat de măsurare a curenților, tensiunilor și puterilor, PAC1934. În comparație cu modulul anterior, unde acuratețea era dependentă de toleranțele amplificatorului operațional și a rezistoarelor (ce ar fi trebuit să fie de 0.1% dar creștea considerabil costul lor), PAC1934 este calibrat din fabrică și își menține acuratețea pe toată gama de tensiune. Acuratețea măsurării curentului este totuși determinată de rezistența de șunt, însă o valoare a acurateței de 1% este suficientă.

Modulul a fost creat pentru a fi compatibil cu restul modulelor și poate fi interschimbabil fără modificări software.

5.3.1 Definitivarea schemei electrice

Principala schimbare a acestui modul precis, în comparație cu modulul prezentat anterior, este folosirea unui circuit integrat de măsurare a tensiunilor, curenților și puterilor din sistem în mod automat. Deși la prima vedere aceste funcționalități sunt utile, nu se poate folosi decât măsurarea tensiunilor celulelor (operație ce include și operații matematice la nivelul

microcontrolerului), curentul extras din baterie pentru balansarea acestora și capacitatea acumulată pe o durată de timp.

Schema de principiu (fig. 7.10) ce este folosită este prezentă în fișa de catalog a acestei componente [45].

Datorită faptului că fiecare măsurare de tensiune se realizează cu referință față de masă (punctul cel mai negativ din modul = terminalul negativ al celulei 1), precizia de măsură de 16 biți este constantă de la o celulă la alta dar este de doar 14 biți.

Celula 1 este măsurată direct, rezultatul fiind de maxim 4.2V. Celula 2 este măsurată la terminalul pozitiv și tensiunea maxima măsurată este de 8.4V, valoare din care se scade tensiunea celulei 1.

Acest calcul este repetat și pentru celula 3 și 4, scăzând din valoarea măsurată tensiunea celorlalte celule, eroarea de măsurare crescând de 4 ori.

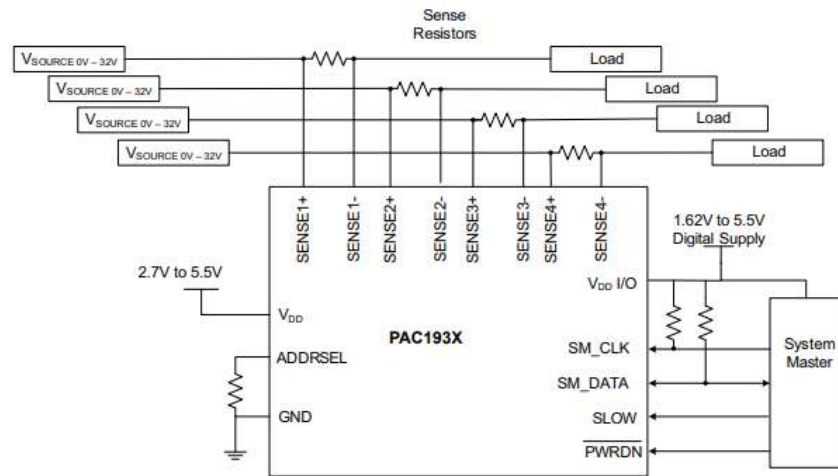


Fig. 7.10: Schema electrică de principiu a circuitului integrat PAC1934

Pentru măsurarea curentului de descărcare din fiecare celulă, un rezistor de 0.2Ω este folosit în serie, curentul maxim ce poate fi măsurat fiind de 500mA cu o rezoluție de 16 biți (figura 7.11).

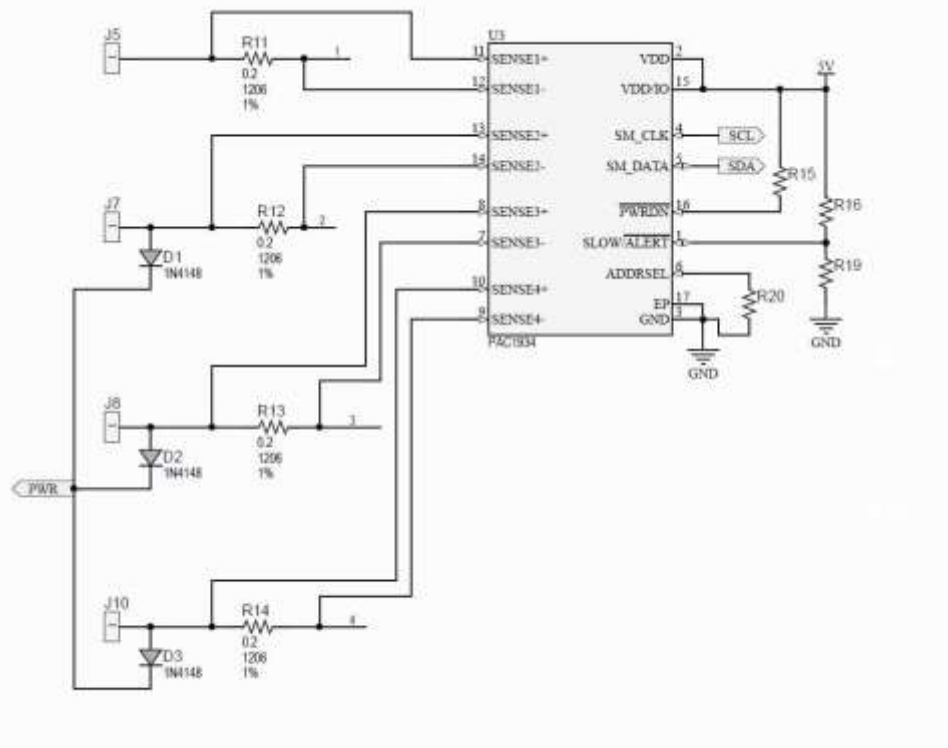


Fig. 7.11: Schema folosită pentru măsurarea curenților și tensiunilor fiecarei celule

Acest curent măsurat poate fi memorat în microcontroler și capacitatea sau puterea consumată pot fi returnate utilizatorului sau folosite pentru a estima gradul de debalansare al celulelor bateriei. De exemplu, dacă din 4 celule măsurate și balansate în timpul încărcării, 3 sunt descărcate în continuu iar cealaltă nu, se poate concluziona că:

1. Celula ce nu este deloc descărcată pentru balansare are capacitatea mult mai mare ca a celorlalte;
2. Celula ce nu este deloc descărcată are curentul de auto-descărcare mai mare;
3. Toate celulele sunt aproape de a fi încărcate la maxim dar doar 3 din ele au depășit tensiunea maximă de 4.2V

Validitatea acestor concluzii poate fi decisă doar în urma unei analize mai amănunțite asupra stării totale a bateriei.

Pentru a diferenția aceste module precise de modulele de măsurare a tensiunilor simple, se poate trimite o comandă specifică la începutul comunicației (în timpul detecției automate a modulelor) în urma căreia se poate afișa sau ascunde un meniu special unde se monitorizează capacitatea descărcată din fiecare celulă.

Pentru a simplifica calculul capacității, fiecare baterie este descărcată (daca este nevoie) timp de 0.5 secunde și curentul este presupus constant în acest interval.

În ceea ce privește costul acestui modul, acesta este ușor mai ridicat în comparație cu modulul precedent însă crește complexitatea logicii interne a codului ce rulează pe microcontroler și timpul de dezvoltare al acestuia.

5.3.2 Modul de funcționare al modului precis de tensiune

5.3.2.1 Starea 1: Inactivitate

Asemănător cu modulul precedent, unitatea de măsurare a tensiunii este inactivă atunci când bus-ul CAN nu este alimentat. Acest lucru se realizează prin optocuplorul ce deconectează alimentarea întregului modul, folosind tranzistorul Q_5 (Anexa A2). Singura sarcină a celulelor este reprezentată de curentul de scurgere a componentelor active din circuit, de valoare foarte mica (sub $50\mu\text{A}$).

5.3.2.2 Starea 2: Modul activ

Starea 2 este predominantă de activitatea microcontrolerului, a surselor de tensiune și a circuitului integrat de măsurare a tensiunilor. Această stare începe atunci când pe interfața de comunicație CAN apare o tensiune de 5V care, cu ajutorul optocuplorului și a tranzistorului Q_5 , pornește regulatoarele de tensiune care alimentează microcontrolerul.

În această fază, microcontrolerul din fiecare modul de măsurare a tensiunii așteaptă comanda de începere a măsurării venită de la unitatea centrală.

Această sincronizare a măsurătorilor este necesară pentru ca toate modulele de măsurare a tensiunii din baterie să înceapă măsurarea în același timp și tensiunea astfel măsurată să reflecte starea sistemului la un moment definit de timp.

Curentul consumat în această stare variază în funcție de activitatea actuală a microcontrolerului, dar nu depășește 10mA.

În această stare, circuitul integrat de măsurare a tensiunilor și curenților funcționează în permanență însă la o putere scăzută, realizând doar 8 măsurători pe secunda.

Schema completă a unui modul de măsurare precisă a tensiunii este prezentată în anexa A2.

5.4 REALIZAREA MODULULUI DE MASURARE AL CURENTULUI (MMC)

Principala componentă electronică a modului de măsurare a curentului este ACS712. Acesta este un senzor de curent ce folosește efectul de câmp magnetic al curentului electric pentru a genera o tensiune între 0 și 5V proporțională cu măsurătoarea de curent, include izolare galvanică de 2.1kVRMS și o rezistență internă de 1.2m Ω .

Acest senzor de curent este relativ ieftin și oferă o precizie bună, fiind disponibil pentru 3 curenți maximi: 5A, 20A și 30A, în aceeași capsulă.

Pentru vehiculul unde va fi montat acest sistem (trotinetă electrică), a fost ales senzorul ce poate măsura un curent maxim de 20A (figura 7.12).

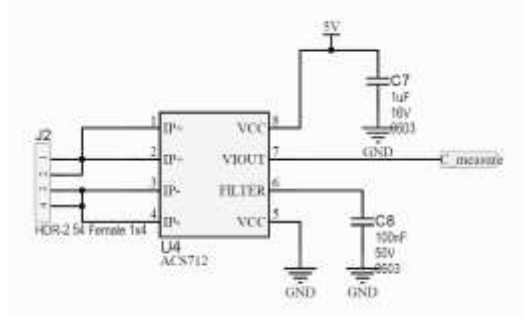


Fig. 7.12: Schema de măsurare a curentului folosind ACS712

Acuratețea de măsurare a curentului este dată și de ADC-ul din microcontroler. Pentru 12biți și o tensiune de 0-5V generată de senzorul de curent, acuratețea va fi de aproximativ 9.8mA, suficientă pentru a măsura atât curentul de încărcare de 1-2A cât și pe cel de descărcare (în pulsuri, maxim 20A).

Pentru a reutiliza cât mai multe piese, microcontrolerul ales a fost tot PIC16F25K83 și transceiverul CAN ISO1050 (deși, în acest caz, izolarea galvanică este irelevantă). Prin reutilizarea pieselor se asigură un preț mai bun și un design mai ușor.

Și în acest caz, tensiunea de referință a microcontrolerului este tensiunea de alimentare și astfel este nevoie de o tensiune stabilizată și cât mai curată (lipsită de riplu).

Deși tensiunea prezentă pe interfața CAN este de 5V, aceasta nu este stabilizată și nu se poate presupune sau determina cu acuratețe valoarea acesteia din cauza consumului variabil de curent ce determină căderi de tensiune diferite pe cablu, injecție de zgomot sau alți factori. De aceea s-a ales adăugarea unui regulator de tensiune în comutație ridicător ce urcă tensiunea de pe bus-ul de CAN la 6V urmat de un regulator liniar ce o stabilizează la 5V.

Schema bloc poate fi văzută în figura 7.13 și schema electrică completă în anexa A3.

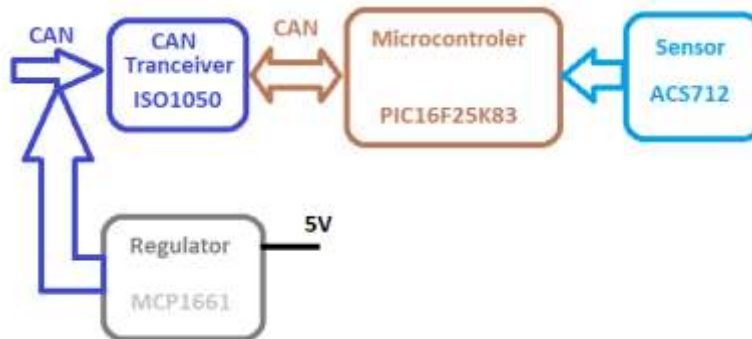


Fig. 7.13: Schema bloc a modului de măsurare a curentului

5.5 REALIZAREA UNITĂȚII CENTRALE

În cazul unui automobil electric, unitatea centrală care monitorizează și comandă acumulatorul principal poate fi chiar calculatorul de bord al autovehiculului.

În cazul în care se dorește scăderea volumului de calcul pentru calculatorul de bord al autovehiculului sau se dorește montarea sistemului de monitorizare pe un vehicul ce nu are calculator de bord, se poate dezvolta o unitate centrala independentă.

În cazul montării acestui BMS pe o trotineta electrică, unitatea centrală trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- Să fie portabilă;
- Să alimenteze bus-ul de CAN pentru a porni toate modulele de monitorizare;
- Să comande modulele de monitorizare;
- Să monitorizeze toate celulele din acumulator;
- Să comunice cu utilizatorul printr-o interfață ușor de utilizat;

Asemănător cu modulul de măsurare a curentului, și în cazul unității centrale s-au refolosit cele mai importante componente: microcontrolerul (PIC16F25K83) și transceiverul CAN (ISO1050), chiar dacă izolarea galvanică nu este necesară.

Interfața cu utilizatorul se realizează cu ajutorul a 2 ecrane grafice LCD, unul cu informații generale (cum ar fi: curent total, tensiune totală, capacitate consumată/încărcată, timpul de funcționare), un ecran pe care utilizatorul alege informația detaliată pe care o vrea și un buton rotativ (rotary encoder) pentru a putea naviga prin meniu și a alege informația de interes.

Pentru a putea extrage datele salvate în prealabil în memoria EEPROM integrată s-a folosit MCP2210 (convertor de la SPI la USB) și un script de python.

Schema logică a unității centrale poate fi văzută în figura 7.14 iar schema electrica completă în anexa A4.

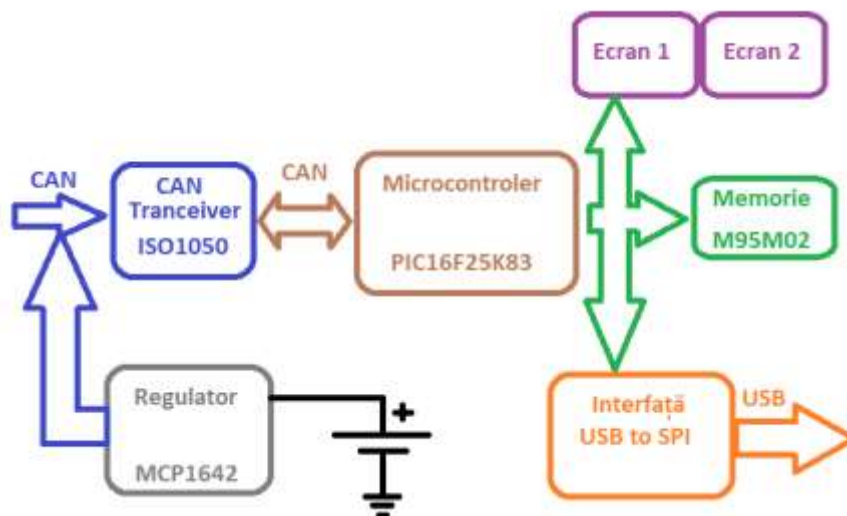


Fig. 7.14: Schema bloc a unității centrale

5.6 REALIZAREA PLĂCII MODULULUI DE MĂSURARE A TENSIUNILOR

Pentru realizarea plăcii cu circuite imprimate (PCB-ului) a modului de măsurare a tensiunilor s-a ținut cont de mai multe criterii:

- Dimensiunea finală a plăcii;
- Aranjarea componentelor de putere;
- Aranjarea componentelor de transmisie pe CAN;
- Izolarea galvanică dintre bus-ul de CAN și restul componentelor.

Restricția dimensiunii plăcii acestui modul este datorată spațiului unde acest modul va fi situat, și anume în cadrul trotinetei ce are o înălțime maximă de 50mm. Ca urmare, lățimea plăcii a fost aleasă ca fiind de 45mm și lungimea suficient de mare încât să acomodeze toate componentele, 60mm.

Componentele de putere (rezistoarele de balansare și tranzistoarele cu care se realizează balansarea) au fost situate în partea stângă a plăcii la o distanță suficientă pentru a putea disipa o parte din putere în planele de cupru ale plăcii iar, în momentul montării, au fost folosite mici radiatoare pentru a asigura o temperatură scăzută în momentul balansării.

Pentru aranjarea componentelor ce se ocupa de comunicația CAN s-a ținut cont de izolarea galvanică necesară sistemului. Aceste componente au fost poziționate la distanță mare de restul pieselor și a fost folosită o decupare a plăcii de 2mm pentru a preveni apariția curenților de suprafață. Acest spațiu corespunde unei izolări galvanice de 6kV [46], mult peste izolarea galvanică a celorlalte componente (maxim 3kV).

Placa realizată poate fi văzută în figura 7.15.

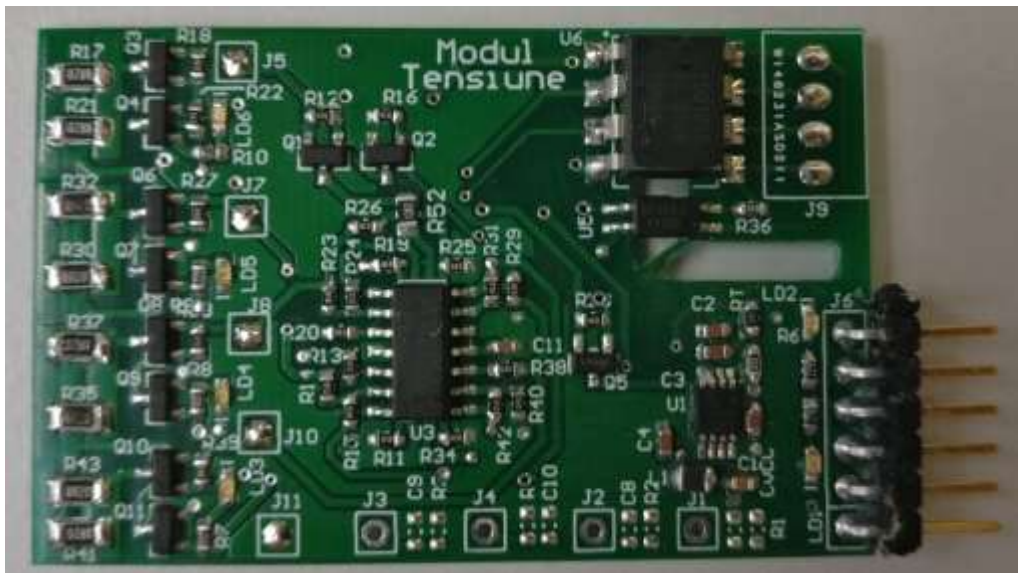


Fig. 7.15: Placa modulului simplu de măsurare a tensiunilor

5.7 REALIZAREA PLĂCII MODULUI DE MĂSURARE PRECISĂ A TENSIUNILOR

Placa acestui modul a fost derivată din modulul anterior cuprinzând cât mai puține modificări. Locul reguletoarelor de tensiune, a microcontrolerului și a circuitului de balansare a fost menținut, fiind înlocuite amplificatoarele și rezistoarele acestora cu circuitul integrat PAC1934.

Placa astfel realizată este prezentată în figura 7.16.

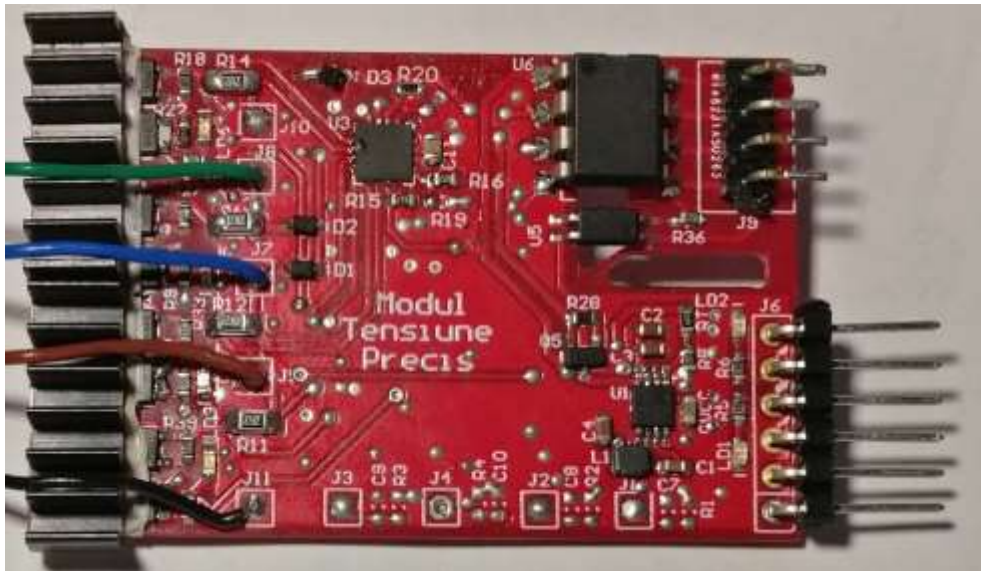


Fig. 7.16: Placa modulului precis de măsurare a tensiunilor

5.8 REALIZAREA PLĂCII MODULULUI DE MĂSURARE A CURENTULUI

Realizarea modulului de măsurare a curentului a fost mult mai ușoară deoarece acest modul nu are nevoie de izolare galvanică. Dimensiunea acestui modul este de 30x40mm

Pentru aranjarea componentelor s-a ținut cont doar de așezarea cipului de măsurare al curentului astfel încât traseele de putere să fie cât mai mici, cu rezistență cât mai mică și să poate fi conectate ușor firele groase, de putere mare.

Placa realizată poate fi văzută în figura 7.18.

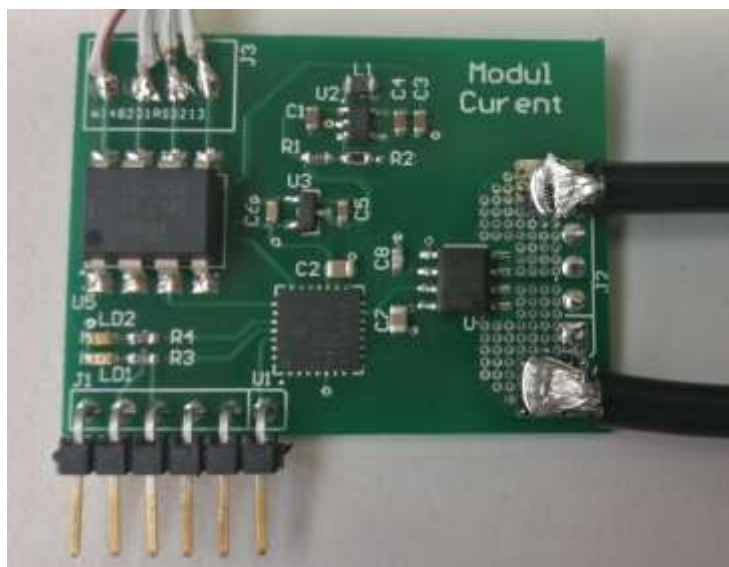


Fig. 7.18: Placa modulul de măsurare a curentului

5.9 REALIZAREA PLĂCII UNIȚĂȚII CENTRALE

Pentru realizarea plăcii unității centrale s-a ținut cont de:

- amplasarea pinilor de conectare cu ecranele;
- amplasarea pinilor de programare;
- amplasarea sursei de alimentare a bus-ului de CAN.

Dimensiunea finală a acesteia a fost de 40x40mm și poate fi văzută în figura 7.19.

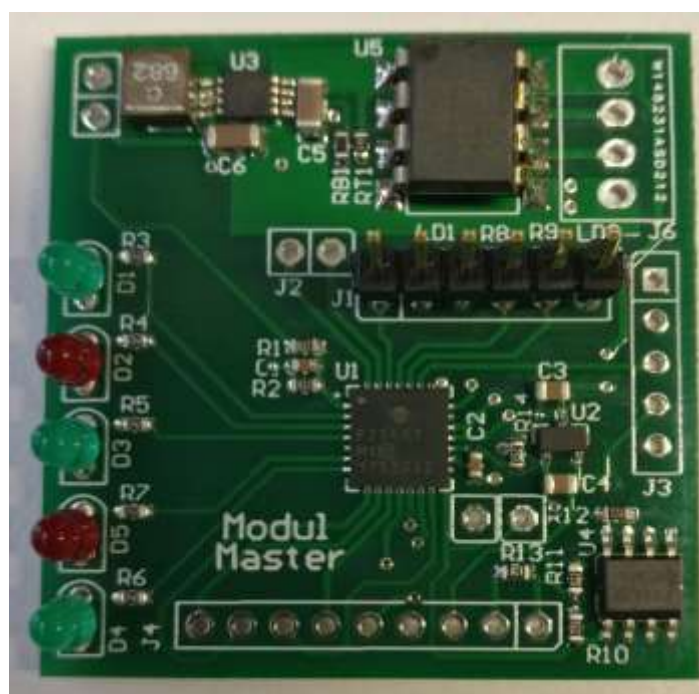


Fig. 7.19: Placa unității centrale

5.10 REALIZAREA SOFTULUI SISTEMULUI INTELIGENT

5.10.1 Realizarea softului integrat modulelor de măsurare a tensiunilor

Modulele de măsurare a tensiunilor au fost realizate pentru a consuma cât mai puțină energie. Pentru a realiza acest obiectiv, frecvența microcontrolerului a fost redusă la 1MHz iar consumatorul principal de energie, sistemul de măsură al tensiunilor (format din amplificatoare operaționale și rezistoare) este pornit doar în momentul măsurătorilor, cu excepția lui PAC1934 care este pornit continuu dar consumă puțină energie [47].

Principiul de funcționare este următorul: în momentul alimentării modulului, proces pornit prin alimentarea bus-ului izolat de CAN, regulatorul de tensiune este alimentat și, la rândul lui, microcontrolerul este alimentat.

Ca primă etapă, este realizată o inițializare a sistemului; pinii sunt setați pe starea predefinită, sunt inițializate toate modulele ce vor fi folosite (ADC, CAN) și se așteaptă comunicația pe CAN.

În momentul primirii oricărui mesaj pe CAN, microcontrolerul intră într-o întrerupere în care lasă orice activitate și deservește întreruperea. Primul mesaj deservit este de tip ping: modulul principal (master) întreabă fiecare modul aflat pe bus dacă este prezent și așteaptă 100ms pentru a primi un răspuns. Acest mesaj de tip ping este foarte important: unitatea centrală afla astfel ce module sunt conectate pe CAN și, folosind un număr predefinit de unități secundare (slave), poate determina dacă toate modulele sunt prezente și pot comunica pe bus.

După detectarea tuturor modulelor, primirea mesajelor pe bus-ul de CAN este repetitivă: modulul de măsurare a tensiunilor primește întâi un mesaj în care i se cere să înceapă măsurarea tensiunilor din sistem urmat de alt mesaj în care se cere transmiterea tensiunilor măsurate.

Mesajul cerere de începere a măsurătorilor este primit de toate modulele slave din sistem, asigurând-se astfel o sincronizare a măsurătorilor: chiar dacă raportarea tensiunilor măsurate s-ar face în durate de timp mari, de ordinul secundelor, măsurarea fiecărei celule în parte și tensiunea totală calculată va fi reprezentativă pentru momentul cererii de măsurare [48][49].

Un alt tip de mesaj este acela de pornire a echilibrării celulelor. Necesitatea și timpul echilibrării celulelor sunt determinate de unitatea centrală în momentul când utilizatorul alege acest lucru sau în momentul în care se detectează încărcarea vehiculului electric.

Pentru balansarea celulelor, pașii urmați sunt:

- Se primește de la unitatea centrală tensiunea până la care trebuie descărcate celulele. Această tensiune este bazată pe tensiunea cea mai mică din sistem și o marjă de eroare.
- Dacă tensiunea celulelor monitorizate este mai mare decât tensiunea primită, se pornește descărcarea celulei pentru 500ms. În timpul descărcării, tensiunea celulei nu este monitorizată datorită impreciziei cauzate de căderea de tensiune pe fire.
- După 500ms se oprește descărcarea tuturor celulelor și se măsoară din nou automat tensiunea. Dacă tensiunea încă este peste tensiunea primită de la unitatea centrală, se reia descărcarea; altfel, nu.
- În orice moment, dacă tensiunea oricărei celule depășește 4.2V (tensiunea maximă admisă pentru celulele folosite la trotineta, de tip Li-Ion), se pornește automat descărcarea pentru 500ms, după care procesul se reia. În plus, se semnalează aceasta depășire prin trimiterea unui mesaj către unitatea centrală pentru a atenționa utilizatorul să întrerupă încărcarea.

- Pentru ca orice celulă să nu fie supra-descărcată accidental de către sistemul de balansare, dacă tensiunea celulelor scade sub 3.3V, orice balansare este oprită. Astfel, indiferent de comanda primită de la unitatea centrală, celulele nu vor fi descărcate la mai puțin de 3.3V. În acest moment, descărcarea bateriei se poate face numai de către consumatorii principali.
- Un alt tip de mesaj este acela de măsurare și raportare a temperaturilor fiecărei celule în parte. Acesta este un alt element de siguranță, supra-descărcarea sau supraîncărcarea unei celule generând, de obicei, căldură ce poate fi detectată cu un senzor de temperatură. Sincronizarea temperaturii celulelor este realizată prin primirea și interpretarea mesajului de eșantionare a temperaturilor simultan de către toate modulele și raportarea acestora atunci când se primește mesajul specific de raportare.

Pentru a exemplifica funcționarea modului simplu de măsurare a tensiunilor a fost creată diagrama logică din figura 8.1 care include principalele verificări/decizii ce sunt luate de către software.

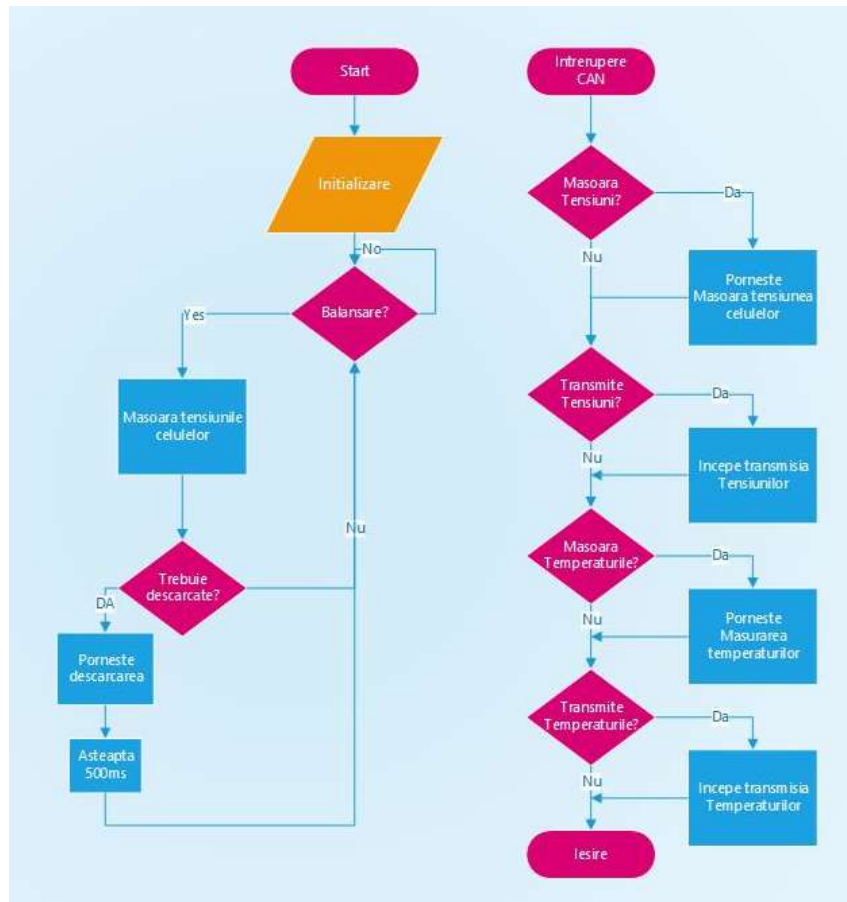


Fig. 8.1: Diagrama logică a modului simplu de măsurare a tensiunilor

5.10.2 Realizarea softului integrat modulului de măsurare a curenților

Modulul de măsurare a curenților de încărcare și descărcare din baterie este mult mai simplu decât cel al modulelor de măsurare a tensiunilor și funcționează astfel:

- Datorită sarcinii principale a sistemului, un regulator de viteză pentru un motor sincron fără perii cu magneți permanenți, ce este alimentat în pulsuri, modulul de curent eșantionează curentului de încărcare/descărcare al bateriei de aproximativ 10 ori pe secundă și realizează o mediere la nivel de software pe 10 eșantioane.
- Când se primește pe comunicația CAN mesajul de raportare a curenților, mesajul de răspuns este alcătuit cu valoarea mediată a ultimelor 10 eșantioane, urmând ca în momentul când se primește cererea de transmisie a curentului, acesta să raporteze valoarea deja memorată. În acest fel se realizează sincronizarea curentului consumat cu valorile tensiunilor și unitatea centrală poate calcula și determina cu precizie considerabilă valoarea puterii transferata din baterie. În plus, se poate raporta și capacitatea consumată din baterie sau încărcată în baterie într-un timp dat [50].

Pentru a exemplifica funcționarea acestui modul a fost creată diagrama din figura 8.2.

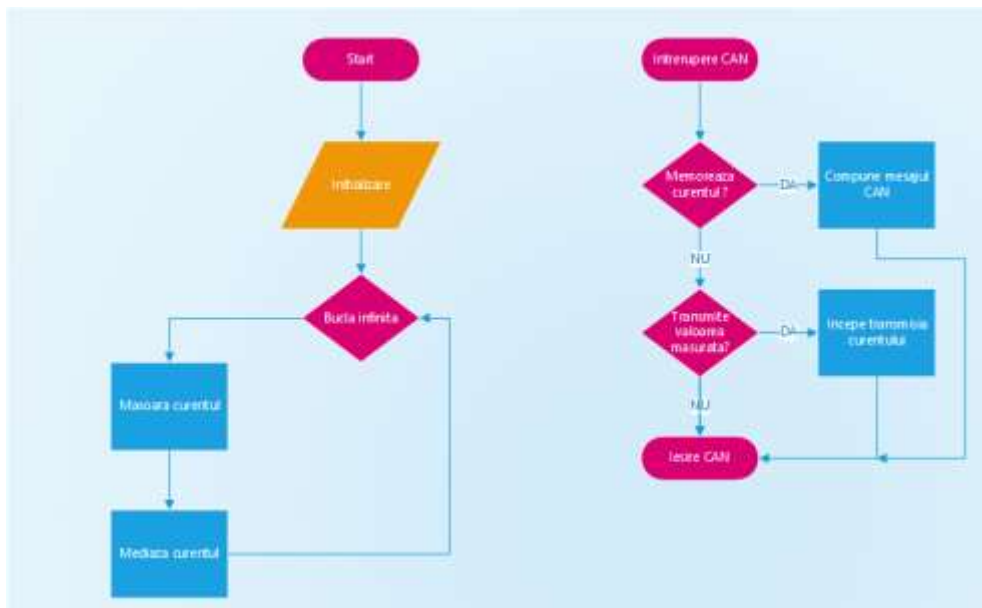


Fig. 8.2: Diagrama bloc a modului de măsurare a curentului

5.10.3 Realizarea softului unității centrale

Unitatea centrală are multiple roluri în cadrul sistemului de monitorizare și este cea mai complexă din sistem. Aceasta poate fi folosită ca interfață între unitatea centrală a mașinii și bateria mașinii sau, în cazul unei trotinete, realizează interfața cu utilizatorul [51].

Principala ei funcționalitate este de a informa utilizatorul cu privire la cât mai multe detalii legate de starea bateriei, cum ar fi:

1. Tensiunea totală și a fiecarei celule în parte;
2. Curentul consumat instantaneu;

3. Puterea consumată instantaneu;
4. Capacitatea consumată și rămasă a baterie;
5. Necesitatea încărcării bateriei;
6. Necesitatea balansării bateriei;
7. Raportarea anumitor defecte ce pot apărea (supraîncărcări, supra-descărcări, supraîncălziri);
8. Raportarea temperaturii fiecărei celule.

Acești parametri pot fi folosiți pentru:

- a. Monitorizarea tensiunii fiecărei celule și a tensiunii totale realizată în sistemele destinate consumatorilor de către sistemele centralizate de prelucrare a datelor. Sistemul de gestionare realizat implementează această monitorizare în doua feluri: în primul rând, oferă informațiile utilizatorului în doua moduri: valori reale citite de către modulele de măsură și valori mediate în 10 eșantioane și, în momentul când trebuie realizată balansarea celulelor, calculează și decide tensiunea la care ar trebui să ajungă toate celulele din sistem. În al doilea rând, salvează toate tensiunile celulelor bateriei într-o memorie locala de unde se pot extrase și prelucrate după achiziția acestora.
- b. Tensiunea totală poate fi folosită pentru a deduce starea de încărcare a bateriei într-un mod nu foarte precis, însă poate fi folosită la încărcare pentru a estima cât timp mai trebuie încărcată.
- c. Curentul consumat instantaneu este util pentru a calcula puterea instantanee consumată de sistemul de forță (în principal, de motorul trifazat cu magneți permanenți) dar pe baza lui se poate calcula și rezistența serie parazită a bateriei. De exemplu, dacă sistemul consumă 10A în timpul funcționării iar tensiunea totală a bateriei scade cu 1V, rezultă o rezistență serie de 100mΩ. Această informație poate fi folosită pentru a deduce când bateria este uzată (de obicei, când o baterie se uzează îi crește rezistența internă considerabil) și trebuie înlocuită. În plus, este foarte util pentru a observa comportamentul fiecărui set de celule din sistem. Dacă unei celule îi scade tensiunea considerabil mai mult decât a restului celulelor din baterie, poate fi considerata uzata și trebuie înlocuită.
- d. Puterea consumată instantaneu este utila si pentru a optima modul de funcționare al vehiculului electric. De exemplu, dacă pentru a menține o viteză de 15km/h este necesară o putere de 300W iar pentru a menține o viteză de 22km/h este necesară o putere de 500W, se poate decide limitarea vitezei la 15km/h pentru a scădea uzura bateriei și a crește durata de viață sau se poate implementa un mod „eco”, limitat la 15km/h și un mod „turbo” în care nu există limitare de viteză.
- e. Capacitatea consumată din baterie este utilă doar dacă se știe capacitatea totală a bateriei. Pe baza acestor informații se poate estima durata de funcționare sau durata de încărcare și se poate urmări uzura bateriei pe baza scăderii capacității acesteia.
- f. Datorită chimiei stabile a bateriilor de tipul Li-Ion, vehiculul electric poate fi încărcate oricând este nevoie, dar pentru a nu deteriora bateria în cazul depozitarii acesteia pe o perioadă lungă de timp, unitatea centrală poate comanda descărcarea acesteia până la tensiunea de stocare de 3.8V pe celulă.
- g. Echilibrarea celulelor bateriei este o necesitate datorită regimului dinamic dur la care aceasta este supusă. Sistemul de monitorizare central poate decide când este necesară balansarea. De exemplu, balansarea se poate porni dacă diferența dintre celula cea mai

încărcată și celula cea mai descărcată este mai mare de 90mV și se poate încheia când diferența de tensiune este mai mica de 40mV.

- h. Datorită monitorizării active a bateriei, diferite scenarii pot fi implementate pentru detecția și raportarea erorilor. De exemplu, dacă în timpul funcționării, tensiunea unei celule tinde să scadă mult mai mult decât a celorlalte (de exemplu cu 20% mai mult), acest lucru poate fi memorat și raportat utilizatorului pentru a decide dacă celula trebuie încărcată sau dacă aceasta este defectă și necesită înlocuirea.
- i. Temperatura unei celule poate fi influențată atât de mediul ambiant cât și de modul de funcționare și de uzura acesteia. O dată cu îmbătrânirea celulei și cu creșterea rezistenței interne, celula se va încălzi mai puternic decât celelalte celule. Acest factor poate fi folosit pentru a determina gradul de îmbătrânire al celulei iar detectarea temperaturilor înainte ca acestea să crească necontrolat este un sistem de protecție.

Diagrama din figura 8.3 prezintă pe scurt funcționalitatea principală a acestui modul. Aceasta nu include interacțiunea cu utilizatorul.

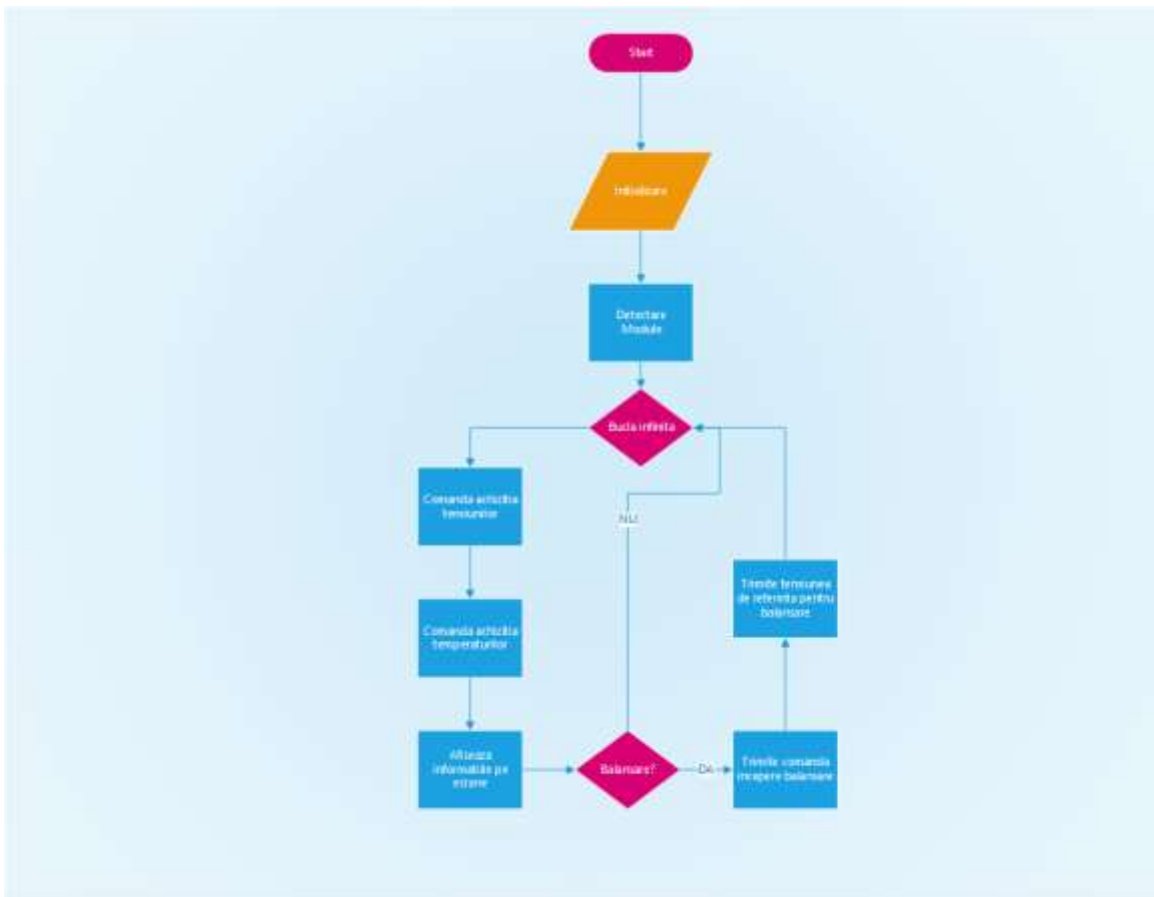


Fig. 8.3: Diagrama bloc simplificată a unității centrale

5.11 INTERACȚIUNEA UTILIZATORULUI CU UNITATEA CENTRALĂ

5.11.1 Introducere

Pentru a facilita interacțiunea utilizatorului cu unitatea centrală a fost creată o interfață intuitivă realizată din două ecrane grafice cu o rezoluție de 84x84 pixeli ce poate fi împărțită în 6 rânduri a câte 15 caractere pentru a afișa diferiți parametri și un buton rotativ (rotary encoder) folosit pentru a naviga meniurile, a selecta parametri doriți spre a fi afișați și de a porni balansarea, reseta valorile maxime și minime și porni achiziția datelor.

În figura 9.1 este reprezentată unitatea centrală care este montată pe trotineta electrică.



Fig. 9.1: Prezentarea unității centrale

Ecranul 1 (din partea de sus) este în permanență folosit pentru a arata cele mai semnificative informații din sistem [24], și anume:

- Tensiunea totală a bateriei;
- Curentul de încărcare/descărcare a bateriei;
- Puterea instantanee;
- Capacitatea consumată/încărcată din/în baterie;
- Timpul trecut de la pornirea dispozitivului;
- Nivelul de încărcare al bateriei interne a unității centrale.

Acest ecran este detaliat în figura 9.2.



Fig. 9.2: Prezentarea ecranului 1

La pornire, pe ecranul 1 este prezentată secvența de detectare și auto-calibrare a unității centrale (fig. 9.3), în funcție de numărul de module detectate. În cazul trotinetei electrice, sunt detectate 4 module: 3 de măsurare a tensiunilor și 1 de măsurare a curentului.

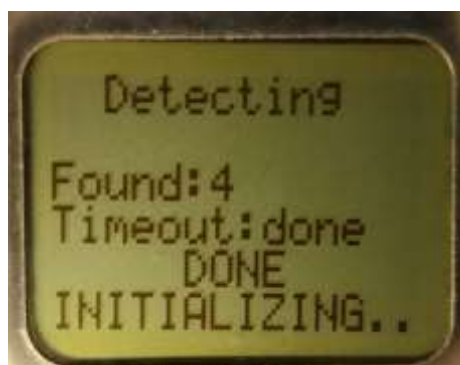


Fig. 9.3: Informații prezentate în timpul detectării modulelor

Pe ecranul 2 este prezentat către utilizator meniul de unde, rotind butonul rotativ, poate selecta spre vizualizare (figura 9.4):

- Tensiunea minimă neprelucrată;
- Tensiunea curentă neprelucrată;
- Tensiunea maximă neprelucrată;
- Tensiunea minimă mediată;
- Tensiunea curentă mediată;
- Tensiunea maximă mediată.



Fig. 9.4: Primul meniu disponibil

Rotind în continuare de buton, meniul se continuă cu următoarele opțiuni de afișare (figura 9.5):

- Balansare celule;
- Salvare către memoria EEPROM;
- Temperatura minimă;
- Temperatura actuală;
- Temperatura maximă;
- Informații generale privind unitatea centrală.

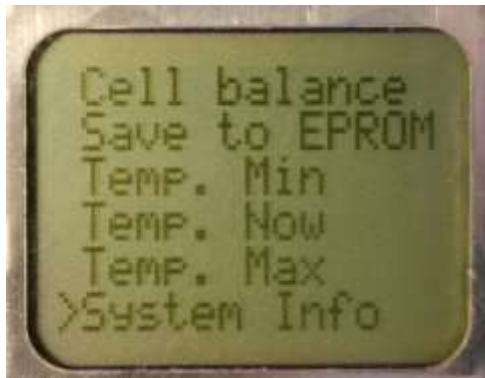


Fig. 9.5: Al doilea meniu disponibil

5.11.2 Descrierea opțiunilor de afișare

5.11.2.1 Tensiunea neprelucrată

Tensiunea neprelucrată este utilă atunci când utilizatorul dorește să observe exact ce măsoară fiecare modul în parte, fără alte alterări (mediere) și cu precizia maximă posibilă. Astfel se pot identifica diferite defecte, cu ar fi creșterea rezistenței serie a celulelor, în sisteme ce funcționează în regimuri tranzitorii rapide. De exemplu, dacă trotineta este accelerată pentru o secundă, tensiunea curentă a fiecărei celule poate scădea neuniform, dar din cauza medierii, această

scădere nu va fi observată de utilizator. În schimb, sistemul de monitorizare va reține această cădere în meniul tensiunilor minime neprelucrate iar utilizatorul va putea observa tensiunile minime din sistem acolo. Aceste informații pot fi observate în figura 9.6.

Tensiunile sunt aranjate pentru a indica modulul de măsurare de care aparțin. Se observă că modulele 2 și 3 au conectate câte 3 celule. Acest lucru a fost ales astfel încât modulul 3 să fie alimentat la o tensiune ce va depăși întotdeauna 6V pentru ca regulatoarele de tensiune să poată menține tensiunea constantă.

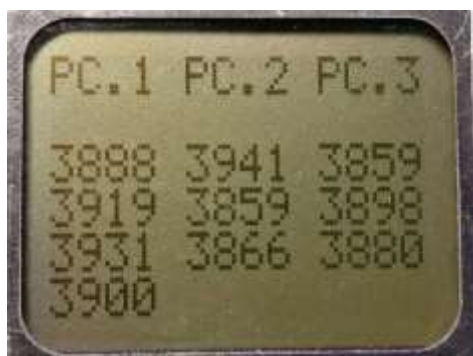


Fig. 9.6: Afișarea tensiunilor neprelucrate

5.11.2.2 Tensiunea mediată

De obicei, parametrii de sistem cu variație rapidă care trebuie observați de utilizatori trebuie mediați pentru a avea o persistență vizuală de cel puțin 0.5s. Astfel utilizatorul are timp să observe toate informațiile necesare până la schimbarea acestora dar se evită situațiile în care parametrul afișat nu mai este de actualitate.

În plus, medierea tensiunilor celulelor este utilă în momentul echilibrării, unde precizia trebuie să fie mare dar din cauza zgomotului de măsură pot apărea erori. Cu ajutorul valorilor mediate se decide tensiunea fiecărei celule la care trebuie să se ajungă în urmă descărcării și astfel procesul de descărcare este mai precis.

Acest meniu prezentat în figura 9.7 este aranjat astfel încât să nu țină cont de modulele ce realizează măsurătorile și informația să fie uniform distribuită și ușor de citit și interpretat.

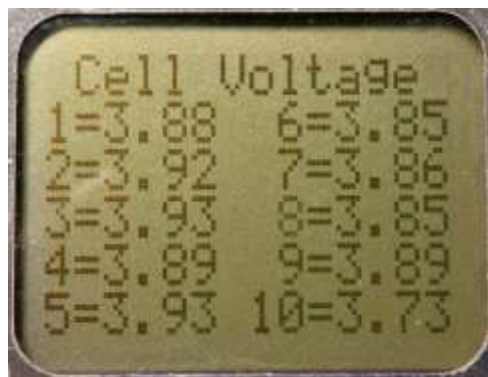


Fig. 9.7: Afișarea tensiunilor mediate

5.11.2.3 Echilibrarea celulelor

Acest meniu este folosit pentru a vizualiza și a decide dacă celulele bateriei trebuie echilibrate. În figura 9.8 se pot observa tensiunea minimă și maximă ale celulelor din sistem, diferența dintre ele și dacă este pornită balansarea sau nu.

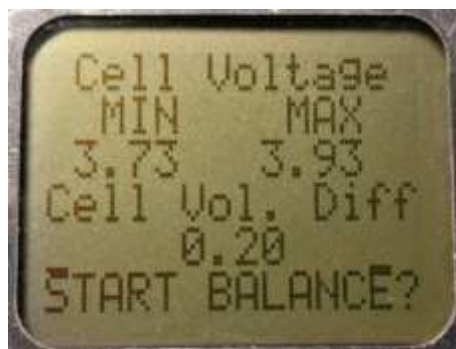


Fig. 9.8: Meniul destinat echilibrării celulelor

Rotind de butonul rotativ se poate alege începerea sau oprirea balansării. Acest proces este marcat prin apariția a două coloane. La înălțimea maximă, aceste coloane indică posibila începere sau oprire a balansării (fig. 9.9).

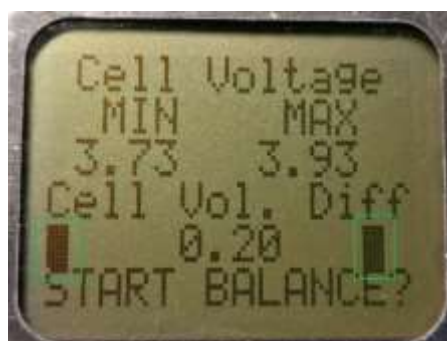


Fig. 9.9: Începerea balansării

La apăsarea butonului rotativ, se începe (în cazul prezentat) echilibrarea celulelor iar mesajul de pe ecran se schimbă din „Începe balansarea?” în „Balansare...” (fig. 9.10).

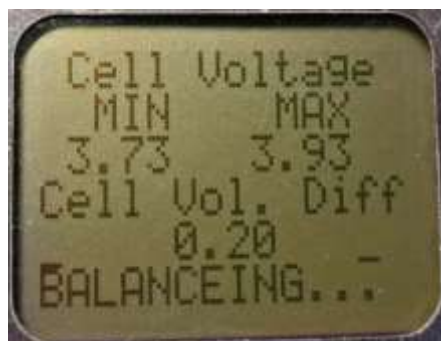


Fig. 9.10: Ecranul în timpul echilibrării celulelor

5.11.2.4 Meniul de memorare in EEPROM

Memorarea în memoria internă a unității centrale poate fi începută din meniul „Salvare către memoria EPROM”.

Acest meniu este folosit pentru salvarea parametrilor sistemului (toate tensiunile celulelor și curentul ce intră/iese din baterie) (fig. 9.11) în memoria internă a unității centrale, de 2Mbiți. Această memorie poate reține până la 90.000 de eșantioane care, la o medie de 3 eșantioane pe secundă, se traduce într-o perioadă de aproximativ 8 ore și jumate. Numărul de eșantioane pe secundă poate varia ușor datorită prelucrărilor de date ce sunt realizate în sistem și poate fi mărit sau micșorat din software, în funcție de dorința utilizatorului. În același timp se indică și memoria unde se va salva următorul eșantion, informație utilă atunci când se dorește memorarea unui eveniment ce a survenit într-o perioadă îndelungată de eșantionare.



Fig. 9.11: Meniul destinat salvării datelor in memoria EEPROM

Pentru a începe procesul de salvare, se va roti de butonul rotativ până la umplerea coloanei de pixeli (fig. 9.12). În acest moment, dacă se apasă butonul rotativ se va începe memorarea. În memorie se poate adăuga un eșantion de valoare maximă, minimă sau prestabilită pentru a se reține începutul unei noi perioade de memorare. În scriptul care va citi memoria se pot introduce elemente de căutare după aceste criterii iar extragerea datelor se poate începe din momentul găsirii unuia din indicatoare.

Pentru a opri memorarea trebuie urmat același proces.



Fig. 9.12: Începerea memorării datelor

Indicarea activității procesului de salvare este marcată prin mesajul „Nu se salvează” sau „Se salvează...” (fig. 9.13).

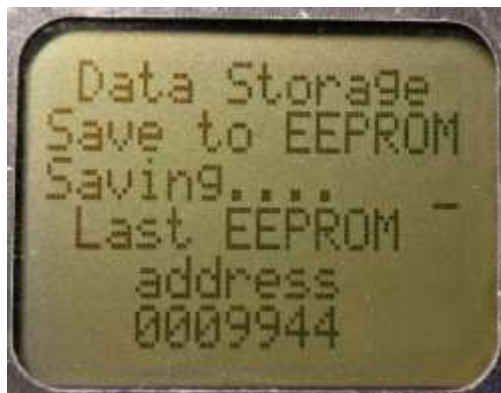


Fig. 9.13: Informații disponibile în timpul memorării datelor

5.11.2.5 Afișarea temperaturilor

Modulele de măsurare a tensiunilor realizează și măsurarea temperaturilor. Acest lucru este util în cazul în care apare o supraîncălzire a unei celule, acest eveniment fiind indicat de către unitatea centrală.

Pentru a vizualiza temperaturile eșantionate se accesează meniul “afișarea temperaturilor” (fig. 9.14). Acestea pot fi văzute fie ca temperaturi minime, actuale sau maxime, în funcție de meniul selectat. De exemplu, după un drum lung cu multe urcări pot fi vizualizate temperaturile maxime înregistrate în sistem pentru a deduce uzura celulelor.

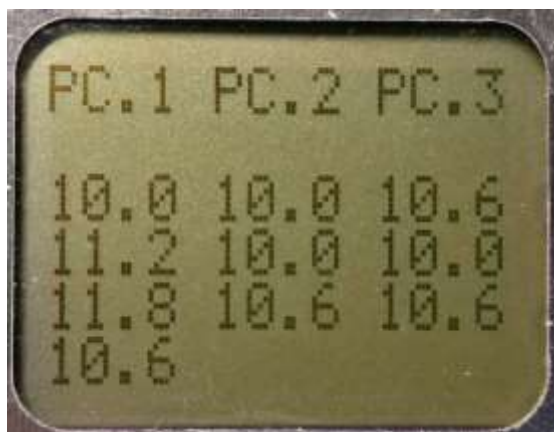


Fig. 9.14: Afișarea temperaturilor celulelor

5.11.2.6 Informații generale

Meniul de informații generale indică câțiva parametri din unitatea centrală, și anume:

- Versiunea de software integrat;
- Tensiunea bateriei interne;

- Starea bateriei interne.

Acest meniul este accesat pentru a verifica dacă versiunea de software este cea mai nouă (dacă nu, se poate actualiza) și starea de încărcare a bateriei interne (fig. 9.15). Această baterie alimentează bus-ul de CAN și trebuie încărcată separat folosind conectorul microUSB. Timpul de încărcare este de aproximativ 50 minute.



Fig. 9.15: Meniul destinat informațiilor generale

6 REZULTATE EXPERIMENTALE

Pentru a evalua funcționalitatea sistemului de monitorizare a fost studiată precizia sistemului și diferite scenarii pe multiple vehicule electrice, unele întâlnite în funcționarea propriuzisă a sistemului pe vehiculele electrice iar altele pe mai multe tipuri de baterii.

6.1 DETERMINAREA PRECIZIEI DE MĂSURĂ

Pentru a determina precizia modulelor de măsurare a tensiunii au fost folosite câte 3 plăci din fiecare tip pentru a măsura o baterie compusă din 10 celule. În același timp a fost folosit ca referință un voltmetru cu precizie ridicată.

Rezultatele măsurătorilor pot fi observate în tabelul 10.1.

Tabel 10.1: Valoarea tensiunilor măsurate

Valoare reală [V]	Modul Simplu [V]	Modul simplu (mediat) [V]	Modul Precis[V]	Modul precis (mediat) [V]
3.915	3.909	3.91	3.911	3.91
3.816	3.826	3.82	3.815	3.81
3.913	3.893	3.89	3.916	3.91
3.902	3.861	3.86	3.9	3.9
3.919	3.916	3.91	3.913	3.91
3.89	3.894	3.89	3.892	3.89
3.961	3.949	3.94	3.96	3.96
3.826	3.832	3.83	3.826	3.82
3.795	3.8	3.8	3.797	3.79
3.782	3.807	3.8	3.78	3.78

Au fost notate și comparate atât valorile neprelucrate ale tensiunilor cât și valorile mediate pentru a elimina erorile de măsură datorate zgomotului de măsură. În timpul măsurătorilor, valoarea citită poate varia cu până la 20mV ceea ce determină ca valoarea notată să nu fie neapărat relevantă. Dar, deși medierea pentru 10 eșantioane elimina acest zgomot de măsură, rezultatul nu este relevant decât pentru primele 2 zecimale, deci se pierde din precizia de măsură.

Pentru a putea compara mai ușor datele obținute a fost calculată eroarea de măsură (tabelul 10.2) ca fiind: $(\text{valoarea citită} - \text{valoarea reală})/\text{valoarea reală} \cdot 100$.

Tabelul 10.2: Valoarea erorii de măsură a modulelor de măsurare a tensiunilor

Modul Simplu [%]	Modul simplu (mediat) [%]	Modul Precis [%]	Modul precis (mediat) [%]
-0.153256705	-0.127713921	-0.102171137	-0.127713921
0.262054507	0.104821803	-0.026205451	-0.157232704
-0.51111679	-0.587784309	0.076667519	-0.076667519
-1.050743209	-1.076371092	-0.051255766	-0.051255766
-0.07655014	-0.229650421	-0.153100281	-0.229650421
0.102827763	0	0.051413882	0
-0.3029538	-0.530169149	-0.02524615	-0.02524615
0.156821746	0.104547831	0	-0.156821746
0.131752306	0.131752306	0.052700922	-0.131752306
0.661025912	0.475938657	-0.052882073	-0.052882073

Din tabelul de mai sus se observă că modulele simple de măsurare a tensiunilor pot avea o eroare maximă de peste 1%, în funcție de tipul rezistoarelor folosite, a preciziei reguletoarelor de tensiune și al nivelului de zgomot, rezultate de 5-10 ori mai bune ca în literatură [52]. După mediere, aceste erori pot scădea datorită medierii zgomotului de măsură sau pot crește datorită pierderii preciziei. În cazul modului simplu, prin mediere nu se poate specifica exact dacă se pierde sau se câștigă acuratețe, în general eroarea fiind asemănătoare.

În cazul modului precis de măsurare a tensiunilor, se observă o eroare maximă de 0.15%, valoarea foarte bună și așteptată datorită circuitului integrat folosit. În acest caz, medierea rezultatelor nu oferă nici un avantaj, scăderea preciziei determinând ca eroarea maximă să crească la 0.22%.

De menționat este că în anumite cazuri, eroarea minimă a ambelor module a scăzut la 0% (valoarea reală fiind identică cu valoarea măsurată), dar în general a fost de aproximativ 0.4% pentru modulele simple și 0.1% pentru modulele precise.

6.2 TESTAREA BMS-ULUI PE O TROTINETĂ ELECTRICĂ

6.2.1 Prezentarea vehiculului

Principalul vehicul pe care s-au efectuat testele experimentale a fost o trotinetă electrică cu următoarele specificații:

- Putere nominală a motorului: 350W
- Putere maximă a motorului: 550W
- Putere baterie: 198Wh (36V, 5.5Ah)

Aceasta a fost modificată prin schimbarea bateriei originale cu cea de test (realizată din celule reciclate [53]) și adăugarea sistemului inteligent de monitorizare și balansare.

Trotineta electrică împreună cu modificările realizate poate fi văzută în figura 10.1.



Fig. 10.1: Prezentarea trotinetei electrice

6.2.2 Variația tensiunilor celulelor bateriei trotinetei în timpul funcționării

Memorarea datelor acumulate în timpul funcționării este foarte utilă atunci când se dorește studierea comportamentului bateriei vehiculului electric pentru a diagnostica sau studia sistemul [54].

Primul test realizat pentru a studia comportamentul celulelor a fost realizat în timpul efectuării unui drum de aproximativ 15 minute, compus din:

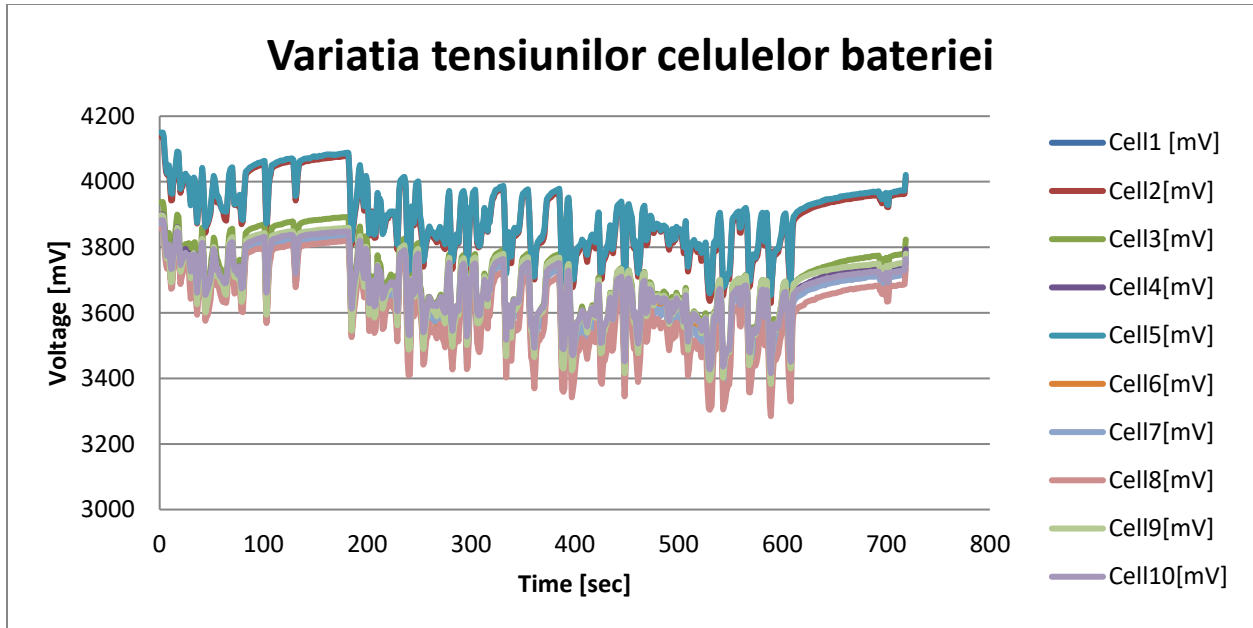
- Accelerări bruște;
- Staționari îndelungate;
- Menținerea vitezei constante;

În timpul acestor manevre s-a înregistrat un curent maxim consumat din baterie de 16A, iar variația tensiunilor celulelor bateriei este reprezentată în figura 10.2, a. Dinamica de pornire a trotinetei electrice ar putea fi schimbată folosind sistemul propus în [55], însă menținerea modularității sistemului ar fi fost foarte dificilă.

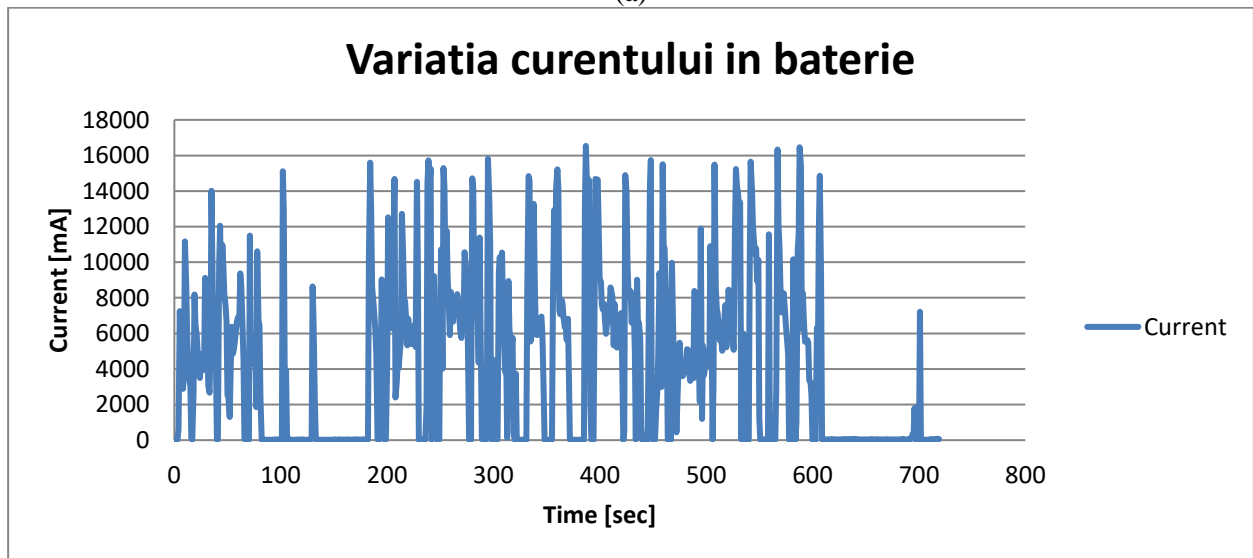
Din aceste grafice se poate observa că:

- Bateria trotinetei este debalansată: se observă cum celulele 2 și 5 au o tensiune mult mai mare decât a celorlalte celule, egală între ele;
- În timpul accelerării, atunci când curentul este aproximativ 16A, tensiunea tuturor celulelor scade cu aproximativ 200mV, de unde rezultă o rezistență internă de 0.0125Ω sau $12.5m\Omega$.

- Tensiunea celulelor tinde să crească în urmă staționării chiar dacă bateria nu este încărcată în acel moment.



(a)



(b)

Fig. 10.2: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) în timpul funcționării trotinetei electrice

Pentru a putea studia în detaliu comportamentul bateriei au fost realizate mai multe grafice ce se concentrează pe diferite aspecte ale deplasării.

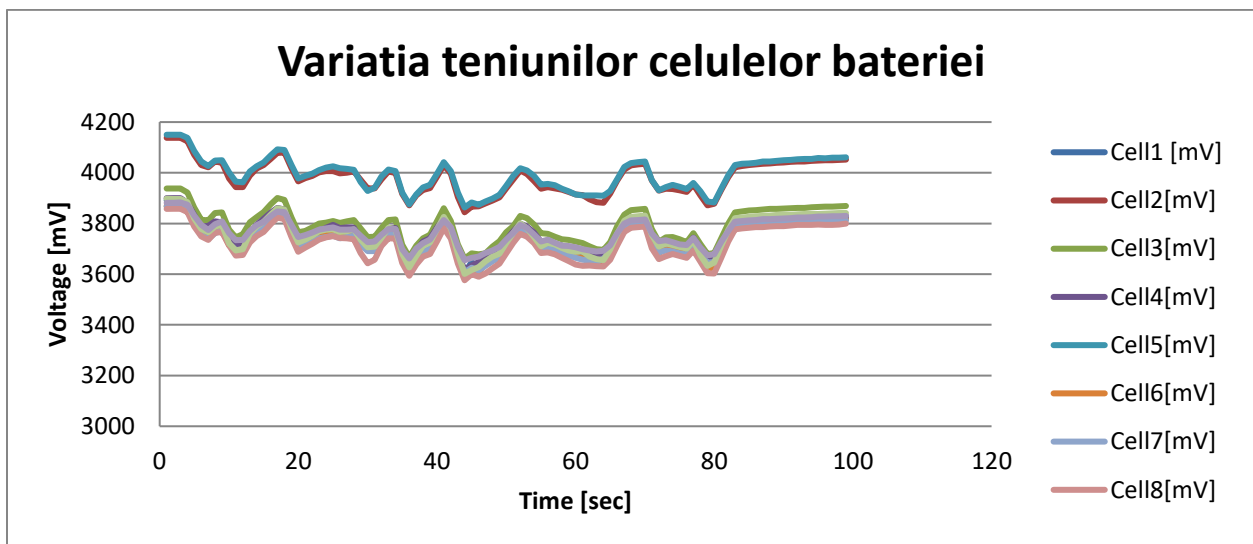
6.2.3 Menținerea vitezei constante

Principalul parametru care ar trebui modificat este puterea cu care se accelerează. În urmă limitării curentului consumat în timpul accelerării, căderea de tensiune pe celule va fi mai scăzută, puterea disipată de acestea va scădea și întreaga eficiență a sistemului va crește.

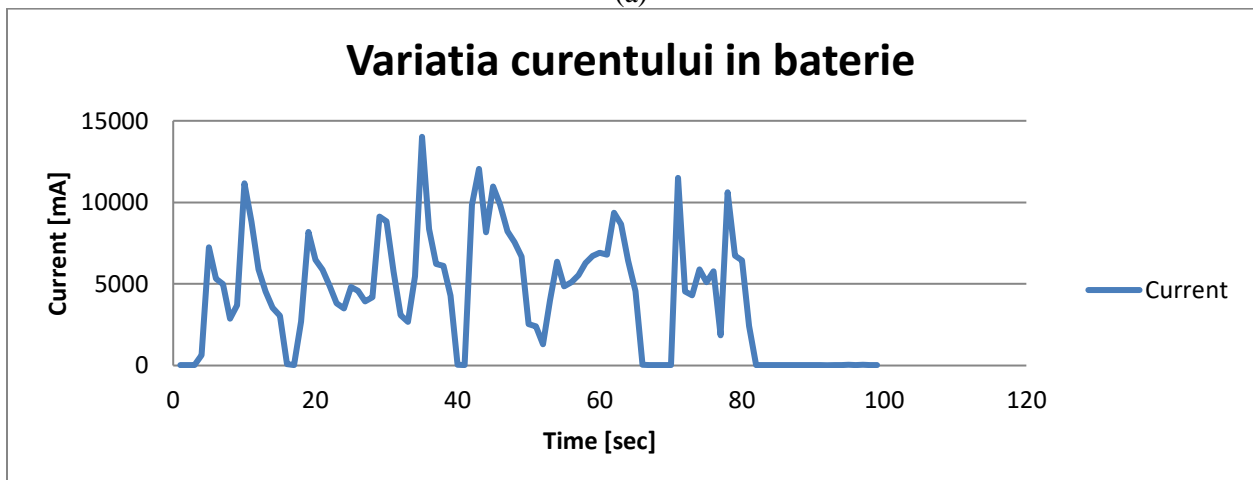
Pe baza acestor informații culese de sistemul de monitorizare a bateriei vehiculului electric se pot face reglaje ale sistemului de control al vitezei pentru a optimiza diferiți parametrii.

Din graficele din figurile 10.3,a și 10.3,b de mai jos rezultă că deși viteza este relativ constantă, sistemul de reglare al vitezei tinde să accelereze la maxim și să se oprească din accelerat în funcție de condițiile de drum.

Ca urmare a acestei schimbări, și durata de viață a bateriilor va fi îmbunătățită, iar uzura lor va scădea.



(a)



(b)

Fig. 10.3: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei electrice în timpul menținerii vitezei constante

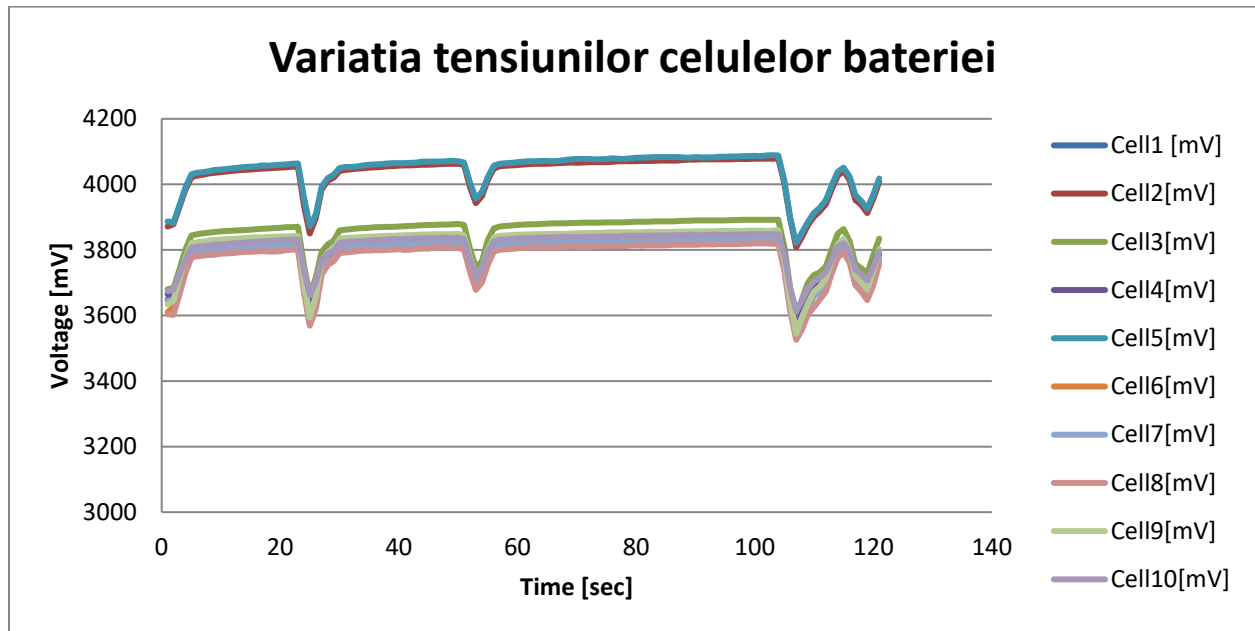
Dacă se mediază consumul de curent pe perioada arătată în figura 10.3,b se observă un consum mediu de 5A, aproximativ jumătate din valoarea pulsurilor înregistrate de baterie.

6.2.4 Staționarea vehiculului electric

Momentul staționării vehiculului electric este marcat prin lipsa curentului consumat din baterie și tendința de creștere a tensiunilor celulelor componente ale bateriei.

În graficele din figura 10.4 se observă că în aproximativ 20s tensiunea celulelor tinde să crească cu ~10mV. Acest fenomen de creștere a tensiunii este motivul pentru care nu se poate estima starea de încărcare a bateriei doar după tensiunea acesteia.

O baterie ce nu a mai fost folosită de ceva timp poate avea tensiunea suficient de mare încât să inducă în eroare sistemul de monitorizare. De aceea starea de încărcare a bateriei este determinată prin măsurarea capacității ce a fost injectată în baterie în timpul încărcării din care se scade capacitatea ce a fost consumată din baterie. Tensiunea celulelor poate fi folosită doar pentru a indica când bateria a fost descărcată, în acest caz fiind admisă o tensiune minimă de 2.7V.



(a)

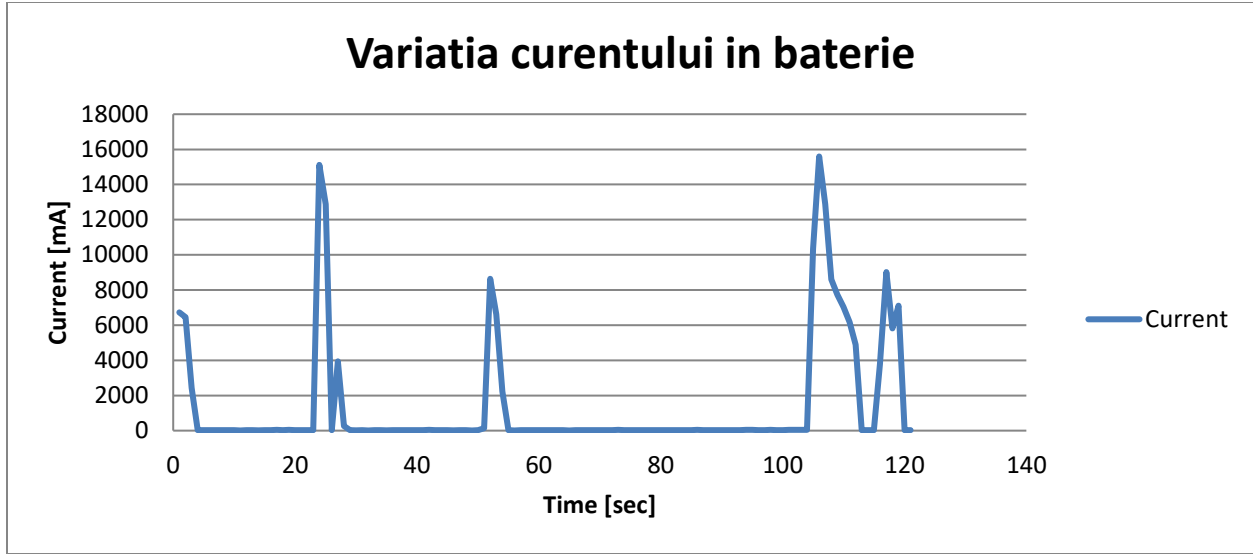


Fig. 10.4: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei în timpul staționării

6.2.5 Accelerarea vehiculului electric

Atunci când vehiculul electric accelerează, puterea extrasă din baterie este considerabil mai mare, acest regim fiind cel mai periculos pentru baterie.

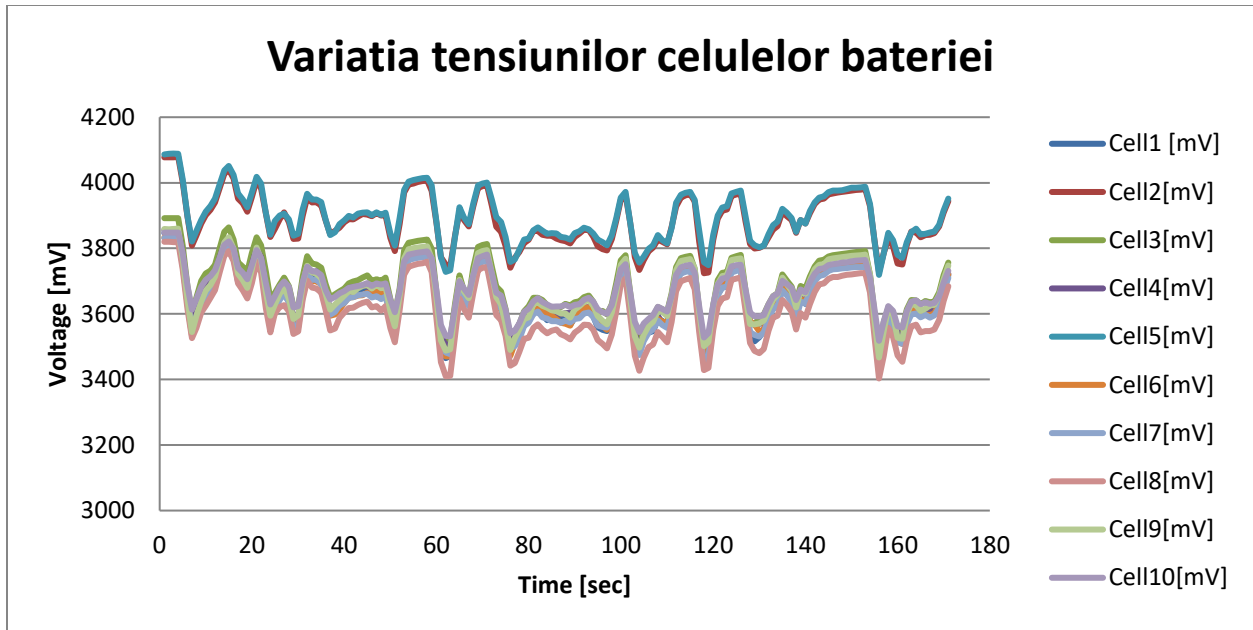
În graficele din figura 10.5 se observă variația tensiunii fiecărei celule și a curentului extras din baterie în timpul unui regim de accelerare în care se observă frecvența pulsuri de 15-16A și o medie a curentului consumat de 7A.

Din aceste grafice se poate calcula și rezistența totală internă a celulelor că fiind:

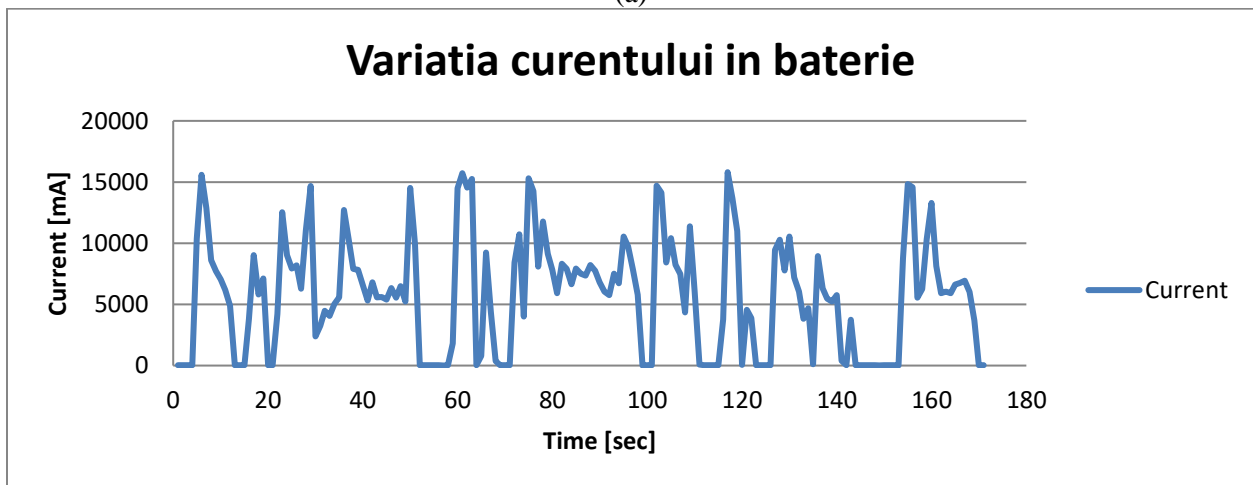
$$R_T = \frac{V_{c_{initial}} - V_{c_{final}}}{I_{consumat}} \quad (10.1)$$

Astfel se poate calcula rezistență internă ca fiind 22.5mΩ pentru celulele mai descărcate și 14mΩ pentru celulele mai încărcate.

Acesta este încă un motiv pentru care celulele unui vehicul electrice trebuie să aibă aceeași tensiune: o dată cu scăderea tensiunii și consumarea bateriei, rezistența internă a acesteia crește și ca urmare tensiunea acesteia scade și mai mult. Acest fenomen determină o debalansare accentuată ce poate conduce la defectarea celulelor supra-descărcate și poate scădea considerabil durata de viață a întregii baterii.



(a)



(b)

Fig. 10.5: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei în timpul accelerării

De exemplu, dacă toate celulele bateriei sunt încărcate la tensiunea maximă de 4.2V cu excepția unei celule ce este încărcată doar la 4V, diferența de încărcare poate fi de până la 20%.

În urmă utilizării bateriei pot apărea două situații: dacă circuitul de protecție întrerupe descărcarea atunci când orice celulă a bateriei a scăzut sub 2.7-2.8V, atunci se va sacrifica capacitatea rămasă în restul celulelor. Altfel, dacă nu există circuit de protecție pe fiecare celulă în parte, celula se va supra-descărca, fenomen ce va duce la defectarea acesteia dar se va folosi din baterie toată energia disponibilă.

6.2.6 Urcarea unei pante

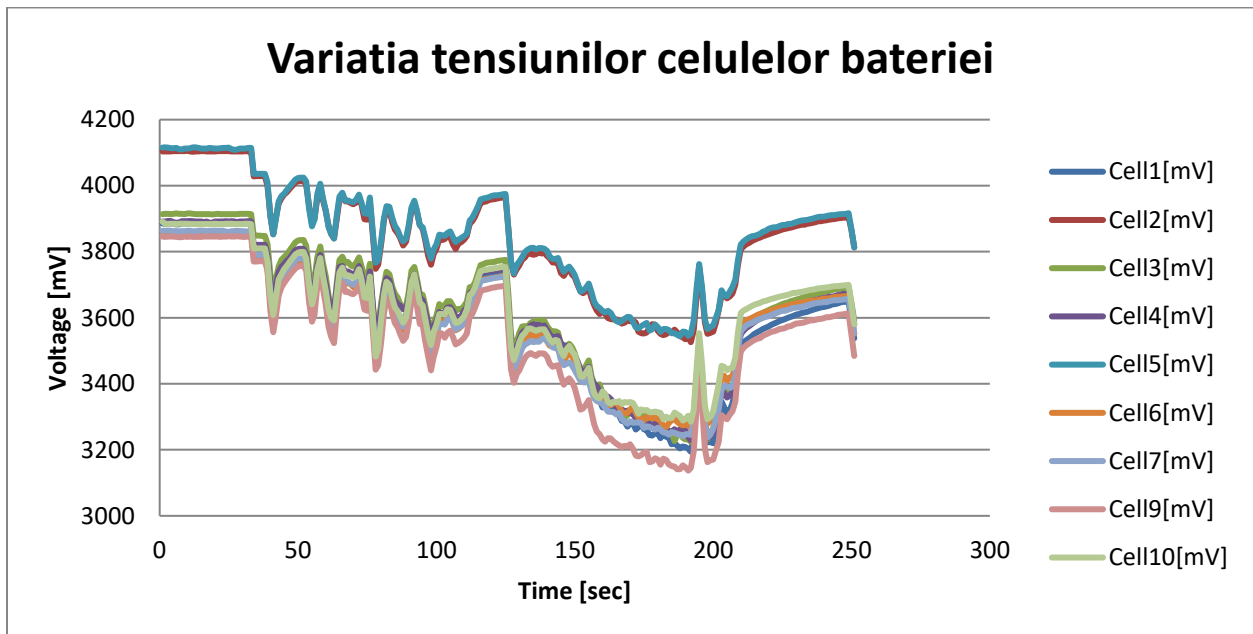
Urcarea pantelor este cel mai greu regim de funcționare al oricărui vehicul, fie electric sau convențional. Însă vehiculele electrice au (de obicei) un dezavantaj în aceste situații: lipsa unei cutii de viteze.

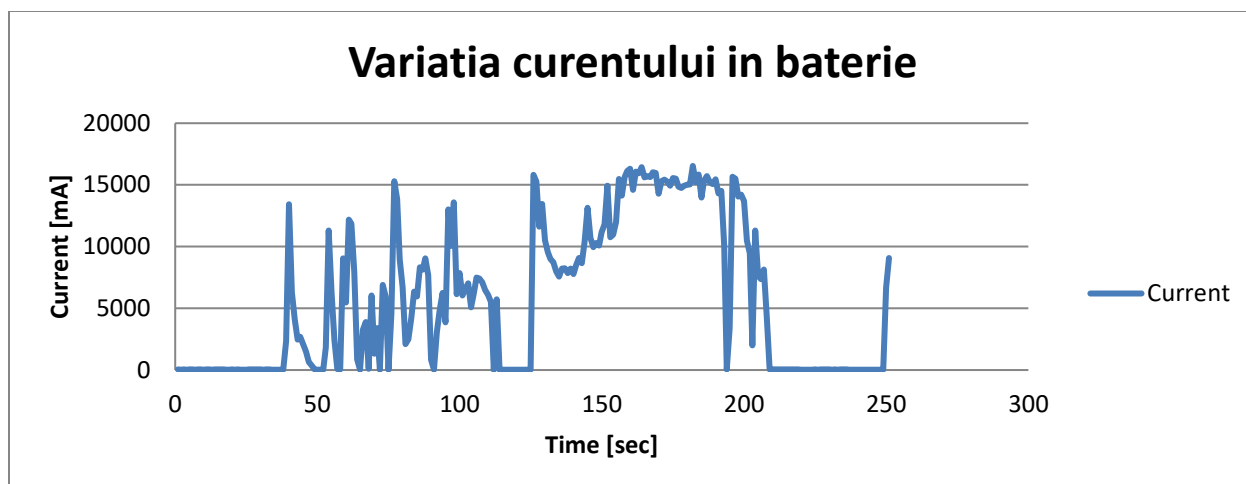
Majoritatea autovehiculelor electrice actuale sunt fie „direct drive” (au motorul în roată/roți), fie au raport de reducere fix (de exemplu 9.73:1 [56]) sau au două viteze [57]. Acest fapt se datorează curbei plate de cuplu al motoarelor electrice și scad pierderile de putere datorate cuplajelor mecanice.

Însă, în cazul vehiculelor electrice de recreere, cum este cazul trotinetei electrice testate, lipsa reductorului determină un consum de putere mare la o viteză sub cea optimă.

În graficele din figura 10.6, a sunt prezentate tensiunea fiecărei celule a bateriei trotinetei electrice și curentul (10.6, b) extras din acesta în cazul urcării unui deal cu pantă de înclinare maximă 16°.

Din cauza limitării în putere a sistemului de tracțiune electrica, urcarea se realizează la viteză mică cu un consum de curent maxim de 15A pentru 180 secunde, timp în care tensiunea celulelor scade în medie cu 150mV sau ~1mV/sec. Se poate aproxima astfel o durată de deplasare într-un astfel de regim de maxim 15 minute în care se utilizează o capacitate maximă teoretică de 4Ah din totalul de 5Ah, restul de putere fiind pierdută.





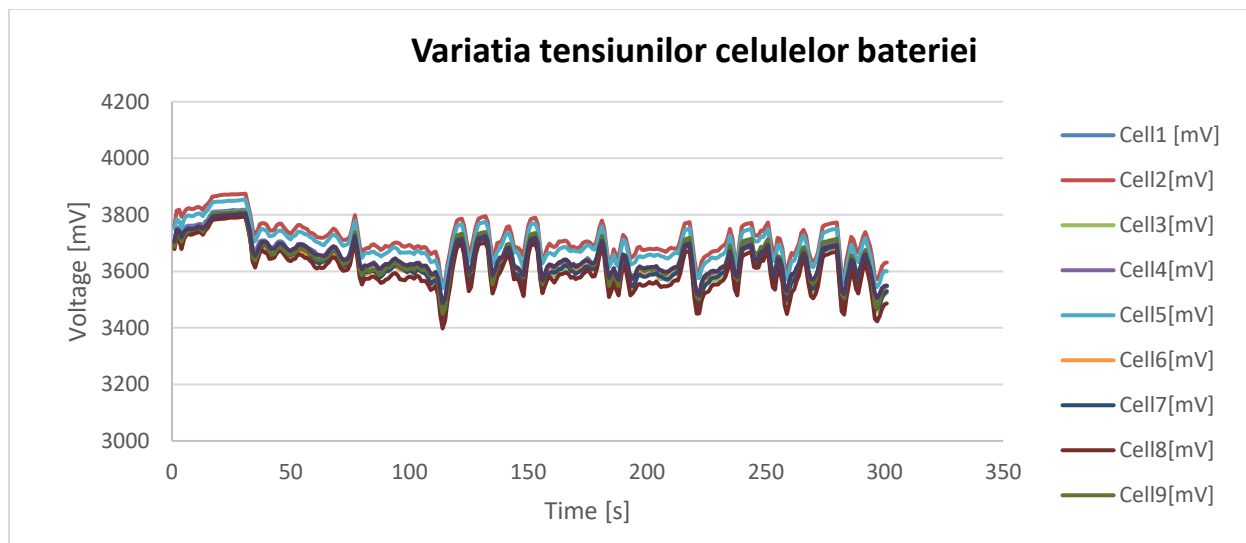
(b)

Fig. 10.6: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei în timpul urcării unui deal

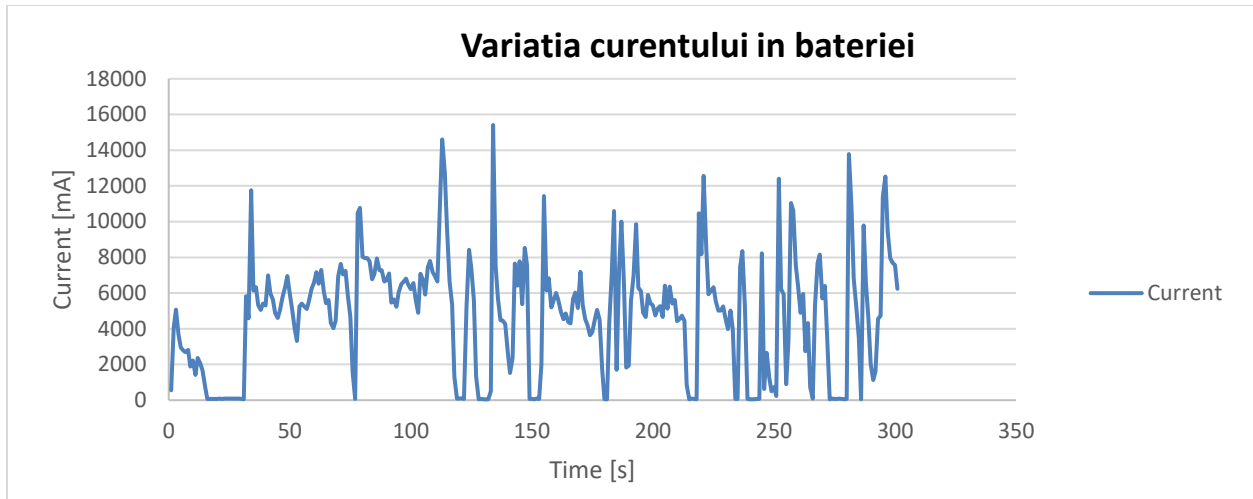
6.2.7 Menținerea vitezei constante după modificarea regulatorului

După modificarea regulatorului de viteză a trotinetei electrice în urmă testelor realizate anterior a fost introdus un mod de economisire de energie în care viteza maximă este limitată la aproximativ 60-70% din viteză maximă (18km/ora). La această viteză, consumul de putere, vârfurile de curent și căderile de tensiune ale celulelor bateriei sunt mai diminuate decât inițial.

Din figura 10.7,a se observă o cădere de tensiune maximă de doar 150mV în timpul vârfurilor de curent (10.7,b) și o scădere medie a tensiunilor celulelor după 5 minute de aproximativ 200mV.



(a)



(b)

Fig. 10.7: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei în timpul funcționarii normale după modificarea regulatorului de viteză

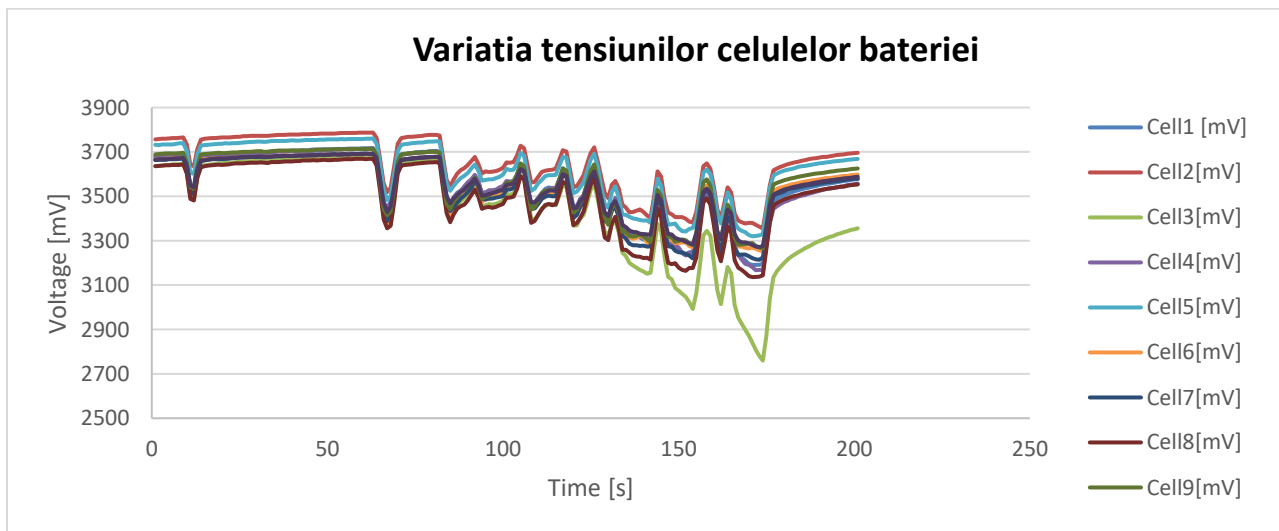
Regimul de funcționare al sistemului este vizibil mai domol, unde vârfurile de curent din bateriei au fost de durata mai mica și mai puține. Un astfel de regim de funcționare este ideal pentru baterie deoarece implică un stres electric diminuat și crește durata de funcționare a acesteia.

6.2.8 Consumarea bateriei și declanșarea protecției la supra-descărcare

În graficele din figura 10.8,a se observă tensiunile fiecărei celule componente ale bateriei în momentul în care celula 3 scade sub pragul de 2.8V și sistemul de protecție decuplează complet consumatorul (fig. 10.8, b).

Pentru a scoate în evidență această funcționalitate, trotineta electrică a fost utilizată până la declanșarea circuitelor de protecție la supra-descărcare.

Un alt scenariu în care un sistem de monitorizare inteligent este foarte util este în determinarea celor mai uzate celule.



(a)

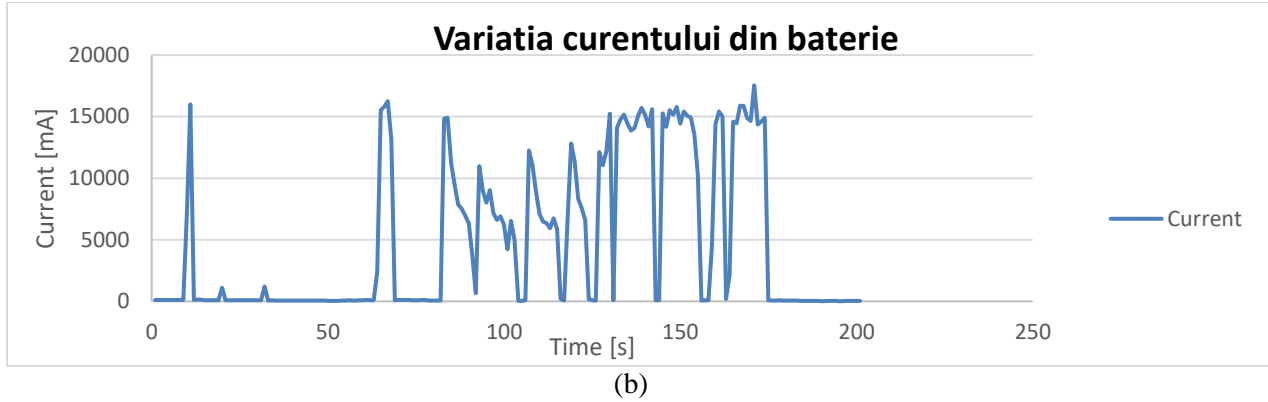


Fig. 10.8: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei în momentul declanșării protecției la supra-descărcare

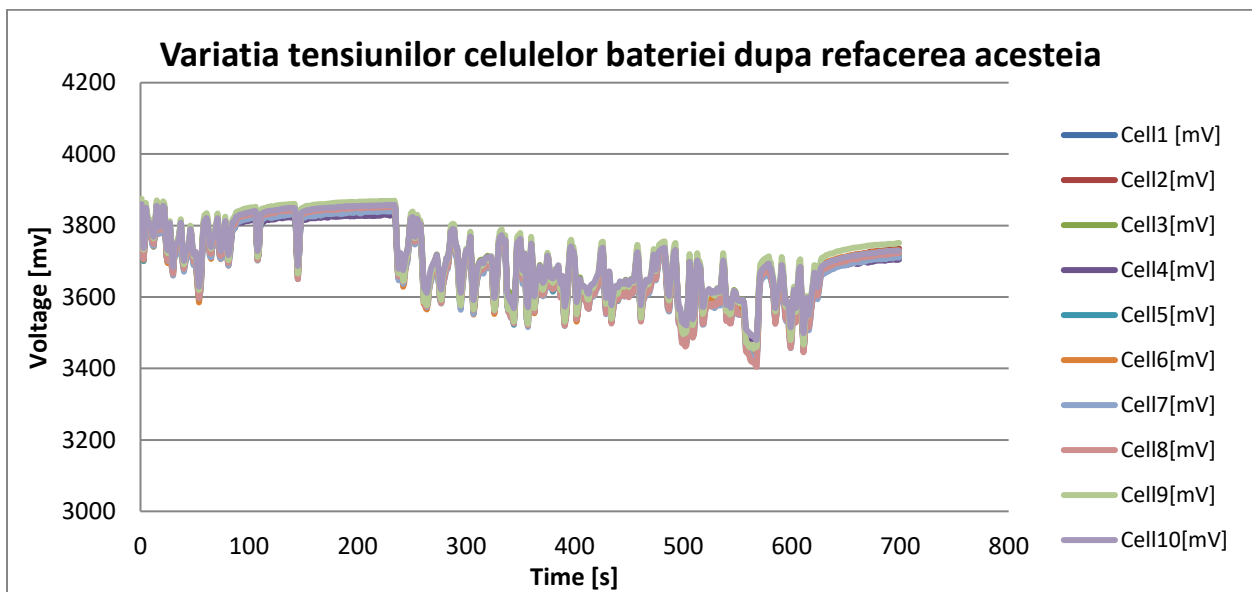
În acest moment se poate deduce (fără a măsura) că celula 3 este cea mai slabă celulă din sistem și ar trebui înlocuită. Această concluzie este sprijinită de faptul că în timpul descărcării normale, aceasta își menține tensiunea asemănător cu a celorlalte (ceea ce indică o rezistență serie egală cu a celorlalte) însă are o capacitate mai mica ca a celorlalte.

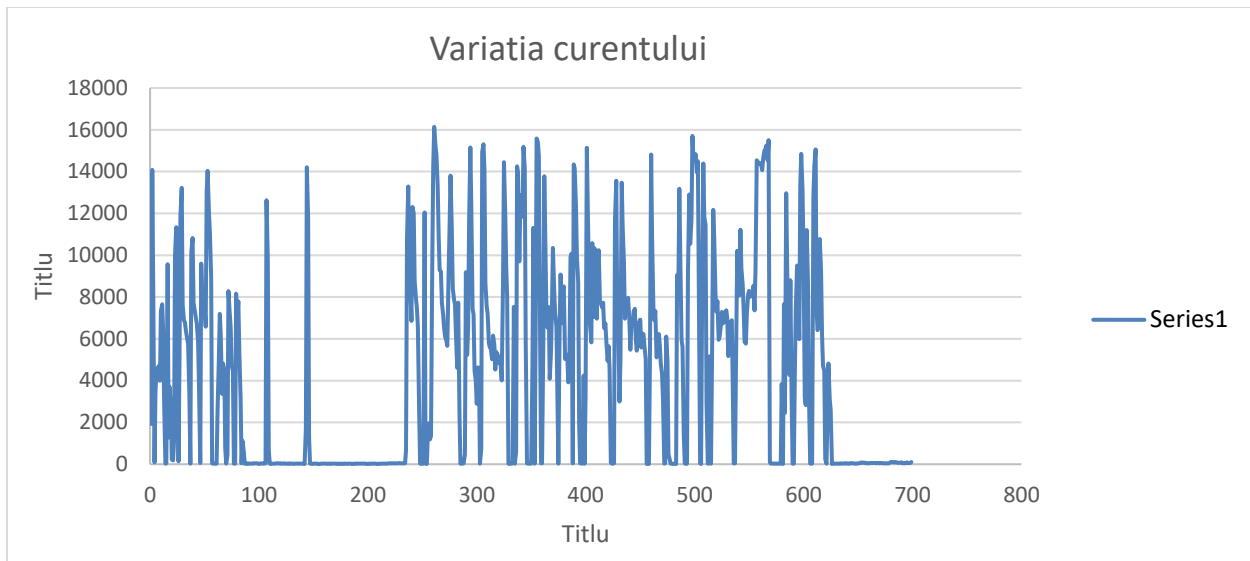
Într-un autovehicul electric complex, un astfel de eveniment ar putea determina schimbarea doar acelei celule cu una egală ca și uzură și capacitate cu ale celorlalte și astfel crescând autonomia vehiculului cu minim de efort și cost

6.2.9 Testarea bateriei refăcute

În urma rezultatelor acumulate în timpul testării bateriei trotinetei a rezultat că celula 3 este mai uzată decât celelalte celule și trebuie înlocuită.

Această înlocuire a fost realizată cu ușurință datorită proiectării modular al întregii baterii iar după încărcarea și balansarea acesteia au fost extrase rezultatele din figura 10.9.





(b)

Fig. 10.9: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei trotinetei după refacerea acesteia (înlocuirea celulelor defecte)

Din aceste grafice se poate observa că balansarea celulelor se menține o dată cu descărcarea acesteia iar celula cea mai slabă este acum celula 6. Acest lucru este aproape inevitabil în cazul în care celulele nu sunt identice. Chiar dacă una din celule este detectată ca fiind slabă și schimbată, în sistem va fi altă celulă mai slabă decât celelalte. Însă trebuie urmărită capacitatea totală a bateriei. Dacă în urmă schimbării celulei defecte crește capacitatea totală a bateriei și celulele sunt descărcate mai uniform, atunci se poate considera că înlocuirea celulei defecte a fost un succes.

6.2.10 Observații

În urma acestor teste se pot face următoarele observații :

- Rezistența internă a celulelor este mare . Dintr-un total de $\sim 20\text{m}\Omega$ și 5 celule în serie se poate calcula rezistența medie a fiecărei celule ca fiind $100\text{m}\Omega$;
- Pentru a scădea pierderile de putere din cadrul bateriei, se pot schimba bateriile cu altele de capacitate mai mare și curent de descărcare mai mare sau se mai pot adăuga celule în paralel;
- Regimurile de funcționare în care celulele sunt descărcate în continuu la curenți de descărcare mari reduc capacitatea utilă ce poate fi folosită din baterie;
- Pentru a studia în detaliu regimul dinamic al sistemului trebuie scăzută perioada de eșantionare la 0.5s sau 0.33s, însă consumul de memorie va fi considerabil mai mare;
- Implementarea unui sistem de limitare a curentului maxim extras din baterie și limitarea vitezei maxime poate duce la creșterea duratei de viață a bateriei și a creșterii autonomiei;
- Sistemul inteligent poate fi folosit pentru a determina când o celulă este uzată iar schimbarea acesteia poate duce la creșterea autonomiei vehiculului;

6.3 MONITORIZAREA UNEI BATERII DE 10 CELULE DINTR-UN LONGBOARD

6.3.1 Prezentarea vehiculului

Al doilea vehicul testat a fost un longboard electric cu următoarele specificații:

- Putere motoare: 2x 350W
- Putere maximă a motoarelor: 800W
- Capacitatea bateriei: 144Wh (36V, 4Ah)

Bateria acestui vehicul a fost făcută din celule Li -Ion de diferite capacități și curenți de descărcare la care a fost adăugat sistemul inteligent de monitorizare și balansare. Acest vehicul electric este prezentat în figura 10.10.



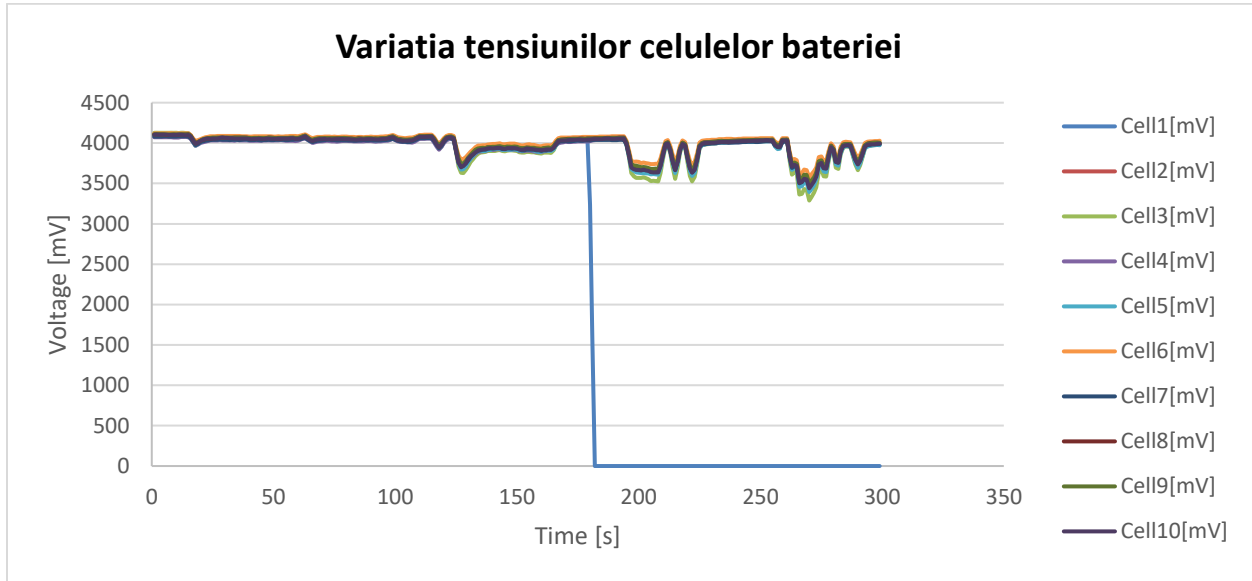
Fig. 10.10: Prezentarea longboard-ului electric (al doilea vehicul electric testat)

6.3.2 Raportarea eronată a defectării bateriei

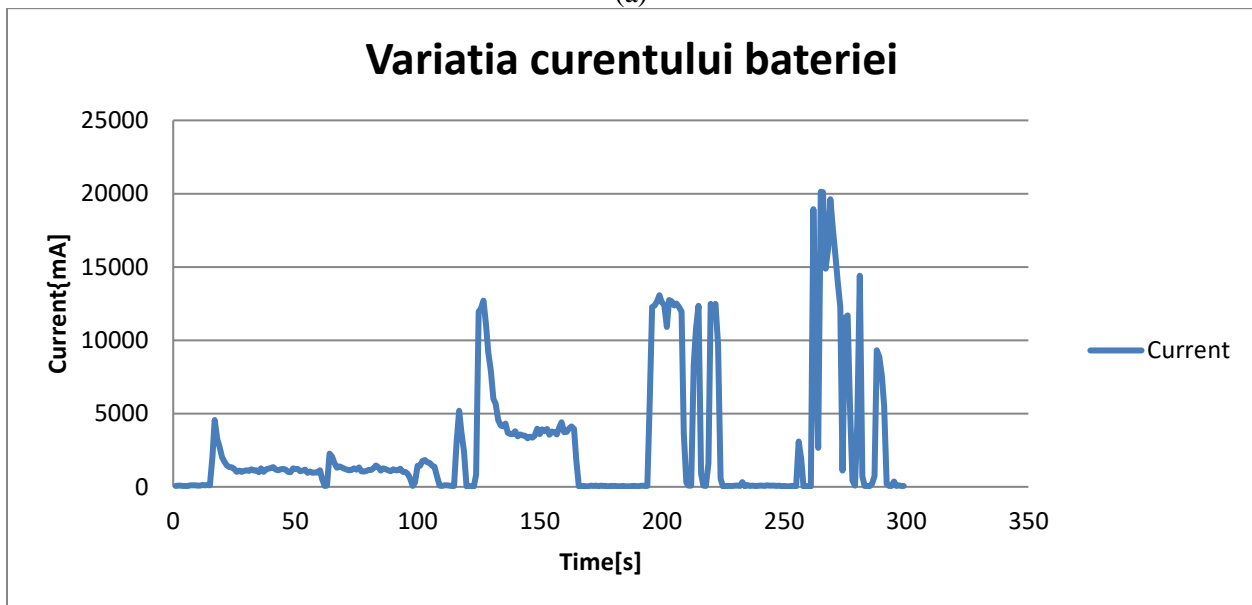
În urma utilizării oricărui BMS pentru monitorizarea tensiunilor celulelor unei baterii pot apărea și probleme. Una din aceste probleme este întreruperea conductorului electric ce conectează celulele bateriei la BMS, această problemă fiind văzută în figura 10.11. Aici se observă cum, din senin, fără sarcina, tensiunea celulei 1 scade la 0, însă sistemul încă mai funcționează corect. Această funcționare se datorează felului în care este alimentat fiecare modul.

De exemplu, în cazul modului simplu de monitorizare a tensiunilor, dacă conexiunea electrică ce alimentează modulul se întrerupe (sau masa este întreruptă), modulul va înceta să funcționeze corect sau chiar se va arde (datorită lipsei referinței de tensiune).

În cazul modului precis de măsurare a tensiunilor, aceste defecte sunt mai puțin periculoase: alimentarea se face selectiv (folosind diode) din tensiunea cea mai mare din sistem (existând mai multe alimentari posibile, întreruperea uneia din ele nu duce automat la oprirea modului) iar, datorită referinței integrate în PAC1934, măsurătorile tensiunilor își vor păstra acuratețea pentru celulele încă conectate, în ordine de la 1 la 4, până la celulă deconectată.



(a)



(b)

Fig. 10.11: Variația tensiunilor (a) și a curentului (b) bateriei longboard-ului în timpul defectării

Folosind informații extrase din grafic, se poate calcula rezistența totală a bateriei (la un curent de 20A) ca fiind de 25mΩ. Din figura 10.11 se mai observa și avantajele unui sistem ce poate limita puterea consumată din baterie în funcție de modul de funcționare.

Sistemul de control al longboard-ului ales are 4 nivele de putere, aceste nivele fiind puternic vizibile în graficul variației curentului bateriei:

- Nivelul 1: primele 120 de secunde;
- Nivelul 2: 120-180 secunde;
- Nivelul 3: 180-230 secunde;
- Nivelul 4: 230-300 secunde.

Aceste nivele de putere ajută la prelungirea duratei de viață a bateriei prin limitarea curentului maxim ce poate fi extras din baterie, atât maxim cât și mediu însă limitează accelerația și viteză maximă ce poate fi atinsă .

În cazul unui autovehicul, această limitare ar putea fi activă în oraș , unde nu este necesar un regim dinamic puternic iar consumul maxim instantaneu se realizează la pornirea de pe loc, în mod repetat (pentru unele mașini , acest regim de scăderea a puterii motorului este numit „Eco”).

6.3.3 Observații

In urma testării longboard-ului electric, se pot face următoarele observații:

- Felul in care se face alimentarea modulelor de măsurare a tensiunilor trebuie sa fie redundant: alimentarea acestora trebuie făcută selectiv, cu diode, din tensiunea cea mai pozitiva din sistem pentru a preveni potențiale situații in care acestea se pot arde (modulul de măsurare precis a fost construit cu aceasta redundanță).
- Folosirea unui mod „Eco” de funcționare prelungeste durata de viață a bateriei si creste capacitatea utila ce poate fi extrasa din baterie, dar se limitează viteza și accelerația maximă disponibilă.

6.4 MONITORIZAREA UNEI BATERII DE 7 CELULE DINTR-UN SKATEBOARD

6.4.1 Prezentarea vehiculului

Ultimul vehicul testat a fost un skateboard de teren cu motor de curent continuu cu următoarele specificații :

- Putere motor: 250W;
- Putere maximă : 550W;
- Capacitatea bateriei: 259Wh (25.9V, 10Ah, 7 celule).

Acest vehicul a fost ales pentru a testa două elemente netestate până acum: funcționarea sistemului inteligent de monitorizare atunci când sistemul este alcătuit din mai puțin de 10 celule și funcționarea acestuia in cazul unui motor de curent continuu.



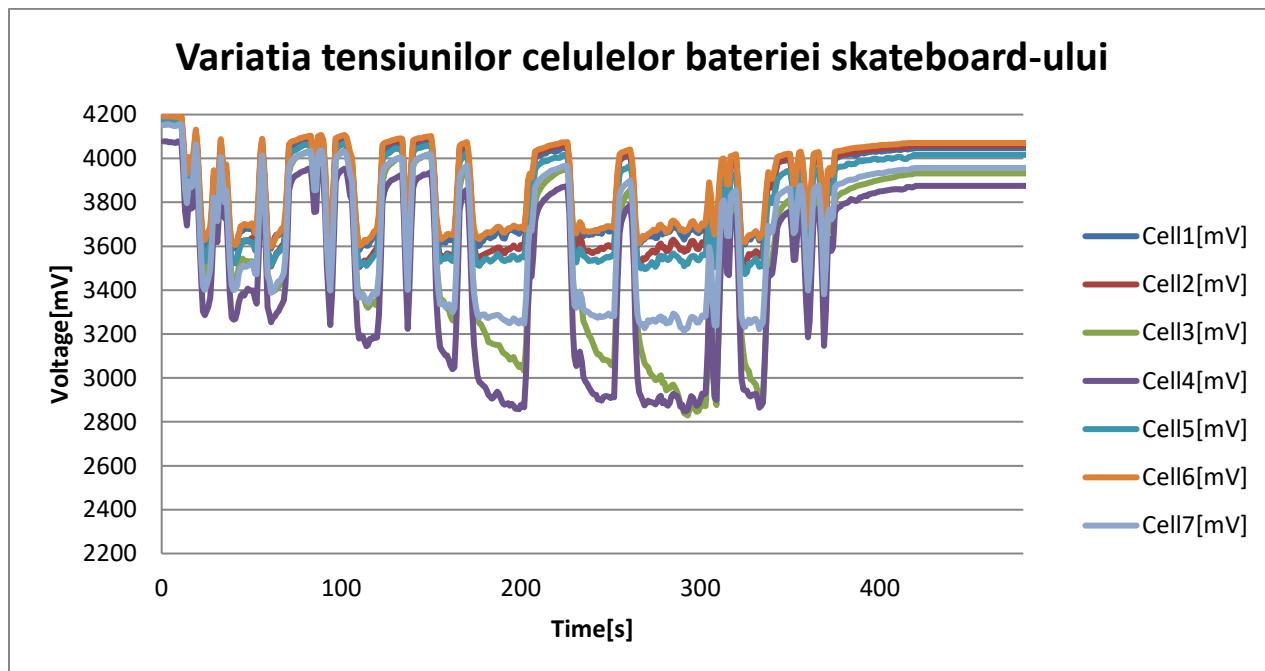
Fig. 10.12: Prezentarea skateboard-ului electric cu motor de curent continuu cu perii

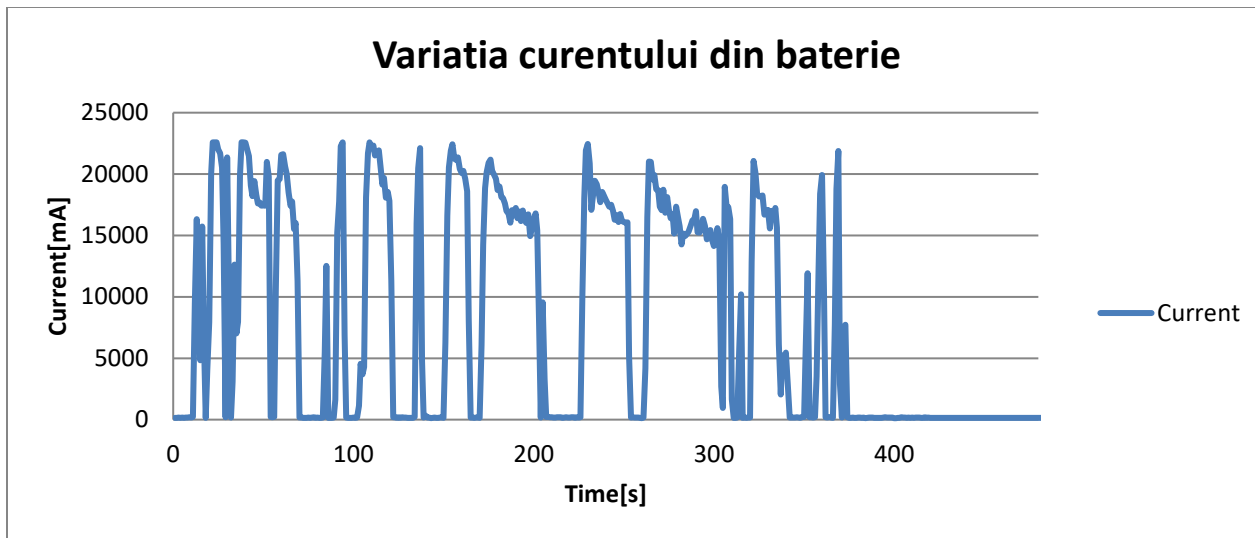
6.4.2 Monitorizarea unei baterii de 7 celule

Pentru a monitoriza bateria de 7 celule a fost utilizat sistemul deja existent, conceput pentru 10 celule. Acesta a funcționat impecabil, sistemul de monitorizare fiind astfel realizat încât să nu țină cont de modulul nealimentat și să nu raporteze erori. Valorile astfel memorate au fost valide doar pentru primele 7 celule din sistem, restul de 3 celule fiind memorate cu valoarea 0.

Graficele din figura 10.13 au fost realizate pentru a ține cont doar ce celulele sunt prezente în sistem și arată variația puternică a curentului în momentul funcționării vehiculului electric.

Se mai observă că motorul de curent continuu consumă mult mai mult curent decât celelalte sisteme testate, motiv pentru care celulele cu rezistență mai mare prezintă o scădere a tensiunii de peste 0.5V.





(b)

Fig. 10.13: Variația tensiunilor celulelor (a) și a curentului (b) bateriei skateboard-ului electric cu motor de curent continuu

6.4.3 Observații

În urma testelor realizate pe skateboard-ul electric, se pot observa următoarele:

- Datorită tensiunii de alimentare mai mici, la aceeași putere consumată de sistemul de acționare electrică, curentul absorbit de motor va fi mai mare, ceea ce duce la dezechilibrarea accentuată a celulelor și posibila defectare a acestora;
- Chiar dacă capacitatea totală este mai mare iar numărul de celule este mai mare ca la vehiculele testate anterior, datorită regimului de funcționare dur, capacitatea reală ce poate fi folosită este de doar 10-15% (1000-1500mAh) pentru a nu descărca celulele sub tensiunea minimă de 2.7V și a nu declanșa circuitul de protecție.

6.5 ECHILIBRAREA CELULELOR UNEI BATERII DEBALANSATE

Pentru a testa funcția de echilibrare a BMS-ului s-a realizat o baterie de 10 celule serie cu diferite stagii de uzură și diferite capacități (debalansata) (fig. 10.14), soluție mai apropiată de realitate decât cea propusă în [17].

Echilibrarea propriu-zisă nu a fost realizată în timpul încărcării celulelor, urmărindu-se durata de timp până la finalizarea procesului.

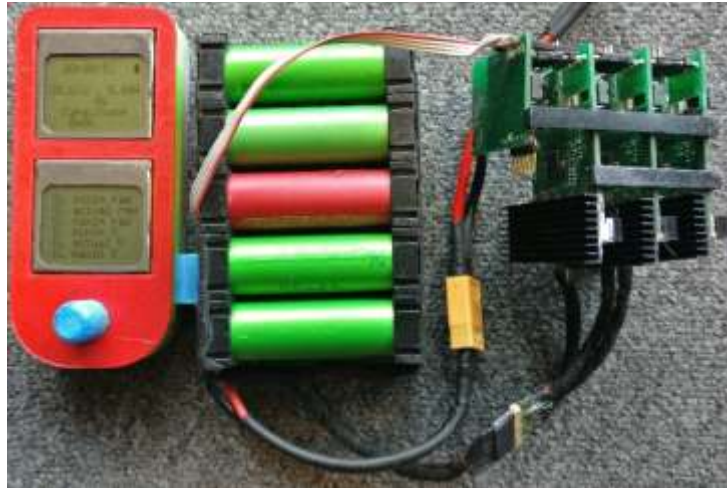


Fig. 10.14: Prezentarea bateriei debalansate special creată pentru testarea sistemului

A fost monitorizată o perioadă de aproximativ 3600s (o oră) timp în care majoritatea celulelor au ajuns la tensiunea de 3.3V (fig. 10.15). Însă celula 7 a avut o capacitate mult mai mare decât a celorlalte și un nivel de încărcare crescut, perioada de o oră fiind insuficientă pentru a o descărca.

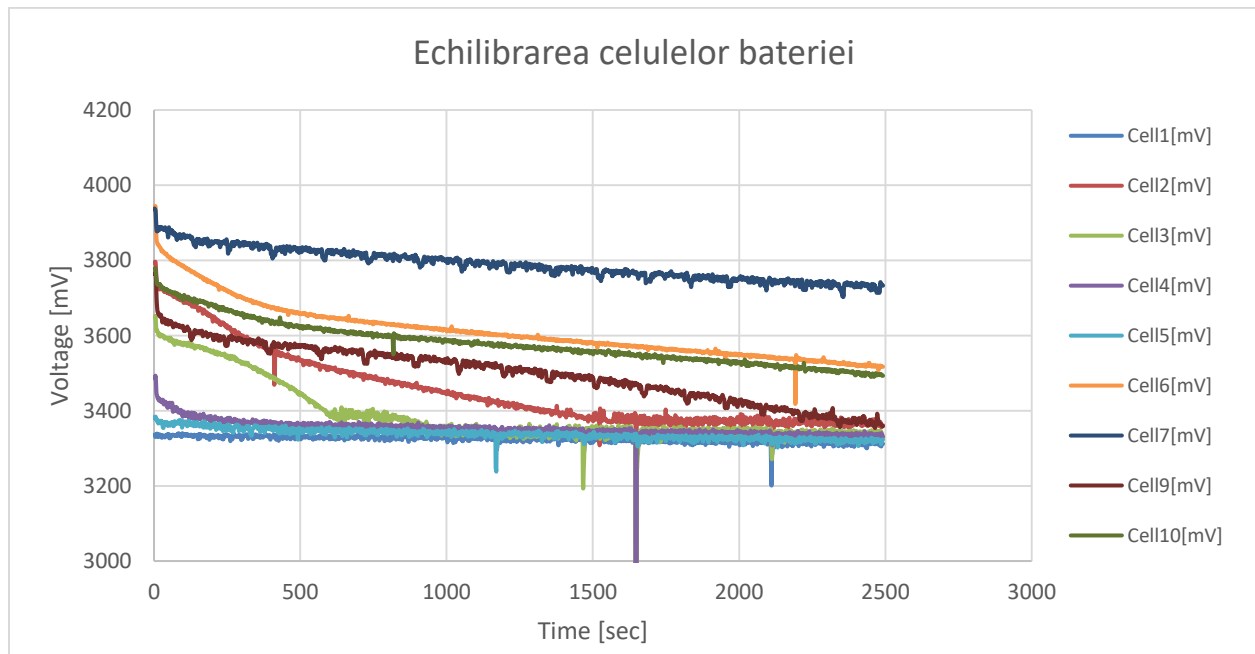


Fig. 10.15: Echilibrarea celulelor bateriei debalansate, fără încărcare

Până în acest moment, balansarea celulelor se făcea într-un singur pas după logica următoare: dacă celula avea tensiunea mai mare cu 30mV decât celula cu tensiunea cea mai mică, era descărcată.

Dar din figura 10.16 se poate observa că această logică poate fi îmbunătățită. Dacă balansarea se realizează în mai mulți pași, pornind de la ideea că celulele cele mai încărcate sunt descărcate primele, se minimizează pierderea de putere dacă celulele sunt puternic debalansate iar dacă se oprește echilibrarea prematur (înainte de trecerea la următorul nivel inferior), numai celulele ce depășesc cu mult tensiunea minimă vor fi descărcate, astfel minimizând și uzura întregii baterii.

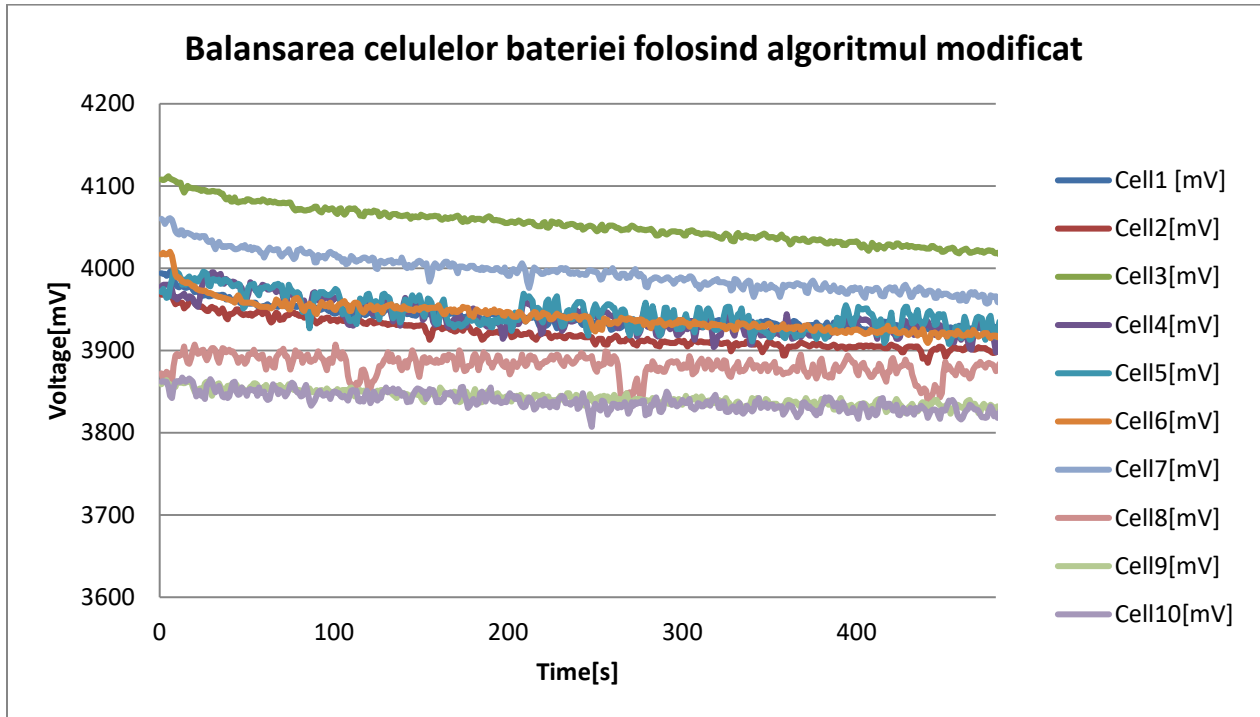


Fig. 10.16: Echilibrarea celulelor bateriei folosind algoritmul de balansare modificat

6.6 ECHILIBRAREA CELULELOR UNEI BATERII DEBALANSATE FOLOSIND MODULUL DE MĂSURARE PRECIS

Pentru a testa modulul de monitorizare precis al tensiunii a fost folosită bateria de test în tipul încărcării acesteia, tensiunea fiecărei celule putând fi observată în figura 10.17.

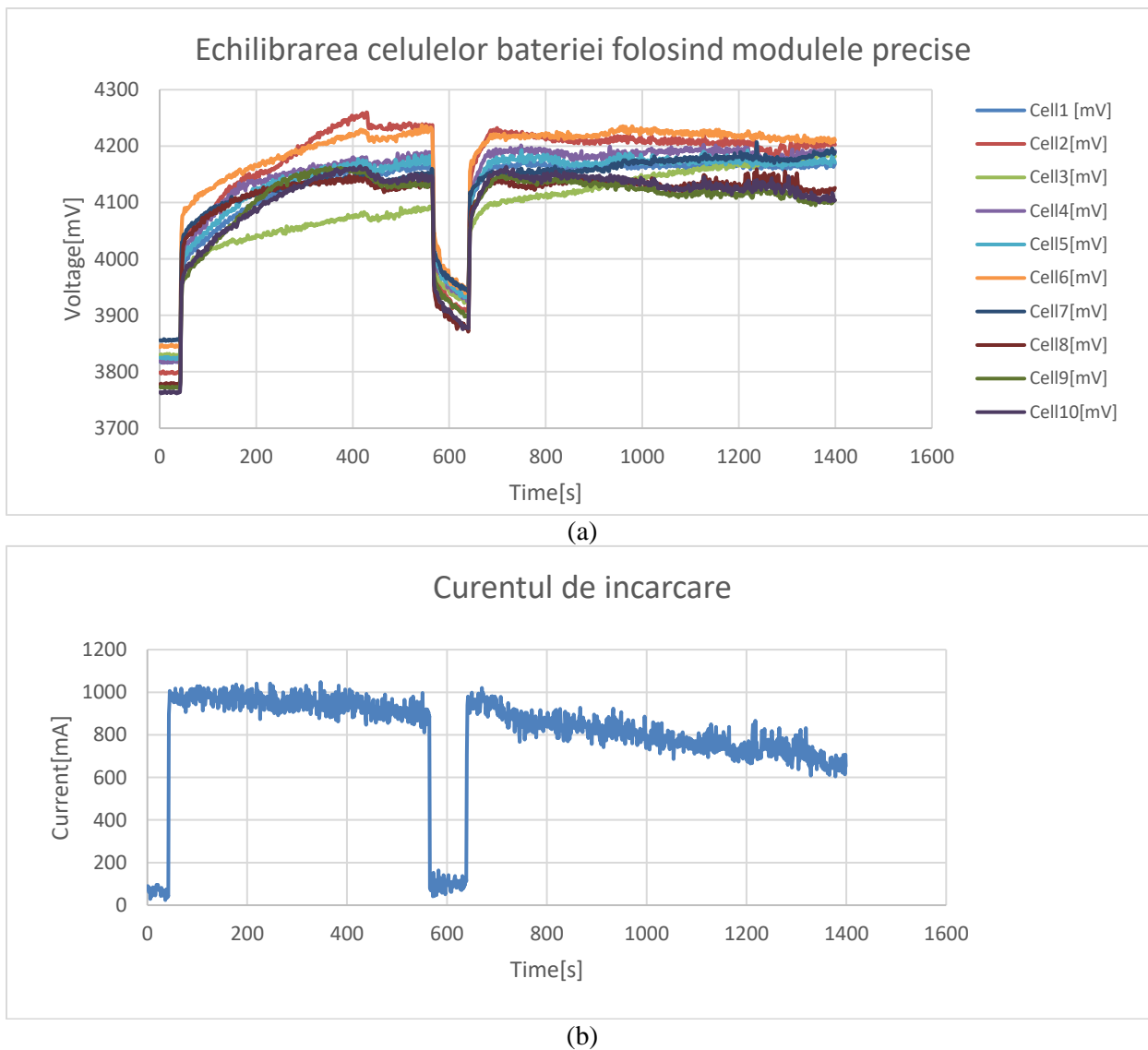


Fig. 10.17: Echilibrarea bateriei debalansate folosind modulele precise de măsurare a tensiunilor

Din figura 10.7 se observă că tensiunea unor celule depășește valoarea maximă de 4.2V iar încărcarea este oprită, continuându-se balansarea celulelor pentru a scădea tensiunea. Odată cu reluarea încărcării se observă că celula 3 (ce a avut cea mai mică tensiune) pornește de la aceeași tensiune ca înainte iar celulele 2 și 6 (ce au avut tensiunea cea mai mare) pornesc de la tensiuni

ușor mai joase. Se mai observă că tensiunea măsurată are un zgomot de măsură mai mic datorită folosirii modului precis de măsurare.

O astfel de arhitectură de control al încărcării/ echilibrării celulelor poate fi implementată foarte simplu prin adăugarea unui element ce comută pornirea sau oprirea încărcării. Pentru tensiuni mai mici de 100V se pot folosi tranzistoare integrate în modulul de măsurare al curentului ce vor fi comandați de tensiunea BMS-ului iar pentru tensiuni mai mari se pot folosi relee cu reținere comandate de punți H.

O altă modalitate de comandă, în cazul folosirii unui încărcător inteligent, este folosirea unui semnal logic pentru oprirea sau pornirea încărcării, indiferent de tensiunea de încărcare folosită.

6.7 OBSERVAȚII

Din experimentele realizate pe bateria de test se pot extrage mai multe observații:

- O astfel de baterie este foarte utilă pentru a testa cazurile extreme ce pot fi întâlnite: debalansări puternice, regimuri de încărcare rapide, fără a deteriora o baterie bună;
- Sistemul inteligent funcționează bine și cu algoritmul de echilibrare inițial dar puterea disipată este mai mare la începutul procesului, astfel cauzând încălzirea excesivă a modulelor fără a scădea semnificativ balansarea;
- Noul algoritm de echilibrare se bazează pe existența a mai multor praguri de descărcare; acest fapt conduce la scăderea dezechilibrului celulelor imediat după începerea balansării cu minim de putere disipată
- Deși ambele module de măsurare a tensiunilor celulelor prezintă o precizie bună, modulul precis beneficiază de o reducere a zgomotului de măsură ce conduce la creșterea precizia de măsurare.

7 CONCLUZII FINALE SI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

C.1 CONCLUZII GENERALE

În ultimii ani a luat amploare industria vehiculelor electrice și a instalațiilor industriale de stocare a energiei electrice. Însă, chiar dacă tipul de baterii folosite este, în general, același (baterii de tipul Li-Ion 18650), sistemele de gestionare ale acestor baterii sunt special concepute pentru fiecare aplicație în parte. Acest fenomen cauzează creșterea costului instalațiilor iar de cele mai multe ori, proiectarea sistemului se face de la zero.

Teza actuală pornește de la necesitatea realizării unui sistem modular, ușor de realizat și întreținut, proiectând astfel un sistem inteligent complet pentru monitorizarea tuturor celulelor componente ale bateriei din autovehicule electrice, vehicule electrice recreative sau instalații industriale.

Pentru realizarea acestui proiect au fost luate în calcul mai multe alternative de monitorizare prezente în literatură și s-a ajuns la un sistem format din 4 module individuale: două module cu precizii diferite pentru monitorizarea tensiunilor celulelor componente ale bateriei, un modul pentru monitorizarea curentului de încărcare sau descărcare a acesteia și un modul principal ce interacționează cu utilizatorul și coordonează celelalte module.

Pentru a acomoda multe tipuri de vehicule electrice, sistemul inteligent poate fi configurat ușor să monitorizeze de la 3 celule serie la 400 de celule serie, cu posibilitatea creșterii numărului de celule până când tensiunea totală a bateriei atinge 2.5kV.

Sistemul a fost gândit pentru a putea fi integrat ușor în autovehiculele electrice, comunicația între module fiind standard în industria auto: CAN bus.

După studierea statistică a preciziei modulelor de măsură a tensiunilor celulelor, s-a observat o eroare medie de doar 0.4% pentru modulele simple și 0.1% pentru modulele precise, utilizarea oricărui modul într-un vehicul electric fiind decisă de proiectant.

Sistemul inteligent de gestionare a bateriilor a fost realizat fizic și integrat în mai multe vehicule electrice pentru a testa comportamentul lui în diferite situații pentru a arată modul în care acesta poate optimiza atât durata de viață a bateriei cât și funcționarea vehiculului electric.

Datorită folosirii microcontrolerelor pentru toate modulele realizate, funcționalitatea fiecărui modul poate fi îmbunătățită, se pot adăuga funcții noi sau se pot optimiza cele deja existente fără dificultăți majore. De exemplu, unitatea centrală poate fi modificată ori de câte ori este nevoie, după montarea sistemului pe vehiculul electric, în funcție de necesitățile utilizatorului.

Folosirea unui microcontroler aduce și alte avantaje: fiecare modul în parte poate fi configurat atât static (în momentul producerii acestuia) dar și dinamic (în momentul instalării în vehiculul electric) pentru a putea monitoriza cu succes tipul de baterie unde va fi instalat. Acesta suportă momentan baterii de tipul Li-Ion 18650 dar poate fi reprogramat ușor să suporte baterii de tipul Li-Polimer (de 4.4V_{max}) sau LiFePo4, cât și alte chimii viitoare.

Proiectarea inteligentă a acestui sistem este vizibilă și atunci când se schimbă numărul de module de monitorizare a tensiunilor: datorită ID-ului unic pe care fiecare placă îl primește în momentul construirii, unitatea centrală poate identifica dinamic, la pornire, numărul de module prezente în sistem. Acest lucru ajută la modularizarea sistemului și dacă numărul de module este fix, unitatea centrală poate raporta un mesaj de eroare dacă unul din module nu este detectat.

Pe lângă monitorizarea tensiunii celulelor, sistemul poate fi folosit și la: monitorizarea temperaturilor fiecărei celule componente, estimarea stării de încărcare a bateriei, calcularea

rezistenței interne a fiecărei celule în parte, raportarea către utilizator a posibilelor erori sau avertismente.

Cele mai multe teste au fost realizate pe o trotinetă electrică timp de 6 luni cu încărcări și descărcări frecvente, studiind astfel comportamentul bateriei, echilibrarea celulelor și funcționarea sistemului de propulsie electric. Astfel au fost depistate probleme cu unele celule componente ale bateriei, probleme ce au fost rezolvate cu succes, sistemul inteligent ajutând și la optimizarea funcționării acesteia.

A mai fost studiat comportamentul sistemului inteligent montat pe un longboard electric, unde s-a putut vizualiza clar fiecare mod de funcționare a acestuia, determinând astfel modul optim de funcționare pentru a maximiza distanța parcursă sau viteza de deplasare. Pe acest vehicul a fost vizibil și comportamentul sistemului atunci când o celulă este deconectată, dar interfața simplă cu utilizatorul a fost suficientă pentru a determina exact problema apărută și a grăbit rezolvarea acesteia.

Cu ajutorul skateboard-ului electric, al treilea vehicul testat, a fost evidențiată imunitatea sistemului de gestionare a bateriei asupra tipului de propulsie folosit: motor de curent continuu sau alternativ.

O funcționalitate frecvent omisă în alte sisteme de gestionare a bateriilor este posibilitatea echilibrării celulelor componente. În cadrul sistemelor cu regimuri de funcționare dure, de curenți mari (vehicule electrice recreative) pot apărea diferențe de tensiuni între celule, fapt ce conduce, în timp, la scăderea aparentă a capacității totale a bateriei. O simplă balansare poate crește durata de viață a bateriei semnificativ și poate scădea costul de mentenanță.

C.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

Contribuțiile care se aduc la realizarea sistemului inteligent de gestionare a bateriilor destinate pot fi succint prezentate după cum urmează:

- ✚ Lucrarea debutează prin a descrie problema cu care se confruntă realizatorii vehiculelor electrice și a instalațiilor industriale de stocare a energiei: necesitatea folosirii unui BMS pentru monitorizarea celulelor componente ale bateriei dar lipsa unui sistem ușor de folosit pentru a realiza acest lucru.
- ✚ Pentru a realiza un astfel de sistem inteligent, mai mulți factori sunt studiați în capitolele următoare: tipul de baterie folosit cu specificațiile acestora și protocolul de comunicație ce va trebui folosit.
- ✚ Inspirația vine din literatură, unde, deși sistemele de monitorizare a celulelor bateriilor sunt deja existente, acestea nu acoperă aria de tensiuni dorită, nu pot fi modularizate ușor sau sunt foarte scumpe și posibil periculoase.
- ✚ Folosind cunoștințele dobândite anterior în articolul deja publicat este decisă ușor metodă de balansare a celulelor ce va fi implementată ulterior. Este gândit un algoritm eficient de balansare pentru a minimiza puterea disipată, acesta fiind testat pe o baterie special concepută.
- ✚ Definitivarea sistemului inteligent este dificilă datorită modularității: pe lângă partea de monitorizare propriu-zisă, este gândită și comunicația între module și interacțiunea cu utilizatorul.
- ✚ După realizarea fizică profesională a tuturor modulelor, sunt scrise peste 2000 de linii de cod pentru a implementa funcționalitatea dorită, interfața cu utilizatorul fiind pe deplin detaliată pentru a înțelege ușor toate funcțiile disponibile.

- ✚ Sistemul astfel creat este apoi testat pe deplin, pe o perioada de 6 luni, pe diferite vehicule electrice cu diferite specificații și diferite baterii, pentru a arată imunitatea la zgomot, adaptabilitatea la schimbarea numărului de celule și felul în care acesta poate ajuta la îmbunătățirea funcționării vehiculului electric în ceea ce privește durata de viață a bateriei, distanță maximă parcursă și viteză maximă de deplasare.

Contribuția originală adusa in teza de doctorat constă în: **proiectarea, construcția și testarea (pe un număr mare și variat de vehicule electrice) a unui sistem inteligent, integrat și original pentru balansarea bateriilor autovehiculelor electrice.** Sistemul propus este net superior celor existente.

C.3 PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Deși sistemul actual este funcțional și complet, acesta poate fi îmbunătățit. De exemplu, creșterea complexității softului poate conduce la auto-detectarea chimiei bateriei unde a fost montat, curentul de balansare ar putea fi monitorizat și balansări de lungă durată ar putea fi raportate ca erori iar numărul de parametri raportați utilizatorului ar putea fi crescut sau micșorat, în funcție de dorințele utilizatorii.

O noua direcție de îmbunătățire este interconectarea acestuia cu electronica de încărcare. O astfel de legătură poate fi implementată astfel: dacă tensiunea unor celule ajunge la maxim, BMS-ul ar putea întrerupe încărcarea în timp ce continuă balansarea, încărcarea fiind reluată o dată ce diferențele tensiunilor celulelor scad sub o anumită valoare.

Ca alternativa ar fi scăderea curentului de încărcare până când balansarea celulelor este terminată, proces ce ar minimiza timpul de încărcare /balansare. O altă funcționalitate ce ar putea fi ușor adăugată este pornirea balansării atunci când este detectată încărcarea : acest lucru s-ar face prin adăugarea unor condiții în cadrul unității centrale ce ar porni automat descărcarea celulelor supraîncărcate.

Deși sistemul a fost testat cu succes pentru tensiuni mai mici de 50V, rezultatele deja obținute vor trebui validate și pe sisteme cu tensiuni mai mari. Ca urmare, sistemul inteligent dezvoltat va trebui testat pe bateria unei mașini electrice, de minim 100V, iar acesta interconectat și integrat în calculatorul de bord al mașinii.

O dată cu creșterea numărului de module, viteza de comunicație va trebui crescută și o dată cu ea și rezistența la erori de comunicație. De exemplu, dacă din orice motiv comunicația este întreruptă, va trebui adăugat un sistem care repornește sau reinițializează comunicația.

Pentru sisteme destinate funcționării în stare de repaos pentru perioade lungi de timp se pot implementa funcții noi: încărcarea sau descărcarea până la 80% a bateriei, această fiind starea de încărcare pentru bateriile nefolosite. Acest lucru ar limita capacitatea care poate fi folosită din sistem dar ar crește considerabil durata de viață a baterie.

Implementarea unor protecții adiționale, cum ar fi protecția la supra-descărcare, modulul de măsurare al curentului ar putea fi modificat prin adăugarea unor tranzistoare care să decupleze consumatorii. Această funcționalitate nu a fost adăugată deja datorită compromiterii modularității: alegerea tranzistorului trebuie făcută în funcție de tensiunea totală a sistemului, iar pentru tensiuni de peste 100V se pot folosi rele.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1] *F. Vellucci, V. Sglavo, G. Pede*, Life cycles test on a lithium battery system, IECON 2014, Noiembrie 2014
- [2] *Chuan Sheng Si*, Development research about the power battery management system of pure electric vehicle, 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Aprilie 2011
- [3] *B.P. Divakar, K.W.E. Cheng, H.J. Wu*, Battery management system and control strategy for hybrid and electric vehicle, 2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), Mai 2009
- [4] *Dongping Xu, Lifang Wang, Jian Yang*, Research on Li-ion Battery Management System, 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, Iunie 2010
- [5] *Hardik Keshan, Jesse Thornburg, Taha Selim Ustun*, Comparison of lead-acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems, 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016), Noiembrie. 2016
- [6] *Yuanhua Huang*, An innovative hybrid battery management system for telecom, 2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Octombrie 2017
- [7] *Siguang Li, Chengning Zhang*, Study on Battery Management System and Lithium-ion Battery, 2009 International Conference on Computer and Automation Engineering, Martie 2009
- [8] *Chang-Hua Lin, Hsuan-Yi Chao, Chien-Ming Wang*, Battery management system with dual-balancing mechanism for LiFePO4 battery module, TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference, Noiembrie 2011
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- [10] https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery
- [11] ***Panasonic, Lithium Ion NCR18650B, Datasheet, 2012
- [12] ***LG Chem, Rechargeable Lithium Ion Battery Model: 18650HD2C 2100mAh, Datasheet, 2014
- [13] Chin-Long Wey, Ping-Chang Jui, A unitized charging and discharging smart battery management system, International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Decembrie 2013
- [14] Aixiang Zhang, Shizhan Song, Chuanyong Wang, Research of battery management system for integrated power supply, Chinese Automation Congress (CAC), Octombrie 2017
- [15] Xiao-feng Wan, Jian-ping Wu, Hai-lin Hu, The smart Battery management system, International Conference on Test and Measurement, Decembrie 2009
- [16] ***Linair Technology, LTC6803-1/LTC6803-3 Multicell Battery Stack Monitor, Datasheet
- [17] Ni Lin, Song Ci, Toward dynamic programming-based management in reconfigurable battery packs, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Martie 2017
- [18] Florian Helling, Stefan Götz, Thomas Weyh, A battery modular multilevel management system (BM3) for electric vehicles and stationary energy storage systems, 16th European Conference on Power Electronics and Applications, August 2014
- [19] Xiangjiang Yang, Huirong Jiang, Zhicheng Deng, Design of a Battery Management System based on matrix switching network, IEEE International Conference on Information and Automation, August 2015

- [20] Wangbiao Qiu, Zhiyuan Qiu, Design for symmetrical management of storage battery expert system based on single battery, International Conference on Mechatronics and Automation, Iunie 2006
- [21] Carl Bonfiglio, Werner Roessler, A cost optimized battery management system with active cell balancing for lithium ion battery stacks, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Septembrie 2009
- [22] Yang Wenrong, Li Lulu, Zhan Junyi, Design for power lithium battery management system of electric vehicle, 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Noiembrie. 2013
- [23] B. Ji, X.G. Song, W.P. Cao, Active temperature control of Li-ion batteries in electric vehicles, IET Hybrid and Electric Vehicles Conference 2013 (HEVC 2013), Noiembrie 2013
- [24] Anton E. Pavlov, Dmitry V. Telyshev, Igor V. Nesterenko, Calibration Module for Battery Management System of Medical Devices, 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Ianuarie 2019
- [25] W.A. Adams, Development and field testing a new battery management technique: reserve batteries in wireless telecommunication tower applications, 24th Annual International Telecommunications Energy Conference, Octombrie 2002
- [26] Hongjie Wu, Hardware-in-Loop verification of Battery Management System, 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications, Iunie 2011
- [27] Jong-Hoon Kim, Jong-Won Shin, Chang-Yoon Jeon, Screening process of Li-Ion series battery pack for improved voltage/SOC balancing, The 2010 International Power Electronics Conference - ECCE ASIA -, Iunie 2010
- [28] Hyeon-Chyeol Hwang, Bong-Kwan Cho, Yong-Kuk Oh, Battery monitoring and management system for battery-driven public transit using wireless communication, International Conference on ICT Convergence (ICTC), Octombrie 2013
- [29] Linfeng Zheng, Jianguo Zhu, Guoxiu Wang, A comparative study of battery balancing strategies for different battery operation processes, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Iunie 2016
- [30] https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [31] Dwi Dharma Artakusuma, Hadha Afrisal, Adha Imam Cahyadi, Battery management system via bus network for multi battery electric vehicle, International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS), Noiembrie 2014
- [32] Chih-Lin Chen, Deng-Shian Wang, Jie-Jyun Li, A high-voltage Transceiver for electrical vehicle Battery Management Systems, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Ianuarie 2015
- [33] Jiapeng Wen, Jiuchun Jiang, Battery management system for the charge mode of quickly exchanging battery package, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Septembrie 2008
- [34] Yeqin Wang, Yixing Liu, Electronic control system design and test of pure electric vehicle battery management system, Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Iulie 2011
- [35] Zhengwei Zhu, Bo Yang, The research on intelligent management system of li-ion power battery string of electric vehicle, International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Septembrie 2011
- [36] Catalin Bibirica, Cristian Sandu, Lucian Ene, Mihai Iordache, Intelligent balancing of series cells using a low processing power algorithm, Buletinul U.P.B., Seria C, Vol. 80, Iss. 3, 2018
- [37] ***Microchip Technology, 28-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers

with CAN Technology, PIC18(L)F25/26K83 Datasheet, 2017

[38] ***Texas Instruments, LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers, LM124-N, LM224-N, LM2902-N, LM324-N Datasheet, 2015

[39] ***Panasonic, Anti-Surge Thick Film Chip Resistors, Datasheet, 2016

[40] ***Fairchild (ON Semiconductor), Anti-Surge Thick Film Chip Resistors, FDC6333C Datasheet, 2001

[41] ***Texas Instruments, ISO1050 Isolated CAN Transceiver, Datasheet, 2015

[42] ***Microchip Technology, 30V Input, 1A Output, High-Efficiency, Integrated Synchronous Switch Step-Down Regulator, MCP16311/2 Datasheet, 2014

[43] ***Microchip Technology, Low Quiescent Current LDO, MCP1700 Datasheet, 2018

[44] ***Avago Technologies, Phototransistor Optocoupler SMD Mini-Flat Type, HCPL-181 Datasheet, 2011

[45] ***Microchip Technology, Multi-Channel DC Power/Energy Monitor with Accumulator, PAC1932/3/4 Datasheet, 2018

[46] *F. W. Peek*, The law of corona and the dielectric strength of air, Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers, Volume: 30 , Issue: 7 ,pages: 1485-1561, Iulie 1911

[47] *Yuheng Li, Xuezhe Wei, Zechang Sun*, Low Power Strategy Design for Battery Management System, International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Aprilie 2009

[48] *Fan Zhongcheng, Zhang Wei, Zheng Hui*, Distributed battery management system based on CAN field-bus, Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), Decembrie 2013

[49] *Qiang Gu, Xiusheng Cheng, Zhonghua Lu*, Battery status identification of battery management system with asynchronous sampling, Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), Decembrie 2011

[50] *B. Tsenter*, Battery management for hybrid electric vehicle and telecommunication applications, Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of Conference (Cat. No.02TH8576), Ianuarie 2002

[51] *Yang Wenrong, Zhan Junyi, Li Lulu*, Battery capacity display system of lithium battery pack based on virtual instrument, 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Noiembrie 2013

[52] *Abhijeet Chandratre, Himanshi Saini, Sai Hanuma Vemuri*, Battery management system for E-bike: A novel approach to measure crucial battery parameters for a VRLA battery, India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010), Ianuarie 2011

[53] *Shijie Tong, Tsz Fung, Jae Wan Park*, Reusing electric vehicle battery for demand side management integrating dynamic pricing, IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Noiembrie 2015

[54] *Winneryanto Dwi Indra, Imaduddin A. Majid, Faisal Sya'bani*, Battery modeling for lithium polymer battery management system, Joint International Conference on Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (rICT & ICeV-T), Noiembrie 2013

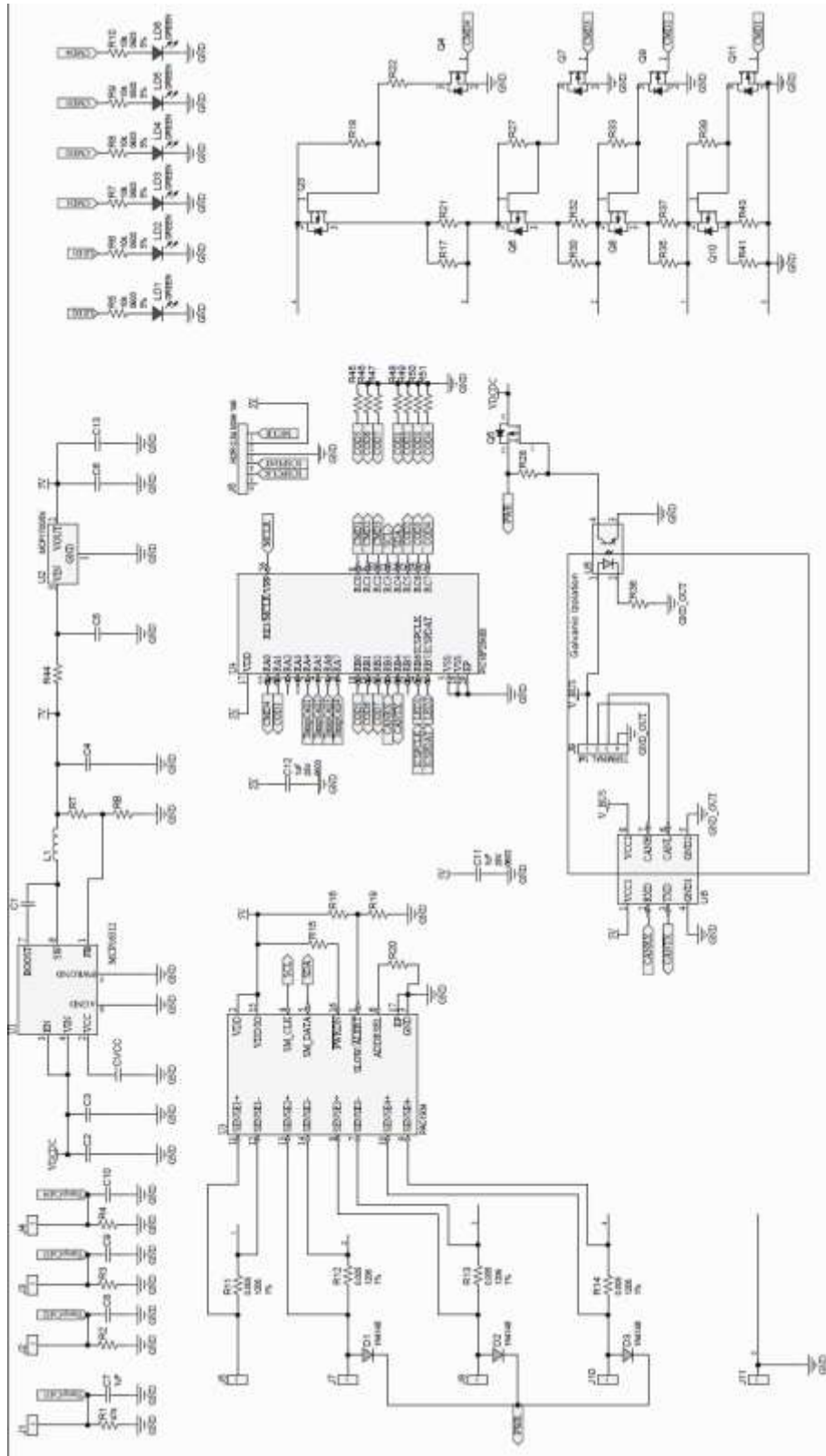
[55] *K. Ding, K. W. E. Cheng, S. X. Wang*, Five-level cascaded multilevel motor driver for electrical vehicle with battery charge management, Australasian Universities Power Engineering Conference, Decembrie 2008

[56] <http://www.electric-vehiclenews.com/2014/08/a-quick-test-drive-in-tesla-model-s-p85.html>

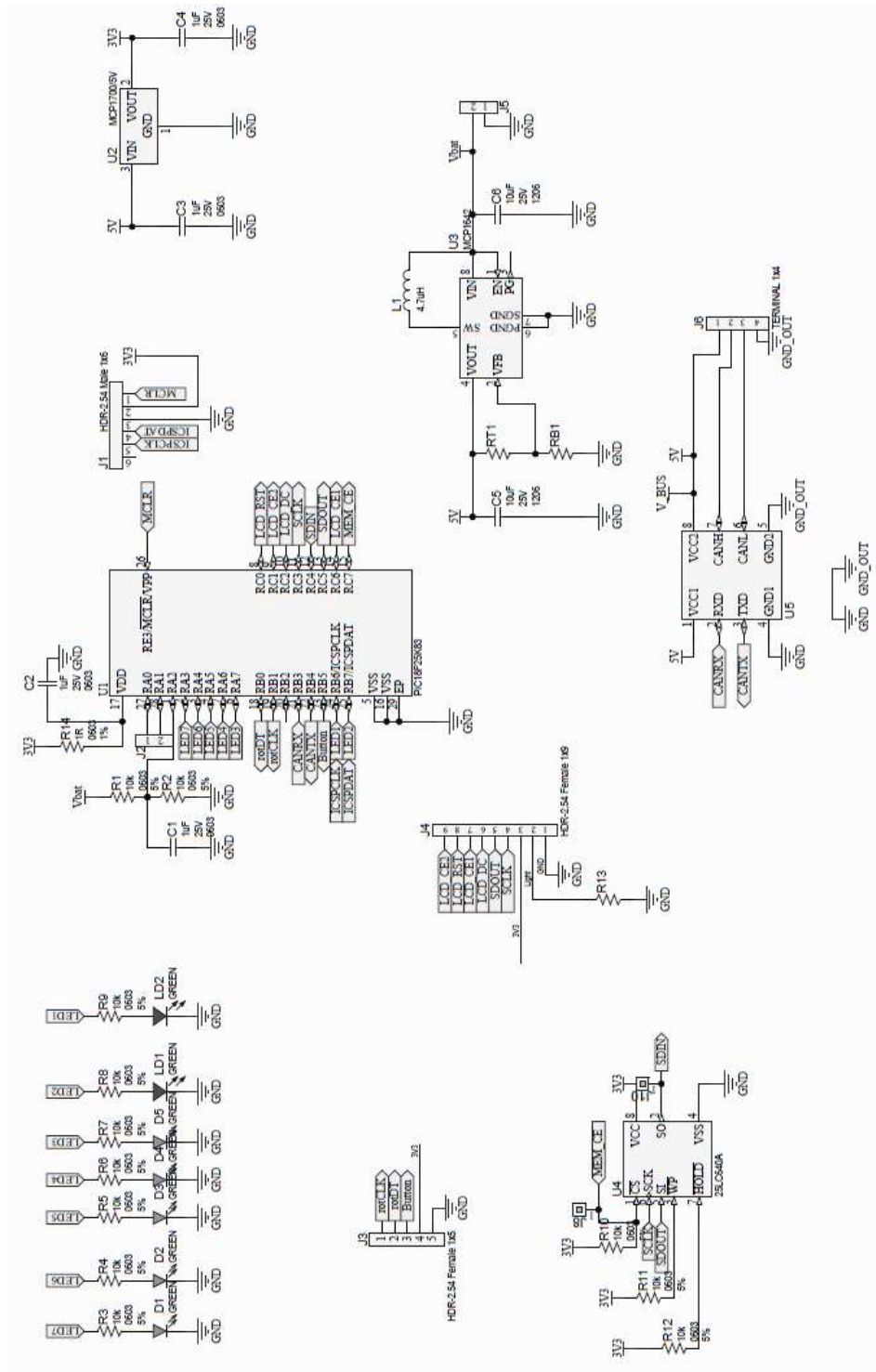
Contribuții privind realizarea unui sistem inteligent de gestionare a bateriilor destinat vehiculele electrice

[57] <https://cleantechnica.com/2018/09/07/kreisel-electric-introduces-automated-2-speed-electric-car-transmission/>

A2 SCHEMA UNUI MODUL DE MĂSURARE PRECISĂ A TENSIUNII



A4 SCHEMA UNITĂȚII CENTRALE



A5 SOFTUL MODULULUI SIMPLU DE MĂSURARE A TENSIUNILOR

```
#include "mcc_generated_files/mcc.h"

#define LED1 LATB7
#define LED2 LATB6

//definirea pinilor de intrare de ADC
#define CELL1_ADC channel_ANA0
#define CELL2_ADC channel_ANA1
#define CELL3_ADC channel_ANA2
#define CELL4_ADC channel_ANA3

//#define CELL5_ADC channel_ANA4
#define TEMPCELL1_ADC channel_ANA4
#define TEMPCELL2_ADC channel_ANA5
#define TEMPCELL3_ADC channel_ANA6
#define TEMPCELL4_ADC channel_ANA7
//#define TEMPCELL5_ADC channel_ANB1

//definirea pinilor ce comanda balansarea
#define CMD1 LATC0
#define CMD2 LATC1
#define CMD3 LATC2
#define CMD4 LATC3
//#define CMD5 LATC4

//definirea pinilor de ID
#define COD1 PORTCbits.RC4
#define COD2 PORTCbits.RC5
#define COD3 PORTCbits.RC6
#define COD4 PORTCbits.RC7
#define COD5 PORTBbits.RB0
#define COD6 PORTBbits.RB1
#define COD7 PORTBbits.RB2

//tipuri de mesaje
#define PingIdRequest 0x200
#define PingIDResponse 0x201
#define StartConversionID 0x202
#define SendStartVoltageTransmissionID 0x203
#define ResponseVoltageTransmissionID 0x204
```

```
//corectare de erori
#define PingCommand 0x11
#define PingResponse 0x12
#define SSCommand1 0x13
#define SSCommand2 0x14
#define VoltageReturn 0x15
#define FirstByte 0x16
#define SecondByte 0x17
#define StartTransmit 0x18
#define StartBalance 0x19
#define StopBalance 0x20

unsigned int boardID_voltage = 0;
unsigned int boardID_temperature = 0;

//forma in cod a unei celule
struct CELL{
    uint8_t cellADC;
    uint8_t batteryVoltageH;
    uint8_t batteryVoltageL;
    uint8_t temperatureADC;
    uint8_t temperature;
    uint8_t startBalance;
};

void returnADCRawData (uint8_t *dataLow, uint8_t *dataHigh);
void takeADCRawData (struct CELL receivedCell);
void takeTempData (struct CELL receivedCell);
void measureVoltage (struct CELL *receivedCell);
void start_stopBalance(char cell1, char cell2, char cell3, char cell4);

uCAN_MSG test;
//functie de receptie CAN
void ECAN_ISR_ECAN_RXB0I(void)
{
    CAN_receive(&test);
    PIR5bits.RXB0IF = 0;
    LED2 = ~LED2;
}

//functia principala
void main(void)
{
    // Initializari
    SYSTEM_Initialize();
    // ECAN_Initialize();
```

```
// ADCC_Initialize();

INTCON0bits.IPEN = 0;
INTCON0bits.GIE = 1;

uCAN_MSG txAdcResult1;
uCAN_MSG txAdcResult2;
uCAN_MSG txTempResult;
uCAN_MSG boardRespons;
__delay_ms(100);
//calcularea ID-ului unic al placii curente
unsigned int boardNumber =(COD7*64) + (COD6*32) + (COD5*16) + (CMD4*8) +
(COD3*4)+(COD2 * 2) + COD1;

//initializarea celulelor
struct CELL CELL1;
CELL1.cellADC = CELL1_ADC;
CELL1.temperatureADC = TEMPCELL1_ADC;

struct CELL CELL2;
CELL2.cellADC = CELL2_ADC;
CELL2.temperatureADC = TEMPCELL2_ADC;

struct CELL CELL3;
CELL3.cellADC = CELL3_ADC;
CELL3.temperatureADC = TEMPCELL3_ADC;

struct CELL CELL4;
CELL4.cellADC = CELL4_ADC;
CELL4.temperatureADC = TEMPCELL4_ADC;

//bucla infinita
while (1)
{

    uCAN_MSG rxMessage; //se primeste mesajul
        if(CAN_receive(&rxMessage)){//se extrage informatia din mesaj

            //detectare slave id si tip de comanda
            if((rxMessage.frame.id == PingIdRequest)&&(rxMessage.frame.data0 ==
boardNumber)&&(rxMessage.frame.data1 == PingCommand)){
                boardRespons.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
                boardRespons.frame.id = PingIDResponse;
                boardRespons.frame.dlc = 2;
                boardRespons.frame.data0 = boardNumber;
            }
        }
    }
}
```

```

        boardRespons.frame.data1 = PingResponse;
        CAN_transmit(&boardRespons);//se compune mesajul de raspuns, nu se transmite
//      LED1 = 1;
    }

    //incepe achizitia datelor si compunerea mesajului de raspuns
    if((rxMessage.frame.id == StartConversionID)&&(rxMessage.frame.data0 ==
SSCommand1)&&(rxMessage.frame.data1 == SSCommand2)){
        measureVoltage(&CELL1);
        measureVoltage(&CELL2);
        measureVoltage(&CELL3);
        measureVoltage(&CELL4);
        txAdcResult1.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
        txAdcResult1.frame.id = ResponseVoltageTransmissionID;
        txAdcResult1.frame.dlc = 8;
        txAdcResult1.frame.data0 = boardNumber;
        txAdcResult1.frame.data1 = VoltageReturn;
        txAdcResult1.frame.data2 = FirstByte;;
        txAdcResult1.frame.data3 = 0;
        txAdcResult1.frame.data4 = CELL1.batteryVoltageH;
        txAdcResult1.frame.data5 = CELL1.batteryVoltageL;
        txAdcResult1.frame.data6 = CELL2.batteryVoltageH;
        txAdcResult1.frame.data7 = CELL2.batteryVoltageL;

        txAdcResult2.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
        txAdcResult2.frame.id = ResponseVoltageTransmissionID;
        txAdcResult2.frame.dlc = 8;
        txAdcResult2.frame.data0 = boardNumber;
        txAdcResult2.frame.data1 = VoltageReturn;
        txAdcResult2.frame.data2 = SecondByte;;
        txAdcResult2.frame.data3 = 0;
        txAdcResult2.frame.data4 = CELL3.batteryVoltageH;
        txAdcResult2.frame.data5 = CELL3.batteryVoltageL;
        txAdcResult2.frame.data6 = CELL4.batteryVoltageH;
        txAdcResult2.frame.data7 = CELL4.batteryVoltageL;

        LED1 = 1;

    }
    //daca se primeste mesajul ce indica trimiterea datelor
    if((rxMessage.frame.id == SendStartVoltageTransmissionID)&&(rxMessage.frame.data0
== boardNumber)&&(rxMessage.frame.data1 == StartTransmit)){
        while(CAN_transmit(&txAdcResult1)==false);
        __delay_ms(10);
        while(CAN_transmit(&txAdcResult2)==false);
    }

```

```
        LED2 = 1;
    }

    start_stopBalance(0,0,0,0);//cell 0, 1 2 and 3
    __delay_ms(10);
}
LED1 = 0;
LED2 = 0;

}
}
//functie de oprire a balansarii
void start_stopBalance(char cell1, char cell2, char cell3, char cell4){
    CMD1 = cell1;
    CMD2 = cell2;
    CMD3 = cell3;
    CMD4 = cell4;
}
//functia de masurare a tensiunilor
void measureVoltage (struct CELL *receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell->cellADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
    unsigned int convertedValue = (unsigned int) ADCC_GetConversionResult()*1.224;
    receivedCell->batteryVoltageL = convertedValue % 256;
    receivedCell->batteryVoltageH = convertedValue / 256;
}
//functia de masurare a tensiunilor neprelucrate
void takeADCRawData (struct CELL receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell.cellADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
    returnADCRawData(&receivedCell.batteryVoltageL, &receivedCell.batteryVoltageH);
}
//functia de masurare a temperaturilor
void takeTempData (struct CELL receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell.temperatureADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
    // return ADCC_GetConversionResult();
}
//functia de ADC
void returnADCRawData (uint8_t *dataLow, uint8_t *dataHigh){
    *dataLow = ADRESL;
    *dataHigh = ADRESH;
}
/**
End of File
*/
```

A6 SOFTUL MODULULUI PRECIS DE MĂSURARE A TENSIUNILOR

```
#include "mcc_generated_files/mcc.h"

//initializarea este asemanatoare cu a modului simplu de masurare a tensiunilor
#include "mcc_generated_files/mcc.h"
#include <stdio.h>
#include<math.h>

#define LED1 LATB7
#define LED2 LATB6

//#define CELL5_ADC channel_ANA4
#define TEMPCELL1_ADC channel_ANA4
#define TEMPCELL2_ADC channel_ANA5
#define TEMPCELL3_ADC channel_ANA6
#define TEMPCELL4_ADC channel_ANA7
//#define TEMPCELL5_ADC channel_ANB1

#define CMD1 LATC0
#define CMD2 LATC1
#define CMD3 LATC2
#define CMD4 LATA0
//#define CMD5 LATC4

#define PACAddress 0x14 //
#define REFRESH_V 0x1F
#define REFRESH 0x00

#define COD1 PORTAbits.RA1
#define COD2 PORTCbits.RC5
#define COD3 PORTCbits.RC6
#define COD4 PORTCbits.RC7
#define COD5 PORTBbits.RB0
#define COD6 PORTBbits.RB1
#define COD7 PORTBbits.RB2

//tipuri de mesaje de comunicatie
#define PingIdRequest 0x200
#define PingIDResponse 0x201
#define StartConversionID 0x202
#define SendStartVoltageTransmissionID 0x203
#define ResponseVoltageTransmissionID 0x204
#define StartBalance 0x205
#define StopBalance 0x206
```

```
#define TakeTempID 0x207
#define ReportTempID 0x208
#define ResponseTempID 0x209

//detectia erorilor
#define PingCommand 0x11
#define PingResponse 0x12
#define SSCommand1 0x13
#define SSCommand2 0x14
#define VoltageReturn 0x15
#define FirstByte 0x16
#define SecondByte 0x17
#define StartTransmit 0x18
#define TempCheck 0x19

unsigned int boardID_voltage = 0;
unsigned int boardID_temperature = 0;
int boardNumber;
char balancingFlag = 0;
unsigned int balanceVoltage = 4200;

struct CELL{
    uint8_t cellADC;
    uint8_t cellNumber;
    uint16_t batteryVoltage;
    uint8_t batteryVoltageH;
    uint8_t batteryVoltageL;
    uint8_t temperatureADC;
    uint8_t temperature;
    uint8_t startBalance;
    uint16_t batteryCurrent;
    uint8_t batteryCurrentH;
    uint8_t batteryCurrentL;
};

struct CELL CELL1;
struct CELL CELL2;
struct CELL CELL3;
struct CELL CELL4;

uCAN_MSG TempRXMessage;
uCAN_MSG txAdcResult1;
uCAN_MSG txAdcResult2;
uCAN_MSG txTempResult;
```

```
uCAN_MSG boardRespons;
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void main(void)
{
    // Initializare
    SYSTEM_Initialize();
    // ECAN_Initialize();
    // ADCC_Initialize();

    // enableComparators = 0;
    PIE5bits.RXB1IE = 1;
    PIE5bits.RXB0IE = 1;
    INTCON0bits.IPEN = 0;
    INTCON0bits.GIE = 1;
    //se opreste balansarea
    start_stopBalance(0,0,0,0);

    __delay_ms(100);
    boardNumber = (COD7*64) + (COD6*32) + (COD5*16) + (CMD4*8) + (COD3*4)+(COD2
* 2) + COD1 + 1;//se calculeaza ID-ul unic al placii curente

    CELL1.cellNumber = 1;
    CELL1.temperatureADC = TEMPCELL1_ADC;

    CELL2.cellNumber = 2;
    CELL2.temperatureADC = TEMPCELL2_ADC;

    CELL3.cellNumber = 3;
    CELL3.temperatureADC = TEMPCELL3_ADC;

    CELL4.cellNumber = 4;
    CELL4.temperatureADC = TEMPCELL4_ADC;

    char i = 0;
    while (1)
    {
        if(balancingFlag == 0) //se vrea balansarea?
            start_stopBalance(0,0,0,0);//cell 0, 1 2 and 3
        else
        {
            start_stopBalance(0,0,0,0);
            i2c1_write1ByteRegister(PACAddress, REFRESH, 0x00);// se initializeaza PAC1934
            __delay_ms(50);
            measureAllVoltages();
        }
    }
}
```

```

        measureAllCurrents(); //se determina daca trebuie descarcate celulele
        if((CELL1.batteryVoltage > 4200)||((CELL1.batteryVoltage > balanceVoltage))CMD1 = 1;
        if((CELL2.batteryVoltage > 4200)||((CELL2.batteryVoltage > balanceVoltage))CMD2 = 1;
        if((CELL3.batteryVoltage > 4200)||((CELL3.batteryVoltage > balanceVoltage))CMD3 = 1;
        if((CELL4.batteryVoltage > 4200)||((CELL4.batteryVoltage > balanceVoltage))CMD4 = 1;
        __delay_ms(500);
    }

}

}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void measureAllCurrents(){ //functia care masoara si calculeaza toti curentii
    measureCurrent(&CELL1);
    measureCurrent(&CELL2);
    measureCurrent(&CELL3);
    measureCurrent(&CELL4);
    composeCurrent(&CELL1);
    composeCurrent(&CELL2);
    composeCurrent(&CELL3);
    composeCurrent(&CELL4);
}
//functia care masoara si calculeaza toate tensiunile
void measureAllVoltages(){
    measureVoltage(&CELL1);
    measureVoltage(&CELL2);
    measureVoltage(&CELL3);
    measureVoltage(&CELL4);
    if(CELL4.batteryVoltage > (CELL3.batteryVoltage + 300))
        CELL4.batteryVoltage = CELL4.batteryVoltage - CELL3.batteryVoltage;
    else
        CELL4.batteryVoltage = 0;
    if(CELL3.batteryVoltage > (CELL2.batteryVoltage + 300))
        CELL3.batteryVoltage = CELL3.batteryVoltage - CELL2.batteryVoltage;
    else
        CELL3.batteryVoltage = 0;
    CELL2.batteryVoltage = CELL2.batteryVoltage - CELL1.batteryVoltage;
    composeVoltages(&CELL1);
    composeVoltages(&CELL2);
    composeVoltages(&CELL3);
    composeVoltages(&CELL4);
}
//functie de impartire pe 8 biti a tensiunilor
void composeVoltages(struct CELL *receivedCell){
    receivedCell->batteryVoltageL = receivedCell->batteryVoltage % 256;
    receivedCell->batteryVoltageH = receivedCell->batteryVoltage / 256;
}

```

```

}
//functie de impartire pe 8 biti a curentilor
void composeCurrent(struct CELL *receivedCell){
    receivedCell->batteryCurrentL = receivedCell->batteryCurrent % 256;
    receivedCell->batteryCurrentH = receivedCell->batteryCurrent / 256;
}
//functie de masurare a curentilor
void measureCurrent (struct CELL *receivedCell){
    i2c1_write1ByteRegister(PACAddress, REFRESH, 0x00);
    __delay_ms(1);
    char current_register = 0x0A + receivedCell->cellNumber;
    long float convertedValueFloat = (i2c1_read2ByteRegister(PACAddress,
current_register))*0.01526;//using 0.2ohms sense resistor for 0.5A max measured current
    int convertedValue = (int)(convertedValueFloat);
    if(convertedValue < 700)convertedValue = 0;
    receivedCell ->batteryCurrent = convertedValue;
}
//functie de masurare a tensiunilor
void measureVoltage (struct CELL *receivedCell){
    i2c1_write1ByteRegister(PACAddress, REFRESH, 0x00);
    __delay_ms(1);
    char voltage_register = 0x06 + receivedCell->cellNumber;
    long float convertedValueFloat = (i2c1_read2ByteRegister(PACAddress,
voltage_register)/2.048);
//    if(convertedValue < 700)convertedValue = 0;
    int convertedValue = (int)(convertedValueFloat);
    receivedCell ->batteryVoltage = convertedValue;
}

//functia de intrerupere de CAN
void ECAN_ISR_ECAN_RXB0I(void)
{
    TMR0_WriteTimer(0);//reset timer
    CAN_receive(&TempRXMessage);//raspuns daca mesajul este de tip PING
    if ((TempRXMessage.frame.id == PingIdRequest)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)&&(TempRXMessage.frame.data1 == PingCommand)) {
        boardRespons.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
        boardRespons.frame.id = PingIDResponse;
        boardRespons.frame.dlc = 2;
        boardRespons.frame.data0 = boardNumber;
        boardRespons.frame.data1 = PingResponse;
        CAN_transmit(&boardRespons);
        //            LED1 = 1;
    }else

//incepe conversia!

```

```

if ((TempRXMessage.frame.id == StartConversionID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
SSCommand1)&&(TempRXMessage.frame.data1 == SSCommand2)) {
    if (balancingFlag == 0) {
//        __delay_ms(10);
        measureAllVoltages();
    } //se compune mesajul de raspuns
    txAdcResult1.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
    txAdcResult1.frame.id = ResponseVoltageTransmissionID;
    txAdcResult1.frame.dlc = 8;
    txAdcResult1.frame.data0 = boardNumber;
    txAdcResult1.frame.data1 = VoltageReturn;
    txAdcResult1.frame.data2 = FirstByte;
    txAdcResult1.frame.data3 = 0;
    txAdcResult1.frame.data4 = CELL1.batteryVoltageH;
    txAdcResult1.frame.data5 = CELL1.batteryVoltageL;
    txAdcResult1.frame.data6 = CELL2.batteryVoltageH;
    txAdcResult1.frame.data7 = CELL2.batteryVoltageL;

    txAdcResult2.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
    txAdcResult2.frame.id = ResponseVoltageTransmissionID;
    txAdcResult2.frame.dlc = 8;
    txAdcResult2.frame.data0 = boardNumber;
    txAdcResult2.frame.data1 = VoltageReturn;
    txAdcResult2.frame.data2 = SecondByte;
    txAdcResult2.frame.data3 = 0;
    txAdcResult2.frame.data4 = CELL3.batteryVoltageH;
    txAdcResult2.frame.data5 = CELL3.batteryVoltageL;
    txAdcResult2.frame.data6 = CELL4.batteryVoltageH;
    txAdcResult2.frame.data7 = CELL4.batteryVoltageL;

    //        LED1 = 1;

} else
//trebuie transmise datele?
if ((TempRXMessage.frame.id ==
SendStartVoltageTransmissionID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)&&(TempRXMessage.frame.data1 == StartTransmit)) {
    while (CAN_transmit(&txAdcResult1) == false);
    __delay_ms(10);
    while (CAN_transmit(&txAdcResult2) == false);
    //        LED2 = 1;
} else
//comanda de pornire a balansarii
if ((TempRXMessage.frame.id == StartBalance)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)) {

```

Contribuții privind realizarea unui sistem inteligent de gestionare a bateriilor destinat vehiculele electrice

```
    balancingFlag = 1;
//    LED2 = 1;
    balanceVoltage = TempRXMessage.frame.data1 * 256 + TempRXMessage.frame.data2;
}else
//comanda de oprire a balansarii
if ((TempRXMessage.frame.id == StopBalance)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)) {
    balancingFlag = 0;
//    LED2 = 0;
    LED1 = ~LED1;
}else
//comanda de masurare a temperaturilor
if((TempRXMessage.frame.id == TakeTempID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
TempCheck))
{
    measureTemperature(&CELL1);
    measureTemperature(&CELL2);
    measureTemperature(&CELL3);
    measureTemperature(&CELL4);

    txTempResult.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
    txTempResult.frame.id = ResponseTempID;
    txTempResult.frame.dlc = 8;
    txTempResult.frame.data0 = boardNumber;
    txTempResult.frame.data1 = TempCheck;
    txTempResult.frame.data2 = 0;
    txTempResult.frame.data3 = 0;
    txTempResult.frame.data4 = CELL1.temperature;
    txTempResult.frame.data5 = CELL2.temperature;
    txTempResult.frame.data6 = CELL3.temperature;
    txTempResult.frame.data7 = CELL4.temperature;

}else
if ((TempRXMessage.frame.id == ReportTempID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)) {
    CAN_transmit(&txTempResult);
}
LED2 = ~LED2;
PIR5bits.RXB0IF = 0;

}
//fucntie intrerupere de timer 0
void TMR0_ISR(void)//ISR
{
    PIR3bits.TMR0IF = 0;
```

```
if(TMR0_InterruptHandler)
{
    TMR0_InterruptHandler();
}
}

//functie de oprire/pornire a balansarii
void start_stopBalance(char cell1, char cell2, char cell3, char cell4){
    CMD1 = cell1;
    CMD2 = cell2;
    CMD3 = cell3;
    CMD4 = cell4;
}
//functia de masurare a temperaturilor
void measureTemperature (struct CELL *receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell->temperatureADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
    unsigned int convertedValue = (unsigned int) (ADCC_GetConversionResult()-1470)/30 *
100; /*1.224;

    receivedCell ->temperature = convertedValue/16;

}
//functii masurare ADC
void takeADCRawData (struct CELL receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell.cellADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
    returnADCRawData(&receivedCell.batteryVoltageL, &receivedCell.batteryVoltageH);
}
void takeTempData (struct CELL receivedCell){
    ADCC_StartConversion(receivedCell.temperatureADC);
    while(!ADCC_IsConversionDone());
//    return ADCC_GetConversionResult();
}
void returnADCRawData (uint8_t *dataLow, uint8_t *dataHigh){
    *dataLow = ADRESL;
    *dataHigh = ADRESH;
}

/**
End of File
*/
```

A6 SOFTUL MODULULUI DE MĂSURARE A CURENTULUI

```
#include "mcc_generated_files/mcc.h"

#define LED1 LATB7
#define LED2 LATB6

//definire pin pentru masurat curentul

#define Current_ADC channel_ANC5
#define ADCCurrentConstant 12.66//18.95 for 30A, calculated based on sensor and ADC
precision

//tipuri de mesaje de comunicatie

#define PingIdRequest 0x200
#define PingIDResponse 0x201
#define StartConversionID 0x202
#define SendStartVoltageTransmisionID 0x203
#define ResponseVoltageTransmisionID 0x204
#define StartBalance 0x205
#define StopBalance 0x206
#define TakeTempID 0x207
#define ReportTempID 0x208
#define ResponseTempID 0x209
#define SendStartCurrentTransmisionID 0x210
#define ResponseCurrentTransmisionID 0x211

//detectia erorilor

#define PingCommand 0x11
#define PingResponse 0x12
#define SSCommand1 0x13
#define SSCommand2 0x14
#define VoltageReturn 0x15
#define FirstByte 0x16
#define SecondByte 0x17
#define StartTransmit 0x18
#define TempCheck 0x19
#define CurrentReturn 0x20

uCAN_MSG txAdcResult;
uCAN_MSG TempRXMessage;
uCAN_MSG boardRespons;
```

```
//modulul de masurare a curentului are intodeauna ID-ul 0

char boardNumber = 0; //current measuring board is 0

//structura de reprezentare interna a curentului

typedef struct {
    char ADC;
    char valueHigh;
    char valueLow;
    char sign;
    float ADCCorection;
}currentCell;

//structura acumulatorului care realizeaza medierea

typedef struct {
    int num[10];
    char end;
    char count;
    unsigned long int sum;
} accumulator;

currentCell measuredCurrent;
accumulator averageCurrent;

void measureCurrent (currentCell *receivedCell);
int get_average(const accumulator *a);
void push(accumulator *a, int n);
void reset(accumulator *a);
//functia principala
void main(void)
{

    // Initializari
    SYSTEM_Initialize();
    measuredCurrent.ADC = Current_ADC;
    measuredCurrent.ADCCorection = ADCCurrentConstant;

    PIE5bits.RXB1IE = 1;
    PIE5bits.RXB0IE = 1;
    INTCON0bits.IPEN = 0;
    INTCON0bits.GIE = 1;
    reset (&averageCurrent) ;
    while (1)//bucla infinita
```

```
{
  LED1 = 0;
  measureCurrent(&measuredCurrent);//se masoara curentul
  //de adauga curentul in stiva de mediere
  push(&averageCurrent,(measuredCurrent.valueHigh*256 + measuredCurrent.valueLow));
  LED2 = 0;
  __delay_ms(100);//se repeta la 100 ms
}
}

//functia de masurare a curentului
void measureCurrent (currentCell *receivedCell){
  ADCC_StartConversion(receivedCell->ADC);//se porneste converisa
  while(!ADCC_IsConversionDone());//se asteapta termianrea conversiei
  unsigned int convertedValue = ADCC_GetConversionResult();//se extrage valoarea
  masurata
  if(convertedValue >= 2048) //daca valoarea masurata este mai mare ca 2048 (jumatatea
  plajei de masura)
  {
    receivedCell->sign = 0;//semnul este Plus
    unsigned int result = (convertedValue - 2048) * receivedCell->ADCCorection;//se
    realizeaza corectia rezultatului
    receivedCell->valueHigh = result/256;//se imparte rezultatul pe 8 biti
    receivedCell->valueLow = result%256 ;
  }
  else
  { //altfel semnul este minus si se corecteaza curentul
    receivedCell->sign = 1;
    unsigned int result = (2048 - convertedValue) * receivedCell->ADCCorection;
    receivedCell->valueHigh = result/256;
    receivedCell->valueLow = result%256 ;
  }
}

//functia de intrerupere CAN
void ECAN_ISR_ECAN_RXB0I(void)
{
  // TMR0_WriteTimer(0);//reset timer
  CAN_receive(&TempRXMessage);//s-a primit un mesaj de tip PING
  if ((TempRXMessage.frame.id == PingIdRequest)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
  boardNumber)&&(TempRXMessage.frame.data1 == PingCommand)) {
    boardRespons.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
    boardRespons.frame.id = PingIDResponse;
    boardRespons.frame.dlc = 2;
    boardRespons.frame.data0 = boardNumber;
  }
}
```

```
boardRespons.frame.data1 = PingResponse;
CAN_transmit(&boardRespons);
LED1 = 1;
}else

//mesaj de tip incepere conversie
if ((TempRXMessage.frame.id == StartConversionID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
SSCommand1)&&(TempRXMessage.frame.data1 == SSCommand2)) {

    int temp = get_average(&averageCurrent);
    txAdcResult.frame.idType = dSTANDARD_CAN_MSG_ID_2_0B;
    txAdcResult.frame.id = ResponseCurrentTransmissionID;
    txAdcResult.frame.dlc = 5;
    txAdcResult.frame.data0 = boardNumber;
    txAdcResult.frame.data1 = CurrentReturn;
    txAdcResult.frame.data2 = measuredCurrent.sign;
    txAdcResult.frame.data3 = temp/256;
    txAdcResult.frame.data4 = temp%256;
    LED1 = 1;
}else

//mesaj de tip raportare rezultate
if ((TempRXMessage.frame.id ==
SendStartCurrentTransmissionID)&&(TempRXMessage.frame.data0 ==
boardNumber)&&(TempRXMessage.frame.data1 == StartTransmit)) {
    while (CAN_transmit(&txAdcResult) == false);
    LED2 = 1;
}
LED1 = ~LED1;
PIR5bits.RXB0IF = 0;

}

//functia de resetare a acumulatorului de mediere
void reset(accumulator *a)
{
    a->end = 0;
    a->count = 0;
    a->sum = 0;
}

//functie de adaugare la suma de mediere
void push(accumulator *a, int n)
{
    if (a->count < 10)
    {
```

```
    ++(a->count);
}
else
{
    a->sum -= a->num[a->end];
}

a->num[a->end] = n;
a->end = (a->end + 1) % 10;
a->sum += n;
}

//functia de calculare a curentului mediat
int get_average(const accumulator *a)
{
    return (a->sum / a->count);
}

/**
End of File
*/
```